

Biblioteka Główna i OINT
Politechniki Wrocławskiej



100100212716

Biblioteka
Politechniki Wrocławskiej

6670

II

Archiwum

Archiwum

~~1000~~

REGULACJA RZEK

6670 II
Archiwum

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA TOM XXXIX.

BUDOWNICTWO WODNE CZĘŚĆ V a.

Dr. Inż. MAKSYMILJAN MATAKIEWICZ
PROFESOR BUDOWNICTWA WODNEGO W POLITECHNICE LWOWSKIEJ

REGULACJA RZEK

Z 256 RYSUNKAMI W TEKŚCIE

PODRĘCZNIK DO UŻYTKU INŻYNIERÓW I STUDENTÓW POLITECHNIK



LWÓW-KRAKÓW-WARSZAWA
WYDAWNICTWO ZAKŁADU NAR. IM. OSSOLIŃSKICH
WARSZAWA, KSIĘGARNIA WŁASNA, UL. NOWY ŚWIAT 1. 69.
KRAKÓW, FILJA WYDAWNICTWA, ULICA ŚW. ANNY 1. 11.

WYWIĘCZA



350465L | 1



y 6670



Alu. 920/50 k.

PRZEDMOWA.

„Regulacja rzek“ stanowi część V. podręcznika obejmującego budownictwo wodne, którego dwie pierwsze części, a mianowicie:

I. „Pomiary wodne, rowy i kanały“ (Lwów 1894) i

II. „Fundamenty“ (Lwów 1910) opracował i wydał zasłużony na tem polu badacz ś. p. profesor Józef Rychter, część

III. „Zasady budowy wodociągów“ (Lwów 1914) opracowałem wspólnie z dwoma innymi autorami¹⁾, a część

IV. „Budowa jazów“ (Lwów 1920) opracowałem w latach 1911—1919.

Przedmiot regulacji rzek nie był dotąd u nas opracowany; książka niniejsza stanowi pierwszą próbę jednolitego ujęcia przedmiotu, do którego włączyć musiałem, z uwagi na wykazanie łączności robót regulacyjnych z działami pokrewnymi, także rzecz o zabudowaniu potoków górskich i o robotach ochronnych przed powodzią.

Opracowanie to przeznaczone jest dla inżynierów i studentów Politechniki; aby ułatwić zrozumienie przedmiotu bez odsyłania do innych podręczników, podałem na wstępie najważniejsze wiadomości odnoszące się do właściwości rzek, oznaczenia charakterystycznych ich znamion i sposobu przeprowadzania obliczeń hydrotechnicznych.

Ponieważ zasługa rozwinięcia systemów regulacji i nadania im racjonalnych podstaw, przypada wybitnym hydrotechnikom różnych krajów, przeto starałem się okolicznościowo, przy omawianiu poszczególnych działów i rodzajów robót, osiągnięte w różnych krajach zdobycze naukowe i postępy systemu zaznaczyć.

Opracowanie dobrego podręcznika regulacji rzek, traktującego zatem o robotach nie podlegających szablonowi, które w każdym poszczególnym

¹⁾ Opracowali Z. Ciechanowski, M. Matakiewicz i K. Pomianowski.

wypadku muszą być dostosowane do charakteru rzeki, nie jest łatwe i świadom jestem tego, że książka ta musi posiadać niedostatki, zwłaszcza jako pierwsze opracowanie tego rodzaju. Do napisania jej skłoniła mnie chęć przyjscia z pomocą młodzieży politechnicznej, która powinna mieć możliwość czerpania zasad nauk technicznych z polskich książek.

Wszystkim kolegom zawodowym, którzy dostarczyli mi planów budowli wykonanych w kraju i udzielili wyjaśnień, składam serdeczne podziękowanie.

Współpracownikom mojej katedry, konstruktorom inż. Bogdanowi Łazorykowi i inż. Janowi Baumowi, tudzież asystentom inż. Włodzimierzowi Schätzlowi i Janowi Knapikowi za pomoc przy opracowaniu, a przede wszystkim za sporządzenie rysunków, szczerze dziękuję.

Zakładowi Narodowemu im. Ossolińskich, składam gorące podziękowanie za objęcie nakładu, zaś Dyrekcji administracji i Dyrekcji drukarni za przeprowadzenie wydawnictwa.

We Lwowie, w październiku 1921.

Autor.

TREŚĆ.

	Strona
Część 1. Podstawy regulacji rzek, prace wstępne	1
I. Rozwój regulacji rzek	1
II. Opis właściwości wód płynących	10
Potoki górskie	11
Rzeki	15
1. Wahania stanów wód i objętości odpływu na rzekach	16
Tabela objętości odpływu rzek karpackich	22
Tabela powierzchni dorzeczy	24
2. Profile podłużne rzek, spadki łożysk	25
3. Układ poziomy rzek i kształty przekrojów poprzecznych	37
✓ Związek układu poziomego rzek z głębokością	43
Prawa Fargue'a ✓	44
✓ Spadek poprzeczny łożyska i jego znaczenie z uwagi na układ poziomy	47
4. Materiał ruchomy i jego ruch w łożyskach rzecznych	50
Tabela ilości toczzonego rumowiska	52
✓ Siła poruszająca	57
Ilość materiału w ruchu	60
Wędrujące ławice materiału ruchomego	63
✓ Poruszanie namułu	66
III. Laboratorja wodne (rzeczne)	69
Przyrządy pomiarowe	76
Opis doświadczeń i przedstawienie wyników	78
IV. Cele i środki regulacji rzek	86
V. Prace hydrometryczne potrzebne do sporządzenia projektu regulacji rzeki	90
1. Plan sytuacyjny	91
2. Profil podłużny i oznaczenie spadku wyrównanego	92
3. Oznaczenie stanu normalnego i normalnej objętości przepływu	93
Normalna objętość wody	99
4. Obliczenie przepływu wody w łożyskach rzecznych	100
Formuła Ganguillet-Kutter'a	103
" Bazina	104
" Hermanka	105
" Matakiewicza (dawniejsza)	106
" Lindboego	106
" Matakiewicza (nowsza)	107
Tabela cyfrowa i wykresna do wzoru Matakiewicza	108

	Strona
5. Normalny profil i normalna szerokość regulacji	115
VI. Projektowanie kierunków regulacji (projekt trasy regulacyjnej)	125
Krzywe przejściowe	138
Partje dolnych biegów rzek będące pod działaniem przyływu i odpływu morza	141
Część 2. Wykonanie budowy	145
I. Budowle regulacyjne	145
1. Materiały budowlane	145
Materiał kamienny	147
Narzut kamienny	147
Brukowanie skarp	149
Ubezpieczenia siatkowe	150
Ubezpieczenia z kamienia sztucznego	151
Typy ubezpieczeń według inż. Steigera	157
Materiał drzewny	160
Zagajenia odsypisk	161
Elementy tam regulacyjnych z materiału drzewnego	162
Ubezpieczenie skarp obitką wyścielką lub płótkami	164
Wálki	166
Płyty zatapiane, czyli materace	168
2. System regulacji i rodzaje tam regulacyjnych	170
Zasady ogólne	170
Zabudowanie obydwu brzegów	170
Wysokość budowli	171
Rodzaje budowli i ich układ w sytuacji	172
System regulacji zapomocą ostróg	172
" " " tam równoległych (kierownic)	181
Utrwalenie odsypisk	185
Wykonanie tam równoległych i opasek	185
Typy budowli	187
Poprzeczki	188
3. Wykonanie tam faszynowych	192
Kształty przekroju tamy i wstw zatapianych	193
Wykonanie warstw zatapianych	197
Budowa tamy na miejscach płytkich	200
Czas budowy	201
4. Przedmiar i kosztorys tam regulacyjnych	203
5. Budowle lekkie lub wiszące	205
Zasady systemu Wolfa	205
Inne typy lekkich budowli	206
6. Przekopy	210
Wykonanie przekopów	212
Zamknięcie starych koryt	215
Regulacja Renu powyżej ujścia do jeziora Bodeńskiego	216
Przekopy wielokrotne	219
7. Roboty pomocnicze przy regulacji rzek	221
a) Pogłębianie czyli bagrowanie	221
b) Wzruszanie powierzchni odsypisk i wysp żwirowych	227
c) Czyszczenie rzek	228

	Strona
d) Oczyszczenie terenu zalewowego	228
e) Rozsadzanie skał	228
8. Łączenie ramion i regulacja ujścia	229
Ujścia rzek	233
Ujście rzeki do morza	233
9. Wytyczanie trasy i budowli regulacyjnych	234
Część 3. Skutki regulacji, tok wykonania robót regulacyjnych	241
I. Skutki regulacji	241
1. Ogólny pogląd	241
2. Utrwalenie dna rzeki, stopnie w łóżyskach uregulowanych	243
3. Korzyści regulacji rzek dla mieszkańców przybrzeżnych	247
4. Wpływ regulacji rzek naniżenie stanu wielkiej wody, oraz zmniejszenie wylewów	248
a) Wpływ zmian w przekrojach poprzecznych	248
b) " pogłębienia łóżyska rzeki	250
c) " skrócenia biegu	252
5. Wpływ regulacji rzek na obniżenie poziomu małej wody i obniżenie poziomu wody gruntowej	255
6. Ochrona jazów, bulwarów, mostów i innych budowli nadrzecznych	259
II. Tok wykonania budowli regulacyjnych	261
III. Regulacja progowa	263
Regulacja progowa w Bawarii	264
Nowsze doświadczenia co do regulacji rzek w Bawarii	267
Część 4. Regulacja rzek żeglownych na małą wodę	269
I. Ogólny pogląd	269
Stopień żeglowności rzeki	274
II. Zasady regulacji na małą wodę, system Girardona	277
Brzeg wklęsły	279
Brzeg wypukły	280
Położenie przegięcia, uregulowanie i utrwalenie położenia i kierunku progów	281
Wykonanie budowli	282
III. Przykłady regulacji rzek na małą wodę	285
1. Regulacja Wezery na małą wodę	285
2. " dolnej Wisły na małą wodę	293
3. " Renu, Łaby, Odry	296
Renu	296
Łaba	299
Odra	300
IV. Regulacja rzeki żeglownej w obrębie progów skalnych	302
Regulacja „Żelaznej Bramy“	304
" Renu między Bingen a St Goar	313
V. Środki pomocnicze służące do poprawy żeglugi	314
1. Poprawa żeglugi przez bagrowanie	314
2. Powiększenie głębokości przez zasilanie rzeki w czasie niskich stanów wodą ze zbiorników	318
Część 5. Zabudowanie potoków górskich	323
1. Roboty w obszarze zbiorczym (zbiorowisku)	326
Zalesienie	327
Zamurawienie	335

	Strona
2. Roboty w obrębie szyji	336
Materiał przegród	339
Przegrody drewniane, oraz z drzewa i kamienia	340
Przegrody kamienne	343
Zabudowanie potoku Töss	350
Obrachowanie przekroju poprzecznego przegród	353
a) Przegrody niskie	356
b) „ wysokie	358
Inne roboty w obrębie szyji	359
3. Roboty na obszarze stożka	360
Zbiorniki materiału, miejsca składu	362
Część 6. Ochrona przed powodzią	371
I. Ogólne zasady	371
1. Roboty górskie	376
Powody wylewów, wpływ lasów na wylewy, daty statystyczne, przy- kłady	376
Rowy poziome, małe zbiorniki, stawy, kanały, ulgi	387
2. Powstrzymanie wezbrań zapomocą systemu zbiorników	389
3. Obwałowanie	396
Odcięcie terenu zalewowego (inundacji)	400
II. Wykonanie obwałowań rzek	406
1. Rodzaje wałów	406
2. Ogólne zasady zakładania wałów	408
Odstęp wałów	408
Trasa wałów	411
Związek regulacji z obwałowaniem	412
3. Profil poprzeczny wału, rozmiary, materiał i sposób wykonania	412
Działanie wody na wał	417
Wykonanie robót ziemnych	420
Przejazdy	424
Ubezpieczenie korony i skarp wałów	425
4. Wały letnie i wały przelewowe	426
5. Śluzy wałowe	430
6. Zakłady pompowe	439
7. Utrzymanie (konserwacja) i obrona wałów	441
Część 7. Postanowienia prawa wodnego dotyczące regulacji rzek	447
Omyłki druku	460

CZEŚĆ 1.

Podstawy regulacji rzek, prace wstępne.

I. Rozwój regulacji rzek.

Regulacja rzek jest dziełem 19 wieku; już i w poprzednich wiekach wykonywano wprawdzie roboty mające na celu ochronę brzegów, zabezpieczenie gruntów przed zerwaniem przez wodę, a także i przekopy w celu wyprostowania zbyt ostrych krzywizn rzeki i złagodzenia jej naporu na brzegi, lecz roboty te miały tylko znaczenie miejscowe, były tak zwanymi korekcjami, a nie systematyczną regulacją rzek w znaczeniu obecnem.

Dawniejszemi znacznie od budowli regulacyjnych są obwałowania rzek, mające na celu ochronę obszarów sąsiadujących z rzeką przed wylewami; historia ich sięga bardzo odległych czasów. Najpierw budowano wały nad morzem, delta Renu miała je już w wieku 12-ym, a ujścia Wisły obwałowano w wieku 13-tym. W Polsce budowano wały nad Wisłą już za Kazimierza Wielkiego. Obwałowania odróżnimy jednak zasadniczo od regulacji, gdyż środki i cele obu rodzajów robót są inne.

Pierwsze tamy regulacyjne były czemś pośredniem między dzisiejszemi tamami regulacyjnymi a wałami ochronnymi; były to wysokie zwały kamienne, lub ze żwiru, mające kierować prądem wody, a nadto ochronić grunta nadbrzeżne przed zalewem. Dzisiejsze tamy regulacyjne są zawsze niskie, sięgają zaledwie ponad stan małej lub średniej wody, a wyższe stany je zakrywają.

Regulacją (*régularisation, amélioration, Regulierung*) systematyczną nazwiemy taką, która dąży do zupełnego uregulowania i ustalenia rzeki pojętej jako całość, a nie tylko do zabezpieczania brzegów w pewnych miejscach. Przy takiej regulacji wykonuje się wszystkie roboty i budowle według z góry ułożonego planu i po gruntownem zbadaniu zapomocą

studjów hydrotechnicznych charakteru rzeki. Nie będą to już pojedyncze tamy lub roboty mające zaradzić lokalnemu zdzieniu rzeki, lecz będą tu potrzebne rozległe roboty, które mają poprawić stan rzeki w całej długości, lub przynajmniej na znacznej jej partji. Przy systematycznej regulacji unika się wykonania takich robót, które poprawiając stan rzeki w pewnej partji, mogłyby go pogorszyć w innym miejscu.

Jednym z pierwszych, który systematyczną regulację rzek wprowadził w czyn, był pułkownik i naczelnik budownictwa W. Ks. Badeńskiego Tulla, który wypowiedział już w r. 1825 zasadę: „Zanim się przystąpi do kultuwowania i zużytkowania obszarów nad rzekami położonych, należy przedewszystkiem starać się o wytworzenie regularnych koryt rzecznych i łatwego odpływu wody. W krajach o wysokiej kulturze należy łożyskom rzek nadać kształt regularny i niezmienny tak, aby w tym stanie stale się utrzymywały. Ściśle biorąc jest to możliwe tylko wtedy, jeżeli rzeka materiał ruchomy doprowadzany z góry w zupełności potrafi odprowadzić, lub jeżeli pozostałości mogą być usunięte“.¹⁾ To są główne zasady Tulli; tak jak on regulację pojmował, pojmujemy ją i dziś, tylko że co do działania budowli regulacyjnych więcej mamy doświadczenia, nadto poznaliśmy bliżej skutki regulacji. W r. 1817 opracował Tulla projekt regulacji Renu poniżej jeziora Bodeńskiego. „Przed rokiem 1817 nie miał Ren badeńsko-bawarski zwarte łożyska, lecz zmieniał często swój bieg tak, że w swej dolinie 4—9 kilometrów szerokiej, ochronionej niedostatecznie wałami, raz w tem, to znowu w innym miejscu wyźlbiał sobie łożysko. Prawie każdego roku zalewał znaczne obszary uprawnej ziemi i zasypywał je piaskiem i żwirem, oraz zagrażał miejscowościom położonym w dolinie“²⁾. Po zawarciu układu bawarsko-badeńskiego rozpoczęto regulację systematyczną Renu na obszarze tych dwu państw, a do roku 1881 przeważna część budowli regulacyjnych była wykonana.

Ren na granicy badeńsko-alzackiej rozpoczęto regulować systematycznie dopiero w r. 1840, t. j. po zawarciu układu między Niemcami a Francją. Ren powyżej jeziora Bodeńskiego na granicy szwajcarsko-austrjackiej rozpoczęto regulować po roku 1892, systematyczną zaś regulację dolnego Renu w obrębie Holandji rozpoczęto wraz z regulacją innych tamtejszych rzek po roku 1850 i główne roboty ukończono do roku 1888.

Regulację prawych dopływów Renu w W. Ks. Badeńskim rozpoczęto na serjo już około roku 1817, po wydaniu edyktu o regulacji rzek.

¹⁾ Tulla „Über die Rektifikation des Rheins vom Austritt aus der Schweiz, bis zum Eintritt in Gehzt. Hessen: 1825.

²⁾ Der Wasserbau an den öffentlichen Flüssen i Kg. Bayern. Monachium 1888.

Pod kierunkiem Tulli rozwinięto żywą akcję budowlaną; w latach sześćdziesiątych największa część robót została ukończona, a w następnym dwudziestopięcioleciu regulację już tylko uzupełniano. W roku 1810 pisał Tulla o tych rzekach, że w łożyskach ciągle są jeszcze odsypiska i wyspy żwirowe, w dolinie nędzna wegetacja, a wielkie wody ciągle czynią spustoszenia — po uregulowaniu rzek stan ten zupełnie się zmienił. Regulacja wydała pożądane owoce; rolnictwo, przemysł, komunikacje mogły tu się swobodnie rozwijać i dziś doliny rzek badeńskich należą do obszarów najpiękniej zagospodarowanych na świecie.

Alpejskie rzeki bawarskie, oraz Dunaj bawarski, rozpoczęto systematycznie regulować po roku 1852, t. j. po wydaniu ustawy „o ochronie brzegów i ochronie przed wylewami“; regulacje te szybko postępowały i do dziś dnia przeważna część robót została wykonana.

Regulacja systematyczna Dunaju w obrębie Austrii datuje się od lat sześćdziesiątych. Punktem wyjścia niejako była regulacja partji Dunaju pod Wiedniem¹⁾, 26 km. długiej, co do której zwołano specjalną komisję złożoną ze znawców krajowych i zagranicznych²⁾. Komisja ta ustaliła w r. 1868 zasady regulacji, poczem w r. 1870 roboty regulacyjne rozpoczęto. W roku 1884 przeważna część robót w tej przestrzeni była ukończona, a koszta budowli regulacyjnych i chroniących od wielkiej wody wyniosły 65·5 milionów koron.

W latach 1880 i 1881 uchwalono ustawy postanawiające regulację dalszych partji Dunaju, na całej przestrzeni dolno-austriackiej od ujścia Isper, aż do granicy węgierskiej, kosztem 48,000.000 koron. Równocześnie powołano do życia Komisję regulacji Dunaju we Wiedniu, której poruczono czynności wykonawcze; wykonanie regulacji rozpoczęto jeszcze w r. 1882; projekt regulacji obejmował 159 km. rzeki.

Wykonane roboty regulacyjne ustaliły i skupiły łożysko Dunaju, ułatwiły odpływ wód i lodu, nadto poprawiły warunki żeglugi. Głębokość minimalna jaką miało łożysko przy najniższych stanach zwiększyła się przeciętnie z 1 m, na 1·30 m.

Jednak w pewnych partjach wykonana regulacja rzeki na średnią wodę okazała się dla żeglugi niewystarczającą, powstawały w łożysku przy niskich stanach odsypiska, przy brzegach wklęsłych zaś głębokie wyboje, a nurt serpentynował i nie miał ustalonego położenia. Te zjawiska pokazały się najpierw we wspomnianej przestrzeni pod Wiedniem, a później i w innych partjach rzeki. Wobec tego zdecydowano się na przeprowadzenie w uregulowanym łożysku regulacji uzupełniającej, czyli

¹⁾ Die Regulierung der Donau in Niederösterreich, Monographie, Wiedeń 1909.

²⁾ Byli tu obecni Abernethy z Londynu, G. Hagen z Berlina, Sexauer z Karlsruhe, Tostain z Paryża.

regulacji na małą wodę, której zadaniem było skupienie łóżyska małej wody, celem uzyskania większych głębokości dla żeglugi i ustalenie położenia nurtu. Celem bliższego zbadania tej kwestji powołano w roku 1901 jako znawcę znakomitego hydrotechnika francuskiego H. Girardona, który system regulacji na małą wodę wypróbował we Francji na Rodanie. Opinię Girardona zużytkowano także przy regulacji dalszych partji rzeki na małą wodę.

Systematyczną regulację Dunaju w obrębie Austrii Górnej¹⁾ (157 km biegu) rozpoczęto w okresie lat 1850—1860. Zasady tej regulacji podał w roku 1861 w obszernem sprawozdaniu dyrektor budownictwa Baumgarten, przyczem zwrócił uwagę na to, że „przy wszystkich budowlach regulacyjnych uwzględnić się musi współdziałanie samej rzeki, które skutki budowli regulacyjnych umożliwia i przyspiesza. Dlatego należy budowle te dopiero wtedy przedłużać i podwyższać, gdy skutkiem współdziałania samej rzeki nadejdzie stosowna chwila“.

Już we wspomnianym okresie udało się skoncentrować łóżysko Dunaju, rozbite dotychczas na liczne ramiona, w jednolitą strugę prawie na całej przestrzeni. Zbyt ostre zakola, ostre skręty i nagle zmiany kierunku, usunięto i nadano rzece zapomocą budowli regulacyjnych łagodnie zakrzywione kształty. Jednak regulacja ta nie była zupełną, gdyż nie przeprowadzono jej według ustalonych, jednolitych normalnych szerokości. W okresie lat 1860—1890 prowadzono dalej dzieło regulacji, uzupełniając ją stosownie do środków; przytem starano się o poprawę warunków żeglugi na szypotach, to jest w miejscach, gdzie z powodu skalistego dna wytwarzają się znaczne spadki i chyżości wody, stanowiące ogromną przeszkodę dla żeglugi. Roboty te polegały na rozsadzaniu skalistych progów, postęp ich jednak był powolny i dopiero od roku 1890 zaczęto je przeprowadzać w szybszem tempie.

W okresie lat 1890—1909 przeprowadzano dalej roboty regulacyjne, celem ukończenia regulacji na średnią wodę, oraz wykonywano regulację na małą wodę, dla podniesienia dzielności Dunaju jako drogi wodnej.

Podobnie przeprowadzano regulację Dunaju w obrębie Węgry, gdzie Dunaj jest już potężną rzeką, lecz tu największą trudność stanowiła partja od Żelaznej Bramy aż do Drenkowy i Moldowy, gdzie na 100 km. długości istnieją liczne szypoty (katarakty). Roboty mające na celu regulację szypotów przeprowadzone przez Węgry, a polegające na rozsadzaniu skał w łóżysku i wykonaniu w łóżysku głębszego kanału 60 m szerokości, oraz ograniczeniu łóżyska w pewnych miejscach tamami równoległemi celem koncentracji, nie poprawiły warunków żeglugi w wystarczającej mierze i będą tu jeszcze potrzebne dalsze ro-

¹⁾ Die Donau in Oberösterreich. Gr. Lichterfelde 1909.

boty. Na innych partjach potrzebne jest przeprowadzenie regulacji na małą wodę.

Pierwszy projekt systematycznej regulacji Sekwany pochodzi z roku 1844, wykonano go na podstawie ustawy z roku 1837. Pierwsze roboty regulacyjne na Rodanie wykonano już w latach 1860 do 1878 — miały one jednak za zadanie przeważnie tylko ochronę przed wylewami — systematyczną regulację rozpoczęto dopiero na podstawie ustawy z roku 1878. Garonnę i Loarę uregulowano w latach sześćdziesiątych, jakkolwiek początki regulacji tych rzek sięgają pierwszych dziesiątek lat 19 wieku.

W łączności z robotami regulacyjnymi omówimy w dalszym ciągu także zabudowanie potoków górskich, mające na celu ustalenie ich łożyska, stoków ich otaczających, oraz zalesienie ich dorzecza, przez które to roboty uzyskuje się ochronę dalszego biegu rzek przed przeladowaniem materiałem ruchomym (rumowiskiem) nanoszonym z góry. Podobnie omówimy zwięźle drugą grupę robót pokrewnych, a mianowicie obwałowania rzek, których celem jest ochrona od powodzi.

W nowszych czasach powstał pomysł usunięcia wylewów przez budowę zbiorników, t. z. zbiorników retencyjnych zamkniętych przegradami dolin, zatrzymujących wodę przy stanach wysokich, a oddających ją stopniowo po przejściu wezbrania. Takie zbiorniki mają także ważne znaczenie, o ile chodzi o powiększenie odpływu potoków i rzek przy stanach niskich, w celu poprawy żeglugi.

Do robót wykraczających poza zakres regulacji należą t. z. kanalizacje rzek wykonywane w celach żeglugi, celem przemiany rzeki stosunkowo mniejszej, nie posiadającej warunków do większej żeglugi, na drogę wodną w większym stylu. Kanalizacja¹⁾ polega na spiętrzeniu niskich stanów wody zapomocą szeregu jazów, postępujących po sobie w odstępach kilku kilometrów; jazy te spiętrzając wodę wytwarzają większe głębokości i zmniejszają chyżość wody z korzyścią dla żeglugi. Statki płynące rzeką pokonają stopnie wytworzone przez jazy zapomocą kanałów bocznych i śluz komorowych.

W wiekach dawniejszych przeprowadzano i w Polsce prace na rzekach, jednak podobnie jak w całej Europie miały one znaczenie lokalne i polegały na ubezpieczeniu brzegów, wykonaniu przekopów celem usunięcia zbyt ostrych krzywizn, oraz na czyszczeniu koryta rzeki w celu poprawy żeglugi i spławu, a to przez usuwanie przeszkód, kłód drzewa, wielkich kamieni, resztek śluz i jazów tamujących żeglugę i innych budowli niedogodnych dla żeglugi. Wtedy kiedy w krajach zachodnich Europy, t. j. na przełomie 18 i 19 wieku zrozumiano i uznano potrzebę

¹⁾ Patrz autora: „Budowa jazów“, Lwów 1920.

systematycznej pracy nad regulacją rzek, również i w Polsce byli ludzie, którzy zdawali sobie dokładnie sprawę z ważności rzeczy i znakomicie rozumieli cele regulacji rzek, jak o tem świadczą słowa współczesnego pisarza¹⁾:

„Trafia się niekiedy, że kraj ma mnóstwo rzek, które albo przez położenie swoje, albo przez nierozwagę samych ludzi, nietylko się stają nieużytecznymi do spławów, ale nadto szkodzą dobru pospolitemu. Przy nieporządnym swym biegu, albo się wylewają, gdzie nie są potrzebne, albo zdradnie niszczą najpiękniejsze owoce prac ludzkich. W takim kraju prócz ułatwienia odbytu na płody, mieszkańcy inne jeszcze potężniejsze mają pobudki do urządzenia spławów. Przez ten bowiem środek nietylko się uwalniają od spustoszeń na jakie są wystawieni, ale nadto często bardzo mogą sobie przyczynić nowych źródeł obfitych dochodów. Za ścieśnieniem koryta, za skupieniem wód, za uprzątnięciem zawad, tam, jazów, ułatwiony odpływ osusza najczęściej rozległe przestrzenie najurodzajniejszej ziemi, leżącej bez użytku w bagnach i strugach. Tam gdzie prócz samych gadów, żadne stworzenie żyjące zbliżyć się wprzód nie śmiało, rosną potem bujne kłosa i woniejące kwiaty; tam gdzie pło-
nem obciążone zagony co chwila wystawione były na zniszczenie, ubogi rolnik swobodnie potem zbiera swoje żniwo“.

„Ile ułatwienie odpływu wód zatamowanych przyczynia się do pomnożenia źródeł krajowych i wartości ich płodów, tyle jeszcze jest potrzebne dla samej wygody i zdrowia“.

„Natura wszędzie kraj nasz opatrzyła w rzeki sposobne do spławu i żeglugi, od nas przeto samych zależy korzystać z gotowych jej do-
brodziejstw“.

„Pomiędzy licznymi drugiego, a nawet trzeciego rzędu rzekami kraju naszego mało jest takich, któreby pod panowaniem niewygasłej pamięci domu Jagiellońskiego nie były albo z dawniejszych już czasów spławne, albo za jego staraniem usposobione do tego użytku. Xiążęta ci tak byli troskliwymi o ten przedmiot dobra i wygody publicznej, jak o uszczęśliwienie i bezpieczeństwo swoich poddanych. Nikt wówczas nie śmiał sobie wyłącznego rościć prawa do koryta rzeki, nikt bezkarnie nie mógł tamować jej biegu, lub wybierać opłaty i wszyscy porówno z niej korzystali“.

„Późniejsze wieki zniszczyły zbawienne urządzenia najlepszych Monarchów; naród zaniedbał utartą drogą, która go niegdyś prowadziła do stanu kwitnącego“.

„Wisła, ta potężna żyła ziemi polskiej, przedzielając dzisiejsze kraje Księstwa Warszawskiego na wielkie dwie połowy, na wschodnią

¹⁾ Surowiecki „O rzekach i spławach“ Warszawa 1811.

i zachodnią, jest głównym splawem ich płodów do morza, a stamtąd do najodleglejszych krain świata. Z obu stron wylewa się do niej mnóstwo rzek drugiego i trzeciego rzędu, które w umiarkowanych od siebie odległościach, tak szczęśliwie w poprzek przerzynają obiedwie połowy, że z każdej najmniejszej ich części mogłyby tam być staczane wszelkie zapasy na odbycie“.

„Te nieoszacowane drogi nie są ani urojone, ani niepodobne, każda z nich udeptana była za złotych wieków przez przemysłnego w swobodzie Polaka. Odgarnijmy muły, wytnijmy krzaki, wyrwijmy chwasty, a wszędzie znajdziemy ślady ojców naszych, wszędzie ich duch przewodniczyć nam będzie. Nietylko z prawa i urzędzenia Xiążąt Jagiellońskich, ale same dokumenta miejscowe i zabytki dawnych służ świadczą jeszcze, że każda z wymienionych wyżej rzek była publiczną, że spławiała mnóstwo płodów i statków kupieckich“.

W epoce poprzedniej, obejmującej najsmutniejsze czasy istnienia państwa polskiego, za Stanisława Augusta, zajmowano się żywo sprawą poprawy rzek celem ich usplawnienia. „Komisja skarbowa koronna pilnowała, aby na rzekach splawnych nie stawiano młynów z groblami przeszkadzających żegludze, łożyła ciągle aż do r. 1772 koszt na utrzymanie w porządku Szpicy Montawskiej na Wiśle pod Gdańskiem¹⁾; w roku 1777 wyznaczyła 2000 złp. na ścieśnienie rzeki Pilicy zapomocą tam. Na Bugu, żeby wszystkie jazy i młyny uprzętnąć, komisja wydała dyspozycję, aby ich posesorowie byli niezwłocznie przed sąd zapozwani. Nakazano rewizję rzek i wysłanym oficjalistom dano ścisłą instrukcję. W roku 1788 inżyniera Mehlera z oficjalistą Kuszewskim wysłano znów na Bug z poleceniem, aby mierzyli głębokość wody na tej rzece co 50 lub 60 łokci, a w załomach części, aby wyszczególnili w swoim dzienniku szerokość rzeki, wysokość brzegów, wspór wody i zalewy, aby wpisali jak wielkie wrota w młynach i służach, czy nie przeszkadzają defluitacji? Za wzór podano Czackiego opis rzeki Nidy. Komisja uznała dalej potrzebę bicia tam dla uregulowania biegu Wisły przynajmniej pod Nowem Miastem-Korczynem i projekt swój z mapą przesłała sejmowi w r. 1791. Zsyłała też inżyniera Woytena na zrewidowanie portu przy mieście Kazimierzu nad Wisłą i żądała funduszu od Rady Nieustającej. Na podstawie Uchwały sejmu konwokacyjnego prowadzono roboty celem zwężenia koryta Wisły pod Warszawą od strony Pragi²⁾.

Jak to już poprzednio powiedziano, systematyczną regulację rzek przeprowadzono na Zachodzie w wieku 19, największą część robót wy-

¹⁾ Rozdział Wisły i Nogatu.

²⁾ T. Korzon „Wewnętrzne dzieje Polski za Stanisława Augusta“. Kraków—Warszawa, wyd. II 1897.

konano jednak popiero w drugiej połowie tego stulecia. Były to zatem już czasy, kiedy Polska nie miała samodzielnego bytu, a gospodarstwem wodnym zajęły się państwa zaborcze. Plon przeszło stuletniej działalności tych państw na polu regulacji rzek na ziemiach polskich nie był równomierny; przedstawimy go tu pokrótce.

Administracja pruska zdziałała jeszcze stosunkowo najwięcej; między innymi uregulowano Wisłę na średnią wodę na całej długości od granicy Królestwa Polskiego aż do ujścia, Wartę od Poznania do ujścia do Odry, Noteć i szereg rzek mniejszych, nadto szereg rzek skanalizowano, oraz wykonano wały ochronne. W zaborze austriackim rozpoczęto regulować Wisłę od roku 1864, na parti granicznej na podstawie konwencji z rządem rosyjskim, na większą skalę zaczęto jednak budować dopiero po roku 1890. Roboty te nie są ukończone; na całej przestrzeni wykonano dotąd około 50% potrzebnych budowli, a powodem było to, że fundusze były niewystarczające, nadto w parti granicznej rząd rosyjski robót programem objętych przeważnie nie wykonywał. Wspólnie z rządem pruskim uregulowano Przemszę poniżej Mysłowic, nadto prowadzono regulację Dniestru i dolnych biegów ważniejszych dopływów Wisły i Dniestru, postęp jednak był słaby, gdyż fundusze budowlane były niewielkie. Równocześnie z rządem regulował samorząd krajowy małopolski rzeki mniejsze, z których wymienić należy regulację Białej pobocznej Dunajca jako robotę zupełnie udaną i ukończoną. Władze samorządowe wykonały również obwałowania większych rzek na znacznych przestrzeniach.

Akcja regulacji rzek w Małopolsce wzmogła się znacznie po wydaniu w r. 1901 ustawy o budowie dróg wodnych i regulacji rzek. Budżet wodny małopolski doszedł do kwoty kilkunastu milionów koron rocznie, skutkiem czego rozpoczęto bardzo żywą akcję budowlaną przedewszystkiem na rzekach górskich, dopływach Wisły i Dniestru, oraz na potokach górskich; akcja ta jednak została z powodu wojny przerwana.

Jakkolwiek roboty regulacyjne w zaborze austriackim na wielu rzekach są zaledwie w stadjum początkowym, a tylko na niektórych osiągnięto już zamierzony cel, to jednak korzystnym było to, że roboty wykonywali wyłącznie inżynierowie Polacy i że skutkiem tego można było w tym dziale wykształcić wielką liczbę sił fachowych. Pozatem studja i pomiary wykonane w celu sporządzenia projektów regulacyjnych, przyczyniły się do poznania przyrody rzek małopolskich¹⁾.

Najgorzej stała sprawa regulacji rzek w zaborze rosyjskim; najwięcej jeszcze stosunkowo wykonano na granicznej przestrzeni Wisły od Niepołomic do Zawichosta, pozatem to co zrobiono na Wiśle i innych

¹⁾ Patrz autora „Regulacja Wisły“ w cyklu „Monografia Wisły“ Warszawa 1920.

rzekach nie wykraczało poza charakter robót lokalnych, z których i tak prawie nic nie zostało. Projekt regulacji Wisły z lat siedmdziesiątych nie został zrealizowany, wykonano tylko budowle na krótkich partjach, między innymi na 11 kilometrowej przestrzeni pod Warszawą, głównie celem zabezpieczenia tamtejszego wodociągu.

Obecnie po uzyskaniu samodzielności politycznej musimy przystąpić do wielkiego zadania regulacji rzek, a spełnić je będzie można poświęcając wiele pracy, czasu i środków materialnych. Roboty regulacyjne wymagają znacznych kosztów, dlatego też przekraczają siły poszczególnych jednostek i mogą być wykonane tylko przez instytucje zbiorowe, a więc przez spółki, a przede wszystkim przez Państwo. Należą one do robót inwestycyjnych, przy których wkłady nie od razu się rentują, lecz z których kraj odnosi w miarę ich postępu coraz to większe korzyści. W krajach kulturalnych i dobrze zagospodarowanych włożono wielkie fundusze publiczne w budowę regulacyjne uważając, że jest to znakomite zużytkowanie i ulokowanie zasobów państwowych.

II. Opis właściwości wód płynących.

Chcąc zrozumieć cele regulacji rzek, a następnie wartość i doniosłość środków, które mają służyć do usunięcia szkodliwych działań wód płynących, trzeba poznać ich właściwości.

Właściwości te będą różne; niepodobna rzek podciągnąć pod pewien szablon, nawet rzeki należące do tego samego dorzecza i znajdujące się w warunkach dość podobnych, mają nieraz bardzo odrębne cechy, których studjowanie dla celów praktycznych okazuje się koniecznem.

Na tem miejscu dotkniemy tylko punktów, które mniej więcej dotyczą wszystkich rzek, gdyż wszystkie rzeki, począwszy od źródeł, a skończywszy na ujściu, podlegają podobnym przemianom.

Przy każdej rzece odróżnimy przedewszystkiem dolinę rzeki (Thal, vallée) i jej łożysko (Bett, lit). Doliną rzeki nazwiemy obszar rozłożony po obu jej brzegach, którego budowa obecna jest wynikiem działania rzeki w ciągu wieków. Czynność rzeki objawia się po pierwsze jako prowadzenie wody, która skutkiem naturalnego spadku łożyska dąży w dół, powtóre jako działanie erozyjne, polegające na tem, że woda płynąca skutkiem swej siły żywej posiada zdolność rozluźniania i unoszenia materiałów ruchomych w dorzeczu się znajdujących, jak kamieni, żwiru, piasku i namulów. Trzecią wreszcie formą czynności rzeki jest osadzanie materiału ruchomego w obrębie łożyska, wynikające z tego, że woda unosząca ten materiał skutkiem zmniejszenia swej siły żywej nie może go dalej w dół posuwać i składa go w pewnych partjach łożyska.

Łożyskiem rzeki nazwiemy najniższą część jej doliny, przez którą stale lub czasowo przepływa woda. Ponieważ objętości przepływu w rzece, a zatem i stany wody są zmienne, więc przy stanach niskich mniejsza część łożyska zajęta będzie przez wodę, jak przy stanach wysokich. Z tego powodu odróżnić możemy łożysko małej, średniej i wysokiej wody. Część łożyska zajęta przez przeważną część roku przez wodę możemy nazwać właściwem łożyskiem, obustronne boczne części

łożyska, zalewane tylko przy wyższych stanach, nazwiemy obszarami zalewowymi (inundacyjnymi); obszary te ciągną się wzdłuż rzeki od granicy właściwego łożyska, aż do granic zalewu rzeki przy najwyższym stanie wody. Z uwagi na rzadkie występowanie najwyższych stanów wody i zmienność ich kulminacji, można jeszcze mówić o łożysku zwykłej wielkiej wody — takiej jaka się trafia mniej więcej co roku, odpowiadającej Q_3 w pojęciu Iszkowskiego¹⁾. Łožysko to ograniczone jest zazwyczaj stosunkowo wyraźnie wysokimi brzegami rzeki.

Jeżeli sięgniemy do tych miejsc, u których rzeki się rozpoczynają, to jest do ich źródeł i przypatrzymy się całemu biegowi rzeki, to zauważymy, że spadek rzeki w dół ciągle maleje, objętość wody zaś ciągle się zwiększa, skutkiem wzrostu zlewni, czyli dorzecza. Dlatego też w ogólnym opisie rzek rozróżnimy część pierwszą, w której rzeka jest jeszcze potokiem górskim, dalej bieg górny, średni i dolny. Biorąc pod uwagę wielką rzekę, nazwiemy ją w pierwszej części biegu rzeką górską, w ostatniej rzeką niziną; bieg średni stanowi partję przejściową. Granic tych partji rzek niepodobna ogólnie ściśle określić; pokąd rzekę daną nazwiemy rzeką górską, a odkąd niziną, zależy od jej spadków i od ilości wody odpływającej w łożysku przy stanach długotrwałych. Dla orientacji możemy przyjąć, że normalnie potoki górskie mają spadki od kilkudziesięciu do kilku metrów na kilometr, rzeki górskie zazwyczaj spadki wynoszące od jednego do kilku metrów na kilometr, rzeki nizinne spadki małe, powiedzmy mniejsze jak 0,5 lub 0,4 m. na kilometr. W górnych częściach rzek przeważa erozja, w dolnych zaś osadzanie materiału ruchomego — jak z dotychczasowego rozpatrywania wynika, łożyska rzeczne służą nietylko do przepływu wody, ale i materiału ruchomego, który ona unosi.

Potoki górskie. Potok górski (Wildbach, torrent) powstaje zazwyczaj z całego szeregu strug, źródeł, wypływających na obszarze złożonym z pokładów różnych co do wieku i petrograficznego składu. Działanie atmosfery, choć powolne, w ciągu długiego czasu rozluźnia nawet najtwardsze skały. Działanie to przyspiesza woda zamarzająca w szczelinach skalnych przy niskich ciepłotach. Powietrze i woda mogą przy ciągłych zmianach ciepłoty rozluźniać nawet najtwardsze skały i wytwarzać materiał ruchomy, który porywany przez wodę dostaje się do dolin. Tu zatem u źródeł jest początek ruchu materiału rzecznoego, ruch ten istnieje i dalej, jednak charakter tego zjawiska się zmienia. Zjawiskiem równoczesnym jest to, że rzeka unosząc materiał wytwarza sobie dolinę, wyłabiając koryto w terenie, po którym płynie.

¹⁾ Beitrag zur Berechnung der Niedrigst-Normal- und Höchstwassermengen, auf Grund charakterischer Merkmale der Flussgebiete. Ztsch. d. Ing. u. Arch. Ver. Wien 1886.

„Podczas gdy w nizinach wykonują rzeki swą czynność niwelacyjną przez poruszanie tylko piasku i namułu, pracują w górach gwałtowne wodospady, lawiny z ziemi i kamienia, pochody rumowiska, złomy skalne i tysiące innych zjawisk nad wielkiem dziełem zniszczenia i wytworzenia nowego życia na gruzach przeszłości“¹⁾. Z tych słów wynika, że potoki górskie skutkiem wielkiej siły żywej wody w czasie wezbrań, silnej erozji, stanowią element, który w górach sprawia zniszczenie, a koryta rzeczne przeładowuje materiałem ruchomym. Jeżeli wyobrazimy sobie pewną masę wody poruszającą się przy znacznym spadku łożyska, to skutkiem nabytej energii może ona wykonać pracę unoszenia materiału ruchomego i to tem większą, im większy jest spadek i głębokość wody. Ponieważ, postępując w dół, spadek rzeki ciągle się zmniejsza, więc zmniejsza się zarazem i siła poruszająca, rzeka nie potrafi unieść tej ilości materiału i nadmiar musi pozostawić w korycie.

Potok górski charakteryzuje się dużym spadkiem i szybkimi i gwałtownymi wezbraniem, wynikającymi z silnych spadów, oraz zdolnością poruszania wielkich ilości rumowiska.

Wiadomo, że w górach panują bardzo intensywne opady; i tak wiemy, że warstwy roczne opadów dochodzą w równinach w Polsce tylko do kilkuset milimetrów, natomiast w Karpatach dochodzą do 1800 $\frac{m}{m}$, a w Tatrach do 2000 $\frac{m}{m}$. Znaczną część tych opadów dają deszcze nawalne, krótkotrwałe, wywołując wezbrania w górach.

Te intensywne opady wywołują gwałtowne wezbrania o szybkim i silnym wzroście stanu wody. W potoku górskim stan wody nieraz w ciągu kilku godzin wzrasta o kilka metrów i w tym kierunku możemy podać kilka ekstremów. De Mas podaje²⁾, że l'Ardeche, poboczna Rodanu osiągnęła w r. 1891 stan 17,3 m. ponad stan normalny, a Dumas³⁾ stwierdza, że rzeczka Chagres na przesmyku panamskim wzbiera w porze dżdżystej w ciągu doby o 12 metrów.

Podane tu właściwości występują w różnym stopniu u potoków górskich, które też charakteryzować może większa lub mniejsza dzikość.

Zasadniczo, bieg potoku górskiego podzielić można na trzy części o odrębnym charakterze; części te nazwiemy górną, środkową i dolną.

W części pierwszej, górnej łączą się źródlika, które zbiorowo wytwarzają potok górski. W obszarze tym otoczonym stromymi stokami górkami wytwarzają się liczne ścieki, które spływając po stokach wytwarzają liczne wyżłobienia. Zjawisko to w połączeniu ze zmianami ciepłoty i wietrzeniem skał powoduje, że masy skalne rozluźnione

1) Weber „Der Gebirgswasserbau im Alpenen—Etsch—Becken“.

2) Rivières à courant libre, Paris 1899.

3) „Le Canal de Panama“ Annales des ponts et chaussées II, 1912.

zesuwają się w dół. Ruchy takie, zależnie od rodzaju skał, ich stopnia wytrzymałości i mniejszej lub większej odporności, różny mają charakter; stoki pokryte bujną roślinnością, a więc dobrze zalesione, lub przy łagodniejszych spadkach przynajmniej zamurawione, opierają się temu działaniu, stoki nagie ze skał twardych i wytrzymałych, powiedzmy np. ze skał pierwotnych, również mniej ulegają temu działaniu, natomiast stoki ze skał łatwo wietrzejących wytwarzają mnóstwo luźnego materiału, który zesuwa się w doliny wytwarzając nieraz całe lawiny rumowiska. W krajach alpejskich lawiny takie nie są rzadkiem zjawiskiem¹⁾, w obszarach Karpat występują rzadziej, choć postępująca dewastacja lasów może spowodować pogorszenie warunków. Tak w górskim dorzeczu Wisły, jak i Dniestru, mamy już znaczne obszary pozabawione lasów, wytwarzające wielkie masy rumowiska. Pamiętną jest katastrofa jaka przed kilkunastu laty nastąpiła w okolicy Żywca, w której szereg domostw został zburzony i zasypany rumowiskiem.

Obszar źródlisk, który można nazwać z biołowiskiem, jest zatem miejscem z którego potok górski, mający tu nadmiar siły poruszającej, unosi rumowisko w dół.

Średnia część potoku górskiego, którą możemy nazwać szyją, zaczyna się tam, gdzie potok skutkiem połączenia źródlisk posiada przy wezbraniach wielką siłę, gdyż ma już znaczną objętość wody i duży spadek. Unosi on zatem w tej części wielką ilość rumowiska, a woda, tudzież kamienie i ostry piasek trąc o dno potoku, wyłabiają coraz głębsze koryto.

Bieg potoku w tej części nie jest prosty, lecz kierunki się ciągle zmieniają, potok serpentynuje; bezwładna masa wody poruszająca się przy wezbraniach ma tę właściwość, że stara się każdy napotkany opór usunąć, a ponieważ potok niema regularnego i ustalonego koryta, więc zbliża się raz do jednego, raz do drugiego stoku, podmywa i wyłabia ich stopy i powoduje obrywanie się ścian, zesuwanie materiału, a zatem wytwarza nowe ruchome masy. Praca potoku może postąpić tak daleko, że naruszy równowagę całych gór. W tej części więc potok pogłębia i rozszerza koryto.

Podczas posuchy źródła zanikają, niewielkie ich odpływy giną wśród pokładów rumowiska — gdy zaś spadną w dorzeczu potoku silne deszcze — wnet potok gwałtownie zbiera i rozpoczyna dalszą niszczącą pracę. Stąd wynika, że ruch materiału nie jest ciągły, lecz chwilowy, odbywa się on przeważnie podczas wezbrań, wyjątkowo jednak może takie zjawisko i w czasie normalnych stanów nastąpić, jeżeli na dolnym zwięzłym pokładzie

1) Zwane w Tyrolu Murren, lub w Szwajcarii Rüfen.

rumowiska znajduje się pokład górny luźniejszy, a woda wnikająca w głąb zmniejsza tarcie między warstwami.

W dalszym przebiegu dostaje się potok górski do miejsca, gdzie spadek jego znacznie się zmniejsza; jest to przy ujściu potoku do większego ścieku odbiorczego (recipienta), gdzie kończy się dolina górską. Spadek potoku nagle się łamie, potok niema już tej siły poruszającej, a zebrany materiał musi w tem miejscu pozostawić. Obszar ten możemy nazwać obszarem składu, lub stożkiem, gdyż forma terenu jaka tu powstaje skutkiem gromadzenia się mas rumowiska przedstawia się w ogólnych zarysach jako stożek. Materiał ten bowiem wypełniając kąć wklęsły powstały przez załom spadku, gromadzi się najwięcej w środku zasypanyego obszaru, tworząc tu najwięcej wzniesioną tworzącą stożka, po obu zaś stronach powierzchnia naniosów opada tak, że przekroje poprzeczne do kierunku biegu potoku przedstawiają krzywe ku górze wypukłe, zgodne w ogólnych zarysach z przekrojami stożkowymi. Z biegiem czasu stożek podwyższa się i rozszerza; ściek nie ma tu wybitnego koryta, gdyż aby się ono wytworzyło, potrzeba wklęsłych kształtów, tu zaś są kształty wypukłe, co powoduje, że potok często zmienia położenie, dzieli się na ramiona, a cały obszar stożka podzielony jest starymi korytami. Stożki takie mogą być bardzo długie, nieraz na kilka i kilkanaście kilometrów, czasami tracą charakter stożków usypowych, a przekształcają się w pojęzyczne, podłużne zwały rumowiska.

Taki stożek może sięgać aż do koryta ścieku odbiorczego i wypiera go w takim razie ku przeciwnej stronie, wytwarzając nieregularności w jego biegu, przyczem na obszarze tym mogą powstać bagniska.

Z krótkiego opisu potoków górskich można zrozumieć ich niszczące działanie; woda spływając ze znaczną chyżością po stokach górskich, splukuje ziemię urodzajną; najpiękniejsze łąki znikają, a na ich miejscu widnieje naga skała. Usuwiska stoków wywołane erozją i pochody rumowiska powstające skutkiem spiętrzenia wody zatrzymanej przez rumowisko powodują, że nieraz całe miejscowości są zagrożone, komunikacje, a więc drogi, koleje i mosty, dalej budynki i wszelkie budowle ubezpieczające zostają zniszczone żywiołową siłą, a wielkie niebezpieczeństwo zagraża miejscowościom położonym w obrębie stożka. Na obszarach dawnych stożków powstały od dawien dawna osady i te są w największym niebezpieczeństwie; potok każdej chwili może się wdrzeć w jedno ze swych dawnych łożysk i zniszczyć dzieła kultury ludzkiej. Obszary te nieraz bardzo urodzajne, przy jednym wezbraniu ulegają zupełnemu zniszczeniu.

Obszary lodowców, jak to powszechnie stwierdzono, wpływają łagodząco na działanie potoków górskich, gdyż zatrzymują opady. Tak na przykład Rodan mający w swem górskim dorzeczu około 25% lodowców,

posiada wielką wodę trzy razy mniejszą jak Ren, posiadający w górach tylko 4,6% lodowców.

Rzeki (rivière, fleuve, Fluss, Strom). Doliny rzek stanowiąc teren ich pracy w ciągu wieków, pokryte są materiałem naniesionym przez rzekę w różnych czasach. Obszar doliny rzeki górskiej ograniczony zazwyczaj wybitnymi stokami wyżyn lub pasm górskich, rzeki nizinnej zaś mniej wybitnymi wzniesieniami, może być nieraz bardzo rozległy. Rozległość ta mierzona w przekroju poprzecznym doliny jest zwykle znacznie większa u rzek nizinnych, jak u rzek górskich. Jednak i doliny rzek górskich osiągają nieraz bardzo znaczne szerokości, jeżeli warunki geologiczne i petrograficzne sprzyjają erozyjnemu i niwelującemu działaniu rzeki. Miejscami znowu doliny się zwężają, góry lub stoki wyżyn otaczających dolinę zbliżają się ku łożysku rzeki, a dolina ma w tem miejscu kształt nieraz bardzo wąskiego przesmyku, niejako przerwy wyżłobionej przez rzekę w grzbiecie lub fałdzie górskim. Takie przejścia doliny z miejsc rozszerzonych do miejsc zwężonych są przy rzekach górskich powszechnie, natomiast przy wielkich rzekach nizinnych występują wyjątkowo (Dunaj pod Kazan, Rodan pod Pierre Chatel i St. Alban). Czasem przy takim zwężeniu skały sięgają aż do dna rzeki i występują nieraz swemi ostreimi kończynami ponad stan małej wody. Rzeką ma w takim miejscu skaliste i nierówne dno; powstają tu t. z. szypoty, to jest partje o zwiększonym spadku, niejednostajnym przepływie i licznych wirach (Dunajec Pieniny, Prut i i.). Także szypoty wyjątkowo występują i na wielkich rzekach (Dunaj pod Żelazną Bramą, Ren dolny pod Bingen, Rodan „Chutes du Sault“). Miejsca o skalistych stokach i skalistem dnie stanowią punkty stałe rzeki, tak pod względem jej ułożenia sytuacyjnego, jak i pod względem położenia co do wysokości. Można powiedzieć, że punkty takie są również punktami stałymi profilu podłużnego rzeki. Pozatem jednak rzeki w stanie przyrody, których bieg nie został ręką ludzką ustalony, zmieniają swe położenie w obu kierunkach, a mianowicie raz ku jednemu, to znowu ku drugiemu stokowi doliny, ponadto podnoszą lub zniżają łożysko w miarę tego, czy chwilowo przeważa osadzanie materiału unoszonego, czy też erozja w łożysku. W ogólności spadek podłużny doliny zgadza się ze spadkiem łożyska rzeki (zwierciadła wody), w pewnych jednak partjach mogą być i znaczne różnice, objawiające się w tem, że spadek łożyska jest zazwyczaj więcej wyrównany, natomiast dolina może opadać mniej jednostajnie, nawet w stopniach.

Łożysko rzeki (Flussbett, lit d'un fleuve, d'une rivière) jest zatem częścią doliny, która bezpośrednio podlega działaniu wody; odpływają niem wody opadowe z dorzecza, a także i wody gruntowe, których ilość w porównaniu z pierwszymi jest jednak nieznaczna.

Według Lavale'a¹⁾ wielkość rzek jest zawisła od ilości wody, jaka rzeką w ciągu roku odpływa. Wielkość odpływu rzek zawisła jest znowu od wielkości dorzecza i wysokości opadów atmosferycznych.

Właściwości danej rzeki łącznie wzięte nazywamy charakterem rzeki (Verfassung, régime)²⁾, a głównymi znamionami jego są:

- a) Wielkość odpływu i wahania ilości odpływu w ciągu roku,
- b) Wielkość wahań stanów wód, oraz szybkość podnoszenia się i opadania stanów wody,
- c) Stosunek objętości odpływającej przy stanach normalnych, tzn. stanach długotrwałych, do objętości odpływających przy stanach wysokich,
- d) Kształt profilu podłużnego rzeki, spadki łożyska,
- e) Rozwinięcie rzeki w sytuacji, kształty naturalnych krzywizn,
- f) Kształty przekrojów poprzecznych, największe i średnie głębokości,
- g) Materiał ruchomy, jego ruch w łożysku.

Właściwości wyszczególnione tu pod a—c omówimy w następującym ustępie.

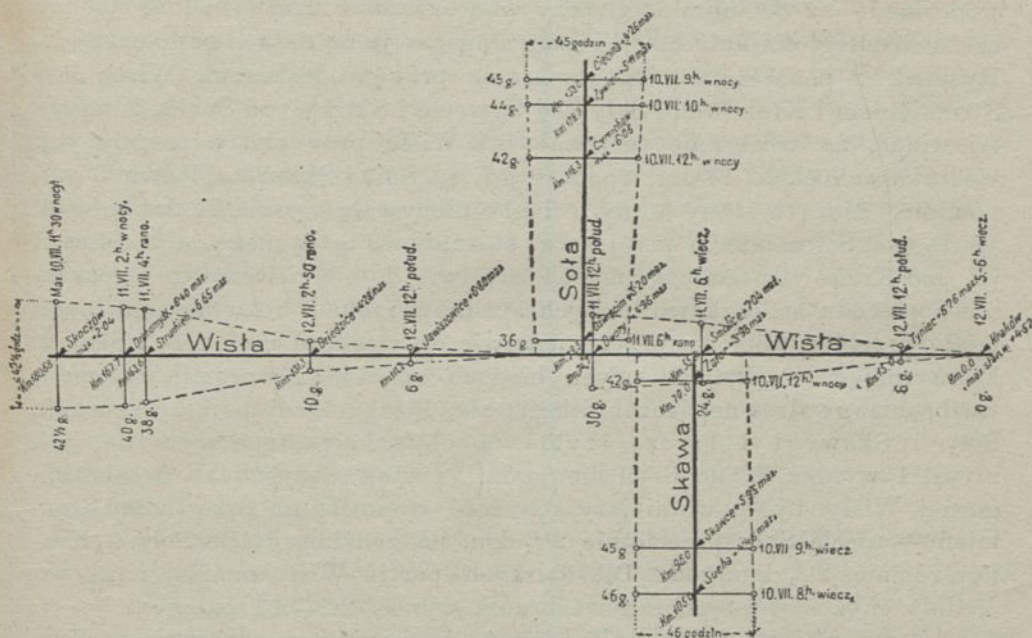
1. Wahania stanów wód (Wasserstand, altitude) i objętości odpływu na rzekach (Abflussmenge, débit).

Z połączenia całego szeregu potoków górskich powstaje rzeka górską; odznacza się ona znacznymi jeszcze spadkami, ale już większymi objętościami odpływu. Podczas gdy w łożyskach potoków górskich w czasie posuchy odpływu zupełnie niema, albo jest on tylko bardzo nieznaczny, w łożyskach rzek górskich mamy już zawsze pewien większy odpływ. Zresztą co do rozgraniczenia pokąd sięga potok górski, a odkąd się zaczyna rzeka górską, niema ustalonych zasad. Rzeką niziną nazwiemy rzekę płynącą na obszarach równin; charakteryzuje ją przedewszystkiem mały spadek łożyska. Rzeki górskie mają jeszcze wiele cech wspólnych z potokami górskimi i są pod ich wpływem; charakteryzują je gwałtowne i szybkie wezbrania, a w dalszym ciągu niemniej szybkie opadanie stanów wód. Z powodu znacznej jeszcze siły poruszającej wody, rzeki górskie toczą przy wyższych stanach materiał ruchomy gruby; mamy tu jeszcze gruby żwir i kamienie, prócz drobnego żwiru, piasku i namułu. Rzeki nizinne poruszają już tylko piasek i namuł, gdyż ich siła poruszająca jest już mniejsza. Wezbrania (Hochwasser, crue) rzek nizinnych są długotrwałe, podnoszenie się i opadanie stanów wód jest powolne. Nadto szybkość postępu fali wezbrania na rzekach górskich jest znacznie

¹⁾ Georg Lavale „Unsere natürlichen Wasserläufe“, wydane przez Jakóba Rappa 1883. Weilheim.

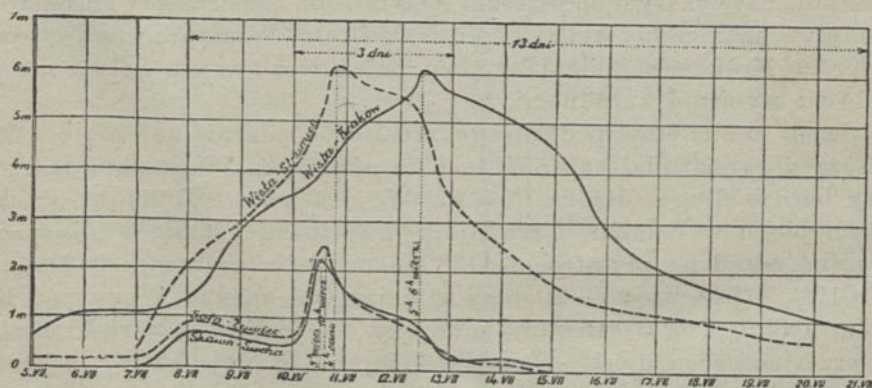
²⁾ Wyrazy te określają właściwie przyrodzone warunki rzeki łącznie wzięte.

większa, jak na nizinnych. Jako przykład weźmy wezbranie górnej Wisły w r. 1903. obserwowane na wodoskazach Wisły, Soly i Skawy



Rys. 1.

(rys. 1 i 2)¹⁾. Na rys. 1 oznaczone są wodoskazy tych rzek według ich rzeczywistej odległości od wodoskazu w Krakowie, nadto podane są



Rys. 2.

¹⁾ Patrz „Przegląd techniczny“. Warszawa 1909. Art. autora: „Stan sprawy zapobiegania wylewom rzek zapomocą zbiorników“.

czasu kulminacji stanów wody przy każdym wodoskaziu. Oprócz tego oznaczono, ile czasu upłynęło od kulminacji stanu wody przy każdym wodoskaziu aż do kulminacji przy wodoskaziu w Krakowie, to znaczy czasowe odległości kulminacji i uzmysłowiono je na liniach poprzecznych. Rysunek 2 podaje przebieg wezbrania przy wodoskazach Wisły pod Strumieniem i Krakowem, Soły pod Żywcem i Skawy pod Suchą. Z figury tej widać, że wezbranie to trwało na Wiśle przy obu wspomnianych wodoskazach około 14 dni, podczas gdy na Sole i Skawie zaledwie 3 dni, pomimo, że i tu stany wody osiągnęły niebywałą wysokość. Jakkolwiek Wisła pod Strumieniem jest jeszcze stosunkowo małą rzeką, a przestrzeń jej pod Krakowem zaliczyć można zaledwie do biegu średniego, wezbranie z powodu stosunkowo małych spadków rzeki i rozwiniętego biegu miało przebieg długi, w przeciwieństwie do wezbrań rzek Soły i Skawy, które mając w górnych swych biegach spadki kilkopromilowe, mają wezbrania gwałtowne, lecz krótkotrwałe. Postęp szczytu fali wezbrania Soły i Skawy był bardzo szybki, a chyżość postępu wynosiła, jak z rys. 1 wynika, około 6—9 km./godz.; postęp szczytu fali wezbrania górnej Wisły był powolniejszy, chyżość wynosiła na przestrzeni Strumień — ujście Soły przeciętnie $2\frac{1}{2}$ km. na godzinę, ujście Soły — Kraków również $2\frac{1}{2}$ km./godz. Dla dalszych partji Wisły poniżej Krakowa średnia chyżość postępu fali wezbrania wynosi 2·2—3·4 km./godz.¹⁾

Z rysunków 1 i 2 widać również, że maximum wezbrania w Krakowie jest wywołane wezbraniem Soły, fala wezbrania górnej Wisły przyszła znacznie później, nie wywołała wybitniejszego maximum, lecz przedłużyła tylko wezbranie w Krakowie. Jest to zrozumiałe, jeżeli się uwzględni, że sekundowy odpływ wielkiej wody Soły ocenić można przy stanie najwyższym na przeszło 1000 m³/sek, podczas gdy górna Wisła ma odpływ maksymalny tylko około 500m³/sek. Wezbranie Skawy przeszło przez Kraków o jakie 17 godzin przed wezbraniem Soły i nie wywołało tu wybitnej kulminacji.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę rzeki wybitnie nizinne mające duże dorzecza a bardzo małe spadki, to zauważymy, że ich wezbrania trwają nieraz bardzo długo. Rzeka Cisa na Węgrzech po stosunkowo krótkim górnym biegu w pobliżu Tisza-Ujlak gwałtownie łamie swój spadek, który już odtąd na przestrzeni 1193 km. waha w granicach 0·052‰ do 0·017‰ (jest więc 7—20 razy mniejszy od spadku Wisły pod Krakowem (0·35‰), a 5—16 razy mniejszy od spadku tejże rzeki na długiej przestrzeni od ujścia Dunajca do ujścia Narwi (0·268‰). Obszar zalewowy Cisy posiada ogromną powierzchnię 11.950 km². Wezbra-

¹⁾ Pawłowski, „Prędkość fali wezbrania w górnym dorzeczu Wisły“. Lwów 1911, Czasop. techn.

nia trwają tu po kilka miesięcy, a przebieg fali wezbrania jest nader powolny¹⁾.

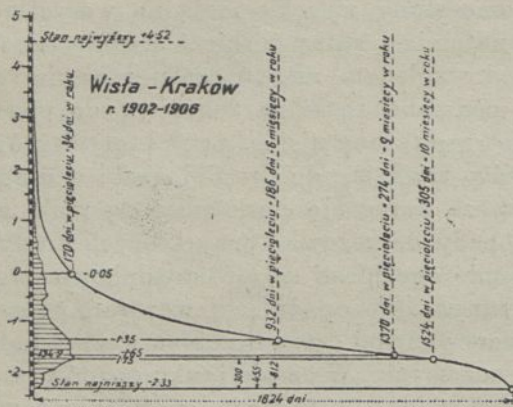
Ważniejsze jednak znaczenie z uwagi na regulacje rzek ma przebieg stanów niskich i średnich (Niedrig-Mittel-Wasserstand, eau basse, eau moyenne) na rzekach. Jak wiadomo stany wysokie mają na wszystkich rzekach charakter przejściowy, natomiast stany niskie i średnie trwają przez przeważną część roku. Pod względem znowu czasu trwania stanów niskich i średnich możemy podzielić rzeki na 2 grupy: do pierwszej zaliczymy rzeki mające drugotrwałe stany niskie, przy których stany średnie nie mają długich okresów trwania, do drugiej rzeki o długotrwałych stanach średnich. Pierwszą kategorię stanowią będą rzeki zasilane przede wszystkim przez opady deszczowe, przy których odpływ z topnienia śniegu spadłego w zimie ogranicza się do stosunkowo krótkiego okresu w miesiącach wiosennych. Po opadnięciu wezbrań wiosennych następują stany niskie, przerywane od czasu do czasu wezbraniem z powodu większych opadów deszczowych. W czasie braku opadów (najczęściej w drugiej połowie lata i w jesieni), a także w czasie dłuższych mrozów w zimie, u rzek zaś przepływających przez obszary bagien w ciągu lata, panować będą na tych rzekach stany najniższe (Niedrigstwasserstand, étiage), (rzeki karpackie). Do drugiej kategorii należą rzeki posiadające w górskich obszarach swych dorzeczy obszary wiecznych śniegów i lodowców, z których w okresie letnim skutkiem topnienia śniegów i lodów odpływają znaczne objętości wody, zasilające obficie łóżyska rzeczne (przeważna część rzek alpejskich). Przy tej grupie pola śniegowe i lodowce wpływają ujednostajniająco na odpływ; panującymi są stany średnie, odpływ z dorzecza przeliczony na jednostkę jego powierzchni nie spada nigdy do tak niskiej cyfry jak przy rzekach pierwszej grupy, nie mających w swem dorzeczu pól śniegowych i lodowców.

W celu porównania weźmy pod uwagę następujące rzeki: Wisłę pod Krakowem, Dniestr pod Haliczem, oraz Rodan w Szwajcarii pod Chèvres i zbadajmy przebieg stanów wody na tych rzekach w ciągu roku 1907, oraz w dłuższych okresach lat. Na rys. 3 i 4 wykreślono krzywe czasów trwania stanów wody przy wodoskazach: w Krakowie i Haliczu, nadto krzywe sumy czasów trwania dla tych wodoskazów²⁾. Z figur tych

¹⁾ Według De Mas'a („Rivières à courant libre“ Paris 1899) rzeki we Francji poza górami mają różnicę między małą a wielką wodą nie przekraczającą 8—10 m, jedynie tylko Garonna dochodzi do różnicy 10 m. Również we Włoszech Pad wznosi się do 10 m, Nil pod Cairem 7,4 m, a pod Assuanem (700 km. powyżej) 9 m. Mississippi przy spływie z Ohio pod Cairo około 16 m, podczas gdy pod N. Orleanem różnica ta redukuje się do 5 m. Wisła pod Krakowem ma różnicę między stanem niskim a najwyższym 7 m, pod Warszawą około 6,5 m, pod Montawską Szpicą 9,56 m.

²⁾ Według roczników Centralnego Biura hydrograficznego we Wiedniu.

widać, że przy obu wodoskazach panującymi stanami były stany niskie, zaś stany średnie tylko przejściowymi. Porównanie krzywych sumy czasów trwania stanów wody dla Krakowa i Halicza z okresu lat 1902—1906 i 1900—1906 nasuwałoby wniosek, że długotrwałe stany wody leżą

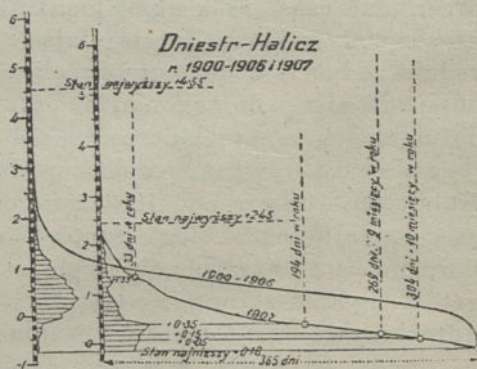


Rys. 3.

orientować się co do charakterystycznych stanów wód i ich czasów trwania według zestawień dla pojedynczych lat, jak dla okresów z szeregu lat.

Na rys. 5 zestawiono przebieg stanów wody Wisły pod Krakowem i Rodanu szwajcarskiego pod Siders i Chèvres w ciągu roku 1907¹⁾. Na pierwszy rzut oka widzimy znaczne różnice w obu wykresach, pierwszy wykazuje częste i znaczne wahania stanów wody, różnice między stanami niskimi i wysokimi są znacznie większe, długotrwałymi są tylko stany niskie; drugi zaś wykres wykazuje stany niskie tylko w okresie zimowym, natomiast w okresie letnim (6 miesięcy od kwietnia do września włącznie) mamy tu stany średnie.

Rodan mianowicie jest rzeką zasilaną w okresie letnim obficie odpływami z lodowców i pól śniegowych. Widzimy tu również mniejsze różnice między stanami niskimi a wysokimi i wogóle mniejszą zmienność

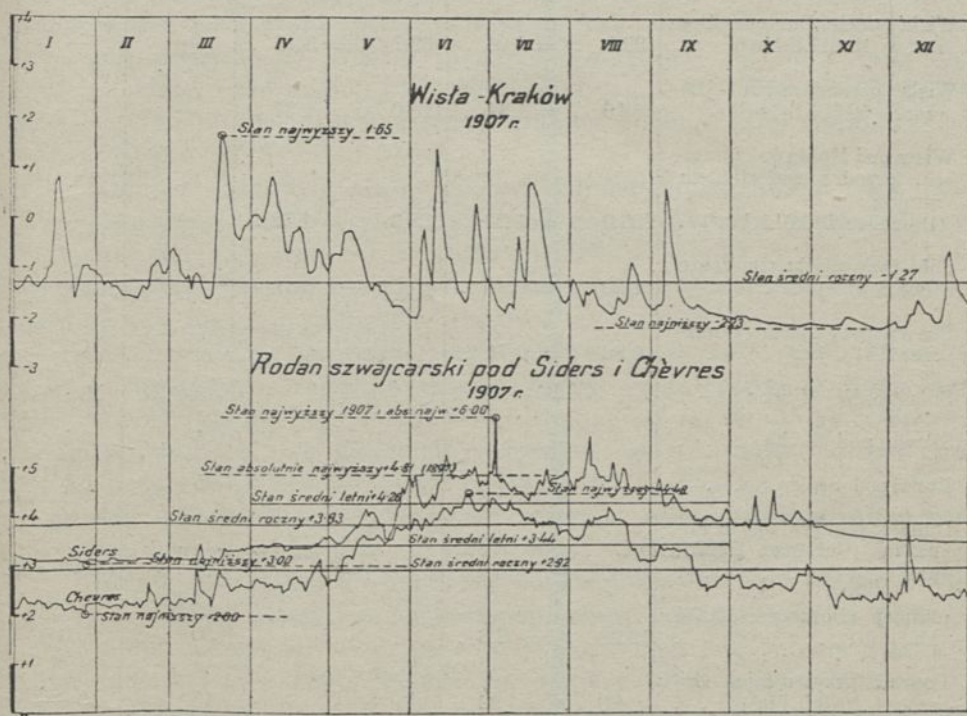


Rys. 4.

¹⁾ Graph. Darstellungen der schweizerischen hydrometrischen Beobachtungen, Bern 1908

stanów wody¹⁾. Panującymi, zwłaszcza w okresie letnim, są stany średnie. Stwierdzono powszechnie, że obszary lodowców wpływają łagodząco na zmienność stanów wody, jak to zresztą już zaznaczono przy omawianiu charakteru potoków górskich.

Podobny charakter jak rzeki karpackie posiadają np. także prawe dopływy Renu w Badeńskim wypływające z Czarnego Lasu; odpływy



Rys. 5.

są tu zmienne, a stany niskie długotrwałe. Natomiast przeważna część rzek bawarskich, szwajcarskich i francuskich wpływających z Alp, ma wybitny charakter rzek zaliczonych powyżej do grupy drugiej.

Różnica charakteru obu grup uwydatnia się także w ilości wody prowadzonej przy stanach normalnych i niskich.

¹⁾ Co do krzywej wodoskazu pod Chèvres, to niewątpliwie działa tu regulująco na odpływ także jezioro Genewskie, gdyż stacja wodoskazowa leży poniżej jeziora.

Tak naprzykład rzeki karpackie mają następujące odpływy :

R z e k a	Stan absolutnie najniższy	Stan średni niski	W o d a	
			9 ^o mie- sięczna	7 ^o mie- sięczna
Wisła pod Krakowem (Do- rzecze 8.245,6 km ²) . . .	20,6 m ³ /sek = 2,5 lt/z km ²	30,4 m ³ /sek = 3,7 lt/z km ²	—	—
Wisła poniżej Dunajca (Do- rzecze 19.917,8 km ²) . . .	39,0 „ = 1,96 „	62,7 „ = 3,15 „	—	—
Wisła poniżej Sanu (Do- rzecze 50.585,3 km ²) . . .	68,0 „ = 1,34 „	120,0 „ = 2,37 „	—	—
Wisła pod Montawską Szpi- cą, przed rozgałęzieniem ramion (Dorzecze 193.014 km ²) .	236,0 „ = 1,22 „	332,3 „ = 1,72 „	—	—
Soła przy ujściu (Dorzecze 1388,4 km ²)	1,30 „ = 0,94 „	—	—	—
Skawa przy ujściu (Dorze- cze 1151,0 km ²)	0,82 „ = 0,71 „	—	—	—
Soła poniżej Żywca . . .	—	—	8 m ³ /sek.	13 m ³ /sek.
Skawa pod Suchą	—	—	5 „	9,5 „
Raba pod Stróżą	—	—	5 „	8,5 „
Dunajec powyżej ujścia Po- pradu (Dorzecze 2227,9 km ²)	—	—	17 „	30,0 „
poniżej (Dorzecze 4307,4 km ²)	12,08 „ = 2,8 „	—	30 „	50,0 „
Poprad przy ujściu (Do- rzecze 2079,5 km ²) . . .	4,0 „ = 1,92 „	—	13 „	20,0 „
San przy ujściu (Dorzecze 16.869,8 km ²)	19 „ = 1,12 „	—	—	—
Dniestr pod Haliczem (Do- rzecze 14.658,7 km ²) . . .	14,7 „ = 1,0 „	—	—	—

Wogóle powiedzieć można, że z wyjątkiem górnej Wisły zasilanej obficie dopływami z Przemszy, Dunajca i Nidy, które to rzeki mają stosunkowo wydatniejsze dopływy, Dniestr i karpackie dopływy Wisły i Dniestru mają odpływ przy absolutnem minimum około 1 lt/sek. z km², a wartość ta przy niektórych z tych rzek spada jeszcze niżej. Zwykle minimum wynosi około 1,5 minimum absolutnego. Nie trzeba jednak sądzić, że rzeki karpackie mają wyjątkowo małe odpływy przy niskich stanach; podobne odpływy, a nawet i niższe, mają i inne rzeki. Tak np. na Weltawie pod

Pragę (dorzecze 27.000 km²) skonstatowano w roku 1904 odpływ 0,43lt/km², zaś na Łabie pod Melnikiem (dorzecze 41.8000) odpływ 1,05 lt/km².

Znacznie korzystniej pod tym względem przedstawiają się rzeki, które zaliczyliśmy do grupy drugiej. Tak na przykład Lech pod Gerstehofem koło Augsburga, o dorzeczu 3987 km², prowadzi przy stanie niskim około 24 m³/sek. wody, a woda 7^o miesięczna wynosi 60 m³/sek. Ren pod Strassburgiem prowadzi przy stanie najniższym 380 m³/sek., co wobec dorzecza wynoszącego tu tylko 41.000 km² daje 9,3 lt/km², objętość zaś przy stanie średnim niskim jest około o 50% wyższa. Podczas gdy dorzecze od granicy niemiecko-holenderskiej do Strassburga maleje około czterokrotnie, objętość odpływu przy stanie najniższym maleje tylko w stosunku 2:1 (przy granicy holenderskiej najniższy odpływ 790 m³/sek.)¹⁾.

Podobne różnice istnieją między omówionymi grupami rzek i pod względem ilości wielkiej wody. Podczas gdy np. wielką wodę Soły oceanijają na 1210 m³/sek. 0,87 m³/km², najwyższa wielka woda Lechu we wspomnianem miejscu nie przekracza 1000 m³/sek. (0,25 m³/km²), pomimo, że dorzecze Lechu jest 3 razy większe.

Jeżeli rzeki przepływają przez jeziora, to działają one jak zbiorniki wyrównawcze, regulują zatem odpływ, zmniejszają go przy wielkiej, a powiększają przy małej wodzie, ponadto zaś działają jak wielkie osadniki, zatrzymując materiał ruchomy. Tak np. rzeka Niagara prowadzi przy stanie niskim 11000 m³/sek.; woda dopływa tu z 4 jezior o łącznej powierzchni 231.880 km², zlewnia zaś całkowita jest 4 razy większa. Wielka woda jest od małej wody tylko dwa razy większa.

Wracając jeszcze do omawianych na początku tego ustępu różnic między rzekami górskimi a nizinnymi zauważyć trzeba, że rzeki nizinne mają zazwyczaj znacznie silniejsze pochody lodów, jak rzeki górskie, nadto na pierwszych łatwiej powstają zatory, jak na drugich.

Ponieważ wielkość dorzecza rzeki (zlewni, Niederschlagsgebiet, Einzugsgebiet, Bassin) łącznie ze spadkiem decyduje o wielkości rzeki, a przede wszystkim o objętości odpływu (choć i tu jak widać z poprzedniego istnieją wielkie między rzekami różnice, z powodu różnej wielkości i różnic w rozkładzie opadów, przepuszczalności gruntu itp.) przeto dla orjentacji podamy szereg dat co do wielkości dorzecza ważniejszych rzek naszych i obcych²⁾.

1) Der Rhein von Strassburg bis zur holländischen Grenze, in technischer und wirtschaftlicher Beziehung. 1902, E. Beyerhaus.

2) Dorzecza rzek małopolskich podają szczegółowo „Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs, Beilage zum I Heft: Flächenverzeichnis zur Übersichtskarte. Wiedeń 1896. W wykazie tym z mapą 1:750.000 rozczłonkowane są dorzecza i podane ich powierzchnie aż do pobocznych II rzędu.

L. p.	Rzeka główna	Rzeka poboczna I rzędu lub dorzecza częściowe	Powierzchnia dorzecza km ²
1	Wołga	—	1,460.000
2	Dunaj	—	817.000
3	Dniepr	—	520.000
4	Don	—	430.000
5	Dźwina	—	366.000
6	Peczora	—	330.000
7	Ural	—	250.000
8	Ren	—	224 000
9	Wisła poniżej Przemszy		3.911
	„ pod Krakowem		8.000
	„ poniżej Dunajca		19.918
	„ powyżej Sanu		33.358
		San	16 870
	„ poniżej Sanu		50.585
	„ powyżej Narwi		85.512
		Narew	73.470
	„ poniżej Narwi		159.000
	„ do rozdziału ramion całe dorzecze	—	193.014
			198 510
10	Łaba poniżej Weltawy		41 800
	„ powyżej Saali		70.269
	„ całe dorzecze	—	144.055
11	Loara	—	121.000
12	Odra pod Kozłem		9.057
	„ pod Wrocławiem		21.580
	„ powyżej Warty		54.088
		Warta pod Poznaniem	24.704
		Warta całe dorzecze	53 710
	„ całe dorzecze	—	118.611
13	Niemen do ujścia Wilji		46.571
	„ całe dorzecze	Wilja	23.810
		—	97.474
14	Rodan	—	99.000
15	Duero	—	98 000
16	Dźwina	—	85.000
17	Ebro	—	85.000
18	Tajo	—	82.500
19	Dniestr pod Haliczem		14.659
	„ „ Okopami św. Trójcy (granica)		30.236
	„ całe dorzecze	—	81.000
20	Sekwana	—	78.000
21	Pad	—	75.000
22	Wezera	—	48.000

2. Profile podłużne rzek (Längenprofil, profil en long), spadki łożysk (das Gefälle, la pente).

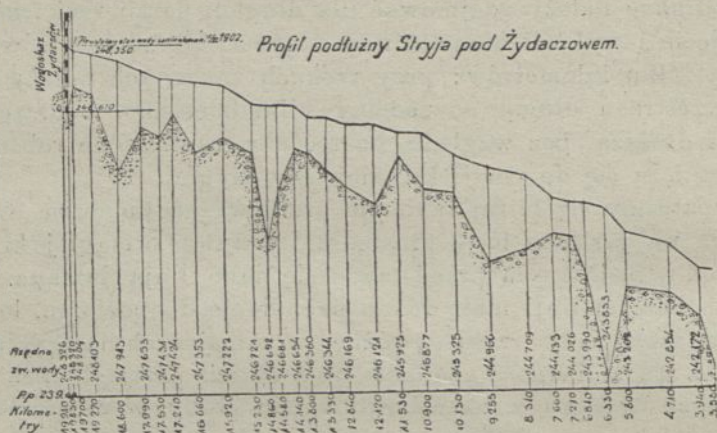
Jeżeli na podstawie przeprowadzonej niwelacji podłużnej rzeki, oraz pomierzonych głębokości, narysujemy jej profil podłużny ogółowy, obejmujący zwierciadło przy ustalonym niskim stanie, oraz położenie dna, to profil ten daje nam już cenne wskazówki co do charakteru rzeki. Profile podłużne należy zdejmować dla długich partji rzek; nie wystarczy tu zdjęcie i wykreślenie profilu na długości kilkuset metrów, jednego, lub nawet kilku kilometrów; przy rzekach znacznych należy objąć badaniem przestrzeń długą, powiedzmy kilkudziesięcio, a nawet stukilometrową i dłuższą, bez względu na to, czy zamierzone roboty regulacyjne ograniczą się do partji krótkiej, czy długiej.

Przypatrzmy się bliżej takiemu profilowi podłużnemu. Otóż linja zwierciadła nie jest ani linją prostą, ani krzywą o ciągłej krzywiznie, lecz w profilu podłużnym przedstawia się jako linja łamana. Poszczególne elementy tej linii mają różne nachylenie do poziomu, lokalnie zatem spadki zwierciadła rzeki są różne, po mniejszych następują większe i odwrotnie. Ta zmienność spadków na krótkich partjach rzeki po sobie następujących wynika z charakteru ruchu wody w rzece. Profile poprzeczne po sobie następujące są różne, tak co do ich powierzchni P , jak i głębokości H , oraz szerokości zwierciadła S . Wobec tego, ponieważ objętość przepływu Q jest w profilach poprzecznych po sobie następujących stała, średnie chyżości profilów są różne i zmieniają się według stosunku $\frac{Q}{P} = V_s$. Wynika z tego, że nie mamy tu do czynienia z ruchem choćby w przybliżeniu jednostajnym (ściśle biorąc ruchem o stałej średniej chyżości), lecz z ruchem zmiennym, którego dalszym objawem jest zmienność podłużnego spadku zwierciadła wody. Tam gdzie profil poprzeczny jest głęboki, o dużym stosunku $\frac{H}{S}$, spadki są mniejsze. Najmniejsze głębokości, a zatem największe spadki będą w partjach, które nazywamy przejściami nurtu (Übergang, passage), w miejscach zatem gdzie mamy przejście z jednej krzywizny w drugą, czyli na t. z. progach, lub brodach (Die Schwelle, le seuil).

Przypatrując się rzece górskiej, nieuregulowanej, przy stanie niskim zauważymy, że jest ona podzielona na partje oddzielone od siebie podwodnymi progami; między progami spadki są mniejsze, na progach natomiast znaczne i czynią tu wrażenie kaskady, koncentrującej nieraz na bardzo małej przestrzeni spad od kilku do kilkunastu cm., nawet i więcej. To samo zjawisko, tylko mniej wybitnie rzucające się w oczy, mamy i na rzekach nizinnych; i tu między progami są spadki mniejsze, na progach większe, tylko z powodu większych głębokości i mniej raptownego wznoszenia się progów niema tak ostrego przejścia między

spadkami małymi i dużymi. Wogóle można powiedzieć, że dłuższe partie na rzekach o wyrównanym spadku należą do wyjątkowych.

Na rys. 6 przedstawiony jest profil podłużny rzeki Stryja pod Żydaczowem, w pobliżu ujścia tej rzeki do Dniestru. Widać, że zwierciadło posiada liczne załomy, spadki są naprzemian większe i mniejsze. Gdyby niwelowano punkty zwierciadła wody gęściej, załomów tych byłoby



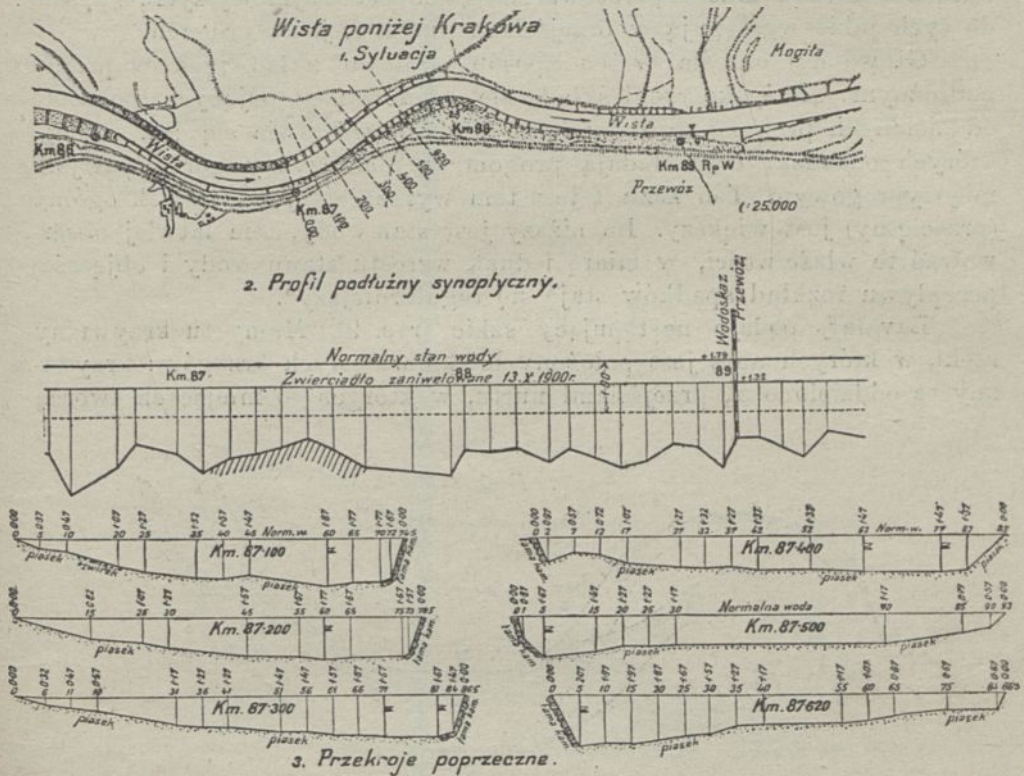
Rys. 6.

jeszcze więcej. Taksamo i dno rzeki posiada załomy i to jeszcze znacznie wybitniejsze; po większych głębokościach następują naprzemian mniejsze i odwrotnie.

Na rys. 7 przedstawiono sytuację uregulowanej Wisły poniżej Krakowa pod Mogiłą—Przewozem między km. 87 a 88; na fig. 1 mamy 2 krzywizny odwrotne, oraz przejście nurtu. Figura 2 przedstawia profil podłużny synoptyczny wykreślony w ten sposób, że zwierciadło wody przyjęto jako linię poziomą i na podstawie profili poprzecznych zdjętych w odstępach co 100 m. (przedstawionych na figurach 3), wykreślono w profilu podłużnym dno rzeki w nurcie (der Stromstrich, le thalveg, le fil d'eau). Głębokości zatem oznaczone w profilu podłużnym równe są największym głębokościom pomierzonym w przekrojach poprzecznych. W pobliżu środków krzywizn (punkty km. 87 i 87,940) mamy przy brzegach wklęsłych największe głębokości (2,15 i 2,20 m.), na przejściu (km. 87,400) głębokość najmniejszą (1,47 m.). Między obydwiema krzywiznami, na przejściu, istnieje próg, występujący wyraźnie w narysowanym profilu podłużnym.

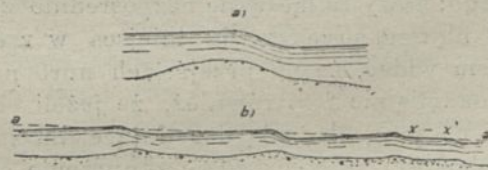
Na rzece nizinnej progi będą więcej wydłużone, na rzece górskiej natomiast skupione tak, że w nakreślonym profilu podłużnym robią wrażenie podwodnych przewalów, przez które przepływ odbywa się

w formie przelewu (rys. 8 a). Próg działa na wodę spiętrzająco, jak podwodny jaz; na przelewie koncentruje się spadek, powyżej i poniżej



Rys. 7.

progę spadki są znacznie mniejsze. Możemy zatem przyjąć, że profil podłużny rzeki w ogólnych zarysach przedstawia się tak, jak to podano na rys. 8 b. Spadki zwierciadła wody są tu zmienne, a spadek przeciętny, czyli wyrównany danej przestrzeni, przeważnie nie zgadza się ze spadkami lokalnymi; — linja spadku wyrównanego a—a' przecina pod kątem spadki lokalne. Spadek wyrównany jest to większy, to mniejszy od spadków lokalnych, a wyjątkowo tylko można znaleźć partję, w której spadek wyrównany zgadza się ze spadkiem lokalnym (partja x—x').

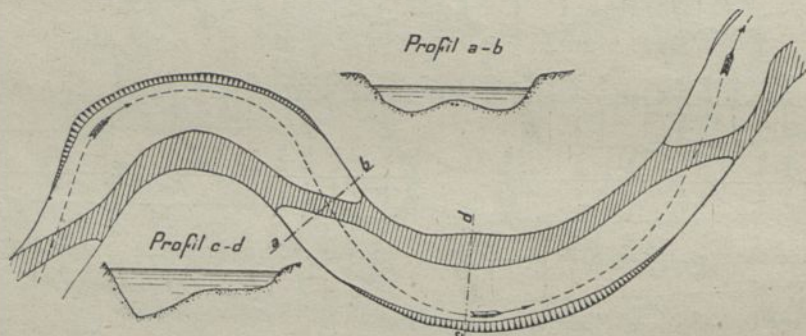


Rys. 8.

Głębokości najmniejsze są na progach, największe przy brzegu wklęsłym, w krzywiznach. Dlatego o ile chodzi o żeglugę na rzece, zanurzenie statków musi się stosować do głębokości najmniejszych, a zatem do tych jakie występują w przejściach nurtu, t. j. na progach.

Girardon¹⁾ określa w ten sposób ogółowo układ rzek w profilu podłużnym: „Łożysko rzeki składa się z dolów następujących po sobie oddzielonych progami, a zwierciadło wody przedstawia się jak schody, których odsadzki odpowiadają progom, a płaszczyzny górne partjom międzyprogowym. Ten kształt jest tem wyraźniejszy, im spadek ogólny (przeciętny) jest większy. Im niższy jest stan wody, tem łatwiej obserwować te właściwości, w miarę jednak wzrostu stanu wody i objętości przepływu rozkład spadków staje się regularniejszy“.

Lavale²⁾ podaje następujący szkic (rys. 9). Mamy tu krzywizny rzeki, w których nurt jest położony blisko wklęsłych brzegów; krzywizny te oddzielone są przejściami nurtu, w których to miejscach tworzą



Rys. 9.

się progi. W krzywiznach przy brzegach wypukłych powstają miejsca najpłytsze, niejako podwodne ławy z osadzonego tu materiału ruchomego; ławy te łączą się bezpośrednio z progami. Cały pas zakreskowany na figurze, przedstawia miejsca w rzece stosunkowo najpłytsze, przyczem widać, że na przejściach nurtu nie ma zdecydowanego położenia. Zrozumiałem jest również, że jeżeli chodzi o rzekę żeglowną, głębokości na progach będą decydujące dla stopnia żeglowności rzeki; od tych głębokości zależeć będzie zanurzenie statków, a zatem i ich ładowność.

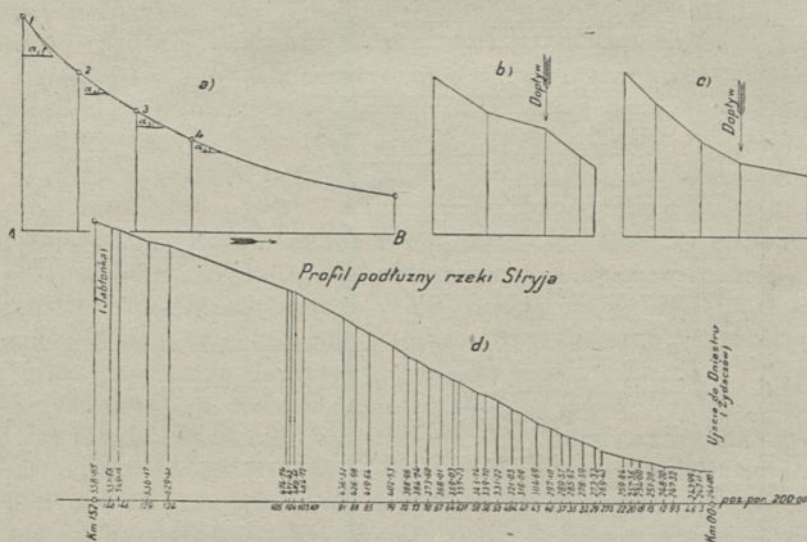
Wróćmy jednak do określenia charakteru profilu podłużnego rzek badanych jako całość, lub przynajmniej na długiej przestrzeni. Poprzednio już powiedzieliśmy, że posuwając się z biegiem rzeki w dół

¹⁾ Amélioration des rivières en basses eaux. (VI Kongres żeglugi w Hadze).

²⁾ Unsere natürlichen Wasserläufe, j. w.

widzimy, jak w miarę powiększania się dorzecza wzrasta objętość przepływu, maleje grubość materiału dna, a równocześnie zmniejsza się spadek. W ogólnych zarysach profil podłużny zwierciadła wody rzeki od jej źródeł aż do ujścia przedstawia się jako linja krzywa, której styczne zawierają z poziomem coraz to mniejsze kąty (rys. 10 a), a mianowicie $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4$ i t. d.

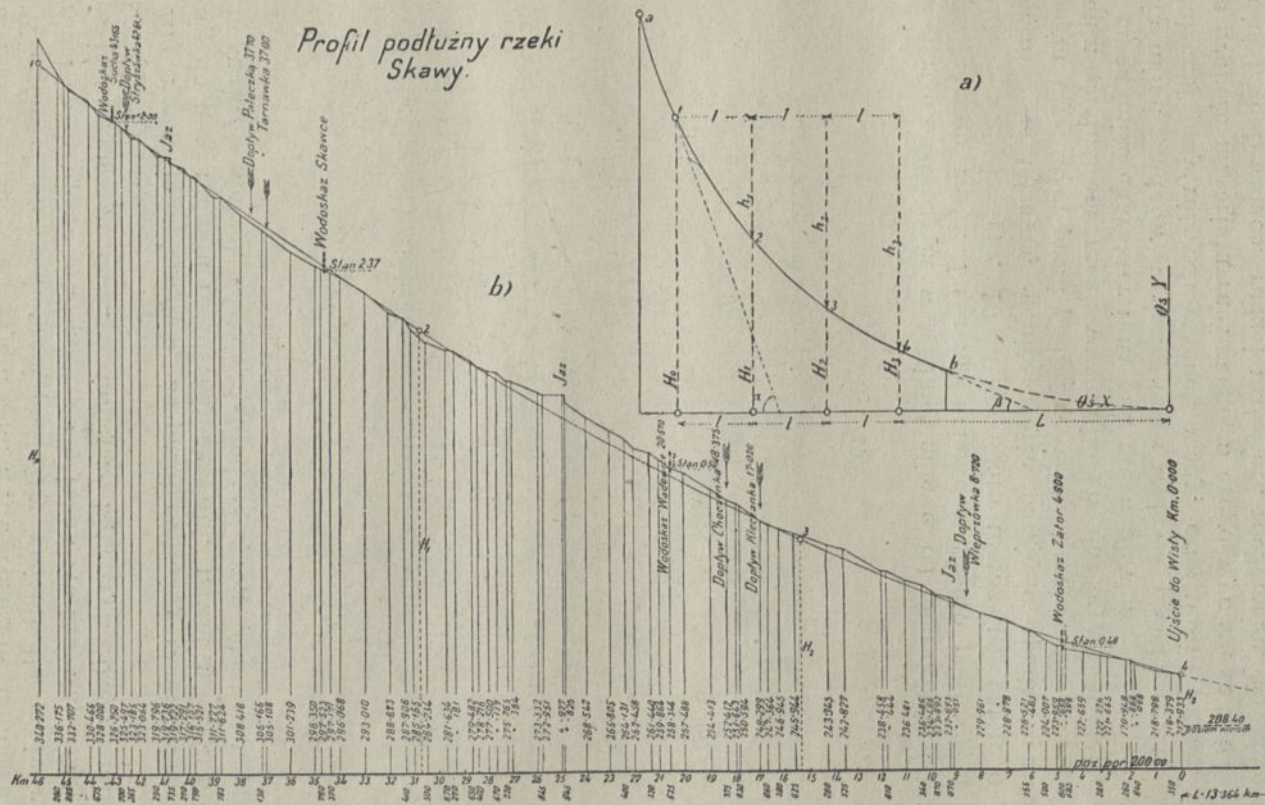
Nie trzeba jednak sądzić, że profil podłużny rzeki dokładnie stosuje się do tego rodzaju regularnej krzywej, nawet u rzek nie posiadających punktów stałych w dnie, jakimi są progi skalne, napotykamy



Rys. 10.

nie raz partje odstępujące w wielkiej mierze od charakteru całości profilu podłużnego rzeki. I tak znajdziemy w profilu podłużnym punkty wypukłe i wklęsłe (rys. 10 b i c), nadto nieraz po partji o spadku przeciętnym mniejszym, poniżej tejże partji o spadku przeciętnym większym (rys. 10 d, profil podłużny rzeki Stryja). Te nieregularności w profilu podłużnym rzeki wywołują przedewszystkiem jej dopływy, które mogą mieć charakter inny jak rzeka główna.

Na układ spadków w danej rzece wpływa przedewszystkiem ilość prowadzonej przy różnych stanach wody, oraz ilość i rodzaj, a szczególnie grubość materiału ruchomego, z czego wynika, że te 3 ilości, t. j. objętości przepływające, rodzaj materiału ruchomego, wreszcie spadek, są od siebie w ścisłej zależności, a raczej decydują o charakterze rzeki i jej ukształtowaniu. Otóż dopływy o innym charakterze wprowadzają



Rys. 11.

zmiany w ukształtowaniu się ścieku odbiorczego (Rezipient, le récipient).

Dopływ rwący, górski, prowadzący przy średnich i wyższych stacjach materiał ruchomy grubszy i w większej ilości jak rzeka główna o charakterze więcej nizinny, zwiększa w tej rzece stosunkową ilość materiału ruchomego, skutkiem czego w partji rzeki głównej poniżej połączenia musi się ułożyć spadek większy jak powyżej dopływu i powstać w profilu podłużnym punkt wypukły. Natomiast nizinny dopływ łączący się z rzeką górską, doprowadza stosunkowo większą ilość wody jak materiału ruchomego, wywoła zatem poniżej połączenia zmniejszenie spadku, czyli w profilu podłużnym punkt wklęsły.

Pierwsi badacze charakteru rzek sądzili, że możliwem będzie wydedukowanie pewnych matematycznych prawideł, któreby określały kształty profilów podłużnych w związku z przyrodą rzek, dziś nabyliśmy przekonania, że prawideł takich niema, a jeżeli mimo to obliczamy czasem równania krzywych dostosowanych do kształtu profilu podłużnego rzeki, lub pewnych jej partji, to czynimy to tylko w celach praktycznych. Raczej zgodzić się należy ze zdaniem Girardona¹⁾, że „profil podłużny rzeki nie przedstawia ani spadku jednostajnego, ani w sposób ciągły zmiennego, lecz składa się z szeregu spadków głównych (wybitnych), których zagięcia i pochylenie ustalają progi skalne, oraz ważniejsze dopływy“.

Na rysunku 10 d podano ogólny profil podłużny rzeki Stryja, na którym wyraźnie widoczne są wspomniane wybitne spadki. Od km. 152—103 mamy jeden wybitny spadek, od 103—70 drugi, dopiero poniżej km. 70 aż do ujścia do Dniestru profil podłużny zwierciadła zbliża się do kształtu linii krzywej.

Przy zadaniach z zakresu regulacji rzek nie liczymy się ze spadkami lokalnymi, zmieniającymi się od profilu do profilu i to jak z powyższego wynika w znacznych granicach, lecz wprowadzamy do obliczenia spadek wyrównany na dłuższych przestrzeniach rzeki. Te spadki wyrównane otrzymamy, wkreślając w wyrysowany w odpowiednich podziałkach profil podłużny linje proste, lub też krzywe o krzywiznie ciągłej, dostosowując je do charakterystycznych spadków profilu podłużnego i starając się przytem o możliwie dokładne wyrównanie załomów spadku. (Rys. 11 b, profil podłużny rzeki Skawy). Z wykresu takiego możemy oznaczyć wyrównane spadki zwierciadła wody w każdym miejscu rzeki, kreśląc do linii wyrównującej styczne i oznaczając spadek jednostkowy jako tangens kąta nachylenia stycznej. Tak naprzy-

¹⁾ Girardon j. w., a także Rychter (wykłady).

kład spadek wyrównany Skawy w km. 8,700, t. j. przy ujściu Wieprzówki jest $i_1=0,0018$, w km. 0000 t. j. przy ujściu do Wisły $i_2=0,00125$, a zatem średni spadek wyrównany tej partji rzeki jest $i = \frac{i_1+i_2}{2} = 0,00152$.

Takie graficzne oznaczenie spadków do celów zadań praktycznych zupełnie wystarcza, wygodnem jednak będzie nieraz obrachowanie równania krzywej wyrównującej.

Hochenburger przyjął linję wyrównującą profil podłużny jako parabolę ngo stopnia o osi pionowej¹⁾ opierając się na tej zasadzie, że jak powyżej powiedziano każda rzeka ma tendencję zmniejszania spadku w dół. Obrachowanie krzywej wyrównania według Hochenburgera przedstawia się w następujący sposób (rys. 11 a).

Niech linja a—b przedstawia wyrysowaną od ręki, dostosowaną do profilu podłużnego, linję wyrównania. Uważając ją jako parabolę ngo stopnia, przedłużamy ją od ręki dalej, aż do jej przypuszczalnego wierzchołka O.

Napiszmy równanie krzywej wyrównania zgodnie z Hochenburgerem:

$$Y = a X^n.$$

Dla tego równania musimy wyznaczyć współczynnik a, oraz wykładnik n.

W tym celu obieramy na krzywej dowolną ilość punktów, np. 4 punkty 1, 2, 3 i 4, leżące w równych odległościach od siebie l, zresztą dowolnie obranych. Dla tych punktów znamy ich rzędne nad poziom morza, a zatem znamy także różnice poziomów oznaczone na figurze literami h_1 , h_2 i h_3 . Natomiast nie znamy rzędnych H_0 , H_1 , H_2 , H_3 , to jest ich wzniesienia ponad oś X, gdyż jak z poprzedniego wyniku, obraliśmy wierzchołek paraboli O dowolnie, a także i długość L stanowiącą odległość osi Y od punktu 4.

Na oznaczenie niewiadomych a, tudzież n, mamy następujące równania:

Z równania paraboli:

$$1) \quad a = \frac{Y}{X^n} = \frac{H_0}{(L+3l)^n} = \frac{H_1}{(L+2l)^n} = \frac{H_2}{(L+l)^n} = \frac{H_3}{L^n}, \quad \text{przyczem}$$

$$H_1 = H_0 - h_1, \quad H_2 = H_0 - h_2, \quad H_3 = H_0 - h_3, \quad \text{skutkiem czego}$$

H_1 , H_2 i H_3 wyrażamy przez nieznaną na razie ilość H_0 , tudzież znane ilości h_1 , h_2 , h_3 .

¹⁾ „Über Geschiebepbewegung und Eintiefung fließender Gewässer“, Lipsk 1886; inni autorzy przyjmowali inne krzywe, jak parabolę o osi poziomej i cykloidę.

$$\text{Z poprzedniego } H_0 = \frac{H_3(L+3l)^n}{L^n}$$

$$\frac{H_0}{H_3} = \left(\frac{L+3l}{L}\right)^n$$

$$\sqrt[n]{\frac{H_0}{H_3}} = \frac{L+3l}{L}$$

$$L \sqrt[n]{\frac{H_0}{H_3}} = L+3l, \text{ czyli } L = \frac{3l}{\sqrt[n]{\frac{H_0}{H_3}} - 1}, \text{ lub}$$

$$L = \frac{3l \cdot \sqrt[n]{H_3}}{\sqrt[n]{H_0} - \sqrt[n]{H_3}}, \text{ a wstawiając } H_3 = H_0 - h_3$$

$$2) \left\{ \begin{array}{l} L = \frac{3l \sqrt[n]{H_0 - h_3}}{\sqrt[n]{H_0} - \sqrt[n]{H_0 - h_3}}, \text{ podobnie można napisać:} \\ L = \frac{2l \sqrt[n]{H_3}}{\sqrt[n]{H_1} - \sqrt[n]{H_3}} \\ L = \frac{1 \sqrt[n]{H_3}}{\sqrt[n]{H_2} - \sqrt[n]{H_3}} \end{array} \right.$$

Porównując drugie strony równań 2) ze sobą, otrzymamy 2 nowe równania, a przez dodanie ich nowe równanie w formie:

$$3) \left\{ \begin{array}{l} \sqrt[n]{H_0} - \sqrt[n]{H_2} = \sqrt[n]{H_1} - \sqrt[n]{H_3}, \text{ czyli} \\ \sqrt[n]{H_0} - \sqrt[n]{H_0 - h_2} = \sqrt[n]{H_0 - h_1} - \sqrt[n]{H_0 - h_3}. \end{array} \right.$$

Wykładnik n oznaczymy z powyższego równania 1)

$$H_0 = \frac{H_3(L+3l)^n}{L^n}$$

$$\log H_0 + n \log L = \log H_3 + n \log(L+3l), \text{ skąd}$$

$$4) \quad n = \frac{\log \frac{H_3}{H_0}}{\log \frac{L}{L+3l}} = \frac{\log \frac{H_0 - h_3}{H_0}}{\log \frac{L}{L+3l}}$$

Niewiadome n , H_0 , L i a wyznaczyć trzeba zgodnie z równaniami 1, 2, 3, 4.

Praktycznie rzecz biorąc postąpimy w ten sposób, że z figury, po przedłużeniu krzywej wyrównania do poziomej stycznej stanowiącej oś x , odmierzymy najpierw L i H_0 , a wstawiając te ilości w równanie 4) obliczymy n .

Następnie wstawimy obliczone n i odmierzone z rysunku H_0 w równanie 2), skąd oznaczy się dokładniejszą wartość L .

Wreszcie wyniki wstawia się w równanie 3), sprawdzając czy istnieje zgodność wyrażona tem równaniem, poczem oznacza się a z równania 1).

Przykład. Profil podłużny rzeki Skawy, rysunek 12 b. Długość całej przestrzeni 46 km. podzielono na 3 równe części po 15,333 m. długości, poczem wkreślono krzywą wyrównania zgadzającą się o ile możliwości z profilem podłużnym. Krzywą tę przedłużono empirycznie w dół aż do przypuszczalnego wierzchołka.

Przyjęcia:

Rzędne punktów	1	2	3	4
	338,300	285,413	244,807	217,933

Odległość wierzchołka

$L = 13,367$ km., Rzędna wierzchołka 208,400 m.

$H_0 = 129,900$ m., $H_1 = 77,013$ m., $H_2 = 36,407$ m., $H_3 = 9,533$ m.

$h_1 = 52,887$ m., $h_2 = 93,493$ m., $h_3 = 120,367$ m.

Wyniki: $n = 1,75$ (4)

$L = 13,360$ km. (2)

Zgodność równania (3) sprawdzono.

$\log a = 0,009789 - 1$

$a = 0,10227$

Równanie logarytmiczne ostateczne brzmi:

$\log Y = (0,009789 - 1) + 1,75 \log (13,364 + X)$

czyli $Y = 0,10227 (13,364 + X)^{1,75}$

Z równania tego można wyrachować rzędne poszczególnych punktów krzywej, dodając do obrachowanego Y rzędną wierzchołka 208,400, tudzież wyrachować spadki styczne. Spadek jednostkowy $\frac{dy}{dx} = a \cdot n \cdot x^{n-1}$, zatem

$$\frac{dy}{dx} = 0,10227 \cdot 1,75 (13364 + x)^{0,75}$$

Obliczone spadki dla punktu przy ujściu Wieprzówki i przy ujściu do Wisły wynoszą:

$i_1 = 1,825 \text{ m/km.} = 0,001825$, $i_2 = 1,252 \text{ m/km.} = 0,001252$, spadek średni przestrzeni $i = 0,00154$.

Takie obrachowanie krzywej profilu podłużnego nie ma innego celu, jak uwygodnienie obrachowania spadków.

Spadki rzek są jednak bardzo różne i stanowią jedno z najważniejszych znamion charakterystycznych, decydujących o właściwościach rzeki. Wielkość dorzecza i w związku z nią objętość przepływu z jednej strony, z drugiej zaś strony spadek rzeki, decydują o jej wielkości, objawiającej się w szerokości i głębokości łóżyska.

Wisła na krótkiej tylko przestrzeni jest rzeką górską, a właściwie potokiem górskim; jest to początkowa partja 55,3 km. długości, od źródeł aż do miejscowości Strumień (61‰ do 1,6‰). Dalej posiada już spadek mały (Strumień — ujście Biały 0,381, ujście Biały — ujście Przemszy 0,27‰). Od ujścia Przemszy¹⁾ do ujścia Raby²⁾ spadek zmienia się od 0,45‰ do 0,33‰, zaś na długiej przestrzeni od ujścia Raby do ujścia Narwi (258,3 km.) spadek przeciętny jest stały i wynosi około 0,27‰. Między ujściem Narwi a punktem rozdziału ramion Wisły spadek maleje wreszcie do 0,18‰. Podobne spadki ma Dniestr, zaś karpackie dopływy Wisły i Dniestru od punktów gdzie już przestają być potokami góorskimi, aż do ujścia do rzeki głównej, zmieniają spadki od kilku metrów aż do kilkudziesięciu cm. na kilometr.

Mniejsze spadki jak Wisła mają na pewnych przestrzeniach Warta (od ujścia Proсны do ujścia do Odry od 0,18‰ — 0,146‰), Noteć (na pewnych przestrzeniach 0,09‰), Niemen (od ujścia Wilji w dół od 0,12 — 0,1‰), Styr (na przestrzeni od Łucka aż do Kolków do 0,05‰), Prypeć (na znacznej przestrzeni 0,06‰), Bug (na pewnych przestrzeniach 0,1‰), Narew (0,19 — 0,05‰³⁾).

Z rzek obcych mały spadek na znacznej przestrzeni wykazuje Cisa (na 100 km. 1,5 m.), również Wołga i Mississippi zmniejszają spadki aż do kilku centymetrów na km.

Odra, Łaba i Wezera mają spadki podobne do Wisły, tylko dolna Odra od ujścia Warty w dół do ujścia do zalewu ma spadek znacznie mniejszy (od 0,2‰ do 0,002‰, przeciętnie 0,074‰); również dolna Łaba ma spadek mniejszy od Wisły (0,122‰).

Ren stanowiący dziś największą drogę wodną europejską, między jeziorem Bodeńskim a Strassburgiem ma jeszcze spadek duży, wyno-

¹⁾ km. 0.

²⁾ km. 135.

³⁾ Patrz autora „Drogi wodne w Polsce“ Lwów 1917.

szący przeciętnie 1‰ , między Strassburgiem a Spirą spadek maleje gwałtownie od $0,6\text{‰}$ — $0,08\text{‰}$, w dalszych partjach zmienia się od $0,27\text{‰}$ — $0,1\text{‰}$, wyjątkowo tylko na krótkiej partji (27 km) między Bingen a St. Goar wzrasta do $0,50$ — $0,25\text{‰}$, osiągając na przestrzeni 250 m maksimum 2‰ , a w najwyższym miejscu (Binger Loch) nawet $8,2\text{‰}$.

Dunaj, będący rzeką żeglowną od Suliny przy ujściu do Morza Czarnego aż do Ulm (2500 km), ma w dolnym biegu spadki bardzo małe $0,03$ — $0,07\text{‰}$, dalej w partji Żelaznej Bramy aż do Drenkowy i Moldowy ma spadek znaczny (na 100 km 28 m) i liczne katarakty. Na Dunaju środkowym między Moldową a Gönyö spadek znowu jest mały ($0,04$ — $0,1\text{‰}$) dalej, zaś w górę między Gönyö a Bratisławą (Preszburg) wzrasta na $0,32\text{‰}$, w poszczególnych zaś partjach dochodzi do $0,5\text{‰}$ i wyżej¹⁾.

Z rzek francuskich Loara zmniejsza stosunkowo regularnie spadek od $0,70\text{‰}$ koło Roanne, do $0,17\text{‰}$ między Saumur a Nantes, Garonna od $1,2\text{‰}$ przy spływie z Arriège pod Tulużą, na $0,04\text{‰}$ między Langoiran a Bordeaux, Sekwana od $0,23\text{‰}$ między Macilly i Montereau, na $0,19$ między Montereau i Paryżem, wreszcie na $0,10$ między Paryżem a Rouen. Są jednak rzeki, których spad w pewnych partjach dolnych jest większy jak w górnych. Tak na przykład spadek Rodanu poniżej Izery wynosi $0,775\text{‰}$, powyżej zaś $0,5\text{‰}$, Marny od $0,16\text{‰}$ poniżej d'Épernay wzrasta ciągle w dół aż do spływu z Sekwaną, gdzie osiąga $0,55\text{‰}$. Spadek średni Saony między Verdun a Saint Bernard na przestrzeni 132 km. wynosi zaledwie $0,04\text{‰}$, natomiast między Saint Bernard i Lyonem $0,20\text{‰}$ ²⁾.

Z rzek włoskich Pad zmniejsza spadek od $0,40$ pod Pawią, na $0,06$ poniżej Ferrary.

Charakterystyczną cechą rzeki jest długość jej od ujścia aż do punktu w którym osiąga wzniesienie 100 m. nad poziom morza; wynosi ona:

Rodan pod Walencją	215 km. od ujścia
Garonna poniżej Tuluzy	360 "
Loara 2 km. powyżej Orleanu	398 "
Wezera 8 km. w górę Karlshafen	399 "
Odra 43 km. poniżej Wrocławia	524 "
Sekwana powyżej Macilly	556 "
Ren vis à vis Karlsruhe	621 "
Łaba 25 km. poniżej Drezna	662 "
Wołga pod Niżnym Nowogrodem	2000 ²⁾ "

Wisła i Niemen stoją w pośrodku tego szeregu, a mianowicie Wiśle odpowiada długość 497 km. (ujście Radomki), a Niemnowi 532 km. (ujście

¹⁾ Patrz autora „Światowe drogi wodne a regulacja Wisły“.

²⁾ De Mas „Rivières à courant libre“, Paris 1899.

Świsłoczy)¹⁾. Gdybyśmy jednak jako dalsze przedłużenie Wisły przyjęli Narew, natenczas poziom 100 przecina ją dopiero w odległości 610 km. od ujścia Wisły do morza.

To wszystko były spadki przeciętne, czyli wyrównane na pewnych przestrzeniach, jeżeli zaniwelujemy jednak punkty zwierciadła wody blisko położone to zobaczymy, że spadki na poszczególnych małych odcinkach są bardzo zmienne²⁾. Tak na przykład na partji Wełtawy w pobliżu Pragi, 6350 m. długiej, spadek wyrównany wynosi: $i = 0,49\text{‰}$, natomiast spadki lokalne w tej przestrzeni są:

długość .	1040	305	1215	340	1275	1485	690	metrów
spadek i' .	0,32	0,13	0,28	1,53	0,80	0,108	0,96	‰

Gdybyśmy jeszcze gęściej obrali punkty niwelacji, kontrasty spadków byłyby jeszcze większe. Im niższy stan wody, tem nierówności w spadkach są większe, natomiast w miarę wzrostu stanu wody nierówności w zwierciadle się wygładzają, gdyż przedewszystkiem progi stanowiące na przejściach niejako niskie jazy, lub przewały, mają coraz mniejszy wpływ.

Nierówności dna w profilu podłużnym są znacznie większe jak nierówności w zwierciadle, co wykazuje każdy profil podłużny, w którym prócz zwierciadła wody wkreślono także dno rzeki w nurcie (rys 6). W przeciwieństwie do zachowania się zwierciadła, przy wyższych stanach nie następuje złagodzenie nierówności dna, o czem w dalszym ciągu będzie jeszcze mowa.

3. Układ poziomy rzek i kształty przekrojów poprzecznych.

Naturalny bieg rzeki, czy to mniejszej, czy większej, czy w obszarze górskim, czy nizinnym, jest zawsze kręty, (schlängelnd, serpenti-

¹⁾ Według profiliw podłużnych z atlasu dzieła: Keller: Memel, Pregel und Weichselstrom, Berlin 1899.

²⁾ Baumgarten dzieli opisywaną przestrzeń Garonny poniżej ujścia dopływu Lot, 55,910 km długości, na partje o małych spadach przeciętnych, jakie stanowią przestrzenie między progami (przejściami, punktami przegięcia), czyli t. z. stanowiska (biefs), oraz na partje o silnych spadach na przejściach (rapides). Otóż studując spadki zwierciadła małej wody (etiage) z roku 1846 na pomienionej przestrzeni Garonny, widział następstwo naprzemian spadków przeciętnych słabych i silnych, powtarzających się 12-o krotnie, było więc 12 stanowisk (plos) i 12 spadów silnych (bystrzy). Cały spadek tej przestrzeni wynoszący 14,208 m czyli przeciętnie $0,55\text{‰}$, rozkładał się w sposób następujący:

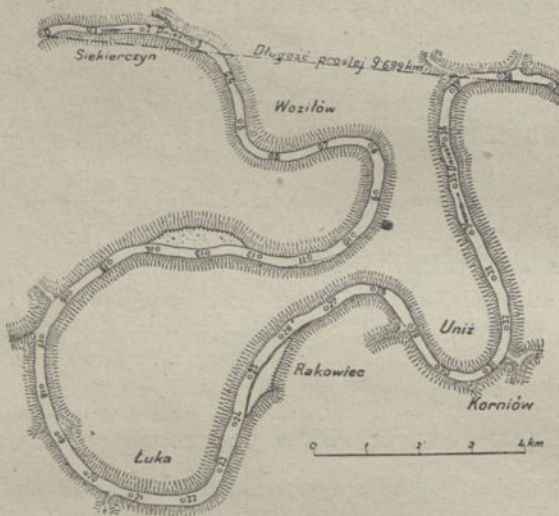
	długość km.	spadek bezwzględny m.	spadek przeciętny ‰	zmiany spadku ‰ od — do
stanowiska	47,499	5,633	0,119	0,04—0,167
silne spady	8,411	8,575	1,020	0,573—2,2

(Notice sur la portion de Garonne.... „Annales des ponts et chaussées“, 1848.

nierend, sineuse), wyjątkowo tylko napotyka się dłuższe partje proste. Bieg rzeki składa się zatem z krzywizn po sobie następujących, przy czem po pewnej krzywiznie następuje nowa o kierunku przeciwnym. W ścisłym związku z tym układem poziomym znajdują się przekroje poprzeczne rzeki; w krzywiznach są one zwarte i głębokie, między nimi t. j. na przejściach (progach, brodach) są płytkie i często rozszerzone, choć nie zawsze, gdyż na progach spadek jest skoncentrowany, co powoduje zmniejszenie powierzchni profilu, a zatem i do pewnego stopnia zwężenie¹⁾.

Pomimo, że bieg kręty i złączone z nim tworzenie krzywizn (Krümmung, Curve, courbure) i serpentyn, czyli zakoli (Serpentine, Windung, serpentement, méandre) jest zjawiskiem powszechnem, przecież nie wytłumaczono dotąd jasno jego przyczyny; zanim się jednak tą kwestją bliżej zajmiemy, trzeba się jeszcze bliżej przypatrzeć samemu zjawisku.

Im rzeka jest większa, tem większe wytwarza zakręty (zakola), stwarzając przez to krzywizny o większych promieniach i większej rozległości; rzeki małe i potoki mają krzywizny ostrzejsze i o mniejszej długości. Powstanie krzywizn i zakoli wytwarza t. z. rozwinięcie biegu, t. j. zwiększenie

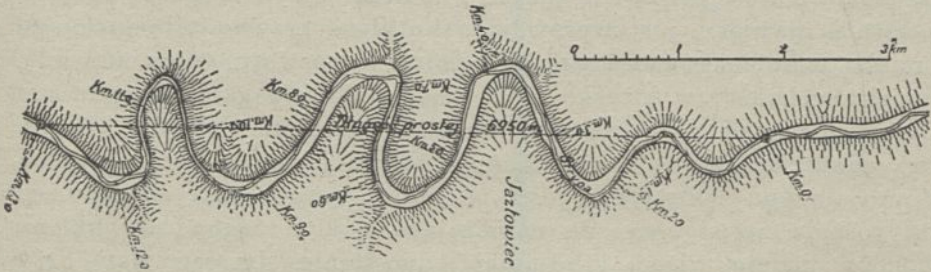


Rys. 12.

nie jego długości, objawiające się w tem, że linja prosta łącząca końcowe punkty pewnej przestrzeni jest krótsza od długości rzeki mierzonej w jej osi, t. j. w linii środkowej, przebiegającej w równej odległości od brzegów. Na rysunkach 12, 13 i 14 przedstawione są sytuacje Dniestru pod Unizem, Strypy pod Jazłowcem i Wisły w partji między ujściami Białej i Przemszy, gdzie nosi nazwę „Małej Wisły“.

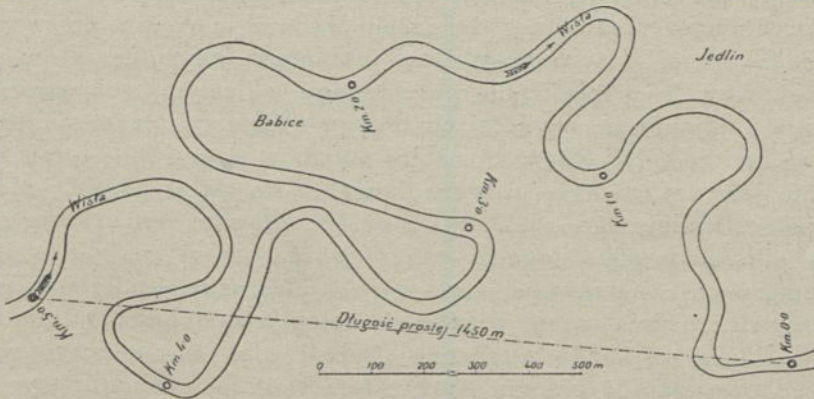
¹⁾ Co do tego, czy profil na przejściach jest szerszy jak w krzywiznach, u różnych autorów można znaleźć zdania przeciwne (Rudzki i Forchheimer), zdaje się jednak, że na rzekach górskich, gdzie wpływ koncentracji spadku przeważa, będą profile na przejściach węższe jak w krzywiznach, natomiast u rzek niższych przeciwnie.

Wszystkie trzy okazują znaczne rozwinięcia biegu; pierwsze dwie przedstawiają rzeki różnej wielkości¹⁾, które wykonały pracę rozwinięcia biegu w ciężkich warunkach, między wysokimi stokami, która to praca musiała następować powoli, trzecia rzekę niewielką²⁾ o niezwy-



Rys. 13.

kłem rozwinięciu biegu, dokonaniem jednak w warunkach łatwych w obszarze nizinym, równym i mało odpornym. Ale nie tylko rzeki większe i mniejsze mają dążność do wytwarzania krzywizn, również i na potokach płynących wśród wysokich gór i stoków obserwować można to samo zjawisko — z drugiej strony także i dolne partje wielkich rzek



Rys. 14.

powyżej ujścia do morza mają również bieg więcej lub mniej kręty. Ze zjawiskiem tem łączy się często (choć nie zawsze)³⁾ dążność do roz-

¹⁾ Dorzecze Dniestru poniżej ujścia Koropca 21.250 km², Strypy 1624 km².

²⁾ Dorzecze Małej Wisły powyżej ujścia Przemszy 1751,3 km².

³⁾ Kontrast pod tym względem stanowią dwie rzeki położone bardzo blisko siebie, a mianowicie Styry i Stochód, a różnica wynika z powodu różnego materiału łóżyska. Pierwszy w obszarze między Łuckiem a Kolkami ma łóżysko stałe, zaryte w il i kredę, które pomimo niskich brzegów nie okazuje skłonności do rozdziału na ramiona, drugie w piasku i namule ma nieraz cały szereg ramion.

działu ramion, które to objawy łącznie z objawami pobocznymi, jak tworzeniem odsypisk i wysp, nazywamy nieraz zdziczeniem rzeki.

Towarzyszące krzywiznom zjawiska są: podmywanie i zrywanie brzegu wklęsłego, który skutkiem tego jest zwykle zerwisty i stromy, a osadzenie materjału (żwiru, piasku i namułu) przy brzegu wypukłym: to ostatnie zjawisko jest wprawdzie skutkiem krzywolinijnego biegu, ale mieści w sobie również zarodek dalszego rozwoju krzywizn, gdyż odsypisko wchodząc w łożysko rzeki działa jak ostroga i odpycha nurt wody ku brzegowi przeciwnemu. Profile poprzeczne łożyska okazują w krzywiznach kształty o głębokości nierównej, największa głębokość jest przy brzegu wklęsłym, gdyż tu panuje największa chyżość i tu woda posiada największą siłę poruszającą¹⁾, ku brzegowi wypukłemu głębokości maleją więcej lub mniej jednostajnie. Im ostrzejsza krzywizna, tem głębokości przy brzegu wklęsłym są większe, tem profil jest więcej zwarty (węższy i dla przepływu korzystniejszy, z uwagi na większą wartość średniej głębokości), a kształtem swym zbliża się do trójkąta. Takie wykształcenie profilu nie jest jednak korzystne z uwagi na stałość wklęsłego brzegu, gdyż jest znowu powodem przesuwania się krzywizny na zewnątrz, zwiększenie głębokości powoduje bowiem zwiększenie siły poruszającej i dalsze zrywanie brzegu wklęsłego.

Forchheimer²⁾ zauważa, że jeżeli woda z kierunku prostego (na przejściach) przechodzi w krzywiznę, natenczas chyżości, które miała w prostej, wywołują spiętrzenie przy brzegu wklęsłym, a spiętrzenie to wywołuje odbijanie się chyżości od brzegu wklęsłego, podobnie jak promieni od zwierciadła. Chyżości odbite składają się ze sobą, oraz z nieodbitemi jeszcze w chyżości wypadkowe, o ile tarcie na dnie nie wywoła jednostajniejszego rozkładu chyżości. Powstawanie strug o niezwykle silnym prądzie łagodzi także to, że brzegi mają nachylenie, skutkiem czego nie powstaje jedna wysoka płaszczyna odbita, lecz cały szereg niskich. Gdzie zatem wiązka równoległych chyżości trafi na brzeg wklęsły, składa się każda odrzucona chyżość z chyżością przybywającą w wypadkową wzdłuż brzegu. Nurt zatem biegnie wzdłuż brzegu wklęsłego i zostaje odrzucony dopiero tam, gdzie kończą się chyżości przybywające.

Można również tłumaczyć pogłębianie przy brzegu wklęsłym tworzeniem się tu wirów, wynikających z powodu odbicia chyżości trafiających brzeg wklęsły pod kątem.

¹⁾ Jak w rozdziale 4 bliżej wyjaśniono, siłę poruszającą można scharakteryzować wyrażeniem $S = 1000 T \cdot I$, zatem głównymi czynnikami są tu głębokość i spadek.

²⁾ Hydraulik, j. w.

Omawianą kwestją zajmuje się obszernie Rudzki¹⁾, który twierdzi, że powodem tworzenia się zakrętów jest rozmycie boczne i zwalcza zapatrywanie Guglielminiego²⁾, który twierdził, że bieg naturalny jest prostoliniowy, a ogólną przyczyną tworzenia się zakrętów są różnice w oporze pokładów. Rudzki zauważa, że to tłumaczenie nie jest zadowalniające, bo rzeki płynące wśród równin są częstokroć o wiele więcej kręte niż rzeki górskie, a przecież rozmaitość oporów jest chyba większa w górach, niż wśród równin.

Co do tej różnicy zapatrywań zauważyć trzeba, że rzeczywiście nie można się zgodzić z twierdzeniem, jakoby naturalny bieg rzek był prostoliniowy, natomiast upatrywanie przyczyny tworzenia się zakrętów w nierównomiernym oporze brzegów uznać należy jako zupełnie trafne. Nie chodzi tu jednak o ogólny opór brzegów — na dłuższych partjach — lecz powodem jest zmienny opór przeciw zerwaniu, jaki stawiają poszczególne punkty brzegów.

Przedewszystkiem według praktycznych doświadczeń nie ulega żadnej wątpliwości, że przez odpowiednie ubezpieczenie brzegów możemy zawsze utrwalić bieg rzeki (trasę regulacyjną brzegów), czy on jest krzywo- czy prostoliniowy, a zatem uniknąć dalszego tworzenia zakrętów. Jeżeli tak jest, to naruszanie brzegów i zmiana położenia rzeki w sytuacji wynika tylko z powodu ich słabości, gdy zaś struktura brzegów w ich poszczególnych punktach jest niejednorodna, muszą następować wykroczenia boczne, przeradzające się w dalszem następstwie w krzywizny, zakręty i zakola. Uzmysłować sobie trzeba, że do wykroczenia rzeki w bok nie potrzeba wiele, a powodów jest aż nadto. Jak wiadomo nawet w prostoliniwnym idealnym łożysku ruch strug nie jest równoległy, panuje ruch burzliwy o strugach uderzających ukośnie o brzeg. Powstaje tarcie zewnętrzne na dnie i brzegach, a gdzie siła poruszająca przewyższy wytrzymałość brzegów i dna, tam następuje zrywanie i pogłębianie, które nie może być równomierne, regularne i symetryczne wobec różnorodności materiału dna i brzegów, a zatem muszą następować wykroczenia boczne. Powiedzieliśmy, że do wykroczenia rzeki w bok nie potrzeba wiele, mamy tu przecież do czynienia z materją płynną; często nagromadzenie grubszych ziarn materiału w brzegu, lub jeden wielki kamień opiera się skutecznie naporowi wody, natomiast w punkcie sąsiednim, gdzie materiał jest drobniejszy, woda z łatwością przewycięża opór i zrywa brzeg, tworząc wylóm, który już potem coraz dalej powiększa. Taksamo i nagromadzenie materiału grubszego w sa-

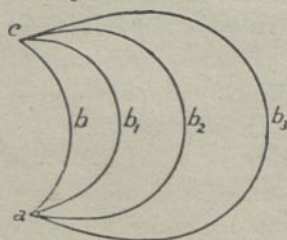
¹⁾ Fizyka ziemi, Kraków 1909.

²⁾ Hydraulik włoski z XVII wieku.

mem łożysku, lub jeden większy kamień mogą wywołać skrócenie rzeki, oraz rozdział na ramiona.

Każde skrzywienie biegu jest zarodkiem dalszego rozwoju krzywizn. Rudzki stwierdza, że gdy ruch nie jest prostoliniowy, lecz krzywoliniowy, istnieje zawsze przyspieszenie odśrodkowe, prostopadłe do chwilowego kierunku ruchu, skierowane w kierunku promienia krzywizny, od strony wypukłej toru, ku stronie wklęsłej. Przyspieszenie to oblicza się wzorem $\frac{v^2}{\rho}$, w którym v oznacza chyżość, a ρ promień krzywizny.

W rezultacie musi nastąpić przesunięcie osi dynamicznej ku brzegowi wklęsłemu. Wogóle zaś mamy pewne rozsortowanie strug wedle chyżości. Która struga ma większą chyżość, ta jest przesunięta ku brzegowi wklęsłemu. Stąd wynika, że prócz ruchu postępowego wzdłuż rzeki musi istnieć także pewna poprzeczna cyrkulacja. Autor podaje następujący szkic (rys. 15):



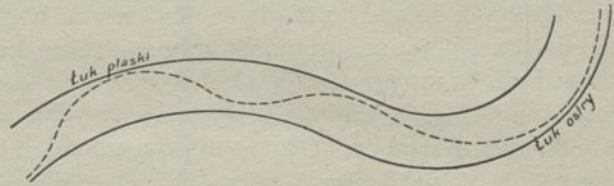
Rys. 15.

Przyjmując punkty a) i c) jako stałe widzimy, że w miarę przesuwania się krzywizny na zewnątrz (kolejne położenie b, b_1, b_2, b_3), długość biegu wciąż rośnie, a zatem spadek, a w związku z nim i chyżość, maleje, równocześnie zaś maleje promień krzywizny, jednak tylko do pewnego czasu; gdy zakręt przybierze kształt pętlicy, dalszy jego wzrost nie zmniejsza już promienia krzywizny, lecz przeciwnie zarysy zakrętu stają się podobne do segmentów kół o coraz to większych promieniach. Tak więc w ułamku $\frac{v^2}{\rho}$ licznik wciąż się zmniejsza, a mianownik z początku zmniejsza się, poczem zaczyna wzrastać. Siła odśrodkowa więc z początku wzrasta od zera (przy $\rho = \infty$) do pewnego maximum, poczem stale się zmniejsza. Wtedy rozmycie brzegu słabnie, a zakręt przestaje się rozrastać.

Nietylko w związku z zakrętami, ale i ogólnie można rozróżnić na rzekach kawałki biegu głębsze, węższe, o mniejszym spadku, oraz inne płytsze, szersze o spadku większym¹⁾. Otóż co do tego zauważyć można, że ilość zmian miejsc głębokich i płytkich (krzywizn i przejść) nie zależy tylko od krzywizn brzegów, ale od krzywizn nurtu, które często są znacznie ostrzejsze jak krzywizny brzegów i wytwarzają częstsze następstwo miejsc płytkich i głębokich (rys. 16).

¹⁾ Pierwsze nazywa Rudzki według nazwy staropolskiej „płosa“ drugie „bystrze“; pierwszą nazwę spotykamy u górali — drugą zastąpili wyrażeniem „pręd“ (na prędie, prąd); Czesi nazywają te miejsca „brody“, która to nazwa oznacza u nas również miejsca płytkie, w których łatwo rzekę przekroczyć.

W tych rozważaniach został jednak nieuwzględniony jeszcze jeden czynnik, jakim jest w rozwoju rzeki materiał наносzony z góry, a dalej zmiana układu pionowego terenu po którym rzeka płynie, gdyż przecież wiele dolin rzek jest jeszcze w stadium budowy. Wiemy, że potok górski przeladowany materiałem ruchomym może nieraz zatkać zupełnie swe łóżysko zwarte i głęboko wcięte w obrębie szyji, stwarzając warunki do wykroczeń bocznych. Taksamo rzeka górską wychodząc z gór na płaską dolinę łamie gwałtownie swój spadek, zamieniając spadek duży, zależny od układu pionowego w górach, na nieraz znacznie mniejszy, wywołany małym pochyleniem równiny po której płynie. Musi tu



Rys. 16.

nastąpić złożenie mas materiału ruchomego, gdyż ilość jego jest nadmierna wobec zmniejszonej siły poruszającej, a to deponowanie materiału zalegającego łóżysko i tworzące pokłady młode i luźne jest powodem powstawania krzywizn, zakoli, podziału na ramiona, tworzenia odsypisk i wysp. Dlatego u rzek na przejściu z gór w równiny, jak również i tam gdzie do rzeki nizinnej uchodzi dopływ górski transportujący duże masy materiału, powstają najlepsze warunki do wszelkich wykroczeń w kierunku poziomym, czyli do t. zw. zdziczenia rzeki.

Związek układu poziomego rzek z głębokością. Że taki związek istnieje wykazały to przedewszystkiem badania Fargue'a, który jako kierownik robót regulacyjnych na Garonne poddał szczegółowej analizie na podstawie obserwacji przyrody rzeki, wykonanych pomiarów i wykreślonych planów sytuacyjnych i przekrojonych, uzyskane wyniki regulacji¹⁾. Jako obiekt doświadczalny służyła 22 kilometrowa przestrzeń rzeki między Gironde i Barsac od 20 lat uregulowana, gdzie jako linje regulacyjne stosowano parabole II stopnia.

Fargue zapytuje się przedewszystkiem, czy istnieje związek między kształtami w układzie poziomym rzek o ruchomem dnie i profilem podłużnym w nurcie, a jeżeli tak jest, jaki jest najlepszy układ poziomy (najlepszy układ sztucznych brzegów, czyli trasa regulacyjna) z uwagi na uzyskanie najkorzystniejszych głębokości dla żeglugi? Jak widać z tego, rozchodzi się tu przedewszystkiem o rzeki duże, nizinne, odpowiednie do żeglugi.

¹⁾ L. Fargue: „Étude sur la corrélation entre configuration du lit, et la profondeur d'eau dans les rivières à fond mobile. Annales des ponts et chaussées 1868 (I).

L. Fargue: „La forme du lit des rivières à fond mobile“. Paris 1908.

Obserwując profil podłużny i głębokości dna wydaje się na pierwszy rzut oka, jakoby zmiany głębokości występowały w sposób nieregularny i przypadkowy, gdy jednak przypatrzymy się uważniej, można rozróżnić dwojakiego rodzaju zmiany. Jedne istnieją tylko na krótkiej przestrzeni i są lokalne, lub przypadkowe, inne obejmują długość znaczną i są charakterystyczne dla profilu podłużnego w nurcie. Pomijając pierwsze widzimy, że głębokości wody zmieniają się w profilu podłużnym według prawa perjodyczności.

Związek między układem poziomym a głębokościami przy małej wodzie określają następujące prawa podane przez autora na podstawie obserwacji Garonny, które jednak potwierdzone zostały przez badania i na wielu innych rzekach¹⁾.

Prawa Fargue'a. Obserwując sytuację rzeki i profil podłużny, widzimy w nim następstwo perjodyczne miejsc najgłębszych (la mouille), oraz miejsc najpłytszych (le maigre), przyczem miejsca najgłębsze odpowiadają wierzchołkom krzywizny, zaś najpłytsze punktem przegięcia (point d'inflexion, point de surflexion). Punkty najpłytsze dzielą daną przestrzeń rzeki na poszczególne części, czyli stanowiska (bief, Haltung). Minima głębokości występują na przejściach nietylko tam gdzie krzywizna zmienia kierunek (point d'inflexion), ale i tam gdzie zachowuje tensam kierunek (point de surflexion), z czego wynika, że powodem tworzenia się miejsc najpłytszych nie jest zmiana kierunku krzywej, lecz minimum krzywizny, czyli maximum promienia. Bliższa obserwacja wykazuje następujące prawa:

I. Największa i najmniejsza głębokość leżą poniżej największej i najmniejszej krzywizny (prawo odstępu, lub przesunięcia, loi de l'écart).

Przesunięcie to wynosiło na Garonnie średnio $\frac{1}{4}$ długości krzywej, lub też oznaczając inaczej, około dwukrotną szerokość rzeki. Ta miara przesunięcia potwierdzona została również przez badania na Sekwanie, oraz przez badania Jasmunda na Łabie.

II. Im większa (ostrzejsza) krzywizna (odwrotność promienia), tem większa największa głębokość (prawo głębokości, loi de la mouille).

W sposób empiryczny znajduje dla badanej partji Garonny związek między największą głębokością H (la profondeur de la mouille) i krzywizną wierzchołka (wziętą dla uniknięcia zbyt małych cyfr tysiąc-

¹⁾ Wprawdzie prawa Fargue'a odnoszą się do rzek uregulowanych, o brzegach sztucznych, wykształconych jako krzywe paraboliczne (a zatem o zmiennej krzywiznie od pewnego $\frac{1}{r}$ minimum na przejściach, do pewnego $\frac{1}{r}$ maximum u wierzchołka krzywej), jednak zamieszczamy je na tem miejscu, ponieważ charakteryzują one również i naturalne przejawy rzeki, na których zresztą są oparte.

krotnie $C = 1000 \frac{1}{R}$) w formie paraboli 3 stopnia

$$C = 0,03 H^3 - 0,23 H^2 + 0,78 H - 0,76,$$

przyczem stwierdza, że równanie to odnosi się do średniej długości łuku 1330 m. — i poza granicami długości łuku 500 m. jako minimum i 2000 m. jako maximum traci swą ważność. Prawo to badane przez Jasmunda na Łabie okazało się również ważnem i dla tej rzeki, związek jednak między C i H był prostoliniowy. Analogiczne prawo odpowiadające miejscom płytkim powinno być celem końcowym poszukiwań, jednak jest zrozumiałem, że takie prawo nie może być w związku z krzywizną, która w tem miejscu (na przegięciu) jest równa zeru. Nie potrzeba dodawać, że określenie związku między kształtem łożyska a minimalną głębokością byłoby rzeczą niezmiernie doniosłą, przedewszystkiem z uwagi na żeglugę, gdyż dla żeglugi przedewszystkiem ważne są głębokości najmniejsze, od nich bowiem zależy zanurzenie, a zatem i pojemność statków. To jednak zadanie nie jest łatwe do rozwiązania, zwłaszcza że te najmniejsze głębokości są w związku z układem progów na przejściach, nad czem się w dalszym ciągu bliżej zastanowimy.

III. Aby powstały korzystne głębokości, tak największe, jak i średnie, długości krzywych nie mogą być ani zbyt wielkie, ani zbyt małe.

Jako najodpowiedniejszą długość krzywej dla badanej przestrzeni Garonny uznał Fargue 1330 m.; naturalnie że dla każdej rzeki długość ta będzie inna i musi być osobno wyznaczona.

IV. Przy równej długości krzywych głębokość średnia stanowiska (bief) jest tem większa, im więcej rozwarty jest kąt zewnętrzny jaki tworzą skrajne styczne krzywej (prawo kąta, loi de l'angle).

Iloraz kąta zewnętrznego jaki tworzą skrajne styczne krzywej, oraz długości krzywej, jest charakterystyczny dla średniej głębokości stanowiska.

V. Profil podłużny kanału żeglownego (passe navigable, chenal, Fahrwasser), jako taki możemy w tym wypadku przyjąć nurt) przedstawia się tylko wtedy regularnie, gdy krzywizna zmienia się w sposób ciągły (prawo ciągłości, loi de la continuité).

Każda nagła zmiana krzywizny wywołuje nagłą zmianę głębokości.

VI. Jeżeli krzywizna zmienia się w sposób ciągły, nachylenie stycznej do krzywej krzywizny (krzywa mająca za odcięte długości, a za rzędne wielkość krzywizny $\frac{1}{R}$) wyznacza spadek dna (prawo spadku dna, loi de la pente du fond).

Oдноśny związek przedstawia równanie:

$$q = 0,1553 \times p + 0,0114 \times p^3$$

w którym oznacza q kilometryczną zmianę krzywizny, ($q = 10^6 \frac{\Delta c}{\Delta s}$),
 a p kilometryczną zmianę głębokości ($p = 10^6 \frac{\Delta p}{\Delta s}$).

Autor stwierdza, że prawa te stosują się do wszystkich rzek o ruchomym dnie, tylko że stosownie do różnorodnych przyrodzonych warunków rzek współczynniki formuł będą różne. Na podstawie tych praw autor dąży do określenia profilu podłużnego odpowiadającego danemu kształtowi poziomemu łożyska (linji regulacyjnych) i odwrotnie do określenia kształtu łożyska na podstawie znanego profilu podłużnego, co jest jednoznaczne z wyznaczeniem racjonalnej trasy regulacyjnej, t. j. takiej, która zapewnia maximum korzyści dla żeglugi.

Jakkolwiek spostrzeżenia Fargue'a i jego teoretyczne zasady wyznaczenia racjonalnego kształtu łożyska spotkały się z powszechnym uznaniem, jednak w praktyce nie doprowadziły do powstania pewnej metody, lub systemu ogólnie respektowanego, o czym pomówimy jeszcze na innym miejscu, a mianowicie w ustępie o projektowaniu kierunków regulacji, czyli trasy regulacyjnej.

Co do kształtu przekrojów poprzecznych zauważa Girardon¹⁾, że przekroje prostokątne, czyli o dnie poziomem, są kształtem podobnie nietrwałym, jak prostolinijny kierunek biegu. Taki przekrój pogłębia woda najpierw w punktach, gdzie opór dna jest mniejszy; gdy to zaś nastąpi, zmienia się głębokość i spadek wody i erozja dna postępuje dalej. W każdym profilu siła poruszająca jest największa w miejscu najgłębszem, a więc w pobliżu brzegu wklęsłego; woda przenosi materiał ruchomy na brzeg wypukły, przy którym jest miejsce składu. Jeżeli łożysko jest bardzo szerokie, a prąd wody skierowany ku brzegowi wypukłemu zbyt słaby aby donieść materiał do brzegu wypukłego, wtedy składa go w obrębie łożyska, wytwarzając ławę podłużną, równoległą do brzegów i dwa nurty, jeden główny przy brzegu wklęsłym, drugi uboczny przy brzegu wypukłym, lub więcej takich ław i nurtów, a łożysko dzieli się na szereg strug, względnie ramion.

Skutkiem siły odśrodkowej zwierciadło przy brzegu wklęsłym podnosi się, wytwarzając niejako równię pochyłą spadającą w stronę brzegu wypukłego. Gdy krzywizna jest bardzo ostra, cały profil zesuwa się w stronę brzegu wklęsłego, głębokość przy tym brzegu znacznie wzrasta, a odsypisko na brzegu wypukłym się podnosi; nurt leży tuż przy brzegu wklęsłym, profil zbliża się do kształtu trójkątnego, a spadek poprzeczny zwierciadła ku brzegowi wypukłemu jest bardzo wybitny.

W razie jeżeli brzeg wklęsły jest stromy, to silna erozja występuje tu w całej pełni, natomiast gdy brzeg ten jest pochylony łagodnie,

¹⁾ Amélioration des rivières..., j. w.

woda może się swobodnie rozszerzać, profil skutkiem łagodnej skarpy stopniowo a nie nagle zmniejsza ku brzegowi głębokość, równia pochyla jaką tworzy zwierciadło jest łagodniejsza, a pogłębienie profilu mniejsze.

Najogólniej rzecz wyrażając można powiedzieć, że każda przeszkoda wstawiona w łóżysko rzeki, przeciwstawiająca się prądowi wody (a więc każda tama poprzeczna, odsypisko w łóżysku, lub nawet wielki kamień, a także brzeg wklęsły, który jako taki przeciwstawia się prostolinijnemu ruchowi strug wody), wywołuje pogłębienie profilu.

Wielkie wody wprowadzają zawsze zmiany w układzie naturalnym łóżyska, t. j. brzegów, głębokości, nurtu, położeniu i kierunku progów — jeżeli jednak brzegi są dobrze ubezpieczone (łożysko należyście uregulowane), zmiany te po przejściu wielkiej wody będą niewielkie; większe głębokości pozostaną w tychsamych miejscach, progi nie zmieniają położenia, a tylko ich wzniesienia i kierunki doznają zmiany.

Spadek poprzeczny łóżyska i jego znaczenie z uwagi na układ poziomy. Jak wiadomo niwelacja zwierciadła wody w przekroju poprzecznym wykazuje pewne różnice poziomu przy obu brzegach; różnice te osiągają wartości pozornie niewielkie (milimetry, lub centymetry), jednak z uwagi na to, że spad podłużny zwierciadła wody rzek jest wogóle mały, ta różnica poziomu zwierciadła przy obu brzegach i wynikający z niej spad poprzeczny zasługują na uwagę. Spad poprzeczny może wynikać z różnych przyczyn; jak w łóżysku dzielącym się na ramiona, poziom wody w różnych ramionach choć w tymsamym profilu poprzecznym prostopadłym do kierunku ramion może być różny, tak i w łóżysku jednolitem, jednak nie wykształconem, o niejednorodnych głębokościach, powstają spady poprzeczne, które muszą wpływać na ruch wody. Dotychczas hydrotechnicy mało się tą sprawą zajmowali, mówiono tylko, że siła odśrodkowa działająca w krzywiznach trasy na wodę powoduje podniesienie się wody na brzegu wklęsłym, a obniżenie na brzegu wypukłym. Bliżej badał tę kwestję Gockinga¹⁾, który również zwrócił uwagę na to, że spad poprzeczny wiąże się ze sprawą układu poziomego jaki rzece uregulowanej dać należy i podał w tym kierunku pewne wskazówki. Otóż w profilu poprzecznym położonym w łuku siła odśrodkowa działająca na punkt materialny wynosi:

$$F = \frac{m v^2}{r}, \text{ gdzie } m \text{ oznacza masę, } v \text{ chyżość, a } r \text{ promień łuku.}$$

Dla elementu o wszystkich trzech wymiarach równych d , a zatem o objętości d^3 , masa $m = \frac{d^3 x^3}{g}$, a promień kolistej drogi elementu w od-

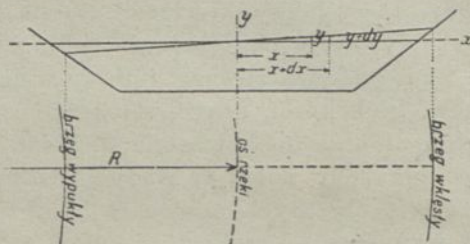
¹⁾ „La pente transversale et son influence sur l'état de rivières, Annales des ponts et chaussées 1913 I.

ległości x od osi łożyska (rys. 17) (t. j. od przyjętego początku układu)

$$r = R + x$$

$$\text{Siła odśrodkowa } F = \frac{d x^3 v^2}{g (R+x)}$$

Z uwagi na równowagę, siła ta musi być równa ciśnieniu hydrostatycznemu działającemu na ten element skutkiem podwyższenia zwierciadła o dy .



Rys. 17.

$$\frac{dx^3 v^2}{g (R+x)} = dx^2 dy$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v^2}{g} \frac{1}{R+x}$$

$$y = \frac{v^2}{g} \log \text{ nat } (R+x) + C$$

$$\text{dla } x=0 \quad y=0$$

$$C = -\frac{v^2}{g} \log \text{ nat } R$$

$$y = \frac{v^2}{g} \log \text{ nat } \left(1 + \frac{x}{R}\right) = \frac{2,303}{9,812} v^2 \log \left(1 + \frac{x}{R}\right)$$

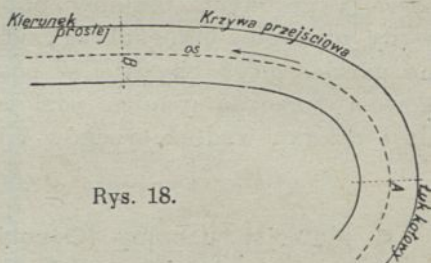
$$y = 0,235 v^2 \log \left(1 + \frac{x}{R}\right).$$

Jest to linja ku górze wypukła, stromsza przy brzegu wypukłym jak przy wklęsłym.

Wstawiając np. $R = 500$, $v = 1$ m., szerokość zwierciadła $S = 200$ m. i obliczając y_1 i y_2 dla x równego $+\frac{S}{2}$ i $-\frac{S}{2}$, oraz biorąc różnicę $y_1 - y_2$, otrzymuje się różnicę wysokości przy obu brzegach około 4 cm. Jeżeli weźmiemy pod uwagę pionową kolumnę elementów w profilu, to gdyby ich chyżości były równe, nie następowałaby w czasie ruchu zmiana ich pionowego układu, gdyż siła odśrodkowa byłaby dla wszystkich równa. Chyżości na górze są większe, na dole mniejsze i stosownie do tego siła

odsrodkowa na górze większa jak na dole. Skutkiem tego każda pionowa kolumna elementów dozna skręcenia około jakiegoś elementu środkowego w ten sposób, że góra nachyli się do brzegu wklęsłego, dół do wypukłego, skąd wynika, że przy brzegu wklęsłym strugi płyną z góry ku dołowi, przy brzegu wypukłym przeciwnie, kombinacja zaś obu ruchów t. j. poziomego i pionowego daje ruch zbliżony do ruchu po linii śrubowej.

Autor stwierdza, że na połączenie partji krzywych z prostemi w trasie rzeki należy zwrócić baczną uwagę. W profilu łączącym partję kolistą z prostą poniżej położoną musi już istnieć spad poprzeczny, ale w tem miejscu i strugi nie mogą mieć jeszcze kierunku prostoliniowego, naodwrot zaś można powiedzieć, że ugięcie strug nie jest możliwe bez spadku poprzecznego. Między łuk kołowy a kierunek prosty należy wstawić krzywą przejściową,¹⁾ o promieniu krzywizny zmieniającym się od promienia łuku kołowego do ∞ , przytem jednak trzeba aby ta



Rys. 18.

krzywa przejściowa nie była ani za długa, ani za krótka; długość jej musi być dostosowana do warunku, aby przy przejściu wody z łuku kołowego do prostej spad poprzeczny na tej długości mógł się zgubić, naodwrot zaś, aby przy przejściu z prostej do łuku kołowego nastąpiło stopniowe wytwarzanie się przechyłki, czyli spadku poprzecznego.

Zakładając np., że spad poprzeczny w partji kolistej, obliczony jak poprzednio, wynosi 4 cm., czyli od brzegu do osi 0,02 m i przyjmując spad podłużny w osi $i = 0,0001$, natenczas jeżeli długość krzywej przejściowej między prostą a łukiem (rys. 18), t. j. między punktami A i B nie jest znacznie większa jak

$$\frac{0,02 \text{ m}}{0,0001} = 200 \text{ m},$$

musiałby pozostać jeszcze przy końcu krzywej przejściowej spadek poprzeczny, gdyż inaczej nie mógłby się wzdłuż tej krzywej przejściowej wytworzyć spadek podłużny w kierunku ruchu. Zatem długość przejściowa A—B musi być znacznie większa jak iloraz ze spadku poprzecznego między zwierciadłem przy brzegu wklęsłym oraz przy osi, podzielonego przez spadek podłużny rzeki.

Autor radzi zatem, aby przy projektowaniu kierunków badać jakie będą spadki podłużne przy obu brzegach z uwzględnieniem przechyłki zwierciadła w łukach i tak projektować przejścia z łuków do prostych

¹⁾ Bliżej o tej kwestji poniżej, w rozdziale o projektowaniu kierunków.

i odwrotnie, aby spadki podłużne wzdłuż brzegów zmieniały się stopniowo.

Ruch krzywoliniorny wymaga większej powierzchni przekroju poprzecznego jak ruch prostoliniorny, więc profile w krzywiznach powinny być szersze. Również zmiana krzywizny nie powinna być ani zbyt nagła, ani zbyt powolna, przejście zaś stopniowe polegające na tem, że krzywa krzywizny powinna być linią jednolitą i regularną. Jak widzimy, zapatrywania te zgadzają się z wynikami badań Fargue'a.

Przy projektowaniu trasy radzi przyjąć oś próbną i na podstawie szeregu próbnych profilów poprzecznych oznaczać różnice poziomów wody przy obu brzegach. Przytem trzeba dzielić przekroje poprzeczne na partje, gdyż chyżości w poszczególnych ich partjach nie są jednakowe i oznaczać różnice poziomów partjami. Potem trzeba studjować linje spadku wzdłuż brzegów i badać czy one odpowiadają celowi.

4. Materiał ruchomy (Geschiebe, Gerölle, galet, cailloux roulés) i jego ruch w łożyskach rzecznych.

W przyrodzie do wyjątków należą rzeki lub pewne ich przestrzenie, których łożysko zaryte jest głęboko w starsze pokłady skał zbitych i odpornych, jak np. wapienia, piaskowca, lub iłu, po których woda płynie bezpośrednio¹⁾. Zazwyczaj łożysko tworzy materiał luźny rozdrobiony, składający się z ziarn różnej wielkości, przyczem materiał drobniejszy wypełnia przestrzenie wolne między ziarnami grubszymi. Skąd ten materiał pochodzi? Zasadniczo jest on wytworem erozji, wietrzenia i denudacji — powstaje skutkiem niwelującego działania sił przyrody. Główne masy materiału ruchomego pochodzą z gór, potoki i rzeki w czasie wezbrań transportują go w dół, przyczem w miarę przybytej drogi materiał się rozdrabnia i ściiera; prócz tego przez obrywanie i osypywanie się brzegów, lub też rozmywanie ich przez wodę, dostają się także pewne ilości materiału ruchomego²⁾. Na nieuregulowanym lewym brzegu Wisły w pobliżu Opatowca obserwować było można obrywanie się gliniastego brzegu już przy zwykłych stanach w wielkich odłamach, które co pewien czas z hukiem spadały do wody. Glinę tę następnie woda rozmywa i jako namul unosi w dół. Brzegi Wisły nieuregulowanej na

¹⁾ Na rzekach górskich zjawisko to występuje częściej, choć i na rzekach nizinnych się je spotyka. Tak naprzykład Styr na pewnej przestrzeni w pobliżu Rożyzsacza posiada przy nader małym spadku wynoszącym 0,0005 głębokie profile zaryte w ił i kredę.

²⁾ Na Wiśle w tarnobrzesckim wylawiają ciemny żwir kwarcytowy, o ziarnach grubszych jak materiał ruchomy w tej przestrzeni, pochodzi on z t. z. gór pieprzowych znajdujących się na lewym brzegu.

obszarze dawnego Królestwa Kongresowego, nieubezpieczone, złożone z gliny lub piasku, woda z łatwością podmywa i zrywa, powiększając ilość materiału ruchomego nanoszonego z góry. Baumgarten¹⁾ zauważa, że brzegi obrywają się najczęściej po wylewie, gdy woda już w łożysku opadła. Wtedy woda gruntowa odpływa podziemnie przez brzegi i rozluźnia je, wywołując odrywanie się materiału. Na rzekach o brzegach gliniastych i piaszczystych widzi się nieraz po wylewie drogi holownicze na znacznej przestrzeni zerwane.

Roczna objętość odpływu wód Dunaju u ujścia ma wynosić 150 do 250 kilometrów sześciennych wody, w tem zaś ma być 50—80 milionów ton namułu; wynikałoby z tego, że na metr sześcienny wypada przeciętnie 330 gramów namułu. We wodach Renu i Łaby zawartość namułu ma być znacznie mniejsza, natomiast u niektórych rzek alpejskich, np. Durance, Var'u w czasie wezbrań 10—20 razy większa. Metr sześcienny wody Nilu w czasie wylewu w sierpniu zawiera około 1500, a Mississipi w tym samym miesiącu 1000 gramów namułu²⁾.

Ilość materiału transportowanego przez potok lub rzekę można mierzyć, jednak zadanie nie jest łatwe. Schoklitsch podaje następującą tabelę zestawianą według różnych źródeł, w której prócz ilości materiału transportowanego w ciągu roku podany jest także sposób pomiaru, czas obserwacji, dorzecze i objętość odpływu wody w ciągu roku. (Tabela patrz str. 52).

Autor ustawia nawet formułę na objętość materiału transportowanego w ciągu roku:

$Q = \Delta (Q F)^{0,2}$; współczynnik Δ waha jednak w szerokich granicach (przy przeciętnej z długoletnich obserwacji od 100—2090), przy czem wartość jego zależy od geologicznej jakości dorzecza i stanu łożyska. Wartość 100 odpowiada łożyskom w stanie ustalonym (Beharrungszustand, permanence, persistence), (brak rumowiska, dorzecze dobrze zalosione, brzegi ubezpieczone); wartość 600—1000 odpowiada większym rzekom, których dorzecze składa się z różnych obszarów geologicznych; ponad 1600 rzekom i potokom dzikim o silnej erozji. Wartości Δ z poszczególnych lat dochodzą do liczby 4500.

Wielkość największych ziarn materiału ruchomego jaki spotykamy w łożysku jest różna, zależnie od rodzaju skał z których się wytwarza, miejsca na rzece (potok górski, rzeka góraska, rzeka nizinna) i w związku z tem spadku łożyska. Ruch materiału ruchomego nie jest trwały, lecz co do czasu trwania ograniczony do wezbrań i wogóle wyższych stanów. Silne potoki górskie poruszają przy gwałtownych wezbraniach nawet

¹⁾ Notice sur la portion de Garonne.... Annales d. ponts et chaussées 1898.

²⁾ M. P. Rudzki „Fizyka ziemi“ Kraków 1909.

L.	Rzeka lub potok	Sposób pomiaru ilości rumowiska	Czas obserwacji	Dorzecze F km ²	Objętość wody Q 10 ⁶ m ³ /rok	Objętość rumowiska m ³ /rok q
1	Luscharibach koło Saifnitz	Zamulenie przegrody doliny	1876	4,4	4,18	30.000
2	Vogelbach koło Pontebby	" " "	1862—1880	10,0	9,59	15.500
3	Zimkenbach	Przyrost delty w jeziorze Ś-go Wolfganga	1878—1893	56,7	64,70	7.390
4	Torre koło Tarcento	Przyrost delty	1896—1909	62,0	111,60	12.000
5	Gail pod Wetzmann	Zamulenie przegrody doliny	1883—1884	324,0	374,00	600.000
6	Celina pod Mte Reale	Przyrost delty	1904—1905	436,0	697,00	840.000
7	Reuss	w jeziorze "Czterech Kantonów"	1851—1878	825,0	750,00	146.200
8	Bregenzer Ache	Przyrost delty w jeziorze Bodeńskim	1861—1885	830,0	956,16	129.300
9	Kander	Przyrost delty w jeziorze Thuńskim	1714—1866	1073	1.225,00	373.420
10	Tiroler Ache	Przyrost delty w jeziorze Chiemskim	1879—1882	1015	1.340,00	142.100
11	" "	dtto	1909—1910	1015	1.668,00	80.000
12	Aara	Przyrost delty w jeziorze Bielskim	1878—1898	2648	2.144,00	428.570
13	Ren	Stara delta w jeziorze Bodeńskim	1863—1883	6351	6.115,80	493.600
14	"	Nowa delta " "	1906—1911	6351	6.115,80	1.122.800
15	Dunaj pod Wiedniem	—	1877—1884	102.236	52.000,00	871.000

wielkie głazy — głaz taki oderwany od skał stacza się w łożysko w którym posuwa się od czasu do czasu ruchem toczącym się; ruch ten powstaje w ten sposób, że głaz stanowiąc przeszkodę przepływu, wywołuje spiętrzenie wody i wymycie materiału drobniejszego w swem pobliżu, skutkiem czego tracąc podstawę przewala się w dół. Na rzekach nizinnych już i żwir zanika, a materiał składa się z piasku i namułu. Jak widzimy, materiał w ciągu przebytej drogi rozdrabnia się, a więc rozpada i ściera, a stopień rozdrobnienia zależy od długości odbytej drogi i petrograficznej jakości materiału. W każdym razie wielkość spadku przeciętnego na pewnej przestrzeni rzeki jest w ścisłym związku z przeciętną grubością materiału ruchomego ¹⁾.

Przypatrzmy się jednak bliżej, jak się odbywa ruch materiału. Przy stanach najniższych woda jest prawie czysta, dno rzeki twarde, zbite, gdyż między ziarnami grubszymi osadziły się ziarna drobniejsze, wreszcie piasek i namuł, wypełniając przestrzenie wolne. Kąpiąc się w rzece przy bardzo niskich stanach odczuwamy to zupełnie wyraźnie, że pod stopami mamy dno zbite, gdy jednak stan wody wzrośnie już choćby o 20 lub 30 cm odczuwamy, że zaczynamy grzęznąć, a materiał dna usuwa nam się z pod nóg. Z przyborem wody zaczyna się wypłukiwanie przez wodę materiału dna — energia potencjalna (mgh) i energia ruchu ($\frac{1}{2}mv^2$) wzrastające z przyrostem masy wody i chyżości muszą się zużyć, i zużywają się na opory ruchu wewnętrzne, opory zewnętrzne, czyli tarcie o dno i ściany łożyska i na toczenie i unoszenie materiału rzecznoego.

Najpierw, przy małym wzroście stanu wody, wypłukuje woda materiał najdrobniejszy, namuł i piasek i unosi go, skutkiem czego stwardniała skorupa dna się rozluźnia, dno traci gładkość, a tarcie wody wzrasta. Z dalszym przyborem wody zaczynają się poruszać i części grubsze, gruby piasek, żwir i kamienie, które oderwane od dna toczą się. W literaturze naukowej spotkać się można przeważnie z twierdzeniem, że materiał grubszy, jak żwir i kamienie, mogą się tylko toczyć po dnie, doświadczenia z praktyki stwierdzają jednak, że możliwe jest także i unoszenie. ²⁾ Tak na przykład przy regulacji Łomnicy zauważono, że poza tamami równoległymi woda w czasie wezbrania złożyła gruby żwir, który nie mógł się tam dostać inaczej, jak przez przerzucenie przez tamę.

W miarę opadania stanu wody po przejściu wezbrania ruch materiału maleje; najpierw zatrzymują się części grubsze, a w dalszym ciągu i drobniejsze, wreszcie na końcu opada piasek i namuł.

¹⁾ Patrz autora „Próby ustawienia wzorów empirycznych w łożyskach przyrodzonych“ Czasop. techn. Lwów 1906.

²⁾ Schoklitsch w pracy poniżej powołanej dopuszcza także skakanie („springen“) ziarn.

Charakter mechanicznego działania wody płynącej na dno, względnie na ziarna materiału ruchomego, jest dwojaki, a mianowicie jako *tz.* siła uderzenia, o ile chodzi o poszczególne luźne ziarno, oraz jako *tz.* siła poruszająca (Räumungskraft, Schleppkraft, force d'entrainement) o ile mówimy o materiale dna zbiorowo wziętym.

Wielkość ziarn materiału, które woda może poruszyć, zależy od chyżości wody. Ruch ciała zaczyna się wtedy, gdy pozioma składowa różnicy ciśnień na ziarno materiału przewyżczy opór. Obustronne ciśnienia statyczne się znoszą, pozostaje tylko ciśnienie dynamiczne skutkiem uderzenia wody, proporcjonalne do energii ruchu i do przekroju poprzecznego *S* ziarna. Graniczny warunek równowagi przedstawia równanie:

$$k \frac{1}{2} \frac{\gamma}{g} v^2 S = f \cdot P = f (\gamma_1 - \gamma) \omega$$

w którym oznacza *v* chwilową chyżość wody, γ jej ciężar właściwy, γ_1 ciężar właściwy, ω objętość, a *S* powierzchnię ciała, *g* przyspieszenie ciężkości, *f* współczynnik tarcia, *P* ciężar ziarna; $(\gamma_1 - \gamma)$ wynika z powodu zanurzenia ciała we wodzie.

Równanie to można napisać w formie:

$$v^2 = C \cdot \frac{\omega}{S}, \text{ przyczem stała } C = \frac{2 f (\gamma_1 - \gamma)}{k \gamma} g$$

$$\text{lub } v = \sqrt{C \frac{\omega}{S}}$$

Ponieważ ω jako objętość ma wymiar trzeciej potęgi długości, zaś *S* jako powierzchnia wymiar drugiej potęgi, zatem $\frac{\omega}{S}$ jest długością w pierwszej potędze, czyli chyżość wody potrzebna do poruszania ziarna materiału rzeczony jest proporcjonalna do pierwiastka drugiego z jego linjowych wymiarów. Podnosząc równanie powyższe do potęgi szóstej, mamy kształt:

$$v^6 = C^3 \left(\frac{\omega}{S} \right)^3,$$

$$\text{lub } v = \sqrt[6]{C^3 \left(\frac{\omega}{S} \right)^3},$$

a ponieważ $\frac{\omega}{S}$ przedstawia wymiar linjowy, a $\left(\frac{\omega}{S} \right)^3$ długość w potędze trzeciej, a zatem objętość, możemy powyższe zdanie wyrazić także następująco: chyżość wody potrzebna do poruszenia ziarna materiału jest proporcjonalna do pierwiastka szóstego z objętości¹⁾. Twierdzenia te są dość zgodne z doświadczeniami.

1) Rudzki, Fizyka ziemi j. w. str. 443; podobnie Forchheimer Hydraulik, Graz 1914.

Według Sainjon'a na Loirze		porusza woda płynąca z chyżością	
ziarna o średnicy		na dnie	średnią
0,25 cm.	. . . . .	25 cm./sek.	. . . . . 36
1,0 "	. . . . .	50 "	. . . . . 70
4,0 "	. . . . .	100 "	. . . . . 143
10,0 "	. . . . .	150 "	. . . . . 214
17,0 "	. . . . .	200 "	. . . . . 286
38,0 "	. . . . .	300 "	. . . . . 429
67,0 "	. . . . .	400 "	. . . . . 521

Redtenbacher podaje, że aby dno rzeki nie zostało wzruszone, chyżość wody w m/sek. nie powinna przekroczyć następujących wartości:

Wzruszona ziemia	Tłusty ił	Piasek	Żwirek	Żwirek okrągły	Żwirek ostrokątny	Zlepniec	Skała warstwo- wana	Skała nie- warstwo- wana
0,076	0,152	0,305	0,609	0,914	1,22	1,52	1,83	3,05

Wogóle mięka glina i ziemia bywa rozmywana już przy chyżości na dnie 8—10 cm/sek., więcej zbita glina i drobny piasek przy chyżości 20 cm/sek., grubszy piasek przy chyżości 30 cm/sek., żwirek o ziarnach 1 cm. przy chyżości 70 cm/sek., żwir kilkocentymetrowy i grubszy przy chyżościach 1 m/sek. i wyższych.

Jak głęboko sięga działanie wody płynącej na dno łóżyska? Otóż co do tej kwestji zapatrywania nie są zgodne. Niewątpliwie rozluźnienie spoistości podłoża rzeki sięgać musi według tego cośmy powyżej powiedzieli w głąb, jednak czy właściwy ruch materiału pojętego jako warstwa o wydatnej grubości sięga w głąb, okazuje się niezbyt prawdopodobnem. Wprawdzie z praktyki znamy przykłady znacznych pogłębień łóżyska, które się w stosunkowo krótkim czasie dokonały, jednak bliżej ich przebiegu nie stwierdzono, tak, że musimy wnosić, iż pogłębienie odbyło się przez stopniowe zmywanie wierzchniej warstwy. Zasadniczo zatem jest to także oddziaływanie wody płynącej w głąb, tylko że nie możemy sobie tego wyobrazić jako ruch całej warstwy, lecz rozluźnienie podłoża do pewnej głębokości i poruszanie poszczególnych luźnych ziarn. Tak na przykład Lech pod Augsburgiem pogłębił się w stosunkowo krótkim czasie o 6 m., poczem zauważono u spodu pnie dyłowane pochodzące z odległej epoki, wykazujące robotę ciesielską, która musiała być wykonana nad wodą, skąd wniosek, że rzeka kiedyś była w tym poziomie, a zatem pogłębienie wywołane regulacją było tylko powrotem do pierwotnego stanu. Naodwrot można znowu wskazać na przykład podany w sprawozdaniu o regulacji Renu¹⁾, według którego przy

¹⁾ „Der Rheinstrom von Strassburg bis zur holländischen Grenze“ str. 68.

kopaniu przekopu pod Büderich nad dolnym Renem znaleziono w około 8 metrowej głębokości pod terenem szczątki starego hiszpańskiego okrętu. Widać z tego jak znacznym zmianom ulegało łóżysko w ciągu czasu, tak co do przesunięć pionowych, jak i poziomych. Prof. Rychter ¹⁾ twierdził także, że rozluźnienie materiału i ruch warstw mogą sięgać w głąb



Rys. 19 (fot. z Renu).

i jako przykład cytował fakt, że przy budowie mostu pod Bazyleą spadła z rusztowania winda, którą dopiero odnaleziono później, przy sposobności innych robót 300 m. poniżej, zakopaną 3 m pod dnem. Rudzki cytuje zdanie Lecoute'a, że w czasie wysokiego stanu na Missouri posuwa się warstwa piasku 3—4 m gruba i porównuje to zjawisko z płynięciem lodowca, lub płynięciem błota. Eads twierdzi, że na Mississipi dno do głębokości 3—4 stóp jest w ruchu i że chyżość ruchu maleje w dół. Również Du Boys ²⁾ przyjmuje, że ruch materiału sięga głęboko w dno. Tym zapatrywaniom sprzeciwia się Schoklitsch ³⁾ stwierdzając, że tarcie ziarn materiału między sobą jest zbyt wielkie, a ruch całych warstw okazuje się nieprawdopodobnym. Tensam autor wykonał w sztucznym korycie próbnym doświadczenie, zapuszczając w dno zrobione z piasku pionową warstewkę piasku kolorowego; po poddaniu dna działaniu wody nie dostrzegł żadnego skrzywienia tej pionowej warstewki, lecz tylko rozluźnienie materiału na wierzchu dna. Zaprzecza również, aby spo-

¹⁾ Regulacja rzek, autografja.

²⁾ Annales des ponts et chaussées 1879.

³⁾ Über Schleppekraft und Geschiebepbewegung, Lipsk 1914.

strzeżenia poczynione na Renie, które miały stwierdzić ruchy dna do 3 m głębokości, mogły tu służyć za dowód. Mierzono tam głębokości wybojów, a gdy po pewnym czasie osadziła się tam ława piaszczysta mierzono różnicę wysokości. Jest to zwykle działanie pogłębiania i osadzania materiału, a nie ruchu warstw materiału dna, bo przecież woda nanosiła materiał stopniowo, a nie przeniosła od razu całej ławicy¹⁾.

Zapatrywaniom tym trzeba przyznać słusność, gdyż w każdym razie te wszystkie spostrzeżenia nie dowodzą ruchu całych warstw dna tylko stwierdzają, że ruch materiału może przybrać znaczne rozmiary i wywołać wielkie zmiany w łożysku. Potrzeba tu jednak ściślejszych doświadczeń i to nie tylko w sztucznych korytach próbnych, w których rozmiary doświadczeń mogą być tylko bardzo małe, ale i na rzekach samych.

Siła poruszająca. Tą nazwą oznaczamy działanie wody płynącej na dno łożyska, objawiające się w tem, że woda płynąca wprawia w ruch cząstki materiału dna. Forchheimer określa to zjawisko w ten sposób, że dno rzeki złożone z materiału luźnego przy stanach wyższych nie jest w spoczynku, lecz w ruchu, a jeżeli zachowuje swe położenie pierwotne, to tylko dlatego, że ilość materiału doprowadzanego i odprowadzanego się wyrównują. Ścisłe przedstawienie drogą rachunku zjawisk ruchu materiału rzeczno jest niemożliwe i można sobie wyrobić pod tym względem tylko pewien pogład.

Dubuat²⁾ przyjął na wyrażenie siły poruszającej następującą formułę:

$$S = \gamma T I \text{ (kg/cm}^2\text{)},$$

w której γ oznacza ciężar właściwy wody (1000 kg/m³), T głębokość w metrach, I spadek względny. Jeżeli w pewnym profilu chyżość wody jest v , a w sąsiednim, do którego woda przybywa w czasie dt $v + dv$, to przyrost siły żywej w tym elemencie czasu jest

$$\frac{m \{(v + dv)^2 - v^2\}}{2} = m v dv.$$

Ponieważ $\frac{dv}{dt} = g I$, czyli składowemu przyspieszeniu siły ciężkości w kierunku ruchu, zatem

$$m v dv = m g I v dt; \quad m \frac{dv}{dt} = S = m g I.$$

¹⁾ Takiesame zapatrywanie wyraża Krey („Die Bewegung der Schwemmstoffe in unseren Flüssen“, Ztbl. d. Bauverwaltung 1919) stwierdzając, że ruch całych warstw materiału w ciągłym zetknięciu z dnem jest niemożliwy i nigdzie go doświadczalnie nie stwierdzono.

²⁾ Principes d'hydraulique 1816, również du Boys, Annales des ponts et chaussées 1879.

Przyrost siły żywej musi się zużyć na pokonanie oporów ruchu, a przede wszystkim na tarcie i ruch materiału. Jeżeli w powyższym wyrażeniu na S wstawimy za masę wartość $m = \frac{1000 T}{g}$, odpowiadającą jednemu metrowi kwadratowemu dna, to siła poruszająca przedstawi się wyrażeniem

$$S = 1000 T I \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

Wyrażenie to nie jest jednak niczem innym, jak tylko składową ciężaru słupa wody znajdującego się nad 1 m^2 powierzchni dna mierzoną w kierunku spadku, ciężar wody bowiem pomnożony przez $\sin \varphi$, t. j. \sin kąta nachylenia dna do poziomu $\gamma T \sin \varphi = \gamma T \operatorname{tg} \varphi = \gamma T I$, daje tę składową w kierunku spadku dna. Tę składową zużywają jednak nie tylko opory ruchu zewnętrzne (tarcie zewnętrzne i ruch materiału), ale i opory wewnętrzne.

Engels¹⁾ przeprowadzał doświadczenia co do uderzenia wody płynącej na poszczególne małe kulki leżące na gładkim dnie łożyska i znalazł proporcjonalność siły poruszającej do iloczynu z głębokości i spadku względnego. Stwierdza jednak, że wyniku tego nie można wprost odnieść do siły poruszającej, będącej oddziaływaniem prądu wody na dno łożyska, gdyż nie można identyfikować uderzenia na powierzchnię pionową z działaniem prądu wody na powierzchnię dna. Wobec tego przeprowadził nowe doświadczenia zapomocą przyrządu opisanego bliżej w podanej publikacji, a polegającego na tem, że w dnie koryta próbnego (w laboratorium hydrologicznym) umieszczono ruchomą płytę cynkową mającą $500 \times 10 \text{ cm}^2$, którą pokryto warstewką materiału rzecznoego, a więc piasku i żwirku o jednolitej średnicy ziarn, wynoszącej w szeregu doświadczeń od $1,1 - 9,5 \text{ mm}$. Z płyty tej zapomocą prętów pionowych i poziomych, usztywnionych prętem ukośnym w trójkąt równoramienny, przenosił się ruch poziomy na ruch pionowy końca ramienia poziomego, który zapomocą pionowego pręcika wywierał nacisk pionowy na szalkę wagi chemicznej. Po odpowiednim więc odtarowaniu wagi można było wielkość poziomej siły tarcia na dno łożyska oznaczać ciężarkami na wadze chemicznej. Wyniki tych doświadczeń są następujące:

1. Tarcie na dno jest w przybliżeniu proporcjonalne do kwadratu średniej chyżości, czyli $k = \alpha v^2$; przy 6 grupach doświadczeń α zmieniło się od $0,286 - 0,811$.

2. Tarcie na dno wzrasta ze wzrostem porowatości (szorstkości) materiału dna.

¹⁾ Zentralblatt der Bauverwaltung 1908 i Ztsch. f. Bauwesen 1912 (Versuche über den Reibungswiderstand zwischen strömendem Wasser und Bettsohle, również Hdbuch des Wasserbaues 1914.

3. Przy prostokątnym przekroju koryta wielkość tarcia można wyrazić wzorem

$$S = \alpha 1000 T I \text{ kg/m}^2,$$

jednak ponieważ α jest zmienne dla tego samego koryta, stąd wniosek, że S nie jest proporcjonalne do iloczynu z głębokości i spadku¹⁾.

4. Znane prawidło odnoszące się do wielkości siły poruszającej wody („Schleppkraftgesetz“), a podane pierwszy raz przez Dubuat'a:

$$S = 1000 t I$$

nie zgodziło się zatem z wykonanymi doświadczeniami.

Engels stwierdza, że jeżeli już przyjmiemy, że wielkość siły poruszającej wody równa się $1000 T I \text{ kg/m}^2$, to przecież oprócz oporów tarcia na dnie, t.j. tarcia zewnętrznego, mamy także i opory wewnętrzne, które przy większych głębokościach są większe, a przy mniejszych mniejsze. Naodwrot opory tarcia na dnie są tem większe, im mniejsza głębokość. Z tego powodu współczynnik tarcia na dnie α będzie zawsze mniejszy od jednostki, a nazywając literą β współczynnik tarcia wewnętrznego i czyniąc to ostatnie również zależnem od iloczynu $1000 T I$, otrzymujemy następujący związek:

$$\begin{aligned} \alpha 1000 T I + \beta 1000 T I &= 1000 T I \\ \alpha &= 1 - \beta. \end{aligned}$$

Dalej powiada Engels: Gdy tarcie wody na dno jest większe jak odporność dna, materiał zostaje poruszony, a dno pogłębione. Ze wzrostem głębokości maleje α oraz I tak długo, aż się znowu wytworzy stan równowagi. Tam gdzie tarcie na dnie nie wystarcza do poruszenia materiału, będzie się dno tak długo podnosić (głębokość zmniejszać) aż siła S osiągnie wartość odpowiadającą stanowi równowagi. Przy jednolitej jakości dna iloczyny $\alpha \gamma T I$ muszą być wszędzie stałe; miejsca o nadmiernej głębokości są zarazem miejscami o małym spadku i wielkich ruchach wewnętrznych, podczas gdy miejsca płytkie mają wielki spadek, a małe ruchy wewnętrzne. W rzekach, jak wiadomo, zmieniają się miejsca płytkie i głębokie w pewnym określonym następstwie.

Biorąc za podstawę oznaczenia siły poruszającej powyższą formułę, można wytłumaczyć również następujące zjawisko podnoszone przez szereg wybitnych hydrologów. Przy wodzie wzbierającej, wzrastają na wybojach równocześnie T , oraz I^2), dlatego woda wzbierająca wymywa wyboje głębiej, na progach natomiast wzrasta tylko T , a I maleje, woda wzbierająca progi podnosi. Przy wodzie opadającej następuje zjawisko przeciwne, wyboje są wypełniane, a progi wymywane.

1) α zmieniało się przy doświadczeniach od 0,516—0,934.

2) gdyż W . W . wyrównuje spadki.

Ilość materiału w ruchu. Du Boys¹⁾ przyjął dla uproszczenia zadania, że ruch materiału odbywa się warstwami, posuwającymi się jedna po drugiej. Siłę poruszającą $S = \gamma T I$ znosi tarcie warstw między sobą. Jeżeli każda warstwa ma grubość ε , a wraz z wodą w niej się znajdującą ciężar jednostki objętości γ_2 , jeżeli φ oznacza współczynnik tarcia, natenczas warstwa n^a pozostanie w spoczynku jeżeli

$$\varphi n \varepsilon (\gamma_2 - \gamma) = \gamma T I = S \dots \dots a)$$

Warstwy pośrednie są jednak w ruchu i mają chyżości różniące się o stałą ilość, a więc warstwa $n - 1^a$ ma chyżość v , $n - 2^a$ $2v$, dalsza $3v$, wreszcie na powierzchni $n v$. Cała objętość transportowanego materiału na metr szerokości dna w jednostce czasu będzie:

$$G = \varepsilon (v + 2v + \dots + nv) = \varepsilon v \frac{n(n-1)}{2} \dots \dots b)$$

Nazywając graniczną siłę poruszającą, przy której ruch się rozpoczyna, dla której zatem $n = 1$, literą S_0 , otrzymujemy według poprzedniego (a):

$$S_0 = \varphi \varepsilon (\gamma_2 - \gamma)$$

$$S = \gamma T I = n S_0$$

$$G = \frac{\varepsilon v}{2} \frac{\gamma T I}{S_0} \left(\frac{\gamma T I}{S_0} - 1 \right) = \frac{\varepsilon v}{2 S_0^2} \gamma T I (\gamma T I - S_0) = \psi S (S - S_0)$$

Współczynnik ψ zależy od grubości i ciężaru właściwego warstw, jest zatem liczbą charakterystyczną dla materiału ruchomego, podobnie S_0 jako siła poruszająca graniczna jest dla każdego rodzaju materiału liczbą, którą można oznaczyć.

Schoklitsch²⁾ stwierdza, że wprawdzie przyjęcie ruchu materiału rzeczno warstwami nie jest zgodne z rzeczywistością, gdyż materiał ten porusza się raczej jak suche liście na wietrze, jednak na podstawie doświadczeń przeprowadzonych przez siebie w laboratorium politechniki w Gracu uważa powyższy wzór jako odpowiedni i wyznacza wartość współczynnika ψ . Ostateczny wzór na ilość materiału poruszanego podaje w następującej formie:

$$G = 0,54 \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma} S (S - S_0), \text{ gdzie } G \text{ oznacza objętość materiału}$$

w $m^3/\text{sek.}$ na $1 m^2$ szerokości, a więc w m^2/sek^{-1} , γ i γ_1 w kg/m^3 .

Doświadczenia te nie zgadzają się o tyle z rzeczywistością, że użyto jednorodnych ziarn materiału, t. j. jednakiej wielkości i kształtu. Jeżeli bowiem użyje się materiału o różnych ziarnach, to S_0 nie da się oznaczyć, gdyż ziarnom różnej wielkości odpowiada różne S_0 — w miarę wzrostu chyżości wprawiane są w ruch ziarna coraz to większe.

1) Ann. d. ponts. et chaussées 1879 j. w.

2) Über Schleppekraft und Geschiebebewegung. Lipsk i Berlin 1914.

Kreuter¹⁾ oblicza siłę poruszającą dla profilu o zmiennej głębokości, odmiennie zatem od tego co powyżej powiedziano przyjmując profil o stałej głębokości i licząc na 1 m² dna, lub na 1 m szerokości. W profilu o szerokości b i zmiennej głębokości t wyraża siłę poruszającą formułą:

$$1000 I \int_0^b t dy, \text{ przyczem litera } y \text{ oznacza się odcięte mierzone}$$

od początku profilu, ponieważ zaś $\int_0^b t dy = P$, t. j. powierzchni profilu, zatem można powiedzieć, że siła poruszająca $S = 1000 P I$ kg, czyli że jest proporcjonalna do powierzchni profilu i spadku, lub też jeszcze prościej, że równa się iloczynowi powierzchni przekroju w m² i spadku w promillach.

Tensam autor wyprowadza wzór na ilość transportowanego materiału w formie:

$$G = \psi I^2 \int_{y_1}^{y_2} t (t - t_0) dy$$

w którym y_1 i y_2 oznaczają odcięte punktów profilu między którymi odbywa się ruch materiału, gdyż przyjmuje, że skrajne, zbyt płytke części profilu, w których głębokość jest mniejsza od t_0 , nie mają ruchu materiału; y_1 i y_2 są zatem odciętami punktów profilu, dla których $t = t_0$.

Forchheimer²⁾ używa tego równania do zbadania, jakie skutki wywoła zwężenie profilów przez wprowadzenie normalnej szerokości regulacji, przyczem postępuje w sposób następujący:

Na podstawie zdjętych przekrojów poprzecznych znajduje się najpierw średni przekrój przestrzeni nieuregulowanej. Ten średni przekrój ma zachować właściwości profilów których jest reprezentantem, a więc odprowadzać tęsamą objętość wody i rumowiska. Autor postępuje w ten sposób, że każdy ze zdjętych w danej przestrzeni profilów kraje linią równoległą do zwierciadła w różnych głębokościach i otrzymuje

dla głębokości t_1, t_2, t_3, \dots
szerokości przekrojów . . S_1, S_2, S_3, \dots , a jeżeli poszczególnym przekrojom

odpowiadają odległości l_1, l_2, l_3, \dots , to szerokość średniego profilu w danej głębokości będzie:

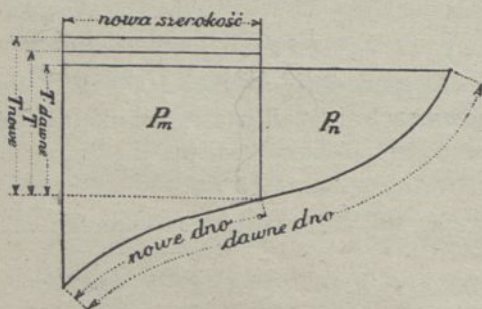
$$S = \frac{S_1 l_1 + S_2 l_2 + S_3 l_3 + \dots}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots}$$

¹⁾ „Theorie der Geschiebeführung“ Hdb. der Ing. Wissenschaften. Wasserbau 1899.

²⁾ Hydraulik 1914.

Dla tych największych głębokości, które nie przychodzą przy pewnych profilach, przyjmuje się $l = 0$. W ten sposób otrzymuje się taki poglądowy przekrój średni, dla warunków w przestrzeni nieuregulowanej, który można z jednej strony ograniczyć linią pionową (rys. 20).

Teraz należy na podstawie obserwacji w naturze przyjąć pewną głębokość $t_0 = t_0$ dawne, przy której, i przy istniejącym spadku I dawnym



Rys. 20.

rozpoczyna się ruch materiału, gdyż ilość ta zachodzi w powyżej podanej formule na ilość materiału ruchomego. Współczynnik ψ jest wprawdzie nieznan, ale oznaczać go nie trzeba, gdyż pomimo zmian w profilu zachowuje swą pierwotną wartość.

Teraz wprowadzamy pewną normalną szerokość, a zatem ograniczamy profil, odcinając jego część płytką. Ponieważ objętość odpływu się nie zmienia, zatem przy zmniejszonej szerokości musimy powiększyć głębokość. Jeżeli przed zwężeniem była średnia głębokość powierzchni głównej T dawne, to z obliczenia przepływu otrzymamy nową średnią głębokość T , przyczem $T > T$ dawne. Ten stan nie może być jednak trwały, gdyż zwiększenie głębokości zwiększa chyżość i powoduje erozję dna, skutkiem czego spadek I dawne musi się zmienić na I nowe, zaś głębokość T na T nowe. Spadek I nowe wyrachujemy stosownie do formuły na chyżość $v = k \sqrt{ti}$ z warunku:

$$t_0 \text{ dawne } I \text{ dawne} = t_0 \text{ nowe } I \text{ nowe.}$$

Trzeba tu jednak wykonać szereg rachunków próbnych, gdyż ostatecznie H nowe i I nowe muszą być tak dobrane, aby Q oraz G miały tesame wartości jak przed zwężeniem.

Jeżeli się ustali ostateczne I nowe natenczas przypuszczalne pogłębienie łożyska w górnym końcu przestrzeni będzie:

$$(l_1 + l_2 + l_3 + \dots) (I \text{ dawne} - I \text{ nowe})^1).$$

¹⁾ Autor przerachowuje w powołanem źródle przykład dla Renu pod Hohenems w Vorarlbergu. Jako miarodajny dla ruchu materiału przyjęto stan $+0,3$, h_0 dawne przyjęto $= 1$ m., I dawne $= 0,0012$. Ilość materiału ruchomego wynosiła zatem $\psi \cdot 379,9 \cdot 0,0012 = \psi \cdot 0,00547$. Profil zwężono na 90 m., przez co podzielono powierzchnię dawnego profilu na P_m i P_n , przez które przepływały objętości $Q_m = 486,4$ i $Q_n = 33,3$ m³/sek. Powierzchnia główna przy przepływie Q_m miała średnią głębokość T dawne $= 2,507$, ponieważ zaś w tej partji miała przepłynąć cała objętość $Q_m + Q_n = 519,7$ m³/sek., zatem z rachunku (wzorem empirycznym) otrzymano, że zatrzymując I dawne $= 0,0012$ zwiększa

Wędrujące ławice (Sandbank, Schotterbank, banc de sable, de gravier, ensablement, barre) materiału ruchomego. Według Lavale'a¹⁾ tam gdzie istnieje równowaga między siłą poruszającą wody a oporem jaki sprawia poruszany materiał, dno rzeki nie ulega wydatniejszym zmianom, gdyż przy podwyższeniu stanu wody następują wprawdzie wszędzie zmiany w dnie, a więc podmycia, ewentualnie podwyższenia, jednak z opadaniem stanu wody luki zostają znowu wypełnione, a miejsca wyższe znowu zrównane. Jednak taki stan równowagi nie wszędzie istnieje, a materiał ruchomy osadza się w większych lub mniejszych ilościach między brzegami nawet w uregulowanych łóżyskach; osadzenie to następuje przede wszystkim:

a) w przestrzeniach zbyt szerokich, b) na brzegach wypukłych, c) w dowolnych miejscach, nawet w rzekach regularnych, jeżeli na nich powstają wędrujące ławice materiału, d) w dowolnych miejscach i również w regularnych łóżyskach, jeżeli rzeką porusza wiele materiału miążkiego, do którego przymieszane są w niewielkiej ilości poszczególne ciężkie kawałki i e) w miejscach, gdzie przypadkowo ze stoków i wyrw ciężkie kawałki rumowiska dostają się do rzeki.

Nie mówiąc na razie o „wędrujących ławicach“ zauważyć trzeba, że wogóle odsypiska doznają w czasie przyboru wody zmian, które są tem większe im większa jest zmiana stanu wody. Zazwyczaj odsypisko zostanie częściowo zmyte po stronie górnej, natomiast materiał osadza się po stronie dolnej tak, że w czasie przyboru wody po stronie górnej odsypiska ubywa, a po stronie dolnej przybywa. W czasie opadania stanu wody działanie jest odwrotne, tak że w przybliżeniu wraca stan pierwotny, jednak każdy przybór wody wprowadza zmiany w sytuacji ławic materiału i progów, o czem najlepiej wiedzą kierownicy statków na rzekach żeglownych, dla których orientacja co do położenia nurtu (drogi do jazdy) po przejściu wezbrania jest najtrudniejsza.

Między odsypiskami a brzegami powstają największe głębokości, a wysokość ławic materiału jest tem większa, im większą jest rzeka, im większe posiada głębokości i chyżości.

się głębokość na $T = 2,622$ m. Jak długo spadek pozostaje niezmieniony, można zachować tęsamą głębokość, przy której rozpoczyna się ruch materiału, $t_0 = t_0 \text{ dawne} = 1$ m. Na podstawie tej wartości, oraz $T = 2,622$, otrzymuje się ilość materiału w ruchu $\psi = 416,1$. $0,0012^2 = \psi \cdot 0,00599$, zatem większą niż poprzednio. Na próbę wzięto $I \text{ nowe} = 0,95 I \text{ dawnego} = 0,00114$ i otrzymano: $t_0 \text{ nowe} = t_0 \text{ dawne} : 0,95 = 1,053$, a $T \text{ nowe} = T \sqrt[3]{\frac{I \text{ dawne}}{I \text{ nowe}}} = 2,622 \cdot \sqrt[3]{0,95} = 2,669$, zatem położenie zwierciadła o $0,162$ wyższe jak poprzednio, przy którym $H \text{ dawne}$ w części o przepływie Q_m było $2,507$. Dla $I \text{ nowego} = 0,00114$, $t \text{ nowego} = 1,053$ i $T \text{ nowego} = 2,669$ wynosi ilość materiału w ruchu $\psi = 432,4$. $0,00114^2 = 0,00550$, mało zatem różna, tak że możemy spadek $0,00114$ przyjąć jako ostateczny.

¹⁾ „Unsere natürlichen Wasserläufe“, Weilheim 1883, wydana przez Rappa.

W przeciwieństwie do tego do pewnego stopnia regularnego ruchu materiału zasadzającego się na tem, że profile w rezultacie nie doznają wybitniejszych zmian, stoi ruch materiału nieregularny, stwarzający „wędrujące ławice“, czyli jak inni mówią wędrujące dno¹⁾). Rzecz polega na tem, że ławice materiału ruchomego po każdym wezbraniu zmieniają położenie, a równocześnie przesuwiają się i miejsca głębokie tak, że każde wezbranie sprowadza znaczne zmiany w profilach poprzecznych. Nie ulega wątpliwości, że taki stan łożyska nie jest odpowiedni i należałoby mu wszelkimi środkami zapobiegać. Zjawisko to występuje nietylko na rzekach górskich przeciążonych materiałem ruchomym, ale i na rzekach nizinnych. Jako powód takiego zachowania się dna rzeki podają powszechnie niezgodność spadku z naturą rzeki, co następuje wtedy, jeżeli bieg rzeki dozna skutkiem naturalnych przyczyn, lub sztucznego oddziaływania, nadmiernego skrócenia. Wtedy grubość ziarn materiału nie odpowiada przeciętnemu spadkowi rzeki, a ruchem objęty jest nietylko materiał dostarczony z góry, ale całe dno rzeki.

Jasmund¹⁾ cytuje szereg przykładów rzek z wędrującymi ławicami, wyjaśniając przyczyny ich powstania naturalnem lub sztucznem skróceniem biegu: np. Ren między Bazyleą a Mannheimem został w latach 1818–1876 skutkiem przeprowadzonej korekcy skrócony z 353,6 na 272,8 km., tj. o 80,8 km., czyli o 22,8%, Waal w Holandji był przedtem małym ramieniem bocznem Renu, naturalny przełom Renu, skutkiem którego ujście Renu przełożone zostało z Katwyk op See do Hollandsdiep, wywołał znaczne skrócenie tego ramienia i zwiększenie ilości wody zasilającej je. Łaba, Odra i Wisła w swych dolnych biegach zmieniły swe dawne łożyska z czasów diluwialnych na nowe, krótsze, zwrócone w kierunku północnym, nadto Odra została w ostatnich 150 latach na przestrzeni poniżej Raciborza zapomocą wielkiej liczby przekopów skrócona o 20%. Podobnie skrócono i Wisłę, której nadto dolina przełomowa między Toruniem a ujściem, w porównaniu z dawną doliną idącą dzisiejszemi dolinami Noteci i Warty, jest znacznie krótsza.

Na Renie między Bazyleą a Sondernheim, na długości około 200 km., widzi się przy stanie niskim wystające z wody na 1–2 m wysoko ławice żwirowe, leżące naprzemian to w pobliżu lewego, to znowu w pobliżu prawego brzegu. Jest ich na całej przestrzeni 209, a zatem przeciętna odległość ich od środka do środka wynosi okragło 1 km. (ściślej 957 m., zmieniając się od 640–1400 m.). Między brzegami a ławicą powstają dwie rynny, jedna główna (wybój, Kalk, eau saumâ-

¹⁾ Jasmund „Fließende Gewässer, Gewässerkunde II, Lipsk 1906“ nazywa to zjawisko „Erscheinung der wandernden Sohlenform“.

tre, mouillage, bief) szersza, druga węższa poboczna. Między ławicami wije się nurt, dotykając raz lewego, raz prawego brzegu. Głębokości w nurcie na miejscach płytkich (mielizna, Untiefe, haut-fond) spadają przy niskim stanie do 0,5 m., natomiast w wybojach dochodzą do 11 m. Przekroje podłużne przez ławice, rynny boczne i przejścia okazują łagodny wznios od strony górnej, natomiast raptowny spad po stronie dolnej. Przekrój podłużny ławicy wygląda jak garb o bardzo łagodnej skarpie górnej, a stromej skarpie dolnej¹⁾. Posuwanie się ławic w dół polega na tem, że woda przy stanach wysokich napierając na ławicę po stronie górnej zmywa ją i toczy materiał po jej skarpie górnej aż do szczytu, poczem materiał stacza się po skarpie dolnej zatrzymując się u jej stopy. Po stronie górnej zatem ławicy ubywa, a po stronie dolnej przybywa. Roczna droga ławicy w tej przestrzeni Renu wynosi przeciętnie 500 m., tak że całą tę przestrzeń przebędzie ławica dopiero w 400 latach. Są to zatem już okresy długie odpowiadające okresom geologicznym.

Objętość jednej ławicy obliczają na 545.000 m³, jednak nie cała doznaje w ciągu czasu przesunięcia; z całej masy pewna część, środkowe jądro, pozostaje w spoczynku.

Podobne stosunki panują na dolnej Wiśle poniżej Torunia uregulowanej na średnią wodę. Wysokość wędrujących ławic dochodzi do 2—3 m., a między nimi wije się nurt przerzucając się od jednego do drugiego brzegu i wytwarzając wybitne progi w odstępach średnio 922 m. Strugi wody uderzając poniżej przejścia nurtu o głowy poprzecznych tam regulacyjnych (ostróg), wybijają głęboko dno (8—12 m.). W czasie przyboru wody prąd zrywa grzbiet ławy piaszczystej i składa materiał w wybojach i na progach, w czasie opadania wody podnoszą się znowu ławy piaszczyste, a wyboje i progi znowu pogłębiają²⁾.

Podobnie istnieją ławice ruchome i na innych rzekach, jak na Łabie poniżej Wittenbergi, Odrze średniej i dolnej, Dunaju między Kelheim a Ulm, Loarze, Drawie i Murze. Na tej ostatniej rzece mającej 60 m. szerokości wędruje 360 ławic rozłożonych podobnie jak na Renie naprzemian przy lewym i prawym brzegu.

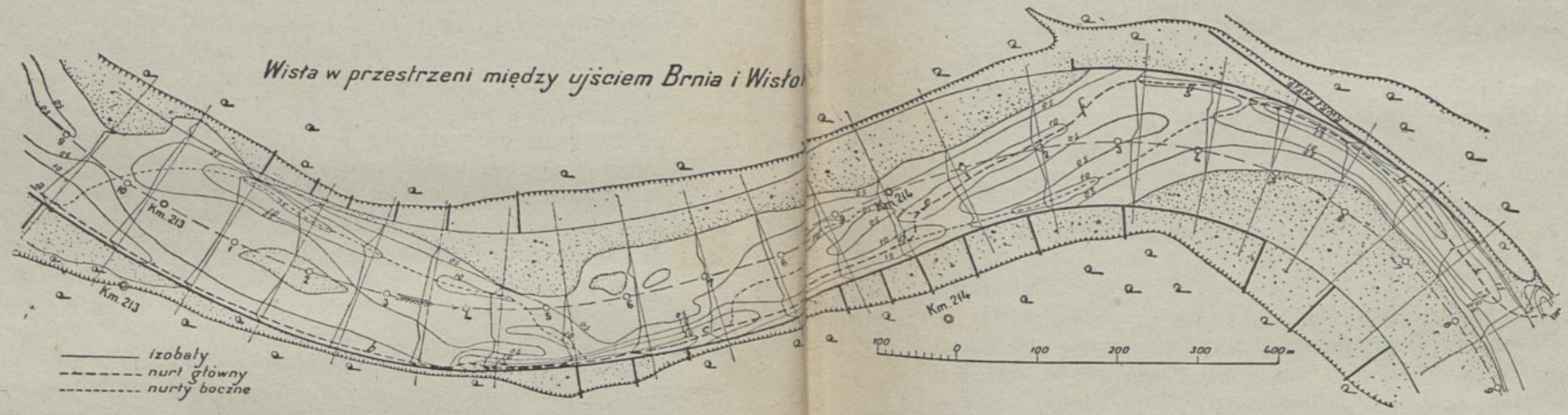
Stan łożyska Wisły w biegu średnim przedstawia rys. 21 (partja powyżej ujścia Wisłoki). Dno przedstawiono tu zapomocą linii równej głębokości (izobat), oraz przekrojów poprzecznych zdjętych w odstępach około 100 m. Jest to partja uregulowana, ale normalna szerokość wy-

¹⁾ Forchheimer twierdzi, że ta dolna skarpa składa się z dwu płaszczyzn, o rozmaitem nachyleniu, górnej stromszej, dolnej łagodniejszej.

²⁾ Vide Ehlers „Regulierung der geschiefeführenden Flüsse insbesondere der Weichsel“ Gdańsk 1913.

nosząca tu 168 m. jest zbyt wielka, skutkiem tego regulacja nie zdołała skoncentrować łożyska. Mamy tu przy stanie niskim (przy którym wykonano zdjęcie) rozległe odsypiska na brzegach wypukłych, sięgające głęboko w obręb normalnej szerokości i zwężające łożysko np. poniżej km. 214,6 do 50u m., a zatem na mniej niż jedną trzecią normalnej szerokości. Nurt przerzuca się z jednego brzegu na drugi, co jest zresztą rzeczą naturalną, a nawet jeżeli linję a—b—c—d—e—f—g—h—i—k uważać będziemy za nurt główny, to można powiedzieć, że stosuje się on do linii regulacyjnych trzymając się brzegu wklęsłego. Niemniej jednak wykazuje ten plan sytuacyjny niekorzystne przejście (gwałtowne załomy nurtu i płytkie progi poniżej 0,5 m. głębokości), nurty drugorzędne, a między nurtem głównym a drugorzędnym ławice materiału ruchomego w odległościach około 500 m. Czy to są wędrujące ławice? Trudno o tem orzec, gdyż brak ścisłych obserwacji, z zachowania się jednak rzeki wyrazić można raczej zdanie przeciwne. Gdyby w partji początkowej (między km. 213 a 214) linję regulacyjną brzegu lewego zbliżono o jakie 50 m. do linii regulacyjnej brzegu prawego przez odpowiednie przedłużenie tam regulacyjnych, prawdopodobnie udałoby się zjednoczyć obydwie nurty w jeden i zatrzymać go zupełnie przy brzegu wklęsłym (prawym), spędzając równocześnie ławicę w km. 213,2. Rozdział nurtu w km. 213,7—214,5 wynika nietylko z powodu nadmiernej szerokości łożyska, gdyż tu natura częściowo sama sobie pomogła zwężając w okolicy km. 214 łożysko do przypuszczalnie odpowiedniej miary, lecz z powodu wadliwie zaprojektowanego przejścia od bardzo płaskiego łuku, przechodzącego w prostą przejściową od łuku zbyt ostrego, przy najmniej nie odpowiadającego tak znacznej normalnej szerokości jaką tu dla Wisły przyjęto. Zresztą niekorzystny stan łożyska przypisać należy tu także zwiększonemu ruchowi materiału skutkiem porozpoczynanych robót regulacyjnych w górnym biegu. Jeżeli uprzytomnimy sobie przyczyny, którym przypisują powstawanie wędrujących ławic, to musimy stwierdzić, że na Wiśle średniej właściwie niema powodu, aby one występowały, gdyż nadmiernego skrócenia i wyprostowania biegu tu niema, a projektowana trasa przebiega w liniach falistych; jedynym powodem może być przeładowanie materiałem ruchomym, które na całej Wiśle istnieje, a które wywołane jest wielką ilością transportowanego materiału przez górskie dopływy z Karpat, nieuregulowaniem biegu i małym postępowaniem zabudowania górskich potoków.

Poruszanie namułu (*Der Schlamm, la vase, le limon*) odbywa się na innych prawach jak poruszanie grubszych ziarn materiału. Podczas gdy te ostatnie toczą się przeważnie tylko po dnie, a tylko wyjątkowo są unoszone, poczem znowu przy najbliższej sposobności (zmniejszeniu chyżości) skutkiem swego ciężaru opadają na dno, namuły, to znaczy



Rys. 0.

te same ich cząstki mogą się unosić przez długi czas, nieraz całymi latami we wodzie¹⁾.

Na jakich prawach odbywa się unoszenie namulów, co jest powodem utrzymywania się ich w zawieszeniu, pomimo niewątpliwie znaczniejszego ciężaru właściwego jak ciężar wody?

Zdania co do tej kwestji nie są jeszcze zgodne. Krey²⁾ przypisuje przyczynę utrzymywania się cząstek namułu (pod którą to nazwą rozumie się przedewszystkiem mialkie cząsteczki ilu lub gliny i cząsteczki powstałe ze starcia się materiału ruchomego w ciągu drogi), ciągłemu mieszanemu się warstw wody wywołanemu ruchem uwikłanym wody, gdyż gdyby nie było ciągłego ruchu wody z dołu do góry nie możnaby sobie wytłómaczyć tego zjawiska. Autor ryzykuje twierdzenie, że różnicą ruchu namulów i grubszego materiału rzecznoego polega na tem, iż rumowisko wywołuje opór dla ruchu wody, natomiast namuły skutkiem swego ciężaru powiększają energję ruchu wody. Twierdzenie to wymagałoby jednak doświadczalnego zbadania, a już sprzeczne z wynikiem obserwacji jest dalsze zapatrywanie tegoż autora, że gdyby się miało do czynienia z ruchem wody o strugach równoległych (laminarnym), to musiałyby wszystkie zawiesiny, a więc i najbardziej mialkie, jednak cięższe od wody opaść na dno i poruszać się tu jak rumowisko.

Forchheimer³⁾ zauważa również, że zasady ruchu rumowiska nie mogą się stosować do ruchu namułu, gdyż osadzanie namułu wymaga znacznie więcej czasu i znacznie łatwiej ulega przerwie, powtóre woda w rzece rzadko kiedy jest namulem nasycona. Jak stwierdziły doświadczenia, przy dużych chyżościach ilość namułu jaką woda może prowadzić może być bardzo znaczna, wszak materiał wybagrowany tłoczono już rurami nawet przy stosunku wody do ziemi $\frac{3}{8} : \frac{2}{8}$. Uważa jako pewne, że powodem porywania namułu z dna do góry jest ruch uwikłany i złączone z pulsacją zmiany ciśnienia, które wywołują wiry lub prądy skierowane ku górze. Zjawiska tego nie można porównywać z unoszeniem szlamu organicznego w wodzie zużytej miejskich kanałów. Tu każda cząstka namułu otoczona jest tłuszczem, zatem materją lżejszą od wody i przez to jest unoszona. W rzekach ilość namułu

¹⁾ Rudzki stwierdza, że delikatne zawiesiny we wodzie, czyli jak je nazywa „męty“, spadają nieraz z bajeczną powolnością także i w wodzie stojącej. Przekonano się, że woda rzeczna, szczelnie zamknięta, opalizowała jeszcze po 6 latach, co świadczy, że delikatne męty jeszcze niezupełnie osiadły. Dalsze zawiesiny, które unosi woda rzeczna, dojdą często do samego ujścia zanim opadną na dno.

²⁾ „Die Bewegung der Schwemmstoffe in unseren Flüssen“, Ztbl. d. Bauverwaltung 1919.

³⁾ Hydraulik j. w.

rośnie ku spodowi, tam gdzie ruch jest najspokojniejszy, a więc gdzie głębokość jest największa następuje największe osadzanie namułu. Osadzanie nie jest niczem innym jak opadaniem namułu i przedzieraniem się wody w górę przez opadającą cięższą warstwę namułu.

Przyczynę unoszenia widzi Rudzki w działaniu chemicznem wody na drobne pyłki namułów mineralnych. Woda działa na nie chemicznie, skutkiem czego każdy pyłek jest otoczony napęczniałą napoły rozpuszczoną substancją własną, o ciężarze właściwym prawie równym ciężarowi wody.

Z przedstawionej tu bliżej różnicy charakteru ruchu rumowiska, tj. materiału grubszego i namułów, wynikają niewątpliwie różnice w charakterze rzek; partje nizinne w pobliżu ujścia do morza o bardzo małych spadkach i chyżościach, transportujące tylko miałki piasek i namuły, mogą się różnić znacznie co do charakteru od partji powyżej położonych. Jak twierdzi Baumgarten¹⁾, porównanie planów Garonny z różnych okresów nie wykazywało wszędzie na brzegach wypukłych odsypisk. Tłómaczy to w ten sposób, że jeżeli brzeg zrywany (*Bruchufer, la berge corrodée*) jest złożony z ziemi namulistej, iłowej, lub piasku, woda może części rozmyte utrzymywać w zawieszeniu i bez osadzania transportować aż do morza²⁾.

1) „Notice sur la portion de Garonne“... Annales des ponts et chaussées 1848.

2) Obserwacje te odnoszą się do partji Garonny niedaleko ujścia do morza położonej.

III. Laboratorja wodne (rzeczne).

Typem i pierwowzorem doświadczalni hydrologicznej jest zakład paryskiej École des ponts et chaussées, służący jednak tylko do celów dydaktycznych. Zakład składa się ze studni, stanowiącej zbiornik wody 5,5 m. głęboki, z drugiego zbiornika położonego 5 m. nad terenem i z kanału 0,6 m. szerokiego, 0,4 m. głębokiego i 17 m. długiego. Wodę pompuje się ze zbiornika dolnego do górnego za pomocą osobnej rury, skąd spływa do koryta doświadczalnego, po którego przepłynięciu wraca do zbiornika dolnego; w ten sposób używa się stale tejsamej objętości.

Znacznie większy jest zakład pod Dijon, który zbudował jeszcze przed laty 70 Darcy i na nim wspólnie z Bazinem czynił doświadczenia. Nie było to właściwe laboratorium hydrologiczne, lecz koryta służące do doświadczeń hydraulicznych umieszczone na wolnej przestrzeni.

Wodę ujęto z kanału Burgundzkiego, skąd wchodziła ona przez otwór przymykany zasuwą do obszernej komory wstępnej 14 m. długości, 5,4 m. szerokości i 0,6 m. głębokości celem uspokojenia. Z komory tej wchodziła woda do koryta doświadczalnego 450 m. długości, 2 m. szerokości i 0,95 m. głębokości, wykonanego z dyli z uszczelnieniem od spodu iłem, a z boków zaprawą, co 1,50 m były ramy; spad koryta wynosił w części górnej 4,9‰, w dolnej 2‰. Specjalną uwagę poświęcono utrzymaniu stałego stanu wody w komorze wstępnej zapomocą regulowania położenia zasuwy wlotowej, oraz wykonano urządzenie do mierzenia objętości dopływających, składające się z szeregu przelewów. Wlot posiadał prócz zasuwy kratę.

Doświadczenia dokonywano w ten sposób, że do tego kanału wkładano różne koryta próbne.

Profil podłużny zwierciadła i dna zdejmowano w ten sposób, że na górnej belce każdej ramy były trzy punkty stałe, dokładnie zaniwelowane, od których odpowiednią podziałką odmierzano położenie zwierciadła i dna. Podziałkę tę stanowiła rurka z podziałem milimetrycznym, przesuwalna w pochwie przechodzącej w poziomy trzewik; trzewik ten sta-

wiało się dolną płaszczyzną na punkcie stałym, a rurkę zesuwało tak długo, aż jej dolny zaokrąglony koniec zetknął się ze zwierciadłem lub z dnem. Wtedy zapomocą osobnej śrubki ustalało się położenie rurki, przez przyściśnięcie do pochwy i odczytywało głębokość.

W razie wykonywania doświadczeń na modelach łożysk rzecznych z dnem ruchomem (piasek), po ukończeniu doświadczenia zdejmowano kształt dna w profilach poprzecznych w ten sposób, że zatrzymywano dopływ wody, zamykano koryta od dołu przegrodą lub grobelką i następnie przestrzeń badaną wypełniano wodą. Otóż od tego poziomego zwierciadła wody można było bardzo dokładnie odmierzyć głębokości.

Właściwe doświadczenia co do wykształcania się łożysk rzecznych, a w szczególności celem zbadania doświadczalnego praw Farguea, wykonano we Francji w roku 1876. Wykonano koryto próbne¹⁾ („la petite rivière artificielle de Bordeaux“), które stanowił kanał wyprowadzony z potoku powyżej Bordeaux. Było to koryto mające 60 m. długości, 1 m. szerokości i 1 m. głębokości, o ścianach bocznych drewnianych i dnie z piasku kilka dm. grubości. Robiono doświadczenia z łożyskami zbudowanymi według dwu tras; pierwsze skonstruowano jako szereg łuków kołowych po sobie następujących o promieniu 10 m., przy czym łuki zmieniały kierunek krzywizny i przechodziły w siebie bezpośrednio, lub też za pośrednictwem prostych, drugie wykonane było według „trasy racjonalnej“ i składało się z trzech łuków po sobie następujących, każdy o odwrotnym kierunku i zmiennej krzywiznie i szerokości, potem była jako kontrpróba partja prosta 15 m. długości, a wreszcie łuk kołowy²⁾.

Woda wyprowadzona z potoku rurą zaopatrzoną kratą i zasuwą przechodziła do komory 8 m. długiej i 2 m. szerokiej, gdzie się uspokajała, poczem wchodziła przez próg murowany 1 m. szeroki. Dno stanowił piasek z Garonny średniej wielkości. Woda płynąca rzeźbiła dno, a profile poprzeczne zdejmowano niwelacyjnie co 1 dm., poczem nanoszono je na plany kotowane i kolorowane. Doświadczeń było łącznie 21; trwały one od 45 minut do 160 godzin.

Wyniki doświadczeń co do trasy pierwszej były następujące: Przy słabym dopływie³⁾ miejsca najgłębsze (le chenal) trzymają się linii wklęsłych, w prostych oscylują z jednego brzegu do drugiego, piasek układa się przy brzegu wypukłym. Przy silnym dopływie miejsca głębokie były również przy brzegu wklęsłym, w prostych były one już więcej ustalone, jednak piasek układał się mniej regularnie przy brzegach wypukłych.

¹⁾ L. Fargue „La forme du lit des rivières à fond mobile“ Paris 1908

²⁾ Skala doświadczeń była następująca: Dla długości 1:100, wysokości 1:20, chyżości 1:1,6, dla profili poprzecznych 1:200, dla objętości 1:3200.

³⁾ Przepływ wynosił 150—222 lt/sek, średnia chyżość na powierzchni 0,75 m. — 0,90 m.

Doświadczenie z trasą drugą wykonano w dwu serjach, przy bardzo zmiennych objętościach (63—270 lt/sek.) i chyżościach (0,22—0,83 m.) imitujących niejako wielką wodę (ruch piasku zaczynał się przy chyżości na powierzchni 50 cm, a na dnie 30 cm.). Linje nurtu (chenal) i linje szczytów (ligne de faite), łączące na planie miejsca najgłębsze i najpłytsze, okazywały dla części koryta zbudowanej według racjonalnej trasy zgodność przy wszystkich doświadczeniach, natomiast końcowa część trasy, gdzie była prosta i łuk kołowy, nie wykazywały tej zgodności; linje nurtu i szczytów wielokrotnie tu się przecinały. Wogóle doświadczenia te potwierdziły prawa Fargue'a, jak stwierdziła komisja „w najważniejszych punktach“. Podobne doświadczenia na modelach robiono i dla ujścia Sekwany.

W Anglii już około r. 1886 zaczęto robić doświadczenia z modelami, dotyczące działania przyływu i odpływu morza na ujścia rzek (aestuarja) i zatoki morskie. Dalszy szereg doświadczeń stanowiły badania nad oporem statków w ruchu. Zakład w Haslar posiada zbiornik 122,4 m. długi, 6,10 m. szeroki, a 2,1 m. głęboki; nowy zakład w Bushej posiada zbiornik jeszcze większy (170×10×4—5 m.). W Ameryce duże laboratorja posiadają instytuty politechniczne w Bostonie, Worcester oraz uniwersytet Cornella w Ithaka. Mają tu do dyspozycji rzekę prowadzącą 0,3—170 m³/sek., wodospad, zbiornik o pojemności 240,000 m³ i powierzchnię 10 ha zamknięty przegrodą doliny, kanał do badania przepływu, rurę stojącą o 24 m. słupa wody itp.

W Niemczech istnieją laboratorja wodne w Dreźnie, Karlsruhe i w Berlinie, wielkie zasługi na polu doświadczalnictwa wodnego położył profesor dreźnieński Engels. Jego laboratorjum¹⁾ z pierwotnych skromnych rozmiarów przebudowane i znacznie rozszerzone, zajmowało się dotąd przedewszystkiem zbadaniem działania wody na dno i brzegi rzeki, ruchu materiału rzecznoego, wraz z towarzyszącymi mu objawami,

¹⁾ Pierwsze doświadczenia zaczął Engels wykonywać w r. 1893, mając do dyspozycji koryto blaszane 6 m. długości, 40 cm. szerokości, a 10 cm. głębokości; przepływ wynosił zaledwie 2,5 lt/sek. W roku 1898 miał już zakład większy, z korytem doświadczalnem 13 m. długości, 2 m. szerokości i 40 cm. głębokości; największy przepływ wynosił 30 lt/sek. Wreszcie w roku 1916 otwarto w Dreźnie nowe laboratorjum, o korycie 30 m. długim, 2 m. szerokim i 40 cm. głębokim, przepływ maksymalny dochodzi do 200 lt/sek. Przez wyjmowanie ścian bocznych można koryto rozszerzyć do 6, a nawet do 8 metrów i wstawiać odpowiednio szerokie modele.

Patrz „Das Flussbaulaboratorium der kg. techn. Hochschule im Dresden“ Ztsch. f. Bauwesen 1900 str. 343.

„Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin“ Ztschft f. Bauwesen 1906 str. 323, 1907 str. 67 i 1908 str. 233.

„Neues Flussbaulaboratorium in Dresden“ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1916.

działaniem sztucznych budowli i innymi problemami hydraulicznymi. W laboratorium w Karlsruhe badał Rehbock przepływ przez przelewy i na modelach przepływ przez otwory mostowe, wreszcie laboratorium w Berlinie rozwiązuje różne problemy z zakresu budownictwa wodnego (jak wypływ przez otwory w przegrodach dolin, wypływ z kanałów obiegowych śluz komorowych, etc.). Prócz tego zajmują się laboratorja w Berlinie i w Uebigau pod Dreznem badaniem oporów ruchu modeli statków.

W dziale o regulacji rzek obchodzą nas przede wszystkim t. zw. laboratorja rzeczne (Flussbaulaboratorium) i doświadczenia odnoszące się do rzek, z tego powodu podamy tu przykład takiego laboratorjum, opiszemy pokrótce jego urządzenia i scharakteryzujemy wyniki najważniejszych doświadczeń. Jednym z najnowszych jest zakład wiedeński.

Zakład ten mieści się w osobnym budynku, zaadaptowanym na ten cel; w sali głównej 38 m. długości 8,2 m. szerokości i 5,1 m. wysokości mieszczą się dwa koryta doświadczalne (rys. 22), jedno do doświadczeń odnoszących się do rzek, drugie do doświadczeń hydraulicznych. Obydwa w przeciwieństwie do dawniejszego koryta Engelsa, którego nachylenie można było zmieniać, wykonane są jako koryta stałe, na silnych fundamentach betonowych.

Maksymalną objętość przepływu oznaczono na 300 lt/sek. przyczem woda odpływająca gromadzi się w zbiorniku dolnym, skąd pompy odśrodkowe tłoczą ją do zbiornika górnego.

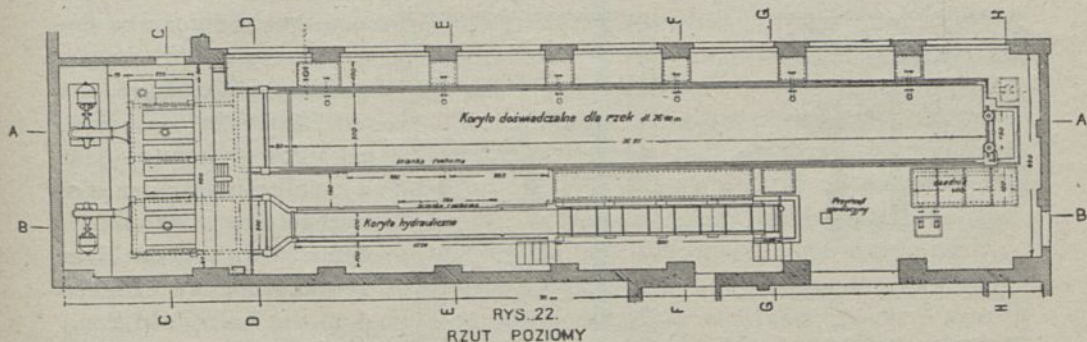
Zbiornik dolny (rys. 23 i 27) umieszczono pod korytem rzeczonym tak, że jego ściany stanowią podstawę koryta. Pojemność zbiornika wynosi 120 m³, przyczem przekrój poprzeczny ma 2,8 m. szerokości i 1,4 m. głębokości. W jednym końcu ma zbiornik dno niżej założone, skąd czerpią wodę kosze pomp tłoczających ją do zbiornika górnego. W ścianie zbiornika od strony okien znajduje się 18 otworów 0,80×0,30 m., działających jako przelewy (rys. 29), przez które nadmiar wody dostaje się kanałem odpływowym do kanału miejskiego. W przeciwniej ścianie znajduje się dopływ z osadnika, wykonany jako przelew 2,7 m. długości 0,25 m. wysokości i kanał odpływowy z koryta hydraulicznego 1,20×1,60 m., przykryty ruchomą płytą w podłodze.

Napełnianie zbiornika odbywa się rurą wodociągową (o średnicy 70^m/_m, dającą około 6 lt/sek. rys. 27), opróżnienie może nastąpić zapomocą dwu rur z zasuwami uchodzących do kanału miejskiego.

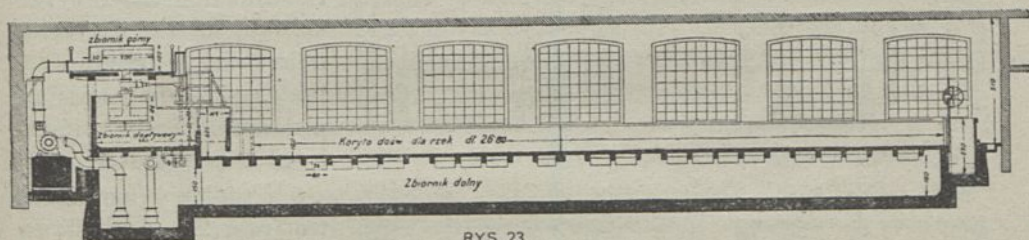
Do tłoczenia wody ze zbiornika dolnego do górnego służą dwie pompy odśrodkowe dające 100 i 200 lt/sek, przy wysokości pompowania 7,5 m.; do napędu służą dwa silniki elektryczne o 19 i 32 k. m.

Zbiornik górny (rys. 22, 23. i 25.) jest z żelaza o wymiarach $7 \times 2,50 \times 1,00$ m. i spoczywa na płycie żelbetowej podpartej słupami. Aby uzyskać spokojny dopływ do zbiornika zakończono rury dopływowe stożkowatymi rozszerzeniami, przez które woda dostaje się do komory wstępnej, a stąd dopiero przez dziurkowaną ściankę przedziałową blaszana, 6 m. długą i 0,35 m. wysoką, do właściwego zbiornika. Również

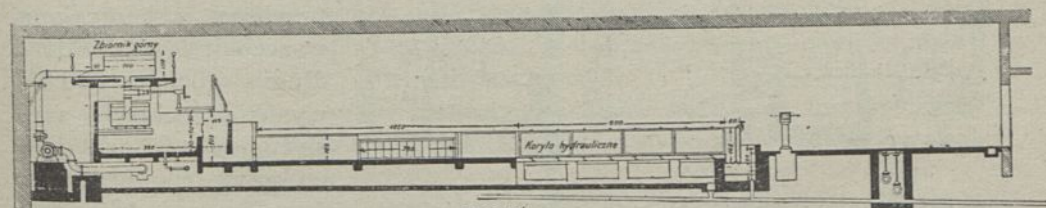
ZAKŁAD DOŚWIADCZALNY WODNY WE WIEDNIU.



RYS. 22.
RZUT POZIOMY



RYS. 23.
PRZEKRÓJ PODŁUŻNY A-A

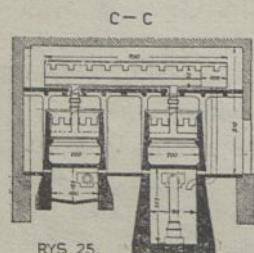


RYS. 24.
PRZEKRÓJ PODŁUŻNY B-B

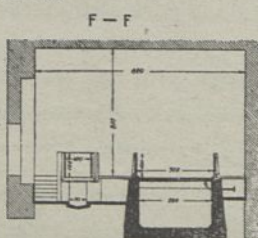
bardzo ważną rzeczą jest utrzymanie stałego poziomu zwierciadła w zbiorniku; w tym celu osadzono u góry zbiornika w jednym poziomie 10 rynienek poprzecznych, przez które nadmiar wody przelewa się do zbiornika dolnego. Łączna długość tego przelewu wynosi aż 40 m., tak że wahania poziomu nie przekraczają kilku milimetrów.

Poniżej zbiornika górnego znajdują się dwa żelazne zbiorniki pośrednie, o wymiarach $2 \times 1,5 \times 0,95$ m., należące każdy do jednego z koryt próbnych. Łączą się one ze zbiornikiem górnym zapomocą rur pionowych $300 \frac{m}{m}$ średnicy, zamykanych zasuwami poziomymi, służącymi do regulowania dopływu wody do koryt. Z tych zbiorników dostaje się woda zapomocą czterech rynienek żelaznych o łącznej długości krawędzi przelewu 13 m. na

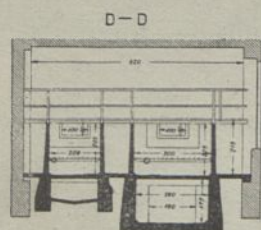
PRZEKROJE POPRZECZNE



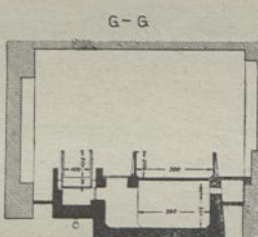
RYS. 25.



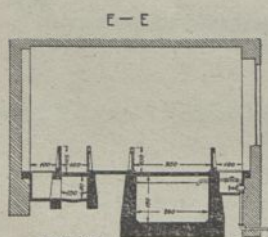
RYS. 28.



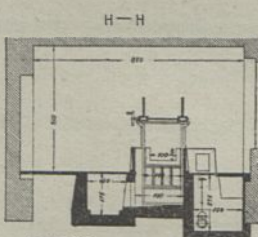
RYS. 26.



RYS. 29.



RYS. 27.



RYS. 30.


dzi przelewu 13 m. na płytę drewnianą dziurkowaną, a przez jej otwory do zbiornika dopływowego do koryt, poniżej położonego.

Zbiornik ten (rys. 23 i 25) wykonany jest z żelbetu, wewnątrz uszczelniony wyprawą cementową z dodatkiem „cerezytu“, na długość 4 m, a szerokość 2 m. Ścianki boczne i tylne sięgają aż do wierzchu zbiornika pośredniego, podczas gdy ścianka przednia jest niższa i zawiera przelew.

Przelewy pomiarowe (rys. 26) wykonano w obu korytach jako przelewy z kontrakcją wszechstronną, $1000 \frac{m}{m}$ długie, o bokach $500 \frac{m}{m}$ wysokich, z blachy miedzianej $5 \frac{m}{m}$ grubości, z krawędzią przelewu

zaostrzoną na $1,5 \frac{m}{m}$. Do pomiaru grubości strugi przelewowej służą wodokazy samokreślne.

Woda spadająca z przelewu traci chyżość na płycie drewnianej dziurkowanej, skąd spływa do komory uspokajającej 1,15 m długości, z której wąskim otworem dostaje się do komory przejściowej, łączącej się z korytem doświadczalnym. Celem lepszego uspokojenia wody wstawia się jeszcze ścianki dziurkowane lub pełne między komorę przejściową a koryto doświadczalne.

Koryto dla doświadczeń rzecznych ($26,8 \times 3,0 \times 1,0$ m.) wykonane jest z żelbetu. Po obu stronach znajdują się przejścia 1 m. i 1,40 m. szerokie. Od strony dopływu można koryto zamykać ścianką belkową, na drugim zaś końcu znajduje się ruchoma zasuwą (rys. 30) 1,6 m. szeroka, z przelewem pomiarowym $1000/500 \frac{m}{m}$, którą można spuszczać tak nisko, że krawędź przelewu może się znaleźć w poziomie dna koryta, lub też podnosić aż do górnej jego krawędzi; w ten sposób można otrzymać w korycie dowolne zwierciadło wody. W ścianie zwróconej do koryta hydraulicznego na długości 8 m. w miejsce ścianki betonowej wykonano ruchomą ściankę drewnianą, umocowaną w zabetonowanych ramach żelaznych. Taksamo wykonano w tem miejscu ściankę przeciwną koryta hydraulicznego, tak że po usunięciu tych ścianek i wstawieniu odpowiednich ścianek bocznych, można obydwie koryta ze sobą połączyć i wstawiać znacznie szersze modele (zakręty rzeczne, rozgałęzienia, ujścia rzek pobocznych). Zwykle jednak wystarcza sama szerokość koryta rzecznoego, gdyż przy szerokości tegoż równej 3 m. można wstawić np. model o szerokości Dunaju pod Wiedniem i o długości 2,5 km. w skali 1:100. W dnie koryta umieszczone są płyty żelazne, które umożliwiają podzielenie go w kierunku podłużnym na dwie części, o szerokości 1 i 2 m., tudzież podział w kierunku poprzecznym. Do górnych krawędzi koryta przymocowano kształtki  Nr. 14, do których przytwierdzono szyny z żelaza płaskiego, zaniwelowane dokładnie do poziomu; po szynach tych poruszają się przyrządy pomiarowe, tudzież wózek żelazny, który służy do transportu i ustawienia większych modeli w korycie. Duża objętość przepływu (max 300 lt/sek) i znaczniejsza głębokość wody (1 m.) nie zawsze są przy doświadczeniu pożądane, gdyż utrudniają bezpośrednią obserwację, dlatego często operuje się objętościami znacznie mniejszemi i przy niewielkich głębokościach. Z tego powodu koryto próbne wypełniono warstwą piasku 0,5 m. grubą, którą przykryto płótnem nieprzemakalnym, a dopiero na tem podłożu ustawia się modele.

Koryto rzeczne kończy się szybem, który zapomocą kanału łączy się z osadnikiem o wymiarach $1,50 \times 4,00$ m., skąd woda przez przelew dostaje się do zbiornika dolnego.

Koryto hydrauliczne (rys. 24) jest 18,2 m. długie, 1 m. szerokie i 1,05 m. głębokie, posiada przelew pomiarowy, komorę uspokajającą i przejściową; w części początkowej 10,2 m. długiej wykonane jest z żelbetu, w dalszej zaś 8 m. długiej z płyt szklanych $20 \frac{m}{m}$ grubości, osadzonych w ramach żelaznych. Celem ułatwienia obserwacji w korycie szklannem, obniżono posadzkę po obu jego stronach tak, że leży 1 m. pod jego dnem; wgłębienie to jest jednak przykryte płytami że-

lawnymi. Zapomocą przesuwalnej płyty szklanej, będzie można koryto to dzielić na części węższe¹⁾

Przyrządy pomiarowe każdego zakładu doświadczalnego podzielić można na 3 rodzaje: 1) do pomiaru objętości; 2) do pomiaru spadku zwierciadła i 3) do zdjęcia i nakreślenia profilów poprzecznych modelu łożyska rzeki po przebiegu doświadczenia, celem skonstatowania skutków działania wody i ruchu materiału.

Do pomiaru objętości służy zazwyczaj przelew zupełny, tak jak to urządzono w zakładzie wiedeńskim; przelew taki musi być dokładnie na podstawie licznych doświadczeń zbadany, a mianowicie na podstawie napełniania zbiornika dolnego ściśle oznaczone objętości, które przepływają przy różnych grubościach strugi przelewowej²⁾. Stan wody na przelewie, a zatem i grubość strugi, zapisuje stale wodoskaz samokreślny (rys. 35, strona lewa), składający się z lekkiego pływaka aluminiowego, do którego przymocowany jest pionowy pręt metalowy, połączony u góry bezpośrednio z piórem piszącym. Papier może się odwijać z chyżością 2—20 $\frac{m}{m}$ /sek., a osobny przyrząd zegarowy notuje czas w sekundach. Zapomocą osobnej podziałki umieszczonej na wodoskazu można odczytać wprost objętość.

Do pomiaru spadku zwierciadła służy igła niwelacyjna (rys. 31 podziałka z ostrzem, Spitzenmassstab). Na dźwigarze żelaznym I Nr. 10, 3 względnie 1 m. długim, przesuwa się oprawka metalowa, w której umocowana jest pionowa rurka metalowa 1,50 m. długości, zakończona u dołu kolcem. Na tej rurce zawieszona jest w łożyskach podziałka milimetrowa 100 cm. długości, którą można swobodnie obracać celem dogodniejszego odczytania podziałki. Zapomocą libelki ustawia się do pionu rurkę wraz z podziałką i zapomocą osobnego urządzenia zesuwa w dół aż zetknięcia się kolca ze zwierciadłem wody, poczem robi się odczyt na podziałce zapomocą instrumentu niwelacyjnego ustawionego obok koryta hydraulicznego na filarze betonowym; dokładność odczytu dochodzi do $\frac{1}{10}$ $\frac{m}{m}$. Cały ten przyrząd przesuwa się wzdłuż koryta doświadczalnego, a wysokość zwierciadła niweluje w różnych punktach.

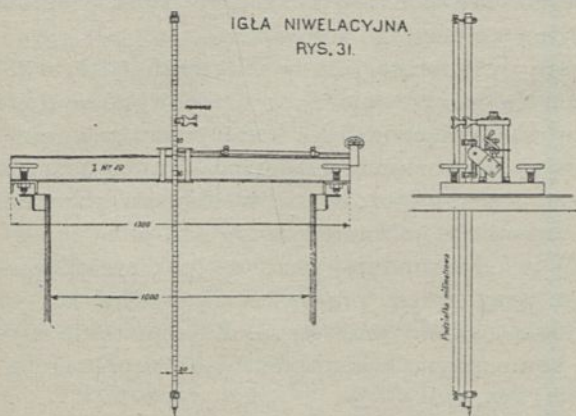
Drugi przyrząd do pomiaru spadku podłużnego, zastosowany w nowszych zakładach, jest oparty na zasadzie naczyń połączonych (rys. 35). W różnych punktach koryta doświadczalnego umocowane są rurki ołowiane, które prowadzą do rurek szklanych 15 $\frac{m}{m}$ średnicy, umieszczonych obok siebie na jednej tablicy. Przez rozrzedzenie powietrza w tych rurkach zapomocą pompy ssącej powietrze ze wspólnej komory, do któ-

¹⁾ Opis na podstawie „Die Versuchsanstalt für Wasserbau in Wien“. Allgem. Bauzeitung. Wiedeń 1914.

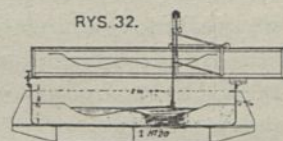
²⁾ Pomiaru te i ich wyniki opisują „Mitteilungen 1 Folge“, Allgemeine Bauztg. 1915 i osobna odbitka.

rej te rurki uchodzą u góry, podnosi się poziom wody w nich do wysokości dogodnej do odczytu. Odczyty wykonywa się albo przy pomocy mikroskopu, albo fotograficznie. Ten drugi sposób jest bardzo dogodny,

PRZYRZĄDY POMIAROWE ZAKŁADU DOŚWIADCZALNEGO

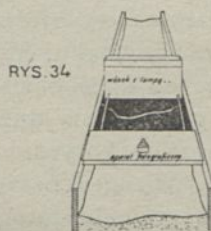
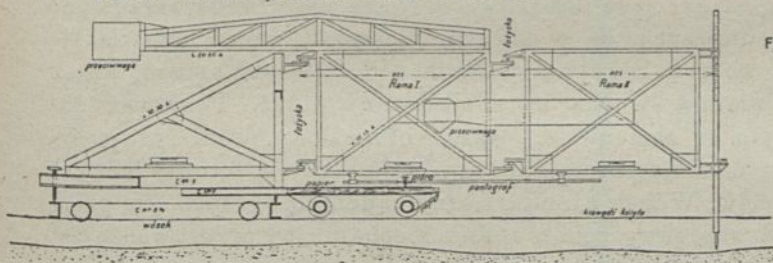


IGŁA NIWELACYJNA
RYS. 31.



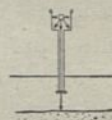
PRZYRZĄD DO RYSOWANIA PROFILÓW

RYS. 33. PRZYRZĄD DO RYSOWANIA WARSTWIC



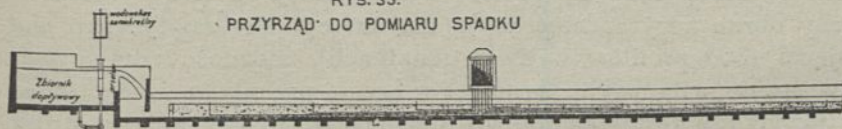
RYS. 34

FOTOGRAFICZNY PRZYRZĄD DO
RYSOWANIA PROFILÓW



SCHEMAT LAMPY.
RYS. 34a.

RYS. 35.
PRZYRZĄD DO POMIARU SPADKU



gdyż skraca czas obserwacji i umożliwia szybkie zdjęcie spadku w czasie przebiegu doświadczenia.

Zdjęcie przekrojów poprzecznych odbywa się również w dwojaki sposób, mechanicznie, lub fotograficznie. Przyrządy pierwszego rodzaju polegają na zasadzie pantografu, to znaczy, że końcem odpowiedniego pręta objeżdżamy profil sztucznego koryta po przebiegu doświadczenia i spu-

szczeniu wody, zaś pióro rysuje go równocześnie na papierze w naturalnej lub zmienionej skali.

Pierwszy przyrząd Engelsa (rys. 32) składał się z ramy metalowej, po której poruszał się wózek z pantografem. Ramę tę ustawiano co 10 cm. prostopadle od osi sztucznego koryta, objeżdżano profil po spuszczeniu wody i obeschnięciu piasku końcem pręta zaopatrzonym wałeczkiem, a pióro umocowane u góry do pręta rysowało ten profil w naturalnej wielkości na napiętym papierze. Na podstawie szeregu tych profili wykreslano plan warstwowy dna sztucznego łożyska.

Inny przyrząd zastosowany w laboratorium w Karlsruhe¹⁾ (rys. 33) rysuje bezpośrednio warstwice. Na wózku żelaznym umocowane są dwie ramy pionowe, przegubowo ze sobą połączone. Na końcu ramy zewnętrznej znajduje się pręt zakończony wałeczkiem. Zapomocą śrubek ustawia się go w dowolnej wysokości, poczem objeżdża się w łożysku próbnym warstwicę odpowiadającą tej wysokości, a pióro pantografu połączonego z ramami rysuje tę warstwicę w odpowiedniej skali na papierze napiętym na wózku. Wózek wraz z przyrządem przesuwają się wzdłuż koryta i w ten sposób zdejmują się całą badaną przestrzeń. Zdjęcie takie wymaga jednak dużo czasu i koniecznym warunkiem jest zupełne obeschnięcie koryta.

W wiedeńskim zakładzie zastosowano wobec tego po raz pierwszy do tego celu fotografię²⁾ (rys. 34 i 34 a). Nowe urządzenie składa się z lampy rtęciowej umieszczonej w skrzyni blaszanej, którą ustawia się prostopadle do osi koryta. Skrzynia posiada u dołu wąską szparę, przez którą pada wąska smuga światła na zdejmowany profil. Ponieważ sąsiednie partje koryta są zacienione, przeto oświetlony profil rysuje się ostro jako wąska jasna linja, którą zdejmuje się aparatem fotograficznym ustawionym naprzeciw. Wózek z lampą i przyrządem fotograficznym przesuwają się wzdłuż łożyska, przyczem w sposób mechaniczny przesuwają się też i płyta fotograficzna, na której możemy w ten sposób otrzymać szereg profili zdjętych w dowolnych odległościach.

Profile te zestawione na płycie w niewielkiej od siebie odległości dają wierny obraz koryta. Metoda ta ma następujące zalety: skrócenie czasu zdjęcia (500 profili w dwu godzinach), możliwość zdejmowania profili w stanie wilgotnym, a nawet w czasie przepływu wody, wreszcie koszt przyrządu jest stosunkowo nieznaczny, niższy jak przy urządzeniach z pantografem.

Opis doświadczeń i przedstawienie ich wyników. Z licznych doświadczeń przeprowadzonych w laboratorjach wodnych przedstawimy

¹⁾ „Neueinrichtungen des Karlsruher Flussbaulaboratoriums“. Ztschft für Bauwesen 1910.

²⁾ „Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau II. Folge“. Allg. Bauzeitung 1916.

na tem miejscu tylko niektóre, o podstawowem znaczeniu, inne omówimy w dalszym ciągu.

Jednem z pierwszych doświadczeń Engelsa było badanie ruchu wody i materiału ruchomego w serpentynach¹⁾. W łożysku wykształconem w drobnym piasku, ubezpieczonem woreczkami ze śrutem, który naśladował narzut kamienny, okazały się wkrótce przy ruchu wody znane zjawiska, a mianowicie wytwarzanie się miejsc głębszych na brzegach wklęsłych, a odsypisk przy brzegach wypukłych. Odsypiska łączyły się na przejściach z progami w jednolitą mieliznę. Kierunek ruchu rumowiska zbadano w ten sposób, że wsypywano do wody ziarnka węgla brunatnego (o ciężarze właściwym 1,2), które z łatwością posuwały się za strugami wody. Otóż okazało się, że ten materiał ruchomy zupełnie wyraźnie przechodził z jednego brzegu wypukłego na drugi.

Dalsze doświadczenia tego samego badacza odnoszą się do badania wykształcania się łożysk rzecznych o dnie ruchomem w przestrzeniach prostych, lub słabo zakrzywionych²⁾. Ponieważ donioślejsze zmiany w takich łożyskach odbywają się przy wielkiej wodzie, a obserwacja ich w przyrodzie nie jest możliwa, przeto badanie zjawiska w korycie próbnem jest bardzo pożądane.

Szerokość łożyska dokładnie prostolinijnego przyjęto równą $\frac{1}{16}$ długości, a objętość przepływu ograniczono do 8 lt/sek. Siłę poruszającą wody określa się jak wiadomo równaniem

$$S = \gamma T I,$$

przyczem każdy materiał posiada pewną graniczną wartość S , przy której zaczyna się ruch materiału. Otóż dla piasku jaki miał być użyty w korycie próbnem oznaczono doświadczalnie $S = 0,024 \text{ kg/m}^2$. Przy przyjętych rozmiarach łożyska otrzymano pożądane S przy spadku od 0,0025 do 0,003. Brzegi łożyska próbnego ubezpieczono płytami żelbetowymi, szerokość sztucznie w piasku wykonanego łożyska wynosiła 90 cm, piasek wynoszony przez wodę uzupełniano nowym, dosypując go z góry.

Aby nie wywołać zbyt gwałtownego przekształcenia koryta próbnego, objętość wody stopniowano od małej do przyjętej jako maksymalna. Przy zwiększonej objętości widać było odrazu dążność wody do stworzenia stanu równowagi — przy danej, stosunkowo do głębokości zbyt znacznej szerokości łożyska, zmniejszenie spadku zwierciadła i pogłębienie dna wstecz nie było możliwe, wobec tego woda musiała zużyć swą

¹⁾ „Das Flussbaulaboratorium der kg. techn. Hochschule in Dresden“. Ztschft. f. Bauwesen 1900. — „Über den Zweck, den technischen und wirtschaftlichen Wert des Dresdener Flusslaboratoriums“ Ztschft. d. oest. Ing. und Arch. Ver. Wiedeń 1907.

²⁾ „Untersuchung über die Bettausbildung gerader oder schwachgekrümmter Flussstrecken mit beweglicher Sohle“. Berlin 1905.

energję przez stworzenie możliwie wielkiej ilości punktów zaczepienia w dnie, co się objawiło w tem, że dno początkowo zupełnie gładkie miało wkrótce pełno zagłębień i wzniesień i wyglądało jak pokratkowane. Wzniesienia skutkiem ruchu materiału posuwały się językowato skośnie ku przodowi, zachowując się podobnie jak ławice materiału na rzekach. Dalsze doświadczenia okazały, że zwężenie nadmiernej szerokości łożyska próbnego wywołało zanik skośnych języków, natomiast powstawały w dnie żebra poprzeczne, w przybliżeniu prostopadłe do brzegów, z czego wynika, że przez zwężenie można zapobiedz przerzucaniu się nurtu, musi się jednak równocześnie zmniejszyć spadek. Engels streszcza wyniki tych doświadczeń następująco:

W prostych przestrzeniach rzek o ruchomem dnie, ograniczonych stałymi brzegami, w których wielka woda przepływa równolegle do brzegów, materiał porusza się również prostolinijnie. Jeżeli przy zbyt dużym spadku łożyska wielka woda o tyle opadnie, że szerokość w stosunku do przepływającej objętości jest zbyt wielka, natenczas powstają w łożysku ławice materiału w formie ukośnych języków, sięgających naprzemian od jednego ku drugiemu brzegowi, przesuwane się przy każdej wielkiej wodzie w dół. W ten sposób powstaje w tych prostych przestrzeniach przy małej wodzie przerzucanie się nurtu, które zanika, jeżeli się zmniejszy dopływ materiału ruchomego z góry, albo jeżeli się zwęzi szerokość łożyska. W obu wypadkach następuje jednak zmniejszenie spadku. Można także w obrębie prostolinijnego łożyska średniej wody wykonać osobne, węższe i więcej kręte łożysko dla małej wody, jednak budowle ograniczające profil małej wody powinny być tak założone, aby wpływ ich przy małej wodzie był wydatny, natomiast znikomy przy wielkiej wodzie — zasada, którą kierujemy się przy t. zw. regulacji na małą wodę, o czem w dalszym ciągu będzie mowa.

Podobne doświadczenia jako wstęp do badań kształtu naturalnych profilów rzecznych wykonano w doświadczalni wiedeńskiej¹⁾. Jako materiału użyto piasku od 0,4—2,6 $\frac{m}{m}$ średnicy; doświadczenia wykonano w dużem korycie hydraulicznem w całej szerokości 3 metrów i dążono do ustalenia chwili, w której się zaczynał ruch piasku.

Graniczne wartości kiedy się zaczynał ruch piasku wynosiły:

Q	I	T
68,6 lt/sek.	1,24 ‰	6,06 cm
173,0 „	1,558 „	13,40 „
326,0 „	0,373 „	23,70 „

¹⁾ „Die Ausbildung von Gleichgewichtsprofilen in geraden Flussstrecken mit Geschiebett“. Mitteilungen 2 Folge. Allgemeine Bauzeitung zeszyt IV Wiedeń 1916.

Graniczną siłę poruszającą według formuły $S=1000 TI$ oznaczono w dwóch wypadkach zgodnie na $0,075 \text{ kg/m}^2$. Doświadczenia co do wykształcania się naturalnych profilów rzecznych w łożysku prostoliniowym wykonano stosując szerokości 100, 198 i 280 cm, objętości wody wynosiły 13,8, 53,5 i 87 lt/sek, spadki zwierciadła 1,35, 0,79 i $0,65\%$, średnie głębokości 3,46, 7,3 i 8,9 cm. Otrzymane profile posiadały ładnie wyrobiony kształt o głębokości mało zmiennej, skutkiem czego wyrażono twierdzenie, że w łożyskach prostych, o stosunkowo stromych i gładkich skarpach, profil zbliża się do kształtu trapezu.

Przy sposobności tych doświadczeń skonstatowano, że formuły empiryczne na średnią chyżość w łożyskach rzecznych nie stosują się do łożysk doświadczalnych; chyżości obserwowane były kilkakrotnie większe, jak chyżości obrachowane z formuły¹⁾. Tak na przykład formuła autora o kształcie uproszczonym dla małych głębokości:

$$V_s = 52,7 I^{0,493 + 10 I T}$$

daje dla przypadku trzeciego $V_s = 0,117$, podczas gdy rzeczywista chyżość wynosiła 0,35 m; inne formuły dają wyniki jeszcze mniej zgodne. Powód niezgodności formuł w tych przypadkach nie został jeszcze naukowo wyjaśniony.

Poprzestając na opisanii tych doświadczeń i pozostawiając przedstawienie dalszych przy odnośnych działach przedmiotu, wspomnimy tu jeszcze pokrótce o drugim szeregu doświadczeń, a mianowicie badań mających na celu skonstatowanie, jak się pewna ściśle określona partja rzeki, według pewnej metody uregulowana, lub też pewna budowla (jak filar mostowy, wlot lub wylot kanału lub portu, ujście rzeki do morza i t. p.) zachowa w naturze i jakie będzie jej działanie. W tym celu konstruuje się dokładny model danej partji rzeki lub budowli i model wstawia w łożysko próbne, starając się ruch wody i materiału dostosować do warunków przyrodzonych. Badania takie tyczą się zatem zadań praktycznych ściśle określonych; pragniemy tu zapomocą badania experimentalnego już z góry poinformować się, czy projektowana konstrukcja będzie odpowiednia, względnie przez zmianę konstrukcji w ciągu doświadczenia znaleźć rozwiązanie najkorzystniejsze.

Ważną rzeczą przy takich doświadczeniach jest obranie dla modelu odpowiednich podziałek. Gdy idzie o stwierdzenie działania budowli wstawionych w łożysko rzeki (nie zaś o ogólne prawa ruchu wody)

¹⁾ Rachowano formułami Kuttera, Bazina, Siedeka, Hermanka i autora. Podobne spostrzeżenie uczyniono przy doświadczeniach w laboratorium berlińskim („Versuche über die Bettausbildung der Weserstrecke“ Ztschft. f. Bauwesen, Berlin 1907. str. 55).

i jeśli można pominąć wpływ lepkości wody i oporów tarcia, to najodpowiedniejsze stosunki wymiarów modelu i w naturze będą następujące:

dla długości	$\frac{l_m}{l}$	=	$\frac{1}{\alpha}$
„ powierzchni	$\frac{P_m}{P}$	=	$\frac{1}{\alpha^2}$
„ czasu	$\frac{t_m}{t}$	=	$\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$
„ chyżości	$\frac{v_m}{v}$	=	$\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$
„ drogi	$\frac{v_m t_m}{v t}$	=	$\frac{1}{\alpha}$
„ objętości przepływu	$\frac{Q_m}{Q}$	=	$\frac{P_m v_m}{P v} = \frac{1}{\sqrt{\alpha^5}}$
„ spadku	$\frac{I_m}{I}$	=	1

W rzeczywistości trudno dostosować się przy eksperymencie w zupełności do natury, gdyż oporów tarcia na rzekach o silnym ruchu materiału nie można pomijać, a trudność stanowi odpowiedni dobór i przygotowanie materiału ruchomego według skali zmniejszenia. Przy doświadczeniach tych badamy często kierunki strug wody, używając do tego celu sproszkowanego węgla brunatnego, który woda łatwo unosi, lub też atramentu wpuszczanego kroplami do wody. Modele z gipsu z powodu swej gładkości stosunkowo dobrze zgadzają się pod względem powstającego tarcia z przyrodą

Jako przykład weźmy doświadczenia wykonane przez Engelsa w r. 1917 w Dreźnie¹⁾.

Pierwsze z nich odnosiło się do zbadania przyczyny oberwania się brzegu Nissy Łużyckiej pod Penzig, gdzie przytem zostało zerwanych około 50 m drogi. Nastąpiło to bezpośrednio po uregulowaniu tej przestrzeni rzeki, przyczem ostra krzywizna znajdująca się powyżej miejsca zerwania brzegu została złagodzona.

Wykonano więc model tej przestrzeni rzeki w gipsie i włożono go do koryta próbnego o szerokości 2 m, wypełnionego piaskiem; w modelu tym odtworzone były w następstwie po sobie tak stan przed regulacją jak i stan po regulacji badanego miejsca i przestrzeni sąsiednich.

¹⁾ „Forschungsarbeiten auf dem Gebiete der Ingenieurwissenschaften“ zeszyt 200/201. Berlin 1917.

Podziałki doświadczenia były następujące: spadek $I_m = 0,00067$, zgodny z naturą, stosunek $1 : \alpha = 1 : 94$, zatem podziałka długości $1 : 94$, po-

wierzchni $\frac{1}{94^2} = \frac{1}{8836}$, czasu $\frac{1}{\sqrt{94}} = \frac{1}{9,7}$, chyżości $\frac{1}{\sqrt{94}} = \frac{1}{9,7}$, objętości $\frac{1}{\sqrt{94^3}} = \frac{1}{85670}$. Profil przyjęto trapezowy o szerokości

zwierciadła $260 \frac{m}{m}$, a u stopy skarpy modelu w miejscach przedstawiających zerwisko (przed i po regulacji) wykonano rowki, które wypełniono sproszkowanym węglem brunatnym, przesianym przez sita o oczkach $0,85$ i $0,65 \frac{m}{m}$. Następnie poddano model przepływowi wody (objętość $0,5$ lt/sek, która według powyżej podanej podziałki przedstawiała $42,84 \text{ m}^3/\text{sek}$ w naturze i płynęła z chyżością średnią $0,104 \text{ m}^3/\text{sek}$). Wynik był taki, że wymycie proszku węglowego z partji modelu przedstawiającej przestrzeń po regulacji było ilościowo $3\frac{1}{2}$ razy większe, jak z partji przedstawiającej przestrzeń przed regulacją, co było oczywiście dowodem, że złagodzenie ostrej krzywizny powyżej badanego miejsca, wywołało poniżej zwiększoną erozję i usunięcie się skarpy.

Drugie doświadczenie miało za zadanie okazać, czy przez odcięcie przy obwałowaniu Wezery pewnej partji terenu zalewowego nie pogorszy się stosunków odpływu wielkiej wody. Otóż przestrzeń badaną przedstawiono w modelu gipsowym w skali $1 : 500$, poczem badano kierunki strug wody przy przepływie odpowiadającym wielkiej wodzie, wpuszczając do wody krople atramentu. Atrament znaczył na białym modelu gipsowym ciemne smugi, które w pewnych partjach zamykały się w koła, w innych przebiegały wzdłuż. Te koliste smugi wyznaczały partje dla przepływu nieużyteczne, które można było z profilu przepływu wyłączyć.

Wreszcie trzecie doświadczenie odnosiło się do wjazdów portowych. Kanały wjazdowe w zasadzie nie powinny mieć wjazdu na brzegach wypukłych, gdyż jak wiadomo rzeka tworzy tu miejsca płytkie, osadzając materiał. W praktyce jednak zachodzi nieraz konieczność założenia wjazdu na brzegu wypukłym; otóż chodziło o to, w którym miejscu brzegu wypukłego nad Renem pod Düsseldorfem założenie kanału wjazdowego będzie najodpowiedniejsze. Wykonano więc model tej partji Renu, oraz wjazdy do portu, jeden powyżej, drugi poniżej wierzchołka krzywizny w skali $1 : 600$ i włożono go do łożyska próbnego wypełnionego piaskiem, składając powyżej każdego wjazdu tęsamą ilość proszku węgla brunatnego, poczem puszczono wodę w objętości odpowiadającej średniej i wielkiej wodzie. Otóż okazało się, że wjazd umieszczony powyżej wierzchołka krzywizny zachowywał się pod każdym względem lepiej, mianowicie zamulenie Renu przy wjeździe górnym było mniejsze, a również ilość namułu osadzonego we wlocie gór-

nym była mniejszą, a stosunek jej do objętości osadzonej we wlocie dolnym był jak 3:8. Natomiast zauważono, że prądy koliste tworzące się przy wlotach wciągały materiał przy założeniu pierwszym głębiej w basen portowy jak w drugim.

Doświadczenia dotyczące działania podłoża różnej konstrukcji przy jazach, wykonano w Szwajcarii¹⁾ na modelach w kanale zakładów wodociągowych Bazylei; objętość jaka była do dyspozycji wynosiła do kilkuset lt/sek. Stosunek wymiarów modelu i w naturze przyjęto według zasad powyżej podanych, a mianowicie jeżeli b, h, v, q, a , oznaczają szerokość, wysokość, prędkość, objętość wody i wymiar ziarn piasku (przedstawiających bloki kamienne podłoża) na modelu, zaś B, H, V, Q, A , te same ilości w rzeczywistości, to musiano przyjąć następujące związki $B = \alpha b, H = \alpha h, v = \text{Const} \sqrt{h}, V = \text{Const} \sqrt{H}$, zatem

$$V = \sqrt{\alpha} v, q = \text{Const} b h v, Q = \text{Const} B H V, \text{zatem } Q = \alpha^{\frac{5}{2}} q.$$

Blok betonowy, lub ziarno piasku o wymiarze a , waży $P = \text{Const} a^3$, opór tarcia jest $C_1 a^3$, siła żywa wody $c_2 a^3 v^2 \leq c_1 a^3$, zatem $a = \text{Const} v^2$, a $A = \alpha a$, czyli wymiary piasku i bloków redukuje się linearnie.

Woda przelewająca się przez jaz wybijała w podłożu zagłębienie; chyżości wody nad podłożem mierzono rurką Pitota; w ten sposób można było oznaczyć położenie linii największej chyżości i ocenić przy jakim urządzeniu podłoża linja największych chyżości ma z uwagi na podłoże położenie niekorzystniejsze.

Na zakończenie tego ustępu podkreślić trzeba z naciskiem, że badanie przyrody rzek, czy to doświadczalne, czy też przez obserwację w naturze, jest obowiązkiem każdego inżyniera. Przy badaniach tych nie trzeba rozpoczynać od zjawisk zbyt skomplikowanych, lecz od najprostszych problemów, gdyż jak wynika z opisu właściwości rzek, wiele problemów pozornie prostych, wymaga jeszcze gruntownego zbadania, bądźto doświadczeniem, bądź też przez obserwację w przyrodzie. Nie bez korzyści dla nauki jest także powtarzanie i sprawdzanie doświadczeń wykonanych już przez innych, gdyż przy takim badaniu mogą się nasunąć nowe szczegóły zjawiska i mogą powstać odmienne zaopatrywania.

Nie trzeba przytem dążyć zbyt pospiesznie do uzyskania pełnego rezultatu praktycznego; wprowadzie celem nauk technicznych jest zastawienie teorii do praktyki, czyli oparcie praktyki budowniczej na ścisłych naukowych podstawach, jednak droga do uzyskania praktycznych

¹⁾ Schweizerische Bauzeitung 1918. Nr. 3—5.

rezultatów musi być nieraz bardzo powolna, a postęp stopniowy. Dalej co do rozmiarów doświadczeń zauważyć trzeba, że wprawdzie obserwacje w naturze, lub doświadczenia w skali niezmnieszonej, dają wynik najpewniejszy, jednak często obserwacja zjawiska wywołanego doświadczeniem na małą skalę umożliwia bardziej szczegółowy wgląd w istotę zjawiska, wysnucie wniosków i dostrzeżenie takich objawów, których obserwacja w naturze lub na eksperymencie w dużej skali jest utrudniona, albo niemożliwa.

IV. Cele i środki regulacji rzek.

Najważniejszym celem regulacji rzek jest ułatwienie odpływu. Łożysko rzeki dziedziczącej, nieregulowanej, jest zwykle nadmiernie szerokie, powstają w niem złoża materiału ruchomego jako odsypiska i wyspy, a rzeka dzieli się na ramiona. W takich warunkach dno łożyska jest nadmiernie podniesione, w wielu miejscach nie ma wybitnych brzegów, profile przepływu są płytkie, nieregularne, a spadek w profilu podłużnym posiada liczne załomy, nie mogąc być dla przepływu należycie wyzyskany. Celem spełnienia tego pierwszego celu regulacji, t. j. ułatwienia odpływu, staramy się o wytworzenie korzystnych profili odpływu. Do tego dążymy przez obustronne ujęcie koryta z pomocą budowli regulacyjnych w projektowanych regularnych liniach założonych, przyczem zakładamy dla przestrzeni rzeki normalne przekroje poprzeczne, obliczone na podstawie dat hydrograficznych, a więc poprzednio przedsięwziętych studjów co do objętości przepływu, spadków łożyska i innych warunków przyrodzonych. W dół rzeki, w miarę powiększania się objętości, rozszerzamy profile normalne. Aby rzece nadać projektowany kształt koryta, wykonujemy tylko budowle ograniczające je obustronnie z boku (tamy regulacyjne), odległe od siebie w kierunku poprzecznym w odstępie zwanym normalną szerokością (Normalbreite, largeur normale) — wykształcenie zaś przekrojów, tudzież wyrównanie spadków w profilu podłużnym, poprostu mówiąc oczyszczenie łożyska z zalegających je złoży materiału pozostawiamy rzece samej, ułatwiając je tylko wyjątkowo i to w niewielkiej mierze przez pogłębianie sztuczne, czyli tzw. bagrowanie. Pracę tę wykonuje rzeka skutkiem siły poruszającej wody (Bewegungskraft, Räumungskraft, force d'entraînement), zależnej od masy wody i spadku łożyska. To jest zatem główna część robót regulacyjnych, zabudowanie do normalnej szerokości — dalsze budowle mają na celu zamknięcie bocznych ramion; aby cała woda płynęła w obrębie uregulowanego koryta, dalej zabudowanie odciętych tamami części łoży-

ska zapomocą budowli poprzecznych, aby przez zamulenie (zasypanie przez rzekę materiałem ruchomym) tych odciętych części, stworzyć nowy brzeg przy budowlach regulacyjnych, tudzież wyzyskać odcięte obszary dla kultury.

Rzeka w stanie pierwotnym wije się nieraz w ostrych zakrętach i serpentynach; utrzymanie jej w takich ostrych zakolach jest trudne, a czasem nawet niemożliwe. Dlatego używamy nieraz dalszego środka regulacji, to jest przekopów (Durchstich, tranchée, déblai), celem usunięcia takich miejsc, a staramy się zapomocą budowli zamykających wywołać zamulenie starych koryt. Zauważa się jednak, że środek ten t. j. przekopy, stosuje się tylko wyjątkowo, gdyż skracają one długość naturalnego biegu wody, a przez to zwiększają spadek względny, przez co może zostać naruszona równowaga łożyska. Szczególnie na rzekach większych, żeglownych, stosowanie przekopów powinno być tylko zupełnie wyjątkowe.

W ten sposób koncentruje się zapomocą budowli regulacyjnych wodę w obrębie uregulowanego łożyska, utrwalając przestrzenie odcięte bądźto budowlami, mającemi na celu ich utrzymanie (tamy poprzeczne, namulniki), bądź też przez pokrycie ich roślinnością, jak wikliną i t. p. Gdzie woda działa szkodliwie na brzegi starając się je naruszyć, tam ubezpieczamy je zapomocą płotków, obitek brzegów, bruków kamiennych, lub płyt betonowych lub żelazno-betonowych (brukowane skarpy). To jest w ogólnym schemacie przeznaczenie budowli regulacyjnych; przypatrzmy się teraz pokrótce ich działaniu.

W pierwszym okresie regulacji wywołują budowle regulacyjne silny ruch materiału rzecznego — warunki odpływu mogą się chwilowo nawet pogorszyć — lecz po przejściu tego okresu wykształcają się regularne profile, odsypiska i wyspy znikają, a woda ma ułatwiony odpływ. Równocześnie ułatwia się także i odprowadzenie lodów i zmniejsza niebezpieczeństwo tworzenia się zatorów, gdyż zatory powstają przede wszystkim w nadmiernie szerokich i płytkich przestrzeniach rzeki. Teraz rozpoczyna się dalsza praca wody.

Jeżeli przyjmiemy, że w rzece nieuregulowanej zachodziła równowaga między siłą żywą wody a oporami, to teraz w regularnie wykształconem łożysku opory ruchu są znacznie mniejsze i rzeka nie potrzebuje takiego spadku jaki posiadała przedtem; jest on dla niej zatem za wielki i aby znowu zaszła równowaga między siłą poruszającą a oporami, musi się spadek zmniejszyć. Zmniejszanie się spadku wywołuje pogłębienie łożyska, a przez to osiągamy dalszy cel regulacji, a mianowicie zniżenie zwierciadła wody, a zatem równocześnie i zmniejszenie wylewów, obniżenie stanu wody gruntowej, co jest szczególnie korzystnem w obszarach zabagnionych, umożliwienie robót meljoracyjnych,

gdyż obniżenie się zwierciadła wody w rzece ułatwia odprowadzenie rowów osuszających i drenów do rzeki i t. p. To pogłębienie łożyska nie zawsze występuje w równej mierze; czasem zupełnie się nie objawia, o ile dno rzeki złożone jest z materiału cięższego i wytrzymuje zwiększoną siłę poruszającą wody, czasem zaś jest tak znaczne, że gdy dojdzie do pewnej dopuszczalnej wielkości, musimy je powstrzymać, gdyż gwałtowna erozja i postępujące coraz dalej pogłębienie powoduje zwężanie się profilu w głąb, w którym woda znowu nie może się utrzymać i rozrywa budowle regulacyjne i brzegi. Pogłębienie jakkolwiek zwykle pożądanę z uwagi na zmniejszenie wylewów, może być znowu szkodliwe z uwagi na kulturę rolną, o ile powoduje przesuszenie z powodu obniżenia poziomu wody gruntowej, szczególnie w gruntach przepuszczalnych i torfowych. W celu powstrzymania pogłębienia utrwalamy dno, budując w łożysku poprzeczne progi. Te zjawiska erozyjne występują przy regulacji nieraz bardzo prędko i w tak wydatnej mierze, że prawie równocześnie z budowlami regulacyjnymi ograniczającymi normalną szerokość rzeki musimy budować progi. Na innych znów rzekach pogłębienie następuje dopiero po szeregu lat i ma powolny przebieg.

Te wszystkie zadania i cele regulacji tu wyłuszczone służą głównie do celów ochrony lub poprawienia kultury rolnej w dolinie rzeki, oraz wyzyskania obszarów dotąd nieużytecznych dla kultury. Równocześnie spełnia regulacja rzek i inne zadania — na rzekach górskich ułatwia spław, na rzekach zaś nizinnych umożliwia żeglugę, a jeśli one były i przedtem żeglowne, to polepsza warunki żeglugi w znacznej mierze.

Jak wiadomo, rzeki stanowiły jako drogi wodne od wieków najważniejsze arterje komunikacyjne, gdy jednak w 19 wieku pojawił się groźny konkurent, w postaci kolei żelaznych, okazało się, że ruch wodny może być tylko wtedy tańszy od ruchu kolejowego, o ile towary przewozi się na znaczniejszą odległość i w statkach o znacznej pojemności, a więc także i o znacznym zanurzeniu, gdyż pojemność wyraża się wzorem:

$V = \varphi D \cdot S \cdot t$, gdzie D oznacza długość, S szerokość statku, t głębokość zanurzenia, zaś φ współczynnik, który możemy nazwać współczynnikiem kształtu statku, lub też współczynnikiem pełności, lub wyporu wody, (Völligkeitscoefficient, coefficient de displacement), a który jest stosunkiem rzeczywistej zanurzonej kubatury statku do graniastosłupa prostokątnego $D \cdot S \cdot t$, opisanego na jego głównych wymiarach. Jest łatwo zrozumiałem, że profile na rzece uregulowanej, jako skoncentrowane, bez odsypisk i mielizn, zapewniają znacznie korzystniejsze warunki dla żeglugi; głębokość zanurzenia statków może być większa, przy czem potrzebne głębokości istnieją wszędzie, na całej przestrzeni uregulo-

wanej, skutkiem wyrównania dna w profilu podłużnym. Najmniejsze głębokości panują na przejściach nurtu, do nich zatem musi być zanurzenie statków dostosowane.

Jak widzimy, te same roboty regulacyjne służą różnym celom, regulując z uwagi na kulturę rolną poprawiamy równocześnie warunki żeglugi. Żegluga na wielkich rzekach wymaga tylko pewnych robót uzupełniających, które nazywamy regulacją uzupełniającą, albo regulacją na małą wodę (Niedrigwasserregulierung, Nachregulierung, améioration en basses eaux), polegającą głównie na wykonaniu robót w celu poprawy niekorzystnych przejść na progach.

Na rzekach uregulowanych koszta przewozu mogą być kilkakrotnie niższe od kosztów przewozu kolejowego, skutkiem czego regulacja stwarzając wielką żeglugę, umożliwia skutkiem taniego dowozu węgla i surowców tanią produkcję przemysłową i przyczynia się do rozwoju przemysłu i handlu i wzrostu bogactwa narodowego.

V. Prace hydrometryczne potrzebne do sporządzenia projektu regulacji rzeki.

Przed przystąpieniem do opracowania projektu regulacji rzeki trzeba wykonać studia wstępne, które mają na celu:

1. Uzyskanie planu sytuacyjnego rzeki, na którym wkreśli się projektowane budowle.
2. Oznaczenie spadku wyrównanego (przeciętnego) na podstawie zdjętego profilu podłużnego.
3. Oznaczenie normalnego stanu regulacji, to znaczy stanu, który bierzemy za podstawę obrachowania normalnej objętości wody, czyli tej objętości, którą projektowany profil rzeki ma odprowadzać.
4. Oznaczenie kształtu profilu poprzecznego normalnego, a w dalszym ciągu normalnych szerokości regulacji.

Mówiąc o projekcie regulacji rozróżniamy zazwyczaj projekt generalny, czyli ogółowy i projekt szczegółowy. Pierwszy ma wyczerpać wszystkie kwestje ogólnego znaczenia dla regulacji rzeki, a więc rozwiąże on wszystkie zagadnienia odnośnie do oznaczenia normalnych szerokości, typów budowli, projektu trasy regulacyjnej i ogólnego usytuowania budowli z wkreśleniem ich na planie sytuacyjnym w małej podziałce wyrysowanym. Z projektem ogólnym łączy się ogółowy kosztorys robót. Projekt szczegółowy obejmuje natomiast przede wszystkim szczegółowe plany sytuacyjne, w dużej podziałce wykreślone, wraz ze szczegółowym usytuowaniem budowli, tak, aby z planu takiego można było budowle te tyczyć na terenie. Podczas gdy projekt ogólny obejmuje zwykle całość rzeki, lub przynajmniej znaczną jej partję, projektem szczegółowym obejmuje się partję ograniczoną, np. przeznaczoną do wykonania w jednym okresie budowlanym. Wykonywanie zbyt rozległych projektów szczegółowych, które mogą być wykonane w dłuższym okresie czasu, nie ma celu, gdyż sytuacja rzeki w ciągu czasu się zmienia, rzeka zrywa brzegi, tworzy odsypiska, przerzuca nieraz swe łóżysko, a budowle muszą być zaprojektowane z uwzględnieniem ostatniego stanu

łożyska, gdyż inaczej ich wykonanie mogłoby się mijać z celem. Do projektu szczegółowego muszą być również zaprojektowane szczegółowo typy budowli regulacyjnych i ich rozmiary. Na podstawie tych danych, oraz szczegółowego obliczenia rozmiaru robót i cen materiałów według zbadania sprawy na miejscu, sporządza się kosztorys szczegółowy robót regulacyjnych.

Po tem wyjaśnieniu omówimy pokrótce wyszczególnione powyżej roboty hydrometryczne.

1. Plan sytuacyjny (Plan de situation, Situationsplan).

Sporządza się go na podstawie zdjęcia terenu i wykreślenia w odpowiedniej podziałce. Podziałka planów regulacji rzek (sytuacyjnych) jest różna. W Małopolsce np. wykonywano plany ogółowe w skali 1:5000 (Wisła), 1:7200 ($2\frac{1}{2}$ krotnie zmniejszona podziałka katastralna) dla pobocznych Wisły i Dniestru, oraz 1:10.000 dla Dniestru; szczegółowe plany sytuacyjne sporządzano zazwyczaj w skali katastralnej 1:2880. Tak ta podziałka, jak i 1:7200, miały na celu łatwe połączenie zdjęcia z katastrem, nie potrzeba jednak dodawać, że są nader niedogodne. W ogólności można przyjąć, że dla planów ogółowych wystarczy sytuacja 1:5000—1:10000, dla szczegółowych 1:1000—1:2500; wyjątkowo potrzebne są plany sytuacyjne w skali większej np. 1:500. Co plan sytuacyjny ma zawierać?

Przedewszystkiem linje brzegów wody przy stanie długotrwałym, w naszych stosunkach przy stanie niskim, linje wysokich brzegów, wszystkie budowle istniejące w łożysku i w pobliżu łożyska rzeki, a więc tamy regulacyjne, wały ochronne, jazy, śluzy, młynówki, kanały, domy i t. p. Prócz tego uwidocznic należy na podstawie dokładnego zdjęcia punkty stałe sytuacyjne i niwelacyjne istniejące już nad rzeką, lub w celu późniejszego wytyczenia budowli specjalnie zakładane (słupy kilometrowe, żelazne słupy wkręcane, jako punkty stałe niwelacyjne, pale silnie w ziemię wbite, kopce z wbitym palem, punkty stałe katastru, punkty graniczne, załomy parcel gruntowych i t. p.). Również uwidocznione być mają wszystkie komunikacje w pobliżu rzeki, a więc drogi, koleje, mosty i przewozy. Istniejące na rzece odsypiska, wyspy i kultury wiklin, należy również oznaczyć. Jeżeli chodzi o projekt szczegółowy, czyli plan wykonawczy i jeżeli projektowane roboty wymagają wykupna gruntów, to na planie sytuacyjnym wkreślić należy granice parcel na podstawie map katastralnych, lub zdjęcia z natury.

Na każdym planie sytuacyjnym sporządzonym dla projektu regulacji należy zaznaczyć datę zdjęcia i stany wody odczytane na wodoskazach danej przestrzeni w czasie zdjęcia.

2. Profil podłużny (Längenprofil, profil en long) i oznaczenie spadku wyrównanego.

Rozróżniamy również profil podłużny ogółowy (generalny) i szczegółowy. Pierwszy zawiera zazwyczaj tylko zwierciadło wody zaniwelowane przy stanie ustalonym, a więc w naszych stosunkach niskim, oraz linię wyrównania spadków; sporządza się go dla całego biegu rzeki, lub przynajmniej dla długiej jej przestrzeni i celem jego jest scharakteryzowanie spadków na badanej rzece lub jej przestrzeni. Profil podłużny szczegółowy zawiera zazwyczaj: a) zwierciadło wody przy stanie niskim, b) zwierciadło wody przy stanie najwyższym, lub przynajmniej zaniwelowane w pewnych punktach (na mostach, przy wodoskazach, na drzewach nadrzecznych, murach nadbrzeżnych, skarpach wałów) ślady (marki) wielkiej wody, c) dno rzeki w nurcie, naniesione w profilu według zdjętych profiliów poprzecznych, d) położenie obu brzegów, f) poziom korony wałów, o ile rzeka jest obwałowana, wreszcie wszystkie wodoskazy z podaniem rzędnej zera wodoskazu i charakterystycznych stanów, poziomy punktów stałych, dolnej i górnej krawędzi mostów, korony jazów i t. p. Jeżeli w dnie rzeki występuje nie tylko materiał ruchomy, jak żwir, piasek, lub namuł, lecz także skała (progi poprzeczne, szypoty), to miejsce ich występowania powinno być zaznaczone, a poziom oznaczony rzędną.

Niejednokrotnie projektowane roboty regulacyjne prowadzą pewne większe lub mniejsze skrócenie naturalnego biegu (skutkiem wyprostowania zbyt ostrych krzywizn, odcięcia zbyt ostrych serpentyn zapomocą przekopów), wtedy profil podłużny jaki kreślimy dla projektowanego biegu rzeki będzie profilem biegu skróconego, a spadki zwierciadła będą tu większe jak spadki naturalne. Jak się oznacza i oblicza spadki, mówiliśmy o tem już powyżej, przy omawianiu charakteru rzek i spadków na rzekach, tu wspomnimy tylko pokrótce o toku robót mających na celu zdjęcie profilu podłużnego rzeki na znacznej długości.

Po zdjęciu sytuacji rzeki i wykreśleniu planu sytuacyjnego, przeprowadza się na planie kilometrowanie, to znaczy według wkreślonej przybliżonej trasy regulacyjnej mierzy długości i dzieli całą przestrzeń rzeki na kilometry. Kilometry te oznacza się następnie na terenie według punktów stałych przy zdjęciu sytuacji założonych i charakterystycznych punktów sytuacji i w oznaczonych miejscach na brzegach osadza słupy kilometrowe kamienne lub żelazne, które służyć będą także jako punkty stałe niwelacyjne. Stosownie do potrzeby (np. na rzekach górskich o dużym spadku), osadza się także i punkty stałe niwelacyjne pośrednie. Zapomocą dokładnej podwójnej niwelacji podłużnej oznacza się następnie rzędne wszystkich punktów stałych. Chcąc teraz

zdzjąć profil podłużny zwierciadła wody na długiej przestrzeni, dzieli się ją na partje conajmniej 20-to kilometrowe przeznaczając do każdej z tych partji jedną siłę techniczną. W ciągu pierwszych dni (dwu do trzech) zabija się naprost punktu stałego na wodzie paliki, sięgające kilka cm ponad wodę i niweluje głowy palików nawiązując do odpowiedniego punktu stałego. W ostatnim dniu, przechodząc lub jadąc łodzią wzdłuż rzeki, odmierza się podziałką milimetrową wzniesienie palika nad wodę, poczem pomiar jest ukończony. Obliczywszy rzędne palików na wodzie, i odjąwszy od tych rzędnych wzniesienie palików nad wodę, otrzymujemy rzędne punktów zwierciadła wody, które wykreślone z uwzględnieniem odległości wziętych ze sytuacji, dają nam profil podłużny zwierciadła wody. Wysokości brzegów i głębokości wody w nurcie oznaczamy w profilu podłużnym na podstawie zdjętych w pewnych odstępach (zazwyczaj kilka na kilometr) przekrojów poprzecznych.

Wykreśliwszy profil podłużny zwierciadła wody dla stanu niskiego, należy się zorientować co do spadków zasadniczych charakteryzujących pewne przestrzenie, czyli sekcje rzeki. Otóż biorąc zazwyczaj jako granice sekcji ujścia większych dopływów (choć w razie wyraźnego załomu spadku między dopływami musimy i ten punkt przyjąć jako granicę sekcji), wkreślamy spadki wyrównane zwykle jako linje proste, przyjmując zatem spadek jednostajny. Te spadki wyrównane będą nam potrzebne do obrachowania normalnych profilów dla każdej sekcji.

3. Oznaczenie stanu normalnego (Normalwasserstand, hauteur normale) i normalnej objętości przepływu (normale Abflussmenge, débit normal).

Normalny stan regulacji i normalna objętość są to ilości ze sobą ściśle związane, stosowne ich oznaczenie jest rzeczą pierwszorzędną doniosłości z uwagi na zrealizowanie się regulacji rzeki; fałszywe przyjęcia pod tym względem są nieraz powodem, że skutki regulacji nie odpowiadają oczekiwaniom.

Mówiąc o regulacji rzeki łączymy tę regulację równocześnie z pojęciem pewnego stanu wody, do którego jest ona odniesiona: mówimy np. o „regulacji na średnią wodę“, „na małą wodę“, lub „na wielką wodę“. Oznacza to, że profile łóżyska uregulowanego, oraz położenie i wzniesienie budowli regulacyjnych, dostosujemy do stanu średniego, niskiego, lub wysokiego i objętości wody odpływającej przy odpowiednim stanie.

Stan ten który bierzemy za podstawę zamierzonej regulacji nazywamy stanem normalnym regulacji, a odpowiadającą mu objętość objętością normalną.

Na jaki stan należy rzeki regulować? Na to pytanie nie można odpowiedzieć wprost, przez oznaczenie pewnego charakterystycznego stanu, gdyż wszystkich rzek nie można podciągnąć pod jedną normę. Decydują tu różne czynniki, przede wszystkim zaś charakter rzeki, jej wielkość, zmienność stanów wód i objętości przepływu, ilość i rodzaj prowadzonego materiału ruchomego, wreszcie cel regulacji.

Powołując się na to cośmy powiedzieli w rozdziale III. o celach regulacji możemy jednak powiedzieć, że normalny stan regulacji i związana z nim normalna objętość muszą być tak dobrane, aby cele regulacji zostały osiągnięte. Pierwszym jednak i zasadniczym celem regulacji jest osiągnięcie takich warunków w łóżysku uregulowanym, aby materiał ruchomy doprowadzony z góry mógł być przez rzekę również odprowadzony w dół, aby zatem nie tworzyły się w łóżysku złoża materiału ruchomego, odsypiska, wyspy i mielizny. Jak to łatwo zrozumieć złoża takie tworzą się tam, gdzie łóżysko jest nadmiernie szerokie, gdzie zatem materiał doprowadzony przez rzekę w czasie stanów wysokich, gdy siła poruszająca wody jest znaczna, musi osiąść w czasie stanów niższych, przy zmniejszonej sile poruszającej. Temu niekorzystnemu działaniu staramy się przez regulację przeszkodzić, koncentrując łóżysko zapomocą budowli regulacyjnych, to znaczy zwiężając je według pewnego normalnego profilu poprzecznego rzeki, ustalonego dla każdej ze sekcji rzeki osobno¹⁾ i obliczonego według przyjętej normalnej objętości i spadku wyrównanego. Możemy zatem powiedzieć, że jako normalny stan regulacji obrać należy ten stan, przy którym nastąpi odpowiednie wykształcenie się łóżyska, tak w profilu podłużnym (wyrównanie dna), jak i w przekrojach poprzecznych (wykształcenie regularnych profilów poprzecznych). Jaki to będzie stan co do wysokości? Otóż mówimy o regulacji na stan wysoki, na stan średni, lub na stan niski, czyli na wielką, średnią, lub małą wodę. Na wielką wodę reguluje się tylko małe ścieki lub potoki, stwarzając profil ujmujący całą wielką wodę, zazwyczaj jednak reguluje się rzeki na stan średni, lub niski, ochraniając obszary przyrzeczne wałami, których jednak nie zaliczamy do właściwych budowli regulacyjnych.

Co do normalnego stanu regulacji jako tego, który wzięty za podstawę obliczenia normalnych profilów i normalnej szerokości regulacji zapewnić ma uporządkowane odprowadzenie materiału ruchomego, wyrażano różne zapatrywania, względnie czyniono różne przyjęcia. Według Lavale'a²⁾ na wyrobienie koryta mają przeważny wpływ stany wyższe trwające przez około pół roku (182 dni), a reprezentantem tych stanów,

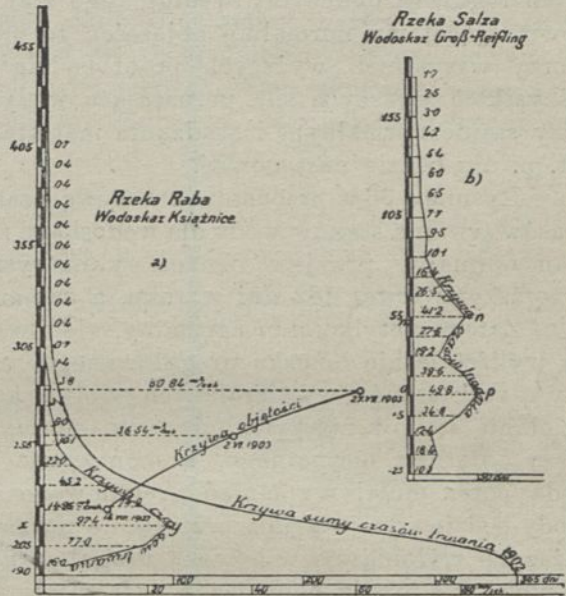
1) Przez sekcję rzeki rozumiemy tu przestrzeń między dwoma większymi dopływami, na której spadek możemy przyjąć jako jednostajny, a objętość przepływu mało się zmienia.

2) Unsere natürlichen Wasserläufe j. w.

który jako stan normalny należałoby uwzględnić, jest średni z tych stanów. Stan ten nazywa Lavale stanem hydrotechnicznym i przechodzi on przez środek ciężkości górnej połowy krzywej czasów trwania stanów wody¹⁾. Jest to zatem stan średni, ale wysoko położony, dla naszych rzek nie może mieć żadnego zastosowania, chyba dla rzek alpejskich, o silnych i długotrwałych stanach średnich.

W Niemczech i we Francji przeważną część rzek górskich regulowano na stan średni, pojmując go jako stan średni roczny, albo o ile chodziło o rzeki żeglowne jako stan średni z okresu żeglugi, (t. j. z okresu od 1 marca do 30 listopada), lub też jeszcze inaczej. Naprzykład dolną Wisłę w Prusach uregulowano na stan, który wraz z wyższymi trwa około 180 dni w okresie żeglugi. Jest to zatem stan niższy od średniej rocznej, należy jednak do stanów średnich.

Iszkowski zalecał dla naszych rzek przyjęcie tak zwanego stanu najdłużej trwającego jako stan normalny; jest to stan odpowiadający największej rzędnej krzywej czasów trwania stanów wody (na rys. 36 a rzędna x—y). Otóż na naszych rzekach nie jest to już stan średni roczny, lecz stan niżej położony, jednak takie określenie normalnego stanu regulacji nie jest właściwe. Pominąwszy już tę okoliczność, że nieraz zdarza się, iż krzywa czasów trwania stanów wody posiada dwie największe rzędne, jak to np. wskazuje rys. 36 b (rzędne m—n, oraz o—p) i wtedy nie wiadomo, który z obu stanów wybrać, to prócz tego stany najdłużej trwające przy szeregu wodoskazów nie zupełnie są ze sobą w zgodzie, gdyż objętości im odpowiadające nie wykazują nieraz zgodności. Dlatego znacznie racjonalniej określać normalny stan regulacji według ilości dni jaką stan



Rys. 36.

1) Krzywa, której pionowe odcięte stanowią stany wody, a poziome rzędne oznaczają czas trwania stanów wody.

ten wraz z wyższymi stanami trwa w ciągu roku, lub w ciągu okresu żeglugi pojętego hydrologicznie (tj. od 1 marca do 30 listopada), lub w ciągu pewnego okresu lat. Jeżeli np. powiemy, że jako normalny stan regulacji obieramy stan, który wraz ze stanami wyższymi trwa w ciągu roku przez 9 miesięcy, czyli 270 dni, to stan ten jest dla wszystkich wodoskazów ściśle określony i dla tych stanów otrzymany przy wszystkich wodoskazach objętości ze sobą zgodne. Dlaczego mówiąc o pewnym stanie jako normalnym łączymy go ze wszystkimi wyższymi? Otóż dlatego, ponieważ jeżeli normalny profil regulacji obliczymy według tego stanu normalnego i według odpowiadającej mu normalnej objętości, to nietylko przy tym stanie, ale i przy wszystkich wyższych profil będzie wypełniony, czyli że przy wszystkich wyższych siła poruszająca wody będzie jeszcze większa jak przy stanie normalnym i osadzanie materiału w formie odsypisk, wysp i t. p. nie będzie następować.

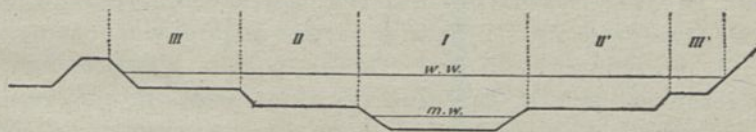
Rysunek 36 a przedstawia krzywą czasów trwania i krzywą sumy czasów trwania stanów wody dla wodoskazu na Rabie w Książnicach; jako stan normalny przyjęto oznaczony na rysunku stan 223, który wraz z wyższymi trwał 182 dni w roku, a zatem średnią roczną.

Zatem nietylko stan normalny, ale i wszystkie wyższe mają wpływ na wykształcenie łożyska uregulowanego, a stan normalny jest najniższy z tych stanów wywierających wpływ korzystny. Jakie będzie teraz działanie stanów niższych od stanu normalnego? Stany niższe, począwszy od stanu normalnego, a skończywszy na absolutnie najniższym, będą coraz mniej wypełniać uregulowane łożysko — siła poruszająca wody będzie mniejsza jak przy stanie normalnym, a zatem przy stanach niższych wyłonią się w łożysku uregulowanym ponad zwierciadło wody odsypiska, a profile poprzeczne będą miały formę mniej regularną.

Z tego przedstawienia rzeczy możnaby wysnuć fałszywy wniosek, że jako najodpowiedniejszy normalny stan regulacji należałoby wybrać stan najniższy, gdyż wtedy wszystkie stany działają korzystnie na wykształcenie łożyska. Tak jednak nie jest; stanu najniższego nie możemy brać za podstawę regulacji, gdyż profil poprzeczny łożyska obrachowany według tej najmniejszej objętości przepływu byłby bardzo wąski, rzeka przy wyższych stanach nie mogłaby się w nim utrzymać i rozrywałaby budowle ujmujące ten profil, lub też pogłębiałaby zbytńo skutkiem nadmiaru siły poruszającej, albo wreszcie zignorowałyby go, zasypując go materiałem ruchomym. Tak więc jako stan normalny nie przyjmuje się stanu najniższego, lecz jakiś stan wyższy, godząc się z konieczności z tem, że przy stanach niższych od normalnego nie będzie łożysko uregulowane dostatecznie wypełnione wodą.

Po tych wyjaśnieniach możemy przystąpić do podania pewnych wskázówek co do przyjęcia normalnego stanu regulacji, — powiadamy pewnych wskázówek, gdyż dokładnej reguły, niejako recepty podać niepodobna — do obrania go trzeba wiele doświadczenia; trzeba zdać sobie sprawę z wyników regulacji na innych podobnych rzekach, trzeba poznać dokładnie charakter rzeki, którą mamy regulować i dopiero na podstawie tych danych można zdecydować przyjęcie zasady co do stanu regulacji.

Zasadniczo rozróżnić trzeba regulację z uwagi na stan niski, średni lub wysoki, czyli na małą, średnią lub wielką wodę, która z nich i w jakim wypadku jest odpowiednia¹⁾? Otóż najczęściej regulacji przeprowadzono na średnią wodę; takie profile dano przeważnej części regulowanych rzek górskich, a także i rzekom w ich średnich i dolnych biegach. Co do rzek górskich alpejskich, czerpiących silne odpływy z lodowców i pól śniegowych w czasie ich topnienia, to dla nich stan średni letni



Rys. 37.

może być brany za podstawę regulacji, natomiast na rzekach karpackich trzeba wziąć za podstawę stany od średniego rocznego niższe. Co do rzek żeglownych to regulacja na średnią wodę nie dała w przeważnej liczbie wypadków rezultatu zupełnego i trzeba było później przeprowadzać w uregulowanym korycie regulację uzupełniającą, czyli regulację na małą wodę. Powstaje w ten sposób profil dwuczęściowy, a jeżeli dodamy jeszcze budowle chroniące od wielkiej wody, t. j. wały, to powstanie profil trzyczęściowy (rys. 37).

Takie jednak unormowanie stanu regulacji, o jakim tu była mowa, możliwe jest na rzekach większych, mających znaczniejsze normalne objętości wody; małe potoki, rzeczki górskie prowadzące przez przeważną część roku niewielkie ilości wody, a nawet wysychające prawie przy najniższych stanach, muszą być inaczej regulowane. Tu profilu małej wody właściwie nie potrzeba, potrzebny jest profil średniej wody, oraz ewentualnie wielkiej wody; wykonanie zbyt wąskiego profilu (ki-

¹⁾ Kreuter powiada: „Tam gdzie chodzi w pierwszej linii o odprowadzenie wielkiej wody i rumowiska, tam trzeba przedewszystkiem stworzyć korzystny profil wielkiej wody, gdzie na pierwszym punkcie stoją względy żeglugi, trzeba wziąć małą wodę z okresu letniego, gdzie głównie chodzi o ochronę brzegów, uwzględnia się w regule średnią wodę. Nie jest jednak rzeczą niemożliwą zadowolnić różne wymogi“.

nety) małej wody nie byłoby nieraz wskazanem, gdyż wobec wielkiego ruchu materiału kineta mogłaby być zasypana, lub też odwrotnie, wąski profil jako dla przepływu korzystny, wywołałby wielkie chyżości i wgłębienie dna, oraz podrywanie brzegów. Stąd też jakkolwiek w zasadzie normalne szerokości w miarę postępowania w górę rzeki maleją, jednak w miejscu gdzie rzeka staje się małą rzeczką górską, lub potokiem górskim, tam dalsze zmniejszanie szerokości profilu niema racji i przy obliczaniu potrzebnego profilu należy raczej uwzględnić silną średnią wodę, lub zwykłą wielką wodę, jak niewielkie odpływy przy stanach niskich.

Co do sposobu wyznaczania normalnego stanu regulacji zauważyć jeszcze trzeba, że wyznaczamy go zazwyczaj nie na podstawie obserwacji z jednego roku, lecz z szeregu lat, aby w ten sposób wyeliminować błędy wynikające ze zmienności odpływów w latach suchych i mokrych, względnie aby nasze dane odnosiły się do warunków normalnych (przeciętnych). Mówiąc np., że dla Wisły za podstawę regulacji bierzemy stan, który wraz z wyższymi trwa przez 210—215 dni w okresie żeglugi, oznaczamy ten stan jako średni powiedzmy z 5 lub 10, lub wogóle kilkuletniego albo też kilkunastoletniego okresu. Im dłuższy okres, tem łatwiej unikniemy błędów z powodu wahań odpływu w ciągu poszczególnych lat. Nie zawsze jednak można w ten sposób postępować. Na rzekach zmieniających położenie dna, wahania zwierciadła wynikają nietylko z powodu zmian w odpływie wody, ale także na stany wody wpływa położenie dna. Jeżeli naprzykład w pewnym czasie nastąpiło przy wodoskazie obniżenie lub podwyższenie dna (z powodu pogłębienia się łożyska skutkiem wymycia materiału, lub też namulenia), to stanów wody z okresu przed tą zmianą dna nie można brać za jednoznaczne ze stanami z okresu po tej zmianie, czyli nie można ich razem łączyć w celu oznaczenia stanu normalnego. Takie przypadki zachodzą przedewszystkiem w górnych biegach rzek, względnie na rzekach górskich, zwłaszcza nieuregulowanych, gdzie zmiany dna są częste i wydatne. W takich wypadkach najlepiej badać czasy trwania stanów wody na podstawie wykresów dla szeregu poszczególnych lat osobno zestawionych, a przeciętne wartości z okresu lat można brać tylko o tyle, o ile stany z tych lat są równoznaczne. Za stany równoznaczne uważa się stany z różnych lat o tym samym odczycie, o ile przy tych stanach przepływają równe objętości. Wynika z tego, że celem kontroli równoznaczności stanów, powinno się przy każdym wodoskazie wykonać corocznie przy niskim stanie pomiar objętości przepływu.

Jeżeli na podstawie określonych powyżej zasad oznaczymy normalny stan regulacji i normalną objętość, oraz obliczymy na podstawie tych dat

normalny profil, to musimy także jeszcze niejednokrotnie rozważyć warunki w jakich odbywa się przepływ wody w obliczonym profilu i przy innych stanach. Tak na przykład przy rzekach uregulowanych na średnią wodę zachodzi nieraz potrzeba regulacji na małą wodę, przez stworzenie osobnego, zwartego profilu dla stanów niskich. Oprócz zatem przepływu przy stanie średnim, będziemy rozważać warunki przepływu przy stanie średnim niskim i przy stanie absolutnie najniższym. W profilach ujmujących wielką wodę, będziemy natomiast rozważać warunki przepływu wody przy stanie absolutnie najwyższym, lub też przy t. zw. zwykłej wielkiej wodzie, trafiającej się częściej.

Normalna objętość wody. Jeżeli normalny stan regulacji dla każdego wodoskazu został oznaczony, to normalne objętości odczytamy na krzywych objętości (rys. 36 a). Celem wykreślenia tych krzywych przeprowadzamy na rzece w profilach położonych powyżej i poniżej każdego większego dopływu pomiary objętości i odnosimy je do najbliższych wodoskazów. W każdym z tych profilów wykonujemy kilka pomiarów hydrometrycznych przede wszystkim przy stanach niskich i średnich tak rozłożonych, aby objętość dla stanu normalnego można było drogą interpolacji z krzywych objętości otrzymać. Ważną jest rzeczą, aby pomiary hydrometryczne sięgały przynajmniej przy niektórych wodoskazach aż do stanu absolutnie najniższego, a taksamo o ile chodzić będzie o profile dla wielkiej wody, koniecznym jest oznaczenie choćby w kilku punktach odpływu przy stanach najwyższych.

Wyjątkowo tylko, o ile nie mamy dostatecznej liczby pomiarów objętości bezpośrednich, oznaczamy odpływy na podstawie obliczenia, a więc przez pomiar profilu i spadku, lub też na podstawie opadów i wielkości dorzecza, stosując odpowiednie wzory empiryczne. Te metody dają jednak tylko wyniki przybliżone, dlatego nie zastąpią one pomiarów objętości przez zdjęcie profilów poprzecznych i pomiar chyżości młynkiem hydrometrycznym.

O ile dno rzeki podlega zmianom, to naturalnie krzywa objętości jest ważna tylko tak długo, dopóki dno, a z niem i stany wody, nie doznały zmiany. Na rzekach takich (przede wszystkim rzeki górskie) z krzywej objętości można oznaczyć normalną objętość bez błędu, tylko dla stanu normalnego oznaczonego z linii sumy czasów trwania stanów wody, wziętych z okresu, w którym dno nie doznało poważniejszych zmian, to znaczy nie zostało ani wydatniej podniesione, ani obniżone.

Zanim przejdziemy do omówienia kształtu i sposobu oznaczania i obliczania normalnych profilów i normalnych szerokości regulacji, omówimy pokrótce metody rachunkowe jakimi się tu posługujemy.

4. Obliczanie przepływu wody w łożyskach rzecznych.

W braku ścisłych prawideł ruchu wody posługujemy się przy obliczeniach przepływu wody w łożyskach rzecznych formułami empirycznymi, które wyrażają związek między czynnikami ruchu. Czynnikami tymi są:

- 1) średnia chyżość profilu przepływu v , równa ilorazowi z objętości przepływu Q i powierzchni przekroju P ; $v = \frac{Q}{P}$,
- 2) spadek jednostkowy zwierciadła wody i ,
- 3) średnia głębokość t_m , równa ilorazowi z powierzchni przekroju P , oraz szerokości zwierciadła wody L ; $t_m = \frac{P}{L}$.

W dawniejszych formułach wprowadzono zamiast średniej głębokości przekroju t_m promień hydrauliczny, czyli promień przekroju r , równy ilorazowi z powierzchni przekroju P i obwodu zwilżonego p , $r = \frac{P}{p}$, jednak ponieważ przekroje łożysk naturalnych są stosunkowo płaskie, o małym stosunku głębokości do szerokości, zatem promień przekroju niewiele się różni liczebnie od średniej głębokości i może być zupełnie dobrze zastąpiony przez średnią głębokość. W ten sposób upraszcza się rachunki, gdyż nie potrzebujemy oznaczać obwodu zwilżonego.

Formuły empiryczne podają nam zatem związek między v , i , oraz t_m , oznaczony na podstawie wyników pomiarów hydrometrycznych.

Formuły te pod względem matematycznym mają różne kształty, które wynikły z dążności ich autorów do nagięcia kształtu funkcji do wyników empirycznych.

Wartość praktyczna formuły zależy od rozległości i ścisłości praktycznej materiału doświadczalnego użytego do jej ustawienia, a dalej od zgodności jej kształtu z zasadniczymi objawami ruchu wody. Nadto żądamy aby kształt formuły był prosty, dogodny do obliczeń. Formuł takich mamy cały szereg — przy obliczeniach będziemy jednak stosować tylko tę formułę, która daje nam największe prawdopodobieństwo uzyskania dobrych wyników, nie zaś średni wynik z wielu formuł.

Między hydrotechnikami którzy zajmowali się ustawianiem formuł empirycznych dla łożysk rzecznych, należy rozróżnić 2 grupy. Do grupy mniej licznej należą ci, którzy dążyli do ustawienia formuł przeznaczonych specjalnie tylko dla pewnej rzeki, a właściwie nawet dla pewnej partji rzeki, która na całej swej przestrzeni posiada tensam charakter. Wychodzili oni z założenia, że na właściwości ruchu wody w rzece wpływają jej przyrodzone warunki, a więc spadek zwierciadła,

rodzaj materiału dna i brzegów, rodzaj i wielkość materiału poruszanego przez wodę, ukształtowanie przekrojów poprzecznych; sądzili zatem, że formuła ustawiona na podstawie wyników pomiarów hydrometrycznych wykonanych w partji rzeki o jednolitym charakterze, może być lepszą od formuły ustawionej na podstawie pomiarów wykonanych na różnych rzekach, w partjach rzek o różnym charakterze¹⁾.

Druga grupa autorów dążyła do ustawienia formuł uniwersalnych, któreby mogły być stosowane dla wszystkich rzek i ci zużytkowywali pomiary hydrometryczne w bardzo znacznej ilości, jednak wykonane na różnych rzekach.

Otóż stwierdzić trzeba, że formuły tej drugiej grupy w ostatnich czasach więcej mają znaczenia i zasada ustawiania formuł uniwersalnych więcej ma między hydrotechnikami zwolenników. Powodem tego jest ta okoliczność, że do ustawienia formuł empirycznych trzeba mieć do dyspozycji bardzo znaczną liczbę pomiarów, jakiej zazwyczaj dla pojedynczych partji rzek o tym samym charakterze nie mamy — natomiast zbierając pomiary na różnych rzekach wykonane, rozporządzamy ich znaczną liczbą. Pomiary hydrometryczne wykonuje się przeważnie w celu oznaczenia objętości przepływu i oznaczenia dla każdego wodoskazu krzywej związku stanu wody i objętości przepływu, ubocznie tylko obserwuje się spadek zwierciadła, dlatego tylko część z wykonanych pomiarów hydrometrycznych nadaje się do ustawiania empirycznych związków między v , i , oraz tm . Mając wielką liczbę pomiarów możemy wybrać tylko najpewniejsze i najlepiej odpowiadające warunkom zadania, liczba ich będzie jeszcze wystarczającą do szukania empirycznego związku elementów ruchu, a rezultat pewniejszy jak przy małej liczbie pomiarów.

Wreszcie zasada pierwszej grupy autorów, że opierając się tylko na pomiarach wykonanych na partji rzeki o tym samym charakterze uzyskamy związek czynników ruchu zgodny z charakterem ruchu wody w danej partji rzeki niezupełnie jest zgodna z rzeczywistością, gdyż charakter rzeki lub jej partji nie decyduje jeszcze w większej mierze o właściwościach ruchu i raczej można powiedzieć, że właściwości ruchu wody zmieniają się od profilu do profilu. Z tego co w ustępie 2 rozdziału II powiedziano wynika, że spadki zwierciadła w tejsamej partji rzeki w profilach po sobie następujących są zmienne, oraz że w łożyskach naturalnych mamy do czynienia przeważnie z ruchem zmiennym. Następstwem tego jest, że i średnie chyżości w przekrojach po sobie następujących będą się bardzo różnić od siebie, a co dalej idzie, że i materiał złożony na dnie i brzegach łożyska w różnych profilach jest różny. Na partji rzeki górskiej w spadku przeciętnym powiedzmy $i = 0,003$

¹⁾ Tak postępuje n. p. biuro hydrometryczne w Berlinie.

będziemy mieć miejsca, gdzie lokalny spadek będzie raz znacznie mniejszy, raz znowu znacznie większy od przeciętnego, a także grubość materiału w poszczególnych profilach będzie różna. Spadkowi przeciętnemu $i = 0,003$ odpowiada jako materiał rzeczny gruby żwir, w łożysku jednak znajdziemy również profile o małym lokalnym spadku, gdzie nie będzie grubego żwiru, lecz drobny żwir lub piasek, a nawet namul. A więc i szorstkość łożyska wpływająca na formę naszych związków empirycznych w partji rzeki o tym samym charakterze będzie w różnych miejscach łożyska różna. Dlatego racjonalniej jest oprzeć się na wielkiej liczbie pomiarów wykonanych na różnych rzekach, starając się jednak równocześnie o to, aby z nich wybrać tylko najodpowiedniejsze, najlepiej odpowiadające ogólnym właściwościom rzek¹⁾. O racjonalnej klasyfikacji pomiarów hydrometrycznych powiemy w dalszym ciągu, tu trzeba jeszcze zauważyć, że liczne formuły ogólne dla wszystkich rzek trzeba znowu podzielić na 2 grupy.

Do pierwszej należeć będą formuły dawniejsze, które właściwości przyrodzone danej rzeki (a według tego cośmy powyżej powiedzieli, raczej profilów, w których zostały pomiary wykonane) uwzględniają przez wprowadzenie do formuły t. zw. współczynnika szorstkości, mającego być charakterystyką oporów ruchu. Te opory zależą w wielkiej mierze od większej lub mniejszej szorstkości zwilżonego łożyska rzeki, ta znowu jest zależną od grubości materiału jaki rzeka toczy. Współczynniki szorstkości będą większe dla profilów o materiale rzeczonym grubym, mniejsze gdy materiał dna jest drobny. Dalej zauważyć trzeba, że autorzy tych formuł dawniejszych nie rozporządzali tak obfitym materiałem hydrometrycznym, jak autorzy formuł nowszych.

Drugą grupę stanowią formuły nie zawierające żadnych dowolnych czynników. Autorzy tych formuł oparli się na zasadzie wypowiedzianej jeszcze w r. 1883 przez Lavale'a²⁾, że szorstkość łożyska odpowiada grubości materiału rzeczego, ta zaś jest bezpośrednio zależna od spadku. Wobec tego wpływ szorstkości łożyska może być zupełnie dostatecznie wyrażony w funkcji spadku i nie ma potrzeby używania obieralnych, dowolnych zatem współczynników szorstkości. Lavale był autorem pierwszej takiej formuły, która jednak z innych względów nie była racjonalna i nie utrzymała się w praktyce. Nowsze formuły ustawione z zachowaniem powyższej zasady są racjonalniejsze, choć wiele z nich nie daje mimo to dobrych rezultatów praktycznych. Aby uzyskać na podstawie pomiarów hydrometrycznych dobrą formułę empiryczną trzeba

¹⁾ Formuły specjalne dla pewnych przestrzeni rzek oddają dobre usługi także i przy niezbyt wielkiej liczbie pomiarów, o ile pomiary te wykonano ściśle i w niezbyt szerokich granicach stanów wody.

²⁾ Unsere natürlichen Wasserläufe, j. w.

z pomiarów tych wybrać najodpowiedniejsze według następujących zasad¹⁾.

1. Z uwagi, że formuły empiryczne ustawiane są z założeniem ruchu jednostajnego, należy przy ich obliczaniu uwzględniać tylko takie pomiary, przy których zaniwelowany lokalny spadek przedstawia się jako linja prosta, a profil poprzeczny choć na krótkiej partji się nie zmienia. Wtedy bowiem i średnia chyżość profilu w okolicy profilu pomiarowego jest stała, a zatem ruch wody w przybliżeniu jednostajny.

2. Szorstkość łożyska zależy od materiału dna rzeki, ten zaś nie tylko od spadku lokalnego, ale także i od przeciętnego (wyrównanego) danej przestrzeni, należy zatem tylko takie pomiary uwzględniać, przy których spadek lokalny w danym profilu zgadza się choć w przybliżeniu z wyrównanym spadkiem danej przestrzeni.

Tyle o ogólnych zasadach jakie zachowywać należy przy ustawianiu empirycznych związków; w dalszym ciągu z licznych formuł empirycznych poznamy tylko te, które więcej lub mniej są w praktyce stosowane²⁾.

1. Formuła Ganguillet-Kuttera

Oparta jest na starym wzorze de Chèzy i Brahmsa

$$V = K \sqrt{i t_m} \dots \dots a)$$

$$\text{przyczem } K = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{i}) \frac{n}{\sqrt{t_m}}} \dots \dots b)$$

Wzór ten uprościł prof. Frank podając K w formie

$$K = \frac{(23n + 1) \sqrt{t_m}}{(23n + \sqrt{t_m}) n} \dots \dots c)$$

¹⁾ Dr. M. Matakiewicz. Próby ustawienia wzorów empirycznych na przepływ wody w korytach naturalnych (Czasopismo techniczne lwowskie 1906).

Dr. M. Matakiewicz. Versuch der Aufstellung einer Geschwindigkeitsformel für natürliche Flussbetten (Wochenschrift für den öff. Baudienst, Wiedeń 1905).

²⁾ Zestawienia formuł podają:

J. Rychter „Pomiary wodne, rowy i kanały“, Lwów 1894.

O. Nadolski „Zakłady o sile wodnej“, Lwów 1910.

R. Weyrauch „Hydraulisches Rechnen“, Stuttgart IV i V wydanie 1921.

Förster „Taschenbuch für Bauingenieure“, Lipsk.

Bubendey „Hydraulik“ 1912. Handbuch der Ingenieurwissenschaften 1912.

Krytykę nowszych formuł podają:

Gravelius, Ztsch. f. Gewässerkunde, Drezno.

Engels Zentralblatt d. Bauverwaltung, Berlin 1910 i 1911.

Obliczamy zatem ze wzoru b) lub c), K , następnie zaś ze wzoru a) v . Współczynnik n zmienia się według stopnia szorstkości łożyska; autorzy podali wartości następujące:

dla rzek o materiale drobnym, stosunkowo czystych,	$n = 0.025$
„ koryt dzikich ścieków	$= 0.028$
„ rzek miejscami z drobnym rumowiskiem lub roślinością	$= 0.030$
„ rzek z grubym żwirem i rumowiskiem	$= 0.035$.

Prócz tego autorzy podali osobne tabele pomocnicze, jednak tak z powyższych wartości, jak i z wspomnianych tabel trudno obrać należyta wartość n i często popełnia się tu błędy. Sądzę jednak, że n powinno zależeć przede wszystkim od spadku i to od spadku lokalnego w profilu, a nie od spadku wyrównanego (przeciętnego), gdyż szorstkość zależy od materiału dna, a materiał jest w związku ze spadkiem. Według moich spostrzeżeń należy przyjmować:

przy spadku $i = 0.00025$	$n = 0.024$
$= 0.00050$	$= 0.025$
$= 0.0010$	$= 0.026$
$= 0.0015$	$= 0.027$
$= 0.0020$	$= 0.028$
$= 0.0030$	$= 0.030$
$= 0.0040$	$= 0.032$
$= 0.0050$	$= 0.0335$
$= 0.0060$	$= 0.035$.

Przy spadkach pośrednich należy n oznaczyć przez interpolację, alboważ można zachować n z formuły ustawionej przez autora ¹⁾

$$n = 0,0235 + 0,0019 i \text{ } /_{00}$$

Formuła Ganguillet-Kuttera bardzo używana dawniej, wychodzi pomału z użycia, gdyż obecnie rugują ją inne; w Szwajcarii cieszy się jeszcze wielkim zaufaniem.

2. Formuła Bazina ²⁾.

Używaną jest przeważnie we Francji, należy również do formuł dawniejszych, gdyż posiada współczynnik obieralny γ .

$$V = K \sqrt{t_m i}; \quad K = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{t_m}}}$$

¹⁾ M. Matakiewicz „Badania nad związkiem między chyżością średnią i powierzchniową w łożyskach rzecznych“. Lwów 1918. (Czasopismo techniczne lwowskie i osobna odbitka).

²⁾ „Annales des ponts et chaussées“, 1897.

Współczynnik szorstkości γ otrzymuje następujące wartości:

1. Dla rzek średnio regularnych i czystych 1.30
2. „ „ w żwirze, ryniakach . . . do 1.75.

Wartości γ są zatem zawarte w szerokich granicach i można wzoru tego chyba tylko w tych wypadkach używać, jeżeli na podstawie bezpośrednich pomiarów wyrobiliśmy sobie pojęcie o wartości tego współczynnika.

Z nowszych formuł wspomnieć trzeba o formule Siedeka¹⁾. Była ona pierwszą formułą nowego typu, opartą na bardzo bogatym materiale hydrometrycznym. Nie zawiera już żadnego dowolnego współczynnika i promień przekroju zastąpiony jest przez średnią głębokość. Była ona bardzo używaną w Austrii i w Niemczech w pierwszych latach po jej opublikowaniu, obecnie zastąpiły ją inne nowsze formuły.

Wadą jej jest zawiły kształt, brak ciągłości funkcji, a dalej przede wszystkim to, że przy mniejszych głębokościach daje wartości nieodpowiednie. Może być używana chyba do obliczenia przepływu rzek o znacznych szerokościach i głębokościach. Formułę tę podają wszystkie niemieckie podręczniki, z powodu jednak podanych wad nie zamieszczamy jej na tem miejscu, tembardziej, że podana poniżej formuła Lindhaego może być uważana za przekształconą formułę Siedeka i to przekształconą na korzyść.

3. Formuła Hermanka²⁾.

Hermanek ustawił w r. 1905 osobną formułę na średnią chyżość wody. Jest ona co do kształtu bardzo prosta i dogodna do rachunku; wyniki daje praktycznie dobre.

Hermanek oparł się na wzorze de Chèzy i Brahmisa

$$v = K \sqrt{t_m i}$$

i wyznaczył na podstawie licznych pomiarów hydrometrycznych zależność K od t_m w formie:

$$\begin{array}{ll} \text{dla } t_m < 1.5 \text{ m} & \dots \dots \dots K = 30.7 \sqrt{t_m} \\ \text{„ } t_m = 1.5 - 6 \text{ m} & \dots \dots \dots K = 34 \sqrt[4]{t_m} \\ \text{„ } t_m > 6 \text{ m} & \dots \dots \dots K = 50.2 + \frac{t}{2} \end{array}$$

Formułę tę krytykował w „Zeitschrift für Gewässerkunde“ (1906) Gravelius, jednak krytyka ta oparta na błędnych danych jest niesłuszna.

¹⁾ Studie über eine neue Formel zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen und Strömen. (Wiedeń 1901 i 1903. Ztsch. d. oester. Ing. u. Arch. Vereins).

²⁾ Die mittlere Profilgeschwindigkeit in natürlichen und künstlichen Gerinnen. Wiedeń 1905. Ztsch. d. oester. Ing. u. Arch. Vereins)

4. Formuła autora (dawniejsza).

W roku 1905 podałem¹⁾ następujący kształt formuły:

$$V = 34 i^m t_m^n$$

Wykładnik m zależny jest od spadku i i wynosi:

$$\begin{aligned} \text{dla } i &= \text{do } 2 \text{ ‰} \dots \dots \dots 0.50 \\ &= \text{ „ } 2.5 \text{ ‰} \dots \dots \dots 0.51 \\ &= \text{ „ } 3.5 \text{ ‰} \dots \dots \dots 0.52 \\ &= \text{ „ } 4.5 \text{ ‰} \dots \dots \dots 0.53; \end{aligned}$$

natomiast wykładnik n otrzymuje wartości:

$$\begin{aligned} \text{dla } t_m < 1 \text{ m} \dots \dots \dots (1-t_m) \\ \text{ „ } t_m > 1 \text{ m} \dots \dots \dots 0.75 \end{aligned}$$

Wzór ten w granicach dla $t_m > 1.5 \text{ m}$ i dla $i < 2 \text{ ‰}$ zgadza się z wzorem Hermanka uzyskanym na drodze odmiennej.

5. Formuła Lindboe'go²⁾.

Lindboe przekształcił formułę Siedeka i podał ją w następującej formie:

	$i < 0,0006$	
	$\frac{t}{L} < 0,28$	$0,028 < \frac{t}{L} < 0,1$
$t < 1,12 \text{ m}$	$23,37 \left(0,822 - \frac{t}{L} \right) t^{0,9} i^{0,42}$	$8,19 \left(2,293 - \frac{t}{L} \right) t^{0,9} i^{0,42}$
$1,12 < t < 3,65 \text{ m}$	$24,11 \left(0,822 - \frac{t}{L} \right) t^{0,63} i^{0,42}$	$8,45 \left(2,293 - \frac{t}{L} \right) t^{0,63} i^{0,42}$
$t > 3,65 \text{ m}$	$27,45 \left(0,822 - \frac{t}{L} \right) t^{0,53} i^{0,42}$	$9,62 \left(2,293 - \frac{t}{L} \right) t^{0,53} i^{0,42}$

¹⁾ Próby ustawienia wzorów empirycznych j. w.

²⁾ Ztsch. für Gewässerkunde, Drezno 1910.

	0,0006 < i < 0,005	
	$\frac{t}{L} < 0,028$	$0,028 < \frac{t}{L} < 0,1$
$t < 1,12$ m	$33,86 \left(0,822 - \frac{t}{L}\right) t^{0,9} i^{0,47}$	$11,86 \left(2,293 - \frac{t}{L}\right) t^{0,9} i^{0,47}$
$1,12 < t < 3,65$ m	$34,94 \left(0,822 - \frac{t}{L}\right) t^{0,63} i^{0,47}$	$12,24 \left(2,293 - \frac{t}{L}\right) t^{0,63} i^{0,47}$
$t < 3,65$ m	$39,77 \left(0,822 - \frac{t}{L}\right) t^{0,53} i^{0,47}$	$13,94 \left(2,293 - \frac{t}{L}\right) t^{0,53} i^{0,47}$

Granice w obrębie których formuła ta może być używana są:

najmniejsza szerokość zwierciadła profilu $L = 10$ m

największy spadek $i = 0,005$

największy stosunek $\frac{t}{L}$ $= 0,1$

$t = t_m$ oznacza średnią głębokość.

6. Formuła autora (nowsza)¹⁾

Na podstawie dalszych badań podałem w r. 1910 ostateczną formę mego wzoru, który podaje średnią chyżość profilu dla wszystkich przypadków (bez względu na granice i oraz t_m).

$$V = \frac{116 i^{0,493+10} t_m}{2,2 + t_m^{\frac{2}{3}} + \frac{0,15}{t_m^2}}$$

Wykładnik spadku jest tu zależny od spadku, wykładnik głębokości od głębokości; do celów praktycznych wystarczy obrachować wykładniki te w 3 miejscach dziesiętnych.

Średnia chyżość profilu jest tu przedstawiona jako funkcja ciągła zmiennych i oraz t_m , dlatego celem uproszczenia obliczeń można było zestawić tabelę cyfrową, z której dla danego i tudzież t_m otrzymuje się wprost v . Dla pośrednich wartości i oraz t_m należy przeprowadzić interpolację w obu kierunkach.

¹⁾ M. Matakiewicz: Nowsze badania empiryczne nad związkiem elementów ruchu w łożyskach przyrodzonych. (Czasopismo techniczne lwowskie 1910).

M. Matakiewicz: Empirische Untersuchungen über den Zusammenhang der Bewegungselemente bei natürlichen Flussbetten (Ztsch. für Gewässerkunde, Drezno 1910. Bd. 10 H. 2).

Tabela cyfrowa średnich chyżości v.

Średnia głębokość w metrach	Spadek pro mille																									
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	10
0,1	0,028	0,040	0,056	0,080	0,095	0,108	0,120	0,129	0,139	0,148	0,155	0,163	0,179	0,194	0,217	0,236	0,252	0,266	0,278	0,288	0,297	0,311	0,323	0,331	0,338	0,343
0,2	0,056	0,079	0,111	0,159	0,189	0,215	0,239	0,258	0,278	0,295	0,309	0,325	0,356	0,386	0,433	0,471	0,503	0,530	0,554	0,573	0,591	0,620	0,643	0,661	0,674	0,684
0,3	0,082	0,115	0,161	0,230	0,275	0,312	0,346	0,374	0,403	0,428	0,449	0,472	0,517	0,560	0,628	0,682	0,730	0,769	0,803	0,831	0,857	0,900	0,932	0,958	0,978	0,992
0,4	0,101	0,141	0,198	0,283	0,338	0,385	0,426	0,461	0,497	0,527	0,554	0,581	0,636	0,690	0,774	0,841	0,899	0,947	0,989	1,024	1,057	1,108	1,149	1,180	1,204	1,223
0,5	0,119	0,167	0,234	0,334	0,399	0,454	0,503	0,544	0,586	0,622	0,653	0,685	0,751	0,814	0,913	0,991	1,060	1,117	1,167	1,208	1,246	1,307	1,355	1,392	1,420	1,442
0,6	0,136	0,190	0,266	0,381	0,455	0,517	0,573	0,620	0,668	0,709	0,744	0,781	0,856	0,927	1,040	1,130	1,209	1,273	1,330	1,376	1,420	1,490	1,544	1,586	1,619	1,644
0,7	0,151	0,211	0,295	0,422	0,504	0,574	0,635	0,687	0,741	0,786	0,825	0,867	0,949	1,029	1,154	1,253	1,341	1,412	1,475	1,527	1,575	1,653	1,713	1,760	1,796	1,823
0,8	0,166	0,232	0,325	0,465	0,555	0,631	0,699	0,756	0,815	0,865	0,909	0,954	1,045	1,132	1,270	1,380	1,476	1,555	1,624	1,681	1,734	1,819	1,885	1,937	1,977	2,007
0,9	0,180	0,252	0,353	0,505	0,603	0,686	0,760	0,822	0,866	0,940	0,987	1,036	1,135	1,230	1,380	1,499	1,603	1,689	1,763	1,825	1,883	1,976	2,048	2,104	2,147	2,180
1,0	0,195	0,273	0,383	0,547	0,653	0,743	0,823	0,890	0,959	1,018	1,069	1,122	1,229	1,332	1,495	1,623	1,737	1,829	1,910	1,977	2,040	2,141	2,218	2,279	2,326	2,361
1,25	0,231	0,324	0,454	0,649	0,775	0,882	0,977	1,056	1,138	1,208	1,269	1,332	1,459	1,581	1,773	1,927	2,061	2,171	2,267	2,347	2,421	2,540	2,632	2,705	2,760	2,802
1,50	0,264	0,369	0,517	0,739	0,883	1,004	1,112	1,203	1,297	1,376	1,445	1,517	1,661	1,801	2,020	2,195	2,347	2,473	2,582	2,673	2,768	2,894	2,999	3,081	3,144	3,192
1,75	0,296	0,413	0,580	0,828	0,990	1,126	1,250	1,349	1,454	1,542	1,620	1,700	1,862	2,019	2,264	2,460	2,631	2,771	2,894	2,996	3,091	3,243	3,361	3,453	3,524	3,577
2,0	0,326	0,456	0,639	0,913	1,091	1,241	1,374	1,486	1,602	1,700	1,785	1,874	2,052	2,225	2,496	2,711	2,900	3,054	3,189	3,302	3,407	3,574	3,704	3,806	3,884	3,943
2,50	0,383	0,536	0,751	1,074	1,283	1,459	1,616	1,748	1,884	1,999	2,099	2,193	2,413	2,616	2,934	3,188	3,410	3,592	3,751	3,883	4,006	4,203	4,356	4,475	4,567	4,636
3,0	0,433	0,606	0,850	1,214	1,451	1,650	1,827	1,976	2,130	2,260	2,374	2,492	2,729	2,959	3,319	3,605	3,856	4,062	4,242	4,391	4,530	4,753	4,926	5,061	5,165	5,243
3,5	0,480	0,672	0,942	1,347	1,610	1,830	2,026	2,192	2,362	2,507	2,633	2,764	3,027	3,281	3,680	3,998	4,276	4,505	4,704	4,869	5,024	5,271	5,463	5,612	5,728	5,814
4,0	0,525	0,734	1,030	1,471	1,758	1,999	2,214	2,395	2,581	2,739	2,877	3,020	3,307	3,585	4,021	4,368	4,672	4,921	5,139	5,320	5,489	5,759	5,968	6,132	6,258	6,353
4,5	0,567	0,794	1,113	1,590	1,900	2,161	2,393	2,588	2,790	2,961	3,109	3,264	3,574	3,875	4,346	4,721	5,050	5,320	5,555	5,751	5,933	6,225	6,451	6,628	6,764	6,867
5,0	0,605	0,846	1,186	1,695	2,026	2,304	2,551	2,760	2,975	3,156	3,315	3,480	3,811	4,131	4,634	5,034	5,384	5,671	5,923	6,131	6,326	6,636	6,878	7,066	7,212	7,321
5,5	0,641	0,898	1,258	1,799	2,149	2,443	2,706	2,927	3,154	3,347	3,515	3,691	4,041	4,381	4,914	5,338	5,710	6,015	6,281	6,502	6,709	7,038	7,294	7,494	7,648	7,764
6,0	0,677	0,947	1,328	1,898	2,263	2,579	2,856	3,089	3,330	3,534	3,711	3,896	4,266	4,625	5,187	5,635	6,027	6,349	6,630	6,864	7,082	7,430	7,670	7,911	8,073	8,195
7,0	0,743	1,039	1,458	2,083	2,489	2,830	3,134	3,390	3,654	3,877	4,072	4,275	4,681	5,075	5,692	6,183	6,614	6,967	7,276	7,531	7,771	8,152	8,449	8,680	8,859	8,993

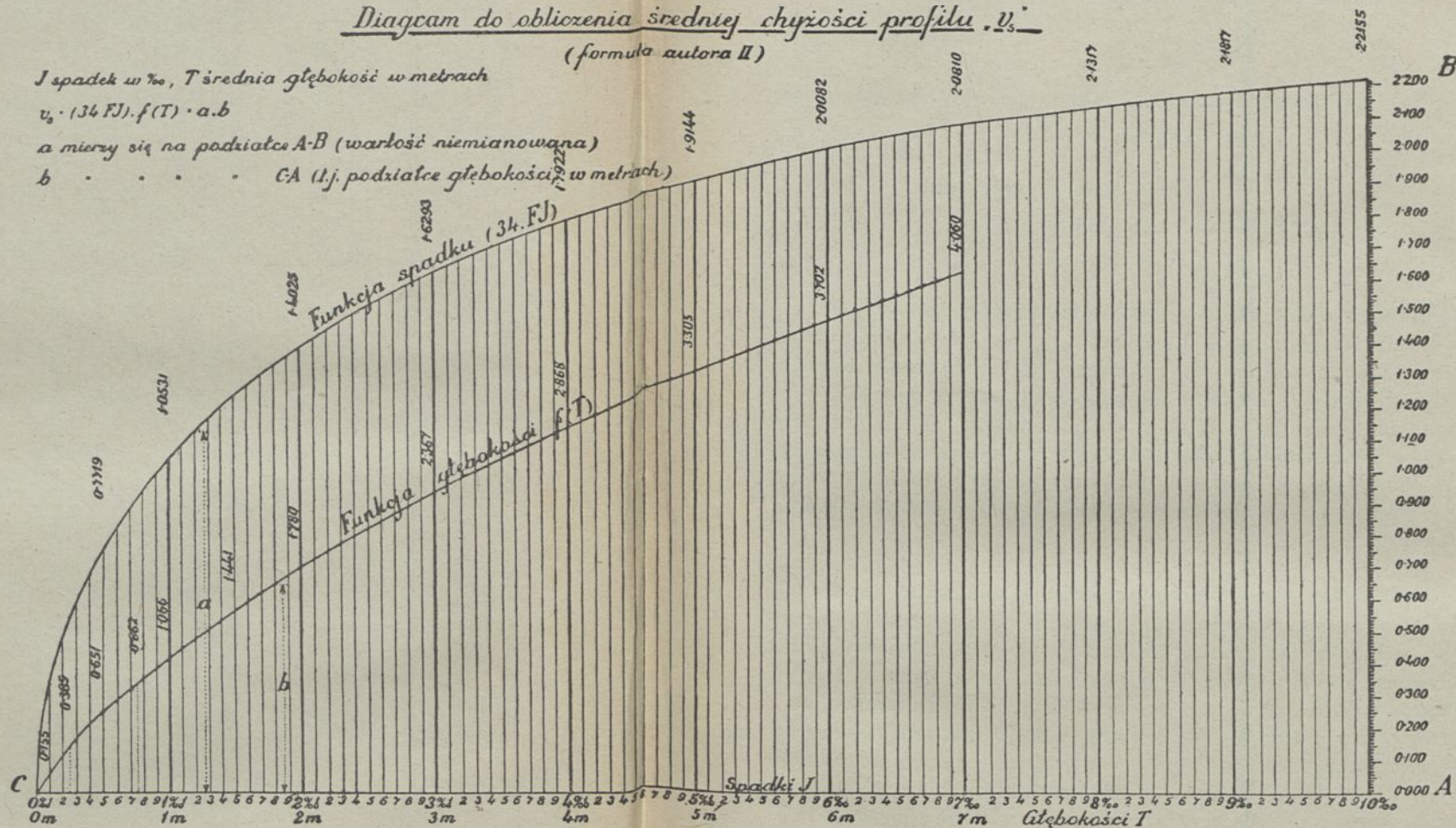
Diagram do obliczenia średniej chyżości profilu v_s
(formuła autora II)

J spadek w ‰, T średnia głębokość w metrach

$$v_s = (34 FJ) \cdot f(T) \cdot a \cdot b$$

a mierzy się na podziatce A-B (wartość niemianowana)

b CA (t.j. podziatce głębokości T w metrach)



Rys. 88.

Prócz tego można oznaczyć v z tabeli wykresłej przedstawionej na rysunku 38, a zestawionej w sposób następujący:

Wyrażenie na średnią chyżość profilu

$$v = \frac{116 i^{0.493+10 i}}{2.2 + t_m^{\frac{2}{3}} + \frac{0.15}{t_m^2}} t_m$$

jest iloczynem funkcji spadku i funkcji głębokości

$$v = (F i) \cdot (f t_m).$$

$$\text{przyczem } \begin{cases} (F i) = 34 i^{0.493+10 i} \\ (f t_m) = \frac{3.41}{2.2+t_m^{\frac{2}{3}}+\frac{0.15}{t_m^2}} t_m \end{cases}$$

Można zatem wykreślić osobno funkcję (Fi) , oraz funkcję (ft_m) i dla danych wartości i oraz t_m oznaczyć z wykresu wartości obu funkcji, a przez pomnożenie ich otrzymuje się średnią chyżość profilu.

Przytem trzeba pamiętać, że wartość funkcji spadku jest liczbą niemianowaną i mierzy się na podziałce pionowej na końcu wykresu umieszczonej, natomiast wartość funkcji głębokości ma wymiar długości (metry) i mierzy się na tejsamej podziałce co głębokość (podziałka pozioma); chyżość otrzymujemy w metrach na sekundę¹.

Przy zadaniach z zakresu regulacji rzek, jak naprzykład przy obliczaniu normalnych przekrojów odpływu, musimy się bezwarunkowo oprzeć na objętościach oznaczonych z bezpośrednich pomiarów hydrometrycznych i to z tz. pomiarów zupełnych, przy których pomierzono przekrój i oznaczono chyżości przepływu w całym przekroju zapomocą młynka hydrometrycznego. Nadto mierzy się objętości przepływu przy kilku stanach wody, aby oznaczyć dla każdego wodoskazu krzywą objętości, tj. krzywą wyrażającą związek między stanami wody a objętościami.

Oznaczenie objętości na podstawie zdjętego profilu przepływu oraz spadku zwierciadła wody, lub też na podstawie wielkości dorzecza i warstwy opadów, jest dla celów regulacji niestosowne i niewystarczające, chyba że chodzi o profile odpływu wielkiej wody, dla których zwykle brak bezpośrednich pomiarów objętości największego odpływu.

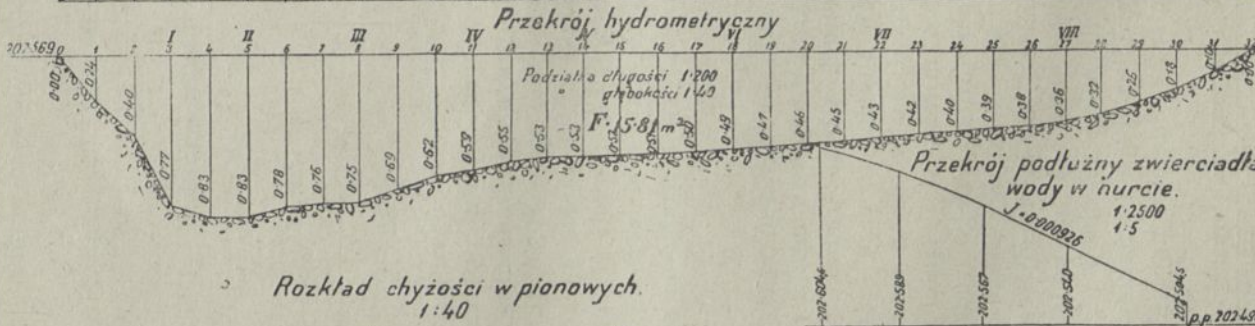
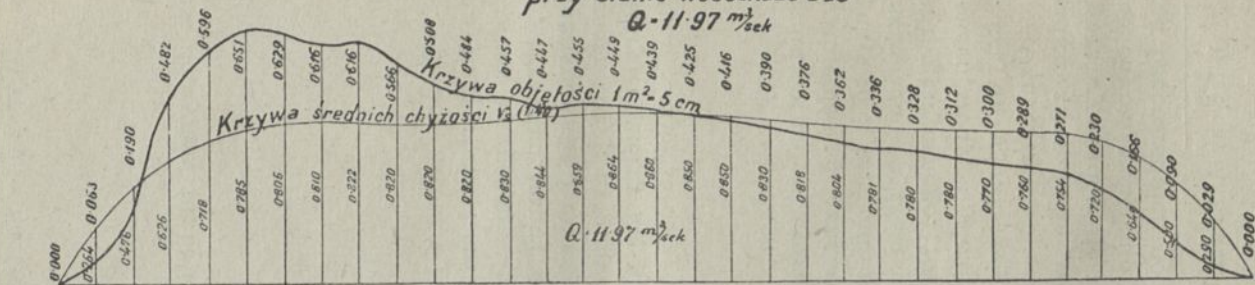
¹) Inżynier A. Zatwarnicki na podstawie starannego badania ustawił formułę

$$v = \sqrt{0,550 i^2 + 0,073 t_m^2 + 2,198 i t_m + 0,206 i - 0,031 t - 0,004} -$$

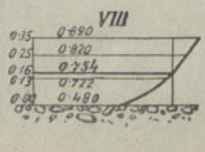
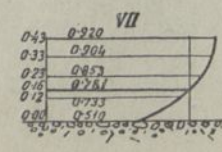
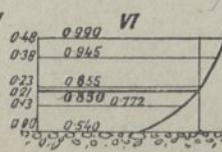
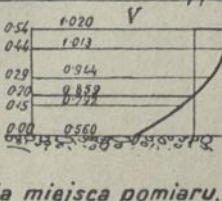
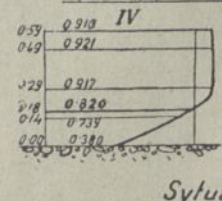
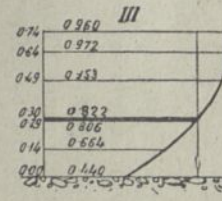
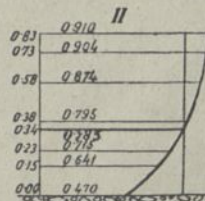
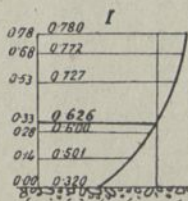
— (0,655 i + 0,005 t + 0,115) przyczem i wstawia się w promillach. Formuła jest zawiła, jednak można sobie raz na zawsze sporządzić tablicę wykresłą.

Pomiar hydrometryczny na Rabie w Książnicach 14. VIII. 1902r.
przy stanie wodostoku 223

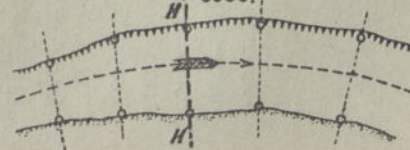
$Q = 11.97 \text{ m}^3/\text{sek}$



Rozkład chyżości w pionowych.
1:40



Sytuacja miejsca pomiaru.
1:3000.



Wogóle zatem, w zadaniach z zakresu regulacji rzek używać będziemy formuł empirycznych przeważnie tylko do obrachowania normalnych przekrojów na podstawie znanej objętości i spadku, a nie do oznaczania objętości.

Celem przedstawienia sposobu rachowania przepływu na podstawie podanych formuł empirycznych podajemy 2 przykłady.

1) Na rys. 39-ym przedstawiono wyniki pomiaru hydrometrycznego na rzece Rabie pod Książnicami (14/VIII 1903). Wyniki te są:

$Q = 11.95 \text{ m}^3/\text{sek}$, $P = 15.8 \text{ m}^2$, $v_m = 0.76 \text{ m}$, $i = 0.00093$, $L = 32.0$, $t_m = 0.49 \text{ m}$. Jakie wyniki na v_m otrzyma się ze wszystkich 6 podanych formuł?

1. Według Ganguilleta i Kuttera; przyjmiemy $n = 0.026$:

$$k = \frac{23 + 38.46 + 1.67}{1 + (23 + 1.67) 0.037} = 33.00; \quad v = 33.00 \cdot 0.0305 \cdot 0.7 = \mathbf{0.70 \text{ m}}$$

2. Według Bazina; przyjmujemy $\gamma = 1.70$:

$$k = \frac{87}{1 + \frac{1.70}{\sqrt{0.49}}} = 35.80 \quad v = \mathbf{0.76 \text{ m}}$$

3. Według Hermanka:

$$k = 30.7 \sqrt{0.49} = 21.49 \quad v = \mathbf{0.46 \text{ m}}$$

4. Według autora (formuła dawniejsza):

$$v = 34 \cdot 0.00093^{1/2} \cdot 0.49^{1-0.49}$$

$$\log v = \log 34 + \frac{1}{2} \log 0.00093 + 0.51 \log 0.49$$

$$\log v = 0.86082 - 1 \quad v = \mathbf{0.73 \text{ m}}$$

5. Według Lindboe'go:

Ponieważ $\frac{t_m}{L} = \frac{0.49}{32} = 0.0153$, a zatem $<$ od 0.028

$$v = 33.86 \left(0.822 - \frac{t_m}{L} \right) t_m^{0.9} i^{0.47}$$

$$v = \mathbf{0.54 \text{ m}}$$

6. Według autora (formuła nowsza):

a) liczebnie z wzoru $v = \frac{116.0 \cdot 0.00093^{0.493 + 10.0 \cdot 0.00093}}{2.2 + 0.49^{\frac{3}{2} + \frac{0.15}{0.49^2}}} t_m$

$$v = \mathbf{0.66 \text{ m}}$$

b) z tabeli wykreślnej:

$$v = (F i) \cdot (f t_m)$$

$$(F i) = 1.02$$

$$(f t_m) = 0.64$$

$$v = 0.653 \text{ m}$$

c) z tabeli cyfrowej otrzymujemy:

$$\text{Dla } i = 0.9\text{‰}$$

$$\text{dla } i = 1\text{‰}$$

$$t_m = 0.4 \quad v = 0.555$$

$$v = 0.581$$

$$t_m = 0.5 \quad v = 0.653$$

$$v = 0.685$$

Interpolacja dla spadku 0.93‰ (można wykonać w pamięci) daje:

$$t_m = 0.4 \quad v = 0.56$$

$$t_m = 0.5 \quad v = 0.66$$

Interpolacja dla głębokości daje:

$$v = 0.65$$

Wyniki otrzymaliśmy dość zgodne, z wyjątkiem wyników z formuł Hermanka i Lindboe'go.

2) Obliczyć przekrój ograniczony parabolą 2° stopnia, który ma odprowadzać objętość $Q = 20 \text{ m}^3/\text{sek}$, przy spadku $i = 0.00175$; stosunek szerokości profilu w zwierciadle do maximalnej głębokości należy przyjąć

$$\frac{L}{t_{\max}} = 30; \text{ zastosować należy wzory 1-y i 6-y.}$$

1. Według Ganguillet - Kuttera:

$$Q = P \cdot v_m = L \cdot t_m \cdot k \sqrt{i t_m}$$

L szerokość zwierciadła

t_m średnia głębokość profilu

t_{\max} największa głębokość profilu parabolicznego, $t_{\max} = \frac{3}{2} t_m$.

$L = 30 t_{\max} = \frac{3}{2} \cdot 30 t_m = 45 t_m$; zatem

$$Q = 45 t_m^2 k \sqrt{i t_m} = 45 k t_m^{\frac{5}{2}} i^{\frac{1}{2}}; t_m = \left(\frac{Q}{45 k i^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{2}{5}}$$

$$\text{Według Franka } k = \frac{(23 n + 1) \sqrt{t_m}}{(23 n + \sqrt{t_m}) n}$$

n przyjmujemy 0.0275

zaś t_m wyznaczyć można przez próby.

Przyjmując na pierwszą próbę $t_m' = 0.64 \text{ m}$ otrzymujemy:

$k = 33.15$, $t_m'' = 0.634$; zatrzymujemy wartość $t_m'' = 0.63$, gdyż k obra-chowane według tej wartości wynosi 32.55

$$\text{a } t_m''' = \left(\frac{20}{45 \cdot 32.55 \cdot 0.00175^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{2}{5}} = 0.623$$

$$\begin{aligned} \text{Zatem } t_m &= 0.63 \text{ m} \\ t_{\max} &= 0.945 \text{ m} \\ L &= 30 t_{\max} = 30 \cdot 0.935 = 28.35 \text{ m.} \\ v &= \frac{Q}{P} = \frac{20}{28.35 \cdot 0.63} = 1.12 \text{ m} \end{aligned}$$

2) Według wzoru 6

Użyjemy tabeli wykresłej.

$$Q = P \cdot v$$

$$v = (f i) \cdot (F t_m) \text{ (iloczyn funkcji spadku i funkcji głębokości).}$$

Z tabeli wykresłej $(f i) = (f 0.00175) = 1.33$

$$v = 1.33 \cdot (F t_m)$$

$$Q = P \cdot (f i) \cdot (F t_m) = 1.33 P (F t_m) = 1.33 L t_m (F t_m)$$

$$Q = 1.33 \cdot \frac{3}{2} \cdot 30 t_m^2 (F t_m)$$

$$Q = 59.85 (F t_m) t_m^2$$

$$t_m = \sqrt{\frac{Q}{59.85 (F t_m)}} = \sqrt{\frac{0.3344}{(F t_m)}}$$

Równanie to rozwiążemy przez próby, biorąc z tabeli wykresłej dla różnych t_m odpowiednią wartość funkcji i obliczając z równania tego t_m .

Przyjmijmy $t_m' = 0.6$

$$(F t_m') = 0.73$$

$$t_m = \sqrt{\frac{0.3344}{0.73}} = 0.668$$

dla $t_m'' = 0.66$

$$(F t_m'') = 0.76$$

$$t_m^{(IV)} = \sqrt{\frac{0.3344}{0.80}} = 0.647$$

Przyjmujemy tę ostatnią wartość i zaokrąglamy ją na 0.65 m.

Z poprzedniego:

$$Q = 59.85 (F t_m) t_m^2 = 59.85 \cdot 0.79 \cdot 0.65^2 = 19.976 \text{ m}^3,$$

zatem objętość zgodna z podaną.

$$L = \frac{3}{2} \cdot 30 \cdot t_m = 45 \cdot 0.65 = 29.25 \text{ m}$$

$$t_{\max} = 1.5 t_m = 0.975 \text{ m}$$

$$v = (f i) (F t) = 1.33 \cdot 0.79 = 1.051 \text{ m}$$

$$P = 29.25 \cdot 0.65 = 19.01 \text{ m}^2$$

Formuły dotyczące przepływu wody w rzekach są ważnym środkiem pomocniczym przy rozwiązywaniu zadań praktycznych z zakresu regulacji rzek. Nie trzeba się jednak po nich spodziewać zbyt wiele, gdyż jak widzimy z powyższego, ani nie podają one prawideł ruchu wody, aniteż nie określają praktycznych zasad z regulacją rzek związanych, co do których musimy polegać na wskazówkach wziętych z przyrody rzeki. Trzeba je zatem uważać za to, czem one są, tj. za ujęcie w pewne matematyczne prawidło wyników pomiarów, przedstawiające funkcję dogodną do interpolacji, celem oznaczenia pewnego niewiadomego czynnika, na podstawie innych znanych czynników.

Wpływ ruchu materiału na chyżość. Z rozpoczęciem ruchu materiału chyżość się względnie zmniejsza, zmniejsza się współczynnik k do wzoru Chèzy-Brahmsa, zwiększają się zaś współczynniki szorstkości. Że tak musi być, nie ulega wątpliwości, dotychczas jednak tego doświadczeniem nie wykazano. Twierdzenie, że przy dużych chyżościach k maleje, nie jest nowe i tak Kutter na podstawie pomiarów Grabenau'a na Renie

podał formułę $n = \sqrt{\frac{I R}{23 + \frac{0,00155}{I} \frac{U}{R}}}$. Wogóle stwierdzić należy,

że formuły empiryczne dla wysokich stanów nie dają wyników pewnych, a taksamo dla dużych spadków, począwszy od kilkopromilowych. Niestety doświadczeń w tym kierunku mamy jeszcze mało, a pomiary hydrometryczne, tak jak się je dla ustalenia objętości przepływu wykonuje, są za mało ściśle, aby wpływ ruchu materiału określić.

5. Normalny profil i normalna szerokość regulacji.

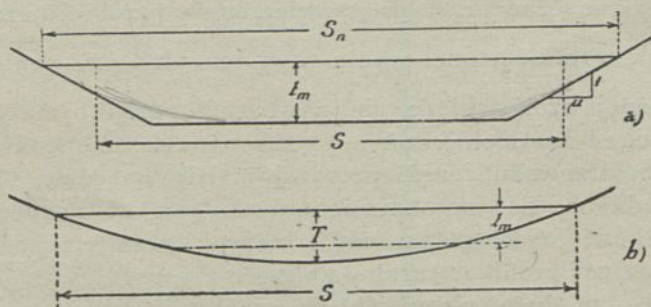
Celem oznaczenia normalnej szerokości rzeki, t. j. odstepu tam regulacyjnych od siebie, mierzonego prostopadle do osi rzeki, trzeba dla poszczególnych przestrzeni rzeki założyć pewne normalne profile. Profile te oznaczy się na podstawie normalnej objętości, oraz spadku wyrównanego danej przestrzeni, otrzymanego z profilu podłużnego. Dla poszczególnych przestrzeni rzeki zakłada się profile stałe — zmiana następuje dopiero w razie wydatnego zwiększenia objętości, lub zmiany spadku, a więc zazwyczaj poniżej każdego większego dopływu.

Obliczając jednak profil normalny trzeba by z góry wiedzieć, jaki będzie przyszły spadek uregulowanego koryta, t. j. spadek w jakim koryto się ułoży przy nowych warunkach stworzonych przez koncentrację biegu — tego spadku jednak z góry oznaczyć nie możemy i z konieczności musimy się posługiwać spadkiem istniejącym, otrzymanym przez wyrównanie zwierciadła wody w profilu podłużnym, w którym natu-

ralnie uwzględniono wszelkie zmiany długości (n. p. skrócenie biegu) wywołane projektem trasy.

Co do kształtu profilu normalnego jaki dla danej przestrzeni rzeki założymy, to nie można go obrać dowolnie, z uwagi tylko na określony cel budowy, jak się to czyni przy kanałach sztucznych, lecz profile normalne muszą być dostosowane do natury rzeki, czyli muszą mieć kształt zgodny z przyrodzonymi przekrojami rzeki.

Przy zadaniach praktycznych będziemy zatem mieli daną normalną objętość Q , oraz spadek i , a oznaczyć będzie trzeba powierzchnię profilu normalnego P , szerokość zwierciadła S , oraz średnią głębokość t_m . Przy obliczeniu przyjmuje się za podstawę najczęściej kształt trapezowy, lub parabolę drugiego stopnia (rys. 40 a i b). W zasadzie jest to



Rys. 40.

dość obojętne, czy taki, czy inny kształt przyjmiemy, gdyż kształt wyrabia sobie rzeka sama, a my wykonujemy tylko budowle ograniczające, więc chodzi nam przede wszystkim o oznaczenie odpowiedniej wielkości (powierzchni) przekroju i odpowiednie dobranie stosunku szerokości do głębokości.

Profil trapezowy jest może odpowiedniejszy, gdyż profile naturalne na przejściach mają kształt zbliżony do trapezu, profil zaś paraboliczny symetryczny występuje tylko wyjątkowo, gdyż profile w krzywiznach mają kształty niesymetryczne, a największa głębokość zbliżona jest do brzegu wklęsłego.

Przed przystąpieniem do właściwego obliczenia profilu normalnego należy z natury oznaczyć najodpowiedniejszy stosunek szerokości do średniej głębokości $\frac{S}{t_m}$, co jest rzeczą niezmiernie ważną; stosunek ten nie może być przyjęty dowolnie, gdyż rzeki nie można wtlaczać w profil nie odpowiadający jej naturze. Otóż w praktyce postępuje się niejednokrotnie nieracjonalnie i oznacza ten stosunek błędnie; sposoby używane w tym celu są następujące:

1. Zdjęcie przekrojów poprzecznych na rzece (zazwyczaj kilka na kilometr, na rzece o mniejszym spadku około czterech na kilometr, na większych spadkach więcej, gdyż zmiany są częstsze), zredukowanie ich na stan normalny, oznaczenie dla każdego z nich stosunku $\frac{S}{t_m}$, a następnie wzięcie średniej arytmetycznej.

Taka metoda jest błędna z tego powodu, że zdejmując w danej przestrzeni nawet bardzo wielką ilość przekrojów, nie dojdziemy do właściwego stosunku. Można grupować przekroje według ich położenia, n. p. osobno przekroje w prostych, a osobno w łukach, lub też nawet rozdzielać je według wielkości promienia krzywizny, a celem otrzymania jasnego obrazu dotyczącego kształtu profilów, rysować je na wspólnej osi pionowej i oznaczać przeciętną powierzchnię przekroju oraz stosunek $\frac{S}{t_m}$. Jednak w takim oznaczaniu tkwi ten błąd, że ponieważ profil podłużny każdej rzeki składa się z długich partji o małym spadku (w krzywiznach) i krótkich o dużym skoncentrowanym spadku, (na przejściach), zatem przeważna część przekrojów zdjęta będzie na partjach o małych spadkach, powierzchnia ich zatem jest zbyt duża i nie odpowiada spadkowi przeciętnemu rzeki, który bierzemy za podstawę obliczenia. Wogóle zaś profile naturalne na rzece nieuregulowanej są w przeważnej części zbyt duże, płaskie, zbyt szerokie i płytkie, przy niskich stanach okazują oddzielne nurty, lub nawet oddzielne ramiona tak, że nie mogą one być obrazem przyszłego profilu jaki przez regulację chcemy wytworzyć, jaki odpowiada warunkom koncentracji, czyli zwężenia (Einengung, resserrement) łożyska i który ma być funkcją normalnej objętości i wyrównanego spadku.

2. Oznaczenie normalnej szerokości na podstawie przestrzeni próbnych. Sposób ten polega na tem, że przeprowadzamy regulację dłuższej partji rzeki, np. kilkokilometrowej i na podstawie wyników tej regulacji zdajemy sobie sprawę, czy obrana normalna szerokość jest odpowiednia.

Metoda ta polega właściwie na sprawdzeniu obranej lub obliczonej normalnej szerokości, co do której nie mamy pewności, czy jest odpowiednia. I ten sposób jednak, jakkolwiek oparty na zupełnie praktycznym postępowaniu, nie zawsze daje dobry rezultat i nie jest pewnym dowodem dobrego oznaczenia szerokości. Stosunkowo krótka przestrzeń uregulowana, ograniczona z góry i z dołu przestrzeniami nieuregulowanymi, znajduje się w porównaniu z niemi, jako znormalizowana, w zbyt korzystnych warunkach przepływu, a zatem wkrótce wytwarza się tu spadek mniejszy od spadku przeciętnego, a profile przedstawiają się korzystnie, gdyż przy zmniejszonym spadku są głębokie, a woda nawet przy niskich stanach wypełnia całe łożysko. Ten właśnie wygląd prze-

strzeni działa łudzaco, sprawiając wrażenie, że przy obranej formalnej szerokości osiąga się dobry rezultat¹⁾). Nie mamy tu zamiaru obniżać znaczenia badania skutków regulacji w naturze, chcemy tylko stwierdzić, że niezawsze kilkakilometrowa przestrzeń próbna jest dobrym objektem doświadczalnym.

Oznaczenie odpowiedniego naturze rzeki stosunku $\frac{S}{t_m}$ należałoby przeprowadzić nie na podstawie masowego zdejmowania profilów poprzecznych, z których każdy jest inny, lecz na podstawie choćby niewielu, lecz dobrze obranych. Należy więc szukać na rzece takich profilów, które leżą w partjach rzeki już z natury regularnych i skoncetrowanych (a takie przestrzenie zawsze się znajdują), w pobliżu tych przekrojów zaniwelować lokalny spadek podłużny zwierciadła wody i profile te pomierzyć. Otóż między tymi profilami znajdują się takie, przy których spadek podłużny zwierciadła wody jest linią prostą, co jest oznaką ruchu jednostajnego (a właściwie ruchu o niezminiającej się średniej chyżości) i zbliżony jest do spadku wyrównanego danej przestrzeni. Takie profile dadzą nam najlepsze dane co do kształtu normalnego profilu, względnie wartości odpowiedniego naturze rzeki stosunku szerokości do średniej głębokości $q = \frac{S}{t_m}$.

Tak naprzykład przy pomiarach hydrometrycznych na rzece Rabe przeprowadzonych w celu opracowania projektu regulacji w r. 1902, pomierzono przy wodoskazie pod Książnicami profil, pomierzono w nim chyżości młynkiem hydrometrycznym i zaniwelowano lokalny spadek podłużny. Po przeprowadzeniu obliczenia pomiaru i wyrysowania okazało się, że stan pomiaru zgadzał się z przyjętym normalnym stanem regulacji, a zatem objętość pomierzona (obliczona metodą Harlachera, przez oznaczenie powierzchni krzywej objętości $Q = \int m dx = \int t v dx$) była objętością normalną, a spadek lokalny podłużny wynoszący 0,0009 przedstawiał linię prostą i zgadzał się ze spadkiem wyrównanym. Wyniki tego pomiaru przedstawione są na rysunku 39. Profil ten wzięto zatem za podstawę oznaczenia normalnej szerokości Raby w sekcji końcowej.

¹⁾ Ilustruje to znakomicie Flamant (Hydraulique, Paryż 1909) na przykładzie wziętym z rzeki Arwy. Między mostami Cluses i Bellecombe uregulowano przestrzeń 8369,4 m długą, o spadzie przed regulacją 2,3‰. Po regulacji nastąpiło w tej partji zmniejszenie spadku na 1,8‰, na górnym jej końcu objawiło się pogłębienie o 2,40 m na dolnym podwyższenie o 1,53 m, powyżej partji uregulowanej na przestrzeni 8267 m długiej spad zwiększył się o 2,8‰ na 3,1‰ — poniżej partji uregulowanej na przestrzeni 2157 m długości spad zwiększył się z 1,9‰ na 2,12‰.

Samó obliczenie wymiarów profilu nie przedstawia trudności — przy profilach rzecznych zamiast promienia przekroju (promienia hydraulicznego) wprowadzamy zawsze średnią głębokość, gdyż obie ilości różnią się od siebie bardzo niewiele. Obliczenie przedstawia się następująco (rys. 40).

Dane Q , i , tudzież z natury wzięty stosunek $q = \frac{S}{t_m}$.

a) Profil trapezowy (rys. 40 a)

$$\begin{aligned} P &= S t_m = q t_m^2 \\ Q &= P v_s = q t_m^2 v_s; \quad v_s = k \sqrt{t_m i} \\ Q &= q t_m^2 k \sqrt{t_m i}, \\ t_m &= \left(\frac{Q}{q k \sqrt{i}} \right)^{2/5} \end{aligned}$$

wartość k można oznaczyć z formuł empirycznych np. z formuły Ganguillet-Kuttera

$$k = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0,00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{i} \right) \frac{n}{\sqrt{t_m}}}$$

Jednak w formule tej jest zawarte t_m , którego właśnie szukamy; wobec tego przyjmie się je w przybliżeniu, obliczy na podstawie tej wartości k , wstawi je w równanie 1, obliczy dokładniejsze t_m , poczem ponownie k . Rachunek powtarza się tak długo, aż otrzyma się zgodną wartość k .

Mając oznaczone t_m otrzymamy $S = \frac{P}{t_m}$, lub $S = q t_m$, zaś normalna szerokość

$$S_n = S + \mu t_m$$

Stosując wzory empiryczne nie posiadające współczynników obieralnych, oznaczymy wartość bez prób.

$$P = S t_m = q t_m^2$$

$$Q = P v_s; \quad \left\{ \begin{array}{l} 1) v_s = 34 t_m^{1-t_m} i^{0,5} \text{ dla } t_m < 1^1) \\ \text{ewentualnie} \\ 2) v_s = 34 t_m^{0,75} i^{0,5} \text{ dla } t_m > 1^2) \end{array} \right.$$

$$1) Q = 34 P t_m^{1-t_m} i^{0,5}$$

1) Formuła autora.

2) " " i Hermanka.

$$2) Q = 34 P t_m^{0,75} i^{0,5}, \text{ jednak } P = q t_m^2$$

zatem

$$1) Q = 34 q t_m^2 t_m^{1-t_m} i^{0,5} = 34 q t_m^{3-t_m} i^{0,5}$$

$$2) Q = 34 q t_m^2 t_m^{0,75} i^{0,5} = 34 q t_m^{2,75} i^{0,5}$$

W równaniach tych wszystkie ilości są znane, z wyjątkiem t_m , które z równań tych da się wyznaczyć.

b) Profil paraboliczny (rys. 40 b).

Dla paraboli powierzchnia przekroju $P = \frac{2}{3} S T = S t_m$, obliczenie zaś przeprowadza się zupełnie taksamo jak poprzednio.

Jak widzimy, przy oznaczeniu normalnego profilu i normalnej szerokości, tej zasadniczej podstawy regulacji, uciekamy się do naśladowania przyrody, rachunek ma tu znaczenie tylko pomocnicze.

W sprawie oznaczania normalnej szerokości powiada Engels¹⁾: „Ponieważ między objętością, wielkością, kształtem, oraz właściwościami łożyska istnieje ściśle określony związek, który jednak wobec braku ścisłych prawideł wielce zawikłanego ruchu wody nie da się rachunkiem oznaczyć, tembardziej, że w rzeczywistości ciągle mamy do czynienia z chyżością zmienną, wywołaną oporami wewnętrznymi, zatem empiryczna droga jest najlepszą. Chroni ona przed pomyłkami lepiej niż najdokładniejszy rachunek, który bierze zawsze za podstawę rzekę niemożliwą, czyli inaczej mówiąc, obliczenia możliwe są tylko przy założeniach, które w rzeczywistości nie przychodzą. Dlatego dobrze się postąpi, oznaczając przekrój normalny na podstawie takich naturalnych przekrojów, które według przeprowadzonych badań dobrze się utrzymują“.

Jako przekrój przyjmuje Engels parabolę drugiego stopnia (rys. 40 b) i oblicza go następująco:

$$\text{Średnia głębokość } t_m = \frac{2}{3} T$$

$$\cotg \alpha = n = \frac{S}{2} : 2 T = \frac{S}{4 T} = \frac{S}{6 t_m}; \text{ czyli } S = 6 n t_m$$

$$\text{Powierzchnia przekroju } P = \frac{2}{3} S T.$$

Dane Q, i, n , szukane P, S, t_m

$$P = \frac{Q}{k \sqrt{t_m i}} = \frac{2}{3} S t_m = 4 n t_m^2, \text{ skąd}$$

$$t_m^{\frac{3}{2}} = \frac{Q}{6 \sqrt{4 n k} \sqrt{i}}$$

¹⁾ Handbuch des Wasserbaues, Lipsk 1914.

$$t_m = \sqrt[5]{\left(\frac{Q}{n k}\right)^2 \frac{1}{16i}} \quad 36$$

Ponieważ k nie jest z góry znane, więc t_m obliczy się przez próby.

Naturalnie, że po wykonaniu robót i znormalizowaniu rzeki, nie utworzy się wszędzie wyrównany spadek i stała średnią głębokość, gdyż jest to tylko możliwe w łożysku sztucznym, bez ruchu materiału. Regulacja więc polegająca na samem zwężeniu łożyska nie wygładzi wszystkich nierówności w profilu podłużnym i w profilach poprzecznych, a zbyt daleko idące zwężenie może naruszyć równowagę rzeki.

Przy regulacji dla żeglugi odróżnia Engels, jak to zresztą na rzekach niemieckich praktykowano, najpierw regulację na średnią wodę, celem skoncentrowania wody i utrwalenia brzegów, a potem regulację uzupełniającą, t. j. na małą wodę. Sądzi, że regulacja na średnią wodę mało powiększa głębokości i powiększyć ich nie może¹⁾. Im więcej rzeka jest zdziczała, tem łatwiej przez zwężenie (skoncentrowanie) uzyskać wielki skutek co do powiększenia głębokości, jeżeli jednak rzeka już z natury ma bieg regularny, to zwężenie ma wpływ niezmiernie mały. W zdziczałej rzece łatwiej zwiększyć głębokość podwójnie, jak w regularnej zwiększyć ją o kilka centymetrów.

Regulacja na średnią wodę stworzyła tylko regularne koryto i ochroniła wysokie brzegi w krzywiznach, dno jednak będzie dalej mieć miejsca głębokie (wyboje) i miejsca płytkie (mielizny); regulacja uzupełniająca (na małą wodę) jest dokładniejszą regulacją w obrębie koryta średniej wody. Musi ona na wybojach, gdzie spadki są zbyt małe, spadki te zmniejszyć, na mieliznach zaś, gdzie spadki są zbyt wielkie, spadki te zmniejszyć.

Wspomnieliśmy tu o regulacji dla żeglugi, aby wyjaśnić sprawę normalnej szerokości w związku z całokształtem robót; co do rzek górskich, na których nie przeprowadza się regulacji uzupełniającej, stosowne dobranie normalnej szerokości jest rzeczą może jeszcze ważniejszą. Zbyt wielka normalna szerokość nie skupia należycie rzeki, czyli po prostu przy niskich stanach nie zapewnia regularnego biegu, co jest powodem nieuporządkowania ruchu materiału, nieregularności nurtu i uszkodzania budowli regulacyjnych. Z drugiej strony zbyt mała normalna szerokość powoduje, że w rzece mającej przy wyższych stanach zbyt wąski, a zatem zbyt korzystny profil, powstają zbyt duże chyżości, ruch materiału jest wzmożony, a łożysko traci równowagę polegającą na tem, że w należycie uregulowanym łożysku, ilości materiału doprowadzanego

¹⁾ To znaczy mało powiększa głębokość jazdy ponad tę głębokość, jaka istnieje w stosunkowo regularnych już z natury przestrzeniach.

z góry i odprowadzanego w dół muszą się sobie równać. Następuje wtedy gwałtowna erozja, szkodliwa dla stałości łożyska.

Znakomity badacz regulacji rzek żeglownych Girardon nazywa obecnie panujący system regulacji metodą regulacji przez zwężanie (*méthode par resserrement*). Uważa on ujęcie rzeki obustronnie tamami (*indiguement*) celem zwężenia naturalnego łożyska jako szkodliwe i naruszające równowagę rzeki. Dopuszcza on tylko taką koncentrację rzeki, która ma na celu zjednoczenie wszystkich rozbitych ramion w jednym łożysku przy małej wodzie, celem stworzenia jednolitego koryta — ta koncentracja nie powinna jednak przeszkadzać rozlewaniu się szerokiemu wody przy stanach wyższych. Wobec tego żąda, aby budowle regulacyjne i zamknięcia bocznych (starych) koryt były niskie; — to żądanie uznać należy jako zupełnie słuszne i racjonalne. Zauważyć jednak trzeba, że regulacja musi w każdym razie ograniczyć koryto uregulowane obustronnemi budowlami; woda musi mieć silne oparcie w brzegach, gdyż inaczej ustalenie jej w sytuacji nie byłoby trwałe. Z ogólną tendencją wywodów Girardona można się w zupełności zgodzić, rozumiejąc ją w ten sposób, że nie godzi się zwężać rzeki poniżej tej szerokości, jaką ma łożysko w przestrzeniach już z natury regularnych, gdyż korzyści spodziewanej (zwiększenia głębokości) się nie osiągnie, a naruszy się równowagę łożyska. Do kwestji tej powrócimy jeszcze przy omawianiu regulacji rzek żeglownych.

Jak widać, oznaczenie normalnych szerokości wymaga dokładnego studjowania przyrody rzeki — wymaga jednak także wielkiego doświadczenia projektującego inżyniera. W tym kierunku popełniano w praktyce wiele omyłek nietylko u nas, ale i w innych krajach. Wiele rzek w Niemczech i Francji regulowanych „na średnią wodę“ musiano potem zwęzać, były i wypadki przeciwne, t. j. rozszerzania normalnego profilu, jednak rzadsze.

Na zakończenie tego ustępu wspomnimy jeszcze o wykresach Siedeka, które mogą być pomocne przy oznaczeniu normalnych szerokości.

Omawiając powyżej formułę Siedeka na średnią chyżość w łożyskach rzecznych powiedzieliśmy, że nie daje ona wyników zadowalniających, natomiast badania tego autora nad kształtem naturalnych profilów rzecznych zasługują na uwagę¹⁾.

Siedek wprowadza pojęcie „naturalnej normalnej, czyli idealnej rzeki“, t. j. takiej, któraby mogła w materjale ruchomym, niejako pla-
stycznym, wykształcić sobie zupełnie regularne łożysko. Wobec tego,

¹⁾ Die natürlichen Normalprofile der fließenden Gewässer. Ztsch. des Ing. u. Arch. Ver. Wiedeń 1902.

¹⁾ Studie über die Bestimmung der Normalprofile geschiebeführender Gewässer. Ztsch. des Ing. u. Arch. Ver. Wiedeń 1905.

w miarę posuwania się w dół rzeki, spadek staleby malał, a szerokości i głębokości stale wzrastały. Wynika z tego, że takiej idealnej rzece przy pewnej określonej szerokości odpowiadają określone wartości głębokości i spadku. Autor zadaje sobie pytanie, czy istnieją w naturze takie idealne profile? Otóż sądzi, że na przejściach nurtu, czyli na progach, o ile mamy do czynienia z „dobrym progiem“, tj. takim, na którym styczna do linii nurtu jest prostopadła do najkrótszej odległości obu brzegów, takie profile mogą się wykształcić. Taki naturalny profil normalny odpowiada tej sile erozyjnej rzeki, która jest w możności dokonać oczyszczenia (Selbstreinigung) łóżyska przy pewnym określonym stanie wody. Taki normalny profil będzie miarą żeglowności rzeki przy niskim stanie i zarazem poda maksymalną możność pogłębienia, jaką rzeka samoczynnie rozwinąć może. Taki profil podaje zarazem najważniejsze wskazówki dla regulacji na małą wodę, względnie przedstawia idealny profil małej wody. Dla tego rodzaju profilu podaje ustawione na drodze empirycznej, na podstawie zbadania naturalnych profilów rzek na progach, związki na normalną głębokość, spadek, chyżość i objętość, a mianowicie:

$$T_n = \sqrt{0,0175 S - 0,0125}, I_n = 0,0010222 - 0,00000222 S, v_n = \frac{T_n I_n}{\sqrt[20]{S} \sqrt{0,001}}$$

$$Q_n = v_n S T_n$$

(S szerokość zwierciadła).

Jednak taki normalny idealny profil może się wytworzyć tylko na rzekach o małych zmianach objętości i stanów wody i stosunkowo słabszym ruchu rumowiska; dla rzek o silnym ruchu rumowiska, znacznych różnicach między małą a wielką wodą, podane związki i wartości nie mogą być odpowiednie. Na takich rzekach idealne profile uzyskać można tylko zapomocą budowli, gdyż w naturze w takich warunkach idealne profile na dłuższej przestrzeni nie mogą istnieć. Na podstawie dużego materiału pomiarowego ustawia dla takich rzek następujące związki:

$$\text{średnia chyżość } v' = \frac{T \sqrt{I}}{\sqrt[20]{S} \sqrt{0,001}} + \frac{I - I_n}{\beta (I + I_n)}$$

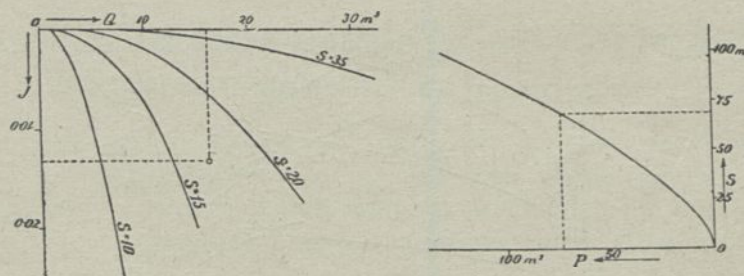
$$\text{objętość } Q = S T v',$$

Związek Q, I, T, P podaje w dwu diagramach (tablica VI odnośnej publikacji, rys. 41), z których jeden podaje dla różnych Q oraz I szerokość S, drugi dla szerokości S powierzchnię P, przyczem w diagramach tych uwzględniony jest rodzaj materiału, a mianowicie materiał miałki,

drobny, średni i gruby. Zresztą przyjmuje autor profil paraboliczny przy którym

$$T = \frac{2}{3} T_{\max}, \text{ a } P = \frac{2}{3} S T_{\max}, \text{ zaś } v = \frac{Q}{P}.$$

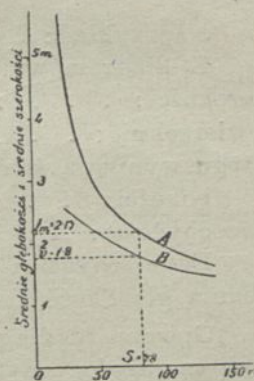
Siedek zauważa jednak, że dla praktyki te „idealne normalne profile“ będą w przeważnej liczbie wypadków za szerokie, gdyż regulując rzekę umacniamy brzegi, a profil ubezpieczony może wytrzymać pewne zwiększone chyżości.¹⁾ Jeżeli zatem zdamy sobie sprawę z tego,



Rys. 41.

do jakiej granicy możemy chyżość zwiększyć ponad chyżość średnią „idealnego normalnego profilu“, to można zmniejszyć normalną szerokość, do którego to celu służą dalsze diagramy Siedeka (tablica VII i VIII powołanej publikacji), które uzmysławia rysunek 43.

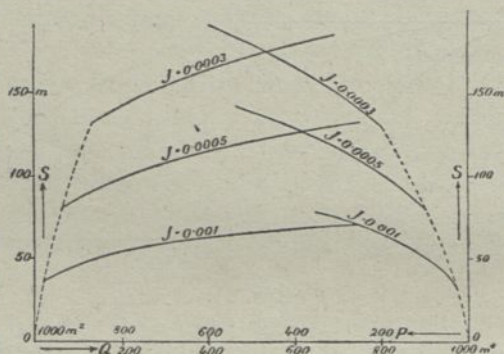
Siedek mianowicie biorąc za podstawę obrachowane poprzednio dla różnych spadków (zarazem różnych grubości materiału) idealne profile, powiększa je w górę i zatrzymując poprzednio przyjęte spadki, rachuje dla nich zwiększone objętości przepływu. Na podstawie wartości obrachowanych w ten sposób zestawia swe diagramy, w których jak to wskazuje rys. 43 mamy z lewej strony przedstawiony związek Q i S, z prawej zaś związek P i S, na krzywych zaś wypisane są odpowiednie spadki. Aby jednak na podstawie tego diagramu przeprowadzić obliczenie, trzeba wykonać pewną konstrukcję pomocniczą, gdyż w diagramie tym nie jest



Rys. 42.

¹⁾ W tem jednak trudność, jak oznaczyć tę możliwą jeszcze, zwiększoną średnią chyżość i tu znowu musimy się uciec do badania naturalnych profilów, już w naturze dostatecznie wąskich i w regularnych przestrzeniach położonych, lub do porównania z innymi rzekami uregulowanymi. Samo ubezpieczenie brzegów nie uprawnia jeszcze do nadmiernego zwężenia, gdyż nadmierne zwężenie może powodować erozję dna i zbyt daleko idące pogłębienie.

uwzględniona chyżość. Otóż konstrukcja ta polega na tem, że na podstawie danych Q oraz I , oznacza się z diagramów (na tablicy VII i VIII publikacji, tu na rys. 43) dla wszystkich czterech kategorii materiału ruchomego odpowiednie wartości S i P i wykreśla dwie krzywe związku, jedną przedstawiającą związek między S i T i drugą między S i v , gdyż mając objętość Q i powierzchnie P oznaczymy zarazem chyżość v . Te krzywe związku przedstawia rys. 42. (A krzywa związku S i T , B krzywa związku v i T).



Rys. 43.

Naprzykład: Dane $Q = 300 \text{ m}^3/\text{sek}$, $I = 0,001$ $v_1 = 1,8 \text{ m}$.

Z diagramów (rys. 43, tablica VII i VIII publikacji) otrzymamy:

szerokości:	30,4 m	59,0 m	97,0 m	140,0 m
powierzchnie:	124,0 m ²	147,0 m ²	183,0 m ²	220,0 m ²

z tego wynikają średnie głębokości:

bokości:	4,08m	2,49m	1,89m	1,57m
oraz chyżości:	2,42 „	2,04 „	1,64 „	1,36 „

Danej chyżości $v_1 = 1,8 \text{ m}$ odpowiada (rys. 42) szerokość 78 m, średnia głębokość $T_1 = 2,17 \text{ m}$.

Opisane tu diagramy mogą być pomocne przy oznaczaniu normalnych szerokości, gdyż autor uwzględnił bardzo obszerny materiał pomiarowy, obejmujący cały szereg spostrzeżeń z natury wziętych.

VI. Projektowanie kierunków regulacji (projekt trasy regulacyjnej).

(Regulierungstrasse, tracé de régularisation).

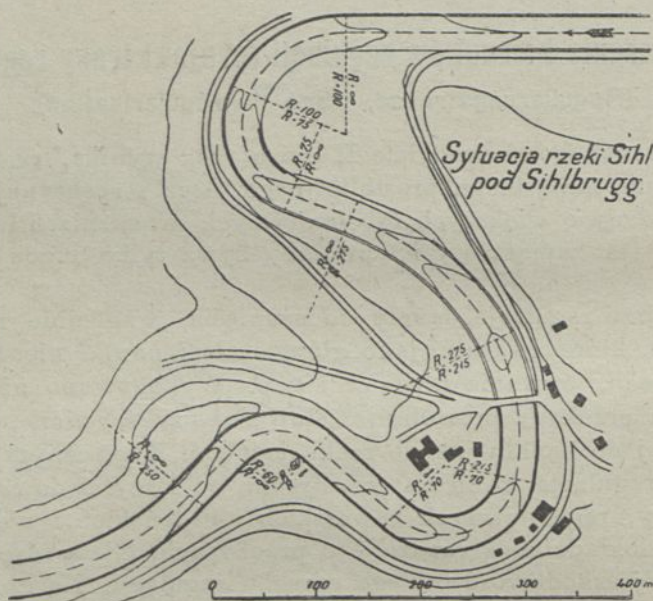
Jak z podanego w rozdziale II opisu rzek wynika, rzeki w biegu naturalnym nie mają biegu prostoliniowego, lecz serpentynują, wytwarzając krzywizny o większych lub mniejszych promieniach łuków; bieg prostoliniowy jest wyjątkowy i wywołany bywa tylko przez szczególne warunki.

Dawniejsze regulacje dążyły do usunięcia, względnie zredukowania krzywizn, które uważano jako główne zło i powód nieustalania się rzeki w sytuacji, zrywania brzegów i t. p. Wykonywano więc w miejscu krzywizn przekopy prostolinijne, lub słabo zakrzywione, stwarzając łożysko raczej do kanału jak do rzeki podobne. Klasycznym tego przykładem jest regulacja Renu na przestrzeni od Bazylei do Strassburga, regulacja Cisy, regulacja rzek bawarskich i badeńskich i wiele innych; opiszemy je dokładniej w rozdziale o przekopach, gdzie również przedstawimy bliżej szkodliwość takiego sposobu regulacji. Na tem miejscu zastanowimy się tylko nad tem, jakie kierunki nadać rzece, aby osiągnąć zasadnicze cele regulacji, t. j. przedewszystkiem ustalenie rzeki w sytuacji i wykształcenie łożyska celem ułatwienia odpływu.

Zdarzają się czasem na rzekach górskich takie warunki, że musimy obudować rzekę, która nie ma wykształconej szerszej doliny, w jej naturalnych krzywiznach. W Szwajcarji obudowano naprzykład rzekę Sill w pobliżu Sillbrugg w ostrych serpentynach łukami około 60 m, gdyż wysokie stoki, o które rzeka się opierała, nie pozwalały na złagodzenie krzywizn (rys. 44). Warunki takie zachodzą jednak więcej w obszarze górskim, dalej, gdzie rzeka górską ma już szeroką dolinę wypełnioną własnymi aluwiami, posiada zazwyczaj i szerokie łożysko wielkiej wody, między którego brzegami wije się w ostrych krzywiznach, dzieli zazwyczaj na ramiona oddzielone odsypiskami i wyspami żwirowymi (rys. 45).

Zdawałoby się, że tu najodpowiedniej będzie wykonać nową, regularną, prostoliniwną łożysko a—b, jak to dawniej niejednokrotnie rze-

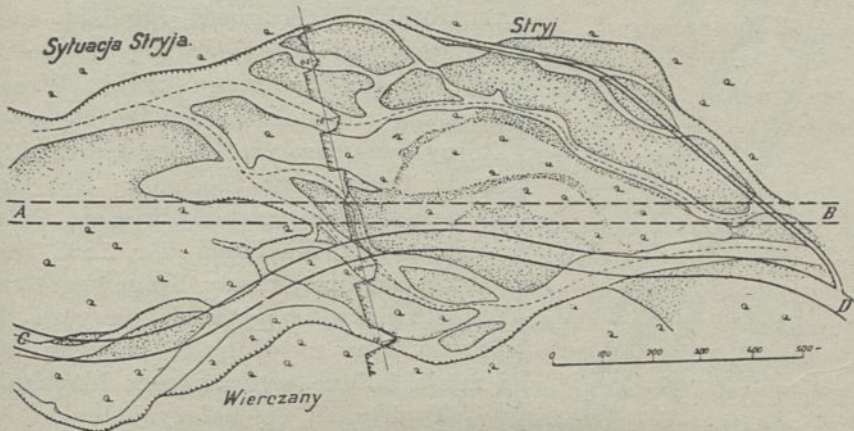
czywiście w praktyce wykonywano, tembardziej, że wykonanie długich prostych nie przedstawia tu trudności. Takie łożysko prostolinijne, o ile rzeka mogłaby się w niem utrzymać, posiadałoby przy najmniejszej długości maximalny spadek względny i dla odpływu byłoby najkorzystniejsze. Byłaby przytem i ta korzyść, że łożysko prostolinijne równoległe do wysokich brzegów, miałoby w czasie wysokich stanów kierunek nurtu równoległy do kierunku wysokich brzegów, przez co uniknęłoby się krzyżowania pod kątem kierunków budowli regulacyjnych przez



Rys. 44.

nurt wielkiej wody, co zawsze następuje przy krzywoliniowej trasie regulacyjnej i naraża budowle na niebezpieczeństwo zerwania. Pomimo jednak, że takie rozwiązanie zdawałoby się najnaturalniejszym i najprostszym, praktyka stuletnia robót regulacyjnych doszła do wręcz odrębnych rezultatów. Okazuje się, że rzeka o kierunku prostolinijnym, jakkolwiek ubezpieczona obustronnie budowlami, nie utrzymuje się dobrze — nurt nie ustala się, nie obiera takiego położenia, jakie napozór zdawałoby się najprawdopodobniejszym, to jest w osi koryta, lecz pomimo prostego kierunku łożyska i otaczających je budowli serpentykuje, wędrując od brzegu do brzegu nieraz w ostrych zakolach i serpentynach. Również i w zbyt płaskich łukach zjawisko jest podobne, nurt nie trzyma się brzegu wklęsłego, lecz wędruje według sinusoidy

od jednego brzegu do drugiego. Takie zjawisko występuje wybitnie na Renie między Bazyleą a Mannheimem, u nas zaś np. na uregulowanej Przemszy. Widzimy tu tęsamą dążność, jaka występuje na rzekach nieuregulowanych, dążność do serpentynowania, którą opisaliśmy na wstępie omawiając właściwości rzek. Wobec tego pragnąc jaknajlepiej ustalić łożysko, do czego potrzeba ustalenia położenia nurtu, musimy naśladować naturalne kierunki i obudowywać rzekę zgodnie z tymi kierunkami. A więc najodpowiedniejsza trasa rzeki składa się z krzywizn i krótkich



Rys. 45.

prostych między nimi; po jeder krzywiznie następuje krzywizna odwrotna, a krótka prosta między nimi stanowi potrzebne przejście. Wszelkie ostre załomy w trasie brzegów są szkodliwe, gdyż odbijają nurt i tworzą wybój, a poniżej odsypisko i muszą być wykluczone, tak samo nieodpowiedne są dwie krzywizny o tym samym kierunku połączone prostą, gdyż również nie zatrzymują nurtu. Te zasady odnoszą się tak do rzek górskich, jak i rzek nizinnych; o kierunkach trasy tych ostatnich jeszcze osobno obszerniej pomówimy. Rys. 46 przedstawia trasę Popradu na pewnym odcinku, dostosowaną do powyższego żądania.

Pomimo, że zasady te są powszechnie uznawane, przecież wielu wybitnych hydrotechników nie wyklucza możliwości stosowania kierunków prostych. Tak naprzykład znany badacz na polu regulacji rzek górskich Krapf w jednym z najnowszych artykułów¹⁾ dotyka podstawowych zasad regulacji rzek. Między innymi wyraża zdanie, że stosowania długich prostych w trasie rzek w zasadzie nie należy uważać za

¹⁾ Wochenschrift f. d. öffentl. Baudienst Nr. 13/14 1919. „Wolfsche Bauweise“.

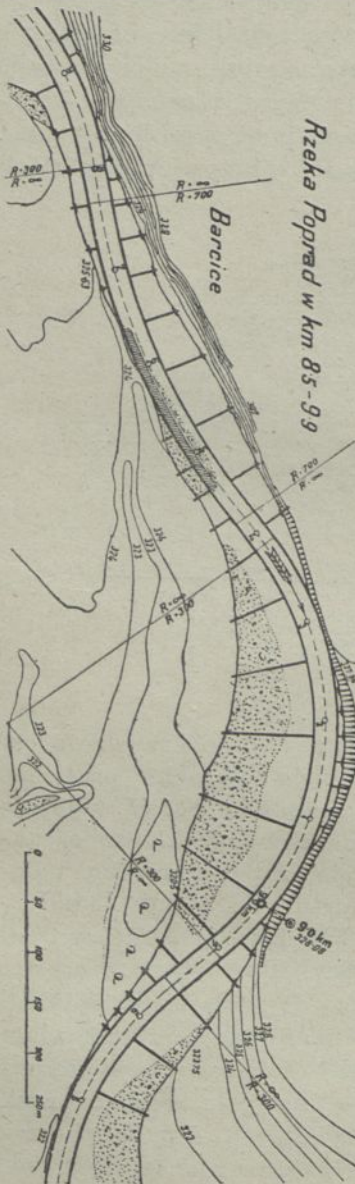
szkodliwe. Inż. Gockinga¹⁾ twierdzi, że rzeka w pewnych warunkach może się zupełnie dobrze trzymać w linii prostej, czego przykładem jest rzeka Moza w Holandji, gdzie 7 kilometrów przestrzeni między wsią Heumen i małym miasteczkiem Grave tworzy linię prostą, a utrzymuje się zupełnie dobrze, nie wymaga prawie żadnych robót konserwacyjnych, ani bagrowania (pogłębiania). Przytem autor zastrzega się jednak, że projektując kierunki regulacji należy się stosować jaknajbardziej do naturalnych kierunków biegu rzeki. Wreszcie Siedek²⁾ również nie zgadza się z tymi, którzy twierdzą, że dłuższe kierunki proste w trasie rzek nie mogą być dopuszczone, przyczem powołuje się na stan Dunaju pod Wiedniem z r. 1897, gdzie (od km 6 poniżej mostu drogowego) rzeka pozostawiona samej sobie przyjęła bieg prostoliniowy na długości powyżej 1 km i miała dobrze wykształcone łóżysko.

Tych zdań nie należy jednak fałszywie rozumieć; — jest tu mowa o tem, że w pewnych wypadkach mogą być dłuższe proste dopuszczone, natomiast wszyscy ci autorzy są zapewne za jaknajdalej idącym stosowaniem się do naturalnych krzywizn rzeki.

Uwzględniając powyższe uwagi stwierdzić trzeba, że wyjątkowo, dłuższe proste mogą być w trasie regulacyjnej dopuszczone pod następującymi warunkami:

1. Jeżeli już naturalny bieg rzeki jest prosty, a rzeka w tym biegu utrzymuje się dobrze.

2. Jeżeli bieg przez zastosowanie trasy prostoliniowej nie dozna skrócenia.



Rys. 46.

¹⁾ „La pente transversale et son influence sur l'état des rivières“. Annales des ponts et chaussées 1913 (1).

²⁾ „Studie über die Bestimmung der Normalprofile fließender Gewässer“ Ztsch. d. oest. Ing. und Arch. Ver., Wiedeń 1905.

3. Jeżeli spadek naturalny na partji prostolinijnej zgadza się ze spadkiem wyrównanym.

Wszelkie natomiast prostowanie biegu, powodujące zwiększenie spadku i burzące przez to naturalny układ rzeki, uznać należy na podstawie bardzo licznych przykładów jako szkodliwe.

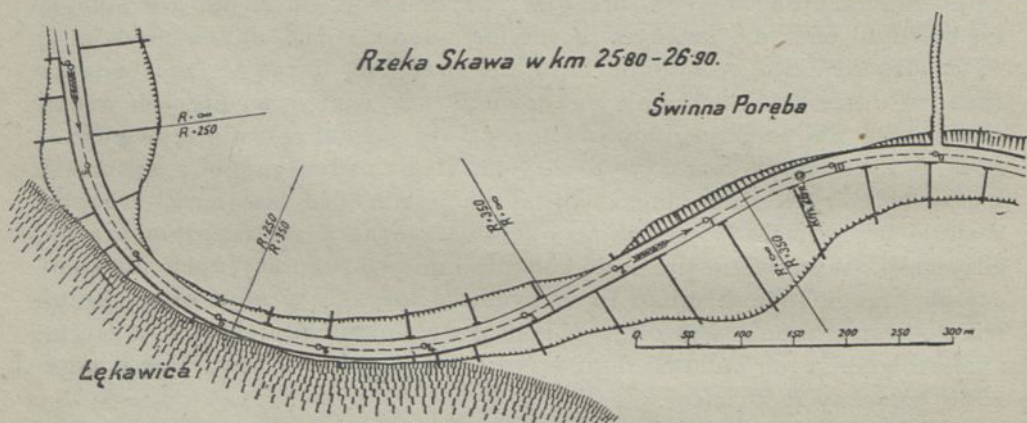
Jeżeli jednak przyjmiemy zasadę, że należy jaknajbardziej dostosowywać się do naturalnych krzywizn rzeki, to przecież musimy poczynić pewne zastrzeżenia, nie wszystkie bowiem krzywizny jakie rzeka pozostawiona samej sobie, a zatem w stanie natury wytworzyła, są do naśladowania przy projekcie trasy regulacyjnej, pod którą rozumiemy linje regulacyjne obydwu brzegów, prowadzone do siebie równoległe (w równym odstępnie zwanym normalną szerokością). Jakie krzywizny, to znaczy o jakim promieniu łuku stosować, wyniknie to ze zbadania rzeki w naturze. Napotkamy tu bowiem krzywizny w których rzeka pomimo że nie jest uregulowana utrzymuje się dobrze, nie zrywa brzegów i inne zbyt ostre, wynikłe skutkiem nadmiernego rozwinięcia biegu, w których stan łożyska w sytuacji nie jest ustalony, a rzeka atakuje brzeg wklęsły, zrywając go i tworząc na przeciwległym brzegu odsypisko. Wprawdzie przez wykonanie budowli regulacyjnych ubezpieczymy brzegi, jednak mimo to utrzymanie łożyska w zbyt ostrej krzywiznie jest trudne i wywołuje potrzebę wykonania silniejszych, a zatem i kosztowniejszych budowli regulacyjnych, których konserwacja wymaga nadto znacznych kosztów.

Jakie zatem minimalne łuki stosować, na to nie można podać reguły, zależy to od charakteru rzeki i od jej wielkości, a najlepsze wskazówki uzyska się z obserwacji na rzece samej. Im rzeka jest większa, tem większe promienie krzywizny można stosować; dla orientacji podaje się, że naprzykład na karpackich dopływach Wisły i Dniestru stosowano minimalny promień krzywizny w górnych partjach 150 — 200 m w średnich i dolnych 200 — 300 m, a na Wiśle samej np. pod Krakowem 300 m (wyjątkowo łuk pod Wawelem 225 m¹), na dolnej Wiśle poniżej ujścia Narwi stosowna jest krzywizna o promieniu $r =$ sześciokrotnej szerokości zwierciadła, a krzywizny poniżej cztero i półkrotnej szerokości zwierciadła powinny być wykluczone²). Gdy zaś szerokość normalna Wisły od Narwi do Drwęcę wynosi 300 m, a poniżej Drwęcę aż do rozdziału ramion pod Montawską Szpicą 375 m, byłyby minimalne krzywizny w pierwszej z tych przestrzeni 1350 do 1950 m, w drugiej 1700 — 2400 m.

¹) Mówiąc o promieniach łuków, podaje się zazwyczaj promień łuku wklęsłego, a nie promień osi rzeki.

²) Według Ehlersa „Regulierung der geschiebeführenden Flüsse insbesondere der Weichsel“. Gdańsk 1913.

Z tego co powyżej powiedziano wynika, że nie tylko trzeba ustalić minimum promienia krzywizny, ale także i pewne maximum, odpowiednio do natury rzeki i jej wielkości, gdyż w zbyt płaskich łukach rzeka również nie utrzymuje się dobrze. Od określonego maximum promienia odstępuje się tylko wyjątkowo, jeżeli rzeka ma dobre naturalne oparcie o wytrzymały, np. skalisty brzeg, lub też zagospodarowanie przyległych gruntów do tego nas zmusza (sąsiednie grunta zabudowane) i raczej decydujemy się na wykonanie specjalnych budowli (np. mur nadbrzeżny, czyli bulwar), jak na zmianę położenia rzeki.

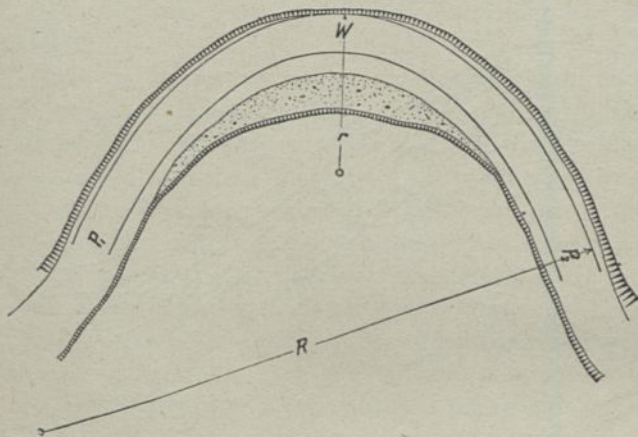


Rys. 47.

Dalszą zasadą, która powinna nami kierować przy projektowaniu trasy regulacyjnej, jest konieczność opierania łuków wklęsłych o brzegi wysokie. Idealną byłaby trasa taka, przy której kierunki nurtu przy stanach wysokich, zgadzałyby się z kierunkami przy stanach niskich, gdyż wtedy równoległość nurtu do trasy regulacyjnej byłaby zachowana i budowle regulacyjne byłyby najmniej narażone. Jest to jednak niemożliwe, gdyż nurt przy stanach wysokich się wyprostowuje z powodu wielkiej masy wody i zajmuje inne położenie jak przy stanach niskich, przecinając w wielu punktach trasę koryta małej lub średniej wody, a zatem i kierunki budowli pod kątem. Jest to dla utrzymania budowli okoliczność niekorzystna, lecz trudno jej w zupełności uniknąć, możemy jednak przez odpowiedni układ trasy to niekorzystne działanie złagodzić. Otóż przede wszystkim łuki wklęsłe powinny być jaknajściślej oparte o wysokie brzegi, gdyż nurt przy wielkiej wodzie kierowany jest przez wysoki brzeg, przez taki zatem układ trasy uzyskujemy przynajmniej to, że nurt przy brzegach wklęsłych, najwięcej narażonych, nie dozna przy stanach wysokich zmiany położenia i będzie się tu zga-

dzał z kierunkiem trasy ustalonej przez budowle regulacyjne. Rysunek 47 podaje fragment trasy regulacyjnej rzeki Skawy między km 26 a 25 pod Łękawicą, uwzględniającej powyższe wymogi.

Jeżeli tak zaprojektujemy trasę, to teraz największe różnice w położeniu nurtu przy małej i przy wielkiej wodzie będą na przejściach. Dlatego przejścia, szczególnie na rzekach górskich o silnych spadkach i silnym ruchu materiału ruchomego, są przy wielkiej wodzie bardzo zagrożone, gdyż nurt wielkiej wody krzyżuje kierunki budowli. Dlatego przejście nie może być projektowane jako nagły skręt, lecz zwrot ku



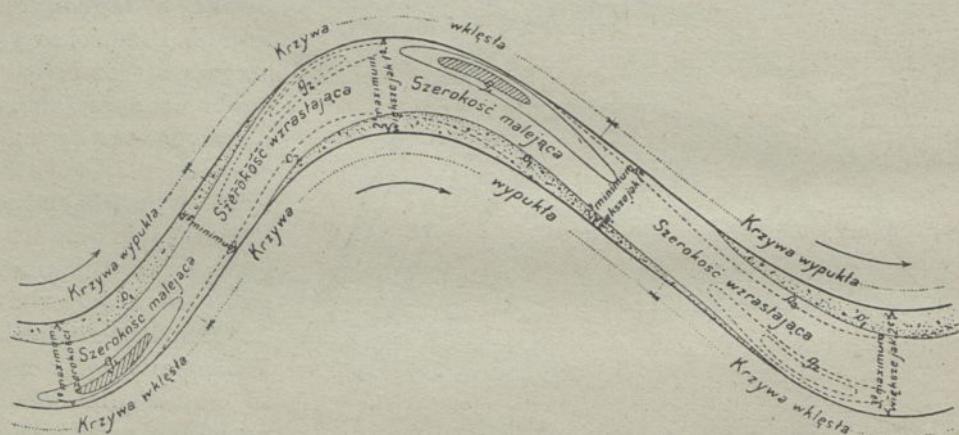
Rys. 48.

przeciwnemu brzegowi powinien się odbywać w łagodnych linjach. Przejścia wymagają nieraz nietylko obustronnego ubezpieczenia trasy budowlami, ale i w pewnych wypadkach ubezpieczenia dna progami, które wykonuje się równocześnie z budowlami brzegowymi. Ważne znaczenie ma tu odpowiedni dobór normalnej szerokości; w zbyt szerokiej tworzą się odsypiska i re-

ka pomimo wykonania budowli dziczeje, zbyt wąska normalna szerokość albo wywoła nadmierne pogłębienie i w czasie wielkiej wody zwłaszcza na przejściach zburzenie budowli, albo też rzeka zasypuje materiałem zbyt wąskie łożysko uregulowane i obchodzi je bokiem. Tego rodzaju trudne warunki regulacji występują przede wszystkim na mniejszych rzekach górskich, stanowiących właściwie przejście od potoków górskich do rzek; wymagają one najczęściej nietylko wykonania tam regulacyjnych, ale także i ubezpieczenia dna zapomocą progów. O regulacji takich rzek pomówimy jeszcze osobno.

Celem złagodzenia przejścia między trasą w łuku a krótką prostą na przejściu nurtu, proponowano zastosowanie krzywych przejściowych; krzywe takie mogą mieć jednak znaczenie tylko przy regulacji rzek dużych, żeglownych; na rzekach górskich krzywe przejściowe nie są stosowane.

Dla rzek żeglownych proponował Fargue¹⁾ użycie jako linii regulacyjnych paraboli drugiego stopnia. Krzywa taka (rys. 48) posiada rzeczywiście wielkie zalety, umożliwiając łagodne przejście od punktu przegięcia na progu (P_1, P_2), aż do wierzchołka (W). Promień krzywizny maleje zatem od wartości R na przejściu do wartości r u wierzchołka krzywej, a równocześnie krzywizna (odwrotność promienia krzywizny) ku wierzchołkowi wzrasta. Przez zastosowanie takich krzywizn ułatwiliby się dostosowanie linii regulacyjnych do naturalnych kształtów rzeki, stwarzając przytem ciągłość w zmianie krzywizny. Na rzekach górskich takie stopniowanie krzywizny nie jest potrzebne, wystarczają



Rys. 49.

tu zwykle łuki kołowe, natomiast na rzekach nizinnych, gdzie chodzi o stworzenie jaknajkorzystniejszych warunków żeglugi, łuki o zmiennej krzywiznie, a więc np. paraboliczne, powinny się zasadniczo stosować. Niestety dotychczas mało są one stosowane, a głównym powodem chyba jest to, że łuk kołowy łatwiej wytyczyć na terenie.

Tensam autor²⁾ zaproponował również dla rzek żeglownych użycie krzywych parabolicznych w związku ze zwężeniem normalnej szerokości na przejściach, celem uzyskania tu więcej zwartego, korzystniejszego, a zarazem i głębszego profilu; zwężenie to powstaje skutkiem obustronnego wydłużenia linii wypukłych, jak to wskazuje rysunek 49;

¹⁾ L. Fargue: „Étude sur la corrélation entre configuration du lit, et la profondeur d'eaux dans les rivières à fond mobile. Annales des ponts et chaussées 1868.“ (I). j. w.

²⁾ L. Fargue: „Etudes sur la largeur du lit moyen de la Garonne“, „Annales d. p. e. ch.“ 1882 (II).

rzecz ta wynika jako dalsza konsekwencja z praw Fargue'a, przedstawionych powyżej, w ustępie traktującym o związku między układem łóżyska w sytuacji a głębokością wody. Powiedziano tam mianowicie, że miejsca płytkie (*les maigres*) powstają w pewnej odległości poniżej dolnego końca krzywizny, czyli poniżej punktu przegięcia, a również i punkty najgłębsze (*les mouillées*) są przesunięte w dół poniżej wierzchołków krzywizn. Wielkość tego przesunięcia wynosiła na badanym odcinku Garonny i w miejscach gdzie trasa okazała się najkorzystniejszą z uwagi na głębokość, tak odnośnie do punktów najpłytszych jak i najgłębszych około $\frac{1}{4}$ długości krzywwej. Wobec tego i odsypiska tworzące się zazwyczaj przy brzegach wypukłych przesunięte są w dół, a osie ich nie leżą *vis à vis* wierzchołka przeciwległej krzywizny wklęsłej.

Autor stwierdza, że szerokość łóżyska, podobnie jak ukształtowanie poziome brzegów, grają główną rolę w rozłożeniu głębokości rzeki żeglownej i ustaleniu przejść. Zupełnie dowolnym jest nadawanie temu elementowi wartości stałej — nie można także rozważać szerokości dla długiej przestrzeni przez powiększenie proporcjonalne szerokości oznaczonej dla początku. Zasadą metody autora jest obserwacja robót wykonanych na pewnych partjach i tworzenie na tej podstawie zasad ogólnych. Jako takie zasady ogólne podaje:

1. Odstęp sztucznych brzegów (linji regulacyjnych) powinien zmieniać się ze zmianą dwu elementów, a to długości i krzywizny.
2. Między dwoma punktami przegięcia po sobie następującymi szerokość powinna zwiększać się równocześnie ze wzrostem krzywizny i uzyskiwać maximum przy wierzchołku.
3. Brzegi wypukłe powinny mieć długość znacznie więcej rozwiniętą (większą) jak brzegi wklęsłe (rys. 49).
4. Odstęp brzegów powinien zwiększać się od góry ku dołowi nie w sposób jednostajny, lecz zapomocą serji perjodów odpowiadających krzywiznom trasy.
5. Na przejściach nurtu panują stale znaczniejsze głębokości, jeżeli partja prostolinijna (przy przegięciu) jest węższa jak sąsiednie partje w wybitnych krzywiznach¹⁾.
6. Punkty przegięcia obu brzegów nie powinny się znajdować w tym samym profilu poprzecznym, lecz być przesunięte przez przedłużenie linji wypukłych.
7. Stosując powyższe zasady można albo rozszerzać normalne szerokości w krzywiznach, albo zwężać je na przejściach, która to ostatnia metoda jest łatwiejsza do wykonania.

¹⁾ Na Garonnie w ostrzejszych krzywiznach wynosiła szerokość 180—120 m, na przegięciu 150—160 m.

Wyrażone tu zasady uznać należy jako dalsze racjonalne dostosowanie się do przyrodzonych warunków rzek, jednak stwierdzić należy, że w praktyce mało były uwzględniane. Praktyka bowiem często stosuje metody uproszczone, łatwe do szablonowego stosowania, ze szkodą dla postępu. Regulacja każdej rzeki będzie zawsze problemem, który nie da się we wszystkich szczegółach rozwiązać według jakichś ustalonych i pewnych reguł ogólnych, lecz jest experimentem wykonanym w przyrodzie. Pewne zasady ogólne praktyka już ustaliła, zasady te powinien każdy inżynier zajmujący się regulacją rzek dobrze znać, co do nich nie powinno się już experimentować, jednak regulacja każdej rzeki wymaga pewnych modyfikacji i przystosowania ogólnego systemu do przyrody danej rzeki i tu czynienie prób i jaknajszczegółowszych obserwacji jest rzeczą konieczną.

Fargue zauważa, że zasady powyżej wyrażone odnoszą się nietylko do partji rzek leżących poza oddziaływaniem morza (*rivières fluviales*), ale także i do partji rzek leżących w obszarze przyływu i odpływu morza (*rivières á marée*). Warunki w tych ostatnich są do pewnego stopnia odmienne; wprawdzie materiał rzeczny składa się tu również z części grubszych toczonych po dnie i z części miążkich unoszonych, jednak panuje tu zmiana kierunku prądu, nadto słoność wody wspomaga osadzanie namulów. Te grubsze części dochodzą do punktu, gdzie siła prądu rzeki słabnie — a także siła prądu odpływu (*le jusant*, die Ebbe), słabnącego stopniowo, jest również za słaba aby je porwać — podobnie i przyływ (*le flot*, die Flut), jest za słaby, aby je odepchnąć w górę. W takich punktach kształt brzegów już nie pomaga i bronić się tu można przed mieliznami tylko przez bagrowanie stale ponawiane.

Autor rozważa jednak ten przypadek, że materiał składa się tylko z miążkiego piasku i namułu. W czasie wyrównania dopływu materiały te się zatrzymują; nie są one zwyczajnie szkodliwe dla żeglugi, dopiero gdy to zatrzymanie się przedłuża, stają się więcej zwięzłe i odpływ może ich nie ruszyć, aż dopiero jakaś nadzwyczajna wielka woda usuwa je z łożyska.

Wynika z tego, że osady nie powinny się długo zatrzymywać przedewszystkiem w partjach między wklęsłościami, trzeba zatem wywołać tak przy przyływie, jak i przy odpływie, większą intensywność prądu, więc metoda polegająca na powiększeniu szerokości w krzywych, a zmniejszeniu w prostych, będzie korzystną i dla partji rzek w obrębie działania przyływu i odpływu.

Zauważyć jednak trzeba, że ze zmianą odpływu na przyływ zmienia się kierunek prądu, a z nim i rodzaj wpływu przegięcia każdego brzegu. Ma to tylko ten skutek, że największe głębokości (*wyboje*, *les rades*, die Kolke), które w partjach rzek nie podlegających działaniu

morza tworzą się przy brzegu wklęsłym poniżej wierzchołka krzywizny i odsypiska na brzegu wypukłym, których głowa (koniec górny, der Kopf, la tête) leży poniżej górnego punktu przegięcia, a tył (koniec dolny, la queue, die Ichse) leży poniżej dolnego punktu przegięcia — w obszarze przymorskim rzeki muszą się przesunąć skutkiem działania przyptywu w kierunku ku górze, wytwarzając większą symetrię odnośnie do obu zjawisk. Takie symetryczne przedłużenie ku górze dużych głębokości na brzegu wklęsłym, oraz odsypisk na brzegu wypukłym, jest nawet dla żeglugi korzystne, gdyż obydwie odsypiska po sobie następujące przedłużone w górę zwięzają szerokość na przejściu, a wyboje przy brzegu wklęsłym łączą się ze sobą wytwarzając dłuższą głęboką partję. Tę zmianę ukształtowania poziomego oznaczono na rys. 49 linjami kreskowanymi, (g_2, o_2), podczas gdy położenie wybojów i odsypisk wytworzonych przez prąd idący ku morzu (prąd rzeki, lub prąd odpływu) oznaczono linjami pełnymi (g_1, o_1). Takie jednak korzystne warunki następują tylko wtedy, gdy linje wypukłe są przedłużone, w razie przeciwnym, t. j. gdybyśmy przedłużyli linje wklęsłe, powstałyby długie lecz odrębne wyboje obydwu przeciwnych prądów, a odsypisko na brzegu wypukłym zmniejszyłoby się co do swej części stałej. Gdy zaś odsypiska na brzegach wypukłych stanowią naturalne miejsca składu materiału ruchomego, w braku tych miejsc materiał osiadałby w innych punktach, przede wszystkim w nadmiernie rozszerzonych partjach przejść.

W ogólności stwierdza Fargue, że „problem trasy racjonalnej, czyli poszukiwanie kształtu jaki się ma nadać łożysku rzeki żeglownej — u której bieg krzywoliniorny ma być w zgodzie z profilem podłużnym drogi do jazdy (passe navigable), może być rozwiązany zawsze w sposób zupełny i ścisły. Jest to studjum nieskończone, jednak pewne rezultaty zostały tu już osiągnięte. Wykluczenie linii prostej i łuku kołowego, pożyteczność połączenia ściśle stycznego (par osculation), stosowanie krzywych, których krzywizna jest proporcjonalna do długości łuku, to są punkty interesujące, które powinny wywołać poważne badania inżynierów“.

Co do zalecanej tu krzywej o krzywiznie proporcjonalnej do długości łuku zauważa się, że Fargue proponował także zastosowanie spiralnej obwiedniej (spiral-volute) jako linii trasy. Jak to już zresztą powiedziano powyżej, w ustępie o układzie poziomym łożyska, zasady i zapatrywania Fargue'a, jakkolwiek słuszne i powszechnie uznawane, nie zdołały rozwinąć się w jakiś samodzielny system regulacji rzek i muszą być traktowane jako ogólne wskazania o znaczeniu orientacyjnym przy projektowaniu linii regulacyjnych.

Sprawa racjonalnej trasy, w związku z oceną zgodności praw Fargue'a na podstawie badań na różnych rzekach, była omawiana na

międzynarodowym kongresie żeglugi w Hadze w r. 1894¹⁾. Z wyników dyskusji podaje się tu tylko niektóre ważniejsze²⁾.

Na podstawie badań na Łabie wysnuwa Jasmund następujące wnioski:

1. Okazuje się wskazanem dalsze badanie związku między układem poziomym łożyska a głębokością w nurcie; należy przytem badać wpływ różnych budowli regulacyjnych na głębokość.

2. Celem uniknięcia serpentynowania nurtu, zaleca się wykonanie w partjach prostych regulacji na małą wodę.

3. Celem uniknięcia zbyt głębokich wybojów, powinno się obierać promienie krzywizny możliwie duże, nie tak jednak wielkie, aby nurt zwracał się w łuku ku brzegowi wypukłemu. (To zdanie odnosi się naturalnie tylko do dolnych biegów wielkich rzek).

4. Do wytworzenia jednostajnych głębokości w nurcie odpowiednie są łuki kołowe. Jeżeli w obrębie jednej krzywwej potrzebne jest ze względów lokalnych użycie różnych krzywizn, to przejście od jednej krzywizny do następnej powinno się odbywać nie nagle, lecz w sposób ciągły.

5. W celu poprawy użytecznej głębokości do jazdy zaleca się na przejściach zwięźenie szerokości małej wody, w ostrych krzywiznach zaś zabudowanie zbyt wielkich głębokości (wybojów, zapomocą niskich podwodnych progów poprzecznych, o których w rozdziale o regulacji na małą wodę będzie mowa).

Z badań na rzekach francuskich i sprawozdania Mengin-Lecreulx'a podaje się następujące wyniki:

1. Wzdłuż łuku kołowego, (a zatem łuku o stałej krzywiznie), nie wytwarza się jedna stała głębokość będąca w związku z krzywizną, lecz szereg największych głębokości, których położenie jest zmienne, zależnie od zmiennych chyżości panujących w łożysku, przez co powstają ciągle zmiany dna i ruch rumowiska, wpływające szkodliwie na stan łożyska rzeki. Jeżeli zatem, stosując przy regulacjach trasy złożone z łuków i prostych, uzyskuje się w ogólności także zadowalniające wyniki i jakkolwiek nie ma może powodu do przebudowania wykonanych łuków kołowych na spiralne obwiednie, nie jest to dowodem racjonalności takiej trasy i nie powinno się używać łuków kołowych tam, gdzie okazało się, że spiralna obwiednia jest odpowiedniejsza.

2. Zbyt ostre i zbyt długie krzywizny nie są odpowiednie; przy kącie krzywwej około 80—100° otrzymuje się zazwyczaj korzystne głębokości.

1) Weber „Bau, Betrieb und Verwaltung der natürlichen Wasserstrassen auf den internationalen Binnenschiffahrtskongressen in den Jahren 1885—1894“. Wiedeń 1895, str. 333—350.

2) Ze sprawozdań delegata niemieckiego i francuskiego.

3. Przy ustaleniu trasy można przyjąć, że punkty największej i najmniejszej głębokości przesunięte są o podwójną szerokość rzeki poniżej punktów największej i najmniejszej krzywizny.

4. Uregulowanie szerokości rzeki jest rzeczą niezmiernej wagi.

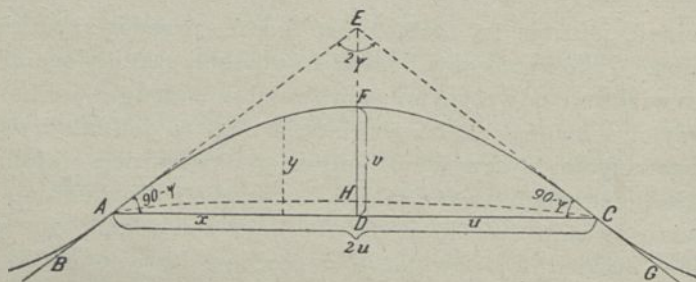
5. Przy nowych trasowaniach należy postępować według zasad Fargue'a.

Jak widać, istnieje tu rozbieżność zdań, przedewszystkiem co do dopuszczalności łuków kołowych wraz z prostymi stanowiącemi przejście między krzywiznami odwrotnemi; sprawozdanie drugie jakkolwiek tego rodzaju trasy nie uważa za bezwzględnie złą, to jednak uważa za odpowiedniejsze użycie w krzywych spiralnej obwiedniej, natomiast autor sprawozdania pierwszego uważa łuki kołowe jako odpowiedniejsze i sprzeciwia się zastosowaniu spiralnej obwiedniej, twierdząc, że wprawdzie przy spiralnej obwiedniej powstanie w pewnym określonym miejscu największa głębokość, jednak celem regulacji nie jest wytworzenie największych głębokości, lecz wytworzenie głębokości jednostajnych. Poza tem uważa spiralną obwiednią jako nieodpowiednią i z tego powodu, że wytwarza ona bardzo długą przestrzeń przejściową między krzywiznami odwrotnemi, co jest z uwagi na wykształcenie się głębokości niekorzystne.

Zaznaczona tu rozbieżność zdań uwydatnia się i w praktyce regulacji rzek; w każdym razie stwierdzić trzeba, że wyniki badań Fargue'a nie zdołały wyrugować łuku kołowego.

Niezawodnie w metodzie Fargue'a tkwi zdrowa zasada dostosowania się do naturalnych kształtów rzeki celem unikania zmiany właściwości rzeki, które to zmiany im są radykalniejsze, tem większą szkodę wyrządzają żegludze. Naturalne krzywizny nie są jednak zbliżone do łuków kołowych, lecz raczej do krzywych o zmiennej krzywiznie, wzrastającej od przejścia ku środkowi krzywizny i nie ulega wątpliwości, że takie krzywe, o łagodnem przejściu od elementu prostego na przegięciu, do największej krzywizny w wierchołku, są w praktyce regulacyjnej dla trasy brzegów najodpowiedniejsze. Znaczenie takiej trasy będzie większe dla wielkich rzek żeglownych, jak dla małych, przy których łuki są stosunkowo ostrzejsze i krzywizny krótsze, skutkiem czego zbyt drobiazgowe trasowanie może być przesadą. Dalej jeżeli regulację rzek żeglownych podzielimy na dwie fazy (tak jak ona się w przeważnej liczbie wypadków odbywała), t. j. na pierwszą regulację, t. j. zasadniczą, mającą na celu ustalenie łożyska średniej wody, oraz na regulację uzupełniającą, czyli regulację na małą wodę, (Niederwasserregulierung, Nachregulierung, amélioration en basse eau) to zaznaczyć należy, że stosowanie krzywych o zmiennej krzywiznie ma przedewszystkiem znaczenie przy tej drugiej fazie robót regulacyjnych.

Krzywe przejściowe. Że potrzeba stosowania takich krzywych na wielkich żeglownych rzekach istnieje, stwierdzają to także żądania tak dawniejszych jak i nowszych autorów niemieckich. Już Weisbach proponował użycie zamiast łuku kołowego linii elastycznej, a Hagen¹⁾ proponuje zastosowanie następującej krzywej dla brzegu wklęsłego (rys. 50).



Rys. 50.

Jeżeli B A i G C oznaczają kierunki prostych stanowiących przejście między odwrotnymi krzywiznami²⁾, to te kierunki będą stycznymi do krzywej, którą mamy zaprojektować między punktami A i C. Na podstawie zdjęcia z natury otrzymamy punkty A, C, oraz F, który to ostatni oznacza wierzchołek krzywej projektowanego brzegu wklęsłego, względnie wierzchołek wklęsłej linii trasy, t. j. linii dotykającej projektowanych budowli regulacyjnych (Streichlinie, ligne de direction), a więc skarpy tam regulacyjnych równoległych, lub głów ostróg. Wierzchołek ten obierze się stosownie do warunków lokalnych, a zatem dążąc do jaknajwiększego zbliżenia się do brzegów naturalnych, mając jednak na oku, aby krzywizna nie wypadła zbyt ostra. Hagen przyjmuje równanie krzywej:

$$y = x \cotg \psi - n x^z,$$

w którym według oznaczeń na rysunku ψ jest połową kąta jaki zawierają styczne, x , y oznaczają współrzędne punktów krzywej, współczynnik n i wykładnik z są liczbami stałymi, które trzeba wyrachować. Z powyższego równania tg kąta nachylenia stycznej do krzywej

$$\frac{dy}{dx} = \cotg \psi - n z x^{z-1},$$

$$\text{a krzywizna } \frac{d^2 y}{d x^2} = - n z (z-1) x^{z-2}.$$

¹⁾ Handbuch der Wasserbaukunst, II tom, Berlin 1873.

²⁾ Jako najmniejszy dopuszczalny promień krzywizny wklęsłego brzegu uważa Hagen promień równy pięciokrotnej szerokości.

W punkcie A gdzie $x = 0$, $\frac{dy}{dx} = \cotg \psi$, $\frac{d^2 y}{d x^2} = 0$, a zatem prosta B A jest styczną do krzywej, a krzywizna $k=0$, czyli promień krzywizny $R = \frac{1}{k} = \infty$.

W wierzchołku F jest $x = u$, $y = v$, czyli

$v = u \cotg \psi - n u^z$; tu jednak $\frac{dy}{dx}$ ma być równe zero (styczna równoległa do AC), zatem

$$0 = \cotg \psi - n z u^{z-1}.$$

Z tych ostatnich dwu równań otrzymuje się wartości n i z , wyrażone za pomocą znanych wartości ψ , u , v , a mianowicie:

$$z = \frac{u \cotg \psi}{u \cotg \psi - v}, \quad n = \frac{u \cotg \psi - v}{u^z} = \frac{\cotg \psi}{z u^{z-1}}$$

Promień krzywizny wierzchołka wynosi:

$$\rho = \frac{1}{\frac{d^2 y}{d x^2}} = - \frac{1}{n \cdot z (z-1) u^{z-2}}$$

Przykład. $u = 300$ m, $v = 100$ m, $2 \psi = 120^\circ$, $\psi = 60^\circ$.

Z odnośnych wzorów otrzymujemy:

$$z = 2,366$$

$$n = 0,000101$$

promień krzywizny

$$\text{wierzchołka } \rho = 362,6 \text{ m.}$$

Gdybyśmy trasę ukształtowali jako koło styczne do prostych pośrednich w punktach A i C, otrzymalibyśmy jego promień

$$R = \frac{u}{\cos \psi} = \frac{300}{\cos 60^\circ} = 600 \text{ m,}$$

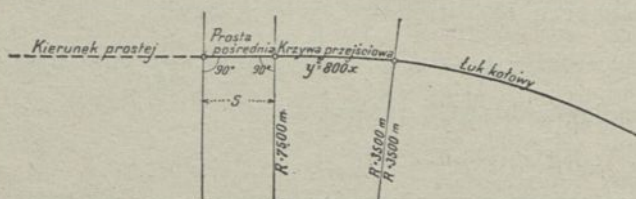
a strzałkę wierzchołka łuku $v' = 80,4$ m,

gdyby natomiast trasą miało być koło przechodzące przez punkty A, F i C to promień jego wynosiłby $r = 474,3$ m.

Stosunek $\frac{\rho}{r}$ wynosi w tym wypadku 0,765.

Zamiast takiej krzywej zmieniającej promień krzywizny od $\rho = \infty$ na przejściu, aż do najmniejszego ρ u wierzchołka, zastosowano na pewnej partji Odry krzyżową przejściową (Übergangscurve, courbe de raccordement) paraboliczną, o równaniu $y^2 = 2 p x$, przyczem za p wstawiano na próbę wartości równe połowie, pojedynczej i podwójnej nor-

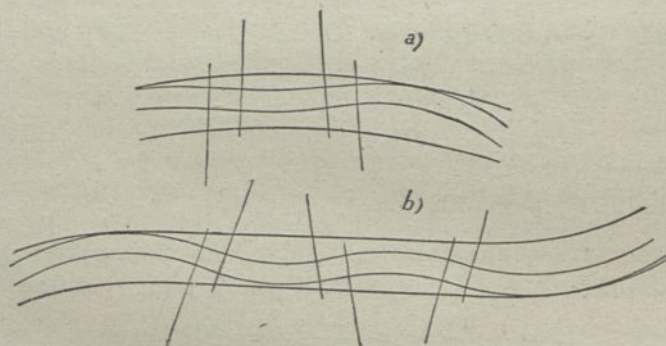
malnej szerokości ($\frac{1}{2} S$, S , $2 S$). Otóż między łuk kołowy a prostą przejściową wstawiano odcinek takiej paraboli, który z jednej strony (po stronie prostej) kończył się w miejscu, gdzie jej promień krzywizny wynosił $20 S$, z drugiej strony zaś (po stronie łuku kołowego), gdzie pro-



Rys. 51.

mień krzywizny zgadzał się z promieniem koła. Badania wykazały, że najodpowiedniejszy jest parametr $p = S$.

Podobny sposób wykształcenia przejścia proponowano także dla dolnej Wisły¹⁾, przyczem parametr p miałby wynosić 400 (zbliżony do S , które wynosi poniżej Drwęcy aż do rozdziału ramion 375 m),



Rys. 52.

zatem równanie krzywej przejściowej byłoby $y^2 = 800 x$. Promień krzywizny paraboli w miejscu zetknięcia z prostą przejściową (jako najodpowiedniejszą długość tej prostej przyjęto normalną szerokość S) przyjęto 7500 m, zaś promienie kół w granicach od 2000 — 3500 m (rys. 51).

Jak widać z powyższego, mamy tu oprócz krzywej przejściowej jeszcze krótką prostą pośrednią. Z powodu wyprostowania biegu skutkiem wykonania przekopów, proste pośrednie wypadają nieraz zbyt

¹⁾ Ehlers „Regulierung geschiebeführender Flüsse, insbesondere der Weichsel“ j. w.

długie; wtedy korzystnie będzie wstawić krzywizny dodatkowe z prostemi pośrednimi, jak to wskazuje rysunek 52.

Jak już powyżej wspomniano, potrzeba stworzenia łagodnych przejść między krzywiznami zachodzi przedewszystkiem przy regulacji rzek żeglownych, a szczególnie troskliwość w tym kierunku jest wskazana przy regulacji na małą wodę. Tu dążność do przystosowania się do naturalnych kształtów rzeki w układzie poziomym, unikanie wszelkiego rodzaju skrócenia naturalnego biegu, a raczej dążność do uzyskania rozwinięcia biegu, wreszcie stworzenie łagodnych przejść na przecięciach zespalają się razem i stanowią podstawowe warunki racjonalnego łożyska małej wody. O robotach tych i kształcie trasy pomówimy w ustępie o regulacji na małą wodę.

Partje dolnych biegów rzek będące pod działaniem przyływu i odpływu morza.

Warunki regulacji są tu odmienne jak w partjach powyżej położonych z powodu tego, że w czasie przyływu kierunek ruchu wody może być przeciwny kierunkowi biegu wody w rzece, nadto w czasie odpływu przepływ jest wzmożony¹⁾. Naturalnie, stosownie do warunków, oddziaływanie przyływu i odpływu morza na przepływ wody w rzece może być silniejsze lub słabsze.

Początkowo, gdy stan morza osiągnie wzniesienie jeszcze nieznaczne, nie następuje zmiana kierunku ruchu wody, tylko spiętrzenie wody w rzece, dopiero przy znaczniejszym wroście stanu morza może się wytworzyć spadek przeciwny do spadku wody w rzece i prąd przeciwnie skierowany. Gdy zaś amplitudy wahań morza w różnych punktach wybrzeży są bardzo różne, doniosłość działania przyływu i odpływu na ujścia rzek może być bardzo różna.

Zasady regulacji ujść rzek do morza (aestuaria) określił Franzius na V kongresie żeglugi śródziemnej²⁾ w następujących zdaniach:

1. Rozmaitość charakteru ujść rzek do morza i ich dolnych partji zawisła jest głównie od stosunku wielkości rzeki do wielkości przyływu przy ujściu; jako extremy występują delty i jednolite lejkowate ujścia, w których postępuje przyływ w górę rzeki.

2. Ujścia rzek bez silnego przyływu nie mogą być regulowane na większą głębokość, jak sąsiadujące, wyżej położone przestrzenie rzeki. Celem przeprowadzenia regulacji trzeba ograniczyć szerokość za pomocą tam równoległych.

1) O przyływie i odpływie morza patrz „Fizyka ziemi“ Rudzkiego, Kraków 1909.

2) W Paryżu 1892 r.; patrz sprawozdanie Webera z r. 1895 j. w.

3. Ujścia rzek o silnym przypiływie można uregulować na głębokość daleko większą jak partje powyżej położone. Zasadą jest tu możliwie szerokie gardło, zwężające się łagodnie w górę, celem wpuszczenia w łożysko rzeki jaknajwięcej wody przy przypiływie. Najważniejszą zasadą jest powiększanie objętości i chyżości w łożysku, przyczem chyżość od góry ku dołowi ma stale wzrastać.

4. Głównymi środkami zmierzającymi do poprawy ujść o silnym przypiływie są: stworzenie jednolitego regularnego łożyska, usunięcie wszelkich przeszkód przepływu, a więc także wysp i ławic piaszkowych, złagodzenie ostrych krzywizn, ujęcie łożyska małej wody niskimi tamami równoległymi (kierownicami), otwarcie dla przepływu wielkiej wody możliwie dużych powierzchni.

5. Przy wykonaniu zaleca się: szybkie wykonanie kierownic, stonkowo powolne wykonanie grobli zamykających, wyjąwszy ich dolne warstwy, szybkie i wydatne przeprowadzenie pogłębienia (bagrowania) w głównym łożysku, zwłaszcza w razie rozdziału ramion, równoczesne rozdzielenie robót na cały obszar objęty regulacją, przyczem jednak przedewszystkiem zająć się trzeba miejscami szczególnie uciążliwymi dla żeglugi; uzyskanie współdziałania rzeki przez odpowiednie połączenie robót regulacyjnych, bagrowania i odkładania materiału wybagrowanego.

Regulacja ujścia Wezery przeprowadzona przez Franziusa w myśl tych zasad wydała znakomite wyniki; głębokość pod Bremą zwiększyła się z 2,75 m na 5 m, później jednak postanowiono zwiększyć jeszcze głębokość o 1 m zapomocą bagrowania. Skutkiem tego statki morskie mogą dopływać aż do nowego portu w Bremie.

Zasadą regulacji było tu stworzenie łożyska zwężającego się w górę od Bremerhaven ku Bremie, ujętego groblami kierującymi i usunięcie wszelkich przeszkód celem ułatwienia wejścia wód przypiływu, jak również stworzenie równocześnie profilu dla małej wody dla cofającego się odpływu, przez co umożliwia się wytworzenie silnego, czyszczącego łożysko z osadów, prądu wody.

Co do prowadzenia nowych linii brzegów kierowano się tu następującymi zasadami¹⁾: Nowe linje brzegów mają być tak ukształtowane, aby fala przypiływu miała jaknajbardziej ułatwiony pochód w rozszerzonym ujściu w górę rzeki, aby jaknajwiększa objętość mogła tam wejść, a podobnie przy odpływie opadająca fala odpływu nie może napotykać przeszkód, wreszcie opadnięcie fali powinno następować jaknajniżej. W ten sposób silna fala odpływu zdoła wykształcić obszerne i głębokie łożysko i w tym stanie je utrzymać. Pierwszem zadaniem korekcji jest

¹⁾ Franzius „Die Korrektion der Unter-Weser“, Lipsk 1895.

zatem wzmoczenie siły prądu wody. Długie krzywizny są nieodpowiednie, gdyż przedłużają drogę jaką fala przyływu przebywa, zmniejszając równocześnie spadek, podobnie nieodpowiednie są krótkie ale ostre krzywizny, gdyż zużywają siłę żywą wody, prócz tego deformują profile, wywołując znaczne głębokości przy brzegu wklęsłym, a małe na wypukłym, oraz wybitne progi na przejściach.

Najgorszy wpływ wywiera istnienie oddzielnych ramion. Franzius zauważa, że odprowadzenie tejsamej objętości wody dwoma łożyskami zamiast jednym, wymaga prawie półtorakrotnego zwiększenia szerokości, przy równoczesnym odpowiednim zmniejszeniu głębokości, a zatem i zmniejszeniu siły żywej wody. Szczególnie niekorzystnym skutkiem rozdziału ramion jest to, że często w jednym ramieniu woda opada przy odpływie szybciej jak w drugim, skutkiem czego następuje powyżej górnego końca wyspy przelewanie się wody z jednego ramienia do drugiego, co znowu wywołuje osłabienie prądu i nieregularności w łożysku. Wreszcie odsypiska i ławice w łożysku powinny być również usunięte, gdyż utrudniają postęp fali przyływu i odpływu.

Do środków korekcji ujść rzecznych w obrębie przyływu i odpływu należą zatem:

1. Stworzenie jednolitego biegu, przez wykształcenie przy rozdzielach na ramiona jednego z nich jako główne i zamknięcie, ewentualnie zasypianie innych.
 2. Usunięcie zbyt długich i zbyt ostrych krzywizn, co da się osiągnąć zapomocą przekopów, lub tylko skopania brzegów wypukłych.
 3. Łagodne zwiększanie przekrojów poprzecznych z góry ku dołowi, a nagle zwiększanie przy dopływach lub szerokich ramionach bocznych.
 4. Stworzenie możliwie wielkiego profilu, a więc jaknajwiększej szerokości między małą a wielką wodą.
 5. Możliwie zwężony przekrój poniżej stanu małej wody, ale o dużej głębokości.
 6. Z uwagi na koszt: jaknajdalej idące uwzględnienie stosunków własności przybrzeżnych gruntów, oraz możliwe zachowanie istniejących budowli ochronnych.
 7. Unikanie ostróg, stanowiących przeszkodę przy przepływie, wykonywanie natomiast kierownic.
-

CZĘŚĆ 2.

Wykonanie budowy.

I. Budowle regulacyjne.

1. Materiały budowlane.

Ponieważ łóżysko rzeki w czasie regulacji, a przedewszystkiem w stadium początkowem podlega zmianom, a przedewszystkiem może uleść znaczniejszemu pogłębieniu, przeto budowle regulacyjne powinny posiadać własność poddawania się ruchom dna rzeki, bez szkody dla całości budowli i celu robót. Wynika z tego, że budowle regulacyjne, zwłaszcza w początkowych okresach regulacji, kiedy następują największe zmiany dna, nie mogą mieć stałego fundamentu, tak jak budowle lądowe, lub bulwary nadbrzeżne. Budowle regulacyjne ujmujące rzekę obustronnie, muszą być wykonane możliwie ekonomicznie, t. j. z najmniejszym nakładem kosztów, wykonanie ich zaś bez fundamentu, z materiałów poddających się ruchom dna, np. materiału faszynowego, lub narzutu kamiennego, jest i pod tym względem najodpowiedniejsze. Wykonanie budowli stalszych, opartych o fundament (np. brukowane skarpy z suchego muru, lub na zaprawie, mury nadbrzeżne) wprowadza się dopiero po ustaleniu się łóżyska, w późniejszym stadium regulacji.

Głównymi materiałami, których się tu używa, są: naturalny kamień i drzewo, inne, jak kamień sztuczny (beton), cegła, żelazo, mają znaczenie drugorzędne.

Materiał kamienny. Najczęściej używa się surowego, nieobrobionego kamienia, w tym stanie, jak został wydobyty z łomu. Kamień ten musi być przedewszystkiem wytrzymały na wpływy atmosferyczne, a więc nie podlegać wietrzeniu, wytrzymały na działanie wody i mrozu, tembardziej, że pewne jego warstwy mogą się znajdować raz pod wodą, raz

znowu nad wodą. Dalej kamień używany do budowli regulacyjnych powinien mieć odpowiedni ciężar. Dotyczy to tak ciężaru właściwego, jak i ciężaru poszczególnych brył kamienia. Kamień o większym ciężarze właściwym jest więcej wartościowy, gdyż prąd wody nie tak łatwo go unosi; taksamo większe bryły nie tak łatwo mogą być przez wodę przesunięte lub toczone, jak drobne kamienie. Stąd też im większa siła poruszająca wody, tem większych brył kamienia trzeba używać; na potokach górskich o spadkach wynoszących kilka do kilkunastu metrów na 1 km, często bryły o wymiarach 1 m³ nie są jeszcze za duże ¹⁾, na Wiśle w Małopolsce (spadek 0,35—0,25%) wystarczał narzut z kamieni o wymiarach od 0,020—0,008 m³, na Cisie zaś odznaczającej się w średnim i dolnym biegu niezmiernie małym spadkiem, używano z dobrym skutkiem na narzuty drobnych odpadków z kamieniołomów.

Kamień lepszy, to znaczy wytrzymalszy na wpływy atmosferyczne i cięższy, powinien mieć bezwarunkowo pierwszeństwo przed kamieniem gorszym, bez względu na cenę; trzeba pamiętać o tem, że budowle regulacyjne, wymagające w zasadzie znacznych kosztów, muszą przetrwać długie lata, a zatem im odpowiedniej i z lepszego materiału je wykonamy, tem skutek będzie pewniejszy, a koszt utrzymania i napraw mniejsze.

Projektując regulację rzeki, trzeba się z góry zorjentować, z jakich kamieniołomów pobierać się będzie materiał i jakich środków transportowych się użyje. Stosownie do obliczonego zapotrzebowania kamienia, należy zabezpieczyć dostawę z kamieniołomów prywatnych, lub otworzyć własne kamieniołomy, przyczem w razie prowadzenia ich we własnym zarządzie, należy ustanowić osobnego fachowego i odpowiedzialnego kierownika ²⁾.

Zależnie od warunków i odległości łomów od rzeki i miejsca budowy przewozi się kamień 1) wodą na statkach, 2) końmi na wozach, 3) kolejką roboczą i 4) koleją żelazną. O wyborze środka przewozu decyduje możliwość zastosowania go, oraz koszt. Jeżeli rzeka jest żeglowna, a łomy leżą blisko rzeki, to transport wodny będzie zawsze najtańszy, transport koleją żelazną jest zwykle najdroższy i stosuje się go w razie braku innego sposobu przewozu. Transport wodą odbywa się nieraz na bardzo znaczne odległości w dół rzeki; z kamieniołomów nad Przemszą i Wisłą powyżej Krakowa przewożono kamień do budowli regulacyjnych

1) Aby zapobiedz porywaniu, łączono poszczególne bryły ze sobą łańcuchami o trzpieniach w nie wpuszczanych, co jednak nie okazało się praktycznym.

2) Jeżeli chodzi o wykonanie wielkich robót, to próby kamienia wydobytego z łomu należy poddać badaniom, najlepiej w odpowiednio urządzonej stacji doświadczalnej. Jak z powyższego wynika, mniej tu będzie chodzić o wytrzymałość na ciśnienie, jak o zbadanie ciężaru i trwałości kamienia.

Wisłą na odległość wzwyż 200 km, galary z tym kamieniem wciągano nawet na kilka km w górę Wisłoki. Narzuty na Dunajcu od Bogumilowic w dół, podobnie jak i narzuty na Wisłoce średniej poniżej Dębicy, wykonywano z kamienia dowiezonego koleją żelazną z łomów pod Ciężkowicami nad Białą. Przy regulacji Białej (dopływ Dunajca) przewożono kamień kolejkami roboczymi na odległość do kilkunastu km.

Odbiór kamienia odbywa się w ten sposób, że ustawia się go w regularne figury prostokątne na brzegu w pobliżu budowli regulacyjnych, albowiem już w kamieniołomie, lub wreszcie na galarach i przez pomiar boków oznacza objętość. Można także odbierać kamień i na wozach kolejowych, co najłatwiej uskutecznić przez zważenie naładowanego wozu, odjęcie ciężaru samego wozu i podzielenie ciężaru ładunku przez ciężar 1 m³ figury kamienia łamanego, który przedtem należy oznaczyć.

Kamień do odbioru powinien być przygotowany we figurach starannie ułożonych, bez nadmiernych miejsc próżnych; przytem pamiętać trzeba, że odpowiednio ułożona figura kamienia łamanego, zawiera na 1 m³ około 65 — 70% objętości kamienia, a 30 — 35% przestrzeni wolnych.

Prócz kamienia łamanego używa się do wykonywania tam regulacyjnych także żwiru lub piasku, wykonując z nich środkową część budowli i wykładając koronę i skarpy narzutem kamiennym lub brukiem; prócz tego żwir stosowano w nowszych czasach w formie budowli, których zewnętrzną stronę tworzy siatka z drutu, (skrzynie siatkowe), a wypełnienie żwir.

Ciężar właściwy, t. j. ciężar 1 m³ wynosi:

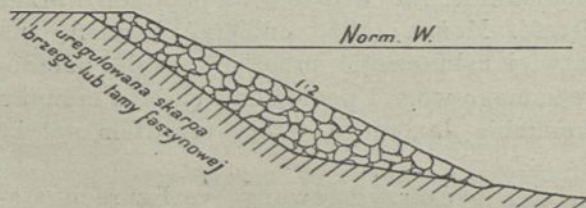
pełnego kamienia (ciosów)	piaskowca	. 2100—2500 kg
„	„	granitowych 2700—2800 „
„	„	wapienia . 2000—2600 „
żwiru . . . . .		. 1600—2300 „
piasku luźnie usypanego . . . . .		. 1250—1350 „
„ ubitego . . . . .		. 1600 „

Użycie kamienia przy budowlach regulacyjnych. Przedewszystkiem służy on w formie narzutu do wykonania całych tam regulacyjnych, które jednak opiszemy później, w formie muru z ciosów, bruku i kamienia łamanego na zaprawie, oraz betonu, przy zabudowaniach potoków górskich, na tem miejscu omówimy tylko dwa dalsze zastosowania kamienia, a mianowicie jako narzut kamienny do podparcia skarp i jako ubezpieczenie skarp.

Narzut kamienny (oskałowanie, Steinwurf, enrochement). Może on służyć do ubezpieczenia i utrwalenia brzegów, aby woda ich nie zrywała, dalej jako podpora skarp brukowanych, wreszcie jako osłona tamy faszynowej od strony wody.

Narzut, jako ubezpieczenie brzegu, wykonuje się w ten sposób, że kamienie leżą luźno na sobie, nie są związane żadnym materiałem pośrednim, wobec czego mogą się poddawać i zesuwać w miarę pogłębienia się dna. Korona narzutu sięga zazwyczaj do wysokości małej wody, lub też jeżeli narzut stanowi osłonę tamy faszynowej, do wysokości jej korony, a więc kilkadziesiąt cm ponad przyjęty stan normalny. (Rys. 53).

Narzut kamienny jako ubezpieczenie skarpy brzegu lub skarpy tamy faszynowej wykonuje się w ten sposób, że najpierw obrzuca się



Rys. 53.

tę skarpe kamieniem na całej wysokości w cienkiej warstwie, a następnie w miarę dokończenia dalszych partji kamienia narzut uzupełnia. Takie stopniowe obrzucanie skarpy ma tę dobrą stronę, że bryły

kamienia układają się według skarpy naturalnej; wykonanie narzutu takiego w warstwach poziomych byłoby błędem. Wykonanie może się odbywać z brzegu lub galaru, zależnie od sposobu dostawy kamienia.

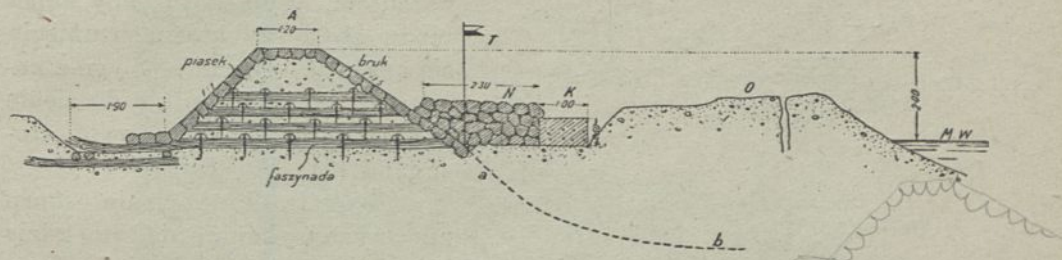
Ważną rzeczą jest, aby skarpa narzutu od strony wody nie była zbyt stroma, zazwyczaj wystarcza pochYLENIE w stosunku 1:2; stromsza skarpa nie jest opowiednia, gdyż po pierwsze poszczególne kamienie mogą się staczać zbyt daleko, powtóre w razie pogłębienia się dna narzut usuwając się odrazu traci stałość.

Kamień łamany na koronie narzutu, a także i na skarpie ponad najniższym stanem wody, układa się starannie od ręki, a nawet wyrównuje używając młotka, a to w tym celu, aby uzyskać większą odporność narzutu, oraz większą gładkość ścian. Ma to szczególnie znaczenie z uwagi na pochod łodów, które tem mniej narzut uszkadzają, im ściany jego są gładsze. W razie podmycia narzutu i obsunięcia się skarpy, należy przez dorzucenie kamienia bezzwłocznie go uzupełnić; dobra i staranna konserwacja budowli jest rzeczą niezmiernie ważną, a wszelkie zaniedbania powodują później nieobliczalne szkody.

Na Wiśle w krakowskim okręgu budowlanym budowano tamy równoległe z kamienia wapiennego jurajskiego o koronie 1 m szerokiej i skarpach pochylonych w stosunku 1:1,5 oraz narzuty przy tamach faszynowych również o koronie 1 m szerokiej i skarpie 1:1,5. Właściwie jednak skarpy tam kamiennych powinny mieć nachylenie 1:2.

Zdarza się, że tamę regulacyjną buduje się na odsypisku żwirowem (rys. 54. przedstawiający przekrój poprowadzony prostopadle do rzeki), mając wyznaczoną trasę (linję przyszłego uregulowanego brzegu)

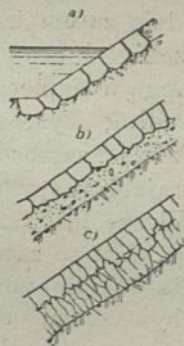
w punkcie T. Tama ta dopiero wtedy zacznie spełniać swe zadanie, gdy rzeka zerwie odsypisko O i zbliży się do tamy. Ponieważ tama budowana była płytko, zatem musimy ją już z góry ubezpieczyć przygotowanym narzutem kamiennym, aby przy podmyciu nie została zerwana. Na Innie ubezpieczenie takie składało się z figury kamienia N ustawionej wzdłuż tamy, oraz z kłoców betonowych K 2 m długich, 1 m szerokich, a 0,5–0,75 m wysokich, ułożonych obok siebie z małymi odstępami. Gdy woda zniesie odsypisko i pogłębi dno przy tamie wzdłuż linii a—b,



Rys. 54.

zesuwają się najpierw kłoc betonowe, a później narzut kamienny, wytwarzając w ten sposób ochronę skarpy. Kłoc betonowe mają tę dobrą stronę, że ograniczają narzut, zapobiegając zbyt dalekiemu zesunięciu się kamienia; z tego powodu są odpowiedniejsze jak walce zatapiane, używane do tego samego celu, o których później będzie mowa.

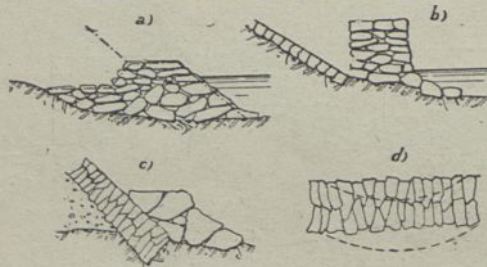
Brukowanie skarpy. Ubezpieczenia skarpy wyższych dokonuje się ponad wodą zapomocą brukowania (rys. 55). Bruk wykonuje się albo na gruncie rodzimym (a), albo na podsypce ze żwirku (b), albo na podkładzie kamiennym (c). Warunkiem stałości bruku jest należyte przygotowanie skarpy, dobre podparcie bruku u stopy (rys. 56), wreszcie odpowiednie wykonanie samego bruku. Dobre wykonanie suchego bruku na skarpie nie jest łatwe i trzeba do tej roboty użyć wyspecjalizowanych robotników, gdyż inaczej w krótkim czasie wystąpią uszkodzenia. Każdy kamień ma być dobrany i silnie między inne wtłoczony, szpary należy szczelnie wybić mniejszym kamieniem; bruk jest wtedy dobry, jeżeli każdy kamień jest nieruchomy i nie można go łatwo z bruku wydobyć. Wypełnianie szpar piaskiem na nic się tu nie przydaje, gdyż nawet woda stojąca przy zmianach stanu wody piasek wypłukuje. Zewnętrzna strona bruku powinna być gładka, zgrubsza młotkiem wyrównana, aby przedmioty płynące i lód o nią nie zaczepiały; stosugi powinny się wznosić w stronę



Rys. 55.

prądu wody z lekka ku górze, gdyż wtedy woda raczej je będzie zamulać, jak wymywać. W miejscach gdzie bruk ubezpiecza ważne punkty brzegu, lub też narażonych na szczególnie silny prąd wody, należy zastosować bruk na zaprawie hydraulicznej.

Na rys. 56 przedstawia fig. a) ubezpieczenie stopy bruku narzutem kamiennym (kamienną opaską brzegu), fig. b) przygotowanie ubezpieczenia, w razie jeżeli w chwili wykonania bruku woda przy brzegu jest płytka, fig. c) stopę bruku silnie w grunt wpuszczoną i ubezpieczoną narzutem. Wyjątkowo, aby zapobiedz zbyt szybkiemu usunięciu się narzutu, wykonuje się go z kamieni podłużnych silnie do siebie przyciśniętych, z pionowymi stosugami (d).

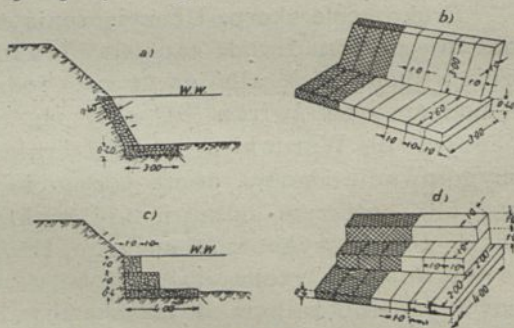


Rys. 56.

Wogóle brukowanie skarp rzecznych wykonuje się tam, gdzie łóżysko rzeki zostało już przez regulację zupełnie ustalone, profil wielkiej wody posiada dostateczne

rozmiary, tak, że brzegi nie doznają w przyszłości zmian. Piękne brukowania wysokich skarp widzieć można na długich przestrzeniach alackiego brzegu Renu między Bazyleą a Strassburgiem.

Ubezpieczenia siatkowe. Tam gdzie kamienia niema w pobliżu, gdzie zatem kamień sprowadzony byłby drogi, a żwir mamy w łóżysku rzeki, dobre usługi oddać mogą ubezpieczenia siatkowe według systemu inżyniera Palvisa, zastosowane w wielu krajach zagranicą, jak we Włoszech, Hiszpanji i Francji. Jest to zatem zastosowanie się do zdrowej zasady, aby celem ekonomicznego wykonania robót, stosować przedewszystkiem materiały jakie są na miejscu; ilość użytego żelaza jest tu stosunkowo niewielka. Jak to przedstawiają rysunki 57 i 58¹⁾, istota tych budowli polega na tem, że tworzy się bloki ubezpieczające, złożone ze skrzyń siatkowych o okach dostosowanych do wielkości ziarn żwiru, wykonane z drutu żelaznego pocynkowa-

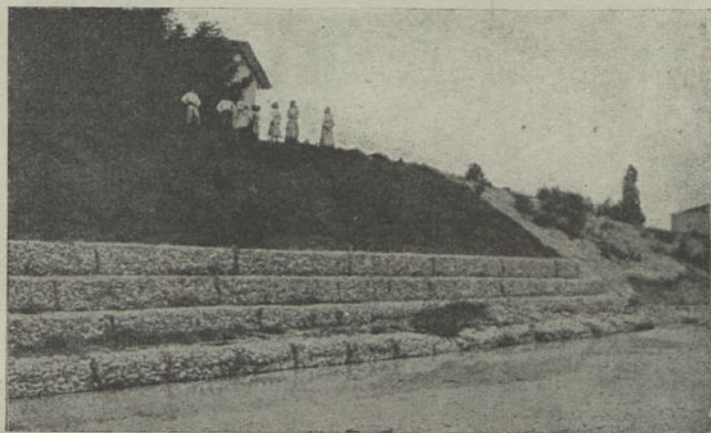


Rys. 57.

¹⁾ Według „Flussregulierung und Uferschutzbauten mit Draht-Schotterbehältern“, broszura wydana przez wiedeńskie przedsiębiorstwo, Tow. z ogr. por.

nego, około $2,8 \frac{m}{m}$ grubości, których krawędzie stanowią żelazne pręty $15 \frac{m}{m}$ grube. Takie pudła siatkowe o otwartej, również siatkowej pokrywie, ustawia się obok siebie i wypełnia żwirem, a następnie wszystkie przyległe krawędzie sąsiednich skrzyń wiąże silnie drutem, tworząc w ten sposób jednolite, ciągłe, jednak podatne ubezpieczenie.

Jako zalety tych budowli podnieść należy: niskie koszty (przed wojną podawano koszt $1 m^3$ budowli na 10 koron), łatwość i szybkość wykonania, elastyczność budowli, skutkiem czego nie pęka przy osia-



Rys 58.

daniu, możliwość prowadzenia budowy i w zimie, przy niskich stanach. Budowle takie mają być długotrwałe, zwłaszcza jeżeli powierzchnie zewnętrzne wyprawimy zaprawą cementową. Jednak i bez tego budowle te utrzymują się podobno dobrze, drut nie rdzewieje, nadto w samej budowlu szpary między ziarnami żwiru wypełniają się w ciągu czasu namulem, a przez to budowla zyskuje na zwężności.

W każdym razie stwierdzić trzeba, że budowle tego rodzaju nadają się raczej do wykonania ubezpieczeń niższych, jak np. tam regulacyjnych, opasek brzegów, ubezpieczeń skarp u spodu, mniej natomiast w zastępstwie bruków wysokich skarp.

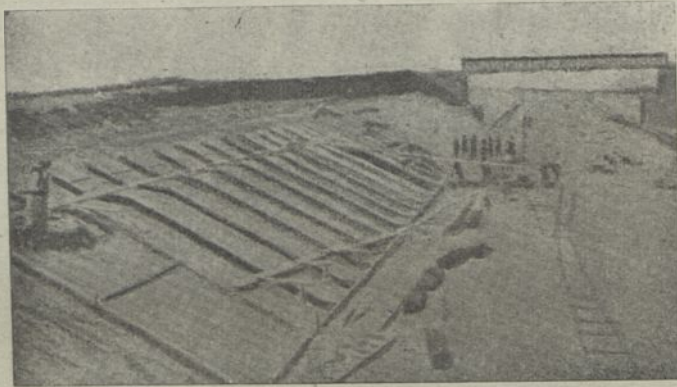
Ubezpieczenia z kamienia sztucznego wykonuje się przedewszystkiem tam, gdzie istnieje brak kamienia naturalnego.

Przedewszystkiem stosuje się płyty betonowe, wyrabiane na miejscu budowy. Płyty te mogą służyć do ubezpieczenia skarpy tamy faszynowej, lub też jako okładzina skarpy brzegu w zastępstwie bruku.

Na rzece Białej (dopływ Dunajca) stosowano do osłony skarp tam faszynowych od strony wody płyty betonowe, lub też żelazno-betonowe (uzbrojone starym drutem). Płyty te o wymiarach boków powyżej

1 metra, kilkunastu cm grubości, zawieszono za pomocą drutu przytwierdzonego do palików na koronie tamy, zachowywały się zupełnie dobrze, były niedrogie i wyglądały ładnie.

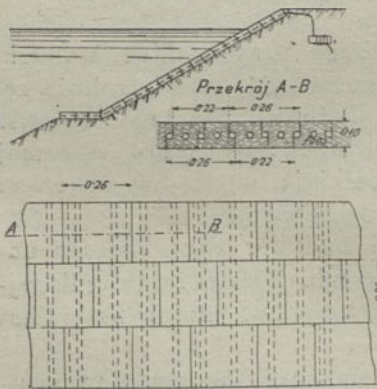
Ubezpieczenie betonem na wielką skalę wykonano przy budowie kanału lateralnego (bocznego) kanalizacji Węławy pod Horzinem (rys. 59¹).



Rys. 59.

Ubezpieczenie dna i boków, które miało zarazem kanał uszczelnić, wykonano z płyt betonowych 20 cm grubości, ubijanych wprost na miejscu ułożenia, po przygotowaniu skarp w nachyleniu 1:2 pod wodą,

a 1:1,5 nad wodą; szpary między płytami wypełniano papą dachową. Płyty miały wymiary w przekopach (grunt żwirowy) $3 \times 3 \text{ m}^2$, w nasypach zaś tylko $1 \times 1 \text{ m}^2$, a to celem uniknięcia pęknięć. Stosunek mieszanki cementu do żwirku z piaskiem był 1:10, a cena wykonania niezmiernie niska, około 15 koron za 1 m^3 betonu, skutkiem czego ubezpieczenie to wypadło taniej jak bruk kamienny.



Rys. 60.

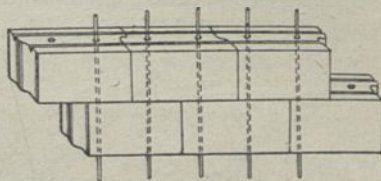
przez ich otwory miedziane albo żelazne pocynkowane druty, jak to wskazuje rysunek. Zaletą jest tu szybkość wykonania i dostosowywanie

Użycie klocków betonowych, lub cegieł dobrze wypalonych, zastosowane jest w systemie „Villa“² (rys. 60). Klocki nakłada się na siebie, przepuszczając

¹) Rubin: „Bau des Lateralkanal“ Ztsch. d. oest. Ing. u. Arch. Ver., Wiedeń 1906.

²) Hdb. f. Eisenbeton tom IV. wyd. II.

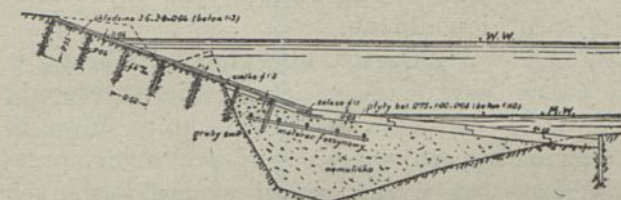
się osłony do ruchów podłoża. Ubezpieczenie to jest jednak zbyt słabe na rzekach o grubym rumowisku i silnym pochodzie lodów. Podobny jest system „Décauville“ (rys. 61), na którego korzyść zanotować trzeba większą szczelność osiągniętą przez to, że podstawy cegiełek mają rowki wzdłuż stosu poziomych. W rowki te wkłada się namoczone w mazi pogazowej liny konopne, które ściśnione ciężarem cegiełek uszczelniają pokrycie. Cegielki są z betonu o mieszaninie 1 : 5.



Rys. 61.

Rozległe doświadczenia dotyczące ubezpieczenia skarpy wykonano przy obwałowaniu Cisy pod Szegedynem¹⁾; potrzebę ich wywołało usunięcie się źle wykonanych bruków na wałach Cisy na znacznych przestrzeniach w r. 1907.

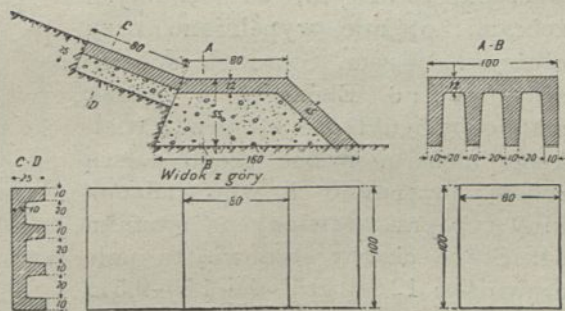
Badania rozciągnięto i na materiały nowsze, jak bitumen, hidrolit, cegłę piaskową, beton żuźlowy, jednak nie mogły one rywalizować z betonem i cegłą. Jako



Rys. 62.

został użyty beton z ostrego czystego piasku, żwiru i 200—250 kg cementu portlandzkiego na m³. Dalej okazały doświadczenia, że najodpowiedniejsze są płyty betonowe o jednolitej grubości i jednolitym ciężarze, niezbyt wielkich rozmiarów, np. 1,20 × 1,50 do 1,60 m, o grubości około 10 cm; większe płyty łatwiej się obsuwają i pękają, skutkiem niejednostajnego podparcia. Nachylenie skarpy powinno być takie, aby nie było parcia na bruk.

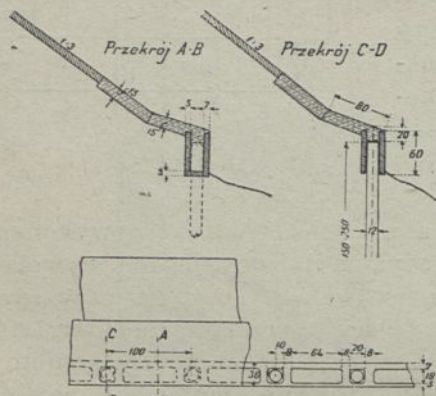
Płyty Moniera. Zastosowano je przy regulacji Elstery i Łaby jako ubezpieczenie brzegu. Poniżej średniej wody dano grube płyty, do których na skarpie przytyka okładzina betonowa 4—5 cm grubości, związana z dolną płytą prętami że-



Rys. 63.

¹ Malina Gyula: „A Partburkolatok“, Budapeszt 1910.

laznymi o średnicy $15 \frac{m}{m}$, wykonana z mieszanki 1:3 i uzbrojona siatką z drutu $1,2 \frac{m}{m}$ grubości, o oczkach $20 \times 25 \frac{m}{m}$, albo drutem $5 \frac{m}{m}$, w odstępach $100 \times 100 \frac{m}{m}$. Okładzina ta przymocowana jest do skarpy za pomocą kotw Möllerowskich w odstępach 0,5 do 0,7 m, a wykonanych



Rys. 64.

jako słupki cementowe 0,55 m długie, 4 cm grubości, z drutem $4 \frac{m}{m}$ grubym; pochylenie skarpy jest w stosunku 1:3 (rys. 62)¹⁾. Zamiast jednak stosunkowo drogich płyt Moniera, można użyć zwykłej okładziny betonowej, wykonanej o stosunku mieszanki 1:10, przytwierdzonej do skarpy za pomocą kotw Möllera; w takim razie celem uniknięcia pęknięcia trzeba dawać stosugi dilatacyjne poprzeczne i podłużne.

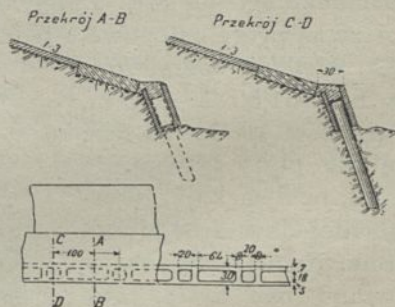
Często ubezpieczenia brzegów wykonane z betonu nie potrzebują zbrojenia żelaznego, które mimo to

się jednak daje, aby płyty uczynić odporniejszymi przy przewozie, przenoszeniu i układaniu. Szereg konstrukcji już więcej skomplikowanych systemu Polivki podaje czasopismo „Beton und Eisen“²⁾.

Ubezpieczenie stosowane na Izerze w Czechach (rys. 63), składało

się z elementów betonowych o długości 1 m, szerokości góra 0,80 m, dołem 1,60 m, wysokości 0,55 m, w środku próżnych, wzmocnionych żebrami; próżnie wypełniano przy ułożeniu żwirem. Stosunek mieszanki był 1:6. Elementy te jednak trudno było układać z powodu wielkiego ciężaru, wobec czego dalszą robotę przerwano i wprowadzono inny typ przedstawiony na rysunku 64. Stopę skarpy stanowią tu pale drewniane 12 cm grubości 1,5—2,5 m długie, zabite w odstępach co 1 m.

Spód skarpy stanowią bloki betonowe $100 \times 60 \times 30$ cm, nasadzone na pale i zaopatrzone w tym celu otworami, oraz posiadające próżnie na żwir, który wsypuje się w nie celem obciążenia. Otwory te zamyka od

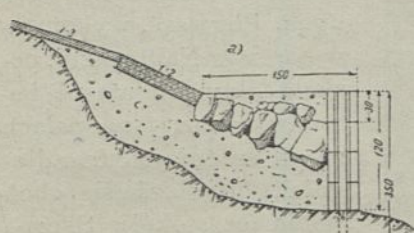


Rys. 65.

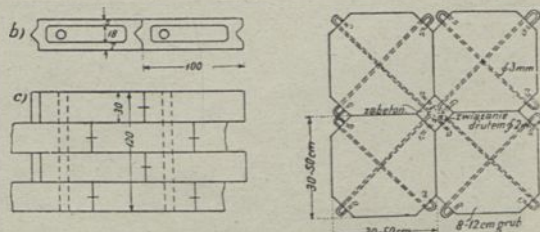
¹⁾ Wiliams: „Flussbefestigungen“.

²⁾ 1916 r.

góry płyta betonowa, stanowiąca oczep dla pali i przejście do ubezpieczenia skarpy, a wykonana na miejscu. Na tej płycie wspiera się dalsze ubezpieczenie skarpy z płyt lub bruku. Zauważyć jednak należy, że ubezpieczenie takie raczej nadaje się do pokrycia skarp koryt sztucznych, np. kanałów żeglugi, jak rzek, gdyż w razie podmycia musi się tu wy-



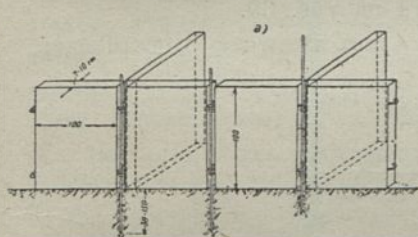
Rys. 66.



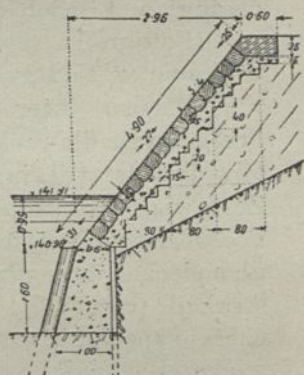
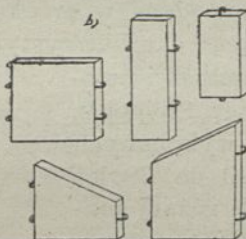
Rys. 67.

konać narzut kamienny. Odmianę tegosamego typu ubezpieczenia, jednak o palach ukośnych i ze zmniejszoną szerokością płyty górnej do 30 cm, podaje rys. 65.

Odrębną konstrukcję podaje rysunek 66. Oparcie skarpy stanowią płyty nasuwane na pale, oraz narzut kamienny; płyty łączą się ze sobą



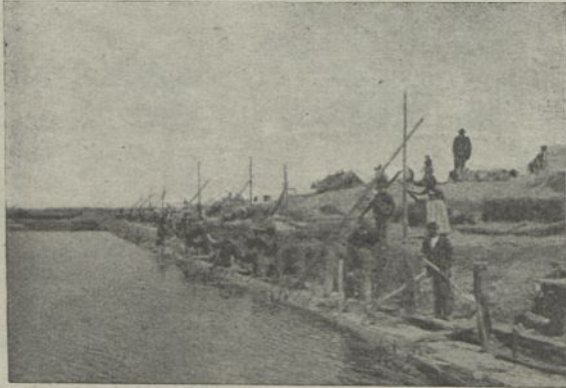
Rys. 68.



Rys. 69.

na wpusty, konstrukcja ta zdaje się być skomplikowana i kosztowna a mało praktyczna. Rysunek 67 podaje konstrukcję płyt do ubezpieczenia skarpy o uzbrojeniu w przekątniach, zapomocą drutu $3\frac{m}{m}$ grubości, który w narożach ściętych tworzy ucha. Po ułożeniu płyt wiąże się ucha wszystkich czterech płyt schodzących się w jednym narożu zapomocą drutu i zabetonowuje otwory dódatkowo. Wreszcie rys. 68 podaje ubezpieczenie z płyt zbrojonych układanych łańcuchowo (system

Brodbeck). Są to płyty betonowe 1×1 m, 7–8 cm grubości, mające druty przechodzące w ucha żelazne z drutu $10 \frac{m}{m}$ grubości. W ucha wchodzi pręty żelazne 20–25 $\frac{m}{m}$, wbite w grunt 0,30–1,50 m. Co 2 m daje się dla wzmocnienia ściankę poprzeczną, a zasięki wypełnia żwirem. Rysunki 69 i 70 przedstawiają ubezpieczenie skarp, stanowiące już przejście do bulwarów murowanych.



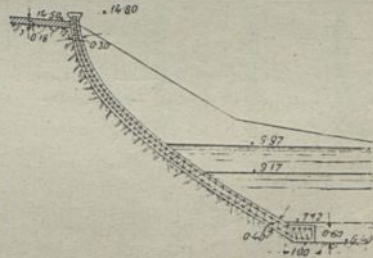
Rys. 69 a.

Pierwsze, wykonane w porcie w Nadbrzeziu, posiada silny fundament betonowy oparty na palach 25 cm średnicy, 3,5 m długości, bitych ściśle obok siebie (częstokół). Skarpa wykonana w pochyleniu 5:4 jako bruk na betonie, zakończona jest płytą ciosową na koronie. Drugie (rys. 70) przedstawia piękne ubezpieczenie skarpy pod Dieppe, dostosowane

do statycznych warunków stałości brzegu (Sprawozdanie z XII kongresu żeglugi w Filadelfji).

Fotografia (rys. 69 a) przedstawia wykonanie muru skarpowego w porcie w Nadbrzeziu, podane w przekroju na rys. 69.

Bardzo interesującą charakterystykę porównawczą ubezpieczeń brzegowych dla rzek górskich i potoków przedstawił inżynier Steiger¹⁾. Zestawia on szereg wykonanych i obserwowanych od 20 do 30 lat ubezpieczeń brzegowych różnej konstrukcji (rys. 71), podając równocześnie spadek I, oraz głębokość największej wielkiej wody T w obserwowanym profilu, tudzież obrachowaną wielkość siły poruszającej, na którą te budowle są narażone, według formuły $1000 T I$ (kg), jak to podaje następujące zestawienie: (Patrz tablica strona 158–159).



Rys. 70.

Autor stwierdza, że najczęściej uszkodzenia ubezpieczeń brzegowych rozpoczynają się u ich spodu przez powstanie miejsc próżnych

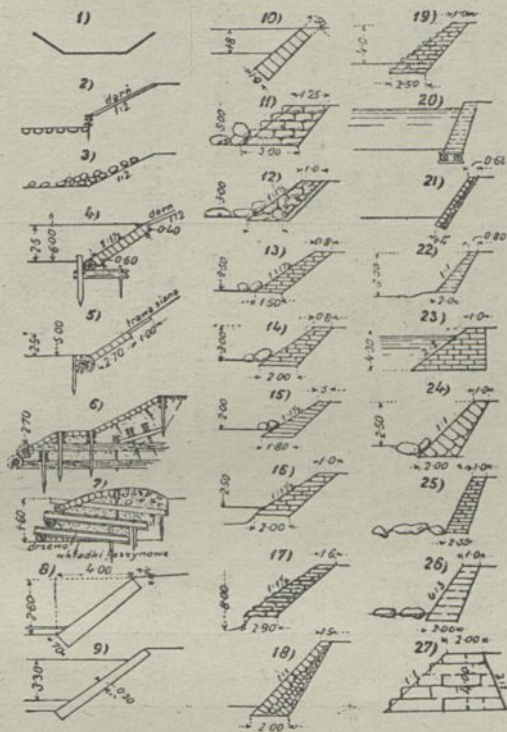
¹⁾ Haltbarkeit der Uferbauten in Bezug auf die Schleppekraft des fließenden Wassers“. Schweizerische Bauztg. 1918.

i podmycie, obserwowano jednak także zrywanie ciężkich płyt koronowych przy przelewaniu się wody. Lekki bruk może być zerwany także i bez podmycia stopy. Wogóle należy tak budować budowle brzegowe, aby małe podmycia dna, nie spowodowały jeszcze ich zawalenia się.

Przy brukach łagodnie nachylonych, spadają w dół poszczególne kamienie, między nimi a resztą muru powstaje otwór, przez który woda może dalej brzeg rozluźniać. Przy lekkich brukach o łagodnym nachyleniu, bardzo dobrze działa danie rusztu drewnianego, który zapobiega usuwaniu się poszczególnych kamieni. Także i przy suchych murach zastosowanie rusztu będzie bardzo stosowne. Płytom betonowym podmycie mało szkodzi, natomiast uszkadza je rumowisko. Mury na zaprawie mogą bez szkody wytrzymać lokalne wymycia, ponieważ jednak sztywny mur nie może się poddawać ruchom dna, zatem przy postępującym podmyciu fundamentu musi się zawalić.

Ponieważ budowle brzegowe zagrożone są najwięcej od spodu, przeto bardzo dobrym zabezpieczeniem ich może być utrwalenie dna przed podmyciem. Stosowano więc brukowanie dna i progi poprzeczne, jednak są to środki bardzo kosztowne, zwłaszcza jeżeli chodzi o długie przestrzenie. Najlepiej nadaje się tu surowy narzut kamienny luźnie nasypyany, przyczem poszczególne kamienie muszą być dostatecznie wielkie, aby stawić opór sile poruszającej wody.

Dobrze działają z uwagi na wytworzenie szorstkości dna poszczególne bloki ułożone w odstępach, jednak wielkość ich musi być bardzo znaczna, co trudniej wykonać, jak ciągły narzut z mniejszych kamieni. Przy filarze mostu na Maggia pod Asconą leżał blok betonowy o wymiarach $2 \times 2 \times 7$, a więc 28 m^3 , stroną podłużną w kierunku prądu wody; woda uniosła go na odległość 300 m poniżej. Autor uważa prócz znacznej siły poruszającej wody jako powód także i to, że przy ukształtowa-



Rys. 71.

Liczba	Grupa (według siły poruszającej)	Rzeka lub potok	Spadek I ‰/100	Głębokość T metrów	Siła poruszająca kg	Rodzaj ubezpieczenia brzegu	U w a g i na podstawie doświadczenia
1	1--5	Różne	—	—	—	nieubezpieczony	przy małych rowach osuszających.
2		Vedeggio pod Agno	2	2,50	5	płatki i darń	utrzymuje się.
3		Karkale pod Gardola (kanał)	5	1,00	5	pokrycie dna i skarpy ryniakami	przy kanale w miałkim piasku utrzymuje się.
4	5—10	Broye pod Avanches	0,9	6,00	5	suchy bruk na podkładce	utrzymuje się.
5		Broye pod Payerne	1,6	5,00	8	suchy bruk na walcu	" "
6	10—20	Sense pod Thärishaus	7	2,70	17	faszynada (pakunek) z wybrukowaniem	" "
7		Emme poniżej Burgdorf	7	2,80	18	konstrukcja drewniana z wkładkami faszynowymi	typ stary, trzyma się dobrze, wymaga jednak dużo drzewa.
8		Inn w górnym Engadinie	5	2,80	14	surowy suchy bruk	przy stałym dnie trzyma się dobrze, zmiany skutkiem uszkodzenia przez mrozy i wypłukania piasku.
9		Reuss pod Seedorf	5	3,30	16	suchy bruk	przy stałym dnie trzyma się dobrze.
10		Poschiavino pod Le Prese	8	1,80	14	suchy mur	" " " " " "
11		Ticino Bellizona	2,4	5,00	12	" "	stosowane przy zmiennym dnie. Spadające kamienie tworzą ubezpieczenie, którego woda nie usuwa.
12	20—30	Vedeggio pod Bioggio	8	3,00	24	ubezpieczenie z luźnych kamieni	utrzymuje się dobrze przy zmiennym dnie.
13		Moesa pod Lostallo	10	2,50	25	ubezpieczenie schodkowe	przy czasowych zmianach dna utrzymuje się dobrze.

14	30—40	Glenner pod Ilanz	12	3,00	36	ubezpieczenie	przy czasowych zmianach dna utrzymuje się.
15		Glenner pod Vals	22	1,50	33	"	przy stałym dnie utrzymuje się dobrze.
16		Landquart w Prättigau	14	2,50	35	"	utrzymuje się, o ile dno się zbytnio nie pogłębi.
17	40 - 50	Maggia pod Locarno	5	8,00	40	ubezpieczenie schodkowe	przy silnym pogłębieniu trzeba często uzupełniać.
18		Plessur poniżej Meiersboden	24	2,00	48	ubezpieczenie	w ostrych krzywiznach doznaje często zburzenia, zresztą utrzymuje się.
19		Brenno pod Dongio	22	2,00	44	ubezpieczenie schodkowe	przy stałym dnie utrzymuje się dobrze.
20	50—100	Linth pod Linthal	23	2,60	60	" strome na ruszcie drewn. (suchy mur)	" " " " " "
21		Schanielabach pod Aschärina	60	1,00	60	beton i bruk kamienny	przy silnym pogłębieniu rozpada się na kawałki; konieczne ubezpieczenie dna.
22		Schanielabach pod Dalvazza	44	1,50	66	ubezpieczenie z suchego muru	zburzone w r. 1910, później zastąpione przez typ poprzedni, z wybrukowaniem dna, lub silnym narzutem.
23		Brenno pod Malvaglia	30	2,00	60	ubezpieczenie z bardzo wielkich kamieni	potrzebne częste naprawy u stopy.
24	100—200	Schächen pod Spirigen	100	2,00	200	ubezpieczenie z wielkich kamieni	dno ubezpieczone blokami. Częste uszkodzenia, trzeba było wbudowywać ubezpieczenie dna.
25		Riale pod Arvigo	250	1,00	250	ubezp. z bardzo wielkich płyt granitowych, porządnie murowanych	dno ubezpieczone blokami. Częste naprawy.
26		Callancassa pod Grono	40	4,00	160	suchy mur z bardzo wielkich płyt	częściowo zburzony, wykonany na nowo na zaprawie, ubezpieczony silnym narzutem u spodu.
27	200—300	Rovana pod Campo Val. Maggia	200	1,00	300	suchy mur wykonany bardzo starannie z wielkich bloków granitowych	dno ubezpieczone wielkimi blokami betonowymi. Nie utrzymuje się należycie.

niu bloku jako równoległoscian prostokątny, powstaje przy przepływie wody z jednej strony ciśnienie odpowiadające wysokości słupa wody, z drugiej zaś strony ciśnienia tego nie ma, gdyż woda okala blok¹⁾. Przy podłużnym zatem ułożeniu bloku i ciśnieniu 6—7 m powstaje poziome parcie równe 28 t, a przy poprzecznym 100 ton; dlatego uważa autor za wskazane stosowanie bloków o krawędziach zaokrąglonych, co w praktyce dało już dobre rezultaty. Dalej w rzezonym wypadku blok betonowy miał pod wodą stosunkowo mały ciężar; przy ciężarze właściwym betonu $2,2 \text{ t/m}^3$ i stracie pod wodą 1 t/m^3 , ciężar wynosił tylko $1,2 \text{ t/m}^3$. Gdyby blok ten był z kamienia o ciężarze właściwym $2,8 \text{ t/m}^3$, ciężar pod wodą wynosiłby $1,8 \text{ t/m}^3$, byłby zatem o 50% większy.

Wielkie bloki betonowe dobrze jest wyłożyć okładką kamienną celem ochrony przed rumowiskiem.

Na rzekach w równinach można użyć zamiast narzutu kamiennego, walca, lub też wypełnionych worków drucianych. Worki druciane stosowne są jednak tylko w tych wypadkach, gdy wypełnienie składa się z niezbyt grubego żwiru, a rumowisko z ziarn nieprzekraczających wielkości głowy, gdyż wtedy druty nie wytrzymują naporu rumowiska.

Materiał drzewny. Do wykonania budowli regulacyjnych, tudzież ubezpieczeń brzegów, używa się także materiału drzewnego w formie faszyn i palików. Zastosowanie to sięga bardzo odległych czasów i było dawniej znacznie więcej rozpowszechnione, gdyż używa się tu materiału rosnącego nad samą rzeką, skutkiem czego budowle wypadają tanio. W obszarach nadbrzeżnych, nisko położonych, kultywuje się wiklinę, która daje wielkie korzyści. Po pierwsze utrwala ona brzegi, chroniąc niskie odsypiska od zniesienia przez wodę, a prócz tego daje materiał do budowli regulacyjnych. Ustawy wodne nakładają nawet na właścicieli gruntów przybrzeżnych obowiązek obsadzania odsypisk i przymuslik rzecznych wikliną, aby utrwalić brzegi poza trasą regulacyjną, a prócz tego przyczynić się do ekonomicznego wyzyskania jałowych żwirowych lub piaszczystych odsypisk, które często z powodu zbyt niskiego położenia i zalewania przez wodę przy stanach niższych, nie mogłyby być poddane pod inną kulturę. Łozy, czyli łęgi nadbrzeżne, dają dalej cenny materiał do wyrobów przemysłowych²⁾, jak wyrobów koszykowych, obrączek na beczki i t. p. co powinno stanowić u nas ważną gałąź przemysłu. Dlatego staranne kultywowanie łożyny i skrzętne

¹⁾ Według autora artykułu nie jest także wykluczone, że woda o chyżości 4—5 m wysłała powietrze poniżej bloku, tak, że ciśnienie jednostronne powiększa się o ciśnienie atmosferyczne.

²⁾ Przed wojną, z powodu taniości naszego robotnika, opłacało się przedsiębiorcom szwedzkim kultywować wiklinę u nas (w dorzeczu Wisły) i przewozić ją do Szwecji dla zakładów przemysłowych.

obsadzanie wszystkich nowo utworzonych odsypisk jest rzeczą niezmiernie ważną i powinno być unormowane przepisami ustawy o policji wodnej.

Wiklina rosnąca w obszarach przyrzecznych powoduje podnoszenie się ich skutkiem zatrzymywania namułu; po podniesieniu się tych obszarów do pewnej wysokości powinna być wiklina usunięta i zastąpiona inną kulturą (łąki, grunta orne), aby przez nadmierne podniesienie się gruntu nie nastąpiło ścieśnienie profilu wielkiej wody.

Do budowy wodnych nadają się tylko niektóre rodzaje sadzonek drzewnych, z których najważniejszą jest przedewszystkiem wierzba (wiklina), faszyny wyrabiane z niej z powodu równości, długości i giętkości prętów, oraz utrzymywania się przez dłuższy czas w stanie świeżym, uchodzą w budownictwie wodnym za najlepsze. Faszyny z prętów wierzbowych nazywają się wiklowemi, z innych drzew (topola, olszyna, buczyna, drzewa szpilkowe) lasowemi; nie nadaje się w zupełności do użycia kruszyna.

Wierzba ma kilkadziesiąt gatunków, z których najważniejszym jest wierzba biała (*salix alba*), należąca do drzew najszybciej rosnących, posiada gałązki włókniste, giętkie. Jej sadzonki rosną prawie na każdym gruncie, nawet na piaszczystych odsypiskach, żwirowiskach i kamieńcach, jeżeli między ziarnami piasku i żwiru jest urodzajny namuł, a grunt posiada dość wilgoci. Rzadszą jest wierzba t. z. czarna, lub czerwona (rośnie nad naszymi rzekami bagnistemi n. p. nad Styrem), a z powodu jeszcze większej giętkości gałązek jest bardzo ceniona i używana w celach przemysłowych.

Przez obsadzanie przymulisk nadbrzeżnych, tudzież odsypisk poza tamami, lub między nimi, powstają t. z. kępy wiklowe, czyli łozy, lub łęgi. W pewnych wypadkach mogą one dać lepsze dochody jak dobry grunt orny. Do najlepszych należą kępy nisko położone, wyższe, z powodu mniejszej wilgotności gruntu nie są tak wydajne. W miarę rozwoju regulacji rzek i przy skrzętnem obsadzaniu wytworzonych przez nie odsypisk (zamuleń, *Verlandung*, *dépôt*, limon, *atterrissement*) obszary kęp znacznie się powiększają; przed wojną wartość roczna materiałów wiklowych otrzymywanych z kęp państwowych i prywatnych w Małopolsce szła w setki tysięcy koron.

Kępa wiklowa tworzy gęsty gaj do kilku metrów wysokości; wiklinę do celów budowy wodnych (do wyrobu faszyn) wycina się w kępach niżej położonych, a zatem bujniejszych, co trzy, w kępach wyższych co 4 lata; paliki wycina się w kępach starszych.

Zagajenia odsypisk rzecznych wykonuje się najczęściej na wiosnę, po zejściu lodów i opadnięciu wód wiosennych, można je jednak wykonywać także w jesieni, od października począwszy. Są różne sposoby sadzenia; jeżeli ma się sadzić pod pług, to bierze się pręty wikliny

w całej długości, jeżeli zaś sadi się pojedynczo, to jako sadzonki używa się prętów wikliny około 1 m długości. Przy ścinaniu sadzonek trzeba uważać aby nie uszkodzić kory, sadzonka bowiem by się nie przyjęła; dalej sadić trzeba pręty zaraz po wycięciu, aby nie uschły.

Sadzić można:

1) pojedynczo, wkładając w otwory wykonane w ziemi żelaznym prętem, do 0,5 m głębokie, w odstępach 0,30—0,40 m, pojedyncze pręty wikliny, pochylając je za wodą,

2) w rzędy, sadząc wiklinę pojedynczo, podobnie jak poprzednio, jednak w otwory uszeregowane w rzędy prostopadle do kierunku rzeki. Odstęp rzędów od siebie wynosi 1—2 m, odstęp otworów w obrębie rzędu 0,1—0,15 m.

3) Sadzonki w gniazda wykonuje się w ten sposób, że w odstępach 1,5—2 m wykonuje się dołki około 0,5 m głębokie i wkłada pęk gałązek (około 10), a następnie dołek zasypuje.

4. Sadzonki w pasma. Prostopadle do kierunku biegu rzeki kopie się rowki około 0,5 m głębokie w odstępach 3—5 m i wstawia w nie pasma świeżych gałązek z wikliny 1 m długości, pochylając za wodą.

5. Sadzonki pod pług. Wyoruje się prostopadle do kierunku biegu rzeki skiby w odstępach 1—2 m i w nie wkłada chrust, poczem pokrywa się go drugą skibą.

Kultury wikliny i wogóle kępy wiklowe z uwagi na swą wielką użyteczność powinny doznawać specjalnej ochrony, zbieranie trawy przez ludność powinno być osobnemi przepisami unormowane, a pasienie bydła w kępach zakazane.

Kultury wikliny mają licznych szkodników, tak w świecie zwierzęcym jak i roślinnym; do pierwszych należą mszyce, pluskwiki, pędraki, turkuć podjadek, jednak praktyczne znaczenie szkód przez nie zrzadzonych jest niewielkie. Gorsze i niebezpieczniejsze są szkodniki roślinne, przytłumiające rozwój kultury wiklowej. Do tych należy przede wszystkim wierzbówka, roślina z wyglądu podobna do wikliny, tylko niklejsza, która nieraz tak się rozkrzewia, że wytępia wiklinę na znacznych obszarach, jak to się już stało w różnych punktach na rozległych kępach nadwiślańskich w Małopolsce. Roślina ta dawniej u nas nieznaną, przywędrować miała ze Szwecji z sadzonkami tamtejszych kultur wikliny. Dalszymi szkodnikami o większem znaczeniu są: miotłowiec, dziki chmiel, powój, kaniańka, ożyna, ostreżyna i chwasty, jak łopuch i oset.

Elementy tam regulacyjnych z materiału drzewnego. Do tych należą:

1) faszyna (Faschine, fascine), którąby można nazwać po polsku wiązką. Jest to wiązka chrustu, jaki został wycięty w kępie (im świeższy, tem lepszy), o średnicy około 30 cm (rys. 72) i długości 3 m. W trzech miejscach jest silnie związana giętkami gałązkami, t. zw. witkami, lub

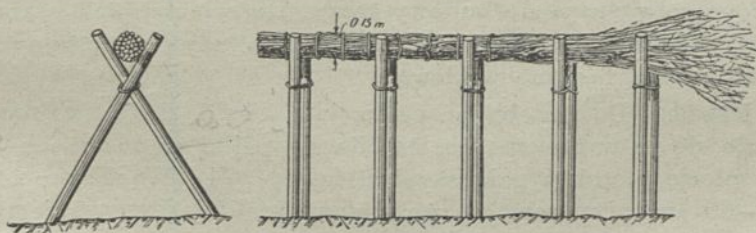
też drutem; drut wiąże lepiej, jednak w obecnych warunkach użycie go do tego celu powinno być wykluczone. Gałązki użyte do faszyn powinny mieć grubość 1—2 cm, prawie jednakową długość około 3 m; składania wiązek z krótszych kawałków nie powinno się dopuszczać. Prócz wiązek wiklowych używa się do tam regulacyjnych także i lasowych; z powodu nierówności gałązek są one gorsze i dopuszcza się je do budowy tam tylko w pewnym procentowym stosunku, razem z wiązkami wiklowymi. Z faszyn (wiązek) tworzy się t. zw. faszynadę, t. j. korpus tamy faszynowej, o czym pomówimy w dalszym ciągu; na 1 m³ faszynady trzeba około 5 wiązek. Jedna wiązka waży około 30—35 kg i niesie ją jeden robotnik.

Odbiór wiązek (faszyn) odbywa się w ten sposób, że układa się je w regularne stosy około 2—3 m szerokie, 2 m wysokie, między zabitymi w ziemię drągami i przez pomiar długości, szerokości i wysokości, oznacza objętość dostarczonego materiału. Przedpotopowy sposób odbioru faszyn w stertach (stosach po 10 kóp = 600 sztuk), zaprowadzony przez władze austriackie w Małopolsce, przyczem kierujący budową inżynier miał obowiązek przynajmniej $\frac{1}{3}$ część stert przerachować, został dopiero na kilka lat przed wojną zniesiony.

2) Kiszki (Würste, saucissons) (rys. 73) są to długie wiązki chrustu służące do wiązania poszczególnych warstw faszynady i do innych celów. Wykonuje się je w ten sposób, że na kozłach wbitych w ziemię w odstępach 1 metra, ścięte się chrust



Rys. 72.



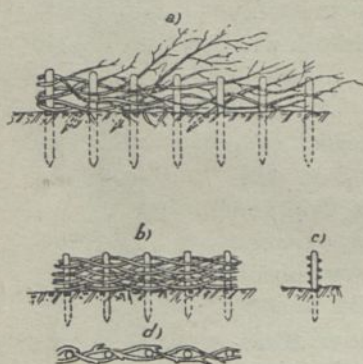
Rys. 73.

z rozciętych wiązek, wysuwając nowe gałązki naprzód i wiążąc powstałą w ten sposób kiszkę w odstępach co 30 cm witką lub drutem.

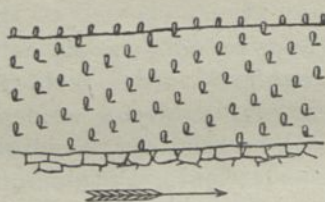
Kieszka taka ma około 15 cm średnicy, a długość normalnie 40 m. Do przeniesienia takiej kieszki do tamy potrzeba 8 ludzi, wobec tego

na mniejszych placach budowy, gdzie jest stosunkowo mało ludzi, robi się kieszki krótsze, 30 lub 20 metrowe. Na kieszkę 40 metrową trzeba zużyć 5 faszyn.

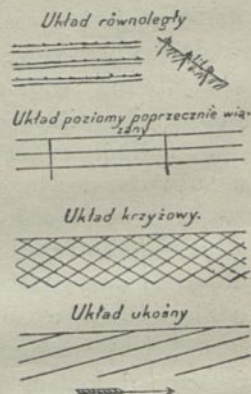
3. Paliki służą przy budowlach faszynowych do przybijania kieszek do warstw faszynady, lub przy obitkach do skarpy. Mają one 1 m długości i przynajmniej 4 cm grubości, odbiera się je w kozłach, złożonych z pewnej ilości warstw o stałej liczbie palików, obok siebie w każdej warstwie ułożonych. Paliki wycina się w kępach wiklowych, nieścina-



Rys. 74.



Rys. 75.



Rys. 76.

nych przez czas dłuższy, aby pręty osiągnęły odpowiednią grubość, albowiem łupie się je z grubszego drzewa. Na 1 mb kieszki przypada 3 paliki, czyli na kieszkę 40 metrową 120 palików; przy budowie tam faszynowych trzeba liczyć na 1 faszynę 2 paliki, czyli na 1 m³ faszynady 10 palików. Tamiarz, czyli majster tamiarski, notuje każdego dnia ile faszyn i palików zużył do budowy tamy. Do wierzchnich warstw tam faszynowych, które mają rosnąć, nie można używać faszyny lasowej, lecz tylko świeżą faszynę wiklową

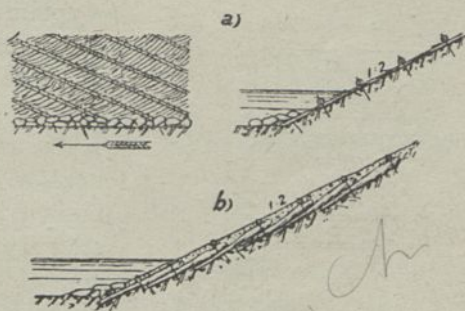
4. Płotki. Do podobnych celów jak kieszki służą także płotki. Wykonuje się je w ten sposób, że bije się paliki w odstępach co 30 do 50 cm i plecie płotek z gałązek chrustu (rys. 74). Wysokość płotka wynosi 30—60 cm, przyczem prawie połowa palika jest w ziemi. Plecie się w jedną stronę dwie gałązki równocześnie, gdy się gałązki kończą, zakłada się nowe przed końcem tychże, aby silniej złączyć plecionkę.

Ubezpieczenie skarpy obitką, wyścielką, lub płotkami.

1. Sadzonki wiklowe (rys. 75) chronią skarpe przy wielkiej wodzie, ale są za słabe przy pochodzie lodów. Sadzi się świeże kolki wiklowe 1—2 cm grubości, około 40 cm długie, zatykając je w otwory zro-

bione w skarpie prętem żelaznym, w rzędach ukośnych skierowanych w górę skarpy.

2. Obicie skarpy kiszkami, które przymocowuje się palikami do skarpy, bijąc między każde dwa wiązania kieszki jeden palik. Tak kieszki jak i paliki powinny być z chrustu świeżego. Układ kieszek może być równoległy, poziomy z poprzecznym wiązaniem, krzyżowy, lub ukośny, jak to przedstawia rysunek 76. Przy układzie ukośnym, kieszki powinny się wznosić łagodnie w kierunku wody, gdyż w takim razie namuły się na nich zatrzymują, w przeciwnym razie wzdłuż kieszek mogłoby następować wypłukiwanie skarpy.



Rys. 77.

Obitka brzegu kiszkami wzmacnia do pewnego stopnia skarpe, ułatwiając osadzanie namułu i umożliwiając porost trawy.

Wyściełka faszynowa polega na wyścieleniu brzegu warstwą rozciętych faszyn (rys. 77 a) i przymocowaniu jej do brzegu zapomocą kieszek i palików, lub płotków.

Chrust układa się na skarpie skośnie w dół wody, górnymi (cieńszymi) końcami w dół, natomiast kieszki wznoszą się w kierunku biegu wody.

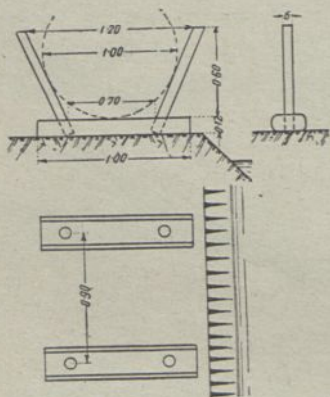
Wyściełka wykonuje się także i w inny sposób, a mianowicie ze związanych faszyn pociętych na kawałki metrowe, wkładanych w rowki kopane na skarpie (rys. 77 b). Faszyny obija się kiszkami i przysypuje materiałem wydobytym z rowków.

Ubezpieczenie murawą. Używając cegiełek darniowych należy stosunki możliwie ścieśniać i unikać dawania ich w kierunku prądu wody; cegiełki przymocowuje się kółkami.

Ubezpieczenia płotkowe. Płotki zastępują obicie kiszkami, są jednak od nich silniejsze. Ustawia się je w odstępach 0,5—1,2 m; prócz płotków poziomych daje się także poprzeczne, wznoszące się na skarpie za biegiem wody w górę. Płotek rosnący przyczynia się do ochrony skarpy głównie przez to, że gałązki układają się za prądem wody wzdłuż skarpy. Gdzie profil przepływu wielkiej wody nie jest zbyt obszerny, tam płotki, a także i obitki, oraz wyściełki rosnące mogą być szkodliwe, gdyż zwężają profil.

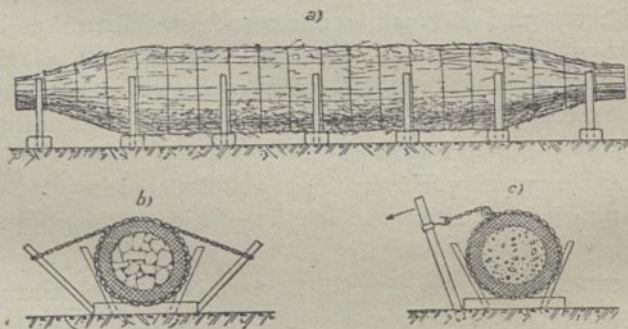
Dalsze elementy służące do budowy tam regulacyjnych. Poza elementami opisanymi powyżej są jeszcze inne, łączące w sobie często materiał faszynowy i kamienny; do tych należą:

1. Wałki, zwane także faszynami tonąciami lub kiszkami nadziewaniami (Sinkwalzen, Senkfaschinen, saucissons). Są to walce różnej długości (zazwyczaj od kilku do kilkunastu metrów), o średnicy zazwyczaj 1 m, wyjątkowo mniejszej (do 60 cm), których zewnętrzną pokrywą stanowi chrust (z rozciętych faszyn), środek wypełnia drobny kamień łamany, lub żwir. Sporządza się je na kozłach ustawionych na brzegu (rys. 78 i 79) lub na galarze, albo też na rusztowaniu na palach bitych w dno rzeki (rys. 80). Pomiędzy skośne pręty kozłów ścięte się wzdłuż pręty z rozciętych faszyn i to w ten sposób, aby odziomki wystawały na zewnątrz, szczyty zaś chowały się wewnątrz walca, przyczem kładzie się pręty z obu końców w przeciwnym kierunku. Wytworzywszy w ten sposób koryto z chrustu mniej więcej półkoliste, sypie się do środka kamień łamany lub żwir, przyczem równocześnie podwyższa boki, wreszcie starannie zakrywa się z wierzchu chrustem. Wałek taki musi być w odstępach 30—40 cm powiązany silnym i giętkim drutem żelaznym ($3\frac{m}{m}$), co następuje przy równoczesnym silnym zduszeniu go. Do tego celu



Rys. 78.

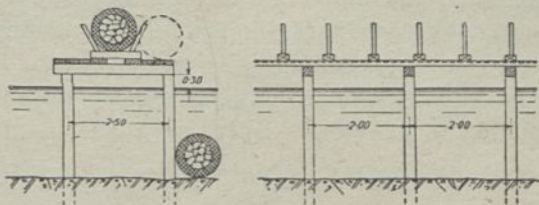
rannie zakrywa się z wierzchu chrustem. Wałek taki musi być w odstępach 30—40 cm powiązany silnym i giętkim drutem żelaznym ($3\frac{m}{m}$), co następuje przy równoczesnym silnym zduszeniu go. Do tego celu



Rys. 79.

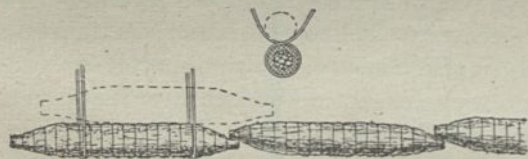
służy łańcuch lub powróż, którym obejmuje się wałek naokół i zapomocą drągów opartych o ziemię się go naciąga (rys. 79 b). Można też użyć łańcucha z bloczkiem, który naciąga się zapomocą drąga (rys. 79 c). Grubość pierścienia faszynowego wynosi 10—20 cm, resztę wypełnia kamień lub żwir. Wypełnienie kamieniem łamanym, zwłaszcza na rzekach górskich, jest lepsze, żwir stosuje się rzadziej i to przedewszystkiem tam, gdzie niema kamienia w pobliżu, aby zmniejszyć koszty.

Jeżeli wałki mają być zrzucane z kozłów na wodę, natenczas wyjmuje się ukośne pręty kozłów z jednej strony i spycha wałek drągami do wody. Aby wałki zrzucone nie zanadto daleko się stoczyły, można przy mniejszych głębokościach ograniczyć ich ruch zapomocą zabitych przedtem pali. Na Izarze w Bawarii przy układaniu wałków podłużnem, jako zabezpieczenie spodu tamy równoległej (rys. 81), obejmowano wałek przy spuszczeniu z obu stron drutem, który trzymali robotnicy na brzegu i w ten sposób przeszkadzano zbyt dalekiemu posunięciu się. Po spuszczeniu pierwszego wałka krzyżowano obie gałęzie każdego drutu, a nowy wałek, który miał leżeć na poprzednim, spuszczano między skrzyżowane gałęzie obu drutów; w ten sposób splecione wałki stanowiły niejako jedną całość. Przy wałku od długości 15—20 m zajętych jest około 9 ludzi i dozorca. Na 1 m³ wałka w średnicy 1 m trzeba liczyć średnio 2 faszyny, czyli 0,4 m³ materiału faszynowego i około 0,4 m³ kamienia łamanego lub żwiru.



Rys. 80.

Wałków takich użyć można jako ubezpieczenie brzegu, lub też do wykonania tam regulacyjnych na wodzie. Zazwyczaj jednak wykonuje się z wałków część podwodną tamy, gdyż chrust pod wodą długo się trzyma, nad wodą zaś butwieje, przyczem wypełnienie się rozsypuje. Zaletą wałków jest, że budowa tamy postępuje szybko, gdyż używa się dużych elementów

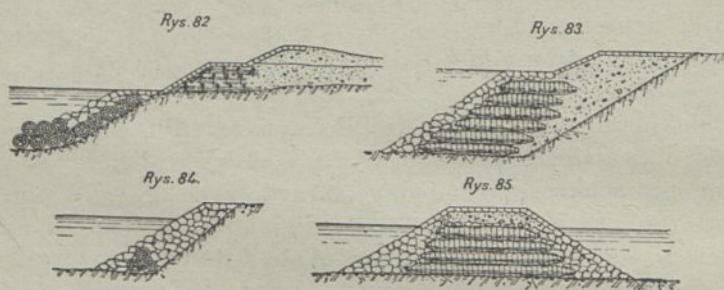


Rys. 81.

osobno przygotowanych; nadają się one szczególnie do wykonania spodu tam na wielkich głębokościach, gdyż powstrzymują pogłębienie dna w czasie budowy, a poddając się łatwo ruchom dna, nie pozostawiają większych pustych miejsc.

Jak to wyjaśniają rysunki 82 do 85, wałków do budowy tam używa się albo w położeniu podłużnem, albo w położeniu poprzecznem; rys. 82 przedstawia ubezpieczenie brzegu wałkami podłużnymi, rysunek 83 opaskę brzegu wykonaną z wałków ułożonych poprzecznie, z narzutem kamiennym i brukiem u góry, rysunek 84 również opaskę brzegu z wałków podłużnych i narzutu kamiennego, wreszcie rysunek 85 tamę równoległą z wałków poprzecznych i narzutu kamiennego.

Tak zwane wałki bez końca, czyli wałki Gumpenberga, stosowane dawniej w południowych Niemczech i w Szwajcarji, należą już dziś do historii, gdyż okazały się niepraktyczne. Były to wałki wykonane podobnie jak poprzednie, ale w sposób nieprzerwany na znacznych długościach; rzucano ich kilka (zazwyczaj trzy, dwa na spodzie, jeden nad nimi), jako podporę skarpy. Przy podmyciu dna przez wodę pękały często, a wypełnienie się wysypywało. Również do starszych typów, które już wyszły z użycia należą kosze zatapiane (Senkkorb, panier bourré de graviér). Były to kosze podłużne o przekroju trójkątnym



lub okrągłym, zwężającym się ku końcom, wypełnione żwirem i kamieniem, mające podobne zastosowanie jak wałki.

2. Płyty zatapiane, czyli materace (Senk=Sinkstück, Matratze, Clayonnage), są to duże elementy z chrustu (materiału faszynowego), używane w budownictwie morskim, oraz na dolnych biegach rzek o bardzo słabym prądzie, do wykonywania budowli regulacyjnych; w Niemczech północnych używają ich i w biegach średnich do wykonania spodu głowic ostróg. Płyty takie mają szerokość 6—20 m, a nawet więcej, długość może być rozmaita, zależnie od potrzeby, grubość zazwyczaj 1 m, choć wykonują je i do 2 m grubości. Sporządza się je albo na podłodze ustawionej na brzegu (rys. 86), albo na pomoście ułożonym na galarach, wreszcie na pływającej tratwie.

Wykonanie płyty na brzegu rozpoczyna się od tego, że brzeg skarpuje się, aby miał pochylenie około 1 : 10, następnie układa się ruszt z belek poprzecznych *p*, nad nim zaś na wałkach w pokład dyli *d*. Na tym pokładzie, który zabezpiecza się od zsunęcia się zapomocą zabitych palików *k*, rozkłada się sieć kiszek podłużnych i poprzecznych (lub też drutów $5\frac{m}{m}$ grubości) w odstępach co 1 m, wiążąc je na skrzyżowaniach zapomocą powrozów, lub też drutów. Sznury te, względnie druty, wyciąga się w górę i przywiązuje do palików *h* wbitych w ziemię.

Następuje wykonanie płyty faszynowej z trzech do czterech warstw faszyn rozciętych, kładąc je prostopadle do kiszek; najpierw warstwa

poprzeczna, potem podłużna i t. d. Faszyzny kładzie się pniami na zewnątrz, a szczytami do środka. Gdy warstwa osiągnie żadaną grubość, układa się na wierzchu drugą taką samą jak na spodzie sieć kiszek, umieszczając jej skrzyżowania dokładnie ponad punktami skrzyżowania sieci dolnej, powrozy od dolnych skrzyżowań silnie naciąga i wiąże nimi skrzyżowania górne. Płyta zatem jest ukończona i stanowi jedną całość, trzeba tylko jeszcze na jej obwodzie ustawić silny płot, który będzie ograniczał materiał obciążający. Dyle d mają na końcach sznury s ,



Rys. 86.

zapomocą których przy spuszczeniu płyty na wodę wyciąga się je z pod niej; taksamo i walce w chroni się przed spłynięciem zapomocą lin l przymocowanych do pali t i owiniętych około walców.

Następuje spuszczenie płyty na wodę, a mianowicie po wyrwaniu pali k płyta stacza się po wałkach i sływa na wodę. Doprowadzenie (splawienie) płyty na miejsce przeznaczenia, gdzie ma być zatopiona, odbywa się zapomocą dwu lub czterech galarów, które ustawia się po bokach płyty i ciągnie ją zapomocą lin podciągowych L , przymocowanych do boków podłużnych płyty w odstępie około 1 m od kraju, odpowiednio wgłąb płyty zapomocą podkładek P zakotwionych. W miejscu zatopienia płyty, galary które wiozą również materiał obciążający ustala się zapomocą kotwic, poczem następuje obciążanie płyty przez wyrzucanie kamienia, względnie żwiru, z galarów na płytę. Najpierw obciąża się płytę przy krawędziach, a gdy się one zanurzą aż do powierzchni wody, należy szybko obciążać środek. Obciążanie i spuszczenie płyty wymaga użycia ludzi doświadczonych i znajomości kierunku prądu; w razie układania większej liczby płyt obok siebie, należy między nimi zostawiać większy odstęp, aby się o siebie nie wspierały. Płyty zatopiane stanowią dobrą podstawę dla tam regulacyjnych, zwłaszcza tam,

gdzie panują duże głębokości, a w czasie budowy prąd pogłębia dno. Przedstawiając wielką i podatną masę, wypełniającą zagłębienia dna, chronią skutecznie przed podmyciem i umożliwiają szybki postęp budowy.

Zanim przystąpimy do omawiania dalszych elementów, oraz opisanie konstrukcji tam regulacyjnych, musimy scharakteryzować systemy regulacji i rodzaje tam regulacyjnych.

2. System regulacji i rodzaje tam regulacyjnych.

Zasady ogólne.

Jakkolwiek w literaturze technicznej spotykamy się z różnemi zaopatrywaniami co do systemu jaki przy regulacji należy stosować, to jednak praktyka ustaliła pewne zasady ogólne, od których przy wykonaniu budowy nie należy odstępować.

Budowle regulacyjne, bez względu na to według jakiego systemu się je wykona, mają za zadanie po pierwsze skupienie rzeki w jednolitem, regularnem łożysku, przyczem ramiona boczne, oraz części odcięte tamami od łożyska, muszą być zapomocą odpowiednich budowli pozamykane, aby rzeka mogła je zamulić, powtórne utworzenie i utrwalenie linii regulacyjnych, wzdłuż których mają się wytworzyć nowe brzegi ograniczające małą, względnie średnią wodę. Te dwa zadania wymagają, aby budowle regulacyjne stawiały odpowiedni opór prądowi wody, aby miały odpowiednią wysokość, wreszcie, aby miały odpowiedni układ w sytuacji, dostosowany do projektowanej trasy regulacyjnej.

Zabudowanie obydwu brzegów. Żądaniu, aby budowle regulacyjne stawiały odpowiedni opór prądowi wody, aby zatem zabezpieczyły rzekę przed opuszczeniem uregulowanego łożyska i przerzuceniem się poza nie, czyni się zadość przede wszystkim przez obudowanie obydwu brzegów. Jak wiadomo, napór wody i erozja przy brzegach wklęsłych są większe jak przy brzegach wypukłych, stąd w pierwszych początkach rozwoju praktyki regulacyjnej sądzono niejednokrotnie, że wystarczy obudowanie tylko brzegów wklęsłych. Tymczasem praktyka dowiodła, że obydwie brzegi wymagają w zasadzie tychsamyh budowli, tylko budowle na brzegu wypukłym mogą być słabsze, o mniejszych wymiarach. Nie wynika z tego, jakobyśmy przy wykonaniu budowy musieli odrazu równomiernie ubezpieczać obydwie brzegi; zazwyczaj ubezpiecza się najpierw brzeg wklęsły, względnie wykonuje budowle regulacyjne przy tym brzegu, a następnie dopiero wykonuje się je przy brzegu wypukłym, jednak obydwie brzegi muszą być ubezpieczone. Konieczność ubezpieczenia obu brzegów wynika również z warunków jakie panują przy wielkiej wodzie; wtedy kierunki nurtu się wyprostowują i nurt

nie jest w zupełności kierowany budowlami regulacyjnymi, tak jak przy małej, lub średniej wodzie, napór na brzegi wypukłe może znacznie się zwiększyć.

W związku z zasadą zabudowania obydwu brzegów przestrzegać należy także zasadę ciągłości zabudowania. Jedna budowla, ani wykonanie tamy na pewnej tylko długości, nie ureguluje jeszcze rzeki, lecz budowle regulacyjne powinny następować po sobie w sposób ciągły.

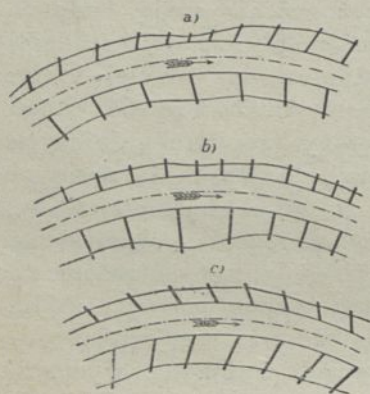
Wysokość budowli. Stosownie do przeznaczenia mają budowle regulacyjne oddziaływać przede wszystkim na przepływ małej i średniej wody, a jaknajmniej przeciwstawiać się przepływowi wielkiej wody. Skutkiem tego powinny być niskie i niewiele się tylko wznosić ponad stan, przy którym mają wodę skupiać. Stąd korony budowli regulujących rzekę na średnią wodę wnoszą się zazwyczaj do wysokości średniej wody, regulujących zaś rzekę na stan niski, do wysokości małej wody, a wyższe wody się przez nie przelewają. Pewne niewielkie wzniesienie ponad te stany przyjmuje się tylko wtedy, jeżeli to jest potrzebne do lepszego wyrobienia łożyska. W praktyce stwierdzono bowiem, że im większą przyjmie się normalną szerokość, tem budowle regulacyjne muszą być wyższe, aby skupiając wodę przy stanach wyższych, wyzyskiwały je do wyrobienia łożyska. Pewne podwyższenie ponad stany niskie jest czasem potrzebne ze względu na ułatwienie wykonania budowy; ten przypadek zachodzi przede wszystkim przy budowlach faszynowych, gdzie ograniczenie wysokości budowli do stanu niskiego, zredukowałoby znacznie liczbę dni roboczych.

Budowle regulacyjne na rzekach niemieckich, jak Odrze, Łabie, Wezerze, Renie, regulowanych na średnią wodę, wnoszono do wysokości średniej wody, budowle regulacji na małą wodę wnoszono do wysokości stanu średniego niskiego. U nas przy regulacji Wisły w Małopolsce przyjmowano koronę tam równoległych 0,5 m, a poprzecznych, które wykonywano tylko w łukach wypukłych i w prostych, przy główicy 0,3 m w ostrych łukach, a 0,5 m w prostych, ponad stan normalny. Ponieważ zaś jako stan normalny przyjęto stan, który wraz z wyższymi trwa 210 dni w okresie żeglugi, więc można powiedzieć, że korony budowli sięgały do wysokości średniej wody, a regulację należy uznać jako regulację na średnią wodę, do tego o nadmiernie wielkich normalnych szerokościach. Na Wiśle, między ujściem Przemszy a Krakowem, przeprowadzono zwięźenie normalnej szerokości w przestrzeniach próbnych, jednak wzniesienie budowli przyjęto według dotychczasowej zasady. Na dopływach Wisły i Dniestru wykonuje się budowle o koronach wzniesionych na brzegach wklęsłych 0,5 m, na wypukłych 0,3, a nawet 0,1 ponad stan normalny, który jest niewiele niższy od stanu średniego.

B h
h

W miarę wykonania budowli regulacyjnych i dokonującego się wyrównania spadków, oraz pogłębiania się łożyska, wykonane budowle stają się często zbyt wysokie, wobec czego zachodzi nieraz potrzeba ich obniżenia, co łatwiej wykonać przy tamach kamiennych jak faszynowych.

Rodzaje budowli i układ ich w sytuacji. Do budowli regulacyjnych należą 1) ostrogi, 2) tamy równoległe, które o ile opierają się o brzegi



Rys. 87.

nazywamy opaskami, 3) poprzeczki, 4) zamknięcia, 5) namulniki i 6) progi; pierwsze dwa rodzaje mają znaczenie zasadnicze i są charakterystyczne dla systemu regulacji. Rozróżniamy system regulacji zapomocą tam poprzecznych, czyli ostróg i system regulacji zapomocą tam równoległych, czyli kierownic. Poprzeczki są to budowle stosowane w łączności z tamami równoległymi, służące do przegrodzenia przestrzeni odciętych od łożyska, zamknięcia służą do przegrodzenia bocznych, opuszczonych ramion, namulniki mają utrwalić odsypiska i wywołać ich

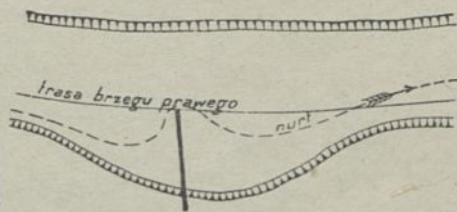
podniesienie, progi służą do utrwalenia dna rzeki regulowanej; konstrukcję ich opiszemy na innym miejscu. O zamknięciach powiemy przy przepokach, o progach przy omawianiu skutków regulacji, oraz w rozdziale o regulacji rzek żeglownych.

System regulacji zapomocą ostróg. Ostrogą (épi, Buhne, Sporn) nazywamy budowlę założoną poprzecznie do biegu wody i kierunku trasy regulacyjnej, rozpoczynającą się w wysokim brzegu rzeki t. zw. wrzynką, a kończącą głowicą przy linii regulacyjnej. Rozróżniamy ostrogi podprądowe (inclinant), prostopadłe (normal, senkrecht) i zaprądowe (déclinant), jak to wskazuje rysunek 87 a) b) c).

Działanie wszystkich tych rodzajów ostróg jest podobne; ostrogi ściśle wzięwszy nie ograniczają w sposób ciągły uregulowanego łożyska, lecz wytwarzają w obu linjach nowych brzegów punkty stałe. Ponieważ jednak przegradzają przestrzeń między nową trasą brzegów (linjami regulacyjnymi) a brzegami i zamykają przepływ wody w tych przestrzeniach przy stanach niskich, a zmniejszają chyżość wody przy stanach wysokich, wywołują zamulenie tych przestrzeni i utworzenie się nowych brzegów. W praktyce najczęściej są rozpowszechnione ostrogi podprądowe, mniej już prostopadłe, a całkiem wyjątkowo zaprądowe, gdyż jak się okazało, zamulenie przestrzeni odciętych następuje przy nich

znacznie powolniej i w znacznie mniejszej mierze jak przy ostrogach podprądowych, a same budowle jak również i brzeg są więcej narażone na zerwanie. Ponieważ głównem zadaniem budowli poprzecznych jest wywołanie zamulenia, więc jeżeli ono nie może być w stosunkowo krótkim czasie spełnione, to mijają się one z celem, a same narażone są na zerwanie.

Ostrogi należą do najdawniejszych typów budowli służących do ochrony brzegów, jakie sobie ludność sama wykonywała, chcąc chronić brzeg przed zerwaniem. I u nas też wykonuje ludność niejednokrotnie przy brzegach t. zw. główki, t. j. krótkie ostrogi z palików, chrustu i żwiru, lub też z płotków, odpychające nurt od brzegu. Jakie jest działanie pojedynczej ostrogi?



Rys. 88.

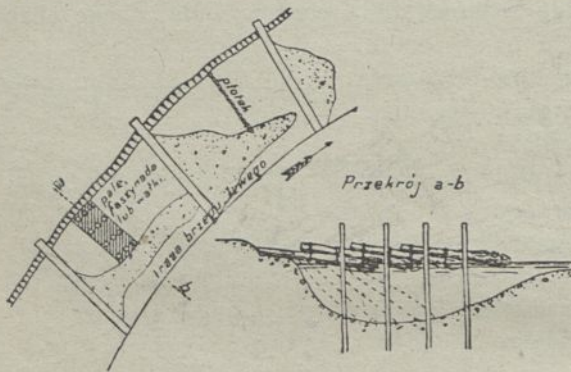
Woda płynąca w przestrzeni rozszerzonej, przegrodzonej ostrogą, napotykając przeszkodę musi się zwrócić i opłynąć ją; w ten sposób ostroga jako tama poprzeczna odbija nurt wody od brzegu, przy którym jest wybudowana. (Rys. 88).

Jak z tego widać jedna ostroga, aniteż nawet cały szereg ostróg, jednak w zbyt dużych odstępach wykonanych, nie uregulują jeszcze brzegu i nie utrwala go; odstępy ostróg muszą być takie, aby ostrogi działając niejako łącznie, zdołały odepchnąć nurt od brzegu i osłabić prąd wody wchodzący między nie, gdyż inaczej prąd ten zamiast osadzać materiał i zamulać przestrzeń odcięte, raczejby skutkiem napotkanego oporu wywoływał działanie erozyjne.

Jak stwierdza praktyka, ostrogi podprądowe wywołują najlepszy skutek co do zamulenia, a nachylenie ich pod prąd ma tę dobrą stronę, że woda przelewająca się nie uderza o brzeg, lecz przelew (prostopadły do tamy) zwraca się ku środkowi łóżyska. Wadą natomiast ostróg jest to, że nie ma tu nieprzerwanego kierowania prądu, ponieważ niema ciągłej linii brzegu, nadto utrzymanie budowli w dobrym stanie jest trudne, gdyż prąd wody odbijany przez ostrogi pogłębia przy ich głowach. Powstają wyboje przy głowach ostróg tak przy brzegach wklęsłych, jak i wypukłych, a główce aby się nie zapadły i nie zostały zerwane, muszą być bardzo silnie wykonane i mieć łagodne skarpy, przedewszystkiem zaś skarpe przednią (czołową).

Z tych powodów ostrogi stosowne są tylko na rzekach nizinnych, natomiast nie nadają się do regulacji rzek górskich o silnym prądzie.

Gumpenberg powiada¹⁾: „Nie ulega wątpliwości, że na rzekach górskich należy unikać bezwarunkowo wykonywania wszelkiego rodzaju ostróg; regułą powinno być wykonywanie ciągłych budowli brzegowych, bez żadnych występów“, a sprawozdanie z robót regulacyjnych bawarskich stwierdza, że w Bawarii prawie nigdzie ostróg nie wykonano²⁾. Natomiast na rzekach północno-niemieckich przeważają ostrogi, gdyż jak praktyka stwierdziła wywołują mniejsze koszty jak tamy równoległe,



Rys. 89.

które wymagają nadto wykonania całego szeregu poprzeczek, celem przegrodzenia przestrzeni odciętych.

Ostrogi mają przytem jedną ważną zaletę polegającą na tem, że w razie nieodpowiedniego doboru normalnej szerokości, można tę szerokość bez wielkich trudności zmienić, a zatem zmniejszyć lub zwiększyć przez przedłużenie lub skrócenie ostróg, co natomiast przy tamach równoległych jest trudne do przeprowadzenia, gdyż wymaga zaniechania tamy z jednej strony.

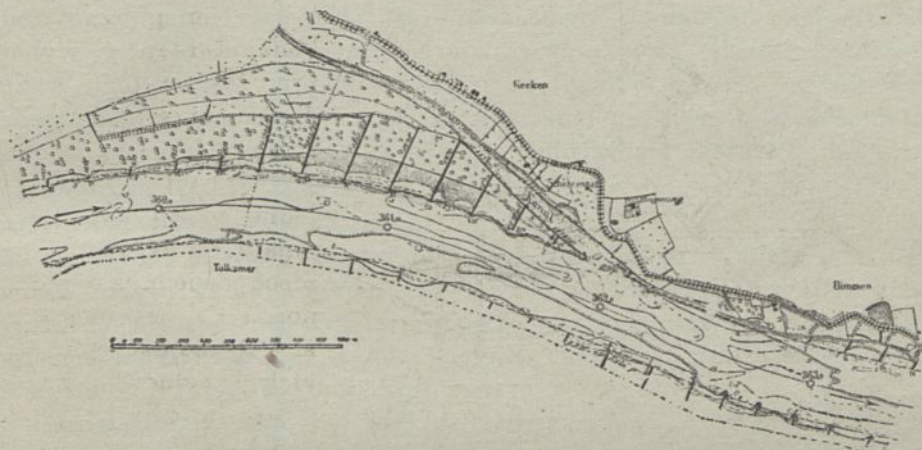
Aby efekt uzyskany zapomocą ostróg był zupełny, powinnyby nastąpić w linii łączącej głowy ostróg ukształtowanie nowej linii brzegu, po zupełnem zamuleniu przestrzeni między ostrogami. To jednak w pełnej mierze nie zawsze następuje i trzeba często efekt zamulenia wspomagać, jak to naprzykład wykonują na Odrze, gdzie między wytworzonym odsypiskiem a starym brzegiem biją pale i między nimi zatapiają przez obciążenie żwirem lub piaskiem warstwy faszynady, walce wypełnione kamieniem lub żwirem, albo też wykonują poprzeczne płotki (rys. 89). Najlepiej jednak, o ile pracuje w danej przestrzeni pogłębiarka (bagier), wypełnić niezamulone przestrzenie materiałem wybagrowanym z łożyska, tembardziej, że nawet przy bardzo dobrem zamuleniu przestrzeni odciętych, jeszcze pozostaną pewne miejsca niewypełnione, zwłaszcza przy trasie brzegu, jak to wyraźnie widać na rysunku 90, przedstawiającym sytuację dolnego Renu³⁾.

¹⁾ Gumpenberg-Pöttmes „Der Wasserbau an Gebirgsflüssen“, Augsburg 1860.

²⁾ Der Wasserbau an den öffentlichen Flüssen in Kg. Bayern“, Monachium 1888.

³⁾ Według dzieła „Der Rheinstrom von Strassburg bis zur holländischen Grenze“.

Gdzie powstaną najpierw zamulenia między ostrogami? Otóż ponieważ ostroga stanowi przeszkodę przepływu przeciwstawiającą się prądami wody, działa przy przepływie wód przelewających się przez nią podobnie jak każdy jaz. Wynika z tego, że normalnie odsypisko powinno się tworzyć po stronie górnej ostrogi, po stronie dolnej zaś woda powinna skutkiem przelewu wybijać dno, z czego wynikałby wniosek, że skarpa ostrogi po stronie dolnej, powinna być łagodniejsza, jak po



Rys. 90.

stronie górnej. Tak często bywa, jednak zdarzają się i wypadki przeciwne; po przejściu wielkiej wody obserwować można nieraz odsypiska po stronie dolnej ostróg, po stronie górnej zaś dno pogłębione, skarpe górną naruszoną, co zwłaszcza widać najlepiej na tamach faszynowych, których skarpa górna jest nieraz podniesiona ku górze¹⁾. Z tego widać, że sposób i postęp zamulania zależy jest od warunków miejscowych i od przebiegu wielkiej wody, a efekt zależy od odstępu ostróg, ich kierunku, wysokości i kształtu głowic, oraz pochylenia skarp.

Engels wykonał w latach 1902—1904 doświadczenia laboratoryjne celem zbadania działania systemów ostróg, różniących się nachyleniem w rzucie poziomym, odstępem, wysokością i kształtem korpusu i głowicy. Doświadczenia wykonano w korycie zakładu doświadczalnego w Dreźnie, przyjmując spadek $i = 0,00234$, który następnie pod działaniem przepływu wody na dno zmniejszył się na $i' = 0,00126$, objętość wody maksymalna wynosiła 31,1 lt/sek, dno łożyska wypełniono piaskiem od 1,2 do 0,1^{m/m} średnicy, normalną szerokość przyjęto 76 cm, koryto proste,

¹⁾ Takie skutki obserwował autor na całym szeregu ostróg wykonanych na dolnym Dunajcu.

lewy brzeg bez ostróg, prostolinijny, sięgający ponad stan przyjęty jako wielka woda, na prawym natomiast wykonano ostrogi, których długość od głowicy do brzegu wynosiła 40 cm. Najpierw obserwowano w jaki sposób dostają się cząstki materiału ruchomego do przestrzeni między ostrogami. Otóż skonstatowano, że ziarna materiału dostają się do tych przestrzeni tylko od strony głowy ostrogi górnej; woda przelewająca się przez korony ostróg porywa za sobą spokojne dolne warstwy wody między ostrogami, równocześnie zaś płynie nad dnem prąd wody od strony głowicy, który porywa ziarna materiału złożone w wyboju przy głowicy ostrogi i unosi je w stronę brzegu. Wobec tego ważną jest rzeczą, aby prąd ten mógł bez przeszkody wpływać w pole między ostrogami. Pozatem wyniki doświadczeń były następujące:

a) Co do kierunku ostróg doświadczenia potwierdziły zalety ostróg podprądowych, przyczem zauważono, że im większy kąt pochylenia pod prąd, tem efekt zamulenia był korzystniejszy. Przy kącie nachylenia 45° , osady zbliżyły się najwięcej do wrzynek ostróg przy brzegach. Jednak tak znaczne odchylenie ostróg powoduje znowu zwiększenie ich długości i koszta, skutkiem czego Engels uważa kąt nachylenia kierunku ostrogi ze styczną do trasy brzegu wynoszący 70° jako odpowiedni, przyczem stwierdza, że korzystnem byłoby odgięcie końca ostrogi od strony głowicy jeszcze więcej pod prąd tak, aby styczna początkowa była nachylona pod kątem 45° , co nie powiększyłoby znacznie długości.

Zauważyć należy, że kąt nachylenia ostróg w praktyce waha się między 70 a 80° , tak na przykład ostrogi na Odrze są nachylone do stycznej trasy brzegu pod kątem $78^\circ 42'$, którego $\cotg = \frac{1}{5}$.

b) Co odstepu ostróg, w sprawozdaniu wyrażono tylko zapatrywanie, że nie jest wskazane, aby odstęp ten był większy od normalnej szerokości. Ten wniosek wynika jednak raczej z obserwacji w naturze, jak z experymentu, gdyż wątpić należy, czy experyment może dać pod tym względem jakiegokolwiek wskazówki. W praktyce rzeczywiście nie można stosować odstępów większych jak normalna szerokość, często jednak stosuje się znacznie mniejsze¹⁾, gdyż im ostrogi są gęściej rozstawione, tem efekt zamulenia lepszy, a ostrogi zbyt szeroko rozstawione nie uregulują rzeki. Dlatego w praktyce prócz powyższej zasady znaną jest także inna, a mianowicie, że odstęp ostróg powinien być dostosowany do ich długości i równać się mniej więcej ich długości. Zasada ta ma uzasadnienie praktyczne, gdyż wąskie przestrzenie odcięte najtrudniej się zamulają. Zresztą na każdej partji rzeki trzeba najko-

¹⁾ Na Renie dolnym odstęp ostróg wynosi 100, 150 m do 200 m, przy szerokości, normalnej około 300 m, na Wiśle dolnej 100—250 m przy szerokości normalnej 375 m.

rzystniejszy odstęp ostróg oznaczyć praktycznie, gdyż zależy on od warunków lokalnych, spadku rzeki, intensywności wielkich wód, oraz ruchu materiału. W każdym razie, przy obudowaniu łożyska obustronnem zapomocą ostróg, na brzegu wklęsłym należy dać odstępy mniejsze, jak na wypukłym.

c) Co do nachylenia skarp, to doświadczenia okazały wielką korzyść założenia stromej skarpy od strony dolnej wody, a łagodnej od strony wody górnej, gdyż łagodna skarpa dolna utrudnia zamulenie pól między ostrogami; naturalnie, że niezależnie od tego skarpy muszą mieć takie nachylenie, jakie wymagane jest ze względu na stałość tamy. Spostrzeżenie to zgadza się zatem z zapatrywaniem wyrażonem poprzednio co do nachylenia obu skarp, a zatem racjonalnym jest przekrój poprzeczny ostrogi o łagodniejszej skarpie górnej, a stromszej dolnej, jak to zresztą wykonano na Wiśle dolnej (skarpa od strony górnej wody 1:2—1:1, skarpa dolna stroma, aż do 1:0,5), podczas gdy ostrogi faszynowe na Łabie i Odrze mają obydwie skarpy nachylone w stosunku 1:1.

d) Co do nachylenia skarpy czołowej głowicy spostrzeżono, że im łagodniej nachyloną dano skarpe, tem wyboje więcej oddalały się od głowic ostróg i tem były dłuższe i płytsze, naodwrot zaś przy stromej skarpie wyboje tworzyły się tuż przy głowicy i były krótkie a głębokie. Gdy zaś połączenie się wybojów przy głowach ostróg mogłoby wytworzyć jedną ciągłą rynnę, a zatem osobne rynny i nurty przy obu brzegach, uważa Engels strome przednie skarpy ostróg jako odpowiedniejsze, twierdząc, że za nimi przemawia i to, że zamulenie w razie zastosowania stromych głów następuje łatwiej. Taki wniosek nie może być uważany za słuszny, tembardziej, że praktyka doszła do zupełnie innych rezultatów. Stroma skarpa przednia jest nieodpowiednia już z uwagi na samą głowicę ostrogi, gdyż wywołuje głębokie wyboje, narażając ją na zapadnięcie się i zerwanie. Powtórne ukształtowanie się profilów, wyrobienie się głębokości wymaga, aby czołowa skarpa ostrogi była jaknajłagodniejsza. Przez złagodzenie tej skarpy dąży się do uniknięcia tworzenia się wybojów, a gdzie one się jeszcze tworzą, tam zabudowuje się je często jeszcze zapomocą niskich progów stanowiących przedłużenie ostróg¹⁾.

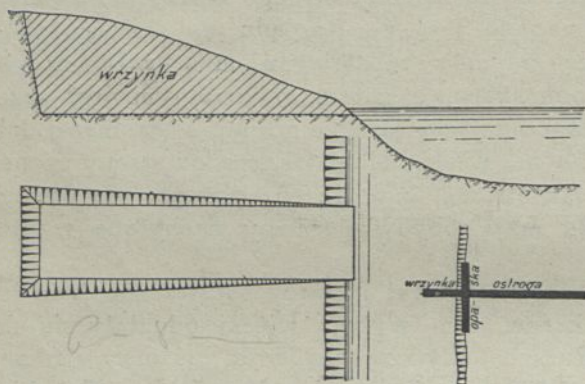
Na Łabie dawne ostrogi miały nachylenie skarpy czołowej 1:3, później zmieniono to nachylenie na 1:5. Takiesame nachylenie skarpy czołowej mają również i ostrogi na Odrze, oraz na dolnej Wiśle.

Co do szerokości korony ostróg, to jest ona na różnych rzekach różna, zależnie od wielkości rzeki, spadku, głębokości, wogóle od siły

¹⁾ Zwłaszcza przy regulacji na małą wodę.
Regulacja rzek.

prądu i musi być praktycznie wyznaczona. Również ma tu wpływ rodzaj materiału, a także i to, czy zamulenie postępuje szybko, czy też powolnie.

Ostrogi wykonuje się a) z materiału faszynowego, przyczem jednak głowica otrzymuje zwykle ubezpieczenie kamienne, b) z materiału kamiennego, c) z kamienia i żwiru, przyczem kamień stanowi pokrycie zewnętrzne (skarpy i bruk na koronie), a żwir wypełnienie. Ostrogi faszynowe na Odrze mają koronę 2—2,5 m, na dolnej Wiśle 4 m szeroką;



Rys. 91.

na Wiśle w Małopolsce wykonywano ostrogi faszynowe o szerokości korony 3 m. Ostrogi kamienne na Wezerze (w górnej partji) miały koronę o szerokości 1 m, skarpę górną 1:1 dolną 1:2 nachyloną. Podobny przekrój poprzeczny mają ostrogi na Wiśle górnej między ujściem Soły i Raby, korona 1 m szeroka, skarpy obustronne nachylone 1:1.

Korona ostrogi wznosi się zazwyczaj łagodnie od strony wody ku brzegowi wysokiemu; wzniesienie to u krótszych ostróg może być większe jak u dłuższych i wynosi zazwyczaj od 1:50—1:100, wyjątkowo 1:25.

Każda ostroga musi otrzymać silną osadę w wysokim brzegu, co uskutecznia się przez t. zw. wrzynkę, czyli skrzynię. Wrzynka stanowi wkop w brzeg, u spodu tak szeroki jak korona ostrogi, o skarpach stromych, sięgający w ląd od kilku do kilkunastu metrów; im brzeg jest wyższy, tem wrzynka może być krótsza. W tę wrzynkę, czyli skrzynię, wsuwa się niejako tamę, rozpoczynając budowę tamy od wypełnienia materiałem wykopanej w brzegu skrzyni. Aby jeszcze lepiej ubezpieczyć nasadę tamy, daje się przy brzegu często jeszcze krótkie opaski powyżej i poniżej wrzynki (rys. 91).

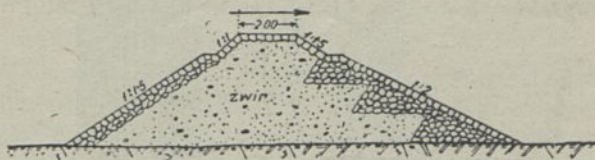
Te zarządzenia mają za zadanie zabezpieczyć ostrogę przed obejściem przez wodę od strony lądu, co mogłoby nastąpić, gdyby woda zerwała brzeg u nasady ostrogi.

Jeżeli wykonuje się ostrogi obustronne, to końce ich mogą leżeć naprzeciw siebie, albo też się mijać; obydwa sposoby były w praktyce stosowane.

Jeżeli się ma wykonać cały szereg ostróg, to rozpoczyna się budowę od ostrogi najwyżej położonej, poczem kolejno przechodzi się do następ-

nych. Ma to tę dobrą stronę, że po wykonaniu pierwszej ostrogi, woda osadza materiał ruchomy poniżej, spływając pole, które ma być zabudowane dalszemi ostrogami, skutkiem czego wypadają one niższe, a zatem mniej kosztowne.

Rysunki 92 i 93 przedstawiają typy ostróg na Renie dolnym. Pierwszy z nich, o dwumetrowej koronie, przedstawia ostrogę ze żwiru i kamienia, drugi o koronie pięciometrowej, nie posiada nawet całej zewnętrznej strony ubezpieczonej kamieniem, lecz tylko bruk na szerokości 1 m korony i skarpie dolnej, oraz narzut kamienny po stronie dolnej.



Rys. 92.

Rysunek 94 przedstawia typ ostrogi używany na Odrze, powszechny zresztą na rzekach północno-niemieckich.

Na Odrze buduje się do głębokości 2 m pod średnią wodą z faszynady, przy większych głębokościach zabudowuje się spód płytami zatapaniami, czyli materacami.

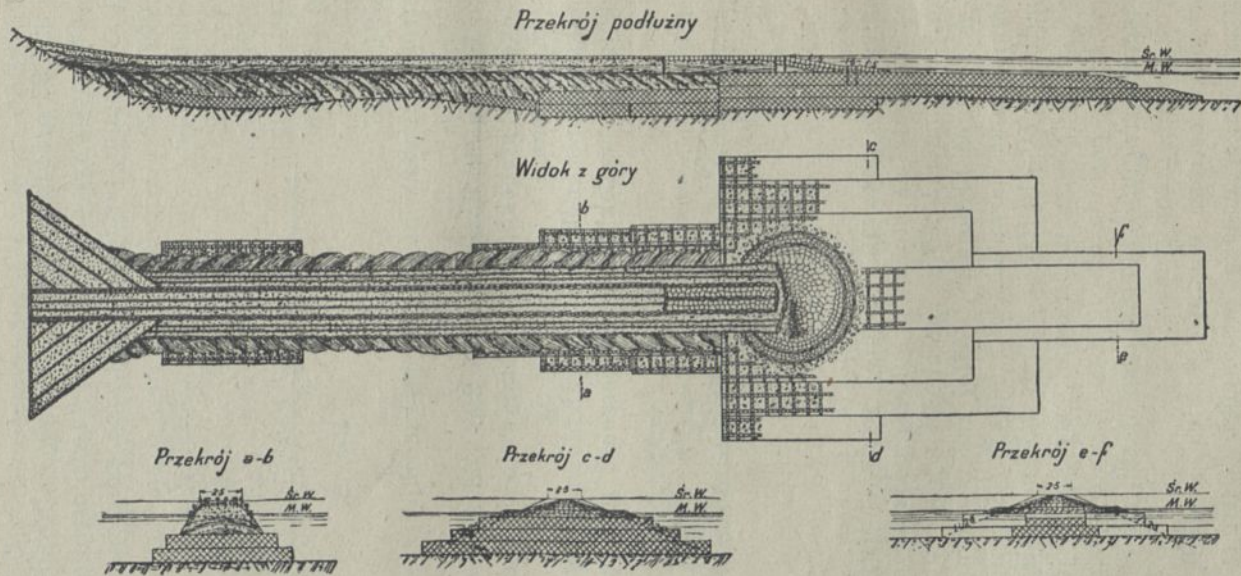
Jak to wskazuje rysunek 94 a—f. zabudowano tu głębsze miejsca materacami około 1 m wysokimi, o powierzchni 10 m w kwadrat. Głó-



Rys. 93.

wica ostrogi sięga do poziomu średniej wody i otrzymuje bruk kamienny ułożony w kształcie stożka o kolistej podstawie, otoczony kolistymi płótkami. Korona ma 2,5 m szerokości i jest po stronie główicy na długości 5 m również brukowana, dalej zaś w stronę brzegu na długości 20 m ubezpieczona narzutem kamiennym. Korona wznosi się ku brzegowi w spadku 1:50—1:100, a skarpy boczne mają nachylenie 1:1. Reszta korpusu ostrogi, poza materacami, wykonana jest z faszynady. Przy wejściu w brzeg posiada ostroga po stronie górnej i dolnej trójkątne ubezpieczenia brzegu, wykonane jako obitki, zabezpieczające osadę ostrogi przed obejściem przez wodę.

Część przednia ostrogi między główicą a wodą stanowi t. zw. występ ostrogi (Vorlage, couche prolongée). Ostroga właściwa kończy się główicą o skarpie czołowej 1:4—1:5, ograniczając profil śred-



Rys. 94. (a-f).

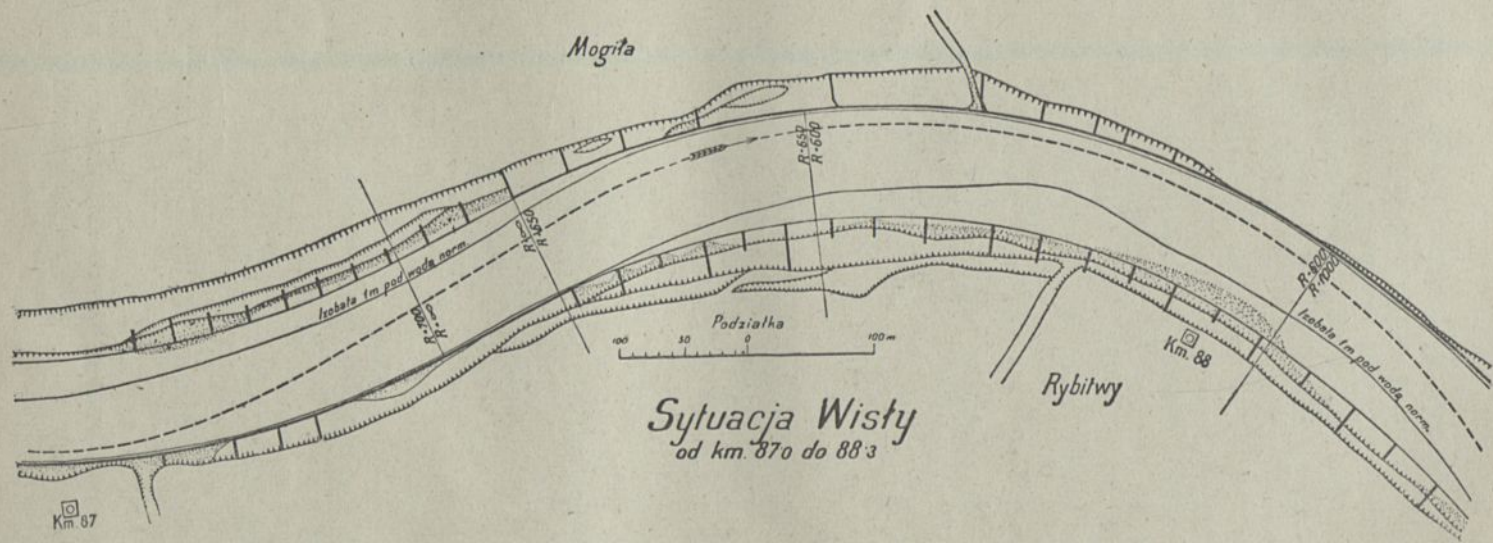
Natomiast pod innymi względami tamy równoległe wykazują w porównaniu z ostrogami szereg stron ujemnych, do których należą:

1) Obustronne ujęcie rzeki tamami równoległymi zbliża ją do pewnego stopnia do łożysk sztucznych, stwarzając profil niejednokrotnie pod względem hydraulicznym zbyt korzystny, a zatem o zwiększonej chyżości, zmniejszonych oporach ruchu i zwiększonej erozji. Skutkiem tego trudniejsze jest przy tym systemie dostosowanie się do naturalnych kształtów i właściwości rzeki, łatwo zaś można ją „przeregulować“, to znaczy stworzyć łożysko podobne do sztucznego kanału, w którym rzeka utrzymać się nie może, zwłaszcza jeżeli obierze się zbyt małą normalną szerokość.

2) Zamulenie przestrzeni odciętych jest przy zastosowaniu tam równoległych trudniejsze i postępuje powolniej jak przy zastosowaniu ostróg, a to z tego powodu, że tamy równoległe zamykają materiałowi ruchomemu drogę do tych przestrzeni odciętych, a zatem dostawać się tam może tylko materiał drobniejszy (piasek, namul), który woda przy stanach wyższych przenosi ponad tamy i poza nimi w mniejszych o zmniejszonej chyżości osadza.

3) Regulacja zapomocą tam równoległych jest w zasadzie kosztowniejsza, gdyż oprócz samych tam równoległych, trzeba poza nimi wybudować celem przecięcia prądów bocznych i ułatwienia zamulenia budowle poprzeczne (poprzeczki, Querbauten, Traversen, traverses), jak to wskazuje rysunek 95. Jeżeli mówiąc o zabudowaniu łożyska ostrogami stwierdziliśmy, że korzystnie jest zasypywać materiałem wybagrowanym z rzeki przestrzenie odcięte, to tembardziej odnosi się to i do systemu tam równoległych, poza którymi, zwłaszcza na brzegach wklęsłych, zamulenie następuje znacznie powolniej. Zwłaszcza zamulenie wąskich a długich przestrzeni odciętych postępuje bardzo powoli, gdyż tu woda przepływając przy wyższych stanach wzdłuż tych rynien, wypłukuje materiał poprzednio złożony. Takie wąskie przestrzenie odcięte muszą otrzymać poprzeczki gęsto rozstawione, gdyż inaczej nie wywołają zamulenia.

Podana przez Hochenburgera zasada, że odstęp poprzeczek na rzekach górskich powinien równać się potrójnej do pechowornej normalnej szerokości, nie wytrzymuje krytyki; zależy on wprawdzie od charakteru rzeki, ilości poruszanego przez nią materiału ruchomego, ale w każdym razie nie może być tak znaczny. Przy regulacji rzek w Małopolsce, tak na rzekach głównych, a więc Wiśle i Dniestrze, jak i na ich dopływach, jako najodpowiedniejszy okazał się dla poprzeczek dłuższych odstęp równy w przybliżeniu ich długości, dla krótszych zwiększający się do podwójnej ich długości. Można z początku dawać odstępy większe, a następnie w miarę potrzeby wykonywać poprzeczki pośrednie.



Rys. 96.

4) W razie obrania nieodpowiedniej, a więc zbyt dużej, lub zbyt małej normalnej szerokości i uregulowania według niej łożyska, przeprowadzenie zmiany normalnej szerokości jest przy systemie tam równoległych trudne do przeprowadzenia i wywołuje potrzebę zaniechania, względnie usunięcia tamy równoległej z jednej strony i wybudowania nowej, co powoduje nowy koszt. Ten ostatni wzgląd był powodem, że na kongresie żeglugi śródziemnej odbytym w r. 1888 we Frankfurcie nad Menem, zaproponował Schlichting dla rzek, których normalnej szerokości nie ustalono jeszcze dostatecznie pewnie, zastosowanie systemu mieszanego, polegającego na tem, że na brzegach wklęsłych miały być wykonane tamy równoległe, a na wypukłych tamy poprzeczne, t. j. ostrogi prostopadłe. W razie gdyby normalna szerokość okazała się za duża, można ją było przez przedłużenie tych ostróg zwięzić, gdyby zaś była za mała, to przez zniesienie końców tych ostróg można ją było bez wielkich trudności rozszerzyć. Te budowle poprzeczne mogą być budowane o słabszych rozmiarach, gdyż tylko w okresie początkowym działają jak ostrogi; gdy się okaże, że normalna szerokość jest dobrze obrana, łączy się ich końce tamą równoległą, tak, że powstaje obustronne zabudowanie tamami równoległymi, a ostrogi stają się poprzeczkami.

System ten, bardzo stosowny i praktyczny, zastosowano na wielu rzekach, między innymi także na rzekach Małopolskich; rys. 96 przedstawia partję Wisły 7 km poniżej Krakowa położoną uregulowaną według tego systemu¹⁾.

Pomimo wyszczególnionych tu wad można powiedzieć, że system regulacji zapomocą tam równoległych jest panującym na rzekach górskich, gdyż tu jego zalety mają przeważające znaczenie; również i na partjach nizinnych rzek w wielu wypadkach go zastosowano, choć tu zalety systemu regulacji zapomocą ostróg występują w pełnej mierze. Na dużych rzekach żeglownych zastosowanie ostróg zwłaszcza w początkowym okresie regulacji przedstawia niewątpliwie wielkie korzyści, przyczem nie przesądza zupełnie późniejszego obudowania brzegów, po zrealizowaniu się regulacji i zamuleniu przestrzeni odciętych, budowlami równoległymi w formie tam równoległych, względnie opasek brzegu.

Opaską brzegu (*défence d'une rive*, *Deckwerk*) nazywamy tamę równoległą opierającą się o brzeg.

Nawet przy przeprowadzeniu zasady obudowania łożyska zapomocą ostróg, korzystnym będzie wykonanie tam równoległych w ostrzejszych łukach wklęsłych, w których ostrogi trudno utrzymać, a nurt powinien być kierowany.

¹⁾ Opis stosunków hydrotechnicznych Wisły w uregulowanej przestrzeni między Krakowem a Niepołomicami, skreślił Jan Matula 1901.

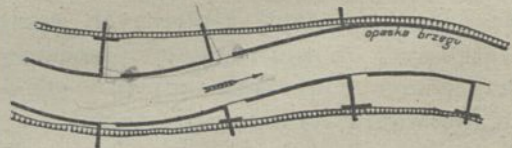
Utrudnienie zamulania przez tamy równoległe, wywołuje konieczność budowania ich o ile możności jaknajniżej, aby wyższe wody mogły się z łatwością przez nie przelewać, prócz tego w okresie początkowym regulacji urząda się w nich niejednokrotnie przerwy, t. zw. otwory do zamulania, którymi woda wchodzi do przestrzeni odciętych i nanosi materiał ruchomy. Przerwy te muszą być jednak umiejętnie i celowo założone, aby spełniały swe zadanie, a przytem nie zagrażały stałości tamy równoległej. Otóż przerwy na brzegach wypukłych zazwyczaj nie sprawiają pod tym względem trudności, natomiast na brzegach



Rys. 97.

wklęsłych i w prostych wymagana jest ostrożność. Tak na przykład przy regulacji Wisły, w przestrzeni stanowiącej granicę między Małopolską a Królestwem, budował rząd rosyjski tamy równoległe (rys. 97) z przerwami powyżej poprzeczek, przyczem kąty proste przy połączeniu często zaokrąglano. Skutek był ten, że przy złączeniu poprzeczek z tamą równoległą, czyli przy t. zw. kolanach, powstawały wiry wywołujące znaczne pogłębienie, nieraz powyżej 6 metrów. Skutkiem tego kolana te się zapadały, woda później z łatwością je zrywała, a nurt przerzucał się poza tamę. Zamknięcie wyrwy wymagało kosztownych robót, rzucenia jako podłoże wałków zatapiających wypełnionych kamieniem i budowy tamy o znacznej objętości materiału i w trudnych warunkach, gdyż we wodzie o silnym prądzie.

Bardzo skutecznem i odpowiedniem okazało się natomiast wypraktykowane¹⁾ na Wiśle i stosowane od 12 lat w okręgu budowniczym krakowskim, założenie otworów do zamulania poniżej poprzeczek. Otwory takie około 15 m długości, daje się tak na brzegu wklęsłym, jak i na wypukłym, jednak tylko w prostych i płaskich łukach (rys. 98). Rezultaty zamulania odciętych części są bardzo dobre²⁾. Również bardzo korzystne wyniki osiągnięto i na wielu innych rzekach, a mianowicie także



Rys. 98.

¹⁾ Pod kierunkiem zasłużonego kierownika regulacji Wisły inż. Regieca.

²⁾ Pewna trudność powstaje przy rozpoczęciu budowy, o ile tamę wykonuje się z faszyn, gdyż na początku tamy nie ma poprzeczki, która ją wiąże z brzegiem. Otóż najlepiej wykonać na początku tamy krótki narzut kamienny i od niego rozpocząć w dalszym ciągu budowę tamy faszynowej.

i na górnym Renie, oraz górskich rzekach w Alpach. Otwory urządzone tuż poniżej poprzeczek działają dlatego lepiej jak otwory powyżej poprzeczek, ponieważ woda dostaje się do przestrzeni odciętych zatrzymując kierunek ruchu, a poprzeczka dolna spiętrzając wodę, uspokaja ją i ułatwia osadzanie materiału. Zamulanie częściowe następuje już przy stanach średnich, przyczem woda zostawiwszy namul w przedziale między poprzeczkami przelewa się przez dolną poprzeczkę. Przy wielkiej wodzie woda gwałtownie wpada do przedziału, jednak przelewy przez poprzeczki nie są niebezpieczne i właściwie zanikają, gdyż woda poniżej poprzeczek również się podniosła. Niewątpliwie, urządzając przerwy w tamach równoległych, stanowiące otwory do zamulenia, zwiększa się prąd wody przy wysokich stanach poza tamami i trzeba dbać o to, aby poprzeczki napór wody wytrzymały i nie zostały zerwane, a w danym razie każdą przerwę niezwłocznie naprawić. Również i miejsca złączenia poprzeczek z tamą równoległą wymagają baczności i starannej konserwacji; powinny być silnie ubezpieczone narzutem kamiennym, a w razie jeżeli w pobliżu przerwy powstaje silny prąd w kierunku przestrzeni odciętej, oraz wir, dobrze będzie ubezpieczyć dno przerwy zapomocą kamienia, lub przez rzucenie wałków.

System mieszany, o którym mówiliśmy powyżej, stosuje się również przy t. zw. regulacji na małą wodę; pomówimy o nim jeszcze w dziale o regulacji rzek dla żeglugi.

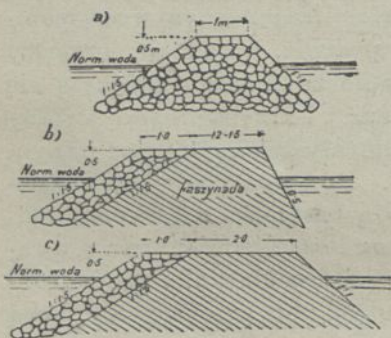
Utrwalenie odsypisk. Istniejące poza normalnem łożyskiem w chwili rozpoczęcia regulacji niskie niezawikłone odsypiska, ubezpiecza się przed zniesieniem przez wielką wodę zapomocą namulników, t. j. zapomocą słabszych budowli poprzecznych, wykonanych zazwyczaj z płotków lub faszyn, rzadziej z kamienia, odsypiska zaś powstające przez zamulenie przestrzeni odciętych obsadza się skrzętnie wikliną, która je znakomicie chroni przed zerwaniem. Według prawie jednoznacznych postanowień prawa wodnego wielu państw, grunt uzyskany przez regulację (skutkiem zamulenia) staje się własnością tego, czyjmi kosztem wykonano regulację. Grunt ten może być za odpowiedniem wynagrodzeniem odstąpiony właścicielom sąsiednich gruntów, powinien jednak tak długo pozostać w rękach zarządu regulacji, jak długo potrzebny jest do utrzymania budowli regulacyjnych.

Obsadzenie odsypisk poza normalnem łożyskiem wikliną, nietylko przyczynia się do ich utrwalenia, ale nadto przyspiesza i ułatwia wykonanie regulacji, gdyż kultury wiklin dostarczają wartościowego materiału do budowy tam regulacyjnych.

Wykonanie tam równoległych i opasek. Tamę równoległą rozpoczyna się zazwyczaj budować od wykonania poprzeczki, która służy później do przewożenia, względnie przenoszenia materiału do tamy;

od poprzeczki buduje się tamę równoległą w dół rzeki. Jeżeli niema w miejscu rozpoczęcia tamy poprzeczki (np. rys. 98), to w razie jeżeli materiał do budowy tamy dowozi się z ładu, trzeba będzie wykonać między brzegiem a początkiem tamy odpowiedni pomost.

Każdej przestrzeni rzeki odpowiadają pewne, ustalone na podstawie doświadczenia głębokości budowlane, które tylko wyjątkowo przekraczamy, jeżeli ze względu na całokształt budowy konieczne jest prze-



Rys. 99.

już jako znaczną, a na jeszcze większych głębokościach buduje się już tylko wyjątkowo.

Tamy równoległe wykonuje się tak z materiału kamiennego, jak i drzewnego (faszynowego), tama faszynowa może być jednak uważana tylko jako ubezpieczenie prowizoryczne i musi otrzymać w stosownym czasie od strony uregulowanego łóżyska narzut kamienny. Wymiary przekroju poprzecznego bywają różne, zależnie od wielkości rzeki, głębokości, siły prądu, nadto typ tamy na brzegu wklęsłym musi być silniejszy, o większej szerokości korony, jak na brzegu wypukłym. Na Wiśle w okręgu budowniczym krakowskim wykonywano typy przedstawione na rysunku 99. Pierwszy z nich a) przedstawia przekrój poprzeczny tamy równoległej wykonanej wyłącznie z kamienia, dwa następne b) i c) z materiału faszynowego i narzutu kamiennego, chroniącego tamę od strony łóżyska; typ b, słabszy od typu c, budowano wtedy, jeżeli można było tamę faszynową zaraz ubezpieczyć narzutem, typ c zaś, gdy z powodu znacznej odległości od kamieniołomów krakowskich i trudniejszej dostawy kamienia, tama faszynowa musiała dłużej czekać na ubezpieczenie narzutem.

Narzuty kamienne, od najniższego stanu wody w górę, starannie wyrównywało się na koronie i skarpach, układając kamienie większym wymiarem w głąb i klinując szpary małymi kamykami. Zwarte gładkie

Typy budowli wodnych

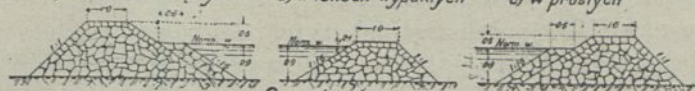
A) Rzeka Stryj.

Tamy równoległe kamienne

a) w łukach wklęsłych

b) w łukach wypukłych

c) w prostych

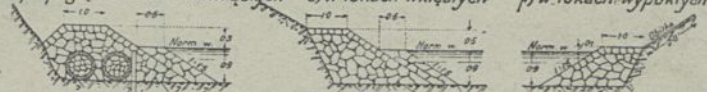


Opaski kamienna

d) po pogłębieniu w łuk. wklęsłych

e) w łukach wklęsłych

f) w łukach wypukłych

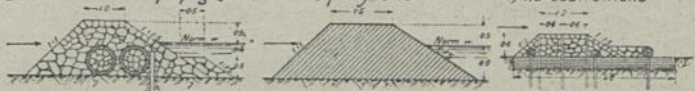


Poprzeczki

g) kam. na wałkach po pogłęb.

h) faszynowa

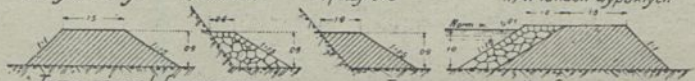
i) na szutrowisku



Zamknięcie faszyn. starych koryt

Opaski skrzydłowe (przy skrzydłach)

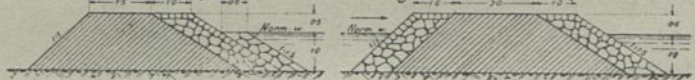
Tamy równol. faszyn. w łukach wypukłych



Tamy równol. faszynowe

m) w łukach wklęsłych

w) tama prostopadła faszyniowa z głową inkrustowaną



Tamy równol. faszynowe

e) w prostych

p) Poprzeczka faszynowa

r) Opaska na wałkach na szutrowisku

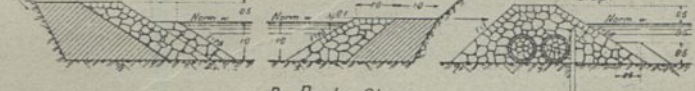


Opaski faszynowe z narzutem kam.

a) w łukach wklęsłych

l) w łukach wypukłych

u) Poprzeczka kamienna na wałkach, lub tama prostop.



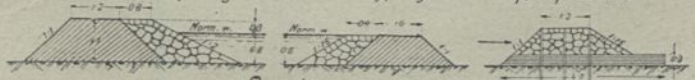
B) Rzeka Skawa

Tamy równoległe

a) w łuku wklęsłym i prostej

b) w łuku wypukłym

f) Poprzeczka

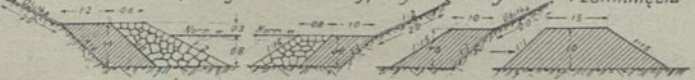


Opaski

c) w łuku wkl. i prostej

d) w łuku wypukłym

e) Poprzeczki i zamknięcia

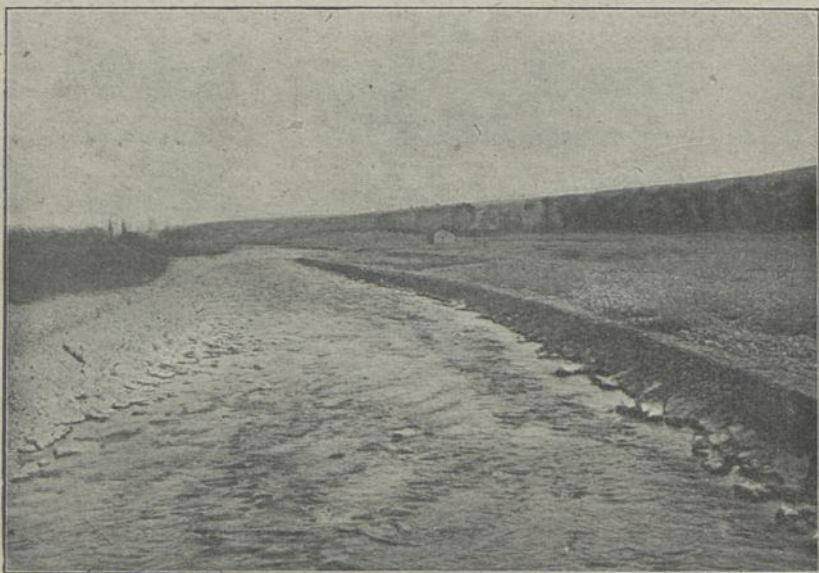


Rys. 100.

korony trzymają się dobrze, o ile zastosowano kamień trwały, a więc np. wapień krakowski (jurajski) i twardy piaskowiec z Królestwa.

Poprzeczki przy tamach kamiennych wykonywano z kamienia, przy tamach faszynowych z faszyn; budowane są podobnie jak ostrogi, tylko o słabszych przekrojach poprzecznych, korona ich wznosi się podobnie jak korona ostróg ku brzegowi.

Na rysunku 100 przedstawiono typy tam równoległych, poprzeczek i tam prostopadłych (ostrogi, których głowy łączono później tamą równo-



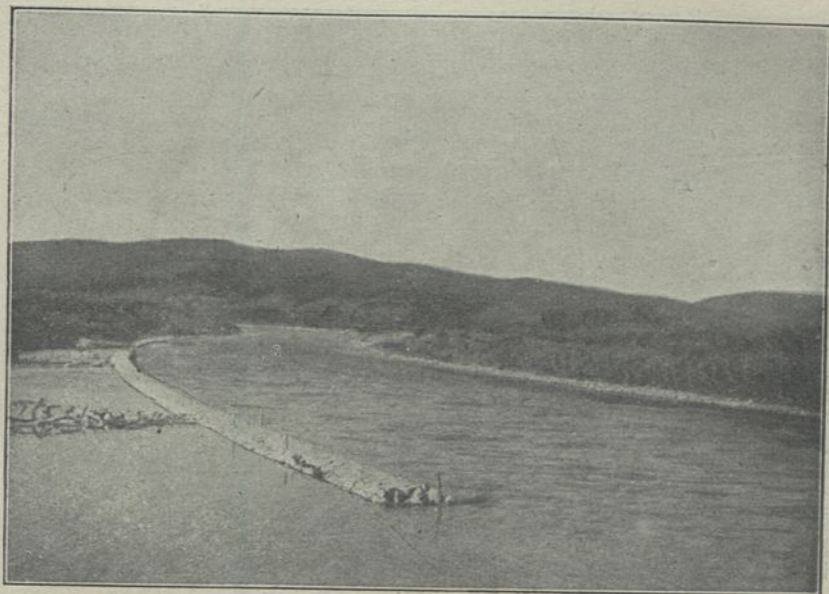
Rys. 101.

ległą) przyjęte przy opracowaniu projektu regulacji rzek karpaccich w latach 1902 i 1903 (dopływów Wisły i Dniestru z prawego brzegu w Małopolsce¹). Na rysunkach oznaczone jest również wzniesienie budowli ponad stan normalnej wody, oraz przyjęte głębokości budowlane. Wzniesienie tam równoległych w łukach wklęsłych przyjęto 0,3–0,5 ponad stan normalny (niewiele niższy od średniej rocznej), w łukach wypukłych 0,1 m, ewentualnie nawet przyjęto koronę równo z wodą normalną.

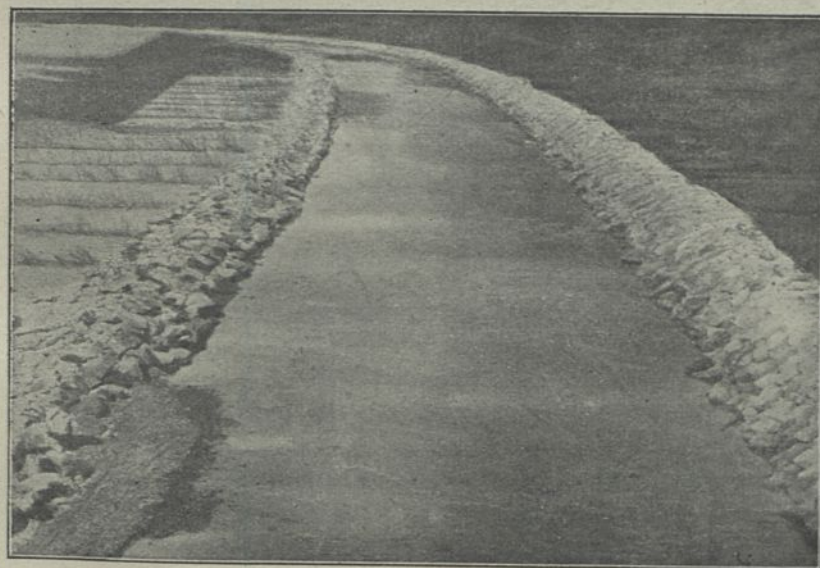
Na fotografiach²) (rys. 101–107) podano szereg widoków tam regulacyjnych, a mianowicie rys. 101 i 102 przedstawiają rzekę Sołę pod

¹) Według pracy R. Ingardena „Rozwój budownictwa wodnego w Galicji w ostatnim dziesięcioleciu“, Lwów 1910. Odbitka z Czasopisma technicznego, rocznik 1910.

²) Z pracy autora „Regulacja Wisły“, w cyklu „Monografia Wisły“, Warszawa 1920, wydawanego przez Polskie Towarzystwo Krajoznawcze w Warszawie.



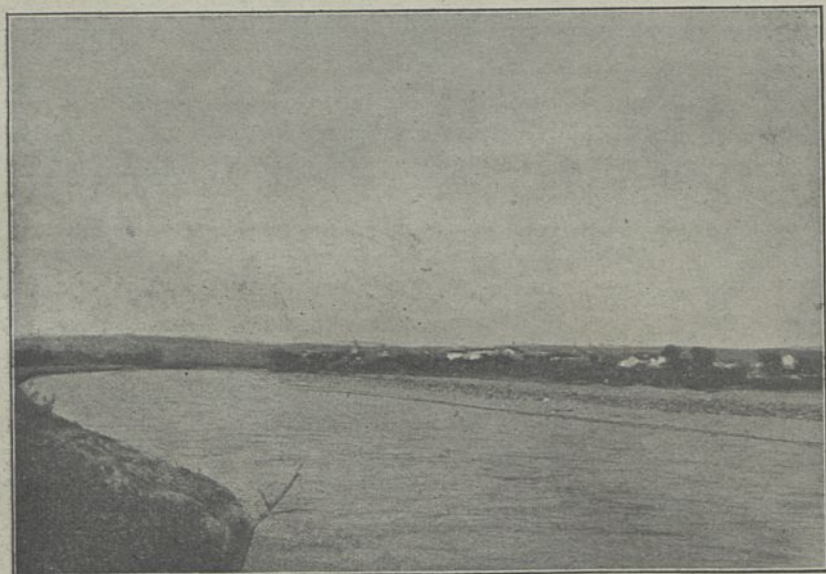
Rys. 102.



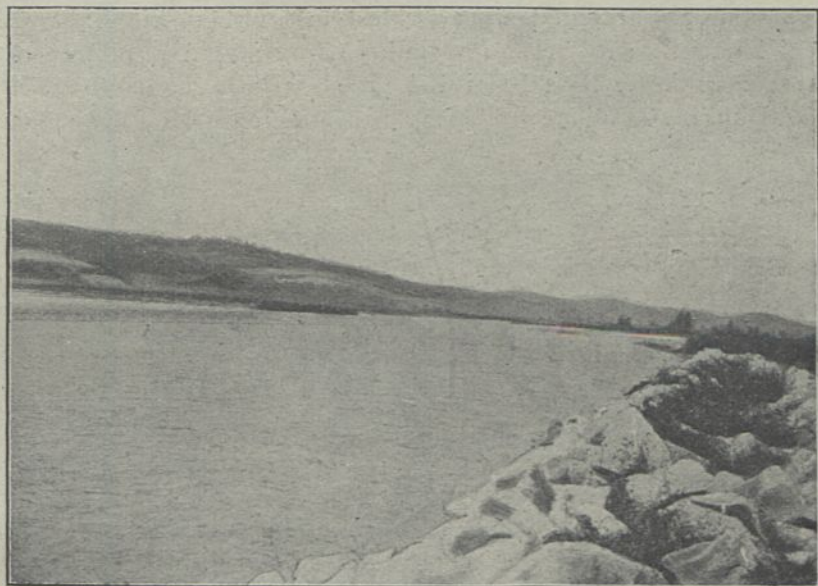
Rys. 103.



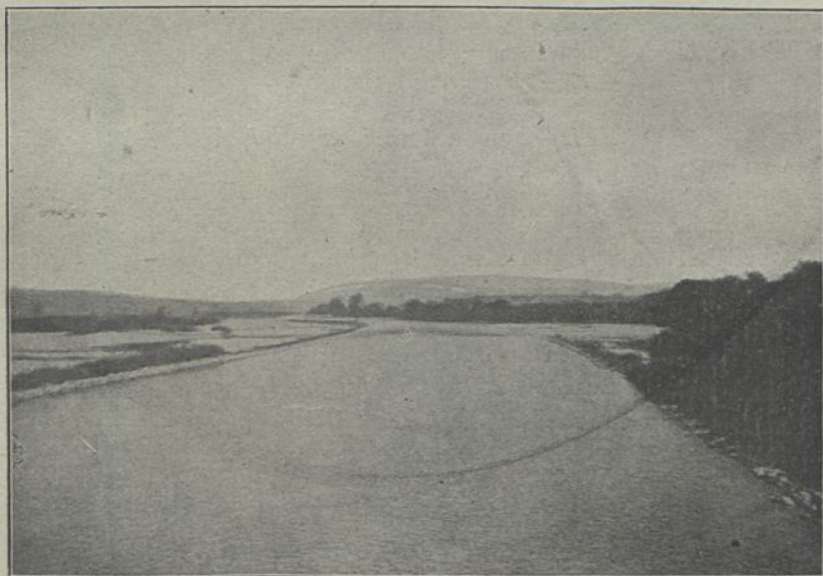
Rys 104.



Rys. 105.

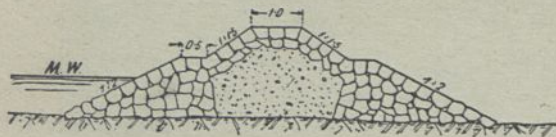


Rys. 106.

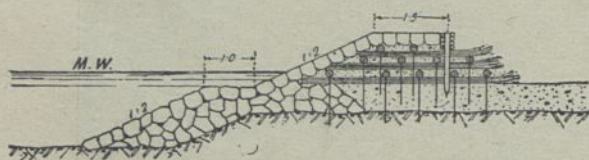


Rys. 107.

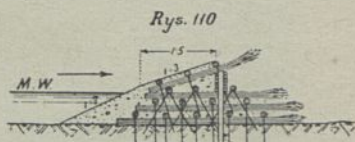
Milówką i pod Żywcem ujętą tamami równoległymi kamiennymi; na rys. 102 tama na brzegu lewym (wklęsłym) w budowie, poza nią poprzeczki kamienne; na brzegu wypukłym przestrzeń poza tamą już zamulona i zawikłona. Rys. 103 i 104 przedstawiają regulację rzeki Białej (dopływ Dunajca). Widać tu tamy równoległe, poza niemi namulniki



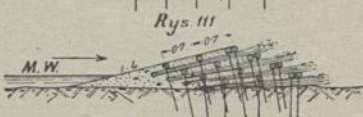
Rys. 108.



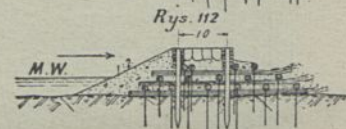
Rys. 109.



Rys. 110



Rys. 111



Rys. 112

faszynowe, służące do utrwalenia odsypisk. Rysunki 105, 106 i 107 przedstawiają regulację Dunajca w okolicy Nowego Sącza. Rysunki 108 i 109 podają typy przekrojów tam równoległych na górnym Menie, względnie na średnim Dunaju, pierwszy z kamienia i żwiru, drugi z faszynady i z kamienia, wreszcie rys. 110—112 podają typy poprzeczek stosowane na górnym Dunaju¹⁾.

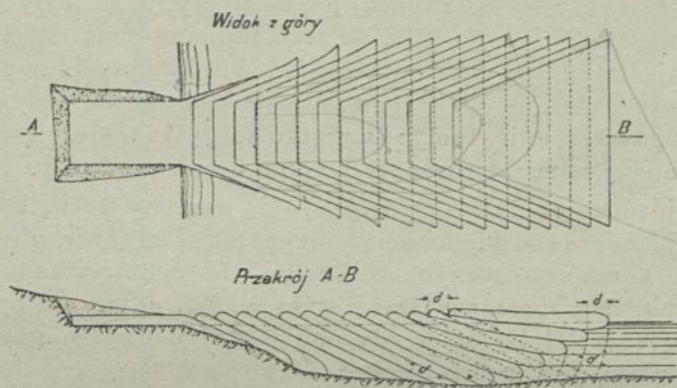
3. Wykonanie tam faszynowych.

Tama faszynowa składa się z poszczególnych warstw faszynowych, z których każdą obciąża się materiałem kamiennym lub ziemnym. Najlepszym obciążeniem byłby tłuczony kamień, równie dobrym żwir rzeczny, lecz te materiały nie zawsze są na miejscu, a sprowadzanie ich wywołałoby znaczne koszty. Dlatego często obciąża się warstwy faszynowe gliną kopaną na brzegu, lub też nawet piaskiem, choć piasek jest najgorszym obciążeniem, przesiewa się przez faszynadę, wobec czego prawie jej nie obciąża. Niektórzy proponują, aby tak dużo sypać względnie pompować rozwodnionego piasku na faszynadę, aby wypełnił zupełnie miejsca próżne; takie jednak postępowanie byłoby zbyt uciążliwe i kosztowne.

Zdawałoby się rzeczą najprostszą wykonywać tamy faszynowe według zaprojektowanego profilu z warstw poziomych, jednak takie wykonanie przy znaczniejszych głębokościach i w prądzie wody byłoby

¹⁾ Według Kreutera „Der Flussbau“ Hdb. d. Ing. Wissenschaften, III Teil, Lipsk 1910.

robotą trudną, kosztowną, a często nawet niemożliwą do wykonania. Tylko na rzekach wielkich o słabym prądzie można myśleć o częściowym wykonaniu budowli z warstw poziomych, zatapiających przez obciążenie na dno; o tego rodzaju warstwach (płyty zatapiające, materace) mówiliśmy powyżej, tu dodać należy, że wykonanie tam z warstw faszynowych poziomych, lub słabo nachylonych, możliwe jest tylko na odsypisku, gdzie dopiero przy skarpie tamy w przyszłości ma się utworzyć brzeg, albo na miejscach płytkich i o słabym prądzie. O wykonaniu tam w takich warunkach powiemy na końcu tego rozdziału, tu zajmiemy się odrazu



Rys. 113.

omówieniem wykonania tamy na dużej głębokości. W tym wypadku musimy zastosować warstwy nachylone, z jednej strony przytwierdzone, o ile chodzi o pierwszą warstwę, do brzegu, o ile zaś chodzi o dalsze warstwy, do gotowej już części tamy; każda warstwa pływa początkowo na wodzie i wykonanie jej zresztą polega na tym, że faszyny wyrzucone na wodę, a składające warstwę, nie toną, lecz utrzymują się na powierzchni wody, tworząc same przez się pomost pływający, po którym poruszają się robotnicy i wykonują warstwę.

Rysunek 113 przedstawia w widoku z góry i w przekroju przez oś sposób wykonania tamy poprzecznej, w tym wypadku prostopadłej; wykonanie tamy równoległej rozpoczyna się także zazwyczaj od wykonania poprzeczki, poczem skręca się ją w linii trasy regulacyjnej za wodą; wykonanie zatem tamy równoległej nie różni się zasadniczo od wykonania tamy poprzecznej.

Kształty przekroju tamy i warstw zatapiających. Na wstępie trzeba zaznaczyć, że nie całą tamę wykonuje się z warstw zatapiających ukośnych, tylko jej część dolną; część górną o wysokości około 60 cm wykonuje się z dwu warstw poziomych, pierwszej, dolnej, t.zw. wyścielki i drugiej, górnej, t.zw. koronki. Obydwie warstwy, tak wyścielkę (Spren-

lage, couche chevelue), jak i koronkę (warstwa koronowa, Kronlage, fascine de couronnement) wykonuje się dopiero po ukończeniu dolnej części tamy, (czyli jak u nas nazywają wyrzutki) (rys. 114). Wyścielka i koronka mają ważne znaczenie, gdyż rozpościerając się na całej długości tamy, łączą u góry poszczególne warstwy w jedną całość; tamy bez tych warstw nie posiadają jeszcze potrzebnej spójności, przeto nie godzi się pozostawiać tam na zimę bez wyściełek i koronek, gdyż mogłyby je lody zniszczyć. Prócz tego koronka musi być wykonana z materiału wiklowego i to zupełnie świeżego, aby wiklnia rosła, gdyż przez to

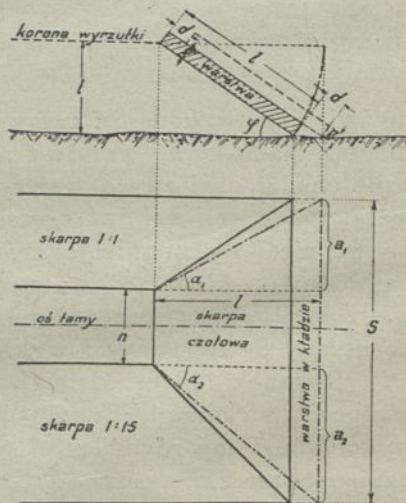


Rys. 114.

utrwała się powierzchnię tamy; wyjątkowo tylko daje się na koronie tamy faszynowej zamiast rosnącej koronki bruk kamienny.

Jak widać z rys. 113 (przekrój A—B), warstwy początkowo pływające, później dopiero skutkiem obciążenia materiałem (żwir, glina, piasek), oraz ciśnienia warstw górnych, dochodzą do definitywnego ukośnego położenia, tak, że końcami swymi dotykają dna. Jakie ma być to ostateczne nachylenie? Otóż lepiej gdy ono jest łagodniejsze, gdyż długości warstw będą większe, robota postępować będzie szybciej, a materiał obciążający nie będzie się zesuwał po skarpie utworzonej przez warstwę ukośną, z drugiej zaś strony wykonanie długich warstw, które później osiągają po zatopieniu łagodne pochylenie w wodzie o silniejszym prądzie, jest utrudnione i z konieczności musimy zastosować warstwy stromsze. Ostatecznie nachylenie warstw nie może być większe jak skarpa naturalna materiału obciążającego i wynosi conajmniej 1 : 1,5.

Wykonanie warstw musi być staranne i długości ich dostosowane do rzeczywistych głębokości; tamiarz musi często mierzyć głębokości, gdyż głębokość dna w profilu podłużnym tamy jest w różnych punktach różnaita, a nadto woda w czasie budowy często pogłębia dno. Tama musi być tak wykonana, aby nie pozostawały w niej miejsca próżne, warstwy nie mogą być zatem ani zakrótkie, ani za długie. Jeżeli naprzykład nachylenie warstw przyjmujemy 1 : 2 (rys. 115),

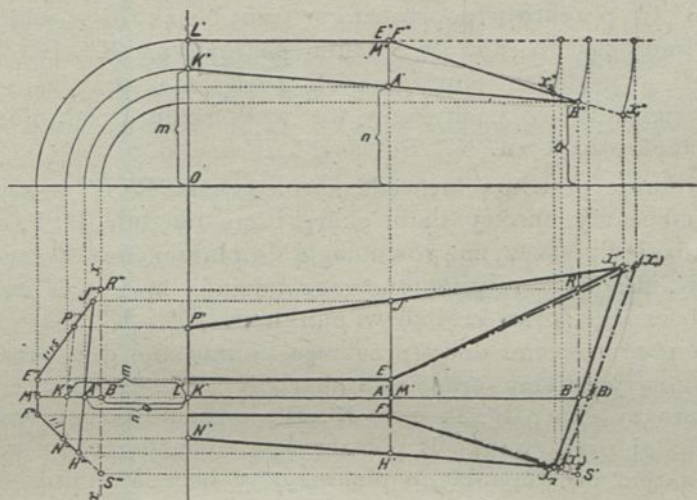


Rys. 115.

a głębokość wody poniżej przyjętego poziomu korony wyrzutki (warstw zatapiających) jest 2 m, natenczas długość warstwy

$$l = \sqrt{t^2 + (2t)^2} = t\sqrt{5} = 2,24t = 4,48 \text{ m.}$$

Jaki kształt będzie mieć warstwa w układzie poziomym, to znaczy w takim położeniu, jakie ma w czasie wykonania, gdy jeszcze pływa na wodzie? Kształt ten przy równej głębokości dna po obu bokach tamy będzie trapezowy; aby go oznaczyć, trzeba oznaczyć szerokość warstwy u nasady n (rys. 115), oraz szerokości skarp a_1 i a_2 . Szerokość n znajdziemy



Rys. 116.

na podstawie rysunku 114. Jeżeli naprzykład grubość wyścielki i koronki łącznie wziętych wynosi $h = 0,6$ m, projektowana szerokość tamy w koronie $s_1 = 3$ m, a nachylenia skarp są $1:1$ i $1:1,5$, natenczas szerokość tamy w poziomie korony wyrzutki

$$s_2 = n = s_1 + 1h + 1,5h = 3 + 0,6 + 0,9 = 4,5 \text{ m.}$$

Ponieważ szerokości skarp przy nachyleniu $1:1$, względnie $1:1,5$ i głębokości $t = 2$ m są

$$a_1 = 1t = t = 2 \text{ m, } a_2 = 1,5t = 3 \text{ m,}$$

zatem dolna szerokość warstwy

$$S = n + a_1 + a_2 = 4,5 + 2 + 3 \text{ m} = 9,5 \text{ m,}$$

a tg kątów nachylenia ograniczeń bocznych

$$\text{tg } \alpha_1 = 0,446, \text{ tg } \alpha_2 = 0,669 \quad \alpha_1 = 24^{\circ}4', \alpha_2 = 33^{\circ}47'.$$

Jak praktyka wykazuje, spód tamy musi mieć pewną niezbyt małą szerokość, aby tama wywierając odpowiednie tarcie na dno, opierała się

przesunięciu; tak na przykład na Wiśle i Dniestrze, oraz na dolnych biegach większych dopływów tych rzek w Małopolsce, szerokość ta wynosiła najmniej 7—8 m, wobec czego przy mniejszych głębokościach przyjmowano bardzo łagodne skarpy boczne.

Jeżeli dno w przekroju poprzecznym do osi tamy jest nachylone, to linja przedstawiająca ślad płaszczyzny skarpy czołowej na dnie będzie skośna do osi tamy, jeszcze więcej skomplikuje się rzecz, jeżeli dno zmienia głębokość również i w profilu podłużnym przez oś tamy. Na rys. 116 przedstawiono tamę w przekroju pionowym przez oś L'' , M'' , K'' , B'' , w przekroju poprzecznym (rzut boczny) i w widoku z góry.

Przyjmujemy tu dno w profilu podłużnym ($K'' B''$) w spadku, a również i w profilach poprzecznych pochylone, przyczem dla uproszczenia przyjmujemy pochylenie we wszystkich przekrojach poprzecznych jednakowe, t. zn. $N''' P''' \parallel H''' I'''$ i t. d.

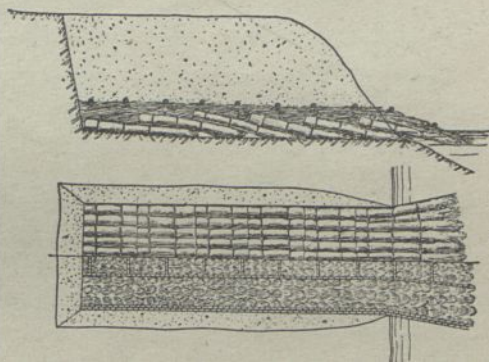
Przyjmując przednią krawędź korony tamy $E' F'$ w rzucie poziomym, wyznaczamy punkty śladu skarp tamy na dnie P', I' , oraz N', H' , przeprowadzając płaszczyznę równoległą do płaszczyzny bocznej w punktach A i K . Biorąc z rzutu pionowego odcinki m i n i przenosząc je do rzutu bocznego, oraz kreśląc w punktach A''' i K''' linje równoległe do spadku poprzecznego dna (przekroje poprzeczne dna prostopadłe do osi tamy), otrzymujemy przecięcia skarp $N''' P'''$, $H''' I'''$, a przez odrzucenie punkty skarp P', I' , oraz N', H' , w rzucie poziomym. Przeprowadzając dalej przez punkt B płaszczyznę równoległą do korony (poziomą), a zatem prostopadłą do płaszczyzny bocznej (punkt B w wysokości o nad osią), czyli prowadząc w rzucie bocznym przez punkt B''' linję $x-x$ równoległą do osi $L'' L'$, otrzymuje się punkty $R''' S'''$ leżące na krawędziach przecięcia się skarp bocznych ze skarpią czołową, czyli z warstwą zatapianą, a przez ich odrzucenie punkty te w rzucie poziomym. Łącząc $E' R'$ i $F' z S'$ otrzymuje się te krawędzie, a przez połączenie ich punktów przecięcia ze śladami płaszczyzn bocznych $P' I'$ oraz $N' H'$, t. j. punktów x_1' i x_2' ze sobą, otrzymujemy linję $x_1' - x_2'$ jako rzut poziomy śladu warstwy na dnie. Wykonując kład warstwy na płaszczyznę poziomą, to znaczy obracając w rzucie pionowym punkty x_1' i x_2'' do poziomu i odrzucając do punktów (x_1) i (x_2) w rzucie poziomym, otrzymujemy rzeczywiste wymiary warstwy na figurze $E' F'$ (x_2) (x_1).

W praktycznym wykonaniu trzeba zastosować proste i łatwe sposoby oznaczania kształtu warstwy, gdyż tamiarz nie może ani przeprowadzać trudniejszych obliczeń, ani też rysować. Oznaczenie szerokości skarp bocznych w każdym miejscu nie przedstawia dla niego trudności, jeżeli z góry wie, według jakiego typu tama ma być wykonana. Także i przy oznaczeniu długości warstwy l można rzecz uprościć; jeżeli np. za-

stosujemy nachylenie warstwy $1:1\frac{3}{4}$ ¹⁾, przy którym kąt φ (rys. 115) jaki tworzy warstwa z poziomem wynosi 30° , długość warstwy jest $l = \sqrt{t^2 + (1,75 t)^2} = \sqrt{4,06} = \approx 2t$, a zatem równa się podwójnej głębokości.

Grubość warstw g w stanie zupełnie ściśnionym wynosi około 90 cm; jeżeli przyjmiemy pochylenie warstwy, to z łatwością można oznaczyć długość wysunięcia każdej warstwy przed poprzednią d (rys. 113 i 115), gdyż $d = \frac{g}{\text{tg } \varphi}$ (rys. 115).

Wykonanie warstw zatapianych zwanych także pakunkiem (z niem. Packwerk, fascinage), rozpoczyna się zazwyczaj od skrzyni części prostopadłej tamy (rys. 117). Zaczynając od tylnej ściany skrzyni, zaściela się dno skrzyni całymi faszynami, (związane-mi), kładąc jedną obok drugiej i silnie przyciskając je do siebie. Gdy ułoży się jeden szereg, kładzie się na nim drugi, wysuwając go jednak o pewien występ wprzód. Na nim kładzie się trzeci i t. d., wysuwając każdy o tensam występ, poczem gdy już skrzynia zostanie założona, wysuwamy w tensam sposób faszyny na wodę, tworząc pierwszą warstwę zatapianą, która już pływa na wodzie. Naturalnie, że ta warstwa musi już otrzymać kształt według za-



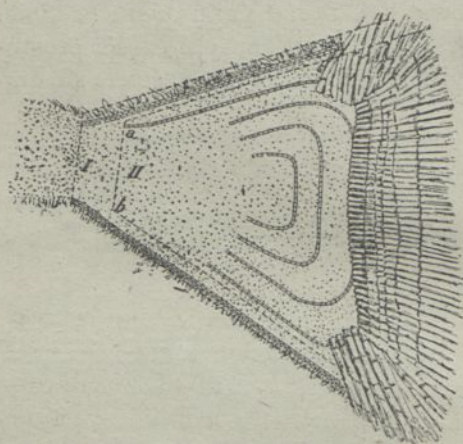
Rys. 117.

sad powyżej opisanych i zastosowany do głębokości, wobec czego wysuwając ją ze skrzyni na wodę, musimy przez wachlarzowe rozłożenie faszyn wytworzyć potrzebny kształt. Aby ułożone, względnie wyrzuczone na wodę faszyny, nie zostały zabrane przez prąd wody, lub też skręcone, przybija się je do faszyn dolnych tu i ówdzie palikami. Jest to jednak dopiero dolna część warstwy, złożona z faszyn związanych, t. zw. wyrzutka, która odznacza się tem, że na wierzchu widzimy same odziomki faszyn, a szczyty są pod spodem. Gdy ta część warstwy została ukończona, wykonuje się drugą, górną jej część, jako t. zw. wyścielkę, przyczem postępuje się w sposób następujący: Rozpoczynając od końca warstwy pływającego na wodzie, układa się na dolnej części warstwy (wyrzutce) faszyny, poczem rozcina się lekką siekierką ich wiązania i rozściela chrust jednostajnie. Następnie cofając się wstecz kła-

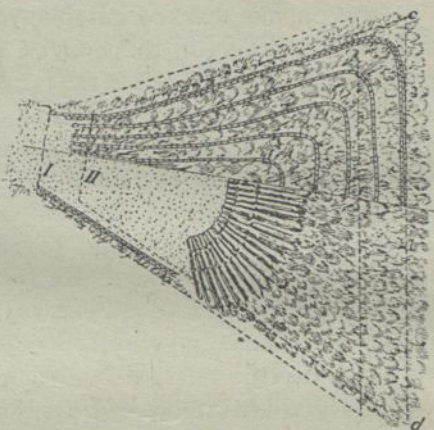
¹⁾ Hagen „Handbuch der Wasserbaukunst“; jest to nachylenie stosunkowo łagodne, możliwe w niezbyt silnym prądzie.

dzie się drugi szereg faszyn i po rozcięciu wiązań rozściela taksamo jak poprzednio, poczem kładzie się dalsze szeregi, aż dojdzie się z wyścielką do tylnej ściany skrzyni. Ta górna część warstwy różni się tem od dolnej, że ma na wierzchu same szczyty gałązek, a odziomki w spodzie, jak to widać na obu połowach rzutu poziomego rys. 117.

Dotąd jednak warstwa nie jest jeszcze związana, części składowe jej nie są ze sobą połączone. Następuje to przez obicie warstwy kiszkami. Na wyścielce układa się zatem kiszki w odstępach metrowych,



Rys. 118.



Rys. 119.

na obwodzie warstwy daje się zazwyczaj kiszkę podwójną, a następnie przybija kiszki do warstwy palikami (około 1 m długości, 4—6 cm grubości), zabijając paliki pomiędzy wiązaniami kiszek (na 1 mb kiszki 3 paliki) zapomocą odpowiedniej dołki (rys. 117).

Teraz następuje t. zw. zawózka, t. j. wożenie taczkami materiału obciążającego na warstwę, a więc żwiru, gliny, lub piasku z brzegu. Warstwę pokrywa się tym materiałem tak grubo, aby przestrzenie między kizkami zostały wypełnione do górnych krawędzi kiszek, warstwa pływająca może być jednak z początku tylko częściowo obciążona, aby nie zatoneła. Materiał obciążający ubija się na warstwie zapomocą ręcznych kafarków podnoszonych przez 2—4 ludzi, przyczem równocześnie pobija kiszki między palikami, a następnie i paliki.

Wykonanie warstw dalszych jest zupełnie takiesame jak warstwy pierwszej; występując o odstęp d wprzód, rozpoczyna się układać na zbudowanej już i pływającej warstwie I, faszyny związane warstwy II od linii a—b (rys. 118) i występuje z nimi wprzód, zwracając szczyty

faszyn na wodę, a odziomki wstecz; na rysunku 118 uwidoczono tylko ostatni szereg faszyn wyrzuconych na wodę. Następuje wykonanie wyścielki, obicie kiszkami i zawieszenie materiałem obciążającym, tak, że poszczególne warstwy przyjmują położenia uwidocznione na rysunku 113 (przekrój A—B). Rys. 119 przedstawia wykonanie wyścielki warstwy zatapianej II, część dolna rysunku wyścielanie rozciętą faszyną od linii c d począwszy wstecz, część górna gotową już i obitą kiszkami warstwę.

Ostatnią warstwę musi się silnie obciążyć, aby odrazu przyjęła przepisane nachylenie. Jak to powyżej już opisano, tama wykonana w ten sposób wymaga jeszcze związania podłużnego, co uskutecznia się zapomocą dwu warstw podłużnych, zupełnie jednak do siebie podobnych, t. zw. wyścielki i koronki, przyczem ta ostatnia musi być wykonana z materiału zupełnie świeżego, wiklowego, aby rosła.

Przystępując do wykonania wyścielki, trzeba najpierw na koronie wykonanej tamy wytyczyć szerokość wyścielki. Biorąc przykład powyżej podany (szerokość korony tamy 3 m, nachylenie skarp 1:1 i 1:1,5, grubość koronki około 30 cm, otrzymuje się szerokość wyścielki w jej koronie s_2 (rys. 114) równą $3+0,30+0,45$ m, t. j., 3,75 m. Zanim wykonana się właściwą wyścielkę, trzeba wyrównać wszystkie nierówności na koronie tamy zapomocą faszynady. Zresztą wykonanie wyścielki nie różni się od wykonania wyściełek poszczególnych warstw. Rozpoczynając od końca tamy i cofając się wstecz, rozściela się chrust z rozciętych faszyn na całej koronie tamy, a następnie układa kiszki w odstępach 80 centymetrowych, poczem następuje przybicie palikami, zawieszenie materiałem obciążającym i ubicie materiału kafarkami. Wykonanie koronki następuje w zupełnie tensam sposób.

Przeprowadzenie roboty jest następujące: Tamiarz musi mieć do dyspozycji odpowiednią ilość robotników i to tem większą, im głębokość budowlana i rozmiary profilu poprzecznego tamy są większe.

Chodzi o to, aby robota się nie opaźniała przez niedość szybkie donoszenie faszyn. W Małopolsce na większych rzekach tamiarz musiał rozporządzać partją złożoną z około 20 ludzi. Robotnicy biorą faszyny z miejsca składu na brzegu i donoszą je tamiarzowi, który powinien posiadać tę wprawę, aby każdą z nich rzucił odrazu na właściwe miejsce. Przy wykonaniu wyściełek i koronek trzeba mieć z góry przygotowaną wystarczającą ilość kiszek. Obciążanie warstw tamy, tudzież wyścielki i koronki żwirem, gliną, ziemią, lub piaskiem, odbywa się w ten sposób, że robotnicy przewożą ten materiał z miejsca składu na brzegu albo kopany wprost z brzegu, lub też z galarów, zapomocą taczek po deskach ułożonych na koronie tamy; przy większych robotach można położyć tor kolejki i wozić materiał wózkami.

Jeżeli buduje się tamę poprzeczną na silnym prądzie, który mógłby skrócić wyrzutkę, to trzeba użyć nieraz różnych środków pomocniczych. Jednym z nich jest t. zw. pływak; jest to krąglak drewniany, trzymany na linie z brzegu, lub z innej tamy, który pływa na wodzie w miejscu gdzie robimy wyrzutkę. Pierwszy szereg faszyn wyrzutki leży na tym pływaku i na poprzedniej warstwie i skutkiem istniejącego tarcia nie tak łatwo może być przez wodę przesunięty. W ten sposób na tym pływaku łatwiej wykonać warstwę żądanej długości. Po obiciu warstwy kiszkami pływaka się wyciąga.

Zamiast pływaka można użyć kieszki kołczastej, t. j. poprzebijanej kołkami w różnych kierunkach, która puszczone podobnie jak krąglak na wodę, stanowi podporę wyrzutki; takiej kieszki nie można jednak później wyciągnąć, a obok kołków powstają dziury. Dalej można użyć płotka, t. zn. powbijając w kieszkę obwodową poprzedniej warstwy rozgałęzione pręty wikliny, rozmaicie pochylone. Faszyny oparte na tym płotku stawiają większy opór prądowi. Wreszcie najsilniejszym środkiem są t. zw. krzyże, które stosuje się przy bardzo silnym prądzie. Wykonuje się je w ten sposób, że do kieszki obwodowej przytwierdza tamiarz kołkami kilka faszyn, a pomiędzy nie na krzyż układa inne faszyny i przytwierdza je do kieszki obwodowej, tudzież do sąsiednich faszyn wyrzutki kołkami; oprócz tego można faszyny parami wiązać. Na skrzyżowaniach powstaje silne tarcie, a faszyny opierają się skręceniu.

Budowa tamy na miejscach płytkich. Na miejscach płytkich, mających zazwyczaj również i słaby prąd, wykonuje się tamę z długich warstw łagodnie pochylonych, nieraz prawie poziomych, gdyż wykonanie takie idzie szybko i nie napotyka na żadne trudności. Wykonanie ukośnych i stromych warstw zatapiających nie miałyby tu żadnego celu.

Tama faszynowa jednak wykonana na miejscu płytkim, jako stosunkowo lekka, łatwo podlega zerwaniu w czasie wielkiej wody, dlatego korzystnym będzie zabicie pewnej liczby pali, choćby niezbyt grubych i długich, ale przechodzących przez nią wskrós i wbitych w grunt. Takie pale mogą znakomicie zabezpieczyć tamę przeciw przesunięciu i zerwaniu. Na rzekach niemieckich i francuskich taką kombinację faszynady i pali już stosowano. Tak na przykład na Odrze i dolnej Wiśle korzystne wyniki dała metoda Brinkmanna polegająca na tem, że przed wykonaniem faszynady zabija się na całej powierzchni, którą ma pokryć tama, pale 15—18 cm grubości w odstępach 1,2—2 m, których głowy sięgają ponad niski stan w czasie budowy. Następnie pod ochroną tych pali wykonuje się cienką warstwę, złożoną z całych faszyn i wyściełki, na całej powierzchni zajętej przez tamę, a po obiciu jej kiszkami, obciąża się ją piaskiem i kamieniami, aż zatoni na dno; warstwa ta

chroni dno przed wymyciem. Następnie wykonuje się cały korpus tamy z długich warstw słabo pochylonych. Jeżeli prąd jest silny, to zamiast tej pierwszej warstwy daje się na dno przed zabiciem pali płyty zatapiane celem ochrony dna, następnie bije pale, poczem wykonuje się faszynadę. Po ukończeniu budowy i pokryciu tamy kamieniem pale się wyciąga i używa ich przy następnej tamie. Do bicia i wyciągania pali służyć może lekki kafar ustawiony na galarze.

Przy metodzie Brinkmanna pale mają jak widzimy tylko znaczenie pomocnicze i działają tylko przez pewien czas, poczem się je wyciąga, zastosowanie jednak pali przy tamach wykonanych na miejscach płytszych i pozostawienie ich stale, może znacznie zwiększyć wytrzymałość budowli.

Czas budowy. Budowę tam faszynowych rozpoczyna się u nas na wiosnę po zejściu lodów i opadnięciu wód wiosennych i prowadzi zazwyczaj do początku zimy (około 15 grudnia), musi się ją jednak przerwać z nastaniem mrozów, gdy woda zaczyna nieść sryż, gdyż wykonanie byłoby wtedy wadliwe z powodu trudności zatapiania warstw. W ciągu roku można jednak tylko wtedy budować, kiedy stan wody jest odpowiedni, to znaczy nie wyższy od projektowanego położenia koron tam, po odjęciu wysokości wysięłki i koronki. Jeżeli naprzykład na Wiśle i Sanie w Małopolsce jako stan normalny przyjęto stan, który wraz z wyższymi trwa 210 dni w okresie żeglugi (od 1/III do 30/XI), tamy mają się wznosić np. 50 cm ponad stan normalny, a wysokość wysięłki i koronki wynosi łącznie około 60 cm, natenczas część dolną tamy (wyrzutkę) budować można przy wszystkich stanach niższych od stanu położonego 10 cm pod normalnym. Przy stanach wyższych budowę się przerywa i czeka aż woda opadnie; przy budowie tam kamiennych i narzutów nie jest się tak dalece zależnym od stanów wody jak przy budowie tam faszynowych.

Na każdym placu budowy trzeba ustawić prowizoryczny wodoskaz, aby bez odnoszenia się do stałego wodoskazu danej przestrzeni, można było każdej chwili zorjentować się co do stanu wody i oznaczyć wysokość budowy.

Rozbieranie starych tam faszynowych jest uciążliwe i kosztowne, a zachodzi tego potrzeba, jeżeli zmienia się pierwotny projekt, lub jeżeli tama została źle wytyczona. Stare tamy są tak szczelnie zazwyczaj zamulone, że tworzą zbitą masę, której rozbiórka ręczna postępuje bardzo powoli i często trzeba użyć pogłębiarki.

Budowle faszynowe nie są stosowne w miejscach gdzie spodziewamy się wielkich pogłębień — narzut kamienny zesuwa się w miarę pogłębiania się dna rzeki z łatwością w dół, natomiast faszynada poddaje się pogłębieniu tylko w małym stopniu, przy znaczniejszym po-

głębieniu sterczy na skarpie nad wodą i butwieje, nie spełniając zadania.

Wogóle budowle czysto faszynowe należy uważać za prowizorium, które powinno spełnić swój cel zanim zniszczyje, definitywną ochronę brzegów uzyskuje się tylko zapomocą budowli z dobrego, trwałego kamienia. Dlatego tamy faszynowe równoległe powinno się w jaknajkrótszym czasie obrzucić kamieniem, a końce ostróg ubezpieczyć kamienną głowicą.

4. Przedmiar i kosztorys tam regulacyjnych.

Celem obliczenia kosztów regulacji pewnej przestrzeni rzeki, trzeba zaprojektować w sytuacji wszystkie potrzebne budowle regulacyjne, a więc tamy równoległe, opaski, poprzeczki, ewentualnie ostrogi, oraz zaprojektować ich przekroje poprzeczne, stosownie do przyjętych dla danej rzeki i jej przestrzeni typów. Do obliczenia przedmiaru robót potrzeba znać głębokości w jakich budowle będą wykonane. Zbyt dokładne oznaczenie tych głębokości, np. przez pomiar ich na rzece w miejscach gdzie tamy mają być wykonane i obliczenie kubatury tam według tych głębokości, jak to dawniej robiono w Małopolsce, byłoby uciążliwym i bezcelowym, gdyż ostatecznie między pomiarem głębokości a wykonaniem budowy upływa zawsze pewien czas, w którym głębokości ulegają zmianom. Dlatego, jak to już powyżej powiedziano, wystarczy przyjęcie pewnych stałych głębokości budowlanych, większych dla brzegu wklęsłego, mniejszych dla wypukłego i obliczenie kubatury materiałów według tych głębokości.

Przykład. Przedmiar robót regulacyjnych na przestrzeni rzeki Skawy między km 25,9 a 26,9, według planu sytuacyjnego przedstawionego na rys. 47 i typów budowli oraz głębokości budowlanych przyjętych dla tej przestrzeni rzeki na rys. 100 B).

Na sytuacji pomierzono następujące długości budowli:

1) tam równoległych na brzegu wklęsłym i w prostych, typ a	640 m b
2) " " " " wypukłym, typ b	100 " "
3) opasek na brzegu wklęsłym i w prostej, typ c	220 " "
4) tam prostopadłych wykonanych według typu poprzeczek e	920 " "
5) opasek skrzydłowych (przy skrzyniach tam prostopadłych)	
18 sztuk po 12 m długości, według typu g	216 " "
	razem 2096 m b
	budowli

	faszynady m ³	kamienia łama- nego m ³	obitki brzegu m ²	wyrównania korony i skarpy m ²
Typ a) wymaga na 1 m b:	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{2 \times 1,2 + 2 \times 1,1}{2} \times 1,1 = \\ = 2,53 \end{array} \right.$	$\frac{0,8 + 1,9}{2} \times 1,1 =$ $= 1,49$	—	$0,8 + 0,7 = 1,5$
Typ b) " "	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{2 \times 1 + 2 \times 0,8}{2} \times 0,8 = \\ = 1,44 \end{array} \right.$	$\frac{0,8 + 1,2}{2} \times 0,8 =$ $= 0,80$	—	$0,8 + 0,4 = 1,2$
Typ c) " "	$\left\{ \begin{array}{l} 1,2 \times 1,1 = \\ = 1,32 \end{array} \right.$	$\frac{0,8 + 1,2}{2} \times 0,8 =$ $= 1,49$	$2 \times 1 = 2$	$0,8 + 0,7 = 1,5$
Typ e) " "	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{2 \times 1,5 + 1 + 1,5}{2} \times 1 = \\ = 2,75 \end{array} \right.$	—	—	—
Typ g) " "	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1 + 1,5}{2} \times 1 = \\ = 1,25 \end{array} \right.$	— /	$2 \times 1 = 2$	—

Zapotrzebowanie materiałów i robocizny wyniesie:

	faszynady m ³		narzutu z kamienia łamanego m ³		obitki brzegu m ²		wyrównania korony i skarpy m ²	
	na 1 m b	ogółem	na 1 m b	ogółem	na 1 m b	ogółem	na 1 m b	ogółem
1) 640 m b typu a)	2,53	1619,2	1,49	953,6	—	—	1,5	960
2) 100 " " " b)	1,44	144,0	0,80	80,0	—	—	1,2	120
3) 220 " " " c)	1,32	290,4	1,49	327,8	2	440	1,5	330
4) 920 " " " e)	2,75	2530,0	—	—	—	—	—	—
5) 216 " " " g)	1,25	270,0	—	—	2	432	—	—
Razem	—	4853,6	—	1361,4	—	872	—	1410

Przyjmując 1 m² obitki jako 0,1 m³ faszynady, otrzymuje się całą ilość faszynady $4853,6 + 87,2 = 4940,2 \text{ m}^3$.

Zapotrzebowanie faszyn wyniesie $4940,2 \times 5 = 24700$ sztuk
 " palików " $24701 \times 2 = 49400$ "

Do obliczenia kosztów robót trzeba przeprowadzić analizę cen jednostkowych materiałów, zależnych od miejsca produkcji, dalekości i środka przewozu, tudzież analizę cen robocizny. Prócz kosztów budowy regulacyjnych objąć musi kosztorys i wszystkie inne roboty, jak koszty robót ziemnych (przekopy), wykupna gruntów, o ile skutkiem wykonania przekopów trasa regulacyjna przejdzie przez grunt prywatny, koszty materiałów pomocniczych, amortyzację przyrządów i narzędzi, wreszcie koszt zarządu budowy.

Kosztorysy budowli regulacyjnych należy tak zestawiać, aby obejmowały całość robót potrzebnych do zupełnego ustalenia łożyska rzeki; wszelkie t. zw. oszczędności, polegające na projektowaniu zbyt słabych typów tam, zbyt małych ilości poprzeczek, zbyt oszczędnym zastosowaniu kamienia, używaniu tańszego ale i gorszego kamienia, odbijają się nader szkodliwie na stanie robót. Trzeba pamiętać o tem, że budowli regulacyjnych nie wykonuje się na krótki czas, lecz że odpowiednio utrzymywane mają przetrwać wieki.

Nader ważnem jest staranne utrzymywanie (konserwacja) budowli. Oprócz funduszu na nowe budowle, powinny być zabezpieczone dostateczne fundusze na utrzymanie, aby każda szkoda zrządzona przez wodę, skutkiem miejscowego zerwania, czy podmycia tamy, mogła być natychmiast naprawiona. Brak należytego dozoru i starannej konserwacji jest powodem, że z budowli regulacyjnych wykonanych nieraz na znacznych przestrzeniach kosztem wielu milionów, nie zostało śladu.

5. Budowle lekkie, lub wiszące.

Opisane powyżej systemy regulacji mają tę słabą stronę, że tamy regulacyjne w mniejszym lub większym stopniu zamykają drogę rumowisku na zewnątrz; przez korony tam przechodzi tylko materiał lżejszy, a najcięższy pozostaje w korycie, przeto w wielu wypadkach ani zamulenie obszarów odciętych, aniteż wykształcenie koryta nie postępuje odpowiednio szybko. Myślano więc nad stworzeniem nowych systemów, któreby ten niedostatek usunęły.

Pierwsze takie próby polegały na tem, że do szeregu beczek pływających na wodzie w linii regulacyjnej, a zakotwionych do dna rzeki, przymocowywano konstrukcje siatkowe, do których były przymocowane rozcięte faszyny. Taka lekka budowla, oddzielająca część odciętą od łożyska, zmniejszała chyżość wody poza linią regulacyjną, jednak skutkiem słabego oporu jaki przeciwstawiała przepływowi wody, nie zatrzymywała rumowiska, które woda mogła wносить do przestrzeni odciętej i zamulać ją. Podobne konstrukcje przedstawiają ciężkie kłoc zatapiane na dno w liniach regulacyjnych, do których przyłączone były lekkie zasłony z rozciętych faszyn, wznoszące się ku górze aż do zwierciadła wody. Próby przedsięwzięte z tym systemem kosztowały dużo, lecz okazał się on niepraktycznym, a zatapianie kłoców połączone było z niebezpieczeństwem dla robotników.

W r. 1886 ogłosił inżynier bawarski Wolf nowy system regulacji rzek toczących rumowisko, polegający na zastosowaniu budowli lekkich, t. zw. zasłon wiszących (Hängebauten, Gehänge, schwebende Baukörper); system ten wprowadzony w życie na Izarze w Bawarii i tu wypraktykowany przez autora systemu, okazał wielką skuteczność, a doniosłe skutki jakie tam osiągnięto, popchnęły i innych do zastosowania go na rzekach w różnych krajach¹⁾.

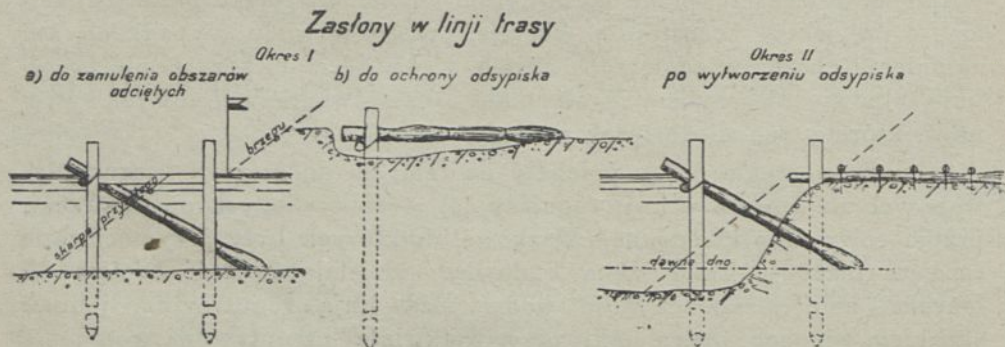
Zasady systemu Wolfa są następujące: Budowle wiszące Wolfa są budowlami pomocniczymi; gdy one spełnią swe zadanie, musi nastąpić definitywne ubezpieczenie brzegów. Są to długie szeregi pali 20—25 cm grubości, bitych lekkim kafarem w dno w odstępach około 2,5 m, do pali przymocowane są poziome beleczki około 10 cm grube, a do nich znowu zapomocą drutu faszyny, jedna przy drugiej, tworzące zasłony obracalne około osi poziomej jaką stanowią wspomniane

¹⁾ Gruntowne studjum budowli wiszących, a specjalnie budowli Wolfa, przedstawia F. Leinera „Der Gehängebau“; Lipsk 1909; o tym przedmiocie traktuje również J. Rychtera „Reisebericht über Flussbauten in Bayern“, Lwów 1888,

tudzież autora „Regulacja rzek i urzędzenia dla żeglugi w południowych Niemczech, Szwajcarii i Vorarlbergu“, sprawozdanie z podróży, Lwów 1903.

beleczi i z łatwością unoszone ku górze przez wodę (rys. 120), która wraz z rumowiskiem z łatwością dostaje się do przestrzeni odciętych.

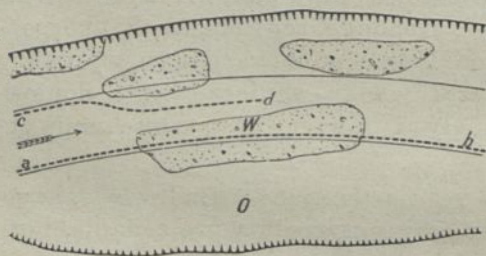
Budowle te mają cel podwójny; po pierwsze mają skupić ramiona rzeki, skoncentrować siłę wody i pchnąć ją w kierunku przyszłych



Rys. 120.

linji regulacyjnych, a nadto wywołać zerwanie przez wodę odsypiska i wysp żwirowych leżących w trasie, powtórnie zaś mają ułatwić zamulenie przestrzeni odciętych.

Jak to widać z rysunku 121, budując taką linję zasłon wiszących w kierunku a—b (w Bawarii biją szeregi pali 3 m przed linją trasy



Rys. 121.

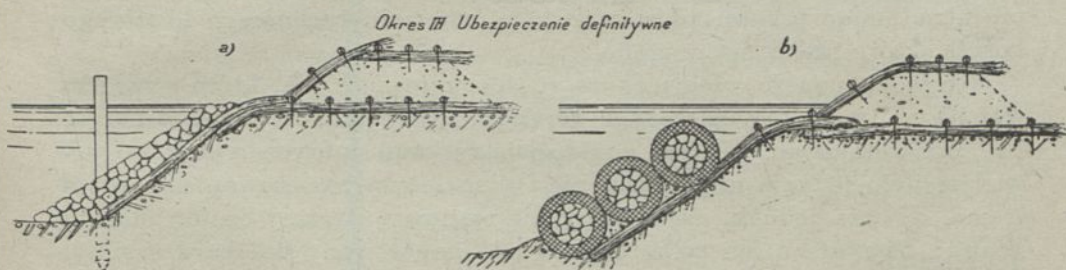
brzegu), staramy się spełnić to drugie zadanie; przez zamulenie przestrzeni O powstanie w linii a—b nowy brzeg, który ubezpieczy się definitywnie opaską. Natomiast zasłony zbudowane w linii c—d biegnącej początkowo przy trasie, a później odginającej się ku środkowi łóżyska, mają zepchnąć prąd wody w kierunku wyspy W, które też wkrótce zostanie za-

brana, a łóżysko oczyszczone aż po trasę regulacyjną. Po spełnieniu swego zadania zasłony z linii c—d usuwa się, a pale wyciąga.

W Bawarii cel robót w pierwszym stadium, w czasie którego stwarzamy regularne łóżysko nazywa się ukształtowaniem linji budowlanych (baulinig gestalten), w drugim okresie, po zasypianiu przestrzeni odciętych, skarpuje się odsypisko w linii trasy i ubezpiecza skarpe obitką, na spód rzuca wálki, a wreszcie daje się narzut kamienny (rys. 122).

Gdy zasłony zostaną zasypane, odcina się je od pali, kładzie na skarpe i przybija kieszkami. Pale, które później są zbyteczne, można uciąć piłą, zazwyczaj jednak zostawia się je na razie, a gdy koryto się pogłębi, można je powyciągać i użyć na nowo. Jeżeliby jeden rząd pali na pewnej rzece okazał się za słaby, to daje się za nim drugi, a nawet i trzeci; zwykle jednak wystarcza jeden rząd.

Zaletą tego systemu jest szybkie zasypanie żwirem przestrzeni odciętych; najcięższe nawet rumowisko może się tam dostawać. Odpadają



Rys. 122.

tu wszelkie tamy poprzeczne, podrażające regulację. Starych koryt nie zamyka się prawie nigdy stałymi poprzecznymi zamknięciami, gdyż są one tu niepotrzebne, wyjątkowo tylko stawia się w odciętych częściach zasłony wiszące ukośnie do trasy regulacyjnej. Niezwykle doniosłą zaletą tego systemu jest to, że materiał ruchomy ma otwartą drogę na zewnątrz, skutkiem czego rzekę się odciąża, oraz że definitywne ubezpieczenie brzozy następuje dopiero po zupełnym zasypaniu przestrzeni odciętych, skutkiem czego ubezpieczenia te mając już oparcie o wytworzone brzozy, mogą być budowane jako opaski o słabszym typie, a zatem stosunkowo tańsze.

System Wolfa zastosowano z dobrym skutkiem i w innych krajach, jak w Szwajcarii i Austrii. Nie wszędzie jednak uzyskuje się dobre wyniki; na rzekach większych, o słabym ruchu materiału, zamulenie postępuje powoli, a tymczasem lody mogą zasłony zniszczyć. Na dolnym Innie np. wyniki nie były korzystne, podobnie na dolnej Drawie. W Małopolsce przedsięwzięto również próby z tym systemem, których wynik uznano jako niekorzystny, jednak prób tych nie można uznać za wystarczające, gdyż nie były ani w odpowiednich rozmiarach, ani odpowiednio starannie przeprowadzone. System ten w odpowiednich warunkach zastosowany, mógłby niewątpliwie i na naszych rzekach górskich oddać dobre usługi. Zasłony założone zaraz po zejściu lodów, mogłyby już do zimy przy sprzyjających okolicznościach warunki polepszyć;

linje pali należałoby z uwagi na silne pochody lodów jaknajłagodniej odchyłać od brzegów.

Przy zabudowaniu rzek zapomocą ostróg, nurt wchodzi niejednokrotnie między nie, zwłaszcza przy zbyt dużych odstępach i utrudnia zamulanie; przez wstawienie w linję trasy zasłon, możnaby odepchnąć prąd w kierunku koryta i wywołać szybsze zamulenie.

Dobre skutki osiągnięto również przy przekopach; zasłona wstawiona w linji rozgraniczającej łożysko nowe od starego (w linji wlotu starego koryta), wywołuje zwrócenie się prądu w kierunku nowego łożyska nie utrudniając przytem dostawania się materiału ruchomego do starego koryta, które rzeka ma zamulić.

Krapf¹⁾ uznaje wielką skuteczność budowli Wolfa, które wypróbował na najrozmaitszych rzekach górskich, o różnych spadkach (od 1‰—10‰) stwierdzając, że tam gdzie nie uzyskano dobrych wyników, powodem było jedynie niezrozumienie i nienależyte zastosowanie tego systemu. Uważa jednak, że zasłony nie stanowią istotnej części budowli Wolfa; używał on ich tylko tam, gdzie napór wody był bardzo silny. Zamiast płyt ze związanych faszyn, używał często tylko wiązek z chrustu, lub też małych drzewek z liściem. Przypisuje dobre działanie już samym linjom pali, które choć nawet z wierzchu zbutwieją, przecież do pewnego stopnia ubezpieczają linję trasy.

Inne typy lekkich budowli. W nowszych czasach proponowano cały szereg innych typów lekkich budowli i to nietylko dla rzek górskich, ale i dla rzek nizinnych, żeglownych.

Leiner²⁾ proponuje dla rzek nizinnych modyfikację systemu Wolfa, żądając od tych konstrukcji aby: 1. nie były uszkodzane przez lody, 2. nie utrudniały żeglugi i nie były przez statki uszkodzane, 3. mogły być używane w wielkich głębokościach, oraz wymieniane pod wodą, 4. mogły być stosowane przy każdym kształcie dna, zachowując swą ruchomość, 5. aby można było zmieniać ich położenie, tak w kierunku pionowym, jak i poziomym, 6. aby były giętkie, jednak równocześnie posiadały pewien stopień sztywności, 7. łatwa obsługa, 8. tanie wykonanie i utrzymanie, 9. aby miały wszystkie zasadnicze własności zasłon Wolfa. Do tego celu prowadzą następujące drogi:

1. Wykonanie tak silne, aby cała konstrukcja mogła przetrwać pochody lodów, i 2. wykonanie konstrukcji takiej, którąby można na zimę usunąć.

1) „Das Wesen und die Anwendung der Wolfschen Bauwerke“ Wochenschrift f. d. öffentlichen Baudienst Nr. 13/14 1919; patrz także „Über Flussbauten am Inn“ v. Ing. Duhm; Rundschau für Technik und Wirtschaft Nr. 3—8 1919 r.

2) „Der Gehängebau“ j. w.

Autor proponuje zasłony z chrustu, zawieszane na pływających rurach drewnianych o przekroju kwadratowym, odpowiednio uszczelnionych i powleczonych smołą pogazową, a utrzymywanych w odpowiedniej głębokości zapomocą kotwic.

Na rzece Cisie, która z powodu bardzo małego spadku i niewielkiej siły poruszającej nie wymaga zbyt silnych budowli — wykonywane tam tamy stanowią lekkie budowle faszynowe ubezpieczone drobnym kamieniem (odpadki z kamieniołomów, żwir) — przeprowadzają poprawę złych progów przez koncentrację łożyska zapomocą specjalnych budowli z drutu i chrustu, zbudowanych w kształcie namiotów¹⁾.

Szkielet o formie dachu wykonuje się z silnego drutu żelaznego, na który daje się plecionkę z wikliny i brzeziny. Namioty mają 5 m długości, 1,6—2,2 m szerokości i 2—6 m wysokości, dno wykonane jest z plecionki z chrustu, wzmocnionej pięcioma drągami. Namioty takie sporządza się na pomoście na brzegu, lub na wodzie między dwiema tratwami i przez obciążenie ziemią zatapia.

Są to budowle służące do wywołania zamulenia; w prądzie stawia się je tuż obok siebie, w spokojnej wodzie w odstępach. Skutki miały być bardzo dobre — nieraz w przeciągu kilku miesięcy namioty zamuliło aż po szczyty. Wykonanie ma być bardzo tanie.

Doell²⁾ proponuje wprowadzenie lekkich budowli żelaznych. Budowle te, a mianowicie żelazne kierownice, ostrogi i progi, mają się składać z ram żelaznych, których przedziały wypełnia siatka z drutu, prócz tego można je pokryć także chrustem. Działanie ich polegać ma na tem, że piasek i żwir poruszane przez wodę dostawszy się do tych konstrukcji, skutkiem oporu jaki sprawiają przepływowi wody, opadają na dół i układają się przed i poza niemi. Budowle te miały zatem np. na górnym Renie (poniżej Bazylei) zwięzić łożysko małej wody, tudzież ustalić dno. Budowle te jednak nietylko mają zatrzymywać żwir i piasek, ale również i namuł; skutkiem przyczepności będą się osadzały na drutach cząsteczki namułu, wywołując zmniejszenie chyżości wody w kierunku przestrzeni odciętych i osadzanie w nich namułu.

Doell składa te budowle, celem ułatwienia przenoszenia i ustawiania, z krótkich przedziałów stawianych obok siebie. Głównymi częściami konstrukcyjnymi są rama podstawowa i rama ścienna. Pierwsza, ma być równo ułożona; stałość jej polega na tarczy płaskiego żelaza i siatki o materiał dna, blachy płaskie ramy są na końcach zagięte i wbijają się w dno. Wysokość takich ścian ma być nie większa jak 1 m, lepiej dać

¹⁾ Ivanyi „Furtenverbesserungen an der Theiss“ Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst Nr. 35/1919.

²⁾ „Die Regulierung geschiebeführender Wasserläufe, besonders des Oberrheines durch eiserne Leitwerke, Grundswellen und Bühnen“. Lipsk 1896.

2 lub 3 ponad sobą, po zasypaniu poprzednich. Szerokość stopy (ramy podstawowej) wynosi 1—3 m; stopę obciąża się piaskiem lub żwirem. Oka siatki mają się stosować do siły prądu i do grubości ziarn materiału rucho-
mego; dla Renu proponował rozmiar 5—6 cm, grubość drutu 1,3—2 $\frac{m}{m}$.

Jak widać, w dziedzinie budowy lekkich propozycje są liczne i różnorodne, każdy system wymaga gruntownego zbadania na danej rzece. W każdym razie są one wyrazem dążenia do unikania wszelkiego marnowania materiału przy regulacji rzek, dążenia do uzyskania małymi środkami doniosłych rezultatów i skutkiem tego dalsze próby i doświadczenia z tego rodzaju konstrukcjami są bardzo wskazane i pożyteczne.

6. Przekopy. (Tranchée, déblai, Durchstich).

Jak to przedstawiliśmy już w części I, rzeka w naturalnym swym rozwoju wytwarza często ostre zakręty i serpentyny, stanowiące same przez się zarodek dalszego rozwoju w tym kierunku; takie nadmierne rozwinięcie biegu może być szkodliwym, gdyż rzeka w zbyt ostrych łukach z powodu gwałtownej erozji na brzegu wklęsłym nie może się utrzymać, powstałe skutkiem rozwinięcia znaczne zmniejszenie spadku wywołuje zmniejszenie siły poruszającej, powstawanie złoży materiału, wysp i dzielenie się na ramiona. Wytworzone zakola są często tak ostre, że odpływ wody i zejście lodów są utrudnione, skutkiem osadzania łożysko się podnosi, następuje podniesienie stanu wody gruntowej i zabagnienie; również i żegluga w takich warunkach doznaje przeszkód, a budowle regulacyjne w zbyt ostrych zakolach nie mogą się utrzymać. Gdybyśmy nawet przestrzeń taką potrafili obudować tamami regulacyjnymi i mieli możliwość utrzymania budowli, to zrealizowanie regulacji, oczyszczenie i wykształcenie łożyska, z powodu małego spadku, byłoby często niemożliwe.

Takie niekorzystne warunki staramy się usunąć zapomocą przekopów, które usuwając nadmierne rozwinięcie rzeki skracają bieg, a powiększając spadek, powiększają równocześnie siłę poruszającą wody. Naturalnie, tam gdzie dolina jest wąska, głęboko wcięta, a rzeka płynie w najniższych punktach doliny, o przekopach nie może być mowy; stosuje się je tylko tam, gdzie dolina jest stosunkowo szeroka, a przez wykonanie przekopu nie wyjdziemy jeszcze z najniższych punktów doliny, oraz nie zwiększymy nadmiernie przeciętnego spadku łożyska.

Z tego co dotychczas w poprzednich rozdziałach powiedziano, a także z poniżej podanego rozdziału o regulacji rzek żeglownych wynika, że wszelkie skracanie biegu, wywołujące zwiększenie spadku naturalnego, jest tak dla rzek górskich, jak i nizinnych, zasadniczo szko-

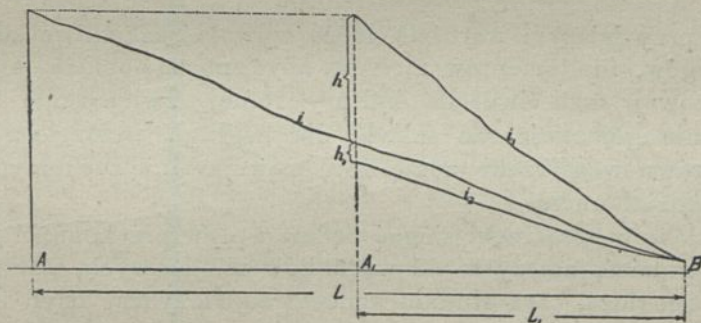
dliwe, wobec tego stosowanie przekopów jako środka regulacji powinno być uważane jako konieczne zło i ograniczone w praktyce tylko do przypadków, w których ta konieczność rzeczywiście zachodzi.

Korzyści, które zapomocą przekopów staramy się osiągnąć, można ująć w następujące punkty:

1. Usunięcie zbyt ostrych krzywizn, w którychby budowie regulacyjnej nie mogły się utrzymać,
2. umożliwienie wykształcenia łożyska, odprowadzenia wody, materiału ruchomego i lodów przez powiększenie spadku wywołane skróceniem,
3. ułatwienie żeglugi, zmniejszenie wezbrań, usunięcie niebezpieczeństwa tworzenia się zatorów,
4. uzyskanie miejsca dla dróg, kolei i innych budowli, przyczem jednak takie lokalne cele nie powinny sprzeciwiać się ogólnym celom i zasadom regulacji.

Z drugiej strony trzeba gruntownie rozważyć wszelkie niekorzyści, któreby wykonanie przekopu mogło spowodować.

Powiększenie spadku skutkiem skrócenia powoduje w dalszym ciągu pogłębienie. Jak wielkie ono będzie i czy ono rzeczywiście w większej mierze nastąpi, trudno z góry przewidzieć¹⁾. Zasadniczo, działanie przekopu objawia się następująco (rys. 123):



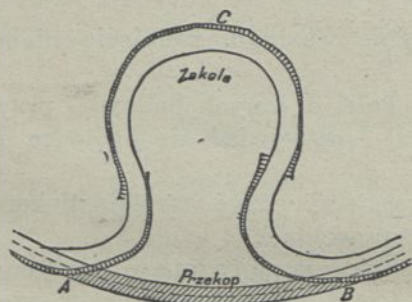
Rys. 123.

Jeżeli naturalną długość łożyska, mierzona w osi, przedstawia linja AB, zaś długość skróconą, mierzona w osi przekopu linja A₁B (patrz także rys. 124), natenczas widać z rysunku tego, przedstawiającego profil podłużny zwierciadła wody w naturalnym łożysku i w przekopie, że skutkiem skrócenia biegu, pierwotny spadek i zwiększył się na i₁, skutkiem czego musi się zwiększyć siła poruszająca, a rzeka dążąc do uzyskania stanu równowagi, będzie skutkiem erozji spadek i₁ zmniejszać. Gdyby

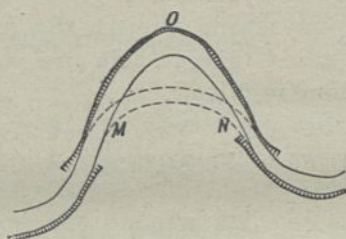
¹⁾ Patrz ustęp o skutkach regulacji.

rzeka dążyła tylko do uzyskania spadku takiego jak poprzednio, t.j. i, musiałyby się na początku przekopu objawić pogłębienie h , ponieważ jednak rzeka uregulowana nie potrzebuje tak wielkiego spadku, skutkiem regularnych kształtów, mniejszych oporów przepływu i oczyszczenia łóżyska, przeto spadek i_2 jaki odpowiada równowadze jest mniejszy, a skutkiem tego może pogłębienie w górnym końcu przekopu zwiększyć się jeszcze o h_1 , czyli wynosić sumarycznie $h + h_1$.

Szereg przekopów może naruszyć równowagę rzeki na znacznej przestrzeni i wywołać pogłębienie, które do pewnej granicy jest korzystne,



Rys. 124.



Rys. 125.

później zaś, przy dalszym wzroście, może wywołać szkodliwe skutki dla stałości brzegów, fundamentów mostów, zbyt znaczne obniżenie poziomu wody gruntowej szkodliwe dla kultury rolnej, zwiększenie chyżości i zmniejszenie głębokości ze szkodą dla żeglugi, wreszcie z powodu naruszenia równowagi rzeki erozję dna, powstawanie ruchomych ławic, mielizn i rozdział nurtu.

Jak daleko w górę rzeki sięgać będzie wpływ przekopu, nie można z góry przewidzieć, zależy to od warunków miejscowych, siły poruszającej wody, podłoża, oraz stopnia koncentracji łóżyska, czyli przyjętej normalnej szerokości.

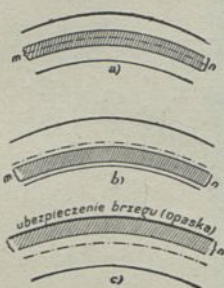
Wykonanie przekopów. Chodzi tu najpierw o omówienie warunków, w jakich przekop może się należycie zrealizować i utrzymać.

Przedewszystkiem powinien przekop łączyć brzegi wklęsłe rzeki, gdyż przy nich istnieje dostateczna głębokość i nie ma tam osadzania materiału, lecz przeciwnie następuje pogłębienie. W takim razie wejście wody do przekopu będzie ułatwione i uzyskujemy większą pewność, że rzeka nie przerzuci się do starego koryta. Takie wykonanie przedstawia rys. 124; przekop A—B łączy brzegi wklęsłe, zakole A—C—B przedstawia stare koryto, które woda ma zumulić. Przeciwnie, przy brzegach wypukłych następuje osadzanie materiału, gdybyśmy zatem te brzegi

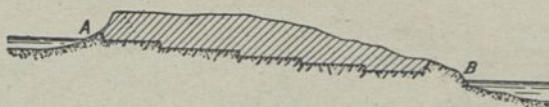
łączyli przekopem M—N, jak to wskazuje rys. 125, zrealizowanie przekopu byłoby trudne, gdyż u wlotu i wylotu przekopu osadzałoby się rumowisko, a woda miałaby utrudniony wstęp do przekopu.

Wykonując przekop, zazwyczaj nie robimy wykopu w całej szerokości, lecz wykopujemy tylko część, resztę pracy ma rzeka sama wykonać. Sposób wykonania przedstawiają rys. 126 a, b, c, (sytuacja), 127 (przekrój podłużny) i 128 (przekrój poprzeczny).

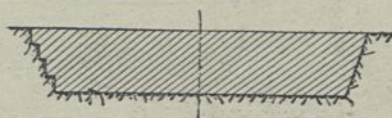
Rys. 126 przedstawia sposób wykonania tego kanału, czyli kinety



Rys. 126.



Rys. 127.



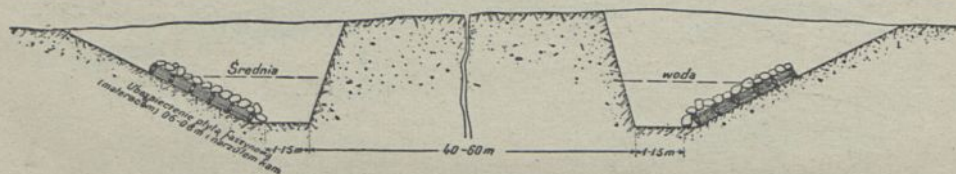
Rys. 128.

(cunette), powierzchnia kreskowana oznacza kinetę przekopu, linie skrajne całą jego szerokość.

Jak szerokim ma być ten kanał, zależy to od rodzaju materiału, w którym przekop wykonujemy, oraz od tego, jakie skrócenie wywołuje przekop w stosunku do dawnego koryta. Przedewszystkiem co do materiału, to na pracę rzeki możemy liczyć tylko w materiale luźnym, a więc piasku lub żwirze, w materiałach zwięzłych jak w ile, zlepieńcu ewentualnie i torfie trzeba będzie wykonać wykop w całości, gdyż woda tych materiałów nie ruszy. Wielkość skrócenia ma tu wpływ na potrzebną szerokość kanału z tego powodu, że im większe skrócenie, tem znaczniejsze powiększenie siły poruszającej wody, tem większą pracę można rzece narzucić, a zatem tem węższą wykonać kinetę. Ostatecznie decyduje tu doświadczenie i bliższe zbadanie warunków w jakich wykonujemy przekop. Przy małych rzekach szerokość kanału w stosunku do całej szerokości przekopu musi być stosunkowo znaczniejsza, nieraz trzeba cały wykop wykonać, przy dużych rzekach, korzystnym materiale i znaczniejszym skróceniu, wystarcza nieraz wykopać $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, a nawet $\frac{1}{8}$. W bardzo korzystnych warunkach wykonywano przekopy na Odrze (rys. 129). Wystarczały tu często obustronne wąskie kinety, 1—1,5 m szerokości w dnie, ubezpieczone opaskami, a jedna wielka woda zdołała wypchnąć z przekopu cały środkowy trzon 40—60 m szeroki.

Pracę wyniesienia niewykopanego materiału wykonają wyższe wody, które jednak do przekopu powinny się dostać dopiero po wykończeniu kanału; dlatego w terenach niskich otacza się czasem przekop obustronnemi wałami, które później mogą być włączone do wałów rzecznych.

Jeżeli przekop ma być wykonany w łuku, to zachodzi pytanie, gdzie wykonać kinetę, czy w środku (rys. 126 a), czy bliżej brzegu wypukłego (rys. 126 b), czy też bliżej brzegu wklęsłego (rys. 126 c). Obydwa pierwsze sposoby były stosowane dawniej w Małopolsce, przy czem często nie ubezpieczano równocześnie brzegów, a woda wynosiła materiał



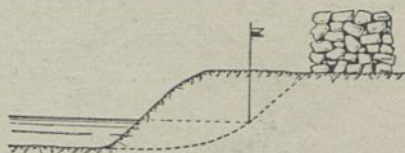
Rys. 129.

z przekopu, rozdierała go, wżerając się nieraz głęboko poza granice przekopu w sąsiednie grunta. Odsunięcie kanału od brzegu wklęsłego (b), w stronę którego rzeka szybciej zrywa grunt, miało mieć ten cel, aby się nie trzeba było spieszyć z ubezpieczeniem brzegów i nie obawiać zbytniego wykroczenia rzeki, poza granice zakreślone normalną szerokością. Obydwa sposoby nie mogą być uważane jako rozwiązania dobre, gdyż wobec nieubezpieczenia łóżyska, połączone są z niebezpieczeństwem rozerwania przez wodę pasu zbyt szerokiego. Lepszym jest sposób stosowany od dawna na rzekach badeńskich (rys. 126 c), przy którym kinetę wykonuje się bezpośrednio przy brzegu wklęsłym, który jednak odrazu trzeba ubezpieczyć silną opaską. Wtedy woda erodować może tylko w stronę brzegu wypukłego, a ponieważ erozja po rozszerzeniu łóżyska przy brzegu tym następuje tylko powoli, niebezpieczeństwo wykroczenia rzeki jest małe, gdyż w stosownym czasie możemy wykonać ubezpieczenie także i brzegu wypukłego. Można używać, celem zabezpieczenia brzegu przed zerwaniem poza linię trasy, t. zw. składow, czyli deponji kamienia (rys. 130) ustawionych na brzegu; gdy woda zerwie brzeg aż do ich podstawy, kamień stacza się chroniąc skarpgę. Deponje takie mogą być skuteczne tylko wtedy, jeżeli brzeg jest niski; ustawione 3 do 4 m nad wodą, lub wyżej, rozsypują się nieregularnie, a kamienie staczają się zbyt daleko we wodę.

Najlepsze wykonanie przekopu jest stanowczo takie, przy którym odrazu obydwaj brzegi zabezpiecza się opaskami (jak np. na rys. 129), a więc wykonanie obustronnych kinet, z których jedna może być węższa, a druga

szersza, albo też obustronnie wykonuje się przy przyszłych brzegach tak wąskie kinety, aby można było tylko wykonać opaski, a w środku właściwy kanał. Rys. 131 przedstawia wykonanie kinety i ubezpieczenia brzegu opaską w przekopie na górnym Renie. Deponja kamienia ułożona na podścielce faszynowej ma ograniczyć dalsze zrywanie brzegu i wytworzyć stopę skarpy.

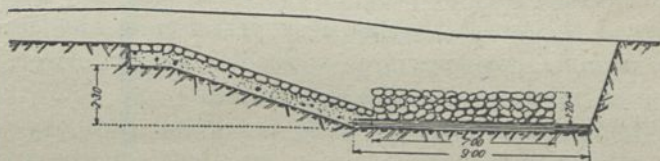
W przekroju podłużnym (rys. 127) rozpoczyna się zazwyczaj wykonanie kanału od dołu i postępuje z robotą w górę; przy mniejszych długościach i spadkach zakłada się dno poziome, przy większych idzie się stopniami. Wykop prowadzi się aż do poziomu małej wody, a więc do poziomu wody gruntowej, conajwyżej idzie się jeszcze na 1 łopatę pod wodę, resztę ma wykonać rzeka sama. W szczególnych



Rys. 130.

wypadkach, gdy dno jest zwięzłe, wykonać trzeba wykop w całej głębokości, używając pogłębiarek (bagrownic). Na górnym i dolnym końcu przekopu (A, B) pozostawia się ściany działowe, które przekopuje się dopiero wtedy, gdy wykop kanału jest ukończony. Na rzekach górskich, przy których należy się spodziewać gwałtownego działania, korzystniej jest otworzyć przekop, czyli wpuścić wodę do przekopu, nie przy wielkiej wodzie, ale przy średniej.

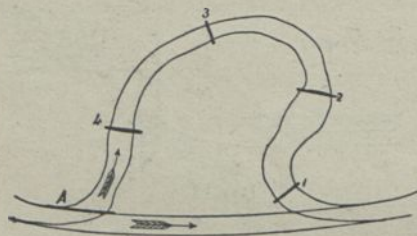
Zamknięcie starych koryt. Celem utrudnienia przepływu wody przez stare koryto, a skierowania jej do przekopu, oraz celem przyspieszenia



Rys. 131.

zamulenia starego koryta, wykonuje się w niem porzeczne zamknięcia (rys. 132), nie różniące się wiele od przyjętego typu tam poprzecznych (poprzeczek) z materiału faszynowego, lub kamiennego. Ile zamknięć wykonać? — nie można na to wprost odpowiedzieć, zależy to od miejscowych warunków, od wielkości skrócenia, ilości poruszanego materiału, a więc szybkości zamulania. W każdym razie początkowa ilość zamknięć powinna być jak najmniejsza i wykonanie zamknięć powinno następować od dołu ku górze, w miarę potrzeby. A więc najpierw wykona się zamknięcie 1, potem 2, ewentualnie dalsze (rys. 132), gdybyśmy wy-

konywali zamknięcia w kierunku przeciwnym, wywoływalibyśmy zamulenie tylko górnej części koryta, a zamulenie części dolnej byłoby utrudnione. W linii A, oddzielającej wlot przekopu od starego koryta, potrzebne będzie wykonanie tamy oddzielającej (separacyjnej), która będzie stanowić w przyszłości definitywne ubezpieczenie koryta wzdłuż nowej trasy. Czy tę tamę separacyjną wykonamy od razu w czasie wpuszczenia wody do przekopu, czy też dopiero później, po zrealizowaniu się przekopu, zależy to będzie od potrzeby; korzystniej będzie, jeżeli



Rys. 132.

uda nam się przekop zrealizować bez poprzedniego wykonania tamy separacyjnej, czyli zamknięcia przy A. Budowa tego zamknięcia jest trudna i kosztowna gdy ją musimy wykonać w prądzie wody płynącej jeszcze do starego koryta; woda napotykając opór jaki stawia zamknięcie, którego budowę forsuje się z obu brzegów, gwałtownie w tym miejscu pogłębia dno, co również

ułatwia jej odpływ w stronę starego koryta, a utrudnia skierowanie jej do przekopu, nadto zamknięcie utrudnia dostawanie się materiału ruchomego do starego koryta. Trzeba zgromadzić dużą ilość materiału i robotników, aby przeforsować wykonanie zamknięcia, a na dno rzucić walki, lub narzut kamienny, celem powstrzymania pogłębienia.

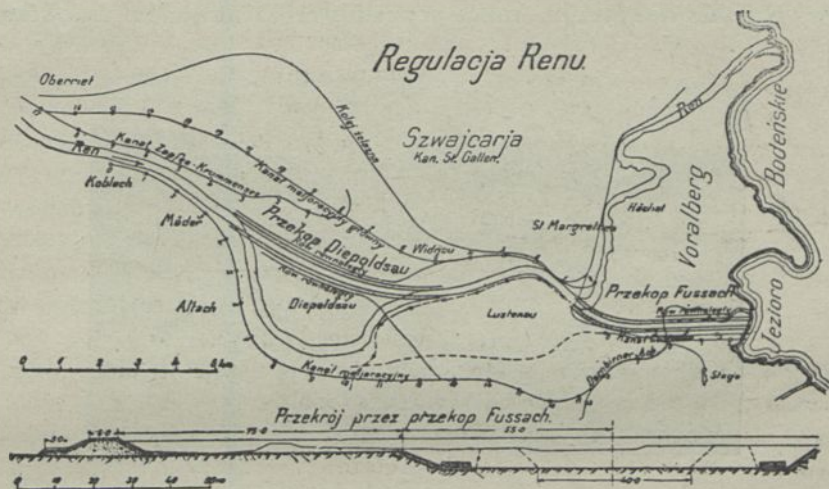
Uwzględniając te trudności, wynikające z wykonania zamknięcia na początku starego koryta, proponował Iszkowski, aby zamknięcia tego nie wykonywać w starym korycie, lecz przeciwnie, aby je wykonać na początku przekopu, pozostawiając w środku wolny otwór. Zamknięcie w tym miejscu miałyby wywołać pogłębienie na początku przekopu, a skutkiem tego skierowanie wody do przekopu. Propozycja ta się nie utrzymała, gdyż zamknięcie przekopu wprawdzie może wywołać pogłębienie na początku przekopu, ale stanowi również przeszkodę dla wody mającej się skierować do przekopu i zrealizować go.

Dobre skutki uzyskano natomiast przez zastosowanie zasłon Wolfa, użytych jako zamknięcie w starym korycie, a szczególnie jako zamknięcie w linii A. Mają one tę dobrą stronę, że stawiając słaby opór przepływowi, nie wywołują pogłębienia i nie tamują drogi rumowisku do starego koryta.

Na rysunku 133 przedstawiono regulację Renu powyżej ujścia do jeziora Bodeńskiego¹⁾. Celem tych robót była ochrona

¹⁾ Patrz autora „Regulacje rzek i urządzenia dla żeglugi...” j. w.

przed wylewami, oraz umożliwienie meljoracji gruntów w dolinie, przez osuszenie. Widzimy tu dwa przekopy, dolny pod Fussach i górny pod Diepoldsau, obydwie skracające znacznie długość rzeki. To skrócenie długości nie mogło mieć szkodliwych skutków dla obszarów poniżej położonych z uwagi na przyspieszenie odpływu, gdyż wody Renu wlewają się zaraz poniżej do obszernego zbiornika, jaki przedstawia jezioro Bodeńskie, a wyprostowanie biegu i pogłębienie łożyska było pożądane z uwagi na ułatwienie odprowadzenia wielkiej wody i osuszenie gruntów.



Rys. 133.

Roboty obliczone na lat 14 przeprowadzono w ten sposób, że najpierw wykono przekop dolny, następnie uregulowano przestrzeń między obydwu przekopami, a w końcu przekop górny. Wykonaniem objęto również zabudowanie górskich potoków, oraz główne kanały meljoracyjne.

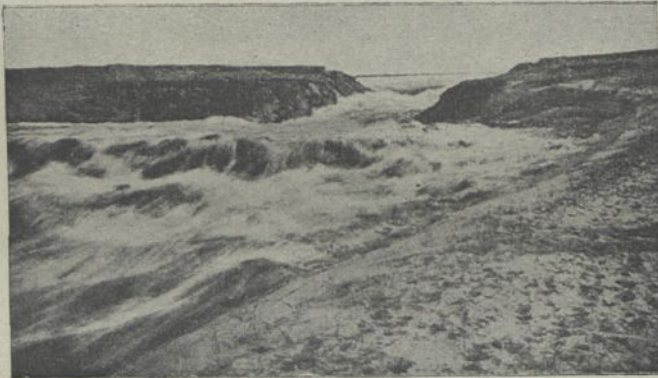
Normalny profil (rys. 133 u dołu) jest profilem dwuczęściowym; zwykła mała woda wynosi około $60 \text{ m}^3/\text{sek}$, wielka woda wynosząca około $3000 \text{ m}^3/\text{sek}$. ujęta jest wałami ochronnymi. Szerokość normalna dla średniej wody wynosi 110 m, najmniejszy odstęp wałów 260 m.

Przekop pod Fussach skracą bieg rzeki z 12,1 na 5 km; jak widać z rysunku, wykopano tu trzy kinety, dwie po brzegach, gdzie odrazu wykonano opaski upezupeczające, a jedną w środku, stanowiącą właściwy kanał; do zabrania przez rzekę pozostało niewiele. Typ opaski przedstawia rys. 131.

Grunt składał się w górnej warstwie z ziemi gliniastej, w dolnej z mieszaniny gliny i torfu; materiał wydobywano do poziomu wody

gruntowej ręcznie, poniżej zaś zapomocą pogłębiarek. Gdy kanał przekopu, jak również i wcięcia boczne, były prawie już zupełnie ukończone, przyszła wielka woda, przerwała wał oddzielający przekop od starego koryta i wtargnęła do przekopu. Z początku zdawało się, że wszystko zostanie zniszczone; Ren zasypywał przekop masą materiału, jednak później przekop znowu się oczyścił i w zupełności zrealizował.

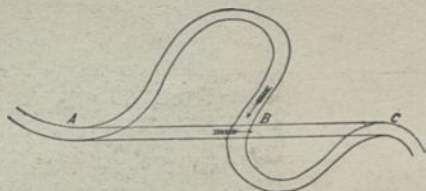
W starem korycie nie wykonano żadnych zamknięć, miało ono początkowo służyć do odprowadzenia ścieków spływających z sąsiednich stoków. Koszta wszystkich robót wynosiły 16,5 milionów franków.



Rys. 134.

Przykładem niezmiernie szybkiego zrealizowania się przekopu jest przekop ujścia Wisły pod Schievenhorst, wykonany w latach 1894/5. Skrócenie wynosiło tu 10 km, jeżeli za podstawę weźmiemy ujście Wisły pod Górkami (Neufähr), które sobie rzeka wyrobiła sama w r. 1840; długość przekopu wynosi 7,1 km. Celem wykonania przekopu było ułatwienie odprowadzenia wielkiej wody i lodów i odciążenie przedewszystkiem Nogatu. Wykop wykonano tylko do głębokości 2 m pod przyszłą średnią wodę, dając dnu spadek 0,1 ‰, resztę materiału miała rzeka sama wynieść. Tylko tam gdzie grunt składał się z materiału zbitego, np. łu, wykonano wykop głębszy, jako rów 50 m szeroki, sięgający do 4 m pod średnią wodę i skierowano go w stronę obniżenia nadmorskiej wydmy, wznoszącego się tylko na 9 m, podczas gdy pagórki jej wznosiły się do 21 m. Szerokość przekopu w części średniej oznaczono na 250 m, dolnej 400 m. Brzegi przekopu ubezpieczono aż do wydmy opaskami. Opaskę lewą wykonano jako bruk między szeregami pali bitych blisko siebie; kamienie mają 40 cm grubości i spoczywają na 40 centymetrowym podłożu żwirowem; nachylenie skarpy wynosi 1:4. Poniżej małej

wody skarpa schodzi w dół stopniami wytworzonymi zapomocą materaców z narzutem kamiennym. Materace sięgają jednak jeszcze od 10—25 m dalej, zależnie od rodzaju gruntu. Ubezpieczenie kończyło się 1 m pod spodziewaną głębokością łożyska. Opaskę prawą wykonano taniem; na dole dano faszynadę (pakunek) w formie materacu i narzut kamienny, na górze obitkę faszynową. Brzeg ten jako lekko wypukły był mniej narażony, nadto nie było po tej stronie żadnych budowli. Wykop wykonano pogłębiarkami; cena jednostkowa była wyjątkowo niska (72 fen/m³), gdyż użyto tu maszyn z budowy kanału łączącego Morze Północne z morzem Bałtyckiem. Po ukończeniu robót przekop zamykał od strony górnej wał, a od strony dolnej wydma. W jesieni 1894 r. usnięto najpierw przy stanie niskim wał, skutkiem czego przekop napełnił się wodą. Na wiosnę 1895 r. wykonano przez wydnię tylko rów 1 m szerokości; rysunek 134¹⁾ podaje stan przekopu po 30 minutach od przekopania. Za godzinę rozszerzyło się na 100 m, a po 16 godzinach na 300 m; woda wybrała i uniosła do morza w tym czasie 2 miliony m³ piasku. Koszta wykonania przekopu wyniosły 20 milionów marek.

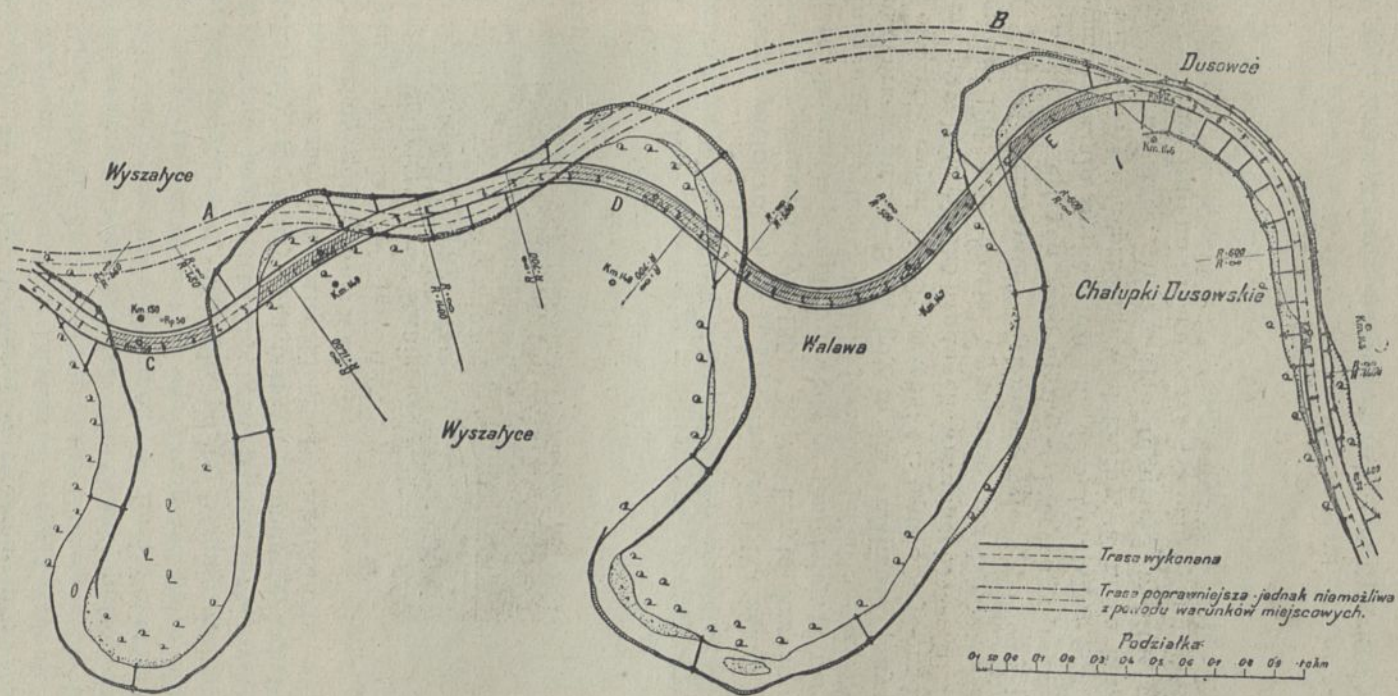


Rys. 135.

Przekopy wielokrotne, t. j. przecinające kilka zakoli, są szczególnie trudne do wykonania (rys. 135). Nowe koryto krzyżuje tu przy B koryto stare, kierunek przepływu wody w tym miejscu ma się zmienić na zupełnie inny. Najlepiej będzie jeszcze, jeżeli się wykona najpierw górną część przekopu A—B, a gdy ta się zrealizuje, przystąpi się dopiero do otwarcia części B—C; trzeba tu będzie wykonać zamknięcia obustronne przy B w bardzo trudnych warunkach.

Rysunek 136 przedstawia wykonanie przekopów na Sanie pod Walawą, poniżej Przemyśla. Wykonanie ich z powodu nadmiernego rozwinięcia biegu i ostrych serpentyn, w którychby rzeka nie mogła się utrzymać, okazało się koniecznym. Jest to szereg przekopów, tworzących właściwie jeden przekop wielokrotny, a nowe koryto przecina sześć razy koryto stare. Wykonując regulację według trasy górnej (A—B), oznaczonej linjami kreskowanymi, możnaby uniknąć wykonania trudnego przekopu wielokrotnego, jednak trasa ta była niemożliwa do wykonania, gdyż w okolicy A i B były miejscowości.

1) Wzięty z Möllera „Grudriss des Wasserbaues“ tom I, Lipsk 1906.

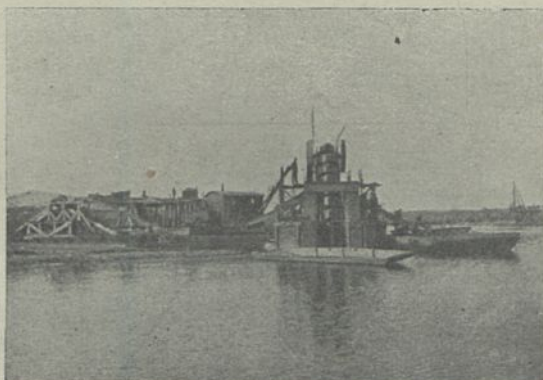


Rys. 136.

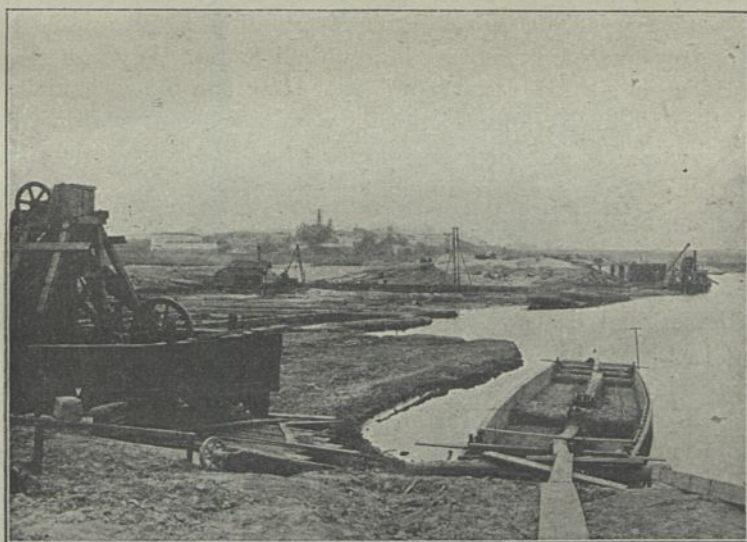
7. Roboty pomocnicze przy regulacji rzek.

Do robót tych należą:

a) Pogłębianie, czyli bagrowanie (dragage, Baggerung).
Ma ono na celu na rzekach górskich ułatwienie wykształcenia się łoż-



Rys. 137.



Rys. 138.

ska, przez usunięcie (skopanie) zapomocą specjalnych maszyn (pogłębiarki, bagry, drague, Bagger) zbyt zwężłych odsypisk, ławic żwiro-

wych i mielizn, których woda nawet po przeprowadzonej koncentracji nie może ruszyć, a na rzekach nizinnych, żeglownych, prócz tego doraźną poprawę żeglugi, przez wytworzenie większych głębokości. Przy robotach regulacyjnych używane są prócz maszyn do właściwego pogłębiania także maszyny do skopywania skarp, a więc kopiące materiał suchy nad wodą, zwane ekskawatorami, bagrami skarpowymi, a które możnaby nazwać „kopaczami“. Szczegółowy opis tych przyrządów należy do działu „maszyny budowlane“, tu tylko pokrótce omówimy najważniejsze ich rodzaje stosowane przy regulacji rzek, oraz samo przeprowadzenie bagrowania.

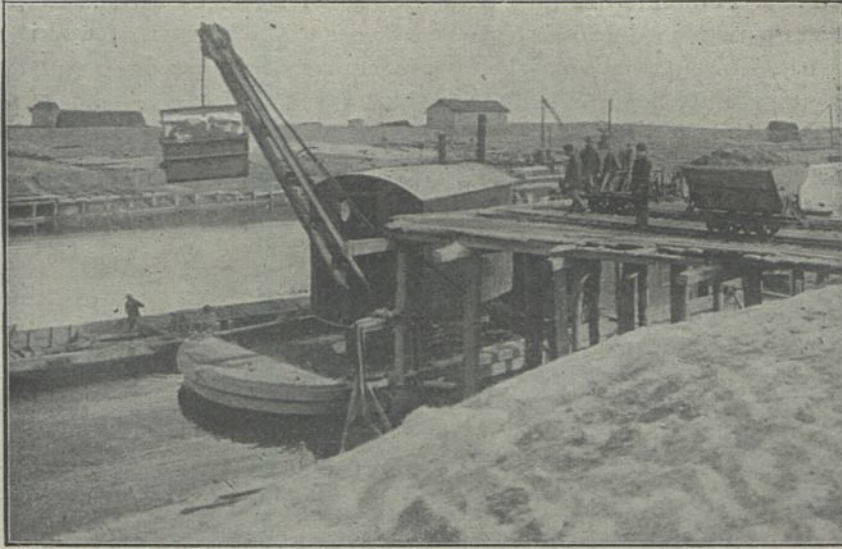
Do bardzo dawnych maszyn służących do pogłębiania pod wodą, jednak i dziś jeszcze najbardziej rozpowszechnionych, należy pogłębiarka z łańcuchem kubłów (rys. 137, przedstawiający pogłębiarkę wiślaną o popędzie parowym, z maszyną 18 konną, wykop w 10 godzinach do 1000 m³, rys. 138 pogłębiarkę ręczną). Łańcuch ten jest osadzony na drabinie ukośnej, w przeciwieństwie do bagrów pracujących w wąskim wykopie, mających drabinę pionową. Drabina stosownie do potrzeby może być więcej lub mniej pochylana, skutkiem czego bagruje się głębiej lub płycej. Materiał wysypujący się z kubłów spada na dół i ukośnymi rynkami bocznymi (zazwyczaj na przemiany) zesuwa się do statków materiałowych (galarów), które odwożą go do miejsc jakie ma się zasypać, a więc do przestrzeni poza tamami, lub też na nasypy (podwyższenia brzegów, ładownie i t. p.). Wywóz z tych statków uskutecznia się albo taczkami (rys. 138), lub też zapomocą wózków kolejki, wtedy jednak najlepiej jeżeli na statkach materiałowych umieści się paki od wózków, a elewator podnosił je będzie na wysokość szyn kolejki i tu ustawiał na podwoziach (rys. 139 i 140, budowa nasypu wyciągu dla statków w porcie w Nadbrzeziu).

W czasie pracy musi być pogłębiarka odpowiednio zakotwiona; łańcuch kotwiczny posiada na jednym końcu kotwicę, którą zarzuca się na kilkaset metrów powyżej miejsca bagrowania, drugi koniec jego nawinięty jest na wał windy parowej na pogłębiarce, która w ten sposób ciągnąc się po łańcuchu przeciw prądowi, przyciska spód drabiny, a zatem kubły w dolnem położeniu do powierzchni bagrowanej. Zapomocą osobnych łańcuchów i kotew zakotwia się pogłębiarkę z obu boków.

Pogłębiarki te pracują dobrze, wydajność dzienna, zależnie od rozmiarów i siły motoru, od kilkuset do kilku tysięcy m³.

Do robót niewielkich, szczególnie na małych rzekach, używa się także pogłębiarek ręcznych. Wydajność ich jest niewielka (zazwyczaj kilkadziesiąt m³ na 10 godzin), a wyzyskanie pracy niekorzystne. Ze względów oszczędnościowych używano nieraz dla pogłębiarek ręcznych

pudeł drewnianych (rys. 138), jednak nie jest to stosowne, gdyż statek taki nietrwa długo i po pewnym czasie musi się pogłębiarkę demontować.



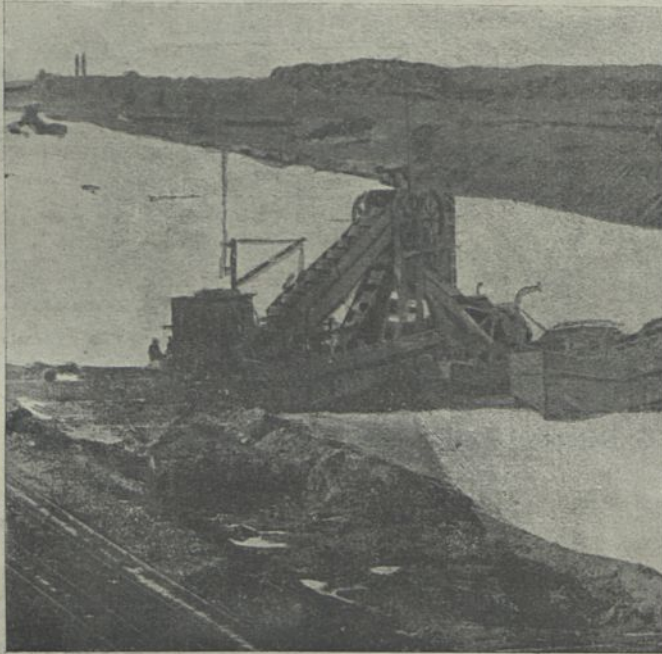
Rys. 139.



Rys. 140.

Osobny rodzaj stanowią pogłębiarki czyli bagry ssące (dragueur à aspiration, suceuse, Saugbagger), polegające na tem, że rura ssąca zakończona u spodu koszem ciągnie z dna rzeki mieszaninę piasku i wody. Na pogłębiarce znajduje się pompa odśrodkowa, która podnosi materiał i tłoczy go zapomocą rury tłocznej (refouleur, Druckrohr) pły-

wającej na wodzie, nieraz na znaczną odległość do miejsc składu, a więc do starych koryt lub przestrzeni odciętych poza tamami, które mają być zamulone. Spadek ciśnienia przy tłoczeniu takiej mieszaniny wynosi około 1:20. Podobnie działają pogłębiarki z łańcuchem kubłów, zaopatrzone jednak również pompą ośrodkową i rurą tłoczną, które posiadają własny zbiornik materiału. Materiał dostarczony przez kubły dostaje się do tego zbiornika, a stąd ssie go pompa i tłoczy



Rys. 141.

zapomocą pływającej rury tłocznej na odległość. Bagry z rurą tłoczną działają dobrze w materiale piaszczystym i rozwodnionych namulach.

Rysunki 141 i 142 przedstawiają obydwie systemy pogłębiarek, pierwszy z łańcuchem kubłów i z rynnami bocznymi sypiącymi materiał wybagrowany do statków odwożących go, drugi również z łańcuchem kubłów, ale transportujący materiał zapomocą rury tłocznej¹⁾.

Do kopania ziemi na sucho (przekopy, rozszerzenia profilu wielkiej wody i t. d.) służą kopaczce, czyli ekskawatory, których konstrukcja do

¹⁾ rys. 140, 141, 142 według dzieła „Die Bauausführung des Nord-Ostseekanals“ Hamburg 1891.

ostatnich czasów polegała przeważnie również na zastosowaniu łańcucha kublów. Przykład takiego kopacza przedstawia rys. 143. Na torze szerokim porusza się kopacz, dźwigający zawieszoną na ramieniu



Rys. 142.

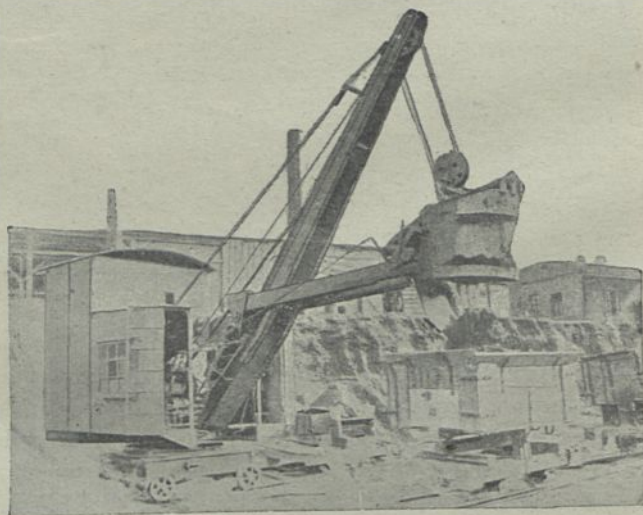
żórawia drabinę z łańcuchem kublów, kopiących materiał na skarpe. Materiał wyrzucony u góry z kublów napelnia wózki kolejki, która odwozi go do miejsc składu, względnie na nasypy. Podobnie zupełnie skonstruowany jest kopacz, kopiący materiał ze skarpy znajdującej się nad poziomem jego toru; drabina z łańcuchem kublów takiego kopacza podniesiona jest w górę.



Rys. 143.

Nowszym przyrządem jest łopata parowa (kopacz łyżkowy, Löffelbagger, drague à cuiller), używana jednak w Ameryce już od kilku dziesiątek lat; nadaje się do kopania tak w ziemi luźnej, jak i spoistej; skałę zwięzłą trzeba przedtem wzruszyć przez rozsadzenie. Wyniki pracy, szczególnie przy wielkich robotach ziemnych, są znakomite. Rysunek 144 przedstawia łopatę parową użytą przy robotach regulacyjnych na Wiśle

pod Krakowem. Na ramieniu żórawia obrotowego, ustawionego na torze biegnącym wzdłuż kopanej skarpy, osadzony jest trzonek łopaty, stanowiącej kubel u góry otwarty, od spodu zamykany ruchomym dnem, które ręcznie, przez pociągnięcie pręta z dźwignią można otwierać. Trzonek ten wraz z łopata może się obracać, przyczem łopata znaleźć się może u spodu skarpy, lub podnieść w górę, nadto trzonek może się przesuwać wprzód lub wstecz. Wszystkie ruchy wykonuje maszynista obsługujący maszynę parową. Kopanie materiału odbywa się w ten sposób, że najpierw łopatę spuszcza się na dół i przypiera do spodu skarpy. Następnie łopata wykonuje ruch ku górze, przyczem jej ostra



Rys. 144.

przednia krawędź wbija się w skarpy, a łopata się napelnia. Następuje obrót żórawia około osi pionowej, aż łopata znajdzie się nad wózkiem kolejki, biegnącej równoległe do toru żórawia, poczem otwiera się dno, a materiał wypada z łopaty do wózka.

Pojemność tej łopaty wynosiła około 1 m^3 , wydajność dzienna około 1000 m^3 , wykonuje się jednak i łopaty znacznie większe o pojemności do 4 lub 5 m^3 i wydajności dziennej kilku tysięcy m^3 .

Do specjalnych celów służą, znane zresztą oddawna i używane przedewszystkiem przy wykopach fundamentowych pod wodą, pogłębiarki chwytacze (bagry chwytacze, Greifbagger) przy regulacji rzek używane do wydobywania kamienia, starych pali, lub kłód drzewa z wody. Chwytacz stanowiący kubel, złożony z otwierających się od spodu części, spuszczone z ramienia żórawia pływającego w stanie otwar-

tym do wody, zamyka się po wbiciu się jego ostrych końców w dno i obejmuje przedmiot, który ma być z dna rzeki usunięty, poczem przedmiot ten podnosi żóraw w górę. Należą tu także wszelkiego rodzaju kleszcze, nożyce, które w łączności z żórawiem służą do tego samego celu.

b) Wzruszanie powierzchni odsypisk i wysp żwirowych. Celem ułatwienia rzece rozluźnienia i usunięcia odsypisk, wysp i mielizn żwirowych, próbowano zamiast bagrowania zastosować przyrządy, które wzruszając odsypisko, ułatwiają spławienie materiału przez wodę, a przez to przyczyniają się do wykształcenia łożyska, ewentualnie powiększenia głębokości dla żeglugi. Są to przyrządy dwojakiego rodzaju, albo splukujące ławy żwirowe, a zatem rozluźniające je prądem wody, albo też drapiące je celem rozluźnienia.

Kretz¹⁾ przedsięwziął skonstruowanie przyrządu, który jak pług do śniegu usuwałby tylko tyle rumowiska, ile jest koniecznie potrzebne, nie naruszając zresztą zupełnie równowagi rzeki i nie znosząc progów. Miał on przedewszystkiem na oku cele żeglugi, a przyrząd jego daje się osadzić na każdym holowniku i może być każdej chwili odjęty. Można też budować osobne pogłębiarki zaopatrzone stale tym przyrządem. Przyrząd składa się z dwu rur płuczących, umocowanych na przodzie statku wzdłuż jego boków w klin, mających z boku, w kierunku na zewnątrz, rurki wylotowe. Zapomocą pomp tłoczy się wodę, która nie tylko materiał rozluźnia, ale również i wynosi. Ciśnienie, ilość pędzonej wody, zależy od materiału wzruszanego, czasem trzeba dwukrotnie przyrządem przejechać.

Na 1 m szerokości wykopu wystarczało przy próbach 10 koni mot., przy 1 atmosferze ciśnienia w rurach płuczących. W warstwie żwiru 80 cm grubości robił przyrząd 8 m w minucie.

Jednym z przyrządów przeznaczonych do drapania odsypisk²⁾ był wał żelazny z nasadzonymi kolcami stalowymi, spuszczały ze statku na dno rzeki. Wał ten połączony był zapomocą kół zębatach i łańcuchą z wałem koła wodnego, umieszczonego na pomoście między dwoma statkami. Robota odbywała się w ten sposób, że statek ustalano na kotwicy, prąd wody poruszał koło wodne, to zaś obracało zapomocą przenośni wał drapacza. Wzruszenie szutrowiska następowało na głębokość 30 cm. Przesuwanie statku w górę rzeki odbywało się przez nawijanie łańcucha kotwicy na wał windy.

Podobnie działają wały z kolcami, lub pługi, a wreszcie przyrządy drapiące w kształcie bron, spuszczone na dno rzeki z holownika

1) „Kretzsche Spülbagger“, Oest. Monatschrift f. d. öffentlichen Baudienst“, Wiedeń 1900.

2) Zeitschrift f. Bauwesen 1865 „Stromkratzmaschine“.

i ciągnięte przez holownik w górę rzeki (wałki systemu Fergusona)¹⁾. Przyrządy te wymagają jednak dużej siły pociągowej.

Drapacze ławic żwirowych w kształcie bron stosowane są z dobrym skutkiem na Dunaju. Jak stwierdza Suppán²⁾, przez rozluźnienie odsypiska w jednym miejscu wytwarza się skutkiem działania prądu z początku wąska rynna, która wkrótce się rozszerza, wytwarzając korzystne przejście dla statków.

c) Czyszczenie rzek. Należy tu usunięcie z łożyska małej i średniej wody wszelkich przedmiotów, które utrudniają przepływ wody, oraz wykształcenie się łożyska, a więc wielkich kamieni, pali ze starych mostów, resztek zerwanych śluz młynowych, wykarczowanie drzew i wikliny rosnącej na odsypiskach w obrębie projektowanej trasy regulacyjnej, wreszcie kłód drzewa. Na niektórych rzekach, na których skutkiem wykonanych robót regulacyjnych następuje pogłębienie, wylaniają się z dna zasypane niegdyś przez rzekę i powalone przez nią pnie z lasów nadbrzeżnych (np. t. zw. czarne dęby na Wiśle). Pnie takie muszą być wydobyte, gdyż utrudniają wykształcenie łożyska i przeszkadzają żegludze. Do tego celu służą różne przyrządy, jak żórawie chwytacze, wielokłuby zawieszane na rusztowaniu stałym lub na statku, drągi działające jako dźwignie, wyciągi hydrauliczne i t. d.

Łożyska małych rzek o leniwym biegu zarastają roślinami i to nie tylko na brzegach i odsypiskach, ale i na dnie. Skłonność do zarastania dna roślinami wodnymi zdarza się i na rzekach większych, oraz z większym stosunkowo spadem. Tak na przykład na górnej Łabie w Czechach dno łożyska zarasta gęsto roślinami wodnymi, sięgającymi aż do powierzchni wody. Skutkiem dostatecznej koncentracji łożyska, każda wielka woda oczyszcza zupełnie dno, spławiając rośliny.

d) Oczyszczenie terenu zalewowego z budowli, drzew, krzewów, skopywanie wystających brzegów, obniżanie terenu zalewowego. Roboty te mają na celu utrzymanie profilu przepływu wielkiej wody w odpowiednim stanie, aby utrzymać stan wielkiej wody na możliwie niskim poziomie i unikać wszelkich niepożądanych spiętrzeń. Tam gdzie brzegi zbyt się zbliżają do siebie, lub teren zalewowy jest zbyt wzniesiony, zabudowany, lub zarośnięty lasem, należy przewidzieć w projekcie rozszerzenie profilu wielkiej wody, a o ile to możliwe i obniżenie terenu zalewowego, oraz usunięcie przeszkadzających przepływowi budowli i drzew.

e) Rozsadzanie skał. Skały zbite stanowią punkty stałe na rzece, w których rzeka nie może swobodnie wykształcać swego łożyska,

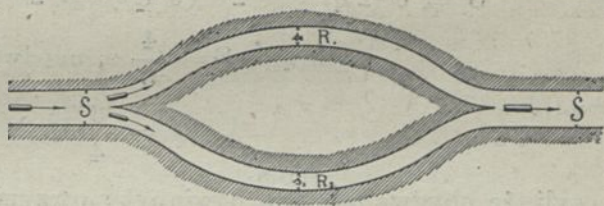
¹⁾ Wochenschrift f. d. öffentlichen Baudienst, Wiedeń 1907.

²⁾ Wasserstrassen und Binnenschiffahrt 1902.

tak jak w materiale ruchomym. Progi skalne na rzekach górskich o dużych spadkach działają w regule korzystnie, stanowiąc naturalne utrwalenie dna i zabezpieczając rzekę przeciw nadmiernemu pogłębieniu, jakieby skutkiem regulacji partji sąsiednich, o dnie ruchomem, powstać mogło. Wyjątkowo tylko zatem mogą powstać takie warunki, że celem bądźto rozszerzenia profilu, z uwagi na przepływ wielkiej wody, bądź też wyrównania spadków, przedsięwzięcie się rozsadzanie skał. Natomiast na rzekach nizinnych, żeglownych, partje o skalistym dnie, na których wytwarzają się szypoty, t. j. przestrzenie o skoncentrowanym nadmiernym spadku, są dla żeglugi nader niewygodne, regulacja ich wymaga zastosowania specjalnych środków, a między innymi i rozsadzania skał. O robotach tych pomówimy w rozdziale o regulacji rzek żeglownych.

8. Łączenie ramion i regulacja ujścia.

Jeżeli rzeka dzieli się w pewnym miejscu na dwa ramiona R_1 i R_2 oddzielone wyspą, to na partji tej istnieją niekorzystniejsze warunki regulacji jak na partjach sąsiednich. Dotyczy to tak rzek górskich, jak i nizinnych (żeglownych), a przyczyny są łatwo zrozumiałe. Tak przed rozdziałem na ramiona, jak i poniżej ich połączenia, cała objętość przepływu jest skupiona



Rys. 145.

w jednym łożysku, rzeka posiada pewną siłę poruszającą zależną od głębokości i spadku, a więc i od objętości przepływu, oraz spadek odpowiadający charakterowi rzeki, poniżej zaś punktu rozdziału, t. j. w obrębie obu ramion, rzeka jest niejako rozbita na dwie części, o mniejszej objętości przepływu i mniejszej sile poruszającej. Skutkiem tego przy projektowaniu regulacji powinno się dążyć do skupiania rzeki w jednym łożysku, czyli do przeprowadzenia rzeki całej przez jedno z ramion, które uważamy za główne, oraz do zamknięcia ramienia drugiego zapomocą budowli poprzecznych (zamknięć). Nie zawsze się to da jednak przeprowadzić, zwłaszcza jeżeli obok obu ramion powstały osiedla ludzkie, lub zakłady przemysłowe, które często nie mogą zrezygnować z sąsiedztwem z rzeką z uwagi na użytkowanie wody. Wtedy trzeba rzekę uregulować wzdłuż obydwu ramion, przyczem zachodzi pytanie jaką im dać szerokość?

Hagen, a za nim Engels, oraz inni autorzy, podają następujące obliczenie (rys. 145):

Jeżeli w jednym z ramion płynąć ma objętość q , stosunek szerokości do średniej głębokości jest $\frac{s}{t} = n$, powierzchnia przekroju P , a spadek wynosi i , natenczas:

$$q = P \cdot v = s t k \sqrt{t i} = \frac{s^2}{n} k \sqrt{\frac{s}{n}} \sqrt{i}$$

$$\text{skąd } s = c q^{\frac{2}{3}}, \text{ przyczem } c = \frac{n^{\frac{3}{2}}}{k i^{\frac{1}{2}}} = \sqrt{\frac{n^3}{k^2 i}}$$

Przyjmując dla obu ramion przekroje jednakie, oraz równe objętości przepływu, nadto dla rzeki jednolitej, t. j. tak przed rozłączeniem, jak i po połączeniu, przekrój poprzeczny podobny do przekroju obu ramion, a zatem o tym samym stosunku szerokości do średniej głębokości równym n , a wreszcie takisam spadek i , oraz współczynnik k , otrzymuje się dla rzeki skupionej w jednym łóżysku, prowadzącej zatem objętość $2q$ szerokość:

$$S = c (2q)^{\frac{2}{3}} = 2^{\frac{2}{3}} (c q^{\frac{2}{3}}) = 2^{\frac{2}{3}} s = 1,32 s,$$

$$\text{okrągło } S = \frac{4}{3} s, \text{ naodwrot zaś}$$

$$s = \frac{3}{4} S,$$

czyli, że obydwie ramiona powinnyby otrzymać szerokości normalne wynoszące $\frac{3}{4}$ szerokości rzeki połączonej.

Rachunek ten jest jednak nieściśły i daje wyniki niezadowolniające, a to dlatego, gdyż dla obu ramion odpowiedniej będzie przyjąć profile korzystniejsze jak dla rzeki skupionej, a zatem o mniejszej wartości stosunku $\frac{s}{t}$. Nadto współczynnik do wzoru Chèzy-Brahmsa z po-

wodu różnych głębokości będzie różny dla obu ramion i dla rzeki skupionej, wreszcie w obydwu ramionach muszą z natury rzeczy wytworzyć się spadki większe jak w rzece nierozdzielonej. Wynika z tego, że szerokości ramion obliczone według formuły powyższej $s = \frac{3}{4} S$ będą

prawdopodobnie za duże, a zmniejszenie ich celem należytego uregulowania rzeki w obrębie ramion będzie korzystne, gdyż powiększy siłę poruszającą. Jeżeli dalej weźmiemy pod uwagę duże rzeki nizinne o rozwiniętej żegludze, to uregulowanie ramion takie, że suma szerokości ich

równałyby się półtorakrotnej szerokości rzeki jednolitej, zahamowałyby żeglugę, gdyż wpłynęłoby w wysokim stopniu niekorzystnie na głębokości. Jeżeli weźmiemy dla jednego ramienia objętość q , szerokość $\frac{3}{4} S$, średnią głębokość t , a spadek i , zaś dla rzeki jednolitej $2 q$, S , i , t_1 , to biorąc za podstawę formułę na średnią chyżość profilu

$$v = 34 T^{75} I^{0,5*}) \text{ otrzymujemy}$$

dla rzeki jednolitej:

$$2 q = S t 34 t^{0,75} i^{0,5}; \text{ skąd}$$

$$t = \left(\frac{2 q}{34 S i^{0,5}} \right)^{\frac{1}{1,75}}$$

dla ramienia:

$$q = \frac{3}{4} S t_1 \cdot 34 t_1^{0,75} i^{0,5} \text{ skąd}$$

$$t_1 = \left(\frac{q}{34 S i^{0,5} \cdot \frac{3}{4}} \right)^{\frac{1}{1,75}}, \text{ czyli:}$$

$$\frac{t_1}{t} = \left(\frac{1}{2 \cdot \frac{3}{4}} \right)^{\frac{1}{1,75}} = \left(\frac{2}{3} \right)^{0,5714}$$

$t_1 = 0,793 t$, okrągło $0,8 t$, czyli że głębokość zmniejsza się o $1/5$.

W rzeczywistości zmniejszenie głębokości byłoby jeszcze trochę większe, o ileby spadek w obu ramionach doznał powiększenia. Może tu jednak powstać i tendencja przeciwna; z powodu większej sumarycznej szerokości nastąpić może zmniejszenie chyżości, a przestrzeń ta stanie się składem materiału. Takie zatem zmniejszenie głębokości oddziaływałoby bardzo niekorzystnie na żeglugę, gdyż przez obydwa ramiona nie mogłyby przechodzić statki o takim maksymalnym zanurzeniu, jakie jest dopuszczalne dla statków płynących rzeką jednolitą. Wynika z tego, że raczej suma szerokości obu ramion powinna się zbliżać do szerokości rzeki jednolitej S , jak do $1,5 S$. Nie było to zapewne przypadkowem, że przy regulacji Wisły w obrębie rozdziału na ramiona, z których lewe (Wisła Podzielona, Geteilte Weichsel) miało odprowadzać $2/3$, a prawe (Nogat) $1/3$ całej objętości jaką prowadziła Wisła niepodzielona, przy-

*) Formuła autora oraz Hermanka, zgodna dla $I < 0,002$ i $T > 1,5$ m.

jęto dla ramienia lewego szerokość $\frac{2}{3}$, a dla prawego $\frac{1}{3}$ szerokości Wisły niepodzielonej¹⁾ (rys. 146).

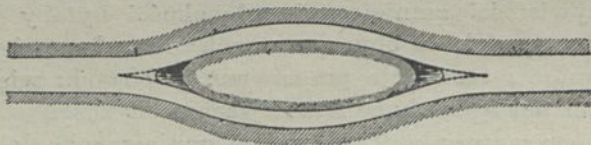
Wogóle zapewnienie zamierzonego rozdziału wody między obydwoma ramionami nie jest rzeczą łatwą, szczególnie wtedy, gdy mają prowadzić objętości nierówne, czyli gdy jedno z nich ma być wykształcone jako ramię główne, a drugie jako poboczne. Wtedy prócz wykonania budowli regulacyjnych normujących szerokość obu ramion, trzeba będzie przeprowadzać bagrowania i to tem intensywniej, im większa jest suma



Rys. 146.

szerokości obu ramion w stosunku do szerokości rzeki jednolitej. Naturalnie, że szczególnej staranności wymaga wykonanie regulacji w miejscu rozdziału i powyżej tegoż, a również i partja poniżej połączenia ramion wymaga specjalnego traktowania. W obu tych miejscach rzeka jest wprawdzie jeszcze jednolita, ale posiada już większą szerokość jak szerokość normalna, dlatego trzeba o ile możliwości uchylić niekorzystny wpływ rozszerzenia. Uzyskuje się

to przez ostre przedłużenie wyspy tak powyżej punktu rozdziału, jak i poniżej połączenia ramion, przyczem wyspa przechodzi na obu końcach w t. zw. tamy rozdzielcze, czyli separacyjne (rys. 147).



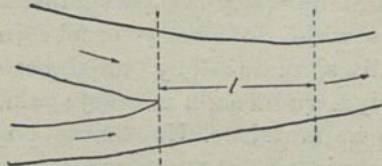
Rys. 147.

Zakończenia te u nasady mogą sięgać do wysokości brzegów wyspy, w dalszym zaś ciągu zniżać się aż do dna rzeki, które osiągają w miejscach, gdzie rzeka ma już normalną szerokość.

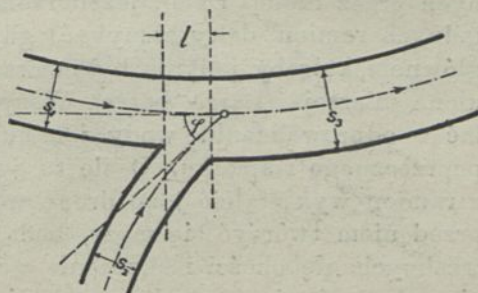
¹⁾ Wisła dolna poniżej Drwęcy ma szerokość normalną dla średniej wody 375 m, ramię lewe otrzymało szerokość 275 m, prawe 125 m. Później jednak Nogat skanalizowano zapomocą trzech jazów i zamknięto go od strony Wisły służą, która wpuszcza do niego tylko 25 m³/sekunde, skutkiem czego prawie cała średnia i mała woda Wisły idzie do Wisły Podzielonej. Gdy zaś równocześnie okazało się, że cała Wisła w obrębie zaboru pruskiego ma zbyt dużą szerokość, zostanie ona zwężona prawie na szerokość taką, jaką posiada Wisła Podzielona.

Ujścia rzek. Przy regulacji rzeki głównej trzeba tak uregulować ujście rzeki pobocznej, aby w miejscu połączenia nie nastąpiło pogorszenie warunków odpływu, względnie żeglugi. Powodem do tego jest nadmierna szerokość jaka istnieje w partji poniżej połączenia, aż do punktu, gdzie rzeka osiąga znowu szerokość normalną, na długości oznaczonej na rys. 148 literą l , tudzież różne kierunki prądu obu rzek. Aby te niekorzyści sprowadzić do minimum, należy się trzymać następujących zasad:

1. Ujście rzeki pobocznej powinno się znajdować na brzegu wklęsłym, lub na kierunku prostym rzeki głównej (rzeki odbiorczej). Najle-



Rys. 148.



Rys. 149.

piej będzie, jeżeli ujście będzie na brzegu wklęsłym, gdyż wtedy odprowadzenie materiału ruchomego naniesionego przez rzekę poboczną będzie ułatwione, niedopuszczalne zaś jest umieszczenie ujścia na brzegu wypukłym, gdyż przy ujściu rzeki pobocznej powstałoby odsypisko.

2. Celem skrócenia zbyt rozszerzonej partji poniżej ujścia, nie powinien kąt φ jaki tworzą osie obu rzek być zbyt mały; kąt ten powinien wynosić conajmniej 30° , a przejście wykonane jak wskazuje rys. 149.

3. W końcowej partji rzeki pobocznej powinno się unikać przekopów, aby nie powiększać ilości poruszanego materiału.

4. Tamę rozdzielczą (separacyjną) powinno się wykonać silnie i połączyć obydwa jej ramiona poprzeczkami.

Ujście rzeki do morza wymaga też specjalnych robót. Zasady regulacji ujścia w obszarze przyływu i odpływu podane zostały powyżej, przy sposobności omawiania kierunków regulacji (część 1 rozdział V), tu omówimy pokrótce zasady regulacji ujścia do morza bez przyływu i odpływu.

Chodzi tu o to, aby zapewnić rzece odpowiednią głębokość przy ujściu, jak i w obrębie początkowej płytkiej partji morza. W tym celu należy dążyć w partji ujścia do usunięcia osadów jakie wytwarzają rzeka,

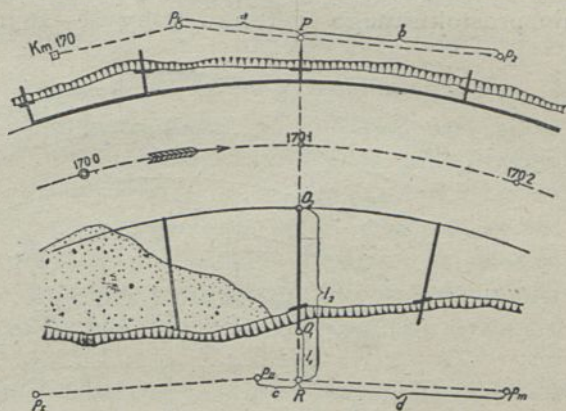
oraz przybrzeżne prądy morskie. Wielka woda rzeki wypłukuje w tworzącej się przy ujściu mierzeji zagłębienie, jednak przy niskim stanie rzeki prądy przybrzeżne zasypują je znowu. Celem zapewnienia odpowiedniej głębokości dla żeglugi, otacza się ujście obustronnemi tamami równoległemi, sięgającemi ponad wielką wodę, których odstęp oznaczyć należy stosownie do objętości wielkiej wody rzeki, nie przyjmując jednak zbyt wielkiego spiętrzenia. Według Engelsa wały te muszą sięgać w morze aż do miejsca gdzie znajduje się dostateczna głębokość, oraz gdzie prąd nadbrzeżny, którego siła z oddaleniem się od brzegu i zwiększeniem głębokości wzrasta, wystarcza do uniesienia osadów nanoszonych przez rzekę. Dalej, jeżeli rzeka posiada deltę, nie należy poszczególnych ramion delty zamykać, gdyż w takim razie przed ramieniem głównem, któreby jedynie było otwarte, otworzyłaby się znacznie wzmocniona mierzeja (Barre, barre). Wszystkie ramiona delty mają współdziałać w odprowadzeniu wody i namułu, stosownie do swego przekroju poprzecznego i spadku. O ile to jest możliwe, należałoby najslabsze z ramion wykształcić jako drogę wodną, gdyż trudności z mierzeją jaka przed niem tworzyć się może, będą jeszcze najmniejsze. Uzyskanie potrzebnych głębokości i skupienie wody uzyskuje się i tu zapomocą tam równoległych sięgających ponad wielką wodę.

9. Wytyczanie trasy i budowlu regulacyjnych.

Przy regulacji rzeki niema potrzeby wytyczać osi koryta projektowanego, lecz tyczy się trasę obydwu brzegów, t. j. punkty linii, wzdłuż których normalne zwierciadło wody przecina skarpy obustronnych budowli. O ile chodzi o tamę równoległą, to punkty te wyznaczają już jej położenie, o ile zaś chodziło o ostrogę, to punkt trasy na niej położony nie wyznacza jeszcze jej położenia i trzeba wytyczyć oś ostrogi, t. j. szereg punktów leżących na środku jej korony. Z tego wynika, że tyczenie przy regulacji rzeki będzie się ograniczało do wytyczania budowli regulacyjnych, a to przy tamach równoległych punktów linii trasy leżących na skarpie tamy od strony wody, zaś przy tamach poprzecznych (ostrogach, poprzeczkach, progach, zamknięciach i t. p.) osi tamy poprzecznej, od punktu w którym ta oś przecina trasę, aż do wrzynki. Tyczenie budowli regulacyjnych odbywa się zresztą według tychsamych metod jak tyczenie budowli lądowych, a więc dróg, kolei i t. p., jednak z powodu utrudnienia jakie przedstawia tyczenie na wodzie, pewne metody i sposoby mogą być tu wygodniejsze i praktyczniejsze. W rozdziale niniejszym dotkniemy tylko tych szczegółów,

które odnoszą się specjalnie do tyczenia budowli regulacyjnych na wodzie¹⁾.

Tyczenie budowli poprzecznych nie przedstawia trudności, jeżeli na brzegach rzeki założono dostateczną liczbę punktów stałych (kamienie kilometrowe, punkty stałe (repery) niwelacyjne, kopce, pale i t. p.) i punkty te zostały zdjęte i wniesione na plan sytuacyjny rzeki. Te punkty stałe (na rys. 150 oznaczone: km 170, $p_1, p_2, \dots, p_I, p_{II}, p_{III}, \dots$) wyznaczają na planie i w terenie polygony, do których odnosi się kierunki budowli poprzecznych. Jeżeli chcemy wytyczyć w terenie zaprojektowaną na planie ostrogę O_1-O_2 , natenczas przedłużamy na planie jej kierunek aż do przecięcia się z bokami polygonów p_1-p_2 i $p_{II}-p_{III}$, odmierzymy na planie długości a, b, c, d, l_1, l_2 , a przenosząc je na teren i wstawiając w punktach P i R tyczki, otrzymamy kierunek ostrogi, oraz jej punkty początkowy (przy wrzynce) O_1 i końcowy (na trasie brzegu prawego) O_2 .



Rys. 150.

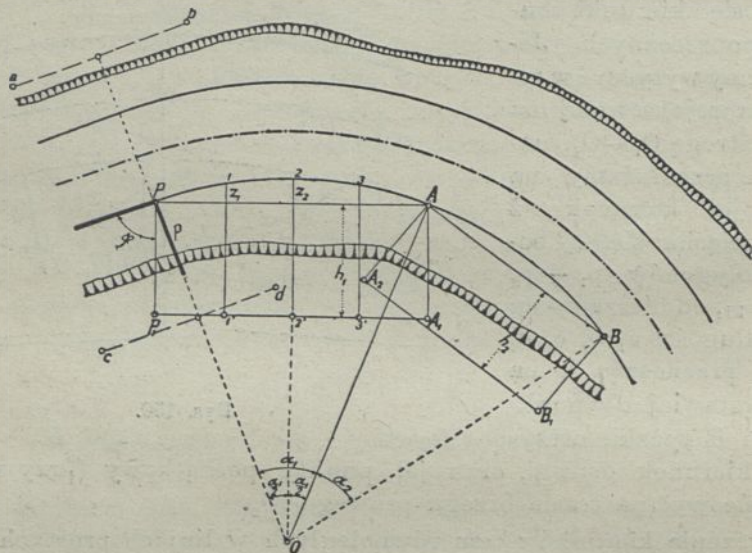
Tyczenie kierunków tam równoległych w liniach prostych również nie nastęrcza trudności, jeżeli mamy odpowiednio założone punkty stałe na brzegu i wniesione na plan sytuacyjny. Kierunek prosty tamy staramy się przez przedłużenie przenieść na brzeg i tu ustalić go zapomocą tyczek, przyczem punkty tego kierunku oznaczamy na podstawie jego przecięć z polygonem, jaki tworzą punkty stałe. Można też punkty kierunkowe tamy równoległej prostolinijnej przy słabym prądzie i mniejszej głębokości tyczyć wprost na wodzie, odmierzając od boków polygonu rzędne zdjęte z planu sytuacyjnego.

Co do wytyczania tam równoległych w łukach, to zauważa się przedewszystkiem, że ważniejsze jest wytyczenie tamy na brzegu wklęsłym, gdyż tu z reguły tamę wykonuje się najpierw, po wykonaniu zaś jej można trasę brzegu wypukłego oznaczyć przez odmierzenie od linii

¹⁾ Metody tyczenia podaje wyczerpująco znakomite dziełko profesora K. Skibińskiego „Tyczenie tras“, Lwów 1909. Biblioteka politechniczna tom XXII.

wklęsłej normalnej szerokości zapomocą linki drucianej, lub tachymetrycznie. Dalej promień łuku wklęsłego otrzymuje zazwyczaj okrągłą wartość, którą znajdziemy w tablicach podanych w podręcznikach o tyczeniu łuków, więc i z tego względu odpowiedniej będzie wytyczenie łuku wklęsłego najpierw przeprowadzić. Wyjątkowo jednak zdarzą wypadki, gdzie łuk wypukły trzeba będzie wytyczyć niezależnie od łuku wklęsłego, a postępowanie może być następujące (rys. 151):

Wychodzimy z brzegu skrzydłem tamy (poprzeczką p) prostopadłem do prostolinijnego kierunku tamy M—P już wykonanej. Tę poprzeczkę



Rys. 151.

wytyczymy zupełnie taksamo jak ostrogę, zapomocą punktów stałych a, b, c, d. Odmierzając na planie długość $x - P$ i przenosząc ją na teren, otrzymamy początek łuku wypukłego, a wykonana poprzednio część tamy M—P tworzy kierunek stycznej do tego łuku. Ponieważ tama będzie leżała na wodzie, nie można wprost zastosować metody rzędnych od cięciwy P—A, gdyż niepodobna mierzyć odciętych na wodzie, lecz trzeba cięciwę P—A przesunąć równoległe do położenia $P_1 - A_1$. W tym celu tyczy się instrumentem kąt $\varphi = 90 - \frac{\alpha_1}{2}$, który wyznaczy nam prostopadłą do cięciwy P— P_1 . Jeżeli na tej prostopadłej odmierzymy długość dowolną h_1 aż do punktu P_1 i tu wytyczymy instrumentem kąt prosty, to otrzymamy linię $P_1 A_1$ równoległą do cięciwy, przyczem $P_1 - A_1 = 2r \sin \frac{\alpha_1}{2} = PA$, t. j. długości cięciwy. Możemy teraz na

linji $P_1 A_1$ oznaczać odcięte $P_1 - 1'$, $P_1 - 2'$ i t. d., a prostopadłe do nich wytyczać rzędne, $1' - 1$, $2' - 2$ i t. d., których długość będzie $h_1 + z$, przyczem wartości z oznaczy się na podstawie tablic. W punktach 1, 2, 3 i t. d. musimy wstawiać tyczki z łodzi na wytyczonych kierunkach $1' - 1$, $2' - 2$ i t. d. i ustalać je przez obrzucenie kamieniem.

Następnie przystępuje się do wytyczenia dalszego elementu łuku $A - B$ o kącie środkowym α_2 . Po wykonaniu tamy do punktu A , ustawiamy instrument w tym punkcie i wytyczamy $PA A_2 = 90 - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$, który wyznaczy nam linię $A - A_2$ prostopadłą do nowej cięciwy $A - B$. Dalsze postępowanie nie różni się od poprzedniego.

Tyczenie tamy wklęsłej metodą rzędnych od stycznej jest tylko wtedy możliwe, gdy tama ta jest opaską, to znaczy leży tuż przy brzegu, lub jeżeli znajduje się w odległości niewielkiej od brzegu. Wtedy bowiem cała lub prawie cała styczna wypadnie na lądzie i można będzie na niej mierzyć odcięte. Inne metody, jak metoda rzędnych od cięciw, metoda siecznych, angielska i stycznych, również wyjątkowo tylko mogą być stosowane, gdyż przy tyczeniu na wodzie są niedogodne i często niepraktyczne.

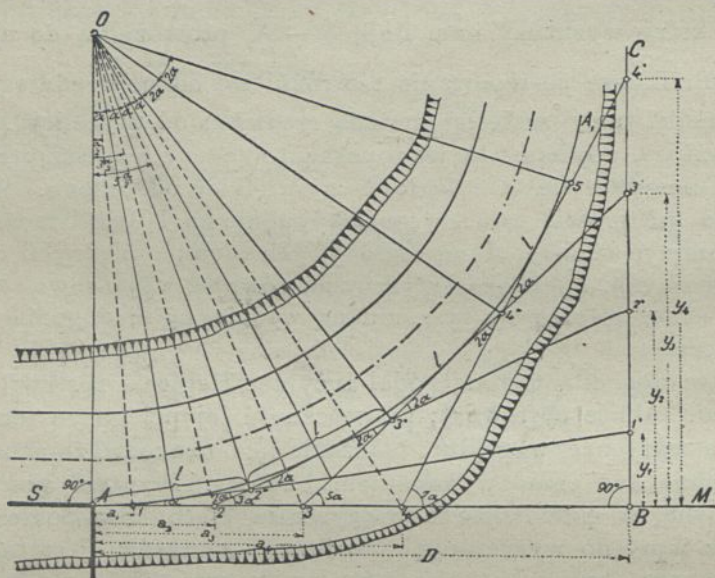
Bardzo dogodną metodę podał inżynier Regiec i zestawił dla niej odpowiednie tablice cyfrowe¹⁾; praktyczność jej polega na tem, że cały łuk można wytyczyć, względnie położenie jego oznaczyć zapomocą punktów na lądzie, już przed wykonaniem budowy. Przytem postępowanie przy budowie, a mianowicie nawiązywanie kierunków poszczególnych elementów tamy do wytyczonych na terenie punktów, jest tak proste, że nie wymaga częstej bytności inżyniera, a wreszcie samo wytyczanie jest łatwe i unika się przy tej metodzie mierzenia w polu na planie. Zasada jest następująca (rys. 152):

Mając wytyczyć łuk wklęsły $A - A_1$ o promieniu r , przyjmijmy, że na kierunku stycznym do łuku $S - A$ została już wykonana tama równoległa, tudzież w punkcie A poprzeczka prostopadła $A - P$. W punkcie A wykreślamy do łuku styczną $A - M$, do niej zaś w okrągłym odstępie D od punktu A prostopadłą $B - C$, którą można nazwać prostą kierunkową. Odstęp D musi być tak dobrany, aby prostopadła $B - C$ wypadła w całości na lądzie. Na łuku przyjmuję równe odcinki l od punktu A począwszy, o takiej długości, aby je z wystarczającą dla danego celu dokładnością można było uważać za elementy proste. Każdemu elementowi łuku l odpowiada kąt środkowy

$$2\alpha = \frac{l}{2r\pi} \cdot 360^\circ, \text{ albo oznaczając } \frac{l}{r} = m \quad \alpha^\circ = 28,64789 m.$$

¹⁾ „O wytyczaniu łuków przy budowach lądowych i wodnych“. Kraków 1895.

Jeżeli teraz w środku każdego elementu l wykreślimy styczne do łuku, to one przetną styczną początkową $A-M$ w punktach 1, 2, 3 i t. d., odległych od punktu A o a_1, a_2, a_3 , i t. d., kierunkową zaś BC w punktach $1', 2', 3'$ i t. d., odległych od początku kierunkowej B o y_1, y_2, y_3 i t. d. Kąt ostry zawarty między dwiema bezpośrednio po sobie następującymi stycznymi, poprowadzonymi w środkach elementów łuku, jest 2α , kąty zaś ostre między styczną AB a pierwszą, drugą, trzecią



Rys. 152.

i t. d. styczną, poprowadzoną w środkach elementów łuku, są $\alpha, 3\alpha, 5\alpha \dots (2n-1)\alpha$, a wreszcie kąty środkowe odpowiadające odcinkom a_1, a_2, a_3 i t. d. są:

$$\frac{\alpha}{2}, \frac{3\alpha}{2}, \dots, \frac{2n-1}{2}\alpha. \text{ Z tego wynika, że:}$$

$$a_1 = r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{zaś} \quad y_1 = (D-a_1) \operatorname{tg} \alpha$$

$$a_2 = r \operatorname{tg} \frac{3\alpha}{2} \quad y_2 = (D-a_2) \operatorname{tg} 2\alpha$$

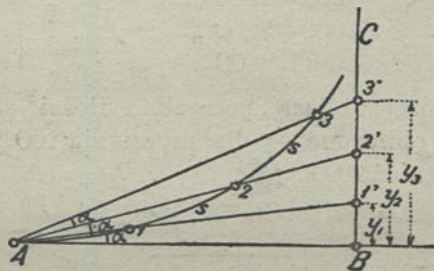
$$a_3 = r \operatorname{tg} \frac{5\alpha}{2} \quad y_3 = (D-a_3) \operatorname{tg} 3\alpha$$

i t. d.

i t. d.

Styczne zatem opisują nam na łuku wklęsłym wielobok, którego boki przy odpowiednim doborze odcinka l niewiele odchodzą od obwodu koła, a różnica ta w praktycznym wykonaniu zanika.

Wykonanie tamy odbywa się w następujący sposób: Inżynier oznaczy tamiarzowi punkt początkowy łuku A i punkty $B, 1', 2', 3'$ i t. d. Tamiarz za-tyka jedną żerdź w punkcie A , drugą zaś w punkcie B i na tym kierunku bu-duje element tamy o długości $\frac{1}{4}$, (zwykle $l = 40$ m przy płaskich, a 20 m przy ostrzejszych łukach). Potem przestawia żerdzie, jedną do punktu 1 , drugą zaś do punktu $1'$ i na kierunku $1-1'$ buduje drugi element tamy o długości $\frac{3}{4} l$, t. j. do punktu $2''$. Następnie przestawia żerdzie do punktów $2''-2'$ i na tym kierunku buduje trzeci element tamy o dłu-



Rys. 153.

gości l , dalej przestawia żerdzie do punktów $3''-3'$, $4''-4'$ i t. d., bu-dując za każdym razem element tamy l .

Jeżelibyśmy styczne do łuku poprowadzili na końcach odcinków l , a kąty środkowe im odpowiadające nazwali α , to odnośne odcinki będą:

$$a_1 = r \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{zaś} \quad y_1 = (D - a_1) \operatorname{tg} \alpha$$

$$a_2 = r \operatorname{tg} 2 \frac{\alpha}{2} \quad y_2 = (D - a_2) \operatorname{tg} 2 \alpha$$

$$a_3 = r \operatorname{tg} 3 \frac{\alpha}{2} \text{ i t. d.,} \quad y_3 = (D - a_3) \operatorname{tg} 3 \alpha \text{ i t. d.,}$$

tamiarz zaś tylko na pierwszym kierunku buduje element tamy o długości $\frac{1}{2}$, na wszystkich zaś dalszych o długości l .

Można również zastosować metodę biegunową, prowadząc podobnie jak poprzednio linię kierunkową (rys. 153); wtedy wielkości odcinków na linii kierunkowej będą:

$$y_1 = D \operatorname{tg} \alpha$$

$$y_2 = D \operatorname{tg} 2 \alpha$$

$$y_3 = D \operatorname{tg} 3 \alpha$$

i t. d., metoda ta nadaje się jednak tylko przy budowie tam kamiennych, gdyż przy wytyczeniu musi się żerdź wstawioną w punktach łuku 1, 2, 3, 4, i t. d. obrzucić kamieniem. Poprzednia metoda ma tę wyższość, że jedna z żerdzi kierunkowych będzie zawsze na gotowej tamie, a druga na łądzie.

Tabele inż. Regieca zestawione są według następującej zasady: Dla różnych wielkości promieni łuków przyjmuje cztery stosunki długości elementu łuku do promienia, a mianowicie:

dla promieni do 500 m m	$= \frac{1}{r} = 0,04$
500—1000 m	" = " = 0,03
1000—2000 "	" = " = 0,02
nad 2000 "	" = " = 0,015

i według tych wartości oblicza potrzebne ilości do tabel. Wszystkie wartości w tabelach obliczone są dla promienia 100 i dla długości stycznej początkowej również 100.

CZĘŚĆ 3.

Skutki regulacji, tok wykonania robót regulacyjnych.

I. Skutki regulacji.

1. Już Baumgarten¹⁾ na podstawie obserwacji uregulowanych partji Garonny określił skutki regulacji w następujących punktach:

- 1) Małe zmiany poziomu w partjach, na których robót nie wykonano, a leżących między partjami uregulowanymi,
- 2) dążność do zbliżenia się profilu podłużnego zwierciadła małej wody do spadku średniego,
- 3) niżenie progresywne zwierciadła wody w partjach uregulowanych,
- 4) zmniejszenie spadków na silnych spadach (rapides),
- 5) lokalne podwyższenie poziomu małej wody na małych długościach, w następstwie znacznej długości uregulowanego łożyska,
- 6) koncentracja spadku powyżej wykonanych robót,
- 7) koncentracja nurtu, zmniejszenie obwodu zwilżonego, zwężenie i pogłębienie profilów,
- 8) obniżenie progów, zmniejszenie głębokości wybojów,
- 9) zmniejszenie amplitudy pionowych wahań dna.

Takie skutki spostrzega się rzeczywiście w warunkach takich, jakie były wówczas na Garonnie, gdzie partje uregulowane były stosunkowo niezbyt długie, a między nimi były partje jeszcze nieuregulowane.

¹⁾ „Notice sur la portion de la Garonne, qui s'étend en aval de l'embouchure du Lot dans le département de Lot et Garonne, et sur le travaux qui y ont été exécutés de 1836 à 1847“ Ann. d. ponts et chaussées 2. 1848.

Jeżeli jednak wyobrazimy sobie długą przestrzeń rzeki uregulowaną i to definitywnie, to znaczy, że wykonano obustronne budowle regulacyjne, ograniczające profile według obranych normalnych szerokości i w regularnych liniach, pozamykano boczne ramiona i przestrzenie odcięte, przyczem naturalne szerokości łóżyska doznały wydatnego zwężenia, a przez odcięcie zbyt ostrych łuków zapomocą przekopów, choćby tylko w najkonieczniejszych wypadkach wykonanych, zwiększono spadek podłużny, jeżeli nadto przez zabudowanie potoków w górskiej części dorzecza i zalesienie, oraz zamurawienie stoków, postarano się o zatrzymanie materiału ruchomego w górach, względnie o zmniejszenie ilości tworzącego się materiału, natenczas skutki regulacji mogą być znacznie wybitniejsze i donioślejsze, jak to wyrażają powyższe punkty.

Przedewszystkiem już w czasie wykonywania budowli regulacyjnych dokonują się ważne zmiany w łóżysku. Wszystkie powyżej wyszczególnione roboty wytwarzają korzystniejsze warunki dla przepływu, przyczyniając się do zwiększenia głębokości, częściowo i spadku, oraz do zmniejszenia oporów przepływu w łóżysku. Skutkiem tego powiększa się siła poruszająca wody, która w pierwszym okresie regulacji, obejmującym czas wykonania robót, oraz okres bezpośrednio następujący, wykonuje pracę oczyszczenia koryta, usuwa zatem złoża materiału, które podwyższyły łóżysko w zbyt rozszerzonych miejscach, wynosi materiał z przekopów, gdzie wykonano tylko wąskie kinety, przyczem naturalnie największe masy materiału poruszają się przy wysokich stanach. Gdy wody opadną, materiał pozostaje chwilowo w łóżysku, poczem przy ponownem wezbraniu dalszą odbywa drogę. Wynika stąd, że warunki w tym pierwszym okresie mogą być jeszcze gorsze, to znaczy, że oddziaływanie rzeki na obszary położone w dolinie rzeki może być jeszcze mniej korzystne jak przed regulacją. Mogą powstać na pewnych partjach rzeki miejscowe nagromadzenia materiału, podniesienie dna, oraz zwierciadła małej i wielkiej wody, a wylewy mogą się spotęgować.

Dopiero w okresie następującym, gdy rzeka już wyczyściła łóżysko, objawiają się doniosłe skutki regulacji; wytwarzają się regularne przekroje poprzeczne, jak niemniej wyrównuje się spadek w przekroju podłużnym, objętość transportowanego rumowiska się zmniejsza, opory ruchu maleją, wobec czego odpływ wody jest ułatwiony, a materiał doprowadzany z góry może rzeka z łatwością unosić. Równocześnie z nastaniem tego stanu, skutkiem zwiększenia siły poruszającej, następuje pogłębianie, gdyż rzeka nie potrzebując tak wielkiego spadku jak jej spadek przyrodzony, wykonuje dalszą pracę, polegającą na erozji dna, zmniejszając równocześnie spadek. Pogłębianie to, sumujące się od dolnego końca uregulowanej przestrzeni w górę, zaleźnie od cha-

rakteru rzeki i sposobu przeprowadzenia regulacji (większa lub mniejsza koncentracja, większe lub mniejsze skrócenie biegu), występuje więcej lub mniej wybitnie i dokonuje się w różnym tempie, a kończy się dopiero wtedy, gdy zajdzie znowu równowaga między oporami ruchu a siłą poruszającą, która maleje w miarę zmniejszania się spadku. Wobec różnorodności warunków w jakich odbywa się tworzenie i przemiana łożysk rzecznych, wobec niejednorodności poszczególnych partji nawet tej samej rzeki, nie możemy z góry oznaczyć spadku, przy którym rzeka dojdzie do stanu ustalonego (Beharrungszustand, permanence) tak, aby nie następowało ani pogłębianie, ani podnoszenie dna. Koncentracja łożyska i regulowanie kierunków potrzebne były na początku — w pierwszym okresie, do powiększenia siły wody w celu pokonania wielkich oporów, po wykształceniu się łożyska i pogłębieniu do granicy jaką dyktują praktyczne względy — spadek i siła poruszająca mogą się okazać za wielkie — a ponieważ kształtu przekroju nie możemy zmieniać, gdyż rozszerzenie go, celem zmniejszenia głębokości, jest praktycznie na długich przestrzeniach niewykonalne — musimy powstrzymać dalsze pogłębienie przez utrwalenie dna.

2. Utrwalenie dna rzeki, stopnie w łożyskach uregulowanych.

Takie utrwalenie dna wykonuje się najczęściej zapomocą poprzecznych progów, przegradzających łożysko wody, które w czasie wysokich stanów z powodu wielkich głębokości narażone jest przedewszystkiem na wymycie, jednak czasem wymagają dodatkowego utrwalenia i obszary przyległe do łożyska małej wody (Vorland, franc-bord)¹⁾, zapomocą osobnych robót, zwłaszcza wtedy, jeżeli profil wielkiej wody jest bardzo skoncentrowany. Progi poprzeczne tworzą zarazem stopnie, zazwyczaj o małej wysokości, wyjątkowo mogą mieć i większe wysokości. W pierwszym wypadku łamią spadek tylko przy małej wodzie i służą wyłącznie tylko do utrwalenia dna, w drugim, koncentrując większe spady, mogą wpływać i na zmniejszenie spadku przy wielkiej wodzie.

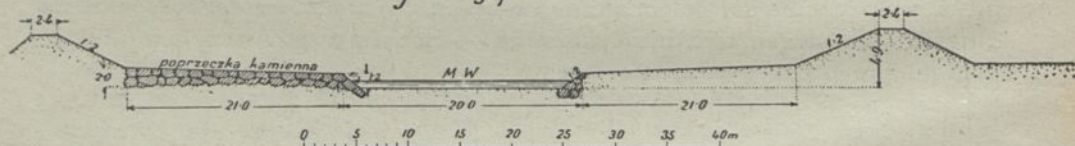
Nie na wszystkich rzekach, a nawet i nie na każdej partji uregulowanej rzeki, zajdzie potrzeba wykonania progów. Na rzekach górskich, o silnym spadku, gdzie oprócz koncentracji nastąpiło jeszcze znaczniejsze skrócenie biegu, można się spodziewać wydatniejszego pogłębienia, które w danym razie trzeba będzie powstrzymać. Dlatego studjowanie

¹⁾ Patrz rys. 154, strona lewa profilu; pomimo zupełnego uregulowania rzeki, musiano dodatkowo wykonywać na brzegach kamienne poprzeczki, gdyż woda w czasie wysokich stanów czyniła tu wyrwy.

rzeki już uregulowanej i badanie pogłębienia jest rzeczą konieczną. Studja takie przeprowadza się wszędzie, gdzie rzeki na znacznych długościach są uregulowane — dają one możliwość uchwycenia chwili, w której trzeba będzie pogłębienie powstrzymać przez utrwalenie dna łożyska zapomocą progów.

Budowle takie na znacznych przestrzeniach wykonano na rzekach badeńskich¹⁾; prawe dopływy Renu wypływające z Czarnego Lasu są już od lat kilkudziesięciu uregulowane. Jest to kraj w którym kultura łąk jest bardzo wysoko rozwinięta, a wartość gruntu znaczna. Regulacja tych rzek miała na celu ustalenie ich łożyska, ochronę brzegów i gruntów w dolinie, dalej mieszkań ludzkich i komunikacji przed zniszczeniem przez wodę, ochronę przed wylewami, osuszenie obszarów

Przekrój Kinzig pod Biberach.



Rys. 154.

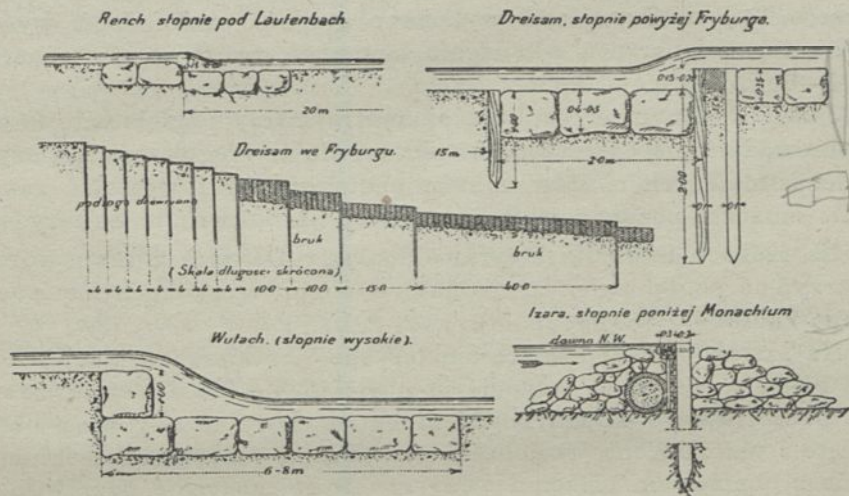
zabagnionych, wreszcie ułatwienie wykonania sztucznych nawodnień. Typ przekroju poprzecznego przedstawia rys. 154.

Skutkiem systematycznego zabudowania łożysk na znacznych przestrzeniach, objawiło się w niedługim czasie na pewnych partjach znaczniejsze pogłębienie. Z początku sądzono, że nie przekroczy ono granic praktycznie dopuszczalnych i gdzieś tam tylko utrwalono dno zapomocą stopni, jednak wkrótce okazało się, że często stopnie przemieniały się w wysokie przelewy, a woda wybijała dno. Skutkiem pogłębienia budowle traciły stałość, a łożysko zwężało się i wcinało w grunt; zanadto wielkie obniżenie małej wody, przesuszyłoby łąki i utrudniło nawodnienie. Trzeba było pomyśleć o radykalnem zapobieżeniu złym skutkom. Wykonano więc na znacznych przestrzeniach budowle dla utrwalenia dna, wyjątkowo zaś ubezpieczano w pewnych miejscach i całe dno. Są to stopnie przeważnie o niewielkiej wysokości, przedstawione na

¹⁾ „Beiträge zur Hydrographie des Gr. Herzogtums Baden“, patrz również autora: „Regulacje rzek i urządzenia dla żeglugi w południowych Niemczech, Szwajcarii i Vorarlbergu“ Czasopismo techniczne lwowskie 1903.

rysunku 155 (pierwsze trzy figury), wyjątkowo o znaczniejszych wysokościach (jak na figurze czwartej); stopnie takie podrażają regulację, ale są konieczne, gdyż w inny sposób nie potrafimy pogłębień powstrzymać, aniteż nie możemy przewidzieć, do jakich ono rozmiarów dojdzie.

Jednak, jak to już powyżej powiedziano, nie na wszystkich rzekach uregulowanych, a nawet nie na wszystkich partjach tejsamej rzeki, muszą nastąpić wybitniejsze pogłębienia; pewne partje nie pogłębiają się,



Rys. 155.

pomimo że mają także spadek znaczniejszy, oraz że zostały według tychsamyh zasad uregulowane. Powodem tego jest różnorodność materiału dna na różnych partjach. Gdzie dno jest złożone wprawdzie także ze żwiru z piaskiem, jednak więcej zbitego (pokłady starsze), oraz o większej grubości ziarn, tam może ono nawet na znaczniejszej przestrzeni pozostać nienaruszone. Tak np. na rzekach badeńskich spotykamy po partjach ubezpieczonych silnie progami, partje bez wybitniejszego pogłębienia, na których takie ubezpieczenie nie jest potrzebne.

W jakich odstępach stopnie wykonywać należy, to okaże doświadczenie; zbyt duży odstęp dwu stopni nie powstrzyma pogłębienia między nimi, stopień górny staje się zbyt wysoki i musimy między nie wtawić nowy stopień.

Jak widać z rysunku, konstrukcja stopni jest prosta; wykonuje się je z kamienia, rzadziej z samego drzewa (strona lewa figura 3). Dobry typ przedstawia fig. 2; stopień stanowi ściana szczelna z belką podłużną dębową, po stronie dolnej podłoże wykonane z grubego kamie-

nia przyciosanego, również i powyżej progu jest dno na pewnej długości ubezpieczone.

Typ stopni t. zw. wysokich przedstawia fig. 4; takie stopnie oddziałują już także i na spad zwierciadła wielkiej wody, a koncentrując większy spad, mogą być znacznie rzadziej rozmieszczone. Podczas gdy niskie, kilkunastocentimetrowe stopnie na rzece Kinzig rozłożone są przeważnie w odstępach kilkunastu, do dwudziestu kilku metrów, metrowe stopnie na rzece Wutach odległe są od siebie średnio o 500 m. Na rzece Töss w Szwajcarii wykonano stopnie około 60 cm wysokie, złożone z pali i narzutu z kamienia łamanego, tworzącego ukośne podłoże 4—6 m długie.

Jeżeli w danym wypadku nie powstrzymamy pogłębienia, to może ono spowodować niebezpieczeństwo dla trwałości uregulowanego łożyska, stałości istniejących mostów, murów nadbrzeżnych i wywołać zanadto wielkie zniżenie poziomu wody gruntowej, szkodliwe dla kultury.

Na rzekach bawarskich (prawe dopływy Dunaju) musiano również powstrzymać pogłębienie, tu jednak w wielu wypadkach zapóźno się do tego zabrano.

Na Izarze poniżej Monachium łożysko skutkiem regulacji i skrócenia biegu w ciągu lat trzydziestu pogłębiło się tak znacznie, że mała woda obniżyła się o 4,5 m. Skutkiem tego wylewy zostały w tej okolicy usunięte i umożliwiona racjonalna kanalizacja miasta Monachium, co łącznie z obniżeniem poziomu wody gruntowej znacznie poprawiło stosunki zdrowotne. Jednak dalsze pogłębianie musiano powstrzymać, gdyż niski stan wód gruntowych mógł się okazać niekorzystny dla kultury rolnej. Wykonano więc cały szereg kosztownych jazów i ubezpieczeń brzegów, aby dalszym szkodliwym następstwom zapobiedz. Stopnie w łożysku stosowane na Izarze przedstawia fig. 5 rys. 158. Są to pale bite co 1,5 m, połączone ze sobą przyśrubowaną belką poziomą; poza pale dano dylinę, a celem uniknięcia podmycia od strony górnej dano walec, wreszcie z obu stron ubezpieczono podłoże narzutem kamiennym.

Na Lechu pod Augsburgiem doszło pogłębienie do 6 metrów, wylewy zostały tam usunięte, jednak znaczne pogłębienie wywołało przede wszystkim niekorzystne skutki dla samego łożyska, gdyż profil normalny o szerokości 60 m wcinając się w głąb zwęził się do 40 m, a w tak ścieśnionym profilu rzeka nie mogła się znowu utrzymać i rozrywała brzegi, tembardziej, że budowle regulacyjne (tamy równoległe) nie mogły postępować za ruchami dna; tamy faszynowe pozostały u góry i niszczały, narzuty kamienne zaś się rozsypywały. Musiano więc na nowo rozszerzać profil i ubezpieczać go budowlami równoległymi. W celu powstrzymania dalszych pogłębień musiano budować już nie stopnie, ale jazy.

Jaz Wolfzahnwehr, wykonany z betonu i drzewa, koncentrował spad 6 metrów; wykonany początkowo o mniejszej wysokości, musiał być od strony dolnej, w miarę postępującego pogłębiania, ciągle przedłużany¹⁾.

Na rzekach małopolskich, których regulacja jest od dłuższego czasu w toku (Wisła od roku 1864, dopływy Wisły i Dniestru rozpoczęto intensywniej regulować w roku 1904, jednak wojna wywołała prawie zupełne wstrzymanie robót), większe pogłębienie nastąpiło tylko na Wiśle pod Krakowem, gdzie mała woda zniżyła się w ciągu lat kilkudziesięciu o 2,60 m, dotychczas jednak nie miało to szkodliwych następstw, anież nie zaszła jeszcze potrzeba ubezpieczenia dna. Dopływ Dunajca Biała, uregulowany na przestrzeni od Grybowa do ujścia do Dunajca, pomimo znacznej koncentracji profilu (szerokość normalna 12—16 m), nie okazał dotychczas jeszcze nigdzie szkodliwych pogłębień, nie jest jednak wykluczone, że takie pogłębienia mogą w przyszłości jeszcze nastąpić i wywołać potrzebę ubezpieczenia dna. Szkodliwe pogłębienia objawiły się tylko na małych rzekach i potokach, o czym powiemy obszerniej poniżej, w ustępie o t. zw. regulacji progowej.

W razie zbyt silnej erozji dna, nie wystarcza czasem już wykonanie stopni, lecz trzeba wykonać między nimi ubezpieczenie całego dna zapomocą bruku, ławy betonowej, lub podłogi drewnianej; takie wypadki zachodzą przedewszystkiem na mniejszych rzekach, lub potokach o bardzo silnym spadku.

3. Korzyści regulacji rzek dla mieszkańców przybrzeżnych.

Do tych należą:

- 1) Ochrona gruntów przed zerwaniem.
- 2) Wytworzenie przymulisk na partjach odciętych budowlami regulacyjnymi od łożyska rzeki, które po odpowiednim podniesieniu się przez namulenie, mogą być poddane kulturze. W pierwszym stadium będzie tu posadzona wiklina, później powstaną łąki, które ostatecznie, o ile wytworzy się brzeg odpowiednio wysoki, mogą być zamienione na grunta orne.
- 3) Lepsze zagospodarowanie gruntów w samym profilu wielkiej wody. Grunta te dotychczas narażone na zrywanie, zasypianie piaskiem lub żwirem, nie mogły być odpowiednio zagospodarowane, zwłaszcza, jeżeli jeszcze stan wody gruntowej, z powodu wysokiego stanu łożyska, był wysoki.
- 4) Umożliwienie, względnie ułatwienie obwałowania, jako ochrony doliny przed wielką wodą.

¹⁾ Patrz autora „Regulacja rzek i urządzenia dla żeglugi...” j. w.

5) Umożliwienie, względnie ułatwienie wykonania i utrzymania komunikacji w dolinie.

6) Obniżenie poziomu wielkiej wody, a skutkiem tego zmniejszenie wezbrań.

7) Obniżenie poziomu małej wody, a w związku z tem obniżenie i ustalenie poziomu wody gruntowej w dolinie. Skutek ten ma ważne znaczenie o ile chodzi o zmeljorowanie gruntów w dolinie; grunta zabagnione nie miały dotąd odpływu z powodu wysokiego poziomu małej wody w rzece. W razie dostatecznego pogłębienia się profilu, już samo obniżenie się poziomu wód gruntowych może w pewnych wypadkach usunąć zabagnienie, prócz tego wykonanie rowów osuszających wobec obniżenia zwierciadła wody w rzece nie przedstawia trudności. Usunięcie zabagnienia doliny poprawia niewątpliwie w znacznym stopniu stosunki zdrowotne.

8) Poprawa warunków spławu i żeglugi.

9) Ułatwienie odprowadzenia lodu (zmniejszenie niebezpieczeństwa tworzenia zatorów, gdyż woda skoncentrowana w łożysku, łatwiej zdoła lody odprowadzić w dół).

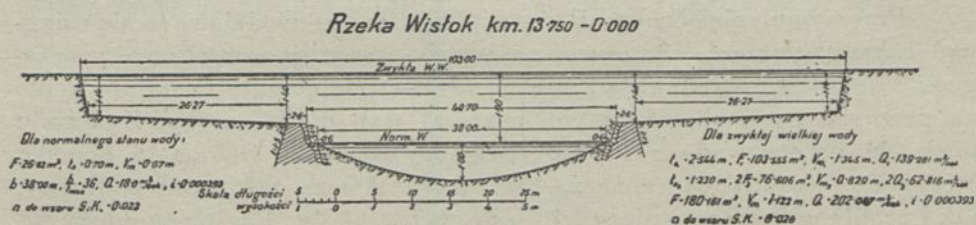
Przeważna część wyrażonych tu korzyści jest zrozumiała i nie wymaga wyjaśnień, bliżej omówić musimy jednak punkty 6 i 7, gdyż roboty regulacyjne spotykają się nieraz z zarzutami kół nefachowych, że zamiast poprawy, sprowadzają pogorszenie.

4. Wpływ regulacji rzek na zniżenie stanu wielkiej wody, oraz na zmniejszenie wylewów.

Ułatwienie odpływu wywołane przez nadanie łożysku regularnych kształtów, wyrównanie spadków, oczyszczenie łożyska ze złoży materiału ruchomego, wytworzenie korzystnych profilów odpływu i pogłębienie rzeki, to są wszystko zmiany, które muszą wpłynąć także na obniżenie poziomu wielkiej wody. O ile przy regulacji zaszła potrzeba wykonania przekopów, to nastąpi pewne skrócenie biegu, które wywoła zwiększenie spadku podłużnego, zwiększenie chyżości, a zatem zmniejszenie potrzebnego profilu przepływu, oraz obniżenie poziomu wielkiej wody. Wpływy te podzielimy na trzy główne kategorie i w dalszym ciągu je omówimy.

a) Wpływ zmian w przekrojach poprzecznych. Jeżeli weźmiemy pod uwagę naturalne profile normalnej czy małej wody rzeki nieuregulowanej, to są one zazwyczaj znacznie szersze, jak normalne profile jakie projektujemy dla łożyska uregulowanego. Tak na przykład na Wiśle poniżej ujścia Dunajca naturalne profile normalnej wody mają szerokość 250—400 m, podczas gdy normalna szerokość wynosi 150 m,

poniżej Sanu szerokość naturalnych profilów wynosi nieraz 600—1000 m, a rzekę reguluje się na szerokość 230 m. Jak stwierdza doświadczenie, te normalne szerokości są za duże i trzeba je będzie jeszcze znacznie zwęzić, prawdopodobnie poniżej Dunajca na szerokość około 100 m, poniżej Sanu na 160 m¹⁾. Wyjątkowo tylko zachodzą takie warunki, że przy regulacji musimy rozszerzać zbyt wąskie i mało pojemne naturalne profile. Wynikałoby z tego, że przez koncentrację łożyska powierzchnia profilu normalnej wody, a przez to i powierzchnia profilu wielkiej wody zostanie zmniejszona, skutkiem czego stan wielkiej wody powinienby się raczej podwyższyć jak zniżyć. Tymczasem tak nie jest, gdyż zamulenie przestrzeni odciętych poza tamami regulacyjnymi a wysokimi brze-



Rys. 156.

gami jest tylko racjonalnem wyrównaniem tych obszarów, przyczyniającem się do uregulowania profilu wielkiej wody. Jeżeli pewne zmniejszenie profilu wielkiej wody następuje, to jest ono tylko zupełnie nieznaczne w stosunku do całości profilu, zwłaszcza, że budowle regulacyjne wykonuje się o ile możliwości jaknajniższe, a taksamo staramy się, aby obszary przyległe, między tamami regulacyjnymi a brzegami zwykłej wody położone, były niskie i przez namulenie nie doznały zbyt wysokiego podwyższenia. Gdy tylko wiklina tu rosnąca zaczyna wywoływać zbyt wysokie namulenie, ma być usunięta i obszary te powinny być zamienione na łąkę. W ten sposób powstaje t. zw. profil dla zwykłej wielkiej wody, czyli wody trafiającej się mniej więcej co roku (woda brzegowa, eau de pleins bords, bordvolles Wasser). Do uregulowania tych profilów dążono przy regulacji rzek małopolskich przez ograniczenie w stosownym czasie namulania, jak to wskazuje rys. 156.

W ten sposób uzyskane zamulenie obszarów odciętych tamami regulacyjnymi, pomimo pewnego nieznacznego podniesienia tych obszarów, nie tylko się nie przyczynia do podniesienia stanu wielkiej wody, ale przeciwnie wpływa korzystnie na jego obniżenie, dzięki zmniejszonym oporom ruchu i ułatwieniu odpływu.

¹⁾ Patrz autora: „Światowe drogi wodne a regulacja Wisły“

b) Wpływ pogłębienia łożyska rzeki. Przeprowadzając regulację rzeki, liczymy zazwyczaj na to, że przez wytworzenie regularnych kształtów, koncentrację rzeki i wynikające z tego zwiększenie siły poruszającej, nastąpi pewne pogłębienie łożyska. W jakim stopniu ono występuje i jaki ma wpływ na stany wielkiej wody?

Wielkość pogłębienia zależna jest od różnych przyrodzonych warunków, a przede wszystkim od materiału dna, spadku i siły poruszającej rzeki, sztuczne zaś oddziaływanie ogranicza się na koncentracji łożyska (zwężeniu), oraz pewnem skróceniu biegu, wywołującym zwiększenie spadku, które jednak staramy się sprowadzić do minimum. Zależnie od tego, czy oddziaływanie to było w praktyce więcej lub mniej radykalne, rozmaite osiągnięto rezultaty.

Przez regulację górnego Renu poniżej Bazylei spodziewano się osiągnąć takie pogłębienie, że nawet najwyższe stany ujęte miały być w brzegach. Nadzieje te jednak się nie ziściły — pogłębienie nastąpiło tylko na pewnych partjach, na innych pozostał stan niezmieniony. Z powodu tego, że przeprowadzono tylko regulację na wodę średnią, a łożysko otrzymało stosunkowo znaczną szerokość 200 m, tak profil podłużny, jak i profile poprzeczne, niezupełnie się wykształciły. Pogłębienie łożyska średniej wody wyniosło poniżej Bazylei 1 m, pod Rheinweiler 2,2 m, pod Alt-Breysach 0,24 m, a pod Kehl 1,1 m.

Regulacja prawych dopływów Renu w W. Ks. Badeńskim wywołała przeważnie pogłębienie łożyska; to pogłębienie, jak to już powyżej opisano, musiano przez ubezpieczenie dna powstrzymać — w wielu miejscach wynosi ono około 2 m i byłoby jeszcze dalej postępowało — są jednak partje tych samych rzek, gdzie przy zupełnie podobnych warunkach, nastąpiło zamiast pogłębienia nawet pewne podniesienie dna.

Podobnie górskie rzeki bawarskie w wielu miejscach obniżyły swe dno, tak, że musiano również wykonać stopnie w celu utrwalenia dna. Poniżej opisanej w poprzednim ustępie przestrzeni Lechu pod Augsburgiem, gdzie pogłębienie doszło do 6 m, pogłębienia niema, a miejscami koryto nawet się podniosło.

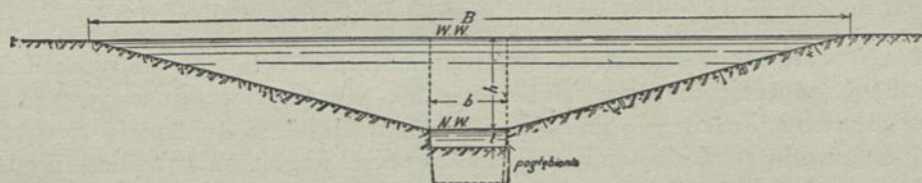
Objawem regulacji Wisły w przestrzeni od Krakowa do Niepołomic¹⁾ było znaczne obniżenie się łożyska pod Krakowem, wywołane częściowo przez wykonanie przekopu pod Dąbiem (km. 80,3—81,3) około roku 1882 i pewnych skróceń długości biegu także i w innych miejscach, oraz skutkiem zwężenia naturalnej szerokości rzeki.

Do oceny wielkości obniżenia stanu średniego niskiego, oraz bezwzględnie najniższego, mogą służyć następujące odczyty wodoskazu w Krakowie:

¹⁾ Jan Matula: „Opis stosunków hydrotechnicznych Wisły w uregulowanej przestrzeni między Krakowem a Niepołomicami“. Lwów 1901.

	rok 1864	1891	1900	1911
Stan średni niski:	— 32 cm	— 87 cm	— 176 cm	— 225 cm
Stan absolutnie naj- niższy:	— 54 „	— 116 „	— 195 „	— 256 „

Wynika z tego, że obniżenie dna wyniosło w okresie od r. 1864—1911 okrągło 2 m. Obniżenie to w ostatnich latach jeszcze się trochę zwiększyło, dopiero wykonanie próbnego zwężenia Wisły powyżej Krakowa i wzmożony przez to ruch materjału na razie je powstrzymał. Zauważyć jednak trzeba, że obniżanie się łożyska pod Krakowem rozpoczęło się już znacznie wcześniej; w r. 1814 zapisano najniższy stan wody w Krakowie + 32 cm, w r. 1831 — 32 cm, zaś stan średni najniższy z okresu około r. 1831 był — 14 cm. Wynika z tego, że regula-



Rys. 157.

cja przyspieszyła tylko naturalny proces obniżania się dna, wynikły skutkiem wymycia przez wodę cięższych naniosów¹⁾.

Wogóle wielkości pogłębienia nie można z góry przewidzieć, ani twierdzić, że ono rzeczywiście nastąpi. Hagen mówiąc o celach regulacji wyraża zdanie, że pogłębienie skutkiem regulacji przeważnie występuje, jednak nie można na rzekę tak oddziaływać, aby ono ciągle rosło; pogłębienie dochodzi do maximum czasem dopiero po pół wieku i kończy się, gdy wszystkie miejscowe nieregularności zostały wyrównane. Autor ten uważa zatem pogłębienie przede wszystkim jako następstwo wyrównania dna rzeki, w rzeczywistości jednak, jak to wyrażono powyżej, powody sięgają głębiej w przyrodę rzeki.

Jeżeli wogóle przypuścimy możliwość nieograniczonego pogłębiania dna, to jest ono dopuszczalne tylko do pewnych granic, podyktowanych potrzebą należytego utrzymania budowli i ustalenia całego koryta. Naturalnie, pogłębienie może nastąpić tylko w środkowej części koryta wielkiej wody, a więc między budowlami regulacyjnymi, w szerokości normalnego zwierciadła małej, lub średniej wody. Otóż zależnie od stosunku tej szerokości do rozmiarów przekrojów wielkiej wody, wpływ pogłębienia na stany wielkiej wody będzie więcej, lub mniej wydatny.

Weźmy jako przykład profil o następującym kształcie (rys. 157).

¹⁾ Patrz Keller: „Memel, Pregel und Weichselstrom“.

Licząc w przybliżeniu, a mianowicie przyjmując to samo k do wzoru Chèzy-Brahmsa, tak dla środkowej, jak i skrajnych części profilu, oraz przyjmując zamiast promienia przekroju średnią głębokość, otrzymuje się:

$$Q = (B-b) \frac{h}{2} k \sqrt{i \frac{h}{2}} + b (h+t) k \sqrt{i (h+t)}$$

$$\text{dla } \frac{B}{b} = n \text{ otrzymamy:}$$

$$Q = b k \sqrt{i} \left\{ \frac{n-1}{2 \sqrt{2}} h^{3/2} + (h+t)^{3/2} \right\}$$

dla $h = 5$ m, $n = 10$, $t = 1$, otrzymuje się: $Q = 50,5 (b k \sqrt{i})$, a przyjmując pogłębienie np. 2 m, otrzymalibyśmy to samo Q dla $h' = 4,5$ m, czyli że obniżenie stanu wielkiej wody wyniosłoby 0,5 m.

Na rzekach o znacznym stosunku objętości wielkiej wody do normalnego odpływu, wpływ pogłębienia na stany wielkiej wody będzie stosunkowo nieznaczny; im więcej profil wielkiej wody będzie się zbliżał do profilu jednoczęściowego, tem wpływ pogłębienia będzie wydatniejszy.

c) Wpływ skrócenia biegu. Już projekt Tulli¹⁾ co do regulacji górnego Renu poniżej jeziora Bodeńskiego spotkał się z zarzutem, że przez znaczne skrócenie, tj. z 354 na 273 km, a zatem o $\frac{1}{4}$ całej długości, wezbrania średniego i dolnego Renu się powiększą. Tulla zbijał te zarzuty na podstawie danych co do rozkładu dorzecza i postępu fali wezbrania górnego Renu i dopływów. Twierdził on, że wezbranie Renu pod Bazyleą i jednego z najważniejszych dopływów, rzeki Kinzig przy jej ujściu, nie są równoczesne; gdy fala Renu posuwa się od Bazylei do ujścia Kinzig, upływa 36 godzin, a wtedy wody Kinzig już znacznie opadły. Skrócenie biegu nie może więc spowodować koncentracji maximów odpływu tych rzek, a podobne warunki zachodzą i przy innych dopływach.

Pomimo tego jednak przyznać trzeba, że jakkolwiek maxima odpływu spotkać się nie mogą, to jednak maksymalna fala Renu górnego łączy się z opadającym wprawdzie, ale zawsze jeszcze wyższym stanem Kinzig i innych dopływów, tak, że możliwem jest powiększenie największej objętości odpływu. Również i Tulla nie wyklucza w zupełności możliwości tych następstw, dodaje jednak, że zanim to skrócenie biegu będzie mogło swój wpływ objawić, musi nastąpić przedtem zamulenie starych koryt. Pracę tę oznaczył Tulla na lat 50, w którymto okresie

¹⁾ Über die Rektifikation des Rheins vom Austritt aus der Schweiz bis zum Eintritt in das Grhztm. Hessen. 1825.

dla koryta dolnego Renu możliwym będzie przystosowanie się do nowych warunków odpływu.

W rzeczywistości, pomimo znacznego skrócenia biegu górnego Renu i dopływów, nie spostrzeżono w dolnym biegu podniesienia się zwierciadła wysokich wód, z czego wynika, że zarzuty stawiane temu projektowi były nieuzasadnione.

Odnosnie do tej regulacji nasuwają się tu jednak pewne uwagi. Przedewszystkiem długość biegu górnego Renu począwszy od jeziora Bodeńskiego jest znacznie większa, a spadek znacznie mniejszy, jak dopływów na tej przestrzeni, tak, że skrócenie biegu nie mogło mieć znacznego wpływu na przebieg fali wezbrania, dalej regulacja dopływów górskich została według tychsamych zasad przeprowadzona, a wreszcie naturalne przekroje rzeki nie zostały znacznie przekształcone. Ren otrzymał normalną szerokość tak znaczną, że nie powstało znaczniejsze pogłębienie, ani nawet dostateczne wykształcenie koryta. Odstęp wałów które tu wykonano był także stosunkowo znaczny, tak, że regulacja ta nie wiele zmieniła naturalne warunki odpływu.

Jako drugą regulację przy której nastąpiło znaczne skrócenie biegu można wskazać regulację Cisy na Węgrzech¹⁾

Rzeka ta charakteryzuje się nadzwyczaj małymi spadkami i ogromnym stosunkowo obszarem zalewowym. Po stosunkowo krótkim górnym biegu, spadek w pobliżu Tisza-Ujlak gwałtownie się łamie i odtąd już na długości 1193 km, t. j. do ujścia do Dunaju, waha między 0.052‰ a 0.017‰. Cały obszar inundacyjny ma powierzchnię 11950 km², która to cyfra może nam dać wyobrażenie o rozmiarach przekrojów zalewowych.

Warunki regulacji były tu zatem wyjątkowo trudne, a ostrożność nakazywała działać przezornie. To też nad dziełem tem zastanawiali się najwybitniejsi hydrotechnicy ówczesni, tak z kraju, jak i obcy. Chodziło tu o uzdrowienie stosunków wodnych ogromnych obszarów, które z powodu braku odpływu narażone były na zabagnienie, a żyźniejsze okolice nawiedzane były częstymi wylewami. Oprócz tego chodziło o ochronę miast i wsi nad rzeką położonych, których rozwój ściśle był złączony z poprawą stosunków wodnych doliny.

Na podstawie długoletnich rozważań zgodzono się wreszcie na skombinowanie propozycji hydrotektów Vásárhelyego i Paleocapy, że dla ułatwienia odpływu należy powiększyć spadek zapomocą całego systemu przekopów, tudzież że dla uniknięcia wylewów trzeba na całej długości rzekę obwałować. Już od roku 1843 zaczęły się tworzyć towarzystwa regulacji i wykonywały przekopy i wały. Jakkolwiek Paleocapa propo-

¹⁾ Szczegóły wyjęte z rozprawy inż. Riedla w Ztsch. d. oester. Ing. u. Arch. Ver. 1880: „Die Theissregulierung und die Schegediner Katastrophe“, tudzież z dzieła Hobohma: „Grundzüge zur Beseitigung von Überschwemmungen“.

nował tylko obwałowanie, przekopy zaś tylko wyjątkowo i to wyłącznie w dolnej części, przecież wykonano je na całej długości od Tisza-Ujlak aż do Titel, tak, że długość skróconego biegu wynosiła $\frac{6}{10}$ pierwotnej długości. Zmieniono więc gruntownie naturalne warunki rzeki nie mając pewności, czy będzie się mogła do nich dostosować; katastrofy powodziowe jakie później nastąpiły były dowodem że postąpiono nieodpowiednio. Szczególnie fatalnem było rozwiązanie regulacji koło miasta Szegedynu. Miasto położone tuż poniżej spływu rzek Cisy i Maroszu po obydwu stronach rzeki, zagrożone było wylewami, jednak nie były one przedtem nigdy tak groźne, aby wywołały zbyt wielkie zniszczenie. Warunki regulacji i obwałowania były tu szczególnie niekorzystne; wobec znacznych objętości odpływu i małego spadku proponował Paleocapa przyjęcie najmniejszego odstępu wałów 760 m, tymczasem w obrębie miasta profil odpływu miał tylko 150 m, a napominania hydrotektów, aby wykonać kanał ulgi odprowadzający wielką wodę Maroszu poza miasto i łączący się z Cisą poniżej miasta, nie znalazły posłuchu. Dla bezpieczeństwa zaś podwyższano tylko wały, wykonywano dalsze przekopy, tudzież starano się przez sztuczne pogłębienie uczynić rzekę zdolną do odprowadzenia większych mas wody. Ta ostatnia robota była zresztą zupełnie bezowocną, gdyż rzeka naniesionym materiałem wkrótce zupełnie koryto zasypała.

Katastrofę, która w roku 1879 nastąpiła, wywołując zniszczenie miasta, a którą wielu hydrotektów z góry przepowiedziało, hydrotechnicy prawie zgodnie przypisywali wykonanym w górnym biegu przekopom. Twierdzenie to ma wiele prawdopodobieństwa; według pierwotnych studjów stwierdzono, że nie było przypadku, aby najwyższe wody Cisy i Maroszu się spotkały; ewentualność tę na podstawie statystycznych dat uważano za wykluczoną. Przez zmianę naturalnych warunków odpływu, wytworzoną radykalnem skróceniem biegu i powiększeniem spadku, koncentracja ta mogła rzeczywiście nastąpić i wywołać katastrofę. Oprócz tego zauważyć należy, że regulacja w owym czasie nie była dojrzałą, a ogromne masy materiału ruchomego, które w czasie wezbrania tamowały odpływ, mogły w znacznym stopniu niebezpieczeństwo powiększyć.

Regulacja Cisy stanowi zatem interesujący i pouczający przykład co do pytania na wstępie postawionego. Nie jest ona jednak jeszcze dowodem, że skrócenie biegu musi zawsze pociągnąć za sobą podobne skutki, lecz wskazuje, że należy zawsze dobrze rozważyć wszystkie czynniki. Wielki wpływ na szybkość postępu fali musiało mieć i znaczne zwężenie przekrojów odpływu wielkiej wody. Wobec ogromnego obszaru naturalnych przestrzeni inundacyjnych, po wykonaniu wałów w stosunkowo niewielkim odstępie powiększyć się musiały bezwarunkowo i chy-

żość postępu fali. To też po opisanych katastrofach uważano jako jedyny ratunek powiększenie odstępu wałów.

Następstwem skrócenia biegu jest także powiększenie spadku względnego. Jeżeli w pewnej przestrzeni rzeka zmieni swą długość z l na l_1 , natenczas spadek względny zmieni się z $\frac{h}{l}$ na $\frac{h}{l_1}$, przyjmując zaś ogólny wzór na objętość przepływu

$$Q = k F t_s^m I^r, \quad Q = k F t_{s1}^m \left(\frac{h}{l}\right)^r = k F_1 t_{s1}^m \left(\frac{h}{l_1}\right)^r \text{ i}$$

kładąc $F = b t_s$, $F_1 = b t_{s1}$ otrzymuje się

$$t_{s1} = t_s \sqrt[r]{\frac{l_1}{l}}.$$

$$\text{Dla } r = m = \frac{1}{2}, \quad t_{s1} = t_s \sqrt[3]{\frac{l_1}{l}}$$

a średnia chyżość profilu

$$\begin{aligned} v_1 &= k \sqrt{\frac{h}{l_1}} t_{s1} = k \sqrt{\frac{h}{l}} t_s \sqrt[3]{\frac{l_1}{l}} = k \sqrt{I t_s} \sqrt[3]{\frac{l_1}{l}} = \\ &= k v \sqrt[3]{\frac{l_1}{l}}. \end{aligned}$$

Wynika z tego, że średnia głębokość i średnia chyżość zmieniają się z trzecim pierwiastkiem stosunku długości pierwotnej i skróconej.

5. Wpływ regulacji rzek na obniżenie poziomu małej wody i obniżenie poziomu wody gruntowej.

Obniżenie stanu małej wody powstające skutkiem pogłębienia łozyska, wywołuje równocześnie obniżenie poziomu wody gruntowej, gdyż stan wody gruntowej w obszarach przyległych rzece, jest w związku ze stanem wody w rzece i podlega wraz z nim wahaniom¹⁾. Obniżenie to w gruntach zabagnionych jest korzystne i pożądane, celem ułatwienia odpływu wody stagnującej na powierzchni i w gruncie, oraz umo-

¹⁾ Patrz „Zasady budowy wodociągów“, Lwów 1914, autora „Występowanie wody w podziemiu“ str. 16 i nast.

żliwienia wykonania urządzeń osuszających. Jednak miara dopuszczalnego obniżenia poziomu wody gruntowej jest bardzo różna zależnie od rodzaju pokładów i gleby, gdyż nie zawsze dalej idące obniżenie stanu wody gruntowej jest dla kultury rolnej korzystne i zdarza się, że w pewnych wypadkach przynosi więcej szkody jak pożytku. Tak na przykład regulacja Bugu w Małopolsce wywołała na pewnych przestrzeniach zbyt znaczne obniżenie poziomu wody, a przez to przesuszenie łąk na gruntach torfowych, które straciły na wartości.

Zależnie jednak od miejscowych warunków, rodzaju gleby i podłoża, dopuszczalne pogłębienie może być różne; w pewnych wypadkach nawet kilkometrowe pogłębienie się rzeki i odpowiednie zniżenie poziomu wody gruntowej mogą być dla kultury rolnej nieszkodliwe, w innych, nawet obniżenie kilkudziesięciocentymetrowe może już mieć wpływ ujemny. Są wypadki, że po wykonaniu regulacji, trzeba z uwagi na kulturę stan małej wody, a z nim i stan wody gruntowej podnosić zapomocą śluz spiętrzających, lub nawet dużych jazów ruchomych, jak to się stało np. na Wezerze w pobliżu Bremy, gdzie (pod Hemelingen) musiano podnieść zwierciadło małej wody o 4,5 m zapomocą jazu ruchomego, żeglugę zaś umożliwiono przez wybudowanie dwu śluz komorowych.

Inżynierowie przeprowadzający regulację rzek muszą często walczyć z nieuzasadnionymi zarzutami podnoszonymi przeciw robotom regulacyjnym. Jakkolwiek ludność nadbrzeżna zazwyczaj domaga się robót regulacyjnych, to jednak niejednokrotnie podnoszone bywają później różne nieuzasadnione zarzuty, tak co do pogorszenia się warunków odprowadzenia wielkiej wody, jak i co do ujemnego wpływu regulacji na stan wody gruntowej. Co do tej drugiej kwestji podnoszone bywają dwojakiego rodzaju zarzuty, a mianowicie, albo że skutkiem regulacji nastąpiło szkodliwe podwyższenie stanu wody gruntowej, albo też szkodliwe obniżenie. Z pierwszym zarzutem musiał się już rozprawić Baumgarten¹⁾ przy regulacji Garonny, gdyż mieszkańcy przybrzeżni twierdzili, że zamulenia jakie powstają między tamami regulacyjnymi a brzegami rzeki, utrudniają odpływ wód gruntowych do rzeki, a zatem i podziemny odpływ wód z deszczu, z topnienia śniegu, oraz z wylewów, przez co dolina się zabagnia, a okolica staje się niezdrową, malaryczną, etc. Celem bliższego zbadania tej sprawy, obserwował Baumgarten stan wody w 478 studniach na lewym i 598 na prawym brzegu.

Studnie podzielono na dwie kategorie, z których jedna była w pobliżu uregulowanych partji rzeki, druga w pobliżu partji, gdzie nie wykonano żadnych budowli regulacyjnych. Z tych 1076 studzien tylko 19

¹⁾ „Notice sur la portion de Garonne ..“ j. w. 1848.

okazało wzrost stanu wody — a z tych 19 było tylko 5 takich, które istniały w pobliżu partji uregulowanych. Przeważna liczba studzien okazała obniżenie się stanu wody, a wahania w studniach były zgodne z wahaniami stanu rzeki, co było najlepszym dowodem dobrej przepuszczalności dna.

Co do drugiego zarzutu zauważyć trzeba, że pominąwszy pretensje nieuzasadnione i nieoparte na ścisłych spostrzeżeniach, w wielu wypadkach nadbrzeżni mieszkańcy mogą mieć rację.

Woda gruntowa w dolinach rzecznych płynie w podziemnem łożysku wypełnionem materiałem naniesionym, o większej lub mniejszej przepuszczalności, z niezmiernie małą chyżością, wynoszącą metry lub części metra na dobę. Łożysko to ma nieraz rozległość poprzeczną bardzo znaczną, nieraz zaś przeciwnie, wiercenia wykazują w dolinie rzecznej zupełny brak przepuszczalnego aluwium¹⁾. Ruch wody gruntowej w aluwjach objawia się w dwu zasadniczych kierunkach: pierwszy, główny, w kierunku podłużnym ze spadem doliny, drugi, poboczny, w kierunku poprzecznym ku rzece. Pierwszy, jest wynikiem ogólnej tendencji spadu podziemnego przepuszczalnego łożyska, drugi zaś wynikiem tego, że rzeka stanowiąca zewnętrzne łożysko, jest naturalnym ściekiem odbiorczym dla podziemnego strumienia wody gruntowej. Stąd też zazwyczaj na podstawie niwelacji stanu wody w otworach wiertniczych konstatujemy nietylko spad podłużny (ogólny kierunek warstwie wody gruntowej prostopadły do rzeki), ale także i równoległy (warstwie wody gruntowej układają się bliżej łożyska rzeki do niej równoległe). Lecz to łożysko zewnętrzne jakie stanowi rzeka, jest nietylko ściekiem odbiorczym, ale w pewnych wypadkach (w czasie wysokich stanów) może zasilać strumień wody gruntowej, wysyłając falę wody gruntowej w kierunku poprzecznym, o spadzie od rzeki na zewnątrz. Normalnie, przekrój poprzeczny wykonany prostopadle do rzeki okazuje obustronny poprzeczny spad zwierciadła wody gruntowej ku rzece. Zasilanie podziemnego strumienia wody gruntowej następuje tak przez dopływ z góry, jak też i przez infiltrację na terenie zlewni i dopływ w kierunku poprzecznym. Ta infiltracja jest tem większa, im powierzchnia zlewni jest więcej przepuszczalna, infiltruje zaś nietylko woda z deszczu, ale i woda z topniejącego śniegu, która może w pewnych wypadkach bardziej zasilić strumień wody gruntowej jak opad deszczowy. Tak naprzykład stopnienie wielkich mas śniegu w dolinie Stryja na wiosnę w r. 1912, podniosło stan wody gruntowej powyżej miasta Stryja o 2 m, maximum

¹⁾ Spostrzeżono to u nas w pewnych miejscach nad Bystrzycą Nadwórniańską i Łomnicą przy badaniach wodociągowych.

stanu wody gruntowej nastąpiło w kwietniu, a opadanie trwało aż do jesieni ¹⁾.

Jaki wpływ będzie mieć obniżenie się łożyska skutkiem pogłębienia na stan wody gruntowej? Otóż niewątpliwie zależy to od rodzaju pokładów gruntu, od ich większej lub mniejszej przepuszczalności. Jednak jeżeli badanie wpływu obniżenia rozciągniemy na długi okres lat, to nie ulega wątpliwości, że nawet w mało przepuszczalnym materiale, w ciągu czasu musi nastąpić obniżenie poziomu wody gruntowej, a zatem osuszenie pewnych warstw, które dotąd były wypełnione wodą.

Jednak samo obniżenie się poziomu wody gruntowej wywołane przez regulację, nie musi sprowadzać szkodliwych skutków dla kultury rolnej, wszak są obszary gruntów bardzo urodzajnych, w których stan wody gruntowej jest tak nisko położony, że nie można mówić o wpływie stanu wody gruntowej na kulturę rolną. Na Podolu leży zwierciadło wody gruntowej na wielkich obszarach w głębokości kilkudziesięciu metrów pod terenem, a mimo to obszary te są bardzo urodzajne. A zatem w praktycznych wypadkach samo wykazanie, że nastąpiło obniżenie zwierciadła wody gruntowej, nie może być jeszcze dowodem pogorszenia się kultury rolnej, równie ważne znaczenie ma zbadanie kwestji, czy warstwa gleby urodzajnej i wegetacja musiały korzystać z zasobów wody gruntowej. W tych wypadkach prócz zdania inżyniera-hydrologa, powinno się wysłuchać opinji agronoma-gleboznawcy i doświadczonego geologa.

W każdym razie ostrożność nakazuje, aby równocześnie z podjęciem robót regulacyjnych rozpocząć obserwacje stanu wód gruntowych w dolinie rzeki i prowadzić co do tego dokładną i nieprzerwaną statystykę. M. Rybczyński ²⁾ zauważa, że wpływ obniżenia się wody w rzece na wodę gruntową redukuje się skutkiem tego, że pokłady napływowe nigdy nie są jednorodne, ale składają się zazwyczaj z całego szeregu naprzemianległych warstw, o różnej grubości ziarn, które nie pozwalają na bezpośrednie oddziaływanie wody w rzece na poziom wody gruntowej. Jako dowód podaje częste zjawisko, że rzeka dzika płynąc w polu żwirowem kilkoma korytami, posiada w każdym inną wysokość, a różnice dochodzą do metra i wyżej, pomimo bardzo małej nieraz odległości ramion. Stąd autor wysuwa wniosek, że jeżeli niema wzajemnego oddziaływania poziomu wód, to nie można także przypuścić większego wpływu na wodę gruntową w dalej położonych aluwiach. Daleko większe niebezpieczeństwo widzi autor we wpływie jaki może mieć obniżenie fali

¹⁾ Zasady budowy wodociągów. Lwów 1914 j. w., str. 65.

²⁾ „Czy i o ile może wpłynąć regulacja rzek na przesuszenie gruntów“. Pamiętnik VI Zjazdu techników polskich (1912), Kraków 1914—1917.

wielkiej wody na kulturę, przez uchylenie działania użyźniającego i nawodniającego wielkiej wody.

Wnioski te polegają na spostrzeżeniach czynionych na rzekach karpackich i to w początkowym okresie regulacji. Niewątpliwie zdarzają się często warunki takie, że rzeka namulami swymi wypełnia przestrzenie wolne między ziarnami materiału przepuszczalnego i zasklepiając w ten sposób łożysko, czyni je nieprzepuszczalnym i oddziela od przyległego strumienia wody gruntowej. Nie jest to jednak regułą, gdyż przeważnie, zwłaszcza na rzekach w stanie natury, nieuregulowanych, następuje skutkiem ruchu materiału przy każdym wezbraniu odnawianie wyścielenia dna, co przywraca łączność strumienia zewnętrznego ze strumieniem wewnętrznym. Wszak cały szereg ujęć wody do celów zaopatrzenia miast polega na pobieraniu zapomocą studzien t. zw. sztucznej wody gruntowej, dopływającej do nich z rzeki przez warstwy przepuszczalne brzegów, skutkiem wywołanej w studniach depresji. Dalej wypadki konkretne jakie już się w praktyce niejednokrotnie zdarzyły, gdzie obniżenie skutkiem regulacji wywołało rzeczywiście niekorzystne skutki dla kultury, wskazują, że sprawie tej należy poświęcić baczną uwagę.

6. Ochrona jazów, bulwarów, mostów i innych budowli nadrzecznych.

Pogłębienie się łożyska skutkiem regulacji może wywołać niebezpieczeństwo dla stałości budowli wykonanych w łożysku, lub nad brzegami, skutkiem podmycia ich fundamentów. Jeżeli zatem spodziewamy się większego pogłębienia, natenczas już z góry trzeba obmyśleć środki służące do zabezpieczenia tych budowli, względnie przewidzieć wydatki na ten cel w kosztorysie robót regulacyjnych. Budowle w sposób trwały i celowy wykonane, muszą być na koszt funduszu regulacji zabezpieczone, np. przez wzmocnienie lub podchwycenie fundamentu, zabicie silniejszych i dłuższych ścian szczelnych, ubezpieczenie narzutem kamiennym i t. p., natomiast trudniejsza jest decyzja co do budowli prymitywnych, np. jazów wykonanych bez fundamentu, z faszyn pali i rygniaków, jakich jest wiele na naszych rzekach górskich. Taki jaz mógł się przez pewien czas utrzymać w łożysku nieuregulowanym i szerokim, jakkolwiek wielkie wody często go uszkadzały, a nawet zupełnie zrywały. Natomiast po wykonaniu regulacji i skoncentrowaniu łożyska, jazy takie nie mogą się utrzymać. Wobec tego trzeba ocenić, czy jaz taki z uwagi na znaczenie gospodarcze zakładu z nim związanego ma być utrzymany, czy też może być usunięty. W pierwszym wypadku, o ile właściciel nie ma obowiązku, na mocy obowiązującej ustawy wodnej,

lub warunków konsensu (zezwolenia), przebudowania jazu w sposób trwały na koszt własny, należy przeprowadzić z nim pertraktacje co do przebudowania wspólnym kosztem, t. j. właściciela zakładu wodnego i funduszu regulacji, w drugim, należy dążyć do usunięcia bezwartościowego i szkodliwego jazu z łożyska, przyznając w danym razie odszkodowanie na podstawie ugody, lub na zasadzie wywłaszczenia (expropriacji) prawa wodnego.

II. Tok wykonania budowli regulacyjnych.

Należy się zastanowić, jaki system przyjąć przy wykonaniu budowli regulacyjnych, a mianowicie, czy postępować z wykonaniem budowli regulacyjnych z dołu do góry, t. j. od ujścia rzeki w górę, czy z góry na dół. Obydwa systemy mają pewne zalety i wady, a naturalne warunki rzeki powinny być i tu w całej pełni uwzględnione.

Jeżeli nie spodziewamy się zbyt daleko idących pogłębień, to system budowania z dołu do góry byłby racjonalniejszy. Materiał poruszony przez regulację w górnej części i uniesiony przez wodę, napotyka już uregulowane łóżysko w dalszym biegu, które może go z łatwością odprowadzić, bez szkodliwego nagromadzenia i podnoszenia przez to stanu wody. Jeżeli natomiast postępujemy z regulacją z góry na dół, natenczas wielkie masy rumowiska, które rzeka zazwyczaj transportuje w pierwszym okresie regulacji (materiał z ław żwirowych i piaszczystych, z odsypisk i z przekopów), zostają złożone w dolnych nieuregulowanych partjach, przez co powstaje tu miejscami nadmierne podniesienie koryta, powodujące zbczenia i wykroczenia rzeki, podniesienie zwierciadła wody, a zatem i pogorszenie stosunków co do wylewów i tworzenia się zatorów.

Z drugiej strony, jeżeli stosujemy przy rzekach górskich o silnym spadku, które zazwyczaj przez normalizację znacznie się pogłębiają, system zabudowania z dołu do góry, to pogłębienie odrazu będzie bardzo silne, gdyż posuwa się z dołu do góry, zatem już w dolnych partjach rzeki nastąpi znaczniejsze pogłębienie, podczas gdy górne partje nie będą jeszcze uregulowane. Materiał wprowadzie łatwiej będzie odprowadzany, jednak zamulenie obszarów odciętych, które nietylko ze względu na utrzymanie rzeki w projektowanym korycie jest potrzebne, ale wskazane jest także ze stanowiska kultury rolnej, będzie skutkiem tego utrudnione. Dobre i zupełne zamulenie (załadowanie, Verlandung, attérissement) obszarów odciętych jest rzeczą niezmiernie ważną, samo wykonanie tam regulacyjnych nie wystarcza, obszary przyległe muszą

mieć odpowiednią siłę, aby zabezpieczyć rzekę przed wykroczeniem z uregulowanego profilu.

Czasem względy praktyczne zmuszają do rozpoczęcia budowy w wielu punktach, np. dążność do zużytkowania materiałów budowlanych na miejscu, zamiast przewożenia ich na wielkie odległości, konieczność wykonania budowli najpierw w miejscach najczęściej zagrożonych, lub w których żegluga wymaga najrychlej poprawy; w takich razach należy rozpocząć zabudowanie każdej przestrzeni od punktów, w których rzeka ma stałe i zwarte brzegi i poza nie nie wykracza, gdyż w takim razie możemy być pewni, że woda nie obejdzie budowli regulacyjnych i nie przeczuci się w inne koryto. W przeciwnym razie bylibyśmy zmuszeni wykonać kosztowne zamknięcia boczne.

W każdym razie należy unikać rozbicia robót regulacyjnych na zbyt wiele placów budowy, nadto przy systematycznej regulacji należy roboty lokalne ograniczyć do koniecznej potrzeby i wykonywać je tylko w ten sposób, aby mogły wejść w całość projektowanych robót.

III. Regulacja progowa.

Do najtrudniejszych robót regulacyjnych należy regulacja małych rzek górskich, będących na przejściu między potokiem górskim a właściwą rzeką górską. Rzeki te mają zazwyczaj bardzo małe odpływy przy stanach niskich, natomiast bardzo znaczne odpływy i wielką siłę poruszającą przy stanach wysokich. Stąd do ujęcia i uregulowania przepływu małej wody wystarczyłoby wąskie koryto, natomiast profil wielkiej wody jest nieraz bardzo rozległy. Jak to już powyżej w rozdziale o normalnym stanie regulacji podano, przy oznaczeniu normalnego profilu takich rzek trzeba sięgnąć wyżej i wziąć za podstawę wodę średnią, a w danym razie i wielką wodę. Pomimo tego są tu trudności z utrzymaniem budowli wobec nieraz bardzo rozległego profilu wielkiej wody, pokrytego w zupełności materiałem ruchomym, w którym wyprostowany nurt wielkiej wody krzyżuje założone w krzywiznach budowle regulacyjne. Wobec wielkiej siły poruszającej wody, środki stosowane na rzekach górskich często tu nie wystarczają; pomimo powiększenia rozmiaru budowli (zwiększenie szerokości korony tam, danie łagodniejszych skarp, użycie narzutów i bruków z bardzo wielkich kamieni), budowle te rozrzuca nieraz pierwsza wielka woda, zasypując w jednym miejscu uregulowany profil rumowiskiem, w drugim zaś wywołując nadmierne podmycie.

Otóż okazuje się, że takie rzeki można ujarzmić często tylko w ten sposób, że odrazu, równocześnie z wykonaniem budowli brzegowych (tam równoległych, lub opasek), ustala się położenie dna zapomocą poprzecznych progów. Naturalnie; że progi muszą być tak założone, aby zgadzały się z definitywnem położeniem dna, przyjętem w projekcie regulacji. Taką regulację nazwiemy regulacją progową.

Przy regulacji mniejszych rzek o dużym spadku w Małopolsce (Muszynka, Rudawa i i.) z wielu robót początkowych, nawet w stosun-

kowo dużych rozmiarach wykonanych, nie zostało śladu, inne doznały znaczniejszych uszkodzeń i dopiero utrwalenie dna przez wykonanie stopni zdołało warunki poprawić.

Widzimy, że przy regulacji progowej stosowany jest mniej więcej tensam system, co przy zabudowaniu potoków górskich.

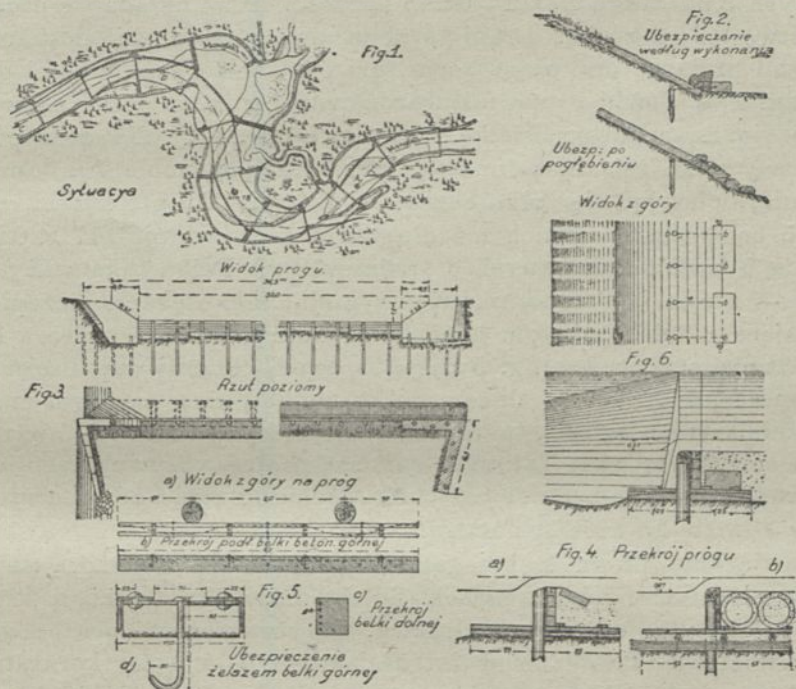
Regulacja progowa w Bawarii. Zastosowano tam regulację progową z pewną odmianą, a mianowicie chodziło o wyrugowanie silnych obustronnych tam równoległych, zapomocą których ustala się w sytuacji rzeki górskie — zasadniczym elementem regulacji mają być w stosownych warunkach tylko progi, odpowiednio z brzegami związane. Progi te mają ustalić łożysko tak co do poziomego, jak i pionowego położenia, a wykonanie ma nastąpić według propozycji Werlego ¹⁾ już w początkowym stadjum regulacji, jednak po wstępnym skoncentrowaniu łożyska. Te wstępne roboty ograniczają się tylko do zepchnięcia rzeki zapomocą szeregów pali kierujących (Normalisirungs-Pfahlzeichen), oraz ostróg prostopadłych do projektowanej trasy regulacyjnej — ostrogi te mają być założone w przedłużeniu projektowanych stopni i tworzyć nawiązanie z wysokimi brzegami. Tamy równoległe odpadają — a po pewnym wykształceniu się łożyska, można utrwalić brzegi zapomocą słabych faszy nowych wyściełek, względnie obitek (Berauhwehungen der Ufer).

Korzystny wpływ stopni na utrwalenie trasy regulacyjnej obserwowano w Bawarii najpierw na rzece Weissach, oraz na 7 kilometrowej przestrzeni rzeki Mangfall pod Thalheim, obydwie rzeki jednak otrzymały pełny profil, ubezpieczony silnymi narzutami kamiennymi, blokami betonowymi i brukowaniem skarp. Celem ustalenia dna wykonano progi, które spadek podłużny wynoszący 6—10‰ zamieniają na stopnie; odległość stopni przyjęto na 25—50 m, wysokość 25—30 cm. Długość stopni w kierunku poprzecznym łożyska wynosiła 16, względnie (w dolnej partji) 24 m; wykonane były z nieobrobionych pni sosnowych, osadzonych jako kaptury na szeregach pali, poniżej zaś było podłoże składające się również sosnowych drągów. Na rzekach o słabym przepływie wody przy niskim stanie można z łatwością wykonać te progi z betonu na palach, ubezpieczając je na koronie kamieniem łamanym na cemencie. Stopnie te w korytach uregulowanych zapobiegły nadmiernemu pogłębieniu dna, w pewnych przestrzeniach jednak wykonano je samostnie bez żadnych budowli podłużnych, a rezultat był taki, że nietylko ustaliły dno w profilu podłużnym, ale również ustaliły trasę regulacyjną (rys. 158 fig. 1). Po wielkiej wodzie nie było uszkodzeń brzegów, natomiast materiał ruchomy osadzał się poniżej stopni przy obu brzegach, co przyczyniło się tylko do ich umocnienia.

¹⁾ Deutsche Bauzeitung Nr. 82 i 83 z r. 1909.

Podobne spostrzeżenia poczyniono i na dolnej przestrzeni rzeki Mangfall, gdzie dorzecze wynosi już 821 km^2 , zwykła wielka woda około 400 m^3 , normalny profil miał 35 m szerokości, a $1,3 \text{ m}$ głębokości i przy przeciętnym naturalnym spadku łożyska $3,8\text{‰}$, zwiększonym skutkiem skrócenia biegu na $4,1\text{--}4,6\text{‰}$, mógł odprowadzać około $400 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Wobec znacznego spadku, należało się spodziewać zaraz z początku silnych ruchów dna, tembardziej, że jak z powyższego wynika, profil



Rys. 158.

normalny ujmował nietylko małą wodę, ale również słabsze wielkie wody. Wykonanie ubezpieczenia brzegów zapomocą ław betonowych, wyścielki faszynowej na skarpie i utrwalenia stopy, wyjaśnia fig. 2.

Bloki betonowe miały tu wymiary $2 \times 0,8 \times 0,4 \text{ m}^3$, ułożone były w odstępach półmetrowych i przymocowane do palików bitych na brzegu, każdy dwiema linkami drucianymi. Na podstawie doświadczeń na innych przestrzeniach tej rzeki stwierdzono, że łożysko utrzymuje się w równowadze przy spadku około 2‰ , mogło zatem w górnej partji regulowanej przestrzeni, zakończonej jazem pod Willingen, powstać pogłębienie dna dochodzące do 9 m . Drugim niepożądanym skutkiem byłoby wpra-

wienie w ruch ogromnych mas materiału ruchomego, którego objętość oceniono na siedemset do ośmset tysięcy m³, a który musiałby wędrować w dalszym ciągu do Innu i Dunaju. Musiano zatem odrazu wykonać stopnie, których konstrukcję wyjaśniają fig. 3—6.

Najpierw bije się w poprzek koryta pale okrągłe 4,5 m długości, a 25—30 cm grubości, w odstępach dwumetrowych kafarem linowym. Następnie, o ile w łożysku znajdują się ławy żwirowe, wykonuje się dla progu wykop, poczem układa się podłoże. Składa się ono z drągów sosnowych 3 m długości, 0,1—0,2 m grubości, które układa się podłużnie w warstwę 0,3 m grubą. Drągi te zbija się poprzecznymi deskami, lub żelaznymi prętami, przywiązując je tu i ówdzie do pali linkami drucianymi (fig. 4 a). Jeżeli grunt jest bardzo ruchomy, lub jeżeli są wyboje, to daje się na spód podścielkę faszynową (fig. 4 b). Na tem podłożu układa się belki żelazno-betonowe, które leżą na sobie bez osobnego związania, opierając się tylko o pale. Stosownie do głębokości układa się 3—5 belek, każda z nich ma długość 4 m, przekrój $0,17 \times 0,20$ m² i posiada 5 wkładek żelaznych o średnicy $8\frac{1}{2}$ m. Belka taka waży około 300 kg — niesie ją 6 robotników, trzymając na ośkach zaczepianych o wystające z belek zabetonowane haki. Górną belkę ubezpiecza się od góry żelazną przykrywą (fig. 5 d), a to celem ochrony przed ścieraniem przez materiał ruchomy. Jeżeli dolny pokład dna stanowi materiał o znaczniejszej zwięzłości, natenczas zamiast pali można bić dźwigary żelazne szerokostopowe. Taksamo zamiast podłoża drewnianego można użyć brusów żelazno-betonowych, które jednak muszą być zabezpieczone przeciw starciu drewnianą deską (fig. 6).

Nawiązanie progu z brzegami wykonuje się zapomocą skrzydeł betonowych osadzonych na palach (fig. 3). Skrzydła te 4,5 m długości potrzebne są tylko od strony odpływu, przyczem profil jest z każdej strony szerszy o jakie 4 m od długości progu, co wpływa korzystnie na uspokojenie wody. Przy przeciętnym spadku rzeki $4,684\%$ i spadku wody na progu 0,27 m, wykonuje się progi w odstępach 60 m, czyli niejako cały spadek rzeki rozdziela się na stopnie. Poniżej progów powstają wprawdzie wyboje, jednak nie są one dla nich niebezpieczne, gdyż między progami a wybojem powstaje łagodna skarpa.

W dalszej części rzeki Mangfall, 14 km długości, projektowano regulację zapomocą samych stopni, bez tam równoległych; trasa regulacyjna ustalona będzie tylko zapomocą niezbyt gęsto rozstawionych ostróg, lub szeregów pali. Tam gdzie łożysko zamykają ławy żwirowe, wykona się tylko wąskie rowy, celem wpuszczenia wody. Według poczynionych obliczeń regulacja taka kosztować ma o połowę mniej, jak regulacja zapomocą tam podłużnych (kierownic).

Nowsze doświadczenia co do regulacji rzek w Bawarii. Mayr¹⁾ występuje stanowczo przeciw systemowi regulacji rzek górskich praktykowanemu w Bawarii od lat pięćdziesiątych zeszłego stulecia, który polegał na tem, że rzeki prostowano, zmieniając radykalnie ich długości i spadki. Z licznych przekopów usuwano materiał tylko częściowo, resztę miała wynieść rzeka. Celem znormalizowania, ujmowano rzekę obustronnie tamami równoległymi w łożysko zbyt wąskie. Skutek był taki, że następowały podniesienia łożyska w dolnym biegu, w górnym zaś nadmierne pogłębienia, a w nowo stworzonych warunkach rzeka nie mogła się znowu utrzymać. Autor sądzi, że niema zupełnie powodu, aby zmieniać naturalne rzeki na nienaturalne, które nie mogą wytworzyć stanu ustalonego. Zasady regulacji proponowane przez Mayr'a są następujące (rys. 159).

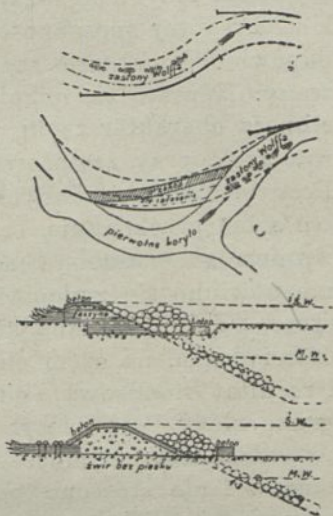
1. Kierunki rzeki uregulowanej mają się możliwie jaknajbardziej zgadzać z kierunkami rzeki przed regulacją. Należy stosować wyłącznie kierunki krzywolinijne, o możliwie małym promieniu, nie mniejszym jednak niż promienie nurtu przy wielkiej wodzie.

2. Stałe kierownice (tamy równoległe) wykonywać należy tylko na brzegu wklęsłym i to z kamienia łamanego, lub z betonu, (rys. 159

fig. 1 a), odrazu w pełnym rozmiarze. Kierownice te mają być budowane w łuku o promieniu stale w dół malejącym (łuk koszowy, elipsa, spiralna i lemniskata), chodzi bowiem o to, aby nurt wielkiej wody nie przecinał na przejściach nowego łożyska pod kątem. Na brzegach wypukłych mają być wykonane prowizorycznie zasłony Wolfa, jednak tylko w rozmiarach koniecznie potrzebnych. Tamy równoległe na brzegach wklęsłych należy przedłużyć prostolinijnie w górę i w dół poza linię wklęsłą (fig. 1 a), celem wprowadzenia nurtu.

3. Współdziałanie rzeki ma się ograniczyć tylko do wyrobienia łożyska, natomiast przekopy, które ograniczyć się ma do koniecznej potrzeby, należy wykonać pogłębiarkami w pełnym profilu, a materiał użyć do wykonania wałów.

Autor cytuje jako przykład rzeki Wertach i Izarę; przy obu stary system regulacji dał się dobrze we znaki (na Wertach było 6 m pogłę-



Rys. 159.

¹⁾ „Korrektion der geschiebeführenden Gebirgsflüsse mittels einseitiger Leitwerke“, Monachium 1911.

bienia, które powstrzymano zapomocą jazu o tejsamej wysokości), regulacja nowych przestrzeni była bezwzględnie potępieniem dawnego systemu. Autor jest zdania, że dawny system nadaje się tylko do dużych rzek górskich o profilu dwuczęściowym, przy małych istnieją często warunki takie, że korzystniej będzie wykonać regulację zapomocą ustalenia dna progami, nie ubezpieczając brzegów. Jak widzimy zapatrywania Mayr'a zgadzają się z zapatrywaniami Werlego.

Przy tej sposobności stwierdzić należy, że system regulacji winien odpowiadać naturze rzeki i ma być dla każdej rzeki osobno wypróbowany. Wprawdzie pomiary hydrometryczne określają już do pewnego stopnia charakter rzeki, jednak opieranie się na podobieństwie charakterów rzek, przy zastosowaniu pewnego systemu regulacji nie wystarcza. Przy budowłach próbnych, należy rzekę bacznie obserwować, aby wyrobić sobie przekonanie, czy system jest odpowiedni i w stosownym czasie wprowadzić potrzebne modyfikacje. Dlatego kierowników regulacji rzek nie powinno się zmieniać, lecz pozostawiać ich długi czas na tejsamej rzece, gdyż ze zmianą kierownika traci się często wielką sumę cennych doświadczeń, na czem cierpią nie tylko postęp i celowość robót, ale także i rezultat finansowy, gdyż niedoświadczenie wywołuje nieraz bardzo grube błędy i wielkie straty materialne.

A w żadnym może dziale dzieł inżynierskich nie popełniono tyle błędów i nie stracono bez rezultatu tyle funduszków co w dziale regulacji rzek! Wiele przestrzeni rzek rzekomo już uregulowanych zdziczało później doszczętnie, a z kosztownych budowli regulacyjnych nie pozostało ani śladu, nadto łożysko zamiast poprawy doznało pogorszenia warunków, tak co do odprowadzenia wód, jak i co do żeglowności.

CZĘŚĆ 4.

Regulacja rzek żeglownych na małą wodę.

(Regularisation, amélioration en basses eaux, Niederwasser-Kleinwasser-regulierung, Nachregulierung).

I. Ogólny pogląd.

Regulacje rzek żeglownych wykonane co do głównych robót przeważnie w drugiej połowie 19 wieku, nie ziściły w całej pełni pokładanych w nich nadziei, gdyż po pierwsze, regulacje te miały za zadanie przeważnie uregulowanie i ustalenie łożyska średniej wody, a nie liczyły się z warunkami przepływu przy stanach niskich, powtórę zaś stosowany system regulacji nie zawsze był na wysokości zadania, wobec czego często nie można było uzyskać na rzece tego maximum sprawności, jakieby odpowiadało jej przyrodzonym warunkom.

Jeżeli chodzi o żeglowność rzeki, to miarą stopnia żeglowności jest wielkość, względnie ładowność statków kursujących po rzece, gdyż jak wiadomo, jednostkowe koszty transportu maleją z wielkością statków. Ładowność statków zaś zależy przedewszystkiem od wielkości możliwego ich zanurzenia, to zaś od głębokości i szerokości pasu żeglownego (drogi do jazdy), (passe navigable, Fahrwasser, Fahrstrasse). Wynika z tego, że profile rzeki żeglownej powinny być głębokie, głębokość ta w profilu podłużnym (w nurcie) powinna być mało zmienna, gdyż wielkość zanurzenia statków zależna będzie od głębokości wody w punktach najniekorzystniejszych, a więc na progach. Pamiętać przytem należy, że jeden niekorzystny próg ogranicza głębokość zanurzenia statków, względnie ich ładowność, dla całej przestrzeni w obrębie której leży.

Jakie głębokości na rzekach żeglownych są pożądane? Chcąc odpowiedzieć na to pytanie, musimy podzielić żeglugę (navigation, Schifffahrt) na dwie kategorie, między którymi zresztą ścisłego odgraniczenia

niema, a mianowicie na żeglugę małą i wielką. Jakkolwiek w praktyce nie określono nigdy dokładnie jak wielkimi statkami posługuje się mała, a jak wielkimi wielka żegluga, to jednak można powiedzieć, że żegluga mała odbywa się statkami w każdym razie poniżej 150 ton ładowności, żegluga zaś wielka statkami od 200 ton ładowności w górę.

Ładowność statku można wyrazić wzorem:

$$L = \varphi D S Z,$$

w którym D i S oznaczają długość i szerokość statku, Z zanurzenie, φ współczynnik pełności statku, lub współczynnik wyporu wody (Völligkeitscoefficient, coefficient de déplacement)¹⁾.

We Francji normalny typ statków ciężarowych (łodzi ciężarowych, péniche) nie przekracza maksymalnych wymiarów

$$D = 38,5 \text{ m}, S = 5,00 \text{ m}, Z = 1,80 \text{ m}^2),$$

a ponieważ objętość równoległoscianu prostokątnego opisanego na tych wymiarach wynosi $V = 38,5 \times 5 \times 1,8 \text{ m} = 346,5 \text{ m}^3 \approx 350 \text{ m}^3$, a faktyczny wypór wody wynosi 300 m^3 , zatem współczynnik

$$\varphi = \frac{300}{350} = 0,857$$

Znaczenie współczynnika φ jest zrozumiałe; charakteryzuje on kształt statku ze względu na wykorzystanie wymiarów dla ładowności. Statki kanałowe poruszające się w wodzie stojącej i to z niewielką chyżością, nie przekraczającą 5 km na godzinę, mogą mieć φ większe, statki natomiast rzeczne, które muszą płynąć raz z wodą, drugi raz przeciw prądowi wody, muszą mieć formę smuklejszą, przód więcej zwężony, stąd φ wypada dla nich mniejsze.

Powyżej oznaczone φ dla statków francuskich uznać należy jako dzo wysokie i raczej odpowiada ono statkom kanałowym lub kursującym na przestrzeniach skanalizowanych jak na wolnych przestrzeniach rzek. Powtórę przyjęta głębokość zanurzenia 1,80 m również odpowiada przedewszystkiem kanałom i skanalizowanym przestrzeniom rzek, na wolnych rzekach rzadko może być wyzyskana, chyba tylko na samych dolnych biegach, gdzie zresztą kursują już i statki typów większych, jak np. na dolnej Sekwanie między Paryżem a Rouen o ładowności do 1000 ton.

Symph²⁾ oblicza ładowność statku kanałowego według następującego wzoru:

¹⁾ Jest to stosunek rzeczywistej kubatury statku do objętości równoległoscianu prostokątnego o wymiarach D, S, Z.

²⁾ Patrz De Mas „Cours de navigation intérieure, rivières à courant libre“. Paris 1899.

³⁾ Ztsch. f. Binnenschiffahrt Nr. 1/2 1918 i Ztbl. der Bauverwaltung Nr. 7/8 1918.

$$\bar{L} = 0,9 \text{ D. S. } (Z_1 - Z_p),$$

w którym Z_1 oznacza zanurzenie statku ładownego, Z_p statku pustego; jeżeli się przyjmie $Z_p = \frac{1}{5} Z_1$ otrzymuje się:

$$\bar{L} = 0,9 \text{ D. S. } 0,8 Z_1 = 0,72 \text{ D S } Z_1.$$

Według Teuberta¹⁾ łodzie ciężarowe powinny spełniać następujące warunki: 1) zanurzenie próżnego statku powinno być jaknajmniejsze, a zatem mieć jaknajmniejszy ciężar martwy; 2) kształt ma być możliwie pełny, z zastrzeżeniem jednak dobrej zwrotności statku, oraz małego oporu w ruchu, forma musi być więc smukła; 3) konstrukcja ma być silna i sztywna; 4) ładunek musi być dobrze i pewnie umieszczony, pudło statku szczelne. Tensam autor podaje, że współczynnik φ dla rozmaitych statków zmienia się w szerokich granicach i wynosi u statków morskich, od jachtów aż do wielkich statków towarowych 0,30 — 0,75, u pospiesznych parowców rzecznych 0,60—0,65, u holowników kołowych 0,75 — 0,85, u holowników śrubowych 0,45 — 0,65, u łodzi ciężarowych rzecznych bez własnego motoru zwykle 0,80 — 0,90, a u pewnych statków kanałowych wzrasta nawet do 0,99.

Szerokość statków równa się zwykle 2—3 krotnej głębokości, są jednak statki, gdzie szerokość jest znacznie większa, aż do dziesięciokrotnej głębokości. Długość waha między sześciokrotną a dwunastokrotną szerokością, choć u poszczególnych statków rzecznych francuskich stosunek ten wzrasta do 16, a nawet i 20.

Powiedzieliśmy poprzednio, że głębokość zanurzenia statków, a zatem głębokość rzeki (która powinna przewyższać maksymalne zanurzenie przynajmniej o 10—20 cm) jest najważniejszym czynnikiem, który decyduje o stopniu żeglowności rzeki. Otóż mówiąc o głębokości, musimy zarazem uwzględnić stan wody, przy którym pewna żądana głębokość ma być osiągnięta.

Przy dawniejszych regulacjach dążono do uzyskania pewnych określonych głębokości przy stanie średnim rocznym, albo przy stanie średnim w okresie żeglugi (okres od 1 marca do 30 listopada), jednak takie określenie dla celów żeglugi nie wystarcza, gdyż nowoczesna żegluga musząc wytrzymać współzawodnictwo z kolejami żelaznymi, powinna mieć do dyspozycji potrzebne głębokości i przy stanach niskich. Podczas kilkomiesięcznej niezwyklej posuchy w r. 1904 okazało się, że na rzekach środkowo europejskich (Łaba, Odra, Wisła) stany wody i głębokości spadły w sposób niezwykle, a żegluga była przez kilka miesięcy w zupełnym zastoju. Wobec tego że taki stan wwołuje dla żeglugi i handlu niekorzystne wyniki finansowe, postanowiono przedsięwziąć

¹⁾ „Die Binnenschiffahrt“. Lipsk 1912.

energiczne środki celem poprawy żeglugi przy niskich stanach, a mianowicie przeprowadzić regulację uzupełniającą, czyli regulację na małą wodę, oraz wziąć pod uwagę zasilanie rzek przy stanach niskich zapomocą wody zapasowej ze zbiorników; obydwie te środki omówimy w dalszym ciągu.

W ogólności można powiedzieć, że rzeka na której ma się rozwinąć wielka żegluga, powinna mieć zapewnioną przy stanach najniższych głębokość do jazdy przynajmniej 1 metra; ta głębokość nie wystarczy wprawdzie dla wielkich statków płynących z pełnym ładunkiem, jednak przez zmniejszenie ładunku żegluga będzie mogła być i w okresie stanów niskich kontynuowana. Na rzekach żeglownych niemieckich przyjmuje się, że statki o ładowności 400—500 ton wymagają głębokości przynajmniej 1,50 m (zanurzenie statków najlepszej konstrukcji 1,40 m)¹⁾, zaś statki o ładowności 600—700 ton głębokości 2 m (zanurzenie 1,80 m)²⁾. Sympher żąda, aby głębokość rzek uregulowanych, przeznaczonych do wielkiej żeglugi, wynosiła przy stanie średnim niskim, podwyższonym zapomocą wody zasilkowej ze zbiorników, 1,70—1,80 m, później, w miarę dalszej poprawy łożyska, o ile możliwości 2,20 m.

Z rzek europejskich największą żeglugę posiada dolny Ren; największe statki kursujące między portami Westfalji a Anvers i Rotterdamem osiągają ładowność 2100 ton, długość ich wynosi 94 m, szerokość 12 m, zanurzenie do 2,70 m.

Jednak na Renie dolnym, a mianowicie poniżej Kolonji, kursują jeszcze większe statki o ładowności do 3500 ton; długość ich wynosi 123 m, szerokość 14 m, zanurzenie do 2,85 m. W tej przestrzeni Renu istnieje jednak już bezpośrednia komunikacja z morzem; statki te płyną od Kolonji aż do wybrzeży Anglii i morza Bałtyckiego.

Na rzekach polskich żegluga jest dotąd mało rozwinięta z powodu małego postępu robót regulacyjnych. Na dolnej uregulowanej Przemszy między Jęzorem—Mysłowicami a ujściem do Wisły i na Wiśle między ujściem Przemszy a ujściem Nidy, kursują tylko galary o ładowności około 30 ton³⁾, oraz holowniki zanurzające się do 60 cm, poniżej Nidy większe galary do 60 ton ładowności. Pod Warszawą mamy już i statki większe, jednak ruch ich jest w czasie niższych stanów przerywany. Na Wiśle w obrębie dawnego zaboru pruskiego, gdzie jest ona uregulowana na średnią wodę, kursują statki do 500 ton ładowności⁴⁾, podobnie jak

1) Długość statków 55 m, szerokość 8 m (typ Odry).

2) " " 63,5 " " 8 " (typ Łaby).

3) Długość 20 m, szerokość 5—6 m, zanurzenie 0,40 m.

4) Długość 55 m, szerokość 8 m, zanurzenie do 1,75 m, ponieważ jednak głębokość wody spada w czasie niskich stanów poniżej 1 m, mogą one kursować z pełnym ładunkiem tylko przy korzystniejszych stanach.

na Noteci i kanale Bydgoskim, oraz Odrze od Koźła w dół, na której to przestrzeni jest ta rzeka skanalizowana na głębokość 1,50 m.

Drugi czynnik decydujący o ładowności statków, a mianowicie szerokość statku, nie jest już tak ściśle związany z szerokością rzeki jak zanurzenie z głębokością, i raczej wynika z potrzeb racjonalnego stosunku wymiarów statku, z uwagi na wytrzymałość i łatwość poruszania. Zdawałoby się również, że rzeki w przeciwieństwie do kanałów żeglugi posiadają tak znaczne szerokości, że wystarczają one do ruchu nawet najszerzych statków i że szerokością rzeki nie potrzebujemy się kłopotować; tak jednak jest tylko pozornie, gdyż nawet na stosunkowo dużych rzekach, regulacja na małą wodę często bardzo wydatnie zwęża profil. Jako przykład można podać Łabę w obrębie Saksonji, posiadającą przy granicy czesko-saskiej dorzecze 51.000 km², odpływ przy stanie średnim 286 m³/sek, przy stanie absolutnie najniższym 47 m³/sek, spadek 1:3500. Tu celem uzyskania przy stanach najniższych głębokości 1,10 m, przeprowadza się w obrębie łożyska uregulowanego na średnią wodę o szerokości 100 m regulację na małą wodę, a szerokość przekroju małej wody wyniesie przy stanie najniższym 40 m, a w pewnych miejscach gdzie istnieją najsilniejsze spady nawet 33 m¹). Podobnie na Wezerze, która po przeprowadzeniu regulacji na małą wodę stanowi typ racjonalnie uregulowanej rzeki, przyjmowano w projektowanych profilach minimalną szerokość do jazdy przy zwykłym niskim stanie 25 do 30 m²), a głębokości przy tym stanie wynoszą: pomiędzy Hameln a Minden 1 m, między Minden a ujściem Allery 1,25—1,35, poniżej 1,50 m, zaś przy „podwyższonym stanie średnim niskim“ podnoszą się od 14 cm (w górze) do 4 cm (w dole).

Jak widzimy, szerokości te w pewnych wypadkach zbliżają się już do szerokości stosowanych dla kanałów żeglugi i należy je już uważać jako minimum potrzebne do mijania się statków. To zwięźlenie szerokości łożyska przy stanach niskich pociągać za sobą musi tesame konsekwencje co przy kanałach żeglugi, odnośnie do promieni krzywizny i konieczności zastosowania rozszerzenia profilów w ostrzejszych łukach. Sympher proponuje, aby na kanałach przeznaczonych dla statków 1000 tonowych³) (szerokość dna 16 m, zwierciadła 33 m, głębokość w środku 3,5 m, a 3 m na krawędziach dna), promienie łuków wynosiły o ile możliwości ponad 1000 m, przy ostrzejszych zaś, które jednak tylko wyjątkowo można stosować, należy dać znaczniejsze rozszerzenie; wynosi ono:

¹) Kursują tu statki do 1000 ton ładowności.

²) Kursują tu statki do 600—700 ton.

³) Długość statku 80 m, szerokość wraz z listwami bocznymi 9,2 m, zanurzenie przy pełnym ładunku 2 m.

dla R 500—700 m 700—900 m 900—1200 m 1200—1500 m 1500—2000 m
 5 m 4 m 3 m 2 m 1 m

Otóż zasada ta powinna być analogicznie stosowana i do rzek żeglownych w tych wypadkach, gdzie następuje znaczna koncentracja profilu małej wody. Potrzebną szerokość minimalną i rozszerzenie w łukach oznaczy się z łatwością, jeżeli znana będzie długość i szerokość największych statków, które mogą po danej przestrzeni rzeki kursować.

Jako przykład porównamy rzeki Ren, Wezerę, Łabę, Odrę i Wisłę w dolnych ich partjach pod względem żeglowności, przyjmując za podstawę nie głębokości faktycznie przez regulację już uzyskane, lecz głębokości jakie przez regulację dadzą się uzyskać, względnie głębokości jakie obliczymy na podstawie dat hydrograficznych. Dany te podaje następujące zestawienie:

Rzeka	Dorzecze	Spadek	Odpływ przy stanie średnim niskim	Odpływ przy stanie średnim
Ren na granicy niemiecko-holenderskiej	160.000 km ²	0,107‰	970 m ³ /sek	2030 m ³ /sek
Wezera poniżej Allery	38.300 "	0,183 "	100 "	250 "
Łaba poniżej Jetzel	144.055 "	0,122 "	244 "	660 "
Odra poniżej Warty	107.798 "	0,184 "	190 "	520 "
Wisła pod Montawską Szpicą	193.014 "	0,180 "	333 "	936 "

Z tego zestawienia widać, że Wisła pod względem ilości odpływu nie może się równać z Renem, gdyż Ren z powodu odpływu z lodowców i wyrównaniu odpływu przez jeziora, a przedewszystkiem przez jezioro Bodeńskie, znacznie ją pod tym względem przewyższa, nadto posiada spadek mniejszy, natomiast Wezera, Odra i Łaba pod względem ilości wody stoją w tyle poza Wisłą, spadek Łaby jest trochę mniejszy, a Odry prawie równy spadkowi Wisły. Wynika z tego, że wprawdzie Wisła jako droga wodna nie może dorównać Renowi, jednak może dorównać Łabie, a przewyższyć Odrę i Wezerę. Potrzeba tylko umiejętnej i systematycznej regulacji, a pomyślny rezultat nie ulega wątpliwości.

Jeżeli przyjmiemy, że stopień żeglowności zależy od osiągalnej przez regulację głębokości rzeki i jeżeli założymy ogółowo, że głębokość zależy od objętości przepływu i spadku, oraz że na rzekach o po-

dobnym charakterze stosunek szerokości do średniej głębokości ma w przybliżeniu tęsamą wartość, natenczas możemy uzyskać porównanie głębokości, względnie określenie porównawcze stopnia żeglowności, w następujący sposób:

Zastosujmy znaną formułę na średnią chyżość przepływu

$$v = 34 i^{0,5} t^{0,75} \text{ } ^1),$$

w której i oznacza spadek względny, a t średnią głębokość. Nazywając literą Q objętość przepływu, P powierzchnię przepływu, a S szerokość zwierciadła, mamy:

$$Q = P \cdot v = S t v, \text{ a przyjmując stały stosunek}$$

$$\frac{S}{t} = q, \text{ czyli } S = q t$$

$$v = \frac{Q}{q t^2}, \text{ czyli } \frac{Q}{q t^2} = 34 i^{0,5} t^{0,75}, \text{ skąd}$$

$$Q = 34 q t^{2,75} i^{0,5}$$

$$t = \sqrt[2,75]{\frac{Q}{34 q i^{0,5}}} = \sqrt[2,75]{\frac{1}{34 q} \frac{Q^{2,75}}{i^{\frac{1}{5,5}}}} = a Q^{0,37} i^{-0,18},$$

lub zaokrąglając wykładniki z uwagi na czysto praktyczne znaczenie wzoru

$$t = a \frac{Q^{0,4}}{i^{0,2}}$$

Ponieważ q , a zatem i a, możemy dla rzek o podobnym charakterze i wielkości przyjąć w przybliżeniu stałe, zatem żeglowność rzeki wyrażającą się w uzyskaniu pewnej średniej głębokości t charakteryzuje wyrażenie:

$$\dot{Z} = \frac{Q^{0,4}}{i^{0,2}} = \left(\frac{Q^2}{i}\right)^{0,2} \text{ czyli}$$

$$\dot{Z} = \sqrt[5]{\frac{Q^2}{i}}$$

Jak się przedstawia wartość \dot{Z} dla zestawionych powyżej partji rzek?

¹⁾ Formuła autora oraz Hermanka.

Z obliczenia otrzymujemy dla objętości przepływających

	a) przy stanie średnim niskim	b) przy stanie średnim
Ren	$\dot{Z} = 97,5$	131,0
Wezera	" = 35,3	50,9
Łaba	" = 54,7	81,4
Odra	" = 45,6	68,2
Wisła	" = 57,3	85,8

Przyjmując dla Renu wartość 1, otrzymujemy dla innych rzek następujące wartości stosunkowe:

	a) przy stanie średnim niskim	b) przy stanie średnim
Ren	1	1
Wisła	0,59	0,65
Łaba	0,56	0,62
Odra	0,47	0,52
Wezera	0,37	0,39

Ponieważ na dolnym Renie uzyskano przy stanie średnim niskim głębokość do jazdy 3 m, zatem według powyższych wartości stosunkowych powinno się uzyskać przy tym stanie:

na Wiśle	1,77 m
" Łabie	1,68 "
" Odrze	1,31 "
" Wezerze	1,11 "

II. Zasady regulacji na małą wodę, system Girardona.

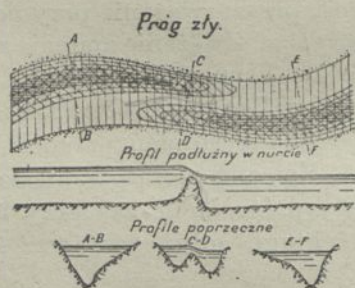
Epokowe znaczenie miały tu badania Girardona¹⁾, przeprowadzone w związku z regulacją Rodanu, które tu pokrótce przedstawimy.

Girardon stwierdza, że metoda regulacji przez zwężanie przyniosła na rzekach żeglownych więcej szkody jak pożytku. Zwężenie zmienia stan naturalny, zwiększając siłę poruszającą, która zrywa progi. Progi są jednak naturalnymi przegrodami, działającymi jak jazy przy kanalizacji; gdy się próg usunie, zwierciadło wody się zniża i stopień przenosi się na próg poprzedni, zwiększając tu spad, o ile dno niema wzniesienia pośredniego, które wykształci się jako nowy próg. Próg zaś przy którym się spad zwiększa, pogarsza się dla żeglugi, gdyż przy wzroście spadu powstaje zmniejszenie głębokości.

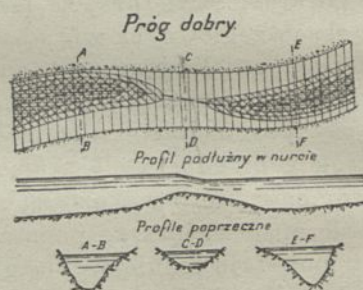
Jeżeli weźmiemy pod uwagę długą przestrzeń rzeki wepchniętą między tamy regulacyjne, których celem jest wyrównanie spadku i powiększenie głębokości, to naturalna równowaga jaka istniała między spadkiem łożyska, głębokością i materiałem ruchomym, zostaje zburzona, siła poruszająca się zwiększa, dno podlega erozji. Zwiększenie spadku ponad naturalną miarę i potrzebę, oraz stworzenie zwartych, korzystniejszych dla przepływu profilów, wywołuje pogłębienie dna, które ku górze rośnie, a woda przeladowana jest materiałem ruchomym, który składa w partjach dolnych. To oddziaływa znowu na profil podłużny w kierunku zmniejszania spadku, wywołując w dalszem następstwie zmniejszenie ilości poruszanego materiału, skutkiem czego powstaje nowy stan równowagi. Ostateczny skutek jest ten, że zwężenie powoduje zmniejszenie spadku na partjach międzyprogowych (stanowiskach), a zatem i zwiększenie głębokości; skutek ten jest jednak tylko pozornie dla żeglugi korzystny, w rzeczywistości zaś szkodliwy, gdyż zmniejszenie spadku na stanowiskach, wywołuje skoncentrowanie

¹⁾ „Amélioration des rivières en basses eaux“, Haga, VI. Kongres żeglugi śródlądowej 1894.

go na końcach zwężonej przestrzeni, gdzie powstaną dla żeglugi nader niedogodne warunki. To zmniejszanie spadku odbywa się w czasie wielkiej wody; im trwalsze dno, tem postępuje ono powolniej. Zdawałoby się rzeczą prostą, roboty zwężające przedłużyć i w ten sposób wyrównać powstałe koncentracje spadków, jednak zauważyć trzeba, że w razie przeprowadzenia robót zwężających na długiej przestrzeni, takie koncentracje spadków wytworzą się nietylko na końcach tej przestrzeni, ale i w miejscach gdzie wytrzymalsze dno opiera się erozji. Otóż w zasadzie temi miejscami o wytrzymalszem dnie (grubszym materjale) są progi, na których nastąpi koncentracja spadku i zmniejszenie głębokości, między progami zaś powstaną nadmierne głębokości, które jednak przez żeglugę nie mogą być wyzyskane, bo przecież najmniejsze głębokości na progach normują zanurzenie statków. Chcąc zapobiedz szkodli-



Rys. 160.



Rys. 161.

wej erozji, trzeba by równocześnie ze zwężeniem utrwalić dno, a więc przede wszystkim wyboje między progami utrwalić poprzecznymi podwodnymi budowlami (progami). Ten sposób jest stosowany przy regulacji na małą wodę, jednak nie można go stosować do ubezpieczenia całego dna, gdyż byłby za kosztowny — lecz tylko w ograniczonej mierze. Wogóle badania Girardona zmierzają do konkluzji, że naturalny podział rzeki na stanowiska o małych spadkach, oddzielone progami, stanowiącymi niejako naturalne podwodne zapory, czyli zanurzone przelewy, nie powinien być przez ograniczenie rzeki budowlami naruszony.

Szczególną uwagę zwraca Girardon na progi, które dzieli zasadniczo na dwie kategorie, a mianowicie progi (przejścia) złe (mauvais passage, rys. 160) i progi dobre (bon passage, rys. 161).

Próg zły odznacza się tem, że miejsca głębokie (wyboje) zachodzą za siebie, nurt przy przejściu z jednego brzegu do drugiego gwałtownie się zwraca, przyjmując kierunek zbliżony do prostopadłego do ogólnego kierunku brzegów. Próg oddzielający obydwa miejsca głębokie stanowi

długi i ukośny przelew skoncentrowany, o małej głębokości¹⁾. Żegluga walczy tu z rozlicznymi trudnościami; prócz małej głębokości i nagłej zmiany kierunku nurtu, panuje tu nadzwyczaj silny prąd.

Dobre progi mogą istnieć także i na przestrzeniach nieuregulowanych, o ile łożysko jest jednolite i posiada stałe brzegi. Na dobrym progu obydwie miejsca głębokie nie zachodzą za siebie, lecz leżą naprzeciw siebie, krzywizny nurtu są regularne i niezbyt ostre, niema nagłych zmian kierunków, próg ma kierunek zbliżony do prostopadłego do obu brzegów. Przepływ przez próg odbywa się podobnie jak przy przelewie zatopionym, głębokość wody na progu jest znaczna, przelew nie jest skoncentrowany, lecz wydłużony, a prąd wody umiarkowany.

Girardon zaznacza, że regulacja Rodanu na małą wodę ograniczyła się tylko do robót, które zmierzają do przekształcenia progów złych na progi dobre. Roboty te muszą tak w rzucie poziomym, jak i w przekroju poprzecznym oraz podłużnym, stworzyć takie warunki, jakie są przy progach dobrych. W tym celu trzeba wykonać następujące roboty:

1. całą małą wodę zjednoczyć w jednym łożysku,
2. ustalić głębokości, a przez to i położenie progów,
3. uporządkować kierunki progów.

Zjednoczenie małej wody odbywa się przez zamknięcie ramion bocznych. Budowle zamykające (traverses) mają mieć wzniesienie tylko takie, aby zamykały w głównym łożysku małą wodę, wyższe wody zaś powinny się swobodnie rozprzestrzeniać. Tama odgradzająca łożysko główne od bocznego ma być połączona z brzegiem zapomocą szeregu budowli poprzecznych, celem przeszkodzenia przerzuceniu się rzeki.

Ustalenie (utrwalenie) głębokości polega przedewszystkiem na unikaniu ograniczania łożyska obustronnymi budowlami o stromych ścianach (skarpach), należy „zakazać“ wykonywania tam równoległych na brzegu wypukłym; brzeg ten ma się łagodnie tylko wznosić.

Brzeg wklęsły. Co do linii brzegu wklęsłego, okazuje się wogóle korzystnym wykonanie tu tamy równoległej; tama taka kieruje nurtem w sposób ciągły i zapewnia utrwalenie się głębokości w pobliżu tego brzegu. Jednak trzeba pamiętać, że na przygięciach nurt powinien się zbliżać ku środkowi łożyska, a wykonanie tamy równoległej o tejsamej krzywiznie i przedłużenie jej aż ku przegięciu, zatrzymałoby nurt przy tym samym brzegu, poczem musiałby nastąpić gwałtowny zwrot ku drugiemu brzegowi. Wobec tego krzywizna brzegu wklęsłego musi maleć od wartości największej przy wierzchołku, do zera przy przegięciu, a jaką

¹⁾ Na Rodanie głębokości wynosiły na dobrych progach 1,5 — 2 m.

ona będzie, czy sinusoidą, czy spiralną obwiednią, czy inną krzywą zmieniającą krzywiznę według tej zasady, jest rzeczą dość obojętną; na Rodanie użyto szeregu łuków kołowych o wzrastających promieniach, starając się jaknajbardziej przystosować do sytuacji rzeki.

Co do wysokości tej tamy równoległej zauważyć należy, że korona jej ma być możliwie nisko założona, a więc powinna się wznosić ponad niski stan tylko o tyle, ile trzeba do wytworzenia się potrzebnych głębokości; dla Rodanu wzniesienie to wynosiło najwyżej 1 m ponad niski stan. Takie największe wzniesienie powinno być jednak tylko w pobliżu wierzchołka; w miarę jak ku przegięciom ma nurt stopniowo oddalać się od brzegu wklęsłego, a krzywizna maleć, korona tamy równoległej powinna się zniżać. Aby rzeka nie przerzuciła się poza tamę, należy ją połączyć z brzegiem zapomocą budowli poprzecznych (traverses, tenons, rattachements), sięgających ukośnie od brzegu do tamy naprzeciw prądu i założonych ze spadkiem od brzegu ku tamie; nachylenie ich ku wierzchołkowi krzywizny powinno wzrastać.

W miejscach gdzie spadek rzeki jest mały, a krzywizna łagodna, możnaby regulację uprościć przez opuszczenie tamy równoległej i wykonać tylko budowle poprzeczne skupiające wodę i kierujące prądem; takie warunki występowały jednak na Rodanie bardzo rzadko.

Brzeg wypukły. Na brzegu wypukłym należy unikać wszelkich budowli, któreby wywoływały pogłębienie; brzeg ten musi bardzo łagodnie spadać ku wodzie. Jeżeli istnieje tu już jakiś brzeg¹⁾, opierający się dostatecznie prądowi wody, to nie potrzeba żadnych budowli wykonywać, jeżeli natomiast istnieje brzeg, ale mało odporny, to należy wykonać zanurzające się ostrogi (épis plongeants, tauchende Bühnen), tak jednak, aby stanowiąc niejako szkielet brzegu, nie wznosiły się ponad niego. Jeżeli niema brzegu, to wytwarza się takisam szkielet zapomocą ostróg zanurzających się, jednak wzniesienie ich ma być tylko takie, jak załadowań na brzegach wypukłych, samoczynnie przez rzekę wytworzonych. Kierunek tych ostróg ma być taki, aby one odrzucały nurt od brzegu wypukłego; to odrzucenie ma być naprzeciw wierzchołka krzywizny brzegu wklęsłego najsilniejsze (kierunek ostróg zbliżony do prostopadłego, wzniesienie ku brzegowi najsilniejsze), a ku punktom przegięcia coraz słabsze (ostrogi nachylone skośnie pod prąd o coraz słabszem wzniesieniu ku brzegowi).

Położenie przegięcia, uregulowanie, utrwalenie położenia i kierunku progów. Jedną z pierwszych czynności jest ustalenie położenia punktów przegięcia, przyczem trzeba się trzymać tej zasady, aby liczby pro-

¹⁾ Rozumieć tu należy nie brzeg o stromej skarpie, ale wynurzenie się łądu z pod wody, wznoszące się łagodnie w stronę łądu.

gów o ile możności nie zmniejszać, a w razie potrzeby nawet ich liczbę zwiększyć. W zasadzie, jeżeli dobrze obierzemy punkty przegięcia, ustalimy położenie głębokości w krzywiznach zapomocą opisanych budowli, zrobione zostało prawie wszystko czego potrzeba, aby i na przejściach powstały korzystne warunki dla żeglugi, jednak zależnie od warunków lokalnych, materiału i podłoża progów, stosunki mogą się różnie ukształtować i możliwe jest także powstanie skośnego, złego progów. Dobre zaprojektowanie brzegów wystarcza wprawdzie do ustalenia miejsca przegięcia, ale nie zawsze zdoła uregulować kształt progów. W takich wypadkach musi się tego dokonać zapomocą odpowiednich budowli, a porównanie progów dobrego z progiem złym daje najlepsze wskazówki co należy uczynić. W dobrym progu niema nadmiernych głębokości, droga do jazdy jest szeroka, nurt łagodnie oddala się od brzegu wklęsłego, a głębokość stopniowo ku progowi się zmniejsza. Przekrój poprzeczny zbliżony jest w krzywiznach do trójkąta, którego wierzchołek odpowiada nurtowi, a zwierciadło podstawie, bok ku brzegowi wklęsłemu jest stromy, a ku wypukłemu łagodny; nachylenie boków zmienia się stopniowo ku przegięciu, w którym to miejscu powinien powstać kształt symetryczny. Zły próg musi zostać tak przekształcony, aby uzyskał takie same znamiona; skutecznia się to zapomocą ostróg zanurzonych (*épis noyés*, *getauchte Buhnen*), t. j. budowli poprzecznych tak niskich, aby nie przeszkadzały żegludze i nie wywoływały na powierzchni zaburzeń. Te ostrogi rozszerzają drogę do jazdy przez zabudowanie najgłębszych części profilu i muszą mieć również kierunek podprądowy, gdyż ich zadaniem jest także oddalenie prądu; z tego samego powodu musi się im dać także nachylenie od brzegu ku rzece, a ich najniższy punkt wyznacza zarazem największą głębokość i oś drogi do jazdy. Ta oś musi być tem bliżej brzegu, im bliżej jest dany punkt wierzchołka krzywizny. Ostroga najbliższa wierzchołkowi krzywizny będzie miała silniejszy spadek, niżej położony koniec i niżej położony początek przy brzegu, następujące będą coraz to wyższe, spadki ich będą coraz to mniejsze.

Ostrogi zanurzone spełniają zatem podwójne zadanie — regulują przegięcie i zapobiegają nadmiernemu wybiciu dna po obu stronach przegięcia. W ten sposób zapewnia się trwałość progów i schodkowaty kształt dna rzeki. Z ubezpieczeniem dna idzie się często dalej, przedłużając ostrogi na całą szerokość rzeki; nazywają się one wtedy progami (*seuils de fond*, *Grundschwellen*) i zakłada się je również pod prąd, krokwiowato, przyczem punkt przecięcia obustronnych kierunków leży w osi rynn, ustalając maximum głębokości. Należyte i troskliwe wykonanie ostróg zanurzonych i progów pod względem wysokości i spadku korony, jest rzeczą pierwszorzędną doniosłości.

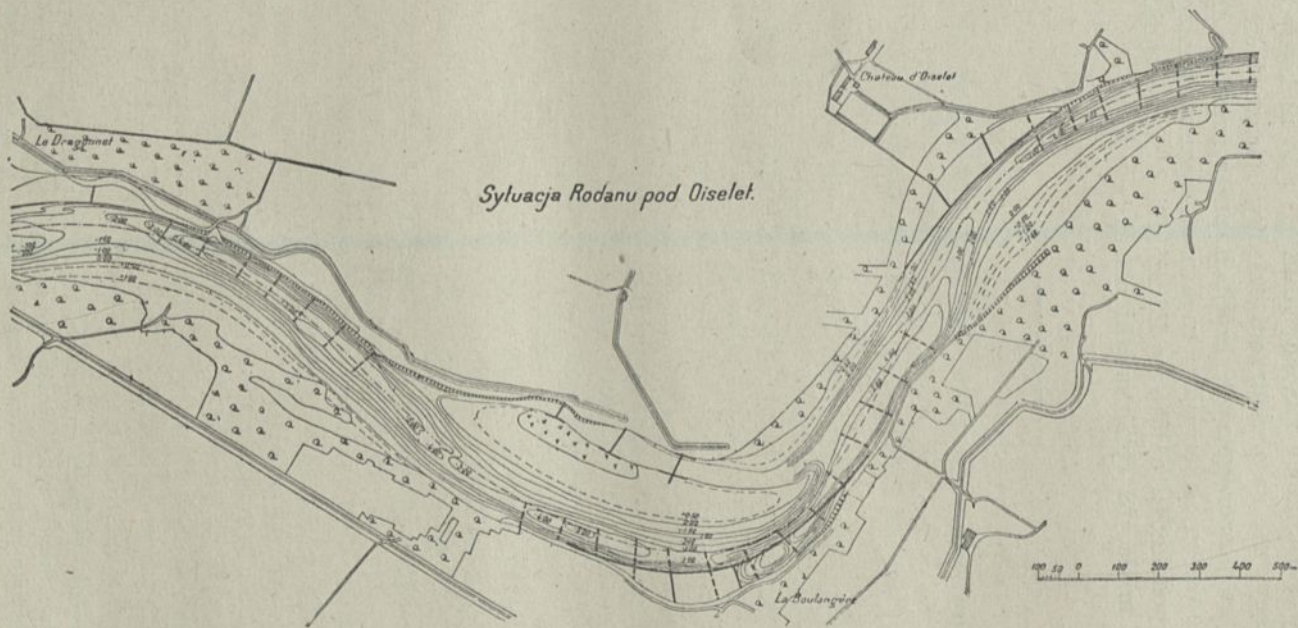
Wykonanie budowli. Należy unikać wszelkiego gwałtownego oddziaływania na rzekę, lecz stosować kształty o łagodnych przejściach, od skarpy tamy równoległej przejść łagodnie do spadku dna, skarpy ostróg zanurzonych zależnie od ich wysokości ponad dnem wydłużać i łagodzić, ich przekrój przy tamie równoległej rozszerzać, a spadek w pobliżu dna zmniejszać. Budowle należy wykonywać stopniowo, w większych partjach, a potem je dopiero pod względem wysokości uzupełniać. W czasie tym rzeka rozpocznie swe działanie, wspomagając przez osadzanie w odpowiednich miejscach materiału działanie budowli.

Przedstawiona metoda zmierza do tego, aby sił przyrody, które nieraz są bardzo wielkie i trudne do pokonania, nie zwalczać, lecz je korzystnie pokierować.

Co do wykonania budowli podaje Girardon następujące uwagi: Budowle służące do złączenia oddzielnych ramion w jedno łożysko, są to niskie zamknięcia, sięgające przez szerokość ramienia bocznego, alboważ są to ostrogi zanurzające się, tworzące brzeg wypukły koryta głównego i przedłużone przez całą szerokość ramienia bocznego. Niskie zamknięcia potrzebne są nie tylko do przecięcia bocznych ramion, ale także i wtedy, jeżeli w głównym korycie tworzą się oddzielne rynny; w miejscu gdzie one się znowu schodzą powstaje skład materiału ruchomego. Takie boczne rynny zamyka się niskimi budowlami poprzecznymi z kamienia, lub ostrogami zanurzającymi się.

Tamy równoległe wykonywał Girardon na Rodanie o krzywiznie rosnącej ku wierzchołkowi; najostrzejsze promienie łuku wklęsłego dochodziły od 450—650 m, spadki budowli poprzecznych łączących je z brzegiem wynosiły 1,75—3%. Ostrogi zanurzające się wykonane na brzegu wypukłym miały spadek bardzo słaby 0,8—1,5%. Wyjątkowo tylko nie wykonywano na brzegach wklęsłych tamy równoległej, a brzeg wykształcano zapomocą ostróg zanurzających się. Rys. 162 podaje fragment regulacji Rodanu; widać tu zasadnicze znamiona systemu i główne rodzaje budowli.


Skutkiem zastosowania racjonalnej metody regulacji warunki żeglugi na Rodanie zmieniły się gruntownie. Podczas gdy przedtem głębokości na progach przy stanach najniższych spadały do 30 cm, minimum głębokości wzrosło wkrótce po wykonaniu robót do 1,25, a spodziewano się powiększenia do 1,50 m. Prócz tego nastąpiło korzystne przedłużenie okresów żeglugi; podczas gdy dawniej liczone się z trzema miesiącami zastoju żeglugi w roku, z czterema miesiącami utrudnionej żeglugi i pięciu miesiącami trwania żeglugi bez trudności, po wykonaniu robót przerwy wynosiły 14 dni, a przez 11 miesięcy w roku można było uprawiać żeglugę statkami o pełnym ładunku. A Rodan nie był właściwie rzeką ani łatwą do regulacji, ani do żeglugi; dolna partja



Rys. 162.

Rodanu francuskiego od Lyonu do morza o 330 km długości, ma spad przeciętny stosunkowy znaczny ($0,48\text{‰}$) i to niekorzystnie rozłożony, wzrastający np. na przestrzeni między ujściem Isère i Ardèche na $0,775\text{‰}$, a na poszczególnych krótkich przestrzeniach do $3-4\text{‰}$. Prócz tego panował tu nader silny ruch materiału ruchomego, a materiał żwirowy podchodził daleko w dół rzeki i dopiero najniższa partja 47 kilometrowa miała już tylko mialki piasek¹⁾.

¹⁾ Bouvaist (Annales des ponts et chaussées 1913 VI str. 519) charakteryzuje metodę regulacji stosowaną we Francji w ten sposób, że starają się tam o stworzenie ciągłości przejścia z jednego kształtu profilu w drugi, oraz ciągłości w zmianach chyżości, unikając normalizowania profilów i przyjmowania stałej średniej chyżości, jak to praktykują w Niemczech.



III. Przykłady regulacji rzek na małą wodę.

1. Regulacja Wezery na małą wodę.

Jako drugi przykład regulacji na małą wodę omówimy tu regulację Wezery, a to z tego powodu, ponieważ przeprowadzono ją starannie, w długim okresie lat w którym wykonywano roboty dążono do udoskonalenia systemu i można powiedzieć, że z tej rzeki, ustępującej co do wielkości wielu rzekom europejskim, stworzono drogę wodną wielkiego typu.

Regulację rzek niemieckich na małą wodę trzeba jednak rozważać pod innym kątem widzenia jak przedstawioną tu regulację Rodanu; w Niemczech zanim się wzięto do regulacji rzek na małą wodę, przeprowadzono już przeważnie gruntowną regulację na średnią wodę, a regulacja na małą wodę była już tylko uzupełnieniem i dalszą poprawą stworzonego przez regulację stanu rzeczy (Nachregulierung).

Regulację Wezery na wodę średnią rozpoczęto już w latach czterdziestych zeszłego wieku; po ukończeniu jej trzeba było poprawić jeszcze koryto z uwagi na wymogi wielkiej żeglugi. Stało się to koniecznością, kiedy budowa kanału żeglugi od Renu do Hanoweru została postanowiona — musiało się dążyć do uczynienia z rzeki możliwie wydajnej drogi wodnej¹⁾. Ubytek wody w rzece przez pobór $7 \text{ m}^3/\text{sek.}$ wody do zasilania kanału pod Minden pokryć mają zbiorniki pod Hemfurth (o pojemności 202 miliony m^3) i pod Helminghausen (20 milionów m^3); wprawdzie zasilek ze zbiorników nie wystarcza do tego, aby statki kanałowe mogły przez cały rok płynąć po rzece, jednak unika się przez to kanalizacji, licznych śluz, które bądź co bądź stanowią przeszkodę żeglugi.

W roku 1879 postawiono sobie za cel regulacji uzyskanie przy stacjach najniższych głębokości powyżej Minden 1 m , poniżej $1,25 \text{ m}$, sądzono jednak, że w najwyższej partji Münden-Karlshafen trzeba się

¹⁾ Patrz Muttray i Soldan „Der Ausbau der Weser auf Niedrigwasser“ Ztschft. f. Bauwesen 1919, str. 122 i n.

będzie zadowolnić głębokością najmniejszą 0,80 m. Okazało się jednak, że po stanach najniższych jakie znano przyszły jeszcze niższe, dalej, że relacje między wodoskazami były bardzo zmienne. Wobec tego, celem przeprowadzenia regulacji na jednolitych podstawach hydrograficznych, uznano jako jedynie słuszną podstawę relację objętości i odpowiadających tym objętościom stanów.

Objętości odpływu przy stanie średnim niskim wynoszą:

pod Münden . . .	22,5 m ³ /sek.	} co przy dorzeczach wynoszących	} 12.500 km ² 19.300 " 22.300 " 39.390 "	} daje objętość w lt/km ² /sek.	}	1,80
" Minden . . .	48,0 "					2,49
" Dörverden . . .	55,0 "					2,49
" Dreye . . .	100,0 "					2,62

Przez wykonanie zbiorników zmniejsza się odpływ o 18 m³/sek, a ponieważ pod Minden zabiera się 7 m³/sek. do kanału żeglugi, a pod Hoya 6 m³/sek. dla spółki meljoracyjnej, zatem odpływ rzeki zwiększa się do Minden o 18 m³/sek, poniżej Minden o 11 m³/sek, poniżej Hoya o 5 m³/sek; powstaje w ten sposób „podwyższony stan średni niski“.

Co do spadków, to są one bardzo zmienne; w pewnych miejscach występują ławy skalne i ze zbitego żwiru, w innych usypały rzeki poboczne ławice, które wytrzymują nawet największy napór wielkiej wody. W trzech partjach rzeki spostrzeżono znaczne zmiany spadków, a mianowicie

od km	4,25— 10 (partja górna)	od	0,12— 0,84‰
"	62,5— 80 (" ")	"	0,15— 0,77 "
"	201 — 206 (" średnia)	"	0,215— 0,813 "

Spadki wyrównane przyjęte w projekcie wynoszą między Münden a ujściem Werry 0,5‰, od Werry do Minden 0,39‰, pod Minden 0,48‰, wreszcie od Minden aż do początku spiętrzenia jazem pod Hemelingen od 0,33‰ do 0,183‰.

Przez podniesienie zwierciadła w miejscach o małym spadku, a obniżenie głów ławic na progach przez bagrowanie, możnaby spadki wyrównać, jednak zbyt daleko idące wyrównanie dna może wywołać skutki ujemne, z powodu zniżenia spiętrzenia jakie wywołują progi, zaś podwyższenie stanu wody na miejscach głębokich (a zatem o małych spadkach), nie jest łatwe do osiągnięcia. Środki zmierzające do wyrównania spadków muszą być stosowane ostrożnie również i z tego powodu, aby uniknąć zbyt wielkiego obniżenia zwierciadła wody gruntowej, szkodliwego dla kultury rolnej — takie obniżenie nastąpiło w dolnej partji powyżej Bremy i doszło do 0,50—1,2 m.

Co do stanu rzeki uregulowanej, jednak przed przeprowadzeniem regulacji uzupełniającej (na małą wodę), zauważa się, że jedynie tylko partja górna poniżej Münden była uregulowana według jednolitych

zasad (szerokość dna zależnie od spadku 19—38 m, zwierciadła 42—61 m, głowy budowli wznosiły się 0,25 m ponad małą wodę i 1,15 ponad normalne dno). Nachylenie skarp czołowych głowic ostróg, oraz wysunięcie podkładu z płyt zatapiających, opasek i tam równoległych wynosiło 1:10, nachylenie grzbietu ostróg 1:25. W partjach dolnych stosunki były niejednolite tak co do szerokości, jak i nachylenia głów i grzbietu ostróg, oraz wysokości ich ponad m. w.

Celem zbadania rzeki i dojścia do najodpowiedniejszej metody regulacji, wybrano na całej rzece 13 przestrzeni próbnych przeciętnie po 3 km długości, różnych co do spadków i ukształtowania w sytuacji, w przestrzeniach tych zdjęto szczegółowo przekroje podłużne i poprzeczne, nakreślono je i zredukowano na stan normalny. Badania co do ruchu materiału okazały, że ławic ruchomych niema zupełnie, ruch materiału jest bardzo słaby, że jedynie tylko postępujące obniżenie dna wskazuje na erozyjną pracę wody. Ruch dna będzie powstrzymany, gdy dno opancerzy się materiałem grubszym, lub gdy się dno sztucznie ubezpieczy. Wogóle nie chcąc popsuć równowagi rzeki, trzeba stosować środki regulacji bardzo ostrożnie. Szczególnie tyczy się to bagrowań — wystające grzbiety można bagrować, tylko nie do pełnej głębokości, gdyż woda sama je jeszcze pogłębi.

W sprawozdaniu z robót regulacyjnych na Wezerze znajdziemy następującą cenną uwagę: „Całe zachowanie się Wezery jest niezbitym dowodem, że wędrujących ławic na rzekach o ruchomem dnie można uniknąć. Jeżeli ich niema na Wezerze, to przypisać to należy korzystnemu układowi w sytuacji, a mianowicie unikaniu wyprostowania biegu przez przekopy, podczas gdy na innych rzekach z początkiem XIX wieku inaczej postępowano. Dzięki temu, stosunkowo prostymi środkami uzyskano na Wezerze bardzo korzystne głębokości“.

Szczególnie baczna uwagę zwrócono na naturalne kształty przekrojów poprzecznych; spostrzeżenia były następujące: W prostych panuje przekrój płaski trapezowy, lub słabo wklęsły, w krzywiznach głęboki, zbliżony do trójkąta; najgłębsze miejsca leżą zawsze trochę poniżej wierzchołka łuku. W długich płaskich krzywiznach miejsca głębsze i płytsze zmieniają się po sobie, skutkiem niedostatecznego kierowania (serpentynowania) nurtu. Ostre załomy w rzucie poziomym wywołują głębokie wyboje. Przejście ostrej krzywizny w drugą, przeciwną, wywołuje wyboje szczególnie niekorzystne, które wchodzą daleko w prostą między obu krzywiznami.

Celem zbadania kształtu przekrojów rysowano przekroje średnie dla pewnych partji, osobno dla prostych, osobno dla krzywizn. Uzyskano je w ten sposób, że sumowano szerokości zwierciadła w różnych poziomach; w łukach czyniono tę odmianę, że przez najgłębszy punkt pro-

filu prowadzono oś pionową i osobno na lewo i na prawo odcinano szerokości.

Zakładając minimalną szerokość do jazdy 25—30 m otrzymano następujące głębokości przy stanie średnim niskim: powyżej ujścia Diemel 0,75 m, na przestrzeni Diemel-Hameln 0,90—0,95, Hameln-Minden 1 m, Minden ujście Allery, 1,25—1,35 m, poniżej Allery 1,50 m. Przy „podniesionym” stanie średnim niskim głębokości te wzrastają o 14 cm w górze, a 4 cm w dole. Nachylenia skarp w prostych i w łagodnych krzywiznach wahają od 1:13,4 do 1:2,7, w ostrych krzywiznach na brzegach wypukłych 1:23,2 do 1:4,2, we wklęsłych 1:3,5—1:2,1.

Nachylenie skarp tam od strony łożyska rzeki, normujące nachylenie przyszłego brzegu, jest rzeczą niezmiernie ważną; strome skarpy od strony wody wywołują głębokie wyboje, natomiast w przestrzeniach o łagodnie pochyłonych skarpach obserwowano głębokości do jazdy bardzo regularne.

Celem wyjaśnienia działania budowli, wykonano również cały szereg doświadczeń z modelami w laboratorium hydrologicznym w Berlinie. Sprawozdanie stwierdza, że w naturze możemy wprawdzie również obserwować działanie wykonanych budowli, nie mamy jednak możliwości zmieniać ich tak jak na modelach. Dlatego w naturze możemy także znaleźć rozwiązanie, które nam dogadza, jednak może ono być i najmniej korzystne, natomiast doświadczenia z modelami dają możliwość znalezienia rozwiązania najlepszego.

Wykonywano doświadczenia z ostrogami i opaskami o różnej wysokości grzbietu i różnym nachyleniu skarpy, tudzież z progami, przyczem obserwowano przekroje poprzeczne. Płaskie skarpy głów ostróg okazały się korzystne, ale tylko do pewnej granicy, powyżej której profil byłby za nadto zwięziony, a dno przy głowach zbyt głęboko wybite. Progi działają tem lepiej, im są gęściej założone. Doświadczenia okazały również wielkie znaczenie należytego założenia w sytuacji. Załomy w kierunkach wywoływały tuż poniżej załomu głębokie wyboje, natomiast nawet w bardzo ostrych krzywiznach nie obserwowano zbyt wybitnych wybojów, jeżeli krzywizna po obu stronach przechodziła w łuk o dużym promieniu.

Profile normalne liczone przy pomocy formuły $v = k t^m I^n$, wyznaczając współczynniki na podstawie licznych pomiarów, przyczem skonstatowano, że wartości ich zmieniają się ze stanem zabudowania łożyska. Co do kształtu profilów, to w prostych i w łagodnych łukach powstaje kształt nieckowaty, o równych nachyleniach obu skarp, w ostrych krzywiznach powstaje natomiast na brzegu wklęsłym skarpa stroma, na brzegu wypukłym łagodna; suma stosunków nachylenia skarp w prostych i łukach pozostaje stała, o ile spadek się nie zmienia.

Obserwacje tak w naturze jak i na modelach okazały, że ostrogi o łagodnej skarpie głowy wytwarzają regularne głębokości, jednak z uwagi na trudności wykonania nie można iść z pochyleniem skarp zbyt daleko. Przy przekroju symetrycznym jako najłagodniejsze i najlepsze nachylenie głowy uznano 1:10, naodwrot największe nachylenie skarp nie powinno przewyższać 1:4 do 1:5, aby nie wywoływać powstawania wybojów. Na wklęsłych brzegach ostrych krzywizn okazały się opaski, względnie tamy równoległe, lepsze od ostróg. Nachylenie skarp opasek w linjach wklęsłych 1:3 jest wystarczające, przy przejściu w profil symetryczny trzeba je stopniowo złagodzić do 1:5. Grzbiety ostróg wznoszą się ku brzegowi w spadku 1:20 do 1:60. Co do wysokości głów ostróg, uznano jako najodpowiedniejsze wzniesienie 0,7—1 m nad małą wodę.

Szerokość najmniejszą pasu do jazdy przyjęto 25—30 m, a ze wszystkich możliwych przekrojów odpowiadających danej objętości i danej chyżości uznano jako najodpowiedniejsze takie, które zapewniają największą głębokość dla żeglugi, t. j. przy najmniejszym pochyleniu skarp posiadają jeszcze ową minimalną szerokość do jazdy, t. j. 25—30 m.

Regulacja Wezery na małą wodę miała przedewszystkiem na celu wykształcenie profilu podłużnego i uregulowanie ostrych krzywizn. Bardzo zmienne spadki następujące po sobie musiały być do pewnego stopnia wyrównane, z powodu zaś ostrych krzywizn powstawały przy nich wyboje, które trzeba było zabudować celem ustalenia dna i odbicia nurtu od brzegu wklęsłego, oraz rozszerzenia drogi do jazdy. Regulacja progów na przejściach, która sprawiała na innych rzekach najwięcej trudności, tu nie była tak trudną, głównie z powodu słabego ruchu rumowiska.

Wyrównanie profilu podłużnego uzyskano częściowo przez zabudowanie wybojów progami poprzecznymi, częściowo zaś przez skopanie bagrem głów progów; wyrównanie to rzeczywiście w wielu miejscach osiągnięto. Również wymagały uregulowania profile o zbyt dużych głębokościach, ale zbyt wąskie. Tu trzeba było wyboje przy głowach ostróg zabudowywać niskimi progami, a przekrój rozszerzać przez bagrowanie. W takich profilach dawano na brzegach wklęsłych opaski o skarpie 1:5, a przed nimi (u ich stopy) jeszcze niskie podwodne progi; przeciwnie brzeg wypukły ma nachylenie 1:15; opaska taka wypada jednak bardzo drogo.

Celem usunięcia wybojów przy głowach ostróg używano także i innego środka, a mianowicie zasypywania ich wybagrowanym żwirem, na który dawano wreszcie żwir z kamienia tłuczonego. Jeżeli wyboje powstawały między ostrogami, zasypywano je żwirem i przykrywano matami. Wreszcie zły próg między km 303,8 a 304,2 poprawiono w ten

sposób, że ujęto go na prawym brzegu sześcioma, a na lewym ośmioma ostrogami; -- skutek był bardzo dobry.

W miejscach o znacznych spadkach trzeba było spadek i chyżość łagodzić, a to przez obniżenie dna na progach, a podwyższenie poniżej progów na wybojach, gdyż największe chyżości są na progach. Przez skopanie progów pozbawia się tu dno silnej powłoki z grubszego i zbitego materiału; mogą powstać zbyt daleko idące pogłębienia i obniżenia zwierciadła, którym trzeba znowu przeciwdziałać przez wykonanie progów.

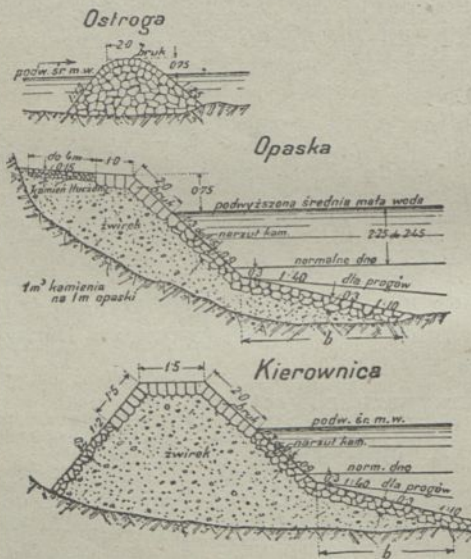
Chyżości średnie przy stacjach niskich, jakie uznano jeszcze za dogodnie dla żeglugi, wynosiły 0,70—0,80 m/sek.

Co do krzywizn zauważa się, że Wezera ma bieg kręty, krzywizny o promieniu 300 m nie należą do rzadkości, a promień niektórych schodzi do 200 m. Pomimo, że krzywizny te nie są dla żeglugi korzystne, obcinanie ich przekopami byłoby błędem nie do darowania. Jako minimum promienia przyjęto 200 m i dawano rozszerzenie dna przy $r = 250$ m — 4 m, 300 m — 3 m, 350 m — 2 m, 400 m — 1 m, 450 i wyżej 0. W stosownych miejscach dawano obrotnice o szerokości dna 65 m.

Co do rodzajów budowli, to w łagodnych krzywiznach i na

przełazach dawano w regule ostrogi, w ostrych krzywiznach opaski, względnie tamy równoległe, jednak są i takie miejsca, gdzie dano tam tylko ostrogi.

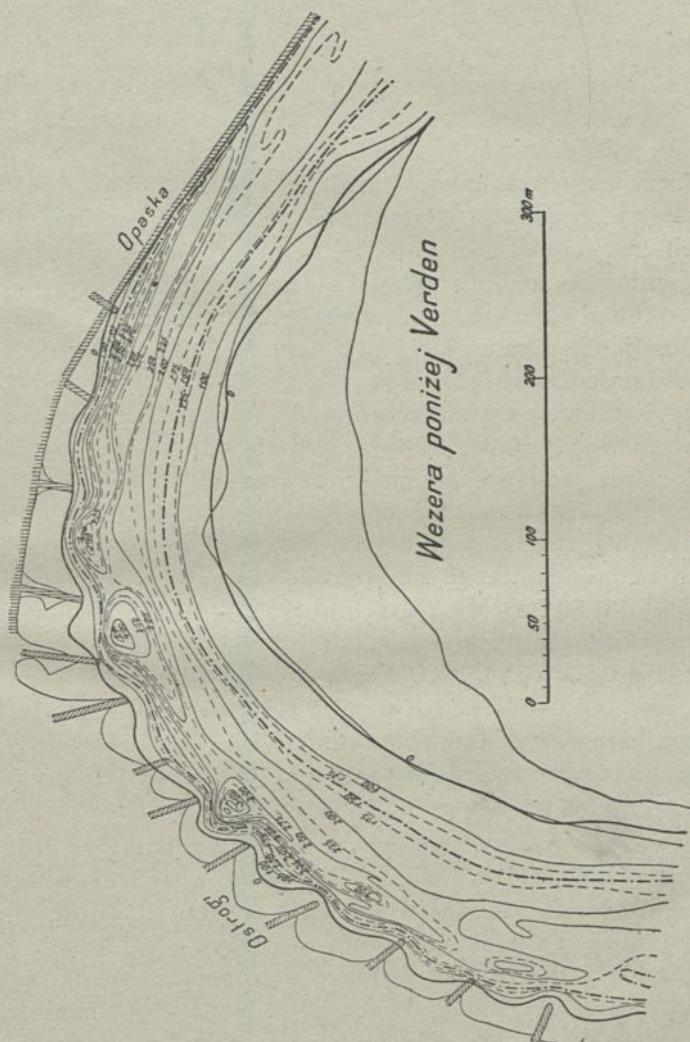
Za tamami równoległymi, o ile tylko był do dyspozycji materiał, zasypywano przestrzenie odcięte, tak, że tamy te były właściwie opaskami. Tak się powinno właściwie zawsze postępować, gdyż pozostawianie wąskich a długich przestrzeni poza tamami równoległymi naraża ich stałość, a zamulenie nader powoli postępuje. W ostrych krzywiznach o dużych głębokościach wykonywano także celem zmniejszenia kosztów zamiast zwykłych opasek lub kierownic ostrogi, a pola między nimi zamykano zapomocą podwodnych kierownic z narzutu kamiennego; koryta ich leżała w wysokości normalnego dna.



Rys. 168.

Typy budowli podaje rysunek 163, zaś rysunek 164 podaje fragment sytuacji.

Tamy regulacyjne wykonywano na górnej Wezerze oddawna z kamienia, na dolnej natomiast także i faszynowe; w nowszych czasach



Rys. 164.

przechodzi się wszędzie do budowli kamiennych, gdyż te okazały się ekonomiczniejsze. Ostrogi wykonuje się z narzutu kamiennego, o koronie

brukowanej 2 m szerokiej i skarpach 1:1,5 i 1:2,5 (dolna skarpa), tamy równoległe mają koronę 1,5 m, skarpe ładową 1:2, od strony wody 1:3—1:5, u spodu przedłużenie (wzmocnienie) skarpy 1:10, a próg poprzeczny opierający się o tamę ma nachylenie 1:40. Główną część kubatury tamy równoległej lub opaski stanowi żwir, korona i górne części skarp są brukowane, dolne wyścielone narzutem kamiennym.

Progi służące do zabudowania wielkich głębokości i utrwalenia dna wykonano gęsto, w regule w odstępach 12,5 m od środka do środka. Co do ich wysokości, to miano pierwotnie zamiar wykonać je o koronie 0,20 do 0,30 m pod projektowanym dnem, jednak obawiano się, że poszczególne kamienie mogłyby wystawać i utrudniać żeglugę, wobec czego założono ich grzbiec w spadku 1:40 ku środkowi rzeki; nachylenie to miało również za zadanie odepchnięcie nurtu od brzegu wklęsłego. Progi wykonano wyłącznie z narzutu kamiennego; w miejscach gdzie korony ich mają mieć wysokie i stałe położenie, wykonano je starannie przy pomocy szybu nurkowego.

Regulacja rzeki, na przestrzeni gdzie występują skaliste szypoty, o spadku wzrastającym do 1,56‰, poświęcono specjalną uwagę; wyboje zabudowano progami, a poniżej skalistego dna zwiężono szerokości, nadto przez rozsadzanie skał i usunięcie materiału starano się spadek złągodzić na 0,5‰, oraz pogłębić i rozszerzyć drogę do jazdy.

Koszta zabudowania na małą wodę wzrastały w dół rzeki i wynosiły 10.000 do 66.700 Mk na 1 km (1910—1913). Największe koszta wykazano w przestrzeniach z tamami równoległymi.

Podczas gdy w roku 1900 kursowały na Wezerze tylko statki poniżej 450 ton ładowności, to w r. 1911 większość miała ładowność 450—650 ton, a część ponad 650 ton.

Regulacja ta potwierdziła następujące kardynalne zasady, które zachowywać należy przy regulacji rzek żeglownych:

1. Pierwszy warunek, należyty kształt w sytuacji: dłuższych prostych należy zasadniczo unikać, gdyż wywołują wędrujące ławice. Gdzie wadliwa regulacja na średnią wodę wytworzyła już długie proste, należy przynajmniej dla niskiego stanu stworzyć bieg kręty.

2. Nie należy dążyć do zupełnego wyrównania spadków, gdyż akcja taka mogłaby wywołać daleko idące pogłębienie i obniżenie zwierciadła.

3. Obrachowanie przekrojów należy rozpocząć od przekrojów o spadku największym.

4. W łagodnych krzywiznach i w prostych należy przyjąć profil symetryczny o łagodnych skarpach, w ostrzejszych krzywiznach profil niesymetryczny, o stromszej skarpie wklęsłej, a łagodniejszej wypukłej; przejście jednego profilu w drugi ma się odbywać przez zmianę nachylenia skarp.

2. Regulacja dolnej Wisły na małą wodę.

Regulacja Wisły w obrębie byłego zaboru pruskiego datuje się od roku 1830. Dla przestrzeni tej 222 km długości rozpoczynającej się 16 km powyżej Torunia (km 0), a kończącej przy wylocie przekopu pod Schievenhorst (km 222), przyjęto następujące normalne szerokości dla średniej wody: Od km 0 do ujścia Drwęcy 300 m, od ujścia Drwęcy do rozdziału ramion pod Montawską Szpicą 375 m; ramię lewe, czyli Wisła Podzielona (t. zw. Leniwka), otrzymało szerokość 250 m, prawe, t. j. Nogat 125 m.

Do roku 1879 regulacja nie była zupełną i postęp robót był powolny. Gruntowna regulacja datuje się dopiero od tego roku; miała ona na celu ostateczne ustalenie łożyska średniej wody i wytworzenie potrzebnej głębokości dla żeglugi, którą określono na 1,67¹⁾ m przy stanie + 0,50 m na wodoskazie w Kurzebraku²⁾.

Budowle regulacyjne stanowią prawie wyłącznie ostrogi podprądowe, tylko tam gdzie trasa regulacyjna dotyka brzegu, przechodzą one w opaskę. Wykonane są przeważnie z faszyn o koronie 4 m szerokiej, skarpie górnej 1 : 2, dolnej stromej. Głowa ostrogi ma skarpe łagodną 1 : 5 i podłoże ubezpieczone silnie warstwą zatapianą (materacem). Korona leży 0,3—0,6 m ponad średnią wodą i przebiega ku brzegowi początkowo poziomo, później, w odległości 40 m od brzegu wznosi się ku niemu o 1 m. Wrzynki brzegowe mają 12 m długości i 4 m szerokości. Głowica ubezpieczona jest przeciw zniszczeniu przez lody zapomocą bruku 40 cm grubości, założonego między palikami. Podobnie i górną skarpe ubezpiecza się narzutem kamiennym. Typy budowli podaje rysunek 165.

Regulacja ustaliła łożysko średniej wody w zupełności, ułatwiła odpływ wody, lodów i materiału ruchomego, oraz umożliwiła należyte użytkowanie własności ziemskiej.

Co się tyczy jednak żeglugi, to zamierzony cel został tylko częściowo osiągnięty. Keller podaje, że według spostrzeżeń z lat 1886—1897 głębokość spodziewana 1,67 m przy stanie 0,50 m na wodoskazie w Kurzebraku niezupełnie została osiągnięta; we wspomnianym okresie wypadało przeciętnie na rok 109 dni przerwy w żegludze, t. j. 105 z powodu lodu, a 4 z powodu wielkiej wody, w czasie zaś żeglugi obejmującym 265 dni głębokości 1,67 m i większe były przez 94 dni, przez 31 dni zaś 1,43—1,67 m, przez 50 dni 1,18—1,43 m, przez 62 dni 0,92—

¹⁾ Zanurzenie statków 1,47 m + 0,20 m pod dnem; odpowiada to typowi statków ładujących 400 do 500 ton.

²⁾ Stan ten wraz z wyższymi trwa około 180 dni w okresie żeglugi.

1,18 m, a przez 19 dni 0,60—0,92 m¹). Wynika z tego, że regulacja wprawdzie poprawiła drogę wodną, jednak nie wytworzyła jeszcze takich warunków, jakie powinno się osiągnąć na dolnej Wiśle poniżej ujścia Narwi. Wisła jest tu już potężną rzeką i powinna być drogą wodną dogodną dla statków ładujących 600 ton i wyżej, tymczasem nie osiągnięto nawet głębokości 1,5 m, odpowiadającej statkom 400 tonowym. Powodem jest niewątpliwie to, że regulację przeprowadzono tylko na średnią wodę, łożysko nie ujmuje jeszcze dostatecznie stanów niskich, stąd nieustalone kierunki nurtu, wędrujące ławice materiału ruchomego i mielizny na progach. Stan obecny łożyska i zasady regulacji na małą wodę, jaką tu należałoby przeprowadzić, omawia szczegółowo profesor Ehlers²); podamy tu w streszczeniu jego wywody.

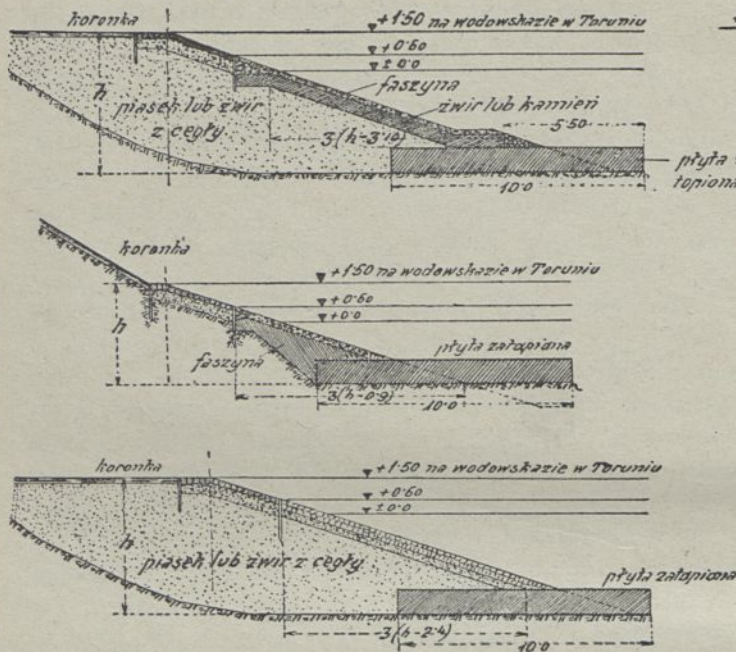
Autor stwierdza, że systematyczna regulacja ukończona w zasadzie w r. 1892, nie poprawiła należycie łożyska rzeki, nurt przerzuca się z jednego brzegu na drugi, wytwarzając wybitne progi, w odstępach średnio 922 m. Głębokości dla żeglugi nie są wystarczające, a wysokość wysp i odsypisk w łożysku dochodzi do 2—3 m. Niesłusznym jest twierdzenie, jakoby stan taki nie dał się poprawić i wywołany był zdziwieniem łożyska Wisły w Królestwie Polskiem — na Odrze warunki były jeszcze trudniejsze, mimo to regulacja na małą wodę poprawiła stosunki w zupełności. Rzeka tyle transportuje materiału, ile może odprowadzić w stosunku do swej siły poruszającej — jest zatem rzeczą zrozumiałą, że w rzece należycie uregulowanej nie powinny się tworzyć odsypiska i wyspy. Zasadę, aby dawać o ile możności jak najłagodniejsze skarpy, wypraktykowaną na Wezerze i innych rzekach, rozwija Ehlers obszernie, stwierdzając, że dno rzeki posiada zawsze tam wyboje, gdzie prąd trafia na stromy brzeg i skutkiem tego od niego się odbija. Poza wybojem, lub obok niego, powstaje zawsze odsypisko. Strugi wody uderzające poniżej przejścia nurtu o głowy ostróg wybijają głęboko dno (na 8—12 m). W czasie przyboru wody prąd wody zrywa grzbiet ławy piaszczystej i składa materiał w wybojach i na progach, w czasie opadania wody podnoszą się ławy piaszczyste, a wyboje znowu pogłębiają. W ostrych krzywiznach nurt trzyma się ściśle brzegu wklęsłego, a także jeszcze poniżej krzywizny na pewnym kawałku prostej; niema wtedy wędrujących ławic, jeżeli jednak ta prosta jest długa, to tworzą się już ławice. Podobnie jest z nachyleniem brzegu; profil trapezowy o stromych skarpach sprzyja odbijaniu się nurtu od brzegu i wywołuje wahania nurtu, natomiast brzeg o łagodnych skarpach zatrzymuje nurt na dłuższej przestrzeni i więcej trwale.

1) Graessner wyraża się, że przez regulację „umożliwiono prawie w ciągu całego okresu żeglugi, także i przy stanach niższych, ruch statków zanurzających się na 1 m głęboko”.

2) „Regulierung der geschiefbeführenden Flüsse, insbesondere der Weichsel“. Gdańsk 1913.

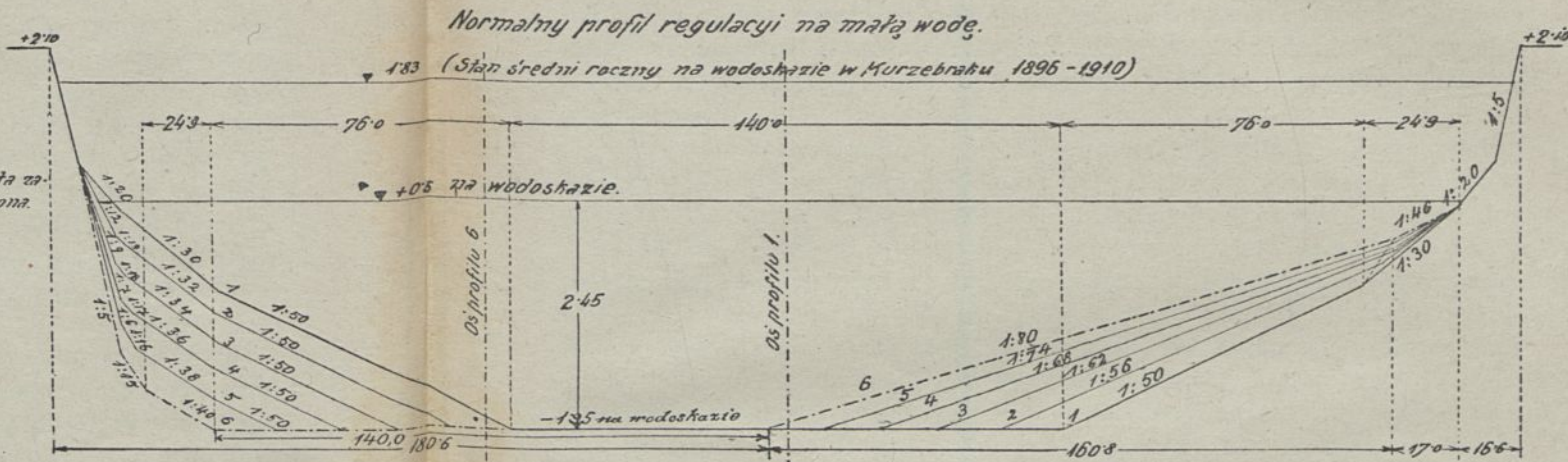
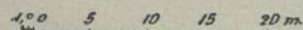
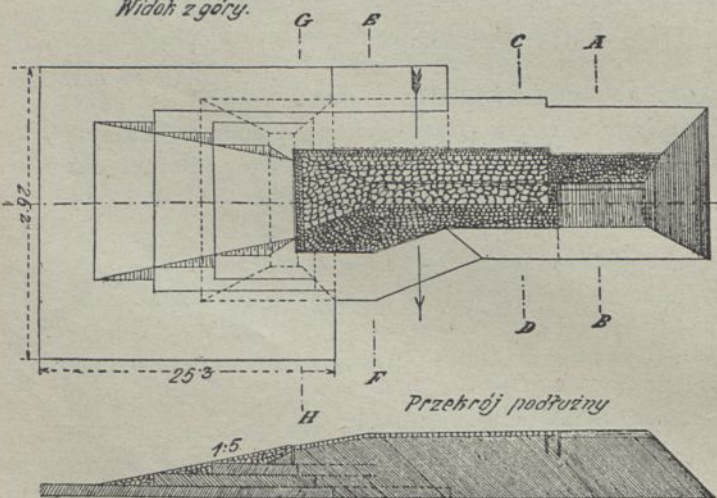
Regulacja Wisły w Prusiech.

Ubezpieczenie brzegów.



Ostroga.

Widok z góry.

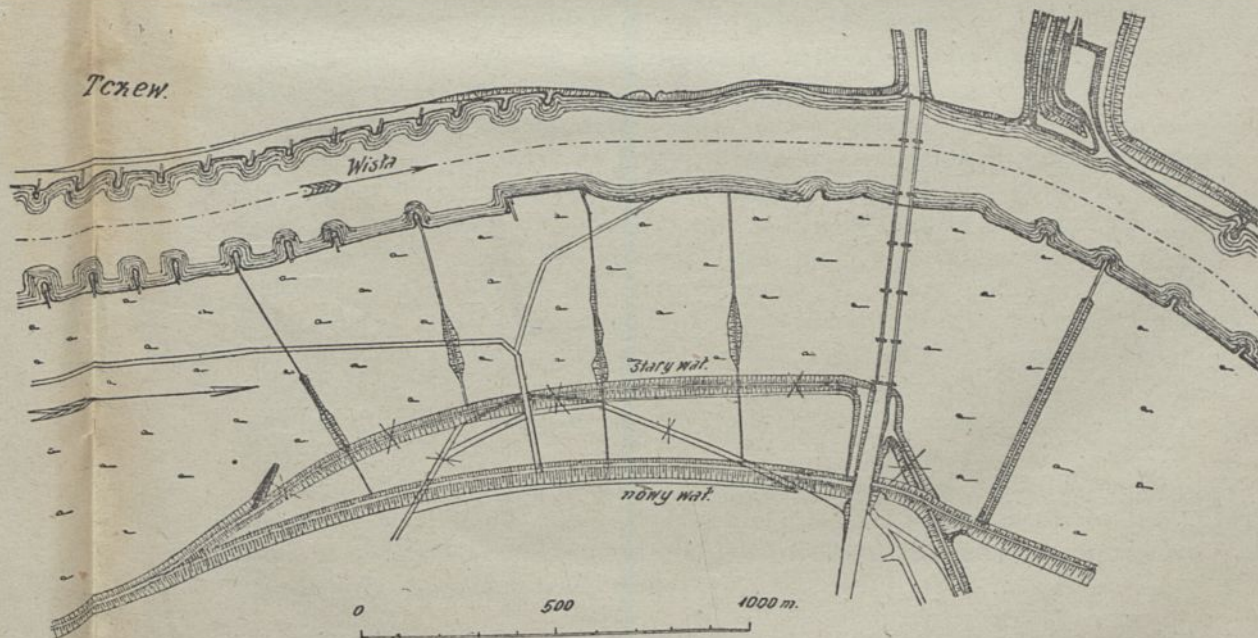


Profil wielkiej wody między Gemlicami a Piętkiem.



- Profil w prostej
 - - - Profil w krzywiznie
 - Profile pośrednie.
- Skala długości 1:2000
" wysokości 1:80.

Tekaw.



Zbyt ostre krzywizny są jednak szkodliwe, gdyż tworzą głębokie wyboje, niemniej jednak szkodliwe są długie proste, lub zbyt płaskie łuki. Nie należy wszędzie stosować ostrych krzywizn, można stosować także łuki łagodne, a nawet proste, jednak niewielkiej długości. Przejście z łuku do prostej powinno być łagodne; należy zastosować krzywą przejściową.

Przytem trzeba jednak i profil regulacji odpowiednio przekształcić. Łożysko Wisły uregulowane poniżej ujścia Drwęcy na szerokość 375 m przekształca autor w ten sposób, że wszędzie przyjmuje szerokość dna stałą 140 m, profil w prostej jest symetryczny i ma nachylenie skarp (postępując od spodu) bardzo łagodne (1:50), a następnie spadkami przejściowymi przechodzi do skarpy głów ostróg, mającej nachylenie 1:5. W krzywiznach dno zachowuje tęsamą szerokość, brzeg wypukły otrzyma pochylenie najłagodniejsze (1:80), brzeg wklęsły najstromejsze (na małej tylko wysokości i szerokości 18 m od dna licząc 1:40), potem spadek przejściowy na długości 6 m 1:15, wreszcie 1:5 na długości 16,6 m, aż do korony ostróg. Z uwagi na to, że przy szerokości normalnej obecnej (375 m) — przy włączeniu nowych krzywizn końce wielu ostróg trzeba by znosić, należałoby zmniejszyć szerokość na 325 m; profil ze skarpami wykonanymi w sposób powyższy będzie o 1 m głębszy, niż profil trapezowy jaki wzięto za podstawę regulacji na stan średni. Regulacja uzupełniająca (na małą wodę) polegać będzie na doprowadzeniu ostróg do nowej trasy, oraz nadaniu ich głowom przede wszystkim na brzegu wklęsłym łagodnych skarp według projektowanych profilów; łagodną skarpe na brzegu wypukłym utworzy sobie rzeka sama.

Koszta tej regulacji uzupełniającej obliczał Ehlers na 17 milionów Marek za 1 km. Typ projektowanego profilu podano na rys. 165.

W ostatnich latach przed traktatem wersalskim i przyłączeniem zaboru pruskiego napowrót do Polski, opracował rząd pruski projekt regulacji dolnej Wisły na małą wodę. Projekt ten polega na włożeniu w łożysko średniej wody (300 do Drwęcy, a 375 m poniżej Drwęcy) profilu dla małej wody około 250 m szerokiego, który powstać miał przez przedłużenie ostróg. Końce ich zanurzać się już miały pod stan zwykłej małej wody. Trasa łożyska małej wody posiada łuki ostrzejsze jak trasa łożyska wody średniej, przyczem jednak linje wklęsłe i wypukłe sobie odpowiadają. Tak linje wklęsłe jak i wypukłe obu łożysk są od siebie odsunięte, tylko odległość linii wklęsłych jest mniejsza, a wypukłych większa.

Jak widać z tego, normalną szerokość dla małej wody obrano prawie takąsamą jak dla Wisły Podzielonej (poniżej odgałęzienia Nogatu), która zresztą od czasu zamknięcia i skanalizowania Nogatu prowadzi prawie całą średnią i małą wodę.

3. Regulacja Renu, Łaby i Odry.

Ren mający między jeziorem Bodeńskim a ujściem do morza 1003 km długości, podzielić należy jako drogę wodną na szereg odrębnych części.

Między jeziorem Bodeńskim a Strassburgiem (265 km) nie stanowi jeszcze obecnie należytej drogi wodnej i wymaga gruntownej poprawy. Górna część tej partji aż do Bazylei (138 km) nadaje się tylko do kanalizacji, natomiast na dolnej (127 km) trzeba będzie albo przeprowadzić regulację na małą wodę, albo też kanalizację, albo wreszcie kanał równoległy; to ostatnie rozwiązanie ma największe prawdopodobieństwo urzeczywistnienia. Po wykonaniu robót będą tu mogły kursować statki o długości 75 m, szerokości 11 m i zanurzeniu 2 m, ładujące do 1100 ton. Równocześnie wyzyska się siłę wodną; w przestrzeni od Konstancji do Strassburga jest do dyspozycji 750.000 k. m., czyli okrągło pół miliona K. W., lub 3 miliardy kilowatgodzin.

Dalsza przestrzeń, od Strassburga do Mannheimu (132 km), uregulowana jest na wodę średnią zapomocą przekopów i budowli równoległych w szerokości normalnej 200—240 m. Przestrzeń ta nie stanowiła należytej drogi wodnej z powodu ruchomego dna, wędrujących ławic i nieustalonego nurtu, dopiero od r. 1902 podjęto akcję celem poprawy łożyska i stworzenia należytej drogi wodnej zapomocą regulacji na małą wodę. Projekt opracowany pod kierunkiem Honsella obejmował stworzenie w obrębie łożyska dla średniej wody, łożyska dla małej wody, o szerokości wzrastającej od 160 do 180 m w zwierciadle profilu, a w dnie od 130—150 m, przy czem spodziewano się uzyskać głębokość 2 m przy stanie niskim.

Dotychczas uregulowano przestrzeń między Sondernheim a Strassburgiem zwięzając znacznie łożysko małej wody t. j. do 88—92 m, stwarzając profil o głębokości 2 m przy małej wodzie.

Trasę przeprowadzono w ten sposób, że leży ona w krzywiznach przy brzegu wklęsłym, a zatem liczba zakoli koryta małej wody zgadza się mniej więcej z liczbą zakoli koryta średniej wody. Koncentracja koryta małej wody odbywa się zapomocą obustronnych ostróg, których krawędź korony w trasie, leży w punktach przegięcia przejść na wysokości zwykłej małej wody, wznosi się zaś ku wierzchołkowi najbliższej krzywizny wklęsłej o 0,5 m, spada zaś w drugim kierunku, t. j. ku linii wypukłej aż do 0,5 m poniżej tego stanu. Grzbiety ostróg wnoszą się od trasy ku wysokiemu brzegowi w wierzchołku linii wypukłej w stosunku 1:70. Nachylenie skarp czołowych głów ostróg wynosi na przejściach 1:10, w wierzchołkach krzywizn wypukłych 1:20; brzeg wklę-

sły nachylony jest w stosunku 1:2. Co do kierunku ostróg w sytuacji zauważa się, że są one bardzo nieznacznie nachylone, prawie prostopadłe.

Przestrzeń od Mannheimu do Moguncji (72 km) miała już naturalne warunki bardzo korzystne, wymagała regulacji tylko na pewnych przestrzeniach, gdzie wykonano tamy równoległe, lub ostrogi. Szerokość normalna średniej wody wynosi 300 m, choć są jeszcze partje 500 i 700 metrów szerokie, miejscami zaś brzegi zbliżają się do 235 m. Z powodu bardzo małego spadku panuje wszędzie głębokość 2,50 m przy stanie średnim niskim.

Partja od Moguncji do Bingen (30 km) jest znowu trudniejsza, z powodu znacznych ilości toczonego piasku, pochodzącego głównie z Menu. Wykonano cały szereg robót, które warunki żeglugi poprawiły, jednak potrzebne są tu i ówdzie roboty uzupełniające, nadto pomoc pogłębiarek. Głębokość przy stanie średnim niskim wynosi 2 m.

W partji od Bingen do St. Goar (27 km), stanowiącej główną przeszkodę ruchu na Renie z powodu skalistych progów i znacznego spadku ¹⁾, wykonane w latach 1880—1900 roboty, które na osobnem miejscu opiszemy, wytworzyły drogę do jazdy o głębokości 2 m przy stanie średnim niskim, o szerokości prawie wszędzie 120 m, tylko na krótkiej przestrzeni powyżej Loreley 90 m.

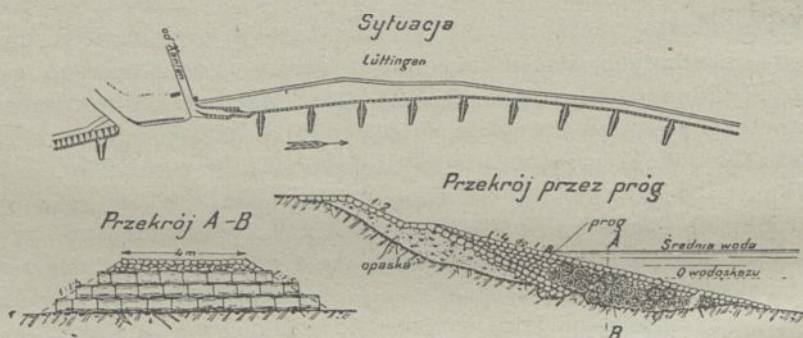
W partjach poniżej położonych, a mianowicie od St. Goar do Kolonji, regulacja miała na celu wytworzenie głębokości 2,5 m, a od Kolonji do granicy Holandji 3 m, przy szerokości drogi do jazdy 150 m. Normalne szerokości zmieniają się między 280 a 340 m.

Zasady regulacji były na Renie podobne jak na innych rzekach — jako tamy regulacyjne wykonywano przeważnie ostrogi podprądowe lub prostopadłe, tudzież tu i ówdzie kierownice. Miejsca o nadmiernych głębokościach (wyboje) zabudowywano zapomocą podwodnych progów w odstępie około 100 m, wypełniając przestrzenie między nimi żwirkiem otrzymanym z bagrowania.

Budowle wykonano ze żwirku z okładziną kamienną, a u spodu wzmacniano je narzutem kamiennym. W razie rozdziału rzeki na dwa ramiona wykształcano wyspę po stronie górnej i dolnej w ostre zakończenia.

¹⁾ Podczas gdy spadek Renu od jeziora Bodeńskiego wynosi przeciętnie 1‰ , między Strassburgiem a Spirą zmienia się od $0,6\text{‰}$ do $0,08\text{‰}$ i tę ostatnią wartość zachowuje aż do Mannheimu, a właściwie aż do Moguncji, między Moguncją a Bingen wynosi $0,125\text{‰}$, na 27 kilometrowej partji między Bingen a St. Goar wzrasta na $0,25-0,50\text{‰}$, jednak w zwiększeniu tuż poniżej Bingen podnosi się na długości 250 m do 2‰ , a w najwyższym miejscu (Binger-Loch) na $8,2\text{‰}$. Między St. Goar a Kolonją (101 km) spadek waha między $0,18$ a $0,28\text{‰}$, poczem między Kolonją a granicą holenderską maleje od $0,172$ do $0,107\text{‰}$.

Z tamami równoległymi poczyniono w biegu średnim i dolnym wogóle doświadczenia niekorzystne. Tama taka, o ile ma stromą skarpe od strony rzeki, powoduje powstawanie u swej stopy nadmiernych głębokości, deformując cały profil — z drugiej strony danie tej skarpi bardzo łagodnego pochylenia (1:4—1:8) wywołuje nadmierne koszty. Znacznie ekonomiczniejsze są ostrogi podprądowe o łagodnej skarpi czołowej, lub też można wykonać tamę równoległą, względnie opaskę, o stosunkowo stromej skarpi od strony wody (skarpa narzutu kamiennego 1:2), prowadząc od niej na wodę krótkie ostrogi, względnie progi



Rys. 166.

podprądowe, o koronie spadającej w stosunku 1:4—1:8 (progi czołowe, Kopfschwellen, traverses frontales, traverses d'avent), jak to przedstawia rys. 166. Zastępują one wykonanie łagodnej skarpy na całej długości tamy równoległej i wywołują znaczne zmniejszenie kosztów. Budowa tam równoległych była i z tego względu niemożliwą, ponieważ zachodziła nieraz potrzeba zabudowania miejsc do 10 m głębokości, co wymagałoby niezwykle wysokich kosztów. Poza tem ostrogi wywoływały znacznie szybciej zamulenie jak tamy równoległe.

Przy wykonywaniu budowli starano się o możliwą oszczędność — w skład tamy wchodzi faszynada, narzuty kamienne i walce zatapiane, jednak znaczną część korpusu wykonywano ze żwirku wybagrowanego z łożyska.

Wreszcie podnieść należy, że o ile wykonywano tamy równoległe, przestrzenie poza nimi zasypywano materiałem wybagrowanym z łożyska.

Według planów regulacyjnych odstęp ostróg wynosił 100 do 150 m — ostrogi krótkie dawano gęściej.

Dolną część Renu w Niemczech regulowano zapomocą licznych przekopów (t. zw. „kanałów“), celem usunięcia zbyt ostrych krzywizn;

spadek jednak rzeki nie jest pomimo tego znaczny, wynosi tylko $0,12\text{‰}$. W obrębie Holandji uzyskano na Renie przez regulację i bagrowanie również głębokość 3 m.

Ren na przestrzeni od Strassburga do Rotterdamu przedstawia wielką drogę wodną śródlądową o długości 703 km, na której dzięki systematycznej regulacji uzyskano maximum sprawności; między Kolonją a ujściem kursują nawet małe statki morskie, płynące do wybrzeży Anglii i Bałtyku.

Łaba. Łaba od Jaromierza do Melnika (180,3 km) jest w toku kanalizacji, dalszą przestrzeń jej od połączenia z Wełtawą pod Melnikiem aż do Uscia (Aussig, 70 km) jest już skanalizowana, podobnie jak najważniejszy jej dopływ Wełtawa, którą skanalizowano od połączenia z Łabą w górę aż do Pragi.

Łaba w obrębie Saksonji, posiadająca przy granicy czesko-saskiej dorzecze okrągło 51.000 km^2 , odpływ przy stanie abs. najniższym $47\text{ m}^3/\text{sek}$, a przy stanie średnim $286\text{ m}^3/\text{sek}$ i spadek przeciętny $1:3500$ ¹⁾, uregulowana jest zapomocą budowli równoległych, jednak warunki żeglugi z powodu zmiennych spadków przy stanach niskich są w różnych punktach różne. Myślano i tu o kanalizacji, jednak z powodu zbyt rozwiniętego ruchu osobowego, dla którego kanalizacja byłaby przeszkodą, zaniechano tej myśli. Obecnie, aby uzyskać przy stanach najniższych głębokość 1,10 m, przeprowadza się roboty dążące do wyrównania spadków. Prócz tego przekształca się profile zapomocą bagrowania, wbudowania ostróg i progów, w pewnych miejscach zaś ostróg i opasek, w obrębie istniejącej normalnej szerokości średniej wody, wynoszącej 100 m. Zamierzona głębokość 1,10 m przy stanach najniższych ma być do dyspozycji na szerokości łożyska 40 m, wyjątkowo przy najsilniejszych spadach 33 m.

Dalszą przestrzeń Łaby aż do Hamburga (od granicy czesko-saskiej do Hamburga długość 620 km, dorzecze wzrasta do ujścia Sewy na 138.500 km^2 , a spadek zmienia się od $0,264\text{‰}$ do $0,1\text{‰}$), regulowano przeważnie zapomocą ostróg, o wysokości korony zgodnej ze stanem średniej wody. Z biegiem czasu wypełniano przestrzenie między ostrogami materiałem wybagrowanym z łożyska i nowe linje brzegów ubezpieczano opaską. Ostrogi otrzymywały łagodną skarpe czołową $1:5$, a w przedłużeniu ich, celem zabudowania wybojów jakie się tworzą przy głowach, wykonywano progi o koronie pochylonej w stosunku $1:10$ do $1:30$; równocześnie wykonywano w łożysku bagrowania. Normalna szerokość wzrasta od granicy saskiej do Hamburga od 100 do 300 m.

1) Warunki zupełnie zbliżone do Wisły poniżej ujścia Sanu.

Regulacja ta poprawiła warunki żeglugi, jednak przy stanach niskich w niewystarczającej mierze, przyczem zaznaczyć należy, że wyniki osiągnięte w partji powyżej Haweli są lepsze, jak w partji poniżej położonej.

Wobec tego w uchwalonej w roku 1911 ustawie o budowie dróg wodnych w Niemczech i opłatach za żeglugę¹⁾ przewidziano regulację uzupełniającą Łaby, celem uzyskania przy stanach absolutnie najniższych minimalnej głębokości powyżej Saali 1,10 m, poniżej Saali aż do ujścia Haweli 1,25 m.

Zasady regulacji uzupełniającej (na małą wodę) były tu następujące: W partji powyżej Haweli, której stan jest lepszy, nie przeprowadza się regulacji uzupełniającej w sposób ciągły, lecz poprawia tylko miejsca złe, przedewszystkiem niekorzystne przejścia, w których przy głowach ostróg potworzyły się głębokie wyboje, zaś ku środkowi profilu wzniesienia. Trzeba tu w przedłużeniu ostróg wykonać progi, celem zabudowania i zamulenia wybojów, nadto w środku profilu stworzyć większą głębokość przez bagrowanie. Gdzie ostrogi są za rzadko, tam wstawia się ostrogi pośrednie, a w ostrych krzywiznach, lub w dłuższych prostych, albowiem szczególnie niekorzystnych miejscach, daje się tamy równoległe, względnie opaski. Miejsca zbyt głębokie zabudowuje się progami poprzecznymi, celem utrwalenia dna i uzyskania szerszej drogi do jazdy. Najmniejsza szerokość drogi do jazdy ma wynosić w partji górnej do Saali 30 m, poniżej 60 m, przy stanie najniższym.

Przestrzeń Łaby poniżej Haweli wymaga natomiast nieprzerwanej gruntownej regulacji uzupełniającej, z powodu nieustalenia nurtu. W obrebie uregulowanego łożyska dla średniej wody wykona się osobne łożysko dla małej wody, zapomocą przedłużenia ostróg. W łukach przedłuży się ostrogi tylko na brzegach wypukłych, pozostawiając trasę brzegu wklęsłego niezmienioną, natomiast na przejściach wykona się obustronne krótsze ostrogi podwyższone.

Do najtrudniejszych partji należą długie proste, lub prawie proste przestrzenie, ciągnące się nieraz kilometrami; tu zapomocą krótkich ostróg wytworzy się dopiero krzywizny w trasie.

Odra. Odra górna od Koźła do Wrocławia jest skanalizowana na przestrzeni 153 km, dla statków ładujących 400—500 ton i zanurzających się na 1,40 m. Kanalizacja była tu konieczną, gdyż regulacja na średnią wodę przeprowadzona w latach siedemdziesiątych nie ziszcila pokładanych nadziei. Również i na Odrze środkowej między Wrocławiem a ujściem Warty (350 km)²⁾ przeprowadzono regulację na średnią wodę,

¹⁾ Ztschft. für Binnenschiffahrt Nr. 11/1911. „Die technische Möglichkeit der Vertiefung der Elbe auf Niedrigwasser“...

²⁾ „Der Oderstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse“.

przyjmując normalne szerokości od 87 m do 140 m.¹⁾ Spodziewano się tu uzyskać głębokości minimalne przy stanie średnim 2 m, przy stanie średnim niskim 1 m, przyjmując różnicę między obydwoimi stanami równo 1 m. Jednak przez regulację na średnią wodę nie uzyskano tych głębokości, wobec czego zdecydowano się na zwężenie normalnych szerokości zapomocą niskich przedłużeń ostróg (Vorlage, couche prolongée), mających średnio długość równą $\frac{1}{5}$ normalnej szerokości, czyli zwężających normalne szerokości na $\frac{3}{5}$. Te normalne szerokości łożyska małej wody wynoszą od 53 m (pod Wrocławiem), do 90 m powyżej ujścia Warty. Głowice ostróg mają koronę wzniesioną do poziomu wody średniej, przedłużenia zaś ostróg są o 1 m niższe, a zatem korony ich sięgają do stanu średniego niskiego. Skarpy głowic ostróg i ich przedłużeń mają pochylenie 1:5, wyjątkowo 1:4. Przedłużenia ostróg wykonuje się z płyt zatapiających (materaców), w innych wypadkach z pakunku. Korony ostróg mają szerokość 2,5 m, szerokość przedłużeń wynosi 10—12 m.

Odra dolna, po połączeniu z Wartą, jest już rzeką dużą, o dorzeczu wznoszącym się od Warty do ujścia do zalewu na długości 147,2 km od 107.797,9 do 118.611,2 km² i spadku przeciętnym małym, wynoszącym 0,074‰²⁾, przeto stworzenie dobrej drogi wodnej nie przedstawiało tu już trudności.

W podobny sposób przeprowadzono regulację Warty od ujścia do Odry w górę, aż do punktu kilka km poniżej Poznania położonego.

¹⁾ Dorzecze wznosi się w tej przestrzeni od 21.500 km² do 54.088,2 km², przeciętny spadek 0,273‰.

²⁾ Zmiany w granicach 0,2 do 0,002 ‰.

IV. Regulacja rzeki żeglownej w obrębie progów skalnych.

(Szypoty, Stromschnellen, rapides, cataracte).

Regulacja rzeki w obrębie szypotów należy do robót pod względem technicznym najtrudniejszych i najkosztowniejszych. Jak wiadomo, przy regulacji rzek dążymy do wyrównania spadków w profilu podłużnym, które w zwykłych warunkach, przy ruchomem dnie, możliwe jest tylko w pewnych granicach; szypot, na którym łóżysko przecięte jest poprzecznymi progami skalnymi, przedstawia punkt stały w dnie, gdzie rzeka nie może sama wyrównać spadku, a spadek ten nagle się zmienia i zwiększa zazwyczaj bardzo znacznie, nieraz z kilku cm na km,



Rys. 167.

na kilka m na kilometr. Powstaje tu niejako przelew, na którym woda nabywa wielkiej chyżości, zmniejszając równocześnie głębokość i wybijając dno poniżej szypotu do wielkiej głębokości, powy-

żej zaś progów powstaje spiętrzenie. To zwiększenie chyżości, względnie zmniejszenie głębokości, najdotkliwsze jest przy stanach niskich, przy których i poza szypotami głębokości nie są nadmierne.

Szypot zatem przedstawia w zasadzie koncentrację spadku, występującą w formie przedłużonego skalistego progów (rys. 167), a działanie szypotu uzmysłowi następujący przykład¹⁾:

Przyjmijmy, że rzeka żeglowna ma spadek przeciętny $I_1 = 0,0004$ i normalną średnią głębokość $T_1 = 2$ m, wystarczającą dla wielkiej żeglugi, szypot zaś koncentruje znaczniejszy spadek, tak, że wyrównany na szypocie spadek wynosi np. 1% t. j. $I_2 = 0,01$.

¹⁾ Obliczenie jest przybliżone, gdyż wzory empiryczne dla tak dużych spadków nie są wypróbowane, w każdym razie należałoby tu zwiększyć wykładnik spadku.

Jak wiadomo

$$Q = P \cdot v_s = S t_m \cdot 34 t_m^{0,75} I^{0,5}, \text{ czyli}$$

$$Q = 34 S t_m^{1,75} I^{0,5}.$$

a) Dla partji poza szypotem otrzymamy wstawiając

$$t_m = T = 2 \text{ m}, I = 0,0004$$

$$Q = 34 S 2^{1,75} 0,0004^{0,5}, \text{ czyli}$$

$$\frac{Q}{S} = 34 \cdot 2^{1,75} \cdot 0,02$$

b) Dla partji w obrębie szypotu $I_1 = 0,01$, $t_m = T_1$

$$Q = 34 S T_1^{1,75} \cdot 0,01^{0,5}$$

$$\frac{Q}{S} = 34 T_1^{1,75} \cdot 0,1.$$

Porównując obie wartości stosunku $\frac{Q}{S}$ otrzymuje się:

$$34 \cdot 2^{1,75} \cdot 0,02 = 34 T_1^{1,75} \cdot 0,1$$

$$T_1 = 2 \cdot 0,2^{\frac{1}{1,75}} = 2 \cdot 2^{0,57} = 0,8 \text{ m}.$$

To przybliżone obliczenie wykazuje, że większa żegluga byłaby tu przy tym stanie niemożliwa. O ile szypot byłby krótki, o tyle łagodząco wpływałby mniejszy spadek znajdujący się poniżej.

Do robót mających na celu poprawę żeglugi w obrębie szypotów należą:

1. Usunięcie całkowite lub częściowe progę, przez rozsądzenie skały i usunięcie materiału,

2. spiętrzenie wody na całej długości szypotu, zapomocą ograniczenia szerokości obustronnemi tamami podłużnemi, a w razie gdyby te środki nie rokowały powodzenia,

3. kanalizacja rzeki na przestrzeni szypotów, t. zn. obejście partji progowej zapomocą bocznego kanału żeglugi.

Usunięcie progę przez rozsądzenie skały narzuca się jako najprostszy środek poprawy żeglugi, jednak powstaje w takim razie obniżenie stanu wody powyżej progę, gdyż próg działa spiętrzająco na partję powyżej położoną. Dalej, o ile rozsądzenie skały ma sprowadzić wydatniejsze wyrównanie spadków w celu zwiększenia głębokości, musiałoby nieraz być przedsięwzięte na bardzo znacznej długości, wreszcie wywołane przez rozsądzenie progę obniżenie zwierciadła, nie zawsze jest

możliwe z uwagi na stosunki lokalne. Suppán stwierdza¹⁾, że samo rozsadzanie skał daje rezultaty bardzo niewielkie, gdyż skutkiem usunięcia raf skalnych i wystających ostrych końców woda szybciej płynie, naturalne spiętrzenie się traci, a poziom wody zniża. Wprawdzie szerokość drogi do jazdy (Fahrstrasse, Fahrwasser, chenal, passe, passage) przez to się zwiększa, usuwa się wiry i boczne prądy, jednak głębokości nie doznają wydatniejszego zwiększenia. Rezultat będzie lepszy, jeżeli zamiast zniesienia progu na całej szerokości rzeki, ograniczymy się do rozsazania skały i wydobywania materiału w obrębie wąskiej stosunkowo rynny, której szerokość wystarcza jednak dla żeglugi. W takim razie głębokość w tej rynnie będzie większa, jednak spadek się nie zmniejszy. Wyrównanie spadków w większej mierze uzyskuje się zapomocą drugiego z wymienionych środków, t. j. zapomocą wydatnego ograniczenia szerokości i spiętrzenia wody, przez wykonanie obustronnych tam równoległych na znacznych przestrzeniach, t. j. nie tylko na partji progowej, ale i poniżej. Najczęściej jednak obydwie środki są stosowane równocześnie, t. j. częściowe rozsazanie progu i wyrównanie spadku zapomocą ujęcia i spiętrzenia wody tamami równoległymi, jak to zaznaczono na rys. 167. Zauważa się przytem, że to ograniczenie szerokości wywołuje zwiększenie chyżości, które poniżej partji o skalistym dnie może wywołać szkodliwe wymycie dna, dlatego w danym razie należy pomyśleć o odpowiednim utrwaleniu dna, zapomocą zabudowania progami poprzecznymi.

Jako przykład regulacji rzeki w obrębie szypotów opiszemy pokrótce roboty wykonane na Dunaju, czyli t. zw. regulację „Żelaznej Bramy“ (węg. Vaskapu)²⁾.

Rozległe katarakty przełomu Dunaju między Karpatami a Bałkanem rozpoczynają się pod Starą Moldową powyżej Drenkowy od samotnej skały Babakał i ciągną się na przestrzeni 104 km aż poniżej Orsowy i Żelaznej Bramy. Przeciętny spadek Dunaju, który wynosi w partjach powyżej i poniżej przełomu około 5 cm na km, zwiększa się tu na 24 cm na km, przyczem koncentruje się jednak na szypotach, wahając w bardzo szerokich granicach. Zaraz pod Starą Moldową występuje na długości 9 km skaliste dno, rzeka dzieli się na dwa ramiona, łącznie powyżej 1 km szerokości, poniżej wyspy zaś rzeka połączona na szerokość 2100 m. Dwa km poniżej zwęża się łożysko na 400 m, a na lewym brzegu

¹⁾ „Wasserstrassen und Binnenschiffahrt“ 1902.

²⁾ Zużytkowano: A. Weber „Bau, Betrieb und Verwaltung der natürlichen und künstlichen Wasserstrassen . . .“, Wiedeń 1895.

C. Suppán „Wasserstrassen und Binnenschiffahrt“, Berlin 1902.

Béla v. Gonda „Die Regulierung des eisernen Thores und der übrigen Katarakte an der unteren Donau“, Budapeszt 1896.

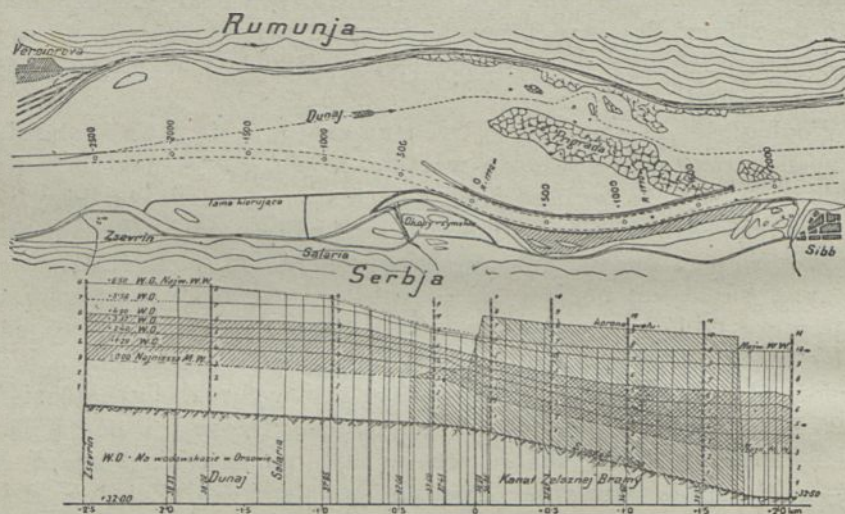
góry podchodzą aż pod rzekę. Głębokość, która powyżej wynosiła 2—3 m, zwiększa się na 20 do 35 m na długości 5 km, poczem rzeka rozszerza się znowu na 1100 m. Około 20 km dalej znajduje się pierwszy szypot Stenka, dalej poniżej szypoty pod Kozla-Dojke, gdzie na przestrzeni 3 km rzeka jest znowu ścieśniona, nurt bardzo nieregularny, a fale osięgają znaczną wysokość. W dalszym ciągu rozszerza się rzeka znowu, poczem w odległości 44 km od Moldowy następują szypoty Izlas, Tachtalja i Greben, gdzie obustronne stoki znowu się zbliżają, zwężając rzekę na 420 m; największe zwężenie jest tuż poniżej Greben, pod Franye, gdzie dochodzi ono do 220 m. Przejazd przez te ostatnie szypoty należy po szypotach „Żelaznej Bramy“ do najniebezpieczniejszych i wymaga wielkiej sprawności załogi.

W odległości 11 km poniżej Grebenu znajduje się ława skalna Jucz, gdzie spadek przy małej wodzie wzrasta do 2⁰/₀₀, a głębokość jest niezmiernie mała, tak, że żegluga przy niskich stanach ustawała. Przy wielkiej wodzie przestrzeń ta jest zupełnie nieszkodliwa, gdyż leży w spiętrzeniu zwężenia pod Kazan, znajdującego się 14 km poniżej. Zwężenie to zaczyna się 3 km poniżej miejscowości Dubowa; obustronne stoki zwężają rzekę do 170 m, z powodu jednak niezbyt wielkiego i dość jednostajnego spadku (0,36⁰/₀₀), żegluga nie doznaje tu przeszkód, a głębokości dochodzą do 20—50 m. Największe szypoty rozpoczynają się dopiero 95 km poniżej Moldowy, a 7 km poniżej Orsowy i noszą nazwę „Żelaznej Bramy“. Ławy skalne przeryniają poprzecznie łożysko, głębokość wody spada znacznie. Podczas gdy powyżej Żelaznej Bramy szerokość łożyska wynosiła 1300 m, zwęża się tu na 900 m, a głębokość wynosi 2—6 m przy stanie 0 na wodoskazie w Orsowie. Płytkie miejsca ciągną się na długości 8 km, jednak utrudnienia dla żeglugi istnieją tylko na przestrzeni 3 km. Łožysko przegradza tu skośnie ławica kwarcytowego wapienia Prigrada, 1700 m długa, a 500m szeroka; skały sięgają do 2,5 m ponad małą wodę, a między tymi wyniosłymi punktami są głębokości do 50 m.

Spadek małej wody w Żelaznej Bramie wynosi około 3⁰/₀₀, na całej zaś katarakcie na 2¹/₂ km długości około 5 m; chyżość wynosi około 4,5 m/sek. Nurt zmienia się przy każdym stanie wody, skutkiem czego wynikają wielkie trudności w prowadzeniu statków. Przy wielkiej wodzie spadek się wyrównuje i maleje; zmiany spadku ze wzrostem stanu wody podaje rys. 168. Poniżej Żelaznej Bramy niema żadnych już przeszkód żeglugi na Dunaju.

Początek starań o poprawę żeglugi na Dunaju i na przestrzeni katarakt sięga czasów rzymskich; Rzymianie zbudowali nad dolnym Dunajem słynną drogę Trajana, służącą jako droga holownicza, a Żelazną Bramę obeszlili kanałem bocznym. W nowszych czasach, w latach dwu-

dziestych XIX wieku, rozpoczęto na Węgrzech badanie tej sprawy, sporządzono plany sytuacyjne i hydrograficzne pod kierunkiem słynnego Vasarhelyego i już w r. 1834 rozpoczęto rozsadzanie najbardziej wystających skał. Vasarhelyi sporządził również pierwszy zupełny projekt regulacji szypotów Dunaju. Zaznaczyć należy, że poprawę żeglugi oparł on na wykonaniu kanałów śluzowych, dla obejścia szypotów Izlas i Tachtalia, Jucz i Żelaznej Bramy, które to kanały miały być wykonane na lewym brzegu; ten zasłużony inżynier proponował zatem to, co po wykonaniu



Rys. 168.

regulacji szypotów, która niezupełnie ziszcila nadzieje, uznano za najodpowiedniejsze.

Ostatecznie w r. 1883 przystąpiono do wykonania nowych projektów, a w latach 1890—1895 wykonano budowę, która obejmuje następujące roboty: 1. W pierwszym szypocie, jaki tworzy granitowa ława Stenka, wykonano na lewym brzegu zapomocą rozsadzania skały kanał 1900 m długości, 60 m szerokości i 2 m głębokości poniżej małej wody. 2. Szypoty Kozla-Dojke z łupku krystalicznego poprawiono również przez rozsadzanie skał i wykonanie w nich kanału 3500 m długiego, o takimsamym przekroju poprzecznym. 3. W szypotach Izlas i Tachtalia wykonano również kanał 4000 m długości w pobliżu prawego brzegu. 4. Poniżej Greben, gdzie rzeka rozszerza się na 2000 m i płynie przez rozszerzoną płytę skalną Świnica, uzyskano potrzebną głębokość dla żeglugi przez spiętrzenie wody zapomocą wału 5 km długiego, wykonanego w odległości 500 m od lewego brzegu. 5. Próg ze skały ser-

pentynowej Jucz przekroczone kanałem 1340 m długości, wykonanym przy lewym brzegu przez rozsądzenie skał. 6. W Żelaznej Bramie wykonano w obrębie ławy skalnej Prigrada na lewym brzegu kanał 2200 m długi, 73 m szeroki i 3 m głęboki (poniżej zera wodostoku w Orsowie).

Suppán charakteryzuje wyniki regulacji i warunki żeglugi przed i po regulacji w sposób następujący: Przed regulacją żegluga w czasie niskich stanów ustawała na Żelaznej Bramie zupełnie, a nawet przy normalnym średnim stanie 1,25 na wodostoku w Orsowie głębokości na szypotach były bardzo małe, a mianowicie: na Żelaznej Bramie 0,65, Kozła-Dojke 1,10, Stenka 1,40. Nadchodzące z Rumunii duże statki o zanurzeniu 1,80 mogły przechodzić przez Żelazną Bramę dopiero przy stanie + 3,50 m, przez inne szypoty przy stanie + 2,80 m. Przy stanie + 0,87 ustawała żegluga na Żelaznej Bramie zupełnie. W okresie lat 1840—1880 było przeciętnie 275 dni żeglugi na rok; w czasie tym mogły statki zanurzające się 1,50 m głęboko płynąć tylko przez 158 dni w roku, w okresie zaś lat 1881—1895 statki zanurzające się na 1,80 m tylko przez 45 dni w roku.

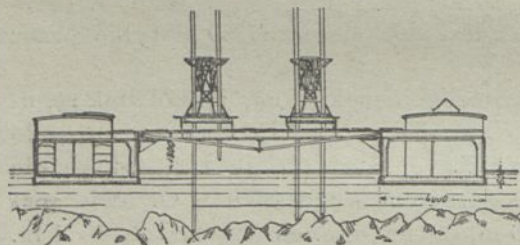
Wyniki regulacji nie dały tego czego oczekiwano, jakkolwiek regulacja warunki żeglugi do pewnego stopnia poprawiła. Zamierzone było uzyskanie głębokości 2 m przy najniższych stanach, jednak faktycznie najmniejsze głębokości przy stanie zerowym wodostoku w Orsowie spadają na Żelaznej Bramie do 0,60 m, a na innych szypotach do 1 m. Stan ten jednak występuje w okresie żeglugi niezmiernie rzadko, a z reguły stany wody nie spadają poniżej + 0,50. Przerwy żeglugi zatem niema, jednak przez długą część okresu żeglugi statki muszą zmniejszać ładunek, a żegluga jest taksamo trudna, jak przed regulacją. Mniej trudne do przebycia są wielkie spadki na górnych szypotach, dochodzące do 3,15‰, gdyż panują tylko na krótkich przestrzeniach, natomiast spadek 2,5‰ istniejący w kanale Żelaznej Bramy na długości 1777 m wytwarza bardzo znaczne utrudnienie żeglugi, zwłaszcza przy wejściu do kanału¹⁾.

Największe holowniki o sile 1000 k.m. mogą ciągnąć w górę zaledwie jeden statek 650 tonowy o zanurzeniu 1,60 m, załadowany jednak tylko 400 tonami. Przeciągnięcie statku 820 tonowego, zanurzającego się na

¹⁾ Jeżeli w kanale Żelaznej Bramy przyjmijemy głębokość 3 m (t. j. przy 0 wodostoku w Orsowie), to przy spadku 2,5‰ otrzymuje się według formuły autora chyżość średnią $v_s = 3,6$ m, przy głębokości 3,5 m $v_s = 4,0$ m, a przy głębokości 4 m $v_s = 4,37$ m. Stosownie do formuły autora określającej stosunek chyżości średniej do powierzchniowej, $\frac{v_s}{v_p} = 0,78 + 0,015 T + \frac{0,02}{I_{0/00}^{0,7}}$, otrzymuje się chyżości powierzchniowe $v_p = 4,31$ m, 4,75 m i 5,14 m.

1,80 m, o ładunku użytecznym 666 t, wymagało użycia dwu holowników o sile łącznej 1600 k. m., a czas jazdy wynosił 67 minut. Celem pokonania tych trudności musiano zaprowadzić sztuczne holowanie. Te wyniki stwierdzają, że jedynie racjonalnym środkiem byłoby tu skanalizowanie rzeki, a zatem wykonanie kanału bocznego ze śluzami komorowymi, przyczem dałoby się tu wyzyskać znaczne siły wodne.

Co do wykonania robót zauważa się, że przed rozpoczęciem pogłębiania dna, mierzono jaknajdokładniej jego położenie zapomocą sondowania. Do tego celu służył osobny statek złożony z dwóch pontonów ustawionych w pewnym odstępnie, na których ułożono pomost o długości 20 m i szerokości między pontonami 10 m. Na pomoście tym znajdowało się 10 torów, na których poruszały się wózki, zaopatrzone każdy czterema pionowymi okrągłymi drążkami do pomiaru, z podziałem metrowym. Drążki te, odległe od siebie o 1 m, biegły między kółkami i zesuwało się



Rys. 169.

je do dna rzeki zapomocą osobnych wyciągów korbowych. W ten sposób można było w jednym położeniu statku oznaczyć dokładnie dno na powierzchni 200 m² w odstępach co 1 m. Statek przed pomiarem ustawiano w danym miejscu na podstawie profilów poprzecznych wytyczonych na brzegu; aby pomiar uniezależnić od zmiany stanów wody, oznaczano zawsze przed pomiarem bezwzględny poziom pomostu, przez zanivelowanie go do punktów stałych na brzegu. Szkic statku do sondowania podaje rys. 169.

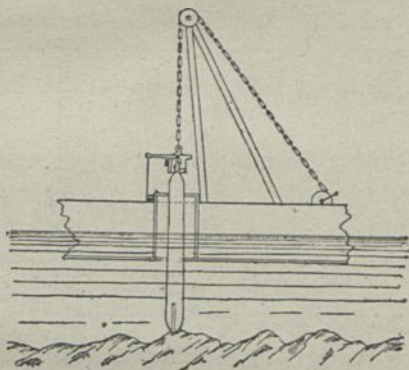
Wykonanie wykopu w skalistym dnie obejmowało wzruszenie skały i usunięcie materiału. Wzruszenie skały odbywało się w sposób dwojaki, albo przez rozbijanie, albo przez rozsadzanie; pierwszy sposób stosowano do warstw cieńszych i miększych, drugi do warstw wytrzymalszych i grubszych. Do obu rodzajów robót używano osobnych okrętów, zaopatrzonych w potrzebne maszyny.

Urządzenie do rozbijania skał jest bardzo proste i polega na uderzeniu wolno spadającego łamacza skał. Jest to ciężar żelazny 6—8 m długi, zakończony dłutem stalowym, o długości ostrza do 400 $\frac{m}{m}$, przyczem im skała zwięźlejsza, tem ostrze było krótsze. Ciężar ten zawieszano na rusztowaniu do 12 m wysokim, i po podniesieniu w górę, spuszczano na dno przez otwór w statku, ubezpieczony blachami żelaznymi (rys. 170).

Odległość punktów uderzenia przyjmowano 0,3—0,5 m; wydajność pracy zależnie od rodzaju skały była różna, przeciętnie wypadło na 1 m³ skały 20—40 uderzeń.

W samym roku 1894 rozluźniono w ten sposób 27.192 m³ skały; przeciętna wydajność dzienna jednego łamacza wynosiła 76 m³, a stale zajęte były 3 statki tego rodzaju.

Rozsadzanie skał przeprowadzano zapomocą wiercenia otworów w dnie, ładowania ich dynamitem i zapalania ładunków. Do tego celu służyły osobne statki wiertnicze dwójakiego systemu. Jedne z nich przystosowane były do wiercenia otworów w jednej linii, inne do wiercenia na pewnej powierzchni. Wiercenie linjowe miało na celu rozluźnienie stopniowe, zapalano bowiem miny tylko w jednej linii, przy wierceniach rozłożonych na większej powierzchni, wywoływano równoczesną eksplozję licznych otworów na szeregu linii rozłożonych. Na pomoście statków znajdowały się tory, a na nich poruszały się na wózkach stojaki, na których umieszczone były amerykańskie wiertarki parowe Ingersoll za pośrednictwem cylindrów z wodą ciśnącą. Przez działanie ciśnienia wody wytworzonego zapomocą pomp Worthingtona, można było wiertaczki dowolnie zniżać, lub podwyższać.



Rys. 170.

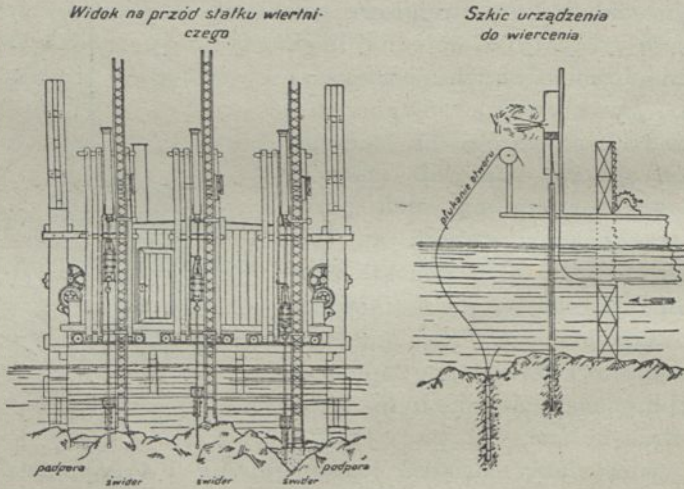
Statek wiertniczy posiadał jeden główny i 4 poboczne łańcuchy do zakotwienia; na jednym ich końcu były kotwice, drugi nawijał się na wał windy parowej umieszczonej na statku.

Prócz tego do ustalenia statku w czasie pracy służyły cztery podpory, niejako nogi, które spuszczano na dno zapomocą wind i tak silnie przyciskano, że statek się trochę podnosił. Przygotowanie do roboty i wykonanie jej odbywało się w sposób następujący (rys. 171):

Po ustawieniu statku zapomocą wytyczonych na brzegu profilów w danym miejscu i napięciu łańcuchów kotwicznych, spychało się podpory statku na dno. Następnie zesuwało na stojakach podstawy z rurami kierującymi aparatu wiertniczego na dno rzeki i na te rury nasadzano świdy o ostrzu krzyżowym, których górny koniec utwierdzono w wiertarce parowej Ingersoll. Były to wiertarki udarowe, przyczem przy każdym uderzeniu świder wykonywał mały ruch okrężny. Po wykonaniu otworu wypłukiwano miążż zapomocą prądu wody, poczem wkładano do niego patron dynamitowy złożony z cylindrów osadzonych na sznurze, na którego końcu wisiał ciężar. Następowo przybicie ładunku zapo-

mocą stempla drewnianego i założenie patronu do zapalania, składającego się z cylindra z dynamitem gorszego gatunku i zapalnika elektrycznego z kablem. Głębokość wiercenia wynosiła początkowo 1 m, później zaś 2 m, odległość linii otworów zazwyczaj 2 m, wyjątkowo 3 m. Linja wiercenia na statkach według systemu linowego miała 7,25—15,4 m, na statkach systemu powierzchniowego 4,6—40 m długości; przy pierwszym systemie wiercono w jednym położeniu 6—12 otworów, przy drugim 12—22.

Usuwanie wylamanej i wzruszonej przez rozsadzanie skały z dna rzeki odbywało się zapomocą pogłębiarek trzech typów, a mianowicie



Rys. 171.

pogłębiarek z łańcuchem kubłów, łyżkowych (łopata) i chwytaczy systemu Priestmanna; te ostatnie służyły do wydobywania wielkich brył. Po wykonaniu bagrowania następowało dokładne sondowanie dna zapomocą osobnych statków (każdy z dwu pontonów), zaopatrzonych w ramy do sondowania. Są to ramy obracalne swobodnie około osi poziomej umieszczonej na statku, a składające się z dwu słupów z podziałem metrowym, połączonych u spodu sztabą żelazną. Ramy takie spuszcza się na linach drucianych w przestrzeni wolnej między obu statkami do odpowiedniej głębokości, a mianowicie takiej, aby spód sztaby był w poziomie projektowanego dna kanału i następnie przejeżdża daną przestrzeń statkiem. Tam gdzie niema odpowiedniej głębokości, rama się wychyla, a dopiero przez stopniowe podnoszenie jej w górę, można ją napowrót doprowadzić do pionu i oznaczyć, o ile jeszcze trzeba dno w danym miejscu pogłębić. Na jednym statku zawieszano 5 ram po 5 m długości w jednej

linji, można więc było badać przestrzeń 25 m szeroką. Dodatkowe pogłębienie wykonywały osobne statki, zaopatrzone równocześnie w łamacze skał i bagry chwytacze zawieszane na żórawiu parowym.

Do przeciągania różnych statków zajętych przy robotach na przestrzeni pod Greben, o dużym spadku i znacznej chyżości, służył holownik z liną. Na statku tym umieszczone były dwie lokomobile po 19 koni m., oraz poruszane przez nie maszyny, nawijające na bęben o wielkiej średnicy linę drucianą 10 km długą, której koniec utwierdzony był w górnym końcu tej przestrzeni na brzegu. Holownik ciągnął się zatem po tej linii w górę rzeki wraz z przyczepionym do niego statkiem, gdy zaś przybył do końca liny, opuszczał się znowu w dół, przyczem się lina odwijala. Urządzenie to ułatwiało niezmiernie robotę; tam gdzie dwa silne holowniki nie mogły statku wiertniczego, lub naładowanego kamieniem, wyciągnąć w górę, holownik na linie, o łącznej sile obu lokomobil 38 k. m., wykonywał to z łatwością.

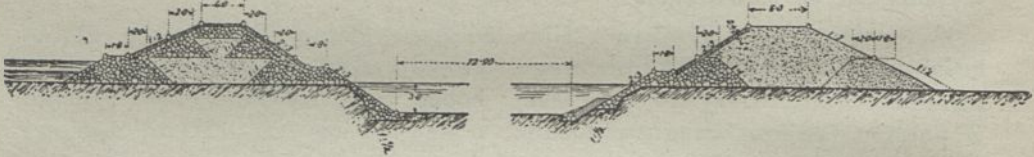
Na przestrzeni Greben—Milanowacz uzyskano zwiększenie głębokości zapomocą wału kamiennego, zwężającego i spiętrzającego małą i średnią wodę. Łożysko dzieli się wobec tego na dwie części; część w pobliżu lewego brzegu położona, o szerokości 700—380 m, stanowi drogę do jazdy, część prawa zamknięta jest dwiema poprzeczkami. Korona wału wznosi się na górnym końcu (pod Greben) 1,86 m ponad najniższy stan wody i w dalszym ciągu przebiega poziomo. Przekrój poprzeczny wału jest zmienny, dostosowany do potrzeby, gdyż pewne jego partje są narażone więcej, inne mniej, zależnie od spadku siły prądu i oddziaływania spiętrzenia. Początkowa partja ma koronę 10 m szeroką, skarpy 1:3 i 1:1,75, a dalsze koronę zwężającą się stopniowo do 4,5 m i stromsze skarpy. W miejscach gdzie przypierają poprzeczki wał jest rozszerzony. Wykonanie wału wymagało wielkich mas kamienia; dość powiedzieć, że na partji początkowej na 1 m bieżący wału trzeba było 1000 m³. Trudności polegały jednak nie tylko w dostarczaniu takich ilości, ale i samo wykonanie było bardzo trudne, gdyż woda skutkiem silnego prądu porywała nawet bardzo wielkie bloki, do 1 m³ objętości.

Potrzebny materiał uzyskano z rozsadzania grzbietu skalnego Greben, wchodzącego w łożysko rzeki, którego usunięcie było z tego powodu konieczne, oraz z innych łomów. Używano tu wielkich min o ładunkach do 6000 kg, których wybuch dawał naraz 10000—30000 m³ materiału kamiennego.

Podczas gdy wał przestrzeni Greben—Milanowacz był niski, wały ograniczające kanał Żelaznej Bramy sięgały ponad wielką wodę. Jednak ponieważ chodziło o to, aby wały przy niskich i średnich stanach kierowały do kanału jaknajwięcej wody, natomiast przy wyższych stanach

takie działanie było niepotrzebne, a nawet szkodliwe, przeto wykonano początek kanału lejkowaty (rys. 168), a początkową partję lewobrzeżnego wału, 500 m długą, o koronie stopniowo się wznoszącej, od 1 metra ponad najniższym stanem, do 60 cm ponad stan najwyższy. Wobec tego, że kanał posiada znaczną długość, różnica poziomów wody na jego początku i końcu jest znaczna, a wały zamykają go od strony górnej i z obu boków, można było po wykonaniu wałów wykonać rozsadzanie skały w dnie i wywóz materiału na sucho. W tym celu dla uzyskania większej szczelności wykonano w odstępnie kilkumetrowym od lewego wału grodzę, złożoną z 9 metrowych żelaznych szyn, bitych w grunt skalisty w odstępach 3,4—4 m i 8 centymetrowych dyli. W ten sposób

Kanał Żelaznej Bramy



Rys. 172.

wykonano dwie ściany w odstępnie 1 m, a przestrzeń między nimi wypełniono gliną. Poszczególne partje kanału, w których wykonywano robotę, oddzielano zapomocą tam poprzecznych od reszty kanału, a wodę która tam jeszcze przeciekała wypompowywano. Na powierzchni kanału założono całą sieć torów kolejowych do wywozu materiału.

Przekrój poprzeczny kanału przedstawia rysunek 172; wobec znacznych chyżości panujących w kanale, okazały się naturalne skarpy kanału wykonane w miękkiej skale za słabe i musiano brzegi ubezpieczyć narzutem i brukiem.

Jak to już powyżej wspomniano, efekt regulacji Żelaznej Bramy, pomimo wykonania robót w znacznych rozmiarach i wielkim kosztem nie może zadowolnić, dlatego i obecnie pojawiają się projekty zastosowania radykalnego środka poprawy żeglugi, jakim jest kanalizacja szypotów, a zatem wykonanie jazów i kanałów bocznych ze śluzami komorowymi¹⁾. Przy tej sposobności można tu wyzyskać w zakładach hydroelektrycznych siłę wodną obejmującą 500.000 koni motorycznych.

¹⁾ A. Smrček: „Jusqu'ou le Danube pourrait-il être ouvert au cabotage maritime?”
Le Danube international 1920 Nr. 20.

Drugim podobnym przykładem regulacji rzeki w obrębie progów skalnych jest regulacja Renu między Bingen a St. Goar. W partji tej istnieją bardzo silne spadki, a dno przecięte jest progami skalnymi. Profil podłużny partji najtrudniejszej, t. zw. „Binger Loch“, który pomierzono używając do niwelacji pionowej łaty utwierdzonej na pływającej tratwie, okazuje na przestrzeni 760,7 m spad 0,986 m, t. j. $1,3\text{‰}$, zmieniający się jednak w szerokich granicach, a mianowicie od $0,23\text{‰}$ (na długości 133 m), do $8,2\text{‰}$ (na długości 17 m)¹⁾.

Pierwsze roboty zmierzające do poprawy warunków żeglugi, które polegały na rozsadzaniu skał, sięgają jeszcze 17 wieku, gruntowną regulację rozpoczęto jednak dopiero w r. 1890, dążąc do uzyskania głębokości 2 m przy stanach najniższych. Szerokość drogi do jazdy w obrębie szypotów przyjęto 90 m, tylko na krótkiej partji (Binger Loch) ograniczono się do 30 m. Tu jednak prócz głównej drogi do jazdy położonej po stronie prawej, istnieje droga poboczna po stronie lewej, wprowadzie o mniejszej głębokości, ale szersza.

Jako zasadę regulacji przyjęto, aby jaknajmniej zmieniać naturalne warunki rzeki; dążenie do zbyt daleko idącego wyrównania spadków nie byłoby tu stosownem, gdyż powyżej i poniżej Binger Loch były również silne stosunkowo spadki i wyrównanie spowodowałoby wprowadzie zmniejszenie spadków największych, ale za to przedłużenie partji o wielkich chyżościach.

Roboty obejmowały przedewszystkiem rozsadzanie i rozbijanie skał, przyczem wiercenie wykonywano w obrębie pływających dzwonów nurkowych, z których wypchnięto wodę zapomocą zgęszczonego powietrza. Prócz tego wykonano bagrowania i wybudowano szereg ostróg i tam równoległych. Pomimo, że lewostronna droga do jazdy ma mniejsze spadki jak prawa, warunki żeglugi prawej drogi do jazdy są korzystniejsze, gdyż te wielkie spadki obejmują krótką stosunkowo przestrzeń, a skutkiem tego powstające tu znaczne chyżości nie są dla żeglugi tak uciążliwe, jak na drodze do jazdy po stronie lewej.

¹⁾ Patrz Kreuter „Der Flussbau“ IV wydanie, III część, Hdb. der Ingenieurwissenschaften.

V. Środki pomocnicze służące do poprawy żeglugi.

Do środków tych należą 1) powiększenie głębokości za pomocą sztucznego pogłębiania (bagrowania) i 2) powiększenie głębokości przez zasilanie rzeki w czasie niskich stanów wodą ze zbiorników.

1. Poprawa żeglugi przez bagrowanie.

Jest to środek poprawy żeglugi, co do którego nawet w sferach fachowych bardzo różne panują zapatrywania. Przeważna część hydrotechników przypisuje mu tylko znaczenie środka pomocniczego, uzupełniającego do pewnego stopnia działanie robót regulacyjnych, inni jednak podnoszą bagrowanie do znaczenia metody samodzielnej, która jest w możności poprawić żeglowność rzeki bez współdziałania budowli regulacyjnych.

Opierając się jednak na wynikach robót praktycznych, przedsięwziętych w różnych krajach w celu poprawy żeglugi, stwierdzić trzeba, że tylko w nielicznych i wyjątkowych wypadkach zastosowano bagrowanie jako środek samodzielny, natomiast regulacja jest tą metodą, która może być uważana jako środek poprawy żeglugi o znaczeniu powszechnem. Naturalnie, że regulacja rzeki nawet najstaranniejsza, oraz po przeprowadzeniu regulacji uzupełniającej, czyli na małą wodę, nie może ponad pewną miarę, ograniczoną warunkami przyrodzonymi rzeki, powiększyć głębokości, jednak racjonalnie przeprowadzona, daje rezultaty trwałe i zwiększenie głębokości w porównaniu ze stanem jaki był przed regulacją, jest w każdym razie znaczne. Do tego dodać należy, że regulacja potrzebna jest tak dla celów rolnictwa (ochrona brzegów, ułatwienie odpływu, umożliwienie robót meljoracyjnych i t. d.), jak dla celów żeglugi, a więc regulując rzekę osiągamy równocześnie cel podwójny.

Wynika z tego, że tam gdzie rzeka ma już znaczne dorzecze, dużą objętość wody przy średnich i niskich stanach, oraz mały spadek (bieg

dolny), regulacja będzie najodpowiedniejszym i najtańszym środkiem do przekształcenia jej na drogę wodną. W partjach biegu średniego, gdzie rzeka ma już dorzecze mniejsze, objętości wody przy stanach średnich i niskich są niewielkie, a spadek wzrasta, można przekształcić rzekę na drogę wodną dużego typu zapomocą kanalizacji. Decyzja co do kanalizacji powinna zapaść jednak dopiero wtedy jeżeli na podstawie dokładnych badań zorientujemy się 1) że regulacja nie zdoła wytworzyć głębokości jakich wymaga się od drogi wodnej i 2) jeżeli rzeczywiście stosunki handlowe i spodziewany ruch wymagają stworzenia drogi wodnej większego typu i skutkiem tego usprawiedliwiają pokrycie zwiększonych kosztów na kanalizację. Dodać jeszcze należy, że nie wszędzie kanalizacja jest możliwa; niskie brzegi i trudne warunki fundowania jazów mogą stworzyć warunki wykluczające zastosowanie jej. Kanalizacja daje do pewnego stopnia możliwość uniezależnienia się od warunków przyrodzonych rzeki, gdyż pozwala głębokość zanurzenia znacznie zwiększyć, jednak z drugiej strony rzeka skanalizowana, więc spiętrzona jazami, nie jest tak dogodna dla żeglugi, jak rzeka wolna, a służowanie statków powoduje straty czasu i kosztu. Wreszcie w obrębie górnych brzegów rzek, tam gdzie rzeka jest zbyt mała, a znaczny spadek wymagałby gęsto rozstawionych jazów, drogę wodną uzyskać można tylko przez budowę bocznego kanału żeglugi.

Zwolennicy bagrowania podają jako korzyść tego systemu w porównaniu z regulacją, że pozwala on uzyskać doraźny skutek, nie wymaga właściwie żadnych robót regulacyjnych, prócz ubezpieczenia brzegów w pewnych miejscach, a główny koszt stanowi tylko sprawienie wystarczającego parku pogłębiarek (bagrów) i statków do odwożenia materiału. Natomiast roboty regulacyjne wymagają rozległych i kosztownych robót, długiego czasu do ich wykonania, i dopiero po ich ukończeniu i zrealizowaniu się regulacji, uzyskuje się poprawę drogi wodnej.

Nie można zaprzeczyć, że roboty regulacyjne trwać muszą rzeczywiście stosunkowo długo i nie dadzą się, jeżeli chodzi o znaczne przeszerzenie, w dowolnie określonym terminie przeprowadzić, a to nietylko z tego powodu, że samo wykonanie budowli i dostarczenie potrzebnych materiałów wymaga dłuższego czasu, ale i dlatego, ponieważ postęp robót jest do pewnego stopnia uzależniony od postępu zrealizowania się regulacji. Jednak z drugiej strony stwierdzić trzeba, że rzeka uregulowana przedstawia dzieło techniczne pod każdym względem ukończone i przystosowane do wszystkich wymogów kultury, stwarzając dla niej warunki najlepsze i trwałe, podczas gdy bagrowanie może dać wprawdzie efekt doraźny, ale mniej pewny i nietrwały, gdyż umożliwia tylko kontynuowanie żeglugi przez ciągle i nieustanne pogłębianie miejsc płytkich, nie uwzględniając zupełnie potrzeb rolnictwa i innych.

Bagrowanie nie może być uważane za metodę uniwersalną, któraby mogła być zastosowana na każdej rzece. Engels nie uważa bagrowania za samodzielny środek regulacji, stwierdza natomiast, że może ono jako środek pomocniczy oddać dobre usługi. Można przez bagrowanie znakomicie ułatwić pracę rzece, pogłębiając zwłaszcza progi złożone z materiału zbyt zbitego (grubszy żwir, il, torf) i zasypując materiałem przestrzzenie odcięte. De Mas zaznacza, że przez samo bagrowanie nie można uzyskać poprawy trwałej, gdyż każda wielka woda przywraca stan pierwotny i zmienia napowrót progi, przyczem zmiany te są nieporównanie znaczniejsze na rzece dzikiej, na której nie tylko wysokość, ale i miejsce, oraz położenie progów się zmienia, podczas gdy na rzece dobrze uregulowanej progi co do swego położenia są ustalone. Autor ten również uważa bagrowanie jako środek pomocniczy, jako środek utrzymania (konserwacji) głębokości, a nie jako metodę regulacji i przestrzega przed zbyt intensywnym bagrowaniem progów, gdyż zniesienie pewnego progów, wytwarza powiększenie stopnia najbliższego progów po stronie górnej.

Na rzekach o częstych wezbraniach i silnym ruchu rumowiska, stworzenie drogi wodnej zapomocą bagrowania wymagałoby przeprowadzenia tej roboty w ogromnych rozmiarach, trudnych do pokonania, zwłaszcza jeżeli okresy między jednym wezbraniem a następnem są zbyt krótkie. Na górnym Renie naprzykład zdarza się¹⁾, że po bagrowaniu trwającym tygodniami, droga do jazdy jest gorsza jak była przedtem, gdyż Ren więcej rumowiska doprowadzał, niż go bagier mógł usunąć. Podobnie ocenia tę metodę w odniesieniu do Wisły inżynier Kurjusz²⁾ mówiąc: „W ostatnich czasach z wielu stron zalecają wyczerpywanie piasku jako jedyny środek odpowiedni do polepszenia warunków żeglowności, w zupełności zastępujący roboty regulacyjne, jednakże co do Wisły pogląd ten ostać się nie może. Koryto jej zawałone jest mnóstwem ławic piasku tak podwodnych, jak i wystających ponad poziom wody. Ławice te przesuwają się ciągle w dół rzeki wskutek przyborów tak licznych, że odstępy pomiędzy nimi są zbyt krótkotrwałe, aby umożliwić wykonanie przecięcia wzdłuż rzeki dostatecznego dla żeglugi“.

Ale przejdźmy do omówienia wypadków praktycznego zastosowania bagrowania na wielką skalę. Na międzynarodowych kongresach żeglugi w Medjolanie (1905) i w Filadelfji (1912) zaznaczono znaczne udoskonalenie przyrządów do bagrowania, a skutkiem tego i obniżenie

¹⁾ Oest. Monatschrift für den öffentlichen Baudienst, Wiedeń 1900. „Kretzsche Spülbagger“.

²⁾ Przegląd Techniczny, Warszawa 1910.

kosztów bagrowania¹⁾. Na kongresie w Filadelfji jako przykłady rzek, na których zastosowano bagrowanie jako środek samodzielny, podano właściwie tylko Wołgę (poniżej Rybińska, 2663 km) wraz z jej dwiema pobocznymi, Oką (704 km) i Kamą (1203 km) i dolną Łabę, na której do roku 1888 stosowano ten środek wyłącznie, później jednak wykonano budowle regulacyjne. Na rzekach Padzie, Tybrze i Arnie we Włoszech, oraz na Waal w Holandji, przeprowadza się wprawdzie bagrowanie, ale równocześnie ustala się łożysko zapomocą tam regulacyjnych.

Ale przypatrzmy się bliżej w jakich warunkach wykonuje się bagrowania na Woldzie²⁾. Przedewszystkiem jest to olbrzymia rzeka, największa w Europie, o całkowitem dorzeczu 1,460.000 km². Można ją podzielić na 3 główne sekcje, pierwszą od Rybińska (ujście Szeksny) do Niżnego Nowogrodu (ujście Oki), drugą od ujścia Oki do ujścia Kamy, trzecią od ujścia Kamy do ujścia do Morza Czarnego pod Astrachanem. Objętość odpływu przy stanie najniższym wynosi powyżej Niżnego Nowogrodu 238 m³/sek, a pod Astrachanem 2752 m³/sek. Spadek jest wszędzie niezmiernie mały, wynosi bowiem tylko 0,04 do 0,05 m/km. Najmniejsze głębokości przed rozpoczęciem systematycznego bagrowania wynosiły: w sekcji I 55 cm, a w sekcji II 70 cm. W roku 1901 przystąpiono do bagrowania na podstawie ułożonego programu, zakładając dla sekcji I najmniejszą głębokość 1,40 m, dla drugiej 1,80 m. Jak stwierdzają sprawozdania, głębokości te faktycznie uzyskano, a mianowicie w sekcji górnej 1,42 m, w sekcji dolnej 2,13 m w czasie najniższych stanów, przy średniej wodzie dochodzą głębokości do 3,80 m, skutkiem czego mogą płynąć statki ładujące do 8000 ton. Koszt roczny bagrowania miał wynosić 1150 fr. na 1 km biegu rzeki. W sekcji II pracowało stale 5 pogłębiarek o wydajności łącznej 1100 m³ piasku na godzinę, w sekcji I 6 pogłębiarek o wydajności 740 m³. Pogłębianie mechaniczne nie miało tu na celu znoszenia progów, co byłoby stosownie do tego cośmy powyżej powiedzieli błędem, lecz pogłębiarki kopały w progach tylko kanały odpowiedniej głębokości dla przejścia statków.

Przyjmując cyfry podane w sprawozdaniach inżynierów rosyjskich jako ścisłe, oraz że skutki bagrowania na Woldze są zadowolniające, stwierdzić trzeba, że bagrowanie odbywało się tu w warunkach dość wyjątkowych, a mianowicie na rzece wielkiej, o bardzo małym spadku i stosunkowo bardzo słabym ruchu materiału.

1) Podczas gdy na Woldze koszt bagrowania 1 m³ piasku obliczano na 35 fen, koszt wykupu w porcie nowojorskim (12.263 m × 610 m × 12,2 m) miał wynosić 6,4 centima za 1 m³.

2) Sprawozdanie Timonoffa i Kleibera na kongres żeglugi w Filadelfji 1912. *Annales des ponts et chaussées* 1913/VI.

M. Wojtkiewicz „O mechanicznem pogłębieniu Wisły“. Warszawa 1919.

Vide także artykuł w tej sprawie w „Przeglądzie technicznym“. Warszawa 1921.

Streszczając to co powyżej powiedziano, można skonstatować, że bagrowanie może być zastosowane:

1. Jako środek pomocniczy przy regulacji rzek, do uporządkowania progów złożonych z materiału zbyt zbitego, które opierają się działaniu wody, zaś na rzece już uregulowanej do ułatwienia żeglugi, przez periodyczne pogłębianie przejazdu na progach zbyt wysoko położonych.

2. Jako środek do pewnego stopnia równorzędny z budowlami regulacyjnymi; jest to bagrowanie łożyska z równoczesnym ustaleniem linii regulacyjnych zapomocą budowli.

3. Jako środek samodzielny w celu umożliwieniu żeglugi.

Zastosowanie podane pod 2) i 3) jest w praktyce wyjątkowe, a zastosowanie pod 3) nie może mieć pretensji do nazwy regulacji rzeki, zwłaszcza, że oddaje tylko usługi żegludze, a pomija inne cele wymagające regulacji rzeki.

2. Powiększenie głębokości przez zasilanie rzeki w czasie niskich stanów wodą ze zbiorników.

Jest to metoda nowsza w zastosowaniu do rzek jako dróg wodnych, jakkolwiek gromadzenie wody w zbiornikach sztucznych w innych celach stosowano od bardzo dawna.

Jak to już powyżej powiedziano, regulacje rzek przeprowadzone w ubiegłym wieku na wodę średnią, nie były dla żeglugi wystarczające, gdyż nie uzyskano potrzebnych głębokości, wobec tego musiano przystąpić do regulacji na małą wodę, która w przeważnej liczbie wypadków dała wyniki zadowalniające. Jednak pomimo najlepiej i najstaranniej przeprowadzonej regulacji, zmienność opadów, długotrwałe posuchy, jakie trafiają się co pewien czas i wynikłe skutkiem tego bardzo niskie stany wody, są powodem, że żegluga musi w tych czasach przystosować się do mniejszych głębokości, statki zmniejszają ładunek, a nawet ruch ich zupełnie może ustać. Tak na przykład podczas pamiętnej posuchy na wiosnę i w lecie 1904 roku, w środkowej Europie żegluga na rzekach prawie zupełnie zamarła. Takie okresy są dla żeglugi rzecznej, zwłaszcza z uwagi na współzawodnictwo z kolejami żelaznymi, bardzo niekorzystne. Wobec tego już z końcem ubiegłego wieku zaczęto się poważnie zastanawiać nad zwiększeniem przepływu wody w rzekach żeglownych w czasie niskich stanów, przez zasilanie ich wodą nagromadzoną w sztucznych zbiornikach zamkniętych przegradami dolin. Chodzi tu o powiększenie odpływu w ciągu stosunkowo niedługich okresów, trwających conajwyżej kilka tygodni, w których panują bardzo niskie stany, przyczem zakłada się powiększenie głębo-

kości niewielkie, zazwyczaj od kilkunastu do 30 cm. Pomimo jednak tego, że wymogi, tak co do czasu trwania sztucznego powiększania odpływu, jak i co do powiększenia głębokości, nie są nadmierne, jednogodnym prawie prawie zdaniem hydrotechników, środek ten może być stosowany tylko wyjątkowo, gdyż wymaga założenia zbiorników o bardzo znacznej pojemności, oraz, pomijając wypadki wyjątkowo, bardzo znacznych kosztów. Stwierdzono powszechnie, że zastosowanie zbiorników jest tylko wtedy ekonomiczne, jeżeli łączy się z tem prócz zasilania rzek przy niskich stanach, jeszcze inne cele, jak wyzyskanie sił wodnych, ochrona przed powodzią, użycie wody przez przemysł, nawodnienie gruntów i t. p. Rzeczywiście, tak w Europie jak i w Ameryce wypadki zastosowania zbiorników celem zwiększenia głębokości rzek i poprawy żeglugi są stosunkowo rzadkie.

We Francji środek ten stosowany był dotychczas tylko w ograniczonych rozmiarach; De Mas cytuje tylko jeden przykład, a mianowicie zbiornik Settons na Cure, o pojemności 23,000.000 m³, służący do powiększenia odpływu rzeki Yonny w lecie. W nowszych projektach zbiorniki są częściej uwzględniane; tak naprzykład w ostatnich czasach rozpatrywano we francuskiem ministerstwie robót publicznych projekt urządzeń wodnych na Dordogne dla żeglugi i wyzyskania siły wodnej. Wykonane mają być urządzenia reprezentujące przy wodzie średniej 165.000 koni m. Połowa tej siły ma być przeznaczona do elektryfikacji linii kolejowej Paryż-Orlean, reszta dla przemysłu. W Chambon projektuje się zbiorniki z przegrodą doliny 150 m wysoką; zbiorniki ujmować mają 200 milionów m³ o spadzie 45 m i 600 milionów o spadzie 60 m. Dzięki tej gigantycznej budowli przepływ Dordogne ustalony będzie na 75 m³ w ciągu całego roku¹⁾.

W Niemczech wykonano w dorzeczu górnem Wezery²⁾ dwa zbiorniki na Eder pod Hemfurth (202,000.000 m³), i na Diemel pod Helmingshausen (20,000.000 m³), które mają cele następujące: 1) Powiększenie odpływu Wezery przy stanach niskich, 2) oddanie rzece tego, co się z niej zabiera przez pompowanie wody dla zasilenia kanału żeglugi Ren-Hanower, oraz do celów meljoracyjnych, 3) zmniejszenie wielkich wód i 4) wyzyskanie siły wodnej w celu wytworzenia energii elektrycznej.

Zwiększenie głębokości zapomocą wody zasilkowej w czasie niskich stanów ma wynosić w górze między Münden a Karlshafen 0,35 m, w dole, poniżej Allery 5 cm. Objętości najmniejszego odpływu wynoszące pod Münden 9 m³, pod Minden 37 m³, a poniżej ujścia Allery 73 m³ zwiększono skutkiem zasilku ze zbiorników na 40, 50 i 100 m³.

¹⁾ Annales de travaux publics de Belgique 1919 I.

²⁾ Vide powyżej przedstawione wyniki regulacji Wezery na małą wodę.

Projekt regulacji Łaby na małą wodę liczy się również z wykonaniem zbiorników, a na Odrze już ustawa o budowie dróg wodnych w Prusiech z r. 1905 przewidywała wykonanie zbiorników dla zwiększenia odpływu przy stanach niskich. Projektowano mianowicie wtedy wykonanie zbiornika pod Krappitz na Osobladze (Hotzenplotz) o pojemności 7 milionów m³, który przy dwukrotnem napełnieniu co roku wystarczyłby przypuszczalnie do podniesienia stanów wody na dolnej Odrze o 15 cm przez dni 14.

Taki jednak zbiornik okazał się przy bliższem badaniu jako zupełnie niewystarczający, jakkolwiek zamierzone jest tylko podniesienie zwierciadła wody w partji poniżej Wrocławia o 15 cm. Zapomocą regulacji na małą wodę spodziewane jest uzyskanie głębokości 1,25 m, resztę do potrzebnej głębokości dla statków 400—500 tonowych ma dopełnić woda zasilkowa ze zbiorników. Wobec tego zaprojektowano dwa inne zbiorniki, jeden na małej Panwi, drugi na Nissie Kładzkiej pod Otmachowem. Ten ostatni ma mieć 118 milionów m³ pojemności, z czego zużywać się ma 86 milionów m³ jako wodę zasilkową, 23 miliony m³ utrzymywane będzie niewypełnione dla ochrony przed powodzią, wreszcie pewna część służyć ma do celów hodowli ryb.

Na XII kongresie żeglugi w Filadelfji sprawa zasilania rzek żeglownych wodą ze zbiorników była przedmiotem obszernej dyskusji, przyczem podano między innymi następujące przykłady:¹⁾

Przedstawiciel Stanów Zjednoczonych wyraził zdanie, że możliwość poprawy żeglugi zapomocą zbiorników jest wątpliwa, nawet w tak wyjątkowych warunkach jak na Mississippి górnej, gdzie można zamagazynować 2.615,200.000 m³ wody, kosztem tylko 3,390.000 franków (zbiorniki w Wyoming pod Colorado Chittenden); powiększenie głębokości wynosiłoby pod Saint-Paul tylko 30 cm, a 82 km poniżej zanikałoby zupełnie. Studja przeprowadzone w dorzeczu rzek Alleghany i Monongahela (dopływy Ohio) wykazały, że przez założenie 17 zbiorników kosztem tylko 110,000.000 fr. można zamagazynować 1.701,000.000 m³ wody, a skutkiem tego zniżyć stan wielkiej wody pod Pittsburgiem o 3 m i podnieść stan małej wody rzeki Ohio pod Whelling (96 km poniżej Pittsburga) o 70 cm. Są to jednak wypadki bardzo wyjątkowe, gdzie dla założenia zbiorników istnieją szczególnie korzystne warunki; wiele projektów tego rodzaju opracowanych w ostatnich czasach w Ameryce upadło z powodu nadmiernie wysokich kosztów, a zbyt małych korzyści.

Dla Łaby w przestrzeni między Litomierzycami a Uściem²⁾, leżącej na dolnym końcu partji skanalizowanej, obliczono, że sama regulacja

¹⁾ Sprawozdanie z kongresu, Annales des ponts et chaussées 1913, VI.

²⁾ Sprawozdanie inż. B. Müllera na kongres.

zdoła wytworzyć tylko głębokość 1,60 m przy stanach niskich, dla statków zaś 700—900 ton, jakie tam kursują, potrzeba głębokości 2,00 m, którą uzyskać można, zapewniając rzece minimalną objętość przepływu 163 m³/sek. Jeżeli się weźmie za podstawę łożysko naturalne, nieuregulowane, to trzeba by założyć zbiorniki o łącznej pojemności 1.300.000.000 m³, czyli zamagazynować prawie połowę całkowitego rocznego odpływu rzeki, a w latach wyjątkowo suchych pozostałoby ponad tę objętość jeszcze znacznie mniej, np., jak w roku 1904, zaledwie 798.000.000 m³.

W razie uwzględnienia regulacji dotychczas wykonanej, potrzebna pojemność zbiorników zmniejsza się na 842.000.000 m³, jeżeli zaś wykonana się regulację uzupełniającą, która przypuszczalnie dałaby głębokość 1,60 m, pojemność zbiorników spada na 300.000.000 m³.

Koszta robót wyniosłyby w tym ostatnim wypadku 162.000.000 franków, z czego na zbiorniki wypada 157.000.000 fr., podczas gdy kanalizacja tej przestrzeni 28 km długości kosztowałaby tylko 13.000.000 franków. Wobec tego autor sprawozdania stwierdza również, że zbiorniki, z powodu wysokich kosztów, mogą być w celu poprawy żeglugi tylko wyjątkowo stosowane.

Przykład ten interesujący jest z tego powodu, iż opiera się na warunkach naturalnych rzeki, jednak do porównania kosztów kanalizacji z kosztami zbiorników się nie nadaje, gdyż wzięto tu za podstawę zbyt krótką przestrzeń rzeki i wyjątkowo trudne warunki założenia zbiorników w dorzeczu Łaby. Niewątpliwie kanalizacja góruje nad innymi metodami poprawy żeglugi tem, że można zapomocą tego środka zwiększyć głębokość w szerokich granicach, jednak żegluga na rzece skanalizowanej zatracza charakter żeglugi wolnej, gdyż tak ruch towarowy jak i osobowy doznają skutkiem potrzeby śluzowania statków utrudnień.

Celowość i doniosłość różnych metod poprawy żeglugi charakteryzują wyniki obrad XII Kongresu żeglugi, odbytego w r. 1912 w Fildelfji, które streścić można w następujących punktach: ¹⁾

1. Na rzekach o spadku umiarkowanym i dostatecznej ilości wody przy stanie niskim, można poprawić żeglugę przez wykonanie budowli regulacyjnych, oraz zapomocą sztucznego pogłębienia (bagrowania), które to roboty mogą być wykonane łącznie, albo odrębnie, w proporcji zmiennej. Głębokość jaką można uzyskać jest funkcją objętości przepływu i spadku, jednak w ogólności ograniczają ją warunki przyrodzone rzeki.

2. Kanalizacja rzeki, względnie wykonanie kanału bocznego, (lateralnego), jest konieczna, jeżeli z powodu znaczniejszego spadku a małych objętości przepływu nie można osiągnąć potrzebnej głębokości. W każ-

¹⁾ Annales des ponts et chaussées 1913, VI. j. w.

dym razie decyzja co do kanalizacji powinna zapaść po dokładnem rozważeniu kwestji ekonomicznych i technicznych, a w szczególności, czy zwiększony wydatek na kanalizację jest usprawiedliwiony potrzebami ruchu, z uwzględnieniem jednolitości całej drogi wodnej, wreszcie, czy nie można zwiększyć głębokości przez zasilanie wodą ze zbiorników. Zastosowanie zbiorników ogranicza się jednak do wypadków dość wyjątkowych, gdyż zwykle koszta ich są zbyt duże, nieproporcjonalne do osiągniętych korzyści. Wyjątkowo, o ile i inne cele, jak wyzyskanie sił wodnych w celu produkcji energii elektrycznej, ochrona przed powodzią, etc. mogą być z budową zbiorników związane, wykonanie ich może się okazać ekonomiczne.

3. Kanalizacja może być zupełną, jeżeli się rozciąga na cały bieg rzeki, lub na długą jej partję, albo częściową, jeżeli kanalizuje się tylko szczególnie niekorzystne przejścia. Staje się ona niewykonalna, o ile brzegi są zbyt niskie, łożysko zbyt szerokie, a fundowanie budowli zbyt kosztowne. Czy zastosować kanalizację, czy kanał żeglugi w dolinie rzeki (kanał boczny, lateralny), decyduje o tem obliczenie kosztów.

4. Nie zaprzeczając doniosłości studjów naukowych i doświadczeń laboratoryjnych na modelach w podziale zmniejszonej, zaznacza się, że nic nie może zastąpić, odnośnie do regulacji rzek, obserwacji robót czynionych bezpośrednio na rzekach i obserwacji przestrzeni próbnych.

5. Pożądanem będzie ułożenie „formularza“ dla rzek, zalecanego już poprzednio przez kongresy żeglugi, oraz opracowanie kompletnej monografji każdej rzeki regulowanej, podającej jej charakterystykę, roboty wykonane na niej w różnych epokach i osiągnięte wyniki.

Co do żądania kongresów, aby wszystkie rzeki żeglowne objąć jednolitym formularzem statystycznym, celem uzyskania łatwej orientacji co do ich warunków przyrodzonych, stopnia żeglowności, oraz stanu robót regulacyjnych, zauważa się, że opracowanie takie byłoby niezmiernie pożyteczne i dawałoby możliwość porównywania rzek żeglownych między sobą, oraz z góry pewne przybliżone wskazówki, co na rzekach dotychczas nie uregulowanych da się zapomocą regulacji osiągnąć. W formularzu takim powinny być podane te znamiona, które decydują o stopniu żeglowności rzeki, a więc przede wszystkim dla odcinków między głównymi dopływami przeciętne spadki i objętości przy stanach absolutnie najniższym, średnim najniższym i powiedzmy, jak dla naszych stosunków, trwającym 215 dni w okresie żeglugi, dalej dla rzek uregulowanych głębokości uzyskane przy tych stanach, dla innych, głębokości spodziewane, dalej charakterystyka metody regulacji i stan robót regulacyjnych, przeszkody naturalne, rodzaj materiału rzeczno i charakter ruchu rumowiska.

CZĘŚĆ 5.

Zabudowanie potoków górskich.

(Correction des torrents, Verbauung der Wildbäche).

Mają one cel podwójny; początkowo wykonywano je przedewszystkiem w celach lokalnego znaczenia, chodziło o usunięcie katastrof w górach, usuwisk stoków, zniszczenia roślinności, siedzib ludzkich, wreszcie komunikacji, a więc dróg i kolei — w miarę jednak doświadczenia nabytego przy regulacji rzek uznano, że racjonalne przeprowadzenie zabudowania potoków umożliwia dopiero należyte zrealizowanie się regulacji dalszej części biegu rzeki. Regulacja ta tylko w takim razie będzie zupełną i skończoną, jeżeli przez przedsięwzięcie odpowiednich zarządzeń w górach i wykonanie pewnych robót w łożyskach potoków górskich, ograniczy się wytwarzanie mas materiału ruchomego, a przeważną część wytwarzanego materiału zatrzyma w obszarze górskim. W ten sposób odciąża się rzeki, umożliwiając im oczyszczenie łożysk z zalegającego je rumowiska, oraz wykształcenie profilów odpływu¹⁾.

W literaturze fachowej znaleźć można rozmaite zasady podziału potoków, a mianowicie według ich położenia, charakteru, spadku, długości, rodzaju podłoża, geologicznych znamion terenu i t. p. Surell²⁾, a za nim E. Thiéry³⁾ dzielą biegi wód na rzeki (rivières), rzeki o charakterze potoków górskich (rivières torrentielles) i potoki górskie, oraz strumyki („torrents“ i „ruisseaux“) i charakteryzują je następująco:

¹⁾ Zatrzymanie rumowiska w górach wspomaga rozwój gospodarstwa wodnego w dolinach górskich, ułatwia wyzyskanie sił wodnych, uregulowanie odpływu wód, wyzyskanie wody odpływającej przy stanach wysokich przez gromadzenie jej w zbiornikach, wykonanie nawodnień, etc.

²⁾ „Étude sur les torrents des Hautes-Alpes“, Paris 1872.

³⁾ „Restauration des montagnes“, Paris 1891.

Rzeki płyną w dolinach szerokich, mają znaczniejsze objętości wody i wezbrania dłużej trwające, dalej spady nie przekraczające 0,015 (15‰) i mało zmienne na znaczniejszych długościach; wiją się w szerokim łożysku, z którego przy stanach zwykłych zajmują tylko małą część. Druga kategoria, t. j. rzeki o charakterze potoków górskich, mają już dolinę krótszą i węższą, silne i częste zmiany spadku, odpływ wody mniej wydatny. Brzegi są silniejsze, więcej ścięzione i mniej zmieniają położenie; spad ich nie przekracza 0,06 (60‰). Potoki górskie (torrents) odznaczają się tem, że płyną krótkimi dolinami, wezbrania mają przebieg gwałtowny i krótki i są prawie zawsze nagle i niespodziewane. Spad ich przekracza na znacznej długości 0,06 (60‰) i nie schodzi poniżej 0,02 (20‰). Potoki górskie erodują w górach, a składają materiał w dolinach, wijąc się w obrębie tych złożów. Strumyki (ruisseaux) mają małą ilość wody, bieg mało rozwinięty. Płyną bądź to na spadkach słabych, bądź też jeżeli mają silne brzegi i dno, nie erodują i nie transportują wiele materiału, tworząc kaskady.

Ten podział, jak sami autorzy twierdzą, nie może być uważany jako bezwzględny; jak wszędzie w przyrodzie, tak i tu muszą istnieć typy przechodnie i mieszane.

Podaliśmy tu ten podział z tego powodu, ponieważ uwzględnia on stosunkowo trafnie zasadnicze znamiona przyrodzone wód płynących, jednak co do spadków rozgraniczających poszczególne kategorie zauważyć należy, że oparte są one na warunkach w Alpach, a dla naszych stosunków (przedewszystkiem w obszarze Karpat) byłyby te wartości może zbyt wysokie. Natomiast jako bardzo trafny uznać należy podział potoków na potoki górskie i strumyki, pierwsze o charakterze gwałtownym, drugie o łagodniejszym — potrzebę takiego rozróżnienia nasuwa prosta obserwacja części biegów wód najbardziej w górę wysuniętych; przecież nie każda rzeka kończy się w górze potokiem górskim, lub jak inni nazywają dzikim, lecz zakończenie to ma często charakter łagodnego strumyka, nie erodującego, ani nie transportującego wiele materiału.

Jako osobny rodzaj potoków możnaby uważać wyrwy (debry, parje, ravin, Runse). Są to niejako małe potoki, przeważnie niemające odpływu w czasie posuchy, chyba ze źródeł. Tworzą one początkowe części potoku w jego obszarze zbiorczym i występują wybitnie przedewszystkiem w obszarach pagórkowatych, a nawet łagodnie falistych i słabo zalesionych.

Dalej dzielą potoki na pojedyncze, mające tylko jedną szyję, z którą łączą się wyrwy i złożone, składające się z większej liczby potoków, których osobno wykształcone szyje łączą się w szyję wspólną.

Wreszcie istnieje podział najprostszy, według położenia potoku, a mianowicie 1) na potoki w wysokich górach, 2) w górach i pagórkach i 3) w równinach. U nas w Polsce mamy do czynienia przedewszystkiem

z drugą i trzecią kategorią (potoki górskie i strumyki), które przechodzą następnie w rzeki o charakterze górkim. Potoki górskie nazywają także potokami dzikimi lub bystrzycami.

Jak z krótkiego opisu właściwości potoków górskich podanego w części I wynika, potok górski można podzielić na trzy części, a mianowicie: 1) obszar zbiorczy, czyli zbiorowisko (Sammelbecken, bassin de réception), 2) szyję (Kehle, Tobel, Klamm, Sammelkanal, gorge, canal d'écoulement) i 3) stożek usypowy (Schuttkegel, cône de déjection), z których pierwsza stanowi obszar, gdzie tworzy się przeważna część rumowiska i licznymi rynnami dąży w dół, trzecia stanowi obszar składu, druga zaś połączenie obydwu¹⁾. W każdej z tych części zarządzenia ochronne i zabudowanie mają inny cel i charakter, inne środki będą w nich stosowane, musimy je przeto omówić odrębnie. W ogólności jednak dąży się tu 1) do utrwalenia powierzchni zlewni potoku przeciw wpływom atmosferycznym, a więc działaniu mrozu, wietrzeniu, rozmyciu i uniesieniu części ruchomych przez wodę 2) do powstrzymania erozji, wywołanej siłą poruszającą wody w czasie wezbrań, oraz słabą odpornością dna. Wynika z tego, że należy utrwalić dno, a zmniejszyć siłę poruszającą wody, łamiąc spadek zapomocą stopni; 3) do ustalenia położenia potoku celem ochrony stoków przed podmyciem i 4) do zatrzymania wytworzonego rumowiska w obrębie gór. Przytem pamiętać należy, że wszelkie budowle i zarządzenia opóźniające odpływ i utrudniające koncentrację wody działają nader korzystnie, gdyż koncentracja odpływu wywołuje podwyższenie stanów wody, zwiększenie siły poruszającej, a zatem i zwiększenie erozji.

Jeżeli uświadomimy sobie ważność zabudowania potoków z uwagi na umożliwienie należytej regulacji rzek, to wynika z tego, że roboty w górskiej części dorzecza rzeki nie mogą się ograniczać do zabudowania jednego potoku, lecz projekt musi objąć całokształt potrzebnych robót, a zatem wszystkie potoki, które z uwagi na wytwarzanie i transport wielkich mas materiału ruchomego musi się zabudować, w obrębie zaś każdego potoku wykreśla się na planie obwód (périmetr), ograniczający obszar robót.

¹⁾ Demontzey zgodnie z Surellem („Reboisement et gazonnement des montagnes“ Paris 1882) dzieli jeszcze potoki z uwagi na pochodzenie rumowiska na dwie klasy, z których pierwsza (potoki rumowiskowe) obejmuje potoki prowadzące rumowisko wyłącznie z obszaru zbiorczego, druga zaś klasa potoki otrzymujące jeszcze znaczną część rumowiska w dalszym biegu, przez spadanie gruzu skalnego ze stoków. W tej drugiej klasie odróżnia osobno potoki zasilane przez lodowce (torrents à casses, à claptes). Tensam autor dzieli również potoki stosownie do położenia obszaru zbiorczego w górach na 1) potoki, które po opuszczeniu szyji płyną w prawdziwej dolinie, 2) które wychodząc od działu wód idą w linii największego spadu i 3) których źródło jest poniżej działu wód, na stoku szyji.

Obszar robót składa się z obszaru zalesienia i z obszaru zabudowania. Przed rozpoczęciem robót wydać należy zarządzenia ochronne, do których należy także zakaz pasienia bydła.

Thiéry¹⁾ rozróżnia dwa okręgi ochronne, pierwszy, obejmujący najważniejszą część zlewni, gdzie chodzi głównie o ochronę i drugi ciaśniejszy, obejmujący tereny obszaru zbiorczego najbardziej uszkodzone i brzegi położone poniżej szyji, stanowiące bezpośredni obszar zabudowania i zalesienia.

Między potokami w dorzeczu danej rzeki będą i takie, które nie wymagają ani zabudowania, ani zalesienia, inne zaś posiadające niedostatecznie zalesioną zlewnię, o silnej erozji i znacznych ilościach materiału ruchomego, będą wymagały starannego zabudowania i zalesienia.

Pierwsze zabudowania na wielką skalę wykonywano we Francji około połowy 19 wieku, później w Szwajcarii, w południowych Niemczech, we Włoszech i w Austrii. W Małopolsce i na Śląsku Cieszyńskim rozpoczęto zabudowywać potoki od roku 1894, jednak w tempie stosunkowo bardzo powolnem, akcja ta wzmogła się znacznie od roku 1909, jednak z rozpoczęciem wojny światowej prawie zupełnie zamarła.

1. Roboty w obszarze zbiorczym (zbiorowisku).

Jak stwierdza Kreuter²⁾, głównym celem zabudowań potoków jest umożliwienie zalesienia nagich stoków górskich, względnie ochrona istniejących lasów przed zniszczeniem. Woda spływająca w czasie gwałtownych ulew po stokach zmywa ziemię urodzajną, niszczy murawę pokrywającą stoki i kultury leśne, a w dalszem następstwie, w miarę postępu wietrzenia skał, unosi materiał grubszy, żwir i kamienie. Każdy stok jest tylko tak długo w równowadze, jak długo pochylenie jego nie przekroczy pewnej granicy; w miarę usuwania się materiału i podmycia przez odpływającą wodę od spodu, traci warunki równowagi, a woda spływająca po nim skutkiem swej siły poruszającej porusza z łatwością coraz to większe masy materiału. Także i woda gruntowa wnikać w warstwy przepuszczalne może wywołać usunięcie się stoku, przede wszystkim wtedy, jeżeli nagromadzi się w podziemnej przepuszczalnej warstwie na warstwie nieprzepuszczalnej o znaczniejszem pochyleniu, po której może się sunąć, lub też przez rozmożenie zewnętrznej powierzchni stoku i uszkodzenie jej skutkiem występowania wypływów w postaci źródeł.

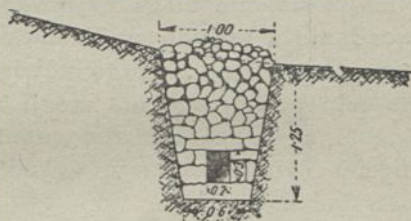
¹⁾ „Restauration des montagnes“, j. w.

²⁾ „Der Flussbau“, Handbuch der Ingenieurwissenschaften III Teil, VI Bd. Lipsk 1910.

Jak już poprzednio powiedziano, obszar zbiorczy trzeba tak ubezpieczyć, aby nie było możliwe wytwarzanie się pól rumowiskowych (ławie rumowiska), a uzyskuje się to przez zabudowanie wyrw, oraz przez zalesienie i zamurawienie.

Zabudowanie wyrw, które na niezamurawionym i niezalesionym terenie tworzą się łatwo, szybko mnożą i rozwijają, odbywa się według tychsamych zasad co zabudowanie szyji, zatem w szczególności na tym miejscu wchodzić nie będziemy. Zauważa się tylko, że podobnie jak w szyji trzeba utrwalić dno wyrw. Powyżej granicy zalesienia można wypełnić dno wyrw kamieniem, dalej zaś poniżej dobre zalesienie dna i stoków jest najlepszą ochroną przed dalszą erozją. Dno wykształconych i pogłębionych wyrw można dobrze ubezpieczyć zapomocą wypalikowania (Verpflockung) dna i wyłożenia przestrzeni między palikami kamieniem¹⁾. Celem utrwalenia dna i złamania spadku wykonuje się progi, stopnie i przegrody, podobnie jak w szyji. Stoki o zbyt wielkim nachyleniu skarpuje się i zalesia.

Celem osuszenia rozmokłych nagich stoków wykonuje się drenowania, wcięcia wypełnione kamieniem (sączki) z kanalikiem lub bez (rys. 173), a skąrpę ustala zapomocą plotków i zalesienia.



Rys. 173.

Zalesienie (Reboisement, Bewaldung).

Jak z poprzedniego wynika, najważniejszym środkiem uzdrowienia stosunków w górach jest zalesienie, a inne roboty służą właściwie tylko do umożliwienia i utrwalenia zalesienia. Zalesienia wykonuje się pod kierunkiem zawodowych inżynierów leśników, na tem miejscu dotknijemy tylko pewnych ogólnych zasad.

Istnieniu dobrego zalesienia w górach przypisują tak dawniejsi, jak i nowsi autorzy, bardzo doniosłe skutki. Surell stwierdza 1) że pokrycie gór dobrą kulturą leśną przeszkadza tworzeniu się dzikich potoków, 2) usunięcie kultury leśnej wytwarza dzikie potoki, 3) zanik lasów i pokrycia warstwą urodzajną zwiększa siłę górskich potoków, 4) zwiększenie obszaru lasów i nowe zalesienia przyczyniają się do uspokojenia górskich potoków.

¹⁾ E. Dubislav „Wildbachverbauungen und Regulierungen von Gebürgsflüssen“, Berlin 1902.

Wang¹⁾ w zasadzie zgadza się z Surellem, zauważa jednak, że istnienie lasu nie chroni bezwzględnie przed powstawaniem dzikich potoków, gdyż nawet w dobrze zalesionych obszarach takie potoki się tworzą. Inni autorzy przypisują lasom wielkie znaczenie z uwagi na regulowanie odpływu wód (zatrzymywanie i opóźnianie odpływu²⁾), o czym pomówimy obszerniej w części następnej; że zabudowania i zalesienia mają niezmierną doniosłość z uwagi na powstrzymanie ruchu rumowiska, nie ulega najmniejszej wątpliwości. W tym kierunku sprawozdanie z zabudowań i zalesień w Czechach przypisuje im nawet wybitny wpływ na żeglugę mówiąc: „Zabudowania mają przede wszystkim na celu powstrzymanie erozji i ruchu rumowiska, co jest niezmiernie ważne z uwagi na utrzymanie żeglugi na rzece głównej, oraz uniknięcie różnego rodzaju szkód, jakie skutkiem spławianego materiału powstać mogą³⁾”.

Według Demontzey'a⁴⁾ zalesienie ma stworzyć wegetację drzewną odpowiadającą następującym warunkom:

1. Wegetacja ma posiadać korzenie dostatecznie silne, aby ująć ziemię urodzajną w gęstą sieć, utrzymać ją w stanie przepuszczalnym i ochronić przed rozluźnieniem i uniesieniem przez wodę.

2. Stworzyć ochronę powierzchni przed wpływami atmosferycznymi.

3. Dostarczyć humusu w większej obfitości i użyźnić ziemię celem zwiększenia siły wegetacji, z drugiej zaś strony w celu uregulowania i opóźnienia odpływu wody z deszczów i śniegów.

4. Utrzymać bez przerw chwilowych lub trwałych te zbawienne skutki i ulepszyć je jeszcze z biegiem czasu.

Obszary ze skał łatwo wietrzejących, jak wapieni, łupków wapiennych i margli, łupków ilowych, niewytrzymałych piaskowców, wymagają przede wszystkim jaknajspiesniejszej ochrony wegetacją leśną. Na górach nagich ze skał pierwotnych, oraz piaskowcowych, zalesienie nie jest trudne, natomiast znacznie trudniej stworzyć wegetację leśną na skałach wapiennych. Obszary w pobliżu lasów mogą otrzymać kulturę leśną przez zasiew naturalny, gdzie to zaś nie jest możliwe, sadi się sadzonki, względnie siew nasiona.

Abby zdecydować jakie gatunki drzew należy sadzić, względnie siał, trzeba się oprzeć na doświadczeniu; zależy to przede wszystkim od warunków geologicznych, klimatycznych i położenia pod względem

1) „Grundriss der Wildbachverbauung“, Lipsk 1903.

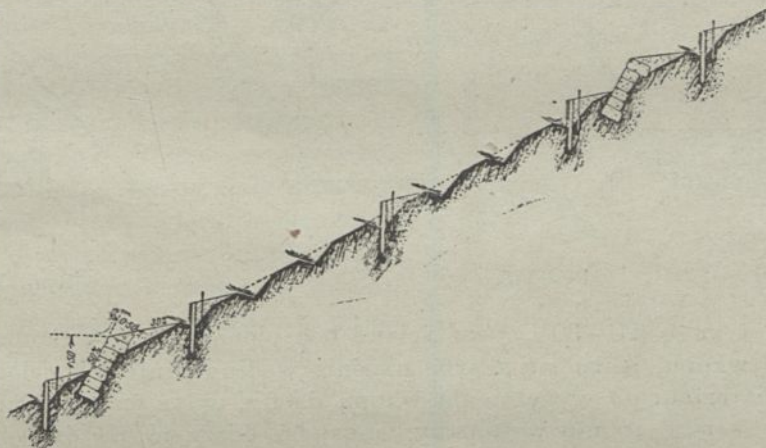
2) Patrz „Erster Jahresbericht der Landes-Kommission für Flussregulierungen im Königreich Böhmen“. Praga 1906.

3) Zweiter Tätigkeitsbericht der Landeskommission für Flussregulierungen im Königreiche Böhmen für die Jahre 1906 und 1907. Praga 1908.

4) Reboisement... j. j.

wysokości. Wogóle jednak trzeba stosować się do wskazówek, jakie nam daje sama przyroda i przede wszystkim stosować gatunki w kraju rozpowszechnione.

Wykonanie sadzonek wymaga poprzedniego wżruszenia ziemi. Celem uzyskania potrzebnej liczby sadzonek, zakłada się szkółki drzewne, z których główne, stałe, w stosownym miejscu założone, tworzą t. zw. szkółki centralne i zasilają inne mniejsze, t. zw. szkółki ruchome, zakładane w miarę potrzeby blisko miejsc zalesienia. Sadzenie jest regułą, nato-



Rys. 174.

miast sianie nasion drzew stosuje się w ograniczonych rozmiarach. Nasiona najlepiej wyhodować, kupne trzeba poddać badaniu w stacji kontrolnej.

Co do sadzenia, to używa się albo odcinków, albo całych drzewek. Odcinki (najczęściej wierzb lub topoli) powstają w ten sposób, że pędy obcina się albo na obu końcach, albo tylko na jednym, pozostawiając im koronę. W pierwszym wypadku mają 0,3—1 m długości, w drugim 2—3 m. W miękiej ziemi można je wpychać, w piasku i żwirze trzeba robić otwory. Odstępy sadzonek wynoszą 60—80 cm. Naokoło daje się trochę ziemi, aby sadzonkę utrwalić.

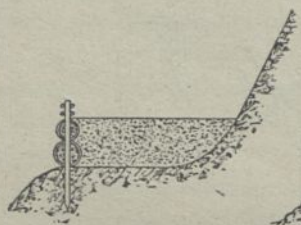
Na stoku spokojnym można sadzić wprost, stok zerwisty trzeba najpierw utrwalić zapomocą płotków rosnących (żywych). Można także, zamiast sadzić pionowo, rozścielać pręty na stoku, przyciskać je zapomocą niskich płotków i przykryć cienką warstwą ziemi¹⁾. Korzystne jest również wykonanie na stoku rowków poziomych, płotków, lub małych murków oporowych i wykonanie sadzonek jak to wskazuje rys. 174²⁾.

¹⁾ Patrz Wang j. w.

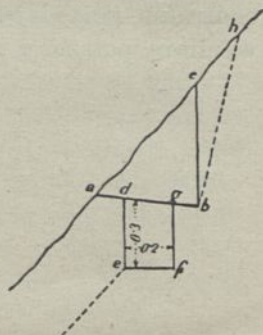
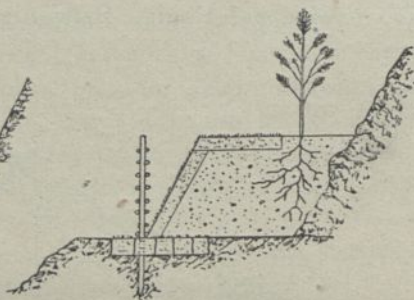
²⁾ Według „Denkschrift über die aus Anlass der Überschwemmung im Jahre 1882 in den Jahren 1883—1893 ausgeführten Wildbachverbauungen in Tirol“. Innsbruck 1894.

Na stokach stromych, skalistych, trzeba wykonać ławeczki poziome celem umożliwienia zalesienia. Warstwę humusu zatrzymują kieszki faszynowe i płotki (clayonnage, Flechtwerke), jak to wskazuje rysunek 175.

Na stokach stromych, o gruncie suchym, zbitym, przez który korzenie roślin nie mogą się przebić, wykonywano także prócz ławeczek a b c (rys. 176) jeszcze wkop d e f g. Ławeczkę należy założyć w pochy-



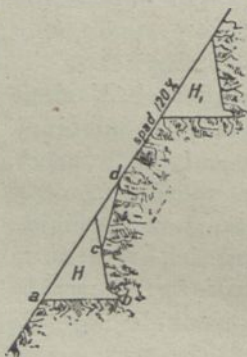
Rys. 175.



Rys. 176

leniu od a ku b (20—30%), zaś ścianę b c pionowo. Po wykonaniu ławeczki i wkopu, ścina się skarpe ukośnie według linii b h celem uzyskania materiału do wypełnienia wkopu d e f g, gdyż materiał poprzednio wykopany, musiano odrzucić na dno parowu. Roboty takie wykonuje się jednak tylko wyjątkowo, gdyż są bardzo kosztowne. Sadzenie musi być wykonane umiejętnie i rozważnie, gdyż gruz spadający ze stoku i spływająca woda mogą sadzonki zniszczyć, oraz zerwać skarpe wzdłuż linii e x'.

Zamiast takiego wykonania proponuje Demonstrey wykonanie prostsze, korzystniejsze i tańsze, jako tak zwane zalesienie obwodowe (kordonowe, plantation en cordons), które przeprowadza się w sposób następujący (rys. 177):

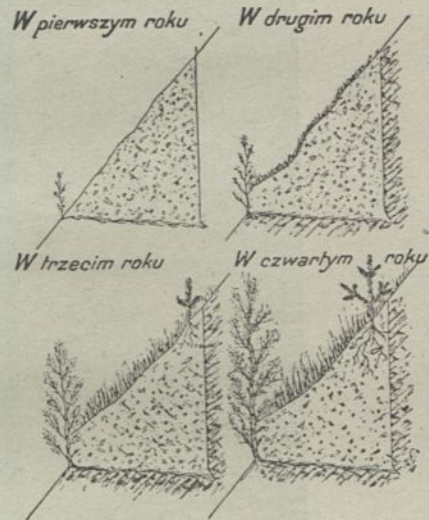


Rys. 177.

Rozpoczyna się od wykonania ławeczki H, przy czym robotnik zrzuca ziemię na dno parowu. Następnie kładzie się ciasno sadzonki (rys. 178) tak,

aby przejście z pnia do korzenia spadało około 10 cm w kierunku od a ku b. Przez ścięcie skarpy według linii c—d uzyskuje się trochę materiału do tymczasowego ich przykrycia. Równocześnie inni robotnicy wykonują ławeczkę H₁ i działając w porozumieniu z wykonującym sadzenie na ławeczce H, zrzucają na nią materiał, który przykrywa sadzonki. Postęp zalesienia i wzrost sadzonek w pierwszych czterech latach uwidoczony jest na rysunku 178.

W zasadzie na zerwistych stokach należy kultywować drzewa, które ziemię dobrze wiążą, nie są zbyt rosłe i ciężkie, gdyż takie drzewa ulegają łatwo wiatrom i trąbie powietrznej i zamiast chronić stok, mogłyby w takim razie być powodem usuwania się materiału, a powalone drzewa mogą stworzyć zaporę i wywołać spiętrzenie wody. Wang¹⁾ zgodnie z autorami francuskimi stwierdza, że w pierwszej linii nadają się tu drzewa liściaste, w drugiej dopiero szpilkowe. Z liściastych przede wszystkim różne gatunki olchy, wierzby, topoli, dalej akacja, buk, klon i wiąz. Dąb wymaga niższego i cieplejszego położenia. Drzewa liściaste są również pewniejsze z uwagi na pożary, które w razie długotrwałej posuchy obejmują i niszczą nieraz znaczne obszary lasów, oraz z uwagi na owady. Z drzew szpilkowych wchodzi przede wszystkim w rachubę sosna, oraz świerk i modrzew, które to dwa ostatnie gatunki wytrzymują także i ostrzejszy klimat. Limba wymaga sadzenia na wysokich południowo-wschodnich i zachodnich stokach, z świeżą, silną ziemią, modrzew głębokiej, luźnej ziemi. Świerk chroni dobrze, przede wszystkim jako młody las; las stary nie jest bezpieczny, gdyż ulega łatwo trąbie powietrznej.



Rys. 178.

Podobnie i Thiéry daje pierwszeństwo na stokach usuwistych i na odsypiskach powstałych przez zamulenie przegród sadzonkom liściastym. Uważa, że mają one zawsze zapewniony rozwój, nawet i tam, gdzie sadzonki drzew szpilkowych udać się nie mogą. Przypisuje im również większe znaczenie z uwagi na związanie i utrzymanie warstwy urodzajnej. Na odsypiskach uzyskanych skutkiem wykonania stopni i przegród, radzi sadzić sadzonki topoli lub wierzby, które już w pierwszym roku utrwalają grunt i w krótkim czasie dają materiał do robót, a więc na płotki, faszyny i sadzonki. Jeżeli dla utrwalenia potoku nie potrzeba innych budowli jak tylko robót żywych (płotki rosnące, sadzonki), to korzystnie będzie sadzić olchę białą w regionach średnich, olchę zieloną i wierzbę łykową w obszarach wzniesionych. Na odsypiskach poza przegradami można sadzić również wiązy, jasiony, klony, a odstępy między

¹⁾ Wildbachverbauung j. w.

nimi wypełnić sadzonkami wierzby i topoli. Bardzo korzystne jest sadzenie między drzewami rozmaitych rodzajów krzewów, które przez swe korzenie przyczyniają się znakomicie do zagęszczenia sieci wiążącej ziemię urodzajną.

Celem utrwalenia dna wyrw i przyspieszenia na nich porostu, używają we Francji sposobu zwanego „garnissage“. Polega on na tem, że

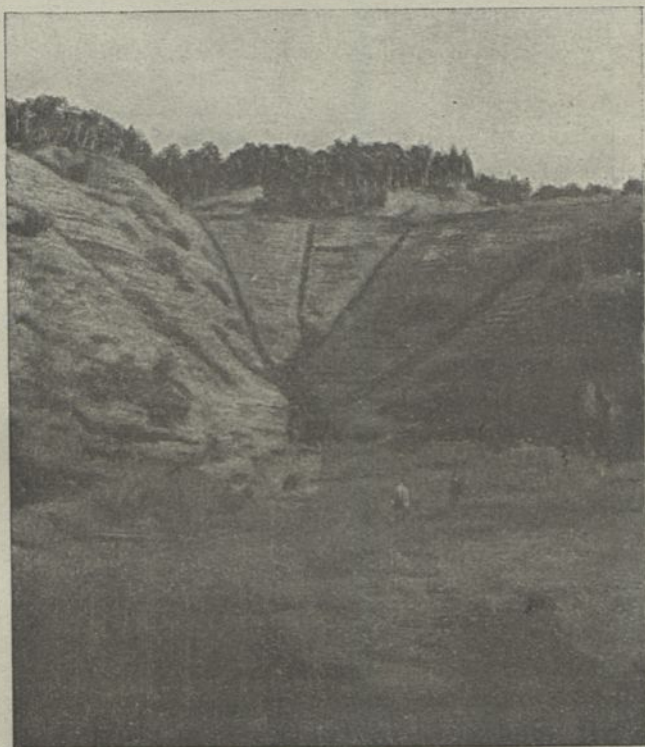


Rys. 179.

dno wyrwy pokrywa się nieprzerwaną warstwą pni małych drzewek łącznie do 1 m grubości, lub gałęzi. Postępuje się w ten sposób, że zaczynając od dołu, wbija się grubsze końce w ziemię, a szczyty układa ku górze, następnie daje na krzyż krąglaki, przymocowuje palami, oraz obciąża kamieniem. Warstwa taka gdy się zamuli, tworzy znakomity podkład do naturalnego lub sztucznego zalesienia, lub zamurawienia. Można tu także sadzić wiklinę i siać trawy.

Piękne zalesienie wyrw w Glińsku pod Żółkwią, przeprowadzone przez byłą Sekcję zabudowań potoków w Samborze, przedstawiają rys. 179, 180 i 181, dające obraz przed zalesieniem, tudzież w 3 i 10 roku po zalesieniu; widać tu ławeczki na stoku i płotki kordonowe. Sadzono olchę czarną i akację.

Powiedziano powyżej, że zalesienie drzewami liściastymi jest łatwiejsze do przeprowadzania, zwłaszcza w warunkach trudnych, gdzie jakość



Rys. 180.

gruntu utrudnia rozwój kultury drzew szpilkowych. Nie wynika z tego jednak zupełnie, jakoby zalesienie drzewami szpilkowymi odbywało się zupełnie wyjątkowo. Tak na przykład ze sprawozdań o zabudowaniach i zalesieniach w Czechach ¹⁾ wynika, że na zalesionych w r. 1905 w obszarach potoków górskich 126 ha, użyto 225.000 sadzonek świerku, 45.000 sosny białej, 130.000 sosny czarnej, 50.900 sosny karłowatej, 80.000 modrzewia, zaś 150.000 akacji, 7.000 innych drzew liściastych i 5.500 kg.

¹⁾ „Erster Jahresbericht...“ i „Zweiter Tätigkeitsbericht...“ j. w.

żołędzi. W latach 1906 i 1907 użyto na obsadzonych 581,72 ha 1,192.000 sadzonek białej sosny, 915.550 świerku, 733.100 sosny czarnej, 367.800 innych gatunków sosny, 199.050 modrzewia i 86.000 innych drzew szpilkowych, zaś 1,022.500 akacji, 166.000 wiązu, 105.000 brzoź, 45.800 dębu, 15.900 buku białego, 9.300 jasionu i 385.000 różnych innych drzew liściastych ¹⁾. Sumując te ilości otrzymuje się, że w roku 1905 (początek akcji zalesień) użyto 530.000 sadzonek drzew szpilkowych,



Rys. 181.

a tylko 225.000 liściastych, zaś w latach 1906 i 1907 łącznie 3,494.000 sadzonek drzew szpilkowych, a tylko 1,759.500 sadzonek drzew liściastych; zalesienie zapomocą nasion stosowano tylko wyjątkowo. Wynika z tego, że użyto około $\frac{2}{3}$ sadzonek drzew szpilkowych, a tylko $\frac{1}{3}$ sadzonek drzew liściastych, co jest dowodem, że w korzystnych warunkach, gdzie istnieje odpowiednia warstwa ziemi urodzajnej, sadzenie drzewek szpilkowych wcale nie schodzi na drugi plan.

¹⁾ Roboty przeprowadzano albo we własnym zarządzie, albotóż oddawano wykonanie zarządom okolicznych dóbr po cenie 200 kor. od ha.

Zamurawienie (gazonnement, enherbement, Berasung). Niemniej ważnym z uwagi na ochronę powierzchni zlewni przed wpływami atmosferycznymi, oraz utrzymanie warstwy urodzajnej, jest zamurawienie. Na łagodnie pochylonych płaskich zboczach samo zamurawienie może stanowić wystarczającą ochronę, na stromszych w łączności z kulturą drzew i krzewów. Poza to ma ono na celu poprawę łąk i pastwisk górskich, często zaś stosuje się je jako wstęp do zalesienia. Na stromych i ruchomych stokach wykonuje się w odstępach około 5 metrów żywe płoty z drzewek sadzonych gęsto, a w odstępach co 0,5 m wykonuje się małe poziome żłobki i obsiewa; w dwa lata później następuje zalesienie.

Porost traw może powstać i w sposób naturalny, bez obsiania, zwłaszcza jeżeli w pobliżu znajdują się łąki. Na terenach o bardzo ruchomej powierzchni, zamiast siania stosuje się darniowanie, t. j. pokrycie cegielkami świeżej murawy, które przybija się kółkami.

Do zamurawienia najodpowiedniejsze są trawy, które się głęboko zakorzeniają. Najlepiej siał mieszanki traw, gdyż w takim razie rośliny mają korzenie w różnych głębokościach, a przez to glebę lepiej wiążą, nadto takie zamurawienie łatwiej przetrwa wahania klimatyczne.

Jak z powyższego wynika, utrzymanie w należytym stanie lasów, łąk i pastwisk w górach i terenach pagórkowatych i falistych, tudzież zalesienie i zamurawienie pustkowi, jest z uwagi na uporządkowanie gospodarstwa wodnego, umożliwienie regulacji rzek, poprawę żeglugi etc., kwestją niezmiernie doniosłą, poza to zaś poprawa stanu lasów i kultury łąk i pastwisk, tych tak ważnych gałęzi gospodarstwa krajowego, jest również ze względów ekonomicznych rzeczą bardzo ważną i pilną.

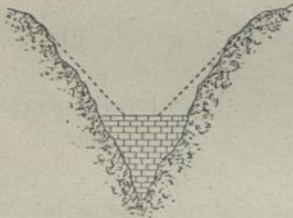
Polska nie należy do krajów bogatych w lasy; obszar leśny Małopolski obliczają na 23% (właściwie zaś po odtrąceniu obszarów łąk zalesionych 18%), Królestwo ma tylko 13% lasów, znacznie korzystniej przedstawiają się kresy wschodnie, choć i tu w czasie wojny lasy doznały znacznych szkód.

W samej Małopolsce powierzchnię nagich obszarów, wymagających spieszego zalesienia, obliczano przed wojną na 60.000 ha, obecnie skutkiem rabunkowej gospodarki w czasie wojny powierzchnia ta z pewnością jeszcze znacznie się zwiększyła. Aby stan ten się nie pogarszał, muszą tak właściciele lasów, jak i ci którym wykonanie ustawy lasowej jest poruczone, zdać sobie dokładnie sprawę z tego, że dewastacja lasów jest ze stanowiska obywatelskiego ciężkim przewinieniem. Wszak kardynalnym postanowieniem ustawy lasowej jest paragraf, że nie wolno zmieniać kultury leśnej na inną.

Sprawą tą musi się zająć troskliwie ustawodawstwo państwowe, a dalej świadoma swego zadania administracja państwowa. Nadto wobec tego, że w obecnych stosunkach często jednostki, a nawet spółki nie będą w stanie ponosić kosztów zalesienia pustkowi, lub meljoracji łąk i pastwisk, będzie musiało państwo objąć kierującą rolę w tej sprawie i podjąć szeroką akcję według z góry opracowanego planu, opartego na specjalnych ustawach.

2. Roboty w obrębie szyji.

Głównym celem tych robót jest powstrzymanie erozji dna potoku. Jak to w opisie właściwości potoków górskich przedstawiono, potok w obrębie szyji posiada łożysko zazwyczaj głęboko wcięte i wije się między wysokimi stokami, przerzucając się od jednego ku drugiemu. Te warunki sprzyjają dalszej erozji, w następstwie czego stoki stają się coraz stromsze, tracąc warunki równowagi. Powstaje stąd usuwanie się materiału ze stoków, a nawet usuwiska stoków, złączone z czasem zatamowaniem odpływu wody i rumowiska w potoku, później zaś po usunięciu przeszkody zwiększenie fali wezbrania.



Rys. 182.

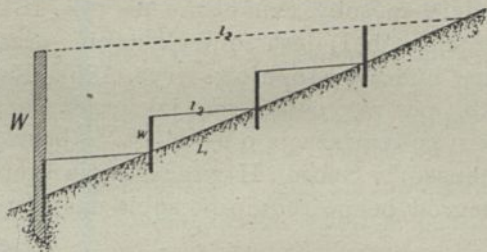
Wynika z tego, że roboty w obrębie szyji muszą przede wszystkim utrwalić dno potoku, a tam gdzie profil jest zbyt wąski i wcięty, także je podnieść, aby umożliwić wytworzenie się łagodniejszego pochylenia stoków (rys. 182).

Aby utrwalenie dna było skuteczne, możnaby dno ubezpieczyć w sposób ciągły, a więc na przykład zapomocą brukowanych żłobów (kinety), co jednak wykonuje się tylko wyjątkowo. W zasadzie żłób taki ułatwia i przyspiesza odpływ, co jest działaniem niekorzystnym, nadto wywołuje znaczne koszty. Możliwe też wykonać stosunkowo gęsto poprzeczne progi, stanowiące punkty stałe w dnie. Progi takie rzeczywiście się nieraz stosuje, jednak zazwyczaj one nie wystarczają. Aby powstrzymać erozję, trzeba zmniejszyć spadek dna potoku, gdyż przez to zmniejsza się siłę poruszającą wody przy wezbraniach. Użytkuje się to zapomocą stopni (Schwellen, Stufen, gradins) i przegród (Sperrren, Barren, Barrages). Tak stopnie, jak i przegrody, są to budowle przegradzające poprzecznie łożysko potoku i sięgające od jednego stoku do drugiego; różnicy między nimi właściwie niema. Stopień jest to niska przegroda, a jako granicę przyjmują zazwyczaj wysokość 2 m.

Jak to uzmysławia rys. 183, zmniejszenie naturalnego spadku dna i_1 na spadek i_2 można uzyskać albo zapomocą większej liczby przegród

niskich, względnie stopni (o wysokości w), albo też zapomocą mniejszej liczby przegród wysokich (o wysokości W); który sposób jest odpowiedniejszy? Aby na to pytanie odpowiedzieć, trzeba jeszcze zauważyć, że przegrody zatrzymują materiał ruchomy, który z biegiem czasu wypełnia przestrzeń powyżej przegrody aż do jej korony. Odstępy i wysokości przegród, względnie stopni, muszą być tak dobrane, aby linja łącząca koronę przegrody dolnej ze stopą sąsiedniej przegrody górnej odpo-

wiadała spadkowi równowagi (la pente d'equilibre, Gleichgewichtsfälle), t. j. spadkowi, przy którym nie będzie erozji dna. Ten spadek i_2 jest zazwyczaj znacznie mniejszy od naturalnego spadku potoku i_1 (rys. 183) i można go oznaczyć tylko empirycznie, na podstawie obserwacji czynionych na danym potoku, oraz na potokach już



Rys. 183.

zabudowanych, posiadających podobne warunki przyrodzone. Jeżeli zatem przyjmiemy spadek równowagi i_2 ¹⁾ i pewną wysokość przegród w , to odstęp przegród wypadnie z rysunku.

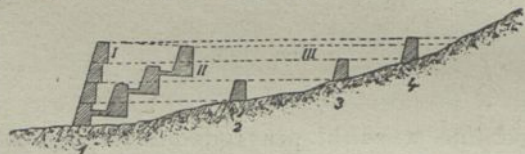
Otóż, jak to wynika jasno z rys. 183, jedna wysoka przegroda potrafi zatrzymać znacznie więcej materiału ruchomego, jak szereg przegród niskich, pokonujących tensam spad. Rzeczywiście, wielkie przegrody mają za zadanie prócz zmniejszenia spadku potoku, także zatrzymanie wielkich mas materiału. Jednak wykonanie przegród wysokich jest kosztowne, a mianowicie koszt jednej przegrody wysokiej jest znacznie wyższy jak szeregu niskich przegród, lub stopni równoważnych pod względem wysokości, powtóre wykonanie szeregu przegród niskich lub stopni jest bezpieczniejsze, gdyż np. zburzenie jednej przegrody niskiej może być bez znaczenia, podczas gdy zburzenie przegrody wysokiej może wywołać bardzo wielkie szkody. Dlatego wykonanie przegród wysokich ogranicza się do koniecznej potrzeby, a mianowicie do przypadków, gdzie chodzi rzeczywiście o zatrzymanie wielkich mas materiału, oraz do miejsc, gdzie istnieją korzystne naturalne warunki do wykonania przegrody wysokiej (dobry grunt pod fundament, wytrzymałe stoki, dobry materiał budowlany, istnienie miejsca zwężonego, gdzie przegroda wypadnie krótka i niedroga, etc.). W praktyce wysokość przegród dochodząca do kilkunastu metrów uważa się już

¹⁾ W pewnych wypadkach, zwłaszcza przy stosunkowo niewielkim spadku i_1 , przyjmowano do oznaczenia odstępu przegród spadek $i_2 = 0$.

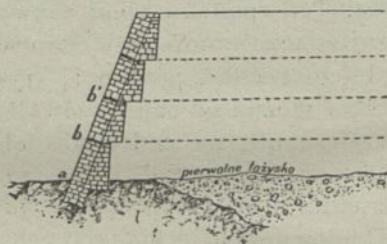
jako znaczną, choć wykonywano już i wyższe przegrody (Pontalto 43 m, Madruzzo 40 m, w dolinie Adygi w Tyrolu). Przegrody o znaczeniu retencyjnym, to znaczy takie, które mają za zadanie zatrzymywanie większych ilości wody, należą na potokach górskich do wyjątków, gdyż zazwyczaj w ich wąskim łożysku niema odpowiednio szerokiego miejsca na założenie zbiornika retencyjnego.

Demontzey¹⁾ porównuje różne sposoby wykonania przegród, a mianowicie sposoby oznaczone na rys. 184 liczbami I, II, III.

Sposób I) jest to wykonanie przegrody wysokiej, która powstaje przez budowę stopniową (rys. 185). Najpierw wykonuje się część dolną a—b, po zasypaniu zaś jej przez rumowisko podwyższa ją o b—b' i t. d. (barrage exhausé)²⁾. Sposób II) przedstawia szereg przegród bezpośrednio po sobie następują-



Rys. 184.



Rys. 185.

cych łączących się ze sobą i tworzących stopnie (barrages en gradins), przyczem szerokość ich równa się mniej więcej wysokości. Przegrody te wykonuje się również stopniowo po jednej, a wyższą wykonuje wtedy, gdy dolna została zupełnie zasypana. Wreszcie sposób III) polega na wykonaniu oddzielnych niskich przegród 1, 2, 3, 4. Jak widać z rysunku, najtańsze i najpewniejsze będzie wykonanie według sposobu III, jednak przegrody niskie zatrzymają tylko niewielkie ilości rumowiska, natomiast wykonanie według sposobów I i II jest droższe, (większe koszty fundowania, większa masa muru), mniej pewne pod względem bezpieczeństwa, jednak przestrzeń przeznaczona na wypełnienie rumowiskiem jest w obu wypadkach znaczna, czyli że przegrody takie mogą zatrzymać znaczne ilości materiału ruchomego.

Co do opóźnienia odpływu to najlepiej działają właściwie przegrody średniej wysokości; niskie stopnie nie mają tu prawie żadnego wpływu, natomiast wysokie tworzą dla długiej przestrzeni tylko jedną kaskadę i mają działanie słabsze jak kilka przegród średniej wysokości.

Przegrody wykonuje się w miejscach zwężonych, o wytrzymałych stokach i dobrych warunkach fundowania, przyczem jednak nie zawsze

¹⁾ Reboisement j. w.

²⁾ W ten sposób wykonano w Szwajcarii w kantonie Glarus, gminie Mollis, przegrodę 21 m wysoką, bloki ściany przedniej miały wymiary od 1—1.5 m.

funduje się je na zbitej skale, lecz często także na pokładach rumowiskowych; wtedy jednak trzeba je odpowiednio zabezpieczyć przed podmyciem, o czem pomówimy jeszcze później.

Zauważyć trzeba, że jak to wielokrotnie skonstatowano w praktyce, przegroda może zatrzymać nieraz znacznie więcej materiału, jakby to wynikało z pojemności przestrzeni zawartej między tylną ścianą przegrody, dnem potoku i spadkiem równowagi. Po przejściu wezbrania zauważono nieraz, że powyżej przegrody potok osadził materiał 1—1,5 m wyżej jak korona przegrody.

Co do postępu wykonania szeregu przegród, to w zasadzie powinno się najpierw zacząć od tych, które innym służą za podporę, a więc od najniższej, a potem postępować w górę. Od tej reguły trzeba będzie jednak odstąpić, jeżeli chodzi o zatrzymanie wielkich mas materiału, a stosowne miejsce do wykonania przegród wysokich znajdują się na górnym końcu szyji. Taksamo konieczność zapobieżenia natychmiastowego erozji w pewnych partjach, może wywołać potrzebę odstąpienia od tego systemu.

W miarę postępu robót i rozwinięcia ich na wielką skalę zwłaszcza w łączności z zalesieniem, powinno nastąpić bardzo znaczne zmniejszenie ilości toczzonego rumowiska. Skutkiem tego pierwotny spadek równowagi (i_2 , rys. 183) może się okazać za duży i wyniknie potrzeba wykonania między przegrodami głównymi przegród drugorzędnych, między którymi wytworzy się nowy spadek równowagi i_3 .

Po wykonaniu przegród ostatniego rzędu najodpowiedniej będzie obsadzić prócz stoków także i dno potoku. Jest to najlepsze ubezpieczenie dna, jednak z zastrzeżeniem, że potok rzeczywiście transportuje już bardzo mało materiału ruchomego, a powtórę, że zalesienie nie utrudni zbyt odplywu wody i nie wywoła zbyt znacznego spiętrzenia.

Materiał przegród. Nie ulega wątpliwości, że najodpowiedniejszym materiałem do wykonania przegród jest kamień, przede wszystkim z uwagi na trwałość, znaczny ciężar, skutkiem czego przegrody kamienne odporniejsze są na uderzenia, wreszcie z uwagi na małe koszty utrzymania. Jednak zauważyć trzeba, że tak przy zabudowaniach dawniejszych (np. w Tyrolu), jak i nowszych (np. w Czechach), wykonywano w stosunkowo wielkiej ilości także i przegrody drewniane. Powodem tego jest przede wszystkim wzgląd na koszt; przegrody drewniane wypadły znacznie taniej jak kamienne, zwłaszcza, że zazwyczaj dobry materiał budowlany drewniany znajdował się na miejscu, nie zawsze zaś w dolinie potoku mamy do dyspozycji dobry kamień budowlany. Nie trzeba zaś sądzić, jakoby przegrody drewniane trwały bardzo krótko; dobrze wykonane przegrody drewniane, jak to stwierdzono w praktyce, trwały ponad 50 lat. Z przytoczonych tu motywów wynika, że w zasadzie należy wykonywać przede wszystkim przegrody kamienne, zwła-

szcza tam, gdzie jest do dyspozycji dobry kamień, a z materiału drewnianego wykonywać tylko przegrody niższe o przejściowym i drugorzędnym znaczeniu. Wszystkie przegrody wyższe wykonuje się z kamienia, jako maximum wysokości przegrody drewnianej uważa się 4 m. Korzyścią przegród drewnianych jest to, że uszkodzenie w pewnym miejscu nie wpływa tak dalece na stałość całości budowli jak przy przegrodach drewnianych, natomiast znowu na potokach o znacznym ruchu grubego rumowiska przegrody drewniane zużywają się łatwiej.

W robotach wykonanych w okresie przedwojennym podnoszono jako powód, dlaczego wykonywano nieraz w bardzo wielkiej liczbie przegrody drewniane, moment oszczędnościowy. Rzeczywiście, jeżeli się zważy, że ilość przegród jakie trzeba wykonać przy zabudowaniach potoków jest nieraz bardzo znaczna¹⁾, oszczędność w kosztach budowy może być wydatna, zwłaszcza jeżeliby kamień trzeba było z dalszych miejsc sprowadzać.

Prócz konstrukcji kamiennych i drewnianych wykonuje się także konstrukcje mieszane, złożone z obu tych materiałów. Co do przegród kamiennych zauważa się, że najpowszechniej wykonuje się je jako suchy mur, bez zaprawy, z dużych kamieni surowo obrobionych. Mur z ciosów na zaprawie stosuje się tylko przy budowlach bardzo wysokich i o znaczniejszej długości, nadto tam, gdzie w dolinie potoku niema łomów dających wielkie bloki.

W nowszych czasach stosują do wykonania przegród chętnie beton, zwłaszcza tam, gdzie niema dobrego kamienia, a natomiast jest podostatkiem dobrego żwiru.

Przegrody drewniane, oraz z drzewa i kamienia.

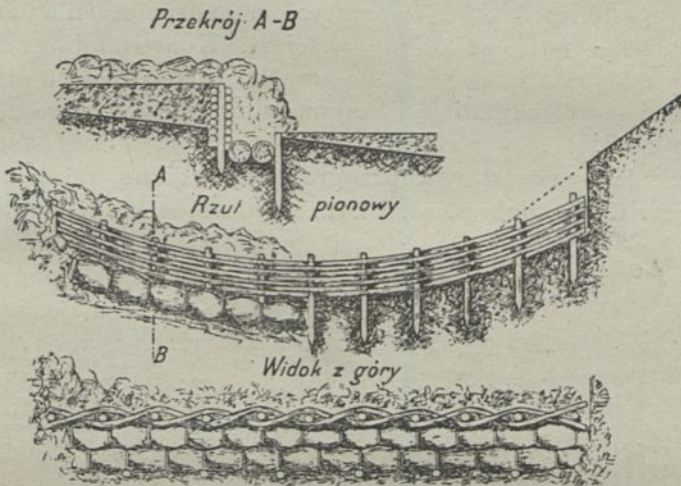
Wykonuje się je z drzewa miękiego jakie znajduje się w okolicy, najczęściej z drzewa świerkowego lub sosnowego, w Tyrolu także i modrzewiowego.

Do najprostszych typów przegród należą przegrody z płotków (clayonnage, Flechtzäune), z odpowiednim ubezpieczeniem podłoża. Tak na przykład rys. 186 przedstawia płotek stosowany często przy zabudowaniach. Jak widać z rysunku (strona prawa figury środkowej), płotek wchodzi w wycięcie w stoku, przyczem w środku koryta jest obniżony, a ku obu stokom się podnosi. Ma to na celu osłabienie naporu wody na stoki i skoncentrowanie przelewu w środku²⁾. Ubezpieczenie stopy stanowią faszyny przytrzymane palami.

1) Kreuter podaje np., że na potoku Vallerbach (dopływ Eisack) wykonano dwie duże przegrody kamienne, 6 z kamienia i drzewa i 678 przegród drewnianych, a na potoku Riederbach (Zillertal) wykonano 3847 przegród drewnianych.

2) Z obniżeniem korony przegrody w części środkowej nie wszyscy się zgadzają i przyjmują na całej długości koronę poziomą, a to w tym celu, aby woda przelewała się na całej długości i zwilżała całą konstrukcję drewnianą, co ją chroni przed wyschnięciem i zbutwieniem.

We Francji używają także typów, przy których pale u góry złączone są kleszczami pojedynczymi; kleszcze składają się z trzech części, środkowej poziomej i bocznych skośnych, wznoszących się ku stokom. Rozróżniają tam płotki 1 i 2 rzędu; pierwsze nie przekraczają wysokości 1,5 m i mają pale dwojakiego rodzaju, grubsze i dłuższe, głębiej w ziemię wbite, w odstępach co 1 m i między nimi słabsze co 0,33 m.



Rys. 186.

Płotki 2 rzędu nie przekraczają wysokości 60 cm i mają tylko jeden rodzaj pali rozstawionych co 0,33 m, nadto nie mają u góry kleszczy. Paliki wykonuje się z drzewa szpilkowego (jodła, świerk, modrzew), do plecena używa się świeżej wierzby, topoli, leszczyny, dębu i buku.

Podobnie wykonuje się przegrody z faszyn (fascinages), kładąc je między dwa szeregi pali wbitych w odstępach co 1 m; faszyny muszą być tak długie, aby końce ich wchodziły we wcięcia stoków. Pięć faszyn ponad sobą ułożonych daje przegrodę 1 rzędu około 1,5 m wysoką. Podobnie jak przy płotkach, środek przegrody jest obniżony, a boki wzniesione. Dolne faszyny trzeba wpuścić w dno, aby zapobiedz podmyciu od spodu. Przegrody faszynowe 2 rzędu wykonuje się taksamo, daje się jednak tylko jedną lub dwie faszyny ponad sobą.

Rysunek 187 przedstawia przegrodę wykonaną wyłącznie z drzewa, a mianowicie z młodych drzewek z gałęziami, które przy kładzeniu obcina się tylko częściowo z góry i z dołu. Wykonanie jest bardzo proste; najpierw wyrównuje się dno potoku w miejscu gdzie ma być

wykonana przegroda, a następnie kładzie poprzecznie do kierunku potoku drzewka *a*, na nich zaś poprzecznie, t. zn. w kierunku biegu potoku drzewka *b*, jedno przy drugim. Gdy warstwa ta zostanie ułożona na całej szerokości potoku, kładzie się znowu poprzecznie do niej drzewka



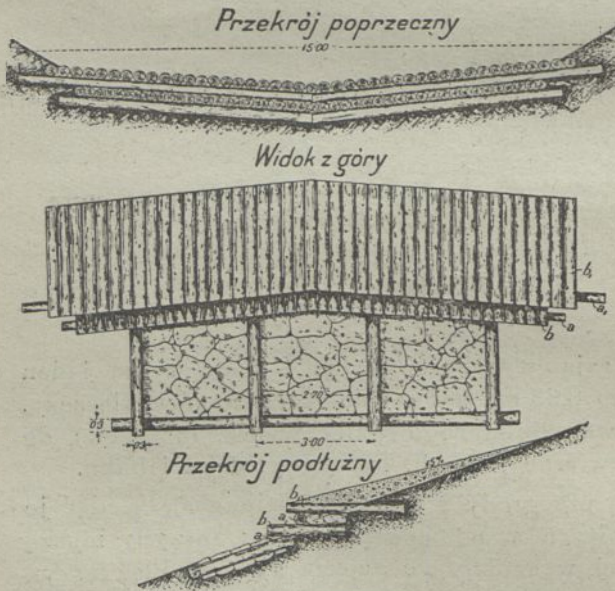
Rys. 187.

a i t. d. Taksamo jak i przy innych konstrukcjach, musi się przegrodę na obu końcach wsunąć w stoki, celem zabezpieczenia przed obejściem. Konstrukcja taka z początku wodę zupełnie przepuszcza,

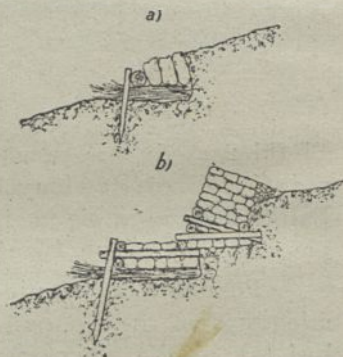
później jednak potok zamuli ją i zasypie rumowiskiem zupełnie, a woda przelewa się górą.

Rysunek 188 przedstawia przegrodę drewnianą stosowaną w Tyrolu i Szwajcjarji. Krąglaki *a*, *a*₁, i t. d., stanowiące podkłady poprzeczne,

są albo jednolite, prostopadle do stoków ułożone, albo składają się z dwu lub trzech części, przyczem krąglaki skrajne ułożone są w rzucie poziomym skośnie ku górze potoku, two-



Rys. 188.

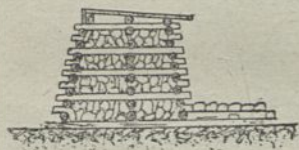


Rys. 189.

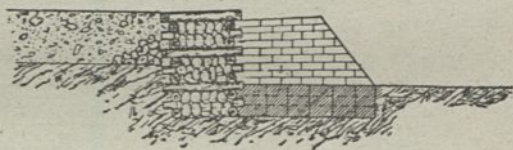
ząc przy dwu belkach trójkąt, przy trzech trapez. Na nich znajdują się obok siebie ułożone krąglaki tworzące warstwę; przestrzeń między dwiema warstwami wypełnia się grubym żwirem. Liczba warstw może być dowolna. Jak widać, podkłady *a*, *a*₁, i t. d., a także i skrajne krąglaki warstw *b*, wpuszczone są w stoki. Podłoże składa się z ramy drewnianej, również z krąglaków, oraz wypełnienia z bruku kamiennego. Konstrukcja ta jest praktyczna i ekonomiczna, albowiem przeważną część materiału stanowią krótkie krąglaki.

Z przegród o mieszanym materiale budowlanym zasługuje na uwagę typ przedstawiony na rysunku 189 a) i b). Rys. a przedstawia typ niskiego progu, rys. b wyższą już przegrodę o przeważającej ilości materiału kamiennego. Przy tym typie właściwie spód tylko ma konstrukcję mieszaną z drzewa i kamienia, górę stanowi przegroda kamienna o dowolnej liczbie warstw.

Jako dobre konstrukcje należy uważać przegrody z kaszyc, t. j. ze skrzyń wykonanych z krągłaków, wypełnionych kamieniem; najprostsze typy tych przegród przedstawiają rysunki 190 i 191, różniące się od



Rys. 190.



Rys. 191.

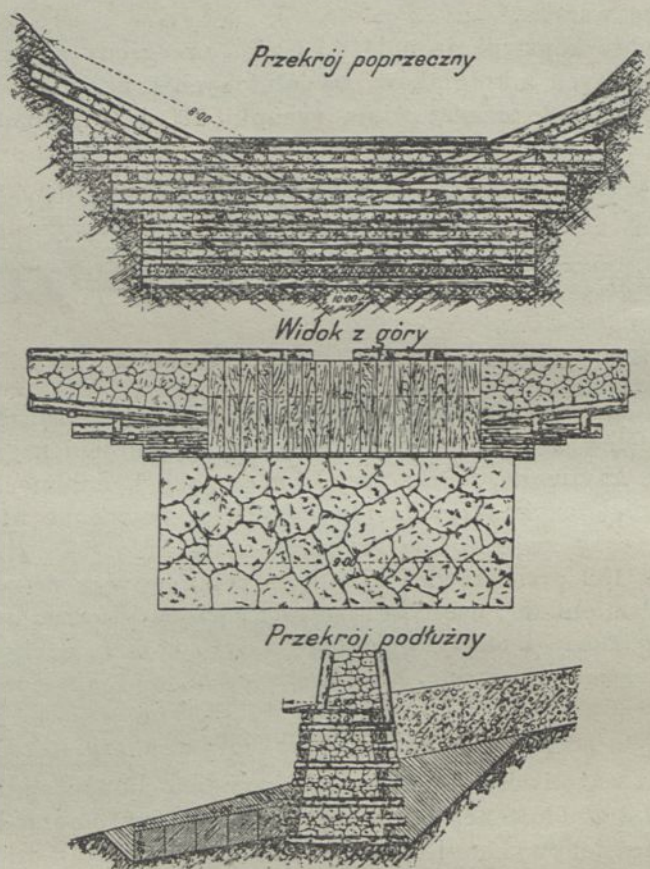
siebie tem, że pierwszy ma ograniczenia boczne skośne, drugi pionowe, pierwszy podłoże z rusztu drewnianego z wypełnieniem kamieniem, drugi podłoże kamiennie, nadto przy obu stokach kamienne kierownice. Takie kierownice, czyli skrzydła równoległe, są potrzebne wtedy, jeżeli stoków nie tworzy zwięzła i wytrzymała skała.

Rysunek 192 przedstawia wyższą przegrodę wykonaną z kaszyc, z podłożem kamiennym; część środkowa tworząca główny przelew wykonana jest poziomo i nakryta podłogą z dyli, boki są nachylone. Spód przegrody wpuszczony w dno, a końce w stoki.

Przegrody kamienne.

Nie ulega wątpliwości, że przegrody kamienne, odpowiednio i z trwałego materiału zbudowane, są najlepsze. Jak już poprzednio wspomniano, najczęściej wykonuje się je jako mur suchy z wielkich, surowo obrobionych kamieni, a tylko wyjątkowo jako mur ciosowy na zaprawie cementowej. Co do rzutu poziomego przegród kamiennych, to jak wskazuje rys. 193 a—c, wykonywano je o kształcie łukowym stroną wypukłą ku górze potoku zwróconą, albo jako mur w środku łukowy, a na obu końcach prosty. Najodpowiedniejsze jest wykonanie według rysunku 193 a, t. zn. jako łuk o stosunkowo małym promieniu, gdyż przegroda pod wpływem parcia wody i materiału wypełniającego przestrzeń poza nią, działa jak sklepienie poziome, co jest z uwagi na wymiary przekroju korzystne. To też wykonanie a jest typowe, zaś b i c tylko wyjątkowe. Co do krzywizny łuku stosowano praktyczną regułę, że wewnętrzna cięciwa ma się równać 10-krotnej strzałce.

Przekrój poprzeczny jest trapezowy (rys. 194) i powinno się go oznaczyć na podstawie obliczenia, jednak z uwagi na to, że przegroda narażona jest na uderzenia, nie powinno się wymiarów oznaczać zbyt oszczędnie, lecz oprzeć się do pewnego stopnia na doświadczeniu.

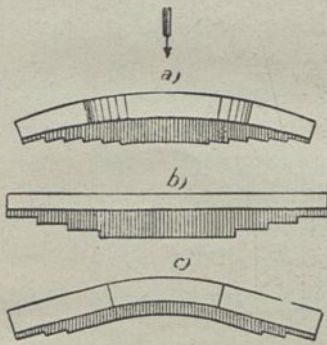


Rys. 192.

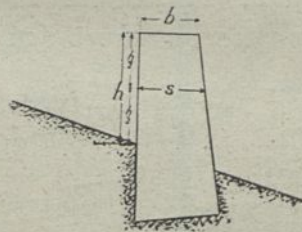
Według Demontzey'a, przy wykonaniu z suchego muru korona powinna być przynajmniej równa połowie wysokości muru ($b = \frac{h}{2}$), zaś przy wykonaniu z muru ciosowego na zaprawie cementowej, średnia grubość muru przynajmniej równa połowie wysokości muru ($s = \frac{h}{2}$). Ścianę tylną (od strony górnej) daje się pionową, ścianę przednią (od strony dolnej) nachyloną w stosunku 5:1 do 4:1; podszwę muru pochyloną, jak to wskazuje rysunek, celem uzyskania większego kąta nachylenia

wypadkowej ciśnienia na podstawę i uniknięcia ślizgania. Wykonanie stromej ściany przedniej ma na celu, aby przelewająca się przez przegrodę woda nie sphywała po tej ścianie i nie niszczyła jej.

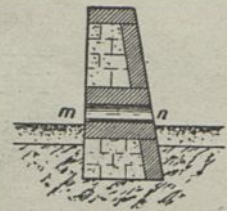
W środkowej części przegrody koronę się obniża, dając jej zazwyczaj trapezowowe wcięcie (jak to widać na następujących rys., str. 346 i 347), przez co koncentruje się przelew w środku łożyska, a osłabia uderzenie wody na stoki. Im przegroda jest wyższa, tem grunt na którym spoczywa powinien być lepszy, często jednak funduje się przegrody nie na zbitej skale, lecz na rumowisku. Jeżeli w stokach jest silna skała, natomiast dno z materiału lichego, ruchomego, to dobrze jest oprzeć przegrodę na sklepieniu opierającym się na stokach, a otwór pod



Rys. 193.



Rys. 194.



Rys. 195.

sklepieniem zamknąć pionowym murem opartym u spodu o dno, z przodu zaś o czoło sklepienia. Zresztą fundament należy zagłębić w dno potoku, ewentualnie przy ruchomym gruncie ubezpieczyć przeciw podmyciu zapomożą pilotów, lub szczelnego podłoża betonowego, o czem poniżej będzie mowa.

Wykonują także przegrody o konstrukcji mieszanej; tak naprzykład przy wykonaniu z suchego muru, niektóre warstwy, np. warstwę koronową, robi się na zaprawie cementowej. Rys. 195 przedstawia przegrodę z suchego muru, której warstwa koronowa, ściana przednia o grubości 0,8 m, oraz ściany kanału odprowadzającego wodę (m—n), wykonane są z kamienia na zaprawie cementowej.

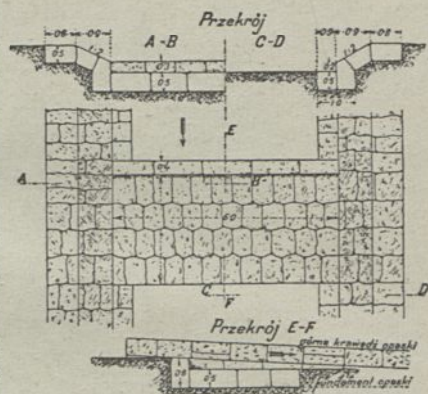
U spodu przegrody, a także czasem i powyżej, robi się jeden większy kanał i szereg mniejszych otworów służących do odwodnienia przestrzeni poza przegrodą, co służy zarazem do jej odciążenia¹⁾. Wprawdzie suchy mur sam jest przepuszczalny, ale z biegiem czasu się zamula i może nieprzepuszczać wody.

Obydwa końce przegrody wpuszcza się głęboko w stoki, zabezpieczając ją w ten sposób przeciw obejściu przez wodę; jeżeli stoki są ze

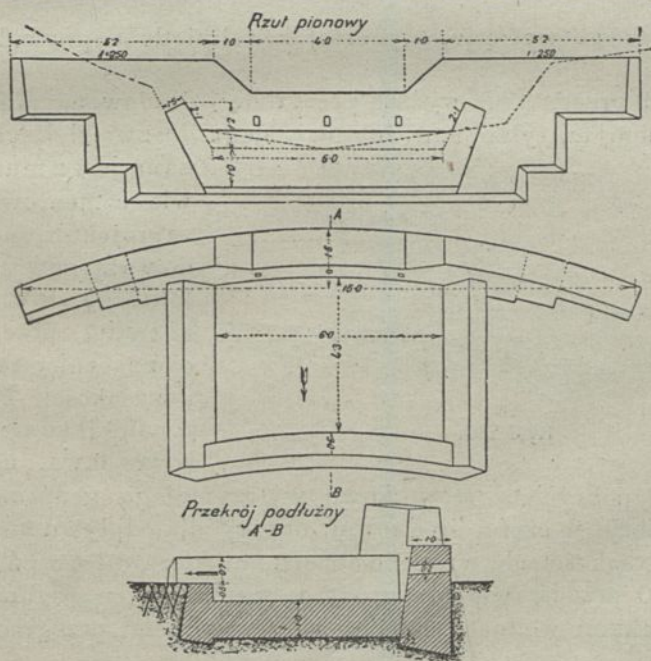
¹⁾ Kanał dolny służy także do odprowadzenia wody w czasie budowy.

rzącym podłoże, o powierzchni założonej w stopniach na 0,2 m wysokich. O ile przegrody, skutkiem znacznego złamania spadku jakie wytwarzają, wpływają na opóźnienie odpływu, o tyle znowu stopnie zwiększają raczej tylko szorstkość łożyska i zmniejszają w ten sposób chyżość przepływu wody. Jak widać z rysunku, górną część podłoża tworzy bruk z kamieni przyciosanych, ułożonych najmniejszym wymiarem w kierunku ruchu wody, a największym wgląd; takie wykonanie, oraz zupełnie szczelne ułożenie kamieni, jest najodpowiedniejsze. Dno tworzy tu trójkątne zagłębienie, a brzegi są wzniesione, tworząc silne ubezpieczenie stoków przed podmyciem. Takie wykonanie, jak to wynika z przekroju poprzecznego, jest właściwie już brukowanym żłobem (kinetą).

Rysunek 197 przedstawia konstrukcję murowanego progu, ograniczonego obustronnymi kamiennymi opaskami, które sięgają na znaczniejszej długości poniżej progu, a także na krótkiej partji i powyżej.

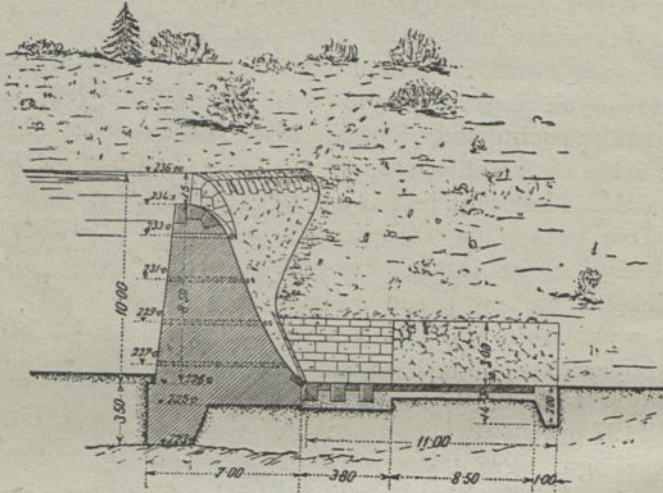


Rys. 197.



Rys. 198.

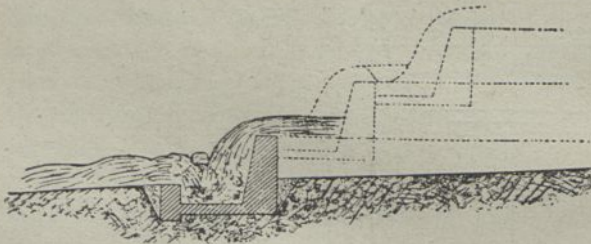
Rys. 198 przedstawia typową przegrodę założoną w łuku, poniżej której znajduje się niska przegroda, względnie próg, a między obydwoma mурowane podłoże z poduszką wodną, otoczone obustronnie równoległymi kierownicami. Przegroda wchodzi obustronnie głęboko w stoki. W środku



Rys. 199.

posiada trapezowe wycięcie, a poniżej kanaliki do odprowadzenia zwykłej wody.

Rys. 199 przedstawia wyższą przegrodę¹⁾ fundowaną przeważnie na gruncie ruchomym, tylko mur żebrowy sięga do zwietrzłej skały. Wykonana jest z muru na zaprawie cementowej, a profil zaprojektowano stosownie do wymogów statycznych, jakie się stawia przy wykonaniu przegród dolin o znaczniejszej długości i wysokości. Podłoże wykonane jako cienka stosunkowo ława, musiało być



Rys. 200.

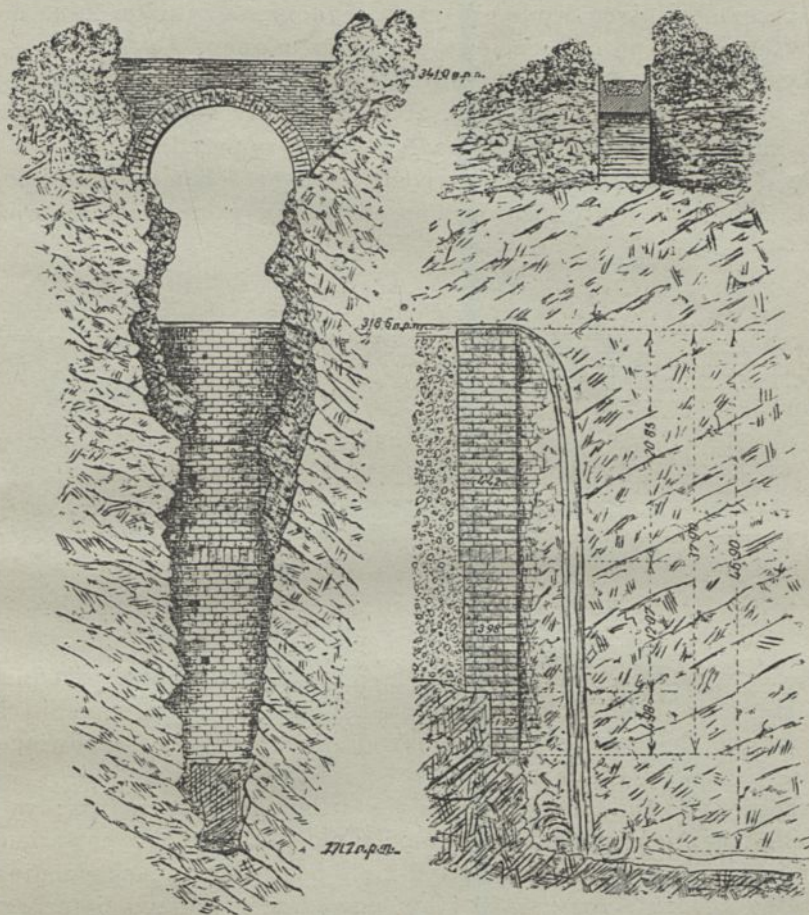
chyba tylko pokryciem stosunkowo wytrzymałego gruntu. Przegroda posiada wycięcie w części środkowej, otwory dla odpływu zwykłej wody w różnych wysokościach, wreszcie obustronne kierownice wzdłuż podłoża.

Rys. 200 przedstawia przegrody w stopniach (en gradins), z podłożem i poduszkami wodnymi między poszczególnymi przegrodami.

¹⁾ Sprawozdanie z robót w Czechach j. w.

Na rys. 201 podano przegrodę Pontalto, wykonaną w dorzeczu Adygi w Tyrolu. Posiada znaczną wysokość 37,9 m i spoczywa na cokole skalnym. Wykonano ją z suchego muru ciosowego, rzut poziomy przed-

Przegroda Pontalto



Rys. 201.

stawia ostry łuk o promieniu 13,2 m. Normalną wodę potoku odprowadzono kanałem bocznym i sprowadzono kaskadami w dół.

Miejsce do założenia przegrody jest bardzo korzystne, z powodu że potok tworzy tu wcięty parów o skalistych stokach.

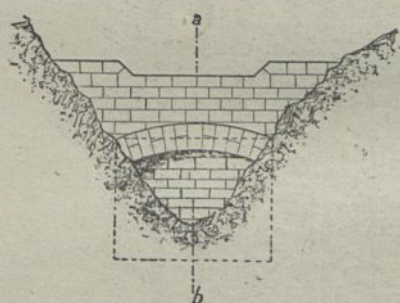
Pierwotne wykonanie tej przegrody sięga bardzo dawnych czasów. Pierwszy raz wykonano ją w r. 1537 i od tego czasu sześć razy była

zburzona i odbudowana. Ostatnie wykonanie pochodzi już z początków 19 wieku, w którym przegrodę kilkakrotnie podwyższano, aż do wysokości podanej na rysunku.

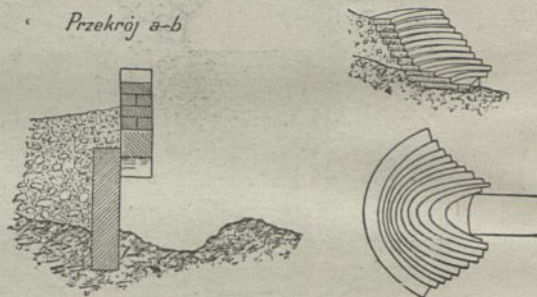
Kanały boczne, czyli t. zw. kanały ulgi, wykonane przy niektórych wysokich przegrodach i odprowadzające zwykłą wodę kaskadami na stoku w dół, mają na celu uniknięcie stałego wybijania podłoża u stopy przegrody przez spadającą wodę. W razie wykonania takiego kanału, woda tylko w czasie wezbrań przelewa się przez koronę.

Rys. 202 przedstawia przegrodę opartą na sklepieniu rozpiętym między obydwa stoki, rys. 203 przegrody założone w stopniach, z których każda następna jest podłożem dla poprzedniej.

Co do systemu przegród przedstawionego schematycznie powyżej na rys. 185 (przegrody podniesione, *barrages exhausés*) zauważa się



Rys. 202.



Rys. 203.

jeszcze, że w razie wykonania z suchego muru, tylko część przednią wykonuje się z wielkich bloków, z tyłu zaś daje się wzmocnienie z kamienia zwykłych rozmiarów, o pionowej ścianie tylnej, stanowiące rozszerzenie podstawy fundamentu.

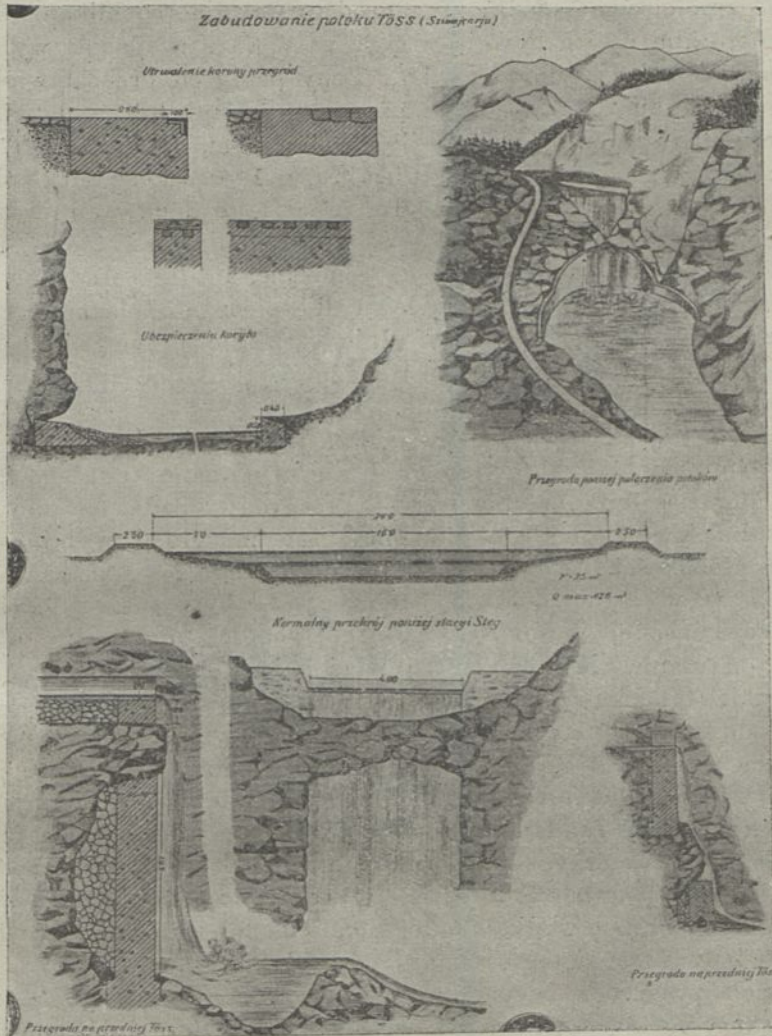
Przegrody kamienne wymagają starannego utrzymania; w razie jeżeli jeden kamień wypadnie, lub zostanie uszkodzony, powinien być natychmiast na nowo osadzony, gdyż małe początkowo uszkodzenie może się wkrótce znacznie rozszerzyć i być powodem zawalenia się przegrody.

Co do przegród betonowych, podaje wyjaśnienie następujący przykład zabudowania potoku górskiego.

Zabudowanie potoku Töss w kantonie St. Gallen w Szwajcarii (rys. 204).

Początek potoku tworzą dwa potoki źródłowe Przednia i Tylna Töss, pierwszy o spadku 1,9%, drugi 5–2,2%. Obydwa potoki źródłowe, podobnie jak i potok połączony, są typowymi górkimi potokami, zaciętymi głęboko w pokładach zlepieńca (*Nagelfluh*), dość zwięzłego, nie

w tym stopniu jednak, aby mógł się oprzeć działaniu erozji. Obydwa stoki sięgają nieraz powyżej 100 m ponad dno potoku. Skutkiem podmywania ich stopy zachodziło niebezpieczeństwo naruszenia równowagi i usunięcia



Rys. 204.

stoków, komunikacje nie mogły się utrzymać, a po kilkunastokilometrowym biegu, w miejscu gdzie potok wchodził do szerszej doliny, przeładowany w czasie wezbrań materiałem ruchomym, szerzył spustoszenia. Na podstawie pomiarów skonstatowano, że wielka woda przy moście pod

Lipperschwendi wynosi 98 m³/sek, co wobec dorzecza 43 km² daje 2,16 m³/sek.

Podjęte roboty zmierzały do utrwalenia dna potoku zapomocą przegród, utrwalenia jego położenia aby nie naruszał równowagi stoków, wreszcie zmniejszenia spadku. Przegrody ustawione co kilkadziesiąt metrów w krótkim czasie bywają z góry zasypane, a spadek wyrównany zmniejsza się między nimi na 1%. Typy przegród przedstawiono szkicowo na rysunku 204; są one założone w prostej lub w lekkim łuku. Szerokość dna przyjęto na przedniej Töss 4 m, na Tylnej Töss 6 m. Wszystkie przegrody wykonano z betonu, z 1 części cementu portlandzkiego i 8 do 9 części piasku i żwiru, prócz tego dodawano jeszcze duże kamienie. Koronę większych przegród wyłożono dużymi otoczkami obrobionymi na płasko, osadzając je na cemencie, lub też osadzono na niej belki drewniane. Krawędzie przelewu ubezpieczano żelaznymi szynami lub kątownikami, które muszą zupełnie szczelnie przylegać do betonu, gdyż inaczej prąd wody wnet je rozluźni wypłukując zaprawę cementową, poczem następuje oderwanie.

Najważniejszą rzeczą, która uderza przy zwiedzaniu tego potoku jest to, że przy żadnej z przegród nie wykonano trwałego podłoża. Woda nieraz z kilkunastometrowej przegrody spada na dno koryta, złożone z niewytrzymałego zlepieńca, lub marglu i wybija w niem znaczne głębokości. W Szwajcarji już od szeregu lat przeważa przekonanie, że w wielu wypadkach podłoże jest zbyt cenne, a jeżeli woda spada ze znacznej wysokości, żadnego podłoża nie można utrzymać w dobrym stanie. Nie chodzi tu właściwie o uderzenie samej wody, lecz ciężkich głazów transportowanych przez potok.

Woda spadająca z przegrody będzie dotąd wybijać dno, aż powstanie tak gruba warstwa wody, że sama tworzyć będzie dostateczne podłoże. Jest to zatem śmiały sposób budowania; podmycie następuje nieraz w tym stopniu, że fundament zostaje odkryty, a często woda przecieka pod przegrodą. W przypadkach takich podchwytyją z pod spodu fundament ścianką betonową, aby zaś do tego nie dopuścić, starają się odsunąć punkt uderzenia wody w dno możliwie daleko od przegrody. Rysunek 204 uwidocznia tego rodzaju postępowanie¹⁾.

Jeżeli przegroda wypadła w miejscu rozszerzonym, to dawano długie skrzydła z faszyn i płotków. Przegród z ciosu lub suchego muru niema tu zupełnie, gdyż dobrego kamienia w pobliżu niema, a sprowadzany byłby bardzo drogi; beton wypada znacznie taniej. Można by wy-

¹⁾ Niejednokrotnie dają w tym celu przy przegrodach znaczne wysunięcie korony wpród w formie wysuniętego silnego gzymsu. W razie, jeżeli materiał jednego stoku jest wytrzymały, a drugiego nie, to można trapezowe wycięcie w koronie dla przelewu wykonać niesymetrycznie, po stronie stoku wytrzymałego.

konywać przegrody drewniane, lecz koszt przegrody drewnianej jest prawie taki jak betonowej, a betonowa jest nierównie korzystniejsza z uwagi na czas trwania i konserwację. Drzewa w formie krąglaków używano tylko do zabudowania bocznych ścieków, które kaskadami spadają w dół po stromych skarpach do głównego potoku.

Oprócz przegród wykonano mniejsze, pomocnicze budowle, mające w pewnych miejscach ograniczyć dno potoku, ewentualnie odepchnąć strugę wody od podnóża stoku i w ten sposób zabezpieczyć go od podmycia. Budowle te są to niskie murki betonowe, wykonane równolegle do linii przyszłego dna, około 50 cm wysokie, a 30 cm szerokie; nie tworzą one linii ciągłej, lecz są wykonane tylko w pewnych miejscach, przede wszystkim na zakrętach. Oprócz tych wykonano i poprzeczne niskie murki, przypierające do stoków w miejscach, gdzie woda ich stopy podmywa. Przestrzenie między tymi murkami woda przy wezbraniu zasypuje, a potok zostaje odepchnięty od stoku ku środkowi łożyska.

Pozatem przeprowadzono oczyszczenie łożyska i usunięcie zwałów zlepieńca, które tamując przepływ wody, powodują zmiany kierunku. Zwały te dochodzące nieraz do olbrzymich rozmiarów, wywołują znaczne spiętrzenie wody i utrudnienie przepływu. Mniejsze bloki usuwano wprost, większe po rozsadzeniu.

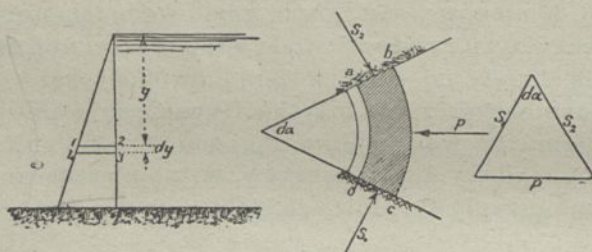
Poniżej połączenia obu potoków dno rozszerzono na 8 m; przegród tu już nie ma, lecz tylko niskie progi kamienne w odstępach około 100 m; brzegi ubezpieczono częściowo budowlami faszynowymi, częściowo zaś narzutami kamiennymi; w dół spadek znacznie się zmniejsza, potok płynie już w szerszej dolinie i ma charakter mniej dziki. W pobliżu stacji Steg wykonano już profil dwuczęściowy ograniczony wałami, ujmujący całą wielką wodę; profil ten podano na rysunku 204.

Obrachowanie przekroju poprzecznego przegród. Przegroda jest budowlą spiętrzającą wodę, a zatem musi być obliczona na ciśnienie spiętrzonej wody; wprawdzie pozostawia się w murze otwory, względnie kanały, ale służą one tylko do odprowadzenia zwykłej wody, nie wystarczają zaś do odprowadzenia wielkiej wody. Z biegiem czasu przestrzeń poza przegrodą wypełnia się materiałem, a otwory służą do odwodnienia tego materiału. Ponieważ jest to materiał gruby, który skutkiem pomieszania z drobniejszym staje się zbity, a powtórnie ponieważ zostaje odwodniony, przeto nie może wywierać znaczniejszego ciśnienia na przegrodę; skonstatowano nieraz, że w razie zburzenia przegrody, materiał utrzymywał się w stromej skarpie. Wynika z tego, że przy obliczeniu przekroju poprzecznego przegrody, należy uwzględnić jej ciężar własny i jednostronne ciśnienie wody, spiętrzonej aż po koronę.

Co do zasady obliczenia rozróżnia się dwa przypadki:

1. Przegrody krótkie, założone w łuku, w wąskich szyjach potoków o stokach ze zbitej wytrzymałej skały; łuk zwrócony stroną wypukłą ku górze. W tym wypadku przyjmuje się, że przegroda pod działaniem ciśnienia wody zachowuje się jak sklepienie poziome, rozparte o skaliste stoki. Takie założenie zgadza się ze spostrzeżeniami praktycznymi; zdarzało się nieraz, że woda podmyła przegrodę u spodu fundamentu i wypływała tamtędy, natomiast równowaga muru przegrody nie została naruszona. Prócz obliczenia na ciśnienie wody, trzeba osobno przeprowadzić obliczenie z uwagi na ciężar własny.

2. Przegrody o znaczniejszej długości, których właśnie z tego powodu nie można uważać jako rozparte o stoki. Pomimo, że i te przegrody otrzymują kształt



Rys. 205.

łukowy, oblicza się je jako mur wolno stojący (na 1 m długości, przyjmując wysokość odpowiadającą największemu zagłębieniu szyji) na działanie parcia wody i ciężaru własnego, oprócz tego zaś osobno na działanie samego ciężaru własnego.

Zastanowimy się najpierw nad przypadkiem pierwszym. Weźmy pod uwagę (rys. 205) warstewkę muru oznaczoną w przekroju pionowym cyframi 1, 2, 3, 4, a w poziomym a, b, c, d, o kształcie klinowym, kącie środkowym $d\alpha$ i grubości dy , położoną w głębokości y pod zwierciadłem wody, względnie pod koroną. Ta warstewka pozostanie w równowadze, jeżeli siły S_1 i S_2 działające w środku jej ścianek bocznych zniosą się z ciśnieniem wody P , działającym na jej ścianę tylną. Wielkości sił są następujące:

$$P = \gamma y ds dy \quad (\gamma \text{ ciężar właściwy wody, t. j. } 1 \text{ t/m}^3)$$

S otrzyma się z planu sił

$$\frac{1}{2} P = S \sin \frac{d\alpha}{2}, \text{ czyli } S = \frac{1}{2} \frac{\gamma y ds dy}{\sin \frac{d\alpha}{2}}$$

Jeżeli natężenie dopuszczalne na ciśnienie w ściankach bocznych ($x dy$) wynosi τ , to wtedy

$$\tau x dy = S = \frac{1}{2} \frac{\gamma y ds dy}{\sin \frac{d\alpha}{2}}, \text{ ponieważ zaś } ds = r_1 d\alpha,$$

zaś $\sin \frac{d\alpha}{2} = \frac{d\alpha}{2}$, zatem

$$\tau x dy = \frac{1}{2} \frac{\gamma y r_1 d\alpha dy}{\frac{d\alpha}{2}}, \text{ czyli}$$

$$\tau x = \gamma y r_1, \text{ skąd}$$

$$x = \frac{\gamma r_1 y}{\tau}$$

Wynika z tego, że potrzebna grubość muru będzie tem mniejsza, im mniejsze będą wysokość i promień krzywizny, a im większe natężenie dopuszczalne na ciśnienie; przekrój teoretyczny jest trójkątem.

Obliczenie to zakłada, że linja ciśnienia leży w osi przekroju poziomego sklepienia. Kreuter¹⁾ zauważa jednak, że wobec poddawania się łuku, zwłaszcza przy pierwszym obciążeniu ciśnieniem wody, należy przyjąć dla pewności, że linja ciśnienia przesuwana się na kraj jądra. Wtedy zamiast jednostajnego rozkładu ciśnienia mamy rozkład według trójkąta, czyli, że ciśnienie krawężne wzrasta do podwójnej wartości ciśnienia średniego. Aby więc nie przekraczać natężenia dopuszczalnego, musi się w powyższym wzorze przyjąć na x wartość podwójną, czyli

$$x = \frac{2 \gamma r_1 y}{\tau}$$

To będą grubości teoretyczne; kształt praktyczny otrzymamy, jeżeli przyjmiemy pewną szerokość korony i odpowiednio wzmocnimy górną część otrzymanego przekroju trójkątnego, aby przegroda była wytrzymała na uderzenia. Naturalnie, że koniecznym warunkiem jest, aby materiał stoków posiadał przynajmniej taką samą wytrzymałość jak mur przegrody.

Kreuter stwierdza również, że jakkolwiek obliczenie powyższe nie uwzględnia ciężaru własnego, to jednak obliczone grubości będą wystarczające, gdyż kombinacja ciśnienia wody na sklepienie poziome z ciężarem własnym, dałaby wynik korzystniejszy.

Poza tem obliczeniem trzeba osobno przeprowadzić badanie z uwagi na ciężar własny.

Jak widać z powyższego wzoru, grubość przegrody powinna wraz z ciśnieniem wzrastać ku dołowi, tymczasem nie wszystkie przegrody spełniają ten warunek; tak naprzykład omówiona powyżej przegroda

¹⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften III T. VI Bd. Der Flussbau, Verbauung der Wildbäche.

Pontalto zmniejsza odsadzkami grubość swą w dół, co jest zupełnie sprzeczne z zasadami statyki.

Jaką grubość powinny mieć ta przegroda w głębokości 33 m pod koroną, w miejscu gdzie się zaczyna ostatnia odsadzka wsparta na skale? Przyjmując natężenie dopuszczalne na ciśnienie 15 kg, czyli 150 t/m^2 ¹⁾, promień krzywizny linii wklęsłej 13,2, zatem linii wypukłej $13,2 + x$ otrzymuje się:

$$x = \frac{2 \gamma r_1 y}{\tau} = \frac{2 \cdot 1 \text{ t/m}^3 \cdot (13,2 + x) \text{ m} \cdot 33 \text{ m}}{150 \text{ t/m}^2} = 10,56 \text{ m}.$$

Grubość ta jest przeszło 2,5 razy większa jak grubość wykonanej przegrody (3,98 m), czyli że natężenie w niej wynosi:

$$\frac{10,56}{3,98} \cdot 15 = 38,75 \text{ kg},$$

jest zatem jak dla suchego muru z ciosów bardzo znaczne.

Wysokość przegrody nie może przekraczać pewnych granic zakreślonych dopuszczalnością ciśnienia krawężnego, tak z uwagi na materiał przegrody, jak i z uwagi na materiał skały stanowiącej fundament. Jeżeli przyjmiemy, że przy przegrodzie nieobciążonej parciem wody, linia ciśnienia przechodzi przez kraj jądra po stronie górnej, czyli że natężenie rozkłada się według trójkąta, natenczas:

$$\text{najw. } y = \frac{\tau}{\gamma_1},$$

gdzie y oznacza największą wysokość przegrody, τ natężenie dopuszczalne na ciśnienie, a γ_1 ciężar właściwy muru przegrody.

Przyjmując naprzykład $\tau = 15 \text{ kg/cm}^2$, czyli 150 t/m^2 , zaś $\gamma_1 = 2,3 \text{ t/m}^3$, otrzymuje się:

$$\text{najw. } y = \frac{150}{2,3} = 65 \text{ m}.$$

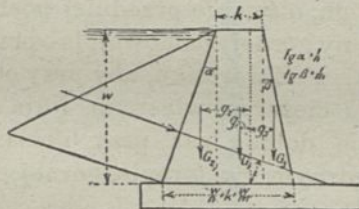
✓ Jeżeli mamy do czynienia z przegrodą dłuższą, której nie można traktować jako łuk rozparty o skaliste stoki, natenczas oblicza się ją jako mur wolno stojący. Takie przegrody podzielimy na dwa rodzaje, a mianowicie a) przegrody niskie i b) przegrody wysokie.

a) Przegrody niskie mogą być prostokątne, lub trapezowe; pierwsze stosowane są tylko przy bardzo małych wysokościach, powiedzmy do 1 m, wyjątkowo do 2 m. Jeżeli przy obciążeniu parciem

¹⁾ Kreuter dopuszcza dla solidnie wykonanych przegród z ciosu na zaprawie natężenie nawet do $800 \text{ t/m}^2 = 80 \text{ kg/cm}^2$, a z betonu $300 \text{ t/m}^2 = 30 \text{ kg/cm}^2$, naturalnie pod założeniem, że i dla materiału skalnego natężenie to nie jest zawiadkie.

wody aż po koronę, linja ciśnienia nie ma wychodzić z jądra przekroju, natenczas grubość muru ma wynosić $x = \frac{y}{\sqrt{\gamma_1}}$, gdzie y oznacza największą wysokość przegrody, a γ_1 ciężar właściwy muru.

Zwykle jednak daje się przegrodom niższym kształt trapezowy. Biorąc przegrodę trapezową o dowolnych stosunkach nachylenia skarp ($\text{tg } \alpha = \frac{1}{n}$, $\text{tg } \beta = \frac{1}{m}$) i szerokości korony k (rys. 206), otrzymuje



Rys. 206.

się z warunku, aby linja ciśnienia przy obciążeniu parciem wody, oraz dla samego ciężaru własnego zmieniała położenie między obydwoma punktami jędrnymi, następujące równanie na szerokość korony¹⁾

$$k = \left\{ - \left(\frac{3}{2m} + \frac{1}{\gamma_1 n} \right) + \sqrt{\left(\frac{3}{2m} + \frac{1}{\gamma_1 n} \right)^2 + \frac{n^2 - 1}{\gamma_1 n^2} - \frac{1}{m^2} - \frac{\gamma_1 + 2}{\gamma_1 m n}} \right\} w.$$

Równaniem tem jest przekrój w zupełności wyznaczony, trzeba tylko wstawić wartości m , n , oraz γ i γ_1 , t. j. ciężary właściwe wody i muru.

Zakładając skarpe górną pionową, otrzymuje się wstawiając $\text{tg } \alpha = 0$ wzór uproszczony:

$$k = \left(- \frac{3}{2m} + \sqrt{\left(\frac{3}{2m} \right)^2 - \frac{1}{m^2}} \right) w.$$

Prócz warunku, aby linja ciśnienia nie wychodziła z jądra, koniecznym jest również, celem uniknięcia ślizgania, aby kąt nachylenia wypadkowej był większy od kąta tarcia. Nazywając literą μ współczynnik tarcia, P ciężar przegrody, W ciśnienie wody

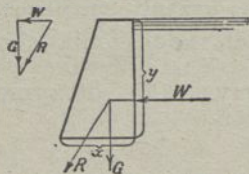
$$\mu P > W$$

$$\mu > \frac{W}{P}.$$

Celem zwiększenia kąta nachylenia wypadkowej do płaszczyzny podstawy przegrody, wykonuje się tę podstawę pochyłą ze spadkiem ku górze, jak to już powyżej zaznaczono.

¹⁾ Patrz autora „Budowa jazów“, Lwów 1920.

b) Przegrody wysokie. Nie chodzi tu o przegrody bardzo wysokie, jakie wykonuje się w celu wytworzenia zbiorników retencyjnych, gdyż takie wykonuje się w szczytach potoków górskich tylko wyjątkowo, ale o przegrody średniej wysokości, powiedzmy już od dolnej granicy 6—10 m, a do górnej określonej natężeniem granicznym na ciśnienie u spodu muru przegrody. Przekroje takich przegród opierają się na zasadzie teoretycznego trójkąta prostokątnego, o ścianie przedniej pochylonej, tylnej (od strony górnej) pionowej, lub prawie pionowej (np. 10:1).



Rys. 207.

Z warunku, aby przy obciążeniu parciem wody i ciężarem własnym, linja ciśnienia była w punkcie jędrnym po stronie dolnej, zaś przy obciążeniu samym ciężarem własnym w punkcie jędrnym po stronie górnej, wynika (rys. 207):

$$W : G = \frac{x}{3} : \frac{y}{3}$$

$$\frac{1}{2} \gamma y^2 : \gamma_1 \frac{x y}{2} = x : y, \text{ skąd (ponieważ } \gamma = 1 \text{ t/m}^3) \quad x = \frac{y}{\sqrt{\gamma_1}}.$$

Dla przegrody 33 m wysokiej (jak w powyższym przykładzie Pontalto) i dla $\gamma_1 = 2,3 \text{ t/m}^3$

$$x_1 = \frac{33}{\sqrt{2,3}} = \approx 22 \text{ m.}$$

Różnica zatem między wynikami otrzymanymi dla przegrody liczonej jako sklepienie poziome rozparte o stoki skaliste i jako mur wolno stojący, jest bardzo znaczna; wypada tu grubość przeszło 2 razy większa.

Dla przegrody podanej na rysunku 199, 10 m wysokiej, otrzymuje się szerokość u spodu:

$$x_2 = \frac{10}{\sqrt{2,3}} = 6,6 \text{ m,}$$

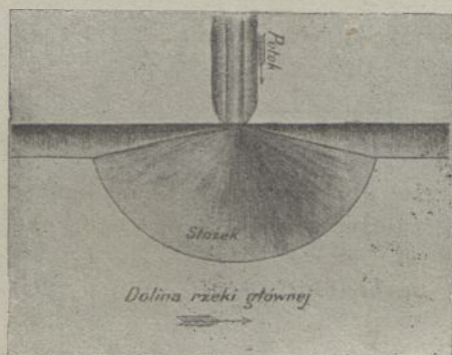
a więc w przybliżeniu zgodną z wykonaniem.

✓ Koronie musi się dać pewien praktyczny wymiar, z uwagi na uderzenia przedmiotów niesionych przez wodę (bloki kamienne, kłody drzewa); przyjęcie szerokości korony jest zawsze dowolne i nie jest w żadnym związku z wysokością przegrody. Kreuter na podstawie teorii przez siebie ustawionej¹⁾ podaje formuły określające wymiary przekroju poprzecznego przegród wyższych, opartych na zasadzie trójkąta prostokątnego (B G H rys. 208), którego podstawa $H G = \frac{y_{\max}}{\sqrt{\gamma_1}}$.

¹⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften j. w., oraz „Berechnung der Staumauern“ Ztschft für Bauwesen 1894.

3. Roboty na obszarze stożka.

Mają one na celu powstrzymanie ruchów potoku na powierzchni stożka (rys. 209), a zatem ustalenie jego położenia w sytuacji, uregulowanie i ułatwienie udływu wody i ruchu materiału ruchomego, a wreszcie utrwalenie dna celem powstrzymania erozji. Erozja na stożku może się znacznie zwiększyć, jeżeli skutkiem zabudowania szyji, oraz wykonanych zalesień, ilość transportowanego materiału wydatnie się zmniejszy. Nadto



Rys. 209.

erozja zależy od spadku stożka i jest tem większa, im spadek jest silniejszy.

W miarę jak skutkiem zabudowania górnych partji potoku zmniejsza się ilość transportowanego materiału, spadek może się stać za duży i może zająć potrzeba wykonania stopni.

Jak z powyższego wynika, najważniejszą czynnością będzie tu wykonanie dla potoku odpowiedniego koryta (żłobu, kinety, cunette, Abflussgerinne).

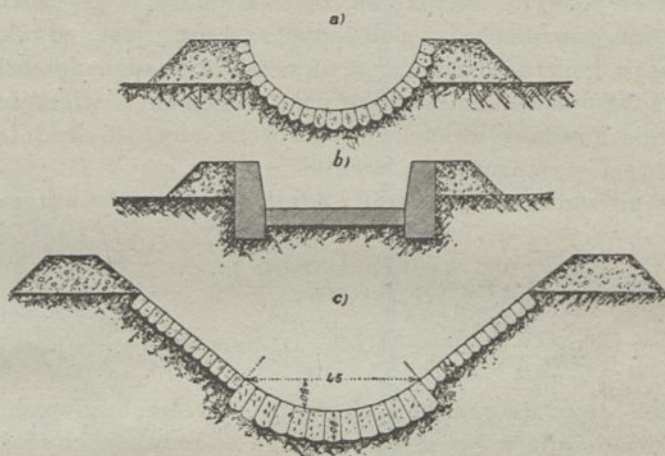
Koryto to musi spełniać następujące warunki:

1. Kierunki trasy muszą być o ile możności proste, a wstawione łuki o możliwie dużym promieniu¹⁾.
2. Należy unikać załomów spadku, czyli że dno ma być założone w spadku jednostajnym.
3. Trasa koryta powinna przebiegać o ile możności poza miejscowościami.
4. Łożysko ma mieć profil odpowiednio silnie ubezpieczony, aby było zabezpieczone przed erozją, nadto powinno być gładkie, pozbawione wszelkich przeszkód przepływu wody.
5. Spadek łożyska powinien być wystarczający do odprowadzenia rumowiska.
6. Przekrój poprzeczny łożyska ma mieć takie rozmiary, aby wielka woda wraz z rumowiskiem mogła być odprowadzona bez wylewu. Przekrój ten powinien ujmować największą wielką wodę, a conajmniej zwykłą wielką wodę; może być jednocześnie, lub w razie większych objętości dwuczęściowy.

Wszystkie te warunki mają na celu uniknięcie zatkania (wypelnienia) łożyska materiałem ruchomym, wystąpienia wody z brzegów i przerzucenia się potoku w inne miejsce.

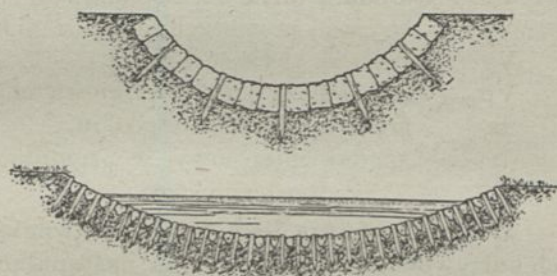
¹⁾ Według Wanga minimum promienia 50—100 m.

Typy łożysk (żłobów) na stożku przedstawiają rysunki 210, 211 i 212. Są to koryta o łukowym łęku, lub trapezowe, o ubezpieczonym dnie i skarpach zapomocą bruku, muru z kamienia, lub betonu. We Francji

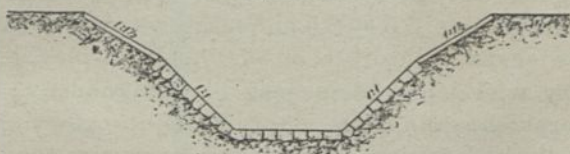


Rys. 210.

stosują także koryta brukowane, w których kamienie przegrodzone są palikami (rys. 211). Dubislav¹⁾ zauważa, że w Szwajcarii odstąpiono już od wykonywania koryt o łukowym łęku i wykonuje się tylko typy trapezowe, jako prostsze, a w gruncie rzeczy oddające takiesame usługi (rys. 212). Wyjątkowo ubezpiecza się także profil drzewem (dno i brzegi wyściełone dylami), jednak takie wykonanie nie jest do polecenia, wobec tego, że ubezpieczenie takie nie trwa długo, a wobec wysokich cen drzewa nie przedstawia obecnie oszczędności.



Rys. 211.



Rys. 212.

Co do rozmiarów łożyska dodaje się jeszcze, że ponieważ profil służy tak do odprowadzenia wody, jak i dużych ilości rumowiska, nie powinien mieć zbyt skąpych rozmiarów.

¹⁾ Wildbachverbauungen und Regulierungen j. w.

Objętość wielkiej wody powinno się oznaczyć możliwie dokładnie, na małych potokach np. zapomocą przelewu, na większych zapomocą pomiaru powierzchni profilu i chyżości przepływu pływakami lub młynkiem hydrometrycznym. Pomiar chyżości zupełny, t. j. w różnych punktach profilu na powierzchni i pod powierzchnią, jest jednak zwłaszcza w tego rodzaju korytach trudny, a nawet często niebezpieczny, dlatego pomiar chyżości pływakami w różnych punktach powierzchni, lub też tylko w nurcie i redukcja tych chyżości na chyżość średnią może dać zupełnie dobre i wystarczające wyniki.

Do przeprowadzenia redukcji nadają się formuły autora ¹⁾:

$$1) \frac{\sum V_s'}{\sum V_p} = 0,78 + 0,015 ts + \frac{0,02}{i^{0,7}_{\text{‰}}}$$

$$2) \frac{V_s}{V_{p_{\text{max}}}} = 0,59 + 0,02 ts + \frac{0,006}{i^{0}_{\text{‰}}}$$

Pierwsza służy do redukcji chyżości powierzchniowych na średnie w profilach, względnie w pionowych, druga do redukcji chyżości w nurcie na średnią chyżość całego profilu. W formułach tych oznacza:

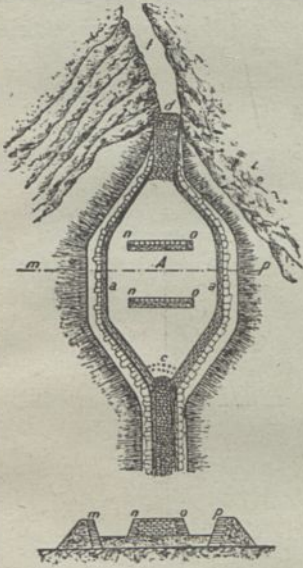
- V_s' średnią chyżość w pionowej,
 V_p chyżość powierzchniową w pionowej,
 V_s średnią chyżość profilu,
 $V_{p_{\text{max}}}$ największą powierzchniową chyżość profilu,
 ts średnią głębokość profilu,
 i spadek miejscowy w promillach, który można pomierzyć albo ocenić.

Wang przyjmuje dla potoków, z uwzględnieniem stosunków w obszarach kultywowanych i zalesionych, następujące objętości odpływu największej wielkiej wody na km^2/sek : w równinach 0,9 — 1,4 m^3/sek , w obszarach pagórkowatych 2 — 2,5 m^3/sek , w średnich górach 4 — 5 m^3/sek , w wysokich górach 5,5 — 8,5 m^3/sek ; w obszarach dzikich mało zalesionych powiększa te liczby o 30—50%. Jak widać, jednostkowy odpływ potoków przy wielkiej wodzie jest bardzo znaczny; cyfry te wahają w bardzo szerokich granicach, odpływ jednostkowy zależy przedewszystkiem od wielkości dorzecza, spadków i pokrycia powierzchni; ogółowa ocena nie może dać dobrych wyników, lecz trzeba się oprzeć na pomiarach bezpośrednich, przynajmniej na potokach o podobnym charakterze wykonanych.

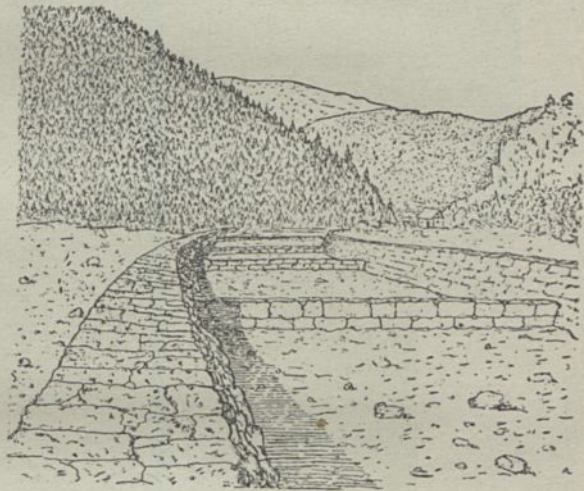
Zbiorniki materiału, miejsca składu (places de dépôt, Ablagerungsplätze, Kiessammler). Jeżeli potok pomimo zabudowania górnych partji porusza jeszcze na stożku znaczniejsze ilości materiału, natenczas trzeba

¹⁾ „Badania nad związkiem między chyżością powierzchniową a średnią w łożyskach rzecznych“. Czasopismo techniczne, Lwów 1918 i osobna odbitka.

je będzie zatrzymać na odpowiednich miejscach składu. We Francji¹⁾ wykonują to w ten sposób (rys. 213), że począwszy od ujścia szyji prowadzi się kierownice kamienne, kierujące potok ku miejscu składu, otoczonemu wałami w formie sześcioboku; wały są wyłożone od strony wewnętrznej suchym murem. Cały zbiornik przedzielają dwa wały poprzeczne, równej wysokości jak zewnętrzny. Mają one na celu, aby materiał nie układał się stożkowato, lecz poziomo. Na końcu składu jest potrójny ruszt z silnych pali wbitych w ziemię, służący do zatrzymania



Rys. 213.



Rys. 213 a.

materiału, który jeszcze nie osiadł, poniżej zaś przechodzi zbiornik w łożysko brukowane odprowadzające czystą wodę. Może tu być również urządzone zamknięcie z zasuwą.

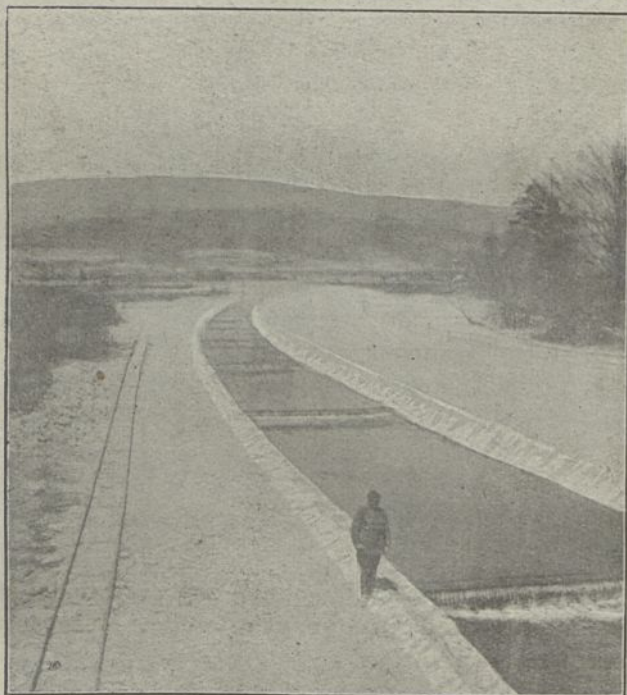
Gdy zbiornik ten zostanie wypełniony aż do wierzchu, odwraca się ujście szyji do nowego zbiornika, a zasypyany zbiornik utrwała przez zalesienie.

W tym samym celu radzi Wang, aby górną część koryta w obrębie stożka wykonać szerszą i o mniejszym spadku, jako skład materiału; późniejsze słabsze wielkie wody mogą ewentualnie materiał ten częściowo znowu wynosić. Na rysunku 213 a widzimy takie rozszerzone koryto, stanowiące miejsce składu, przegrodzone poprzecznymi progami.

¹⁾ Demontzey, Thiery j. w.

Nie zawsze jednak można wykonywać miejsca składu, a przedewszystkiem wtedy, jeżeli powierzchnia stożka jest poddana pod kulturę; wtedy bowiem niema miejsca na place składowe. W takim razie trzeba przeprowadzać perjodyczne czyszczenie łożyska potoku na stożku z materiałów osadzonych przez potok i materiały te wywozić na miejsca nadające się do podniesienia i zasypania.

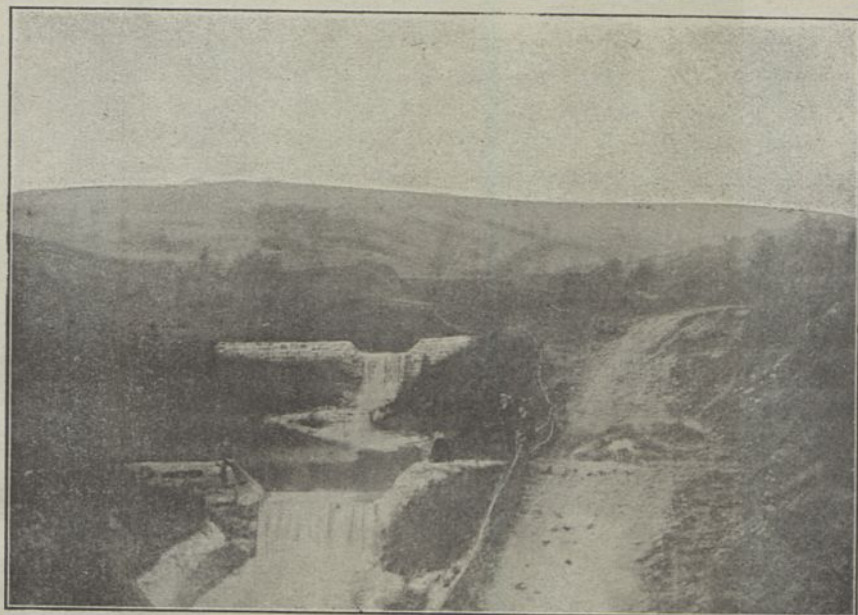
Na rys. 214 — 222 przedstawiono fotografie zabudowań potoków górskich w dorzeczu Wisły w Małopolsce¹⁾. Rys. 214 przedstawia dolną partję potoku Kocierz w dolinie Soły, gdzie płynie on już w szerokiej



Rys. 214.

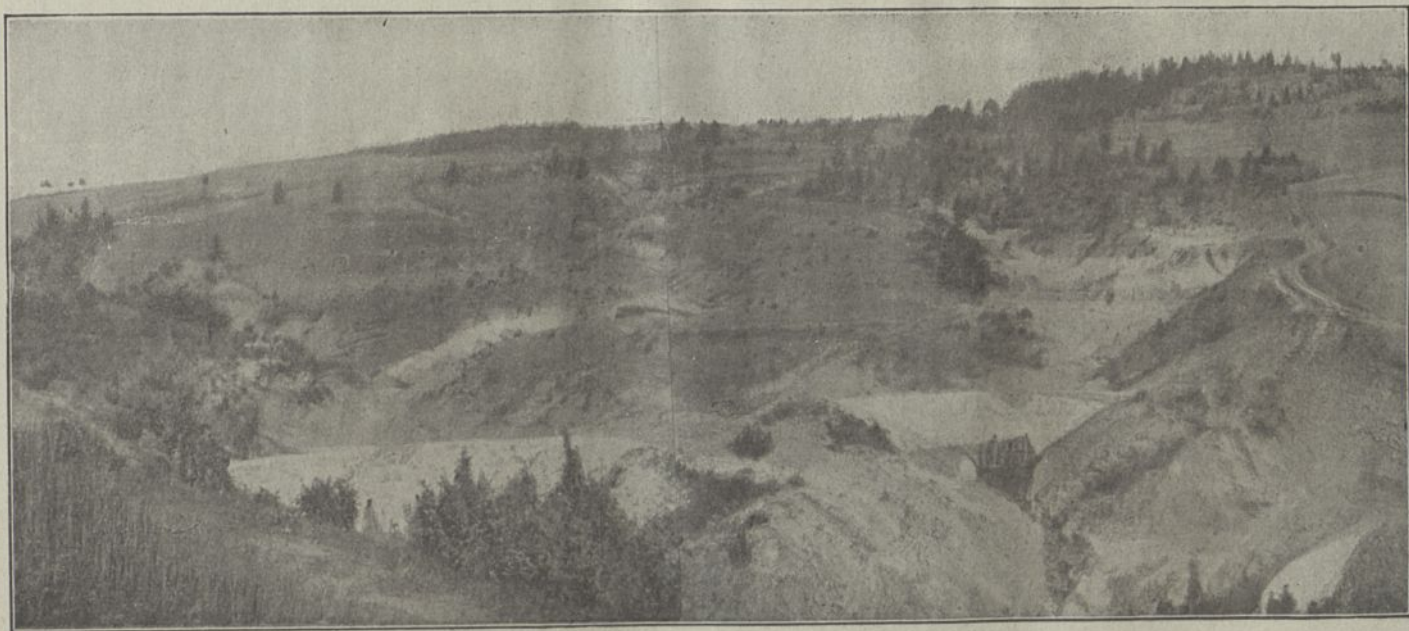
dolinie utworzonej przez żwirowiska. Jest to t. zw. regulacja progowa; koryto ograniczone opaskami kamiennymi, żwirowiska związane poprzeczkami i zalesione. Progi wykonano z kamienia na cemencie. Boczne potoki zamknięto przegrodami (rys. 215) i wykonano na nich kamienne żłoby.

¹⁾ Zdjęcia udzielone przez Kierownictwo lwowskiej sekcji zabudowań potoków górskich.

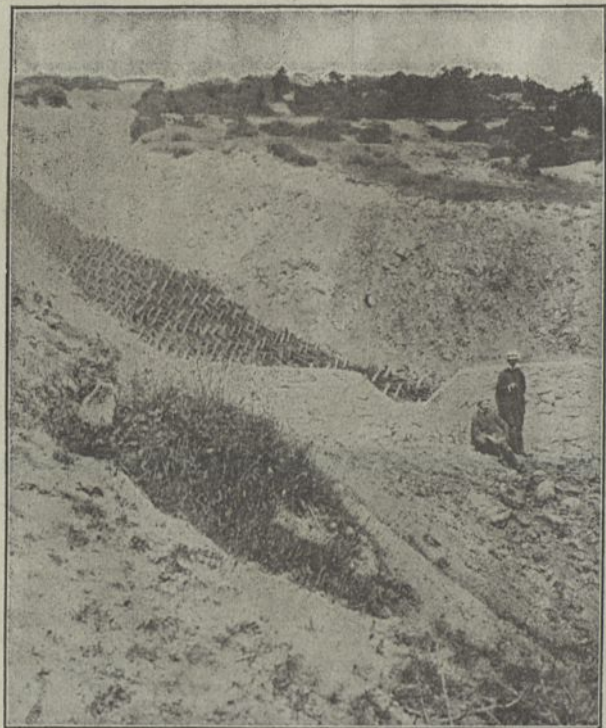


Rys 215.

 Rys. 216.



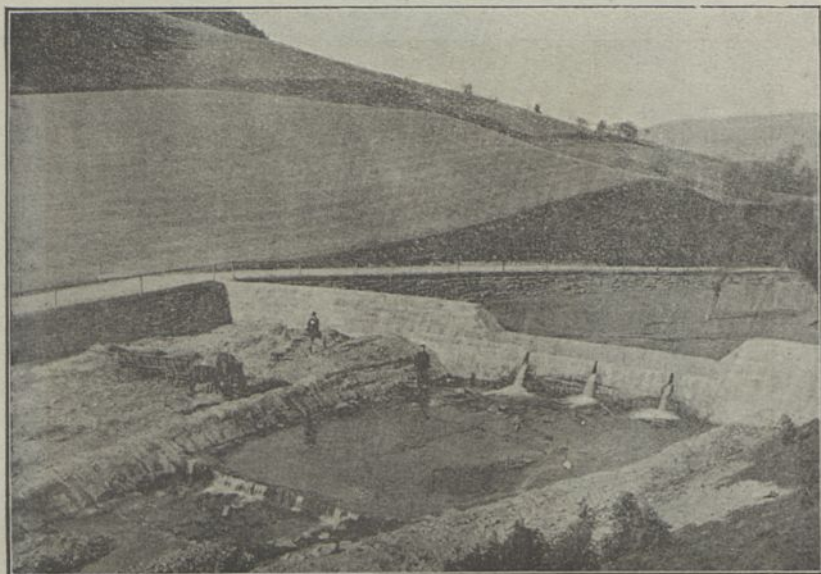
Rys. 217.



Rys. 219.



Rys. 218.



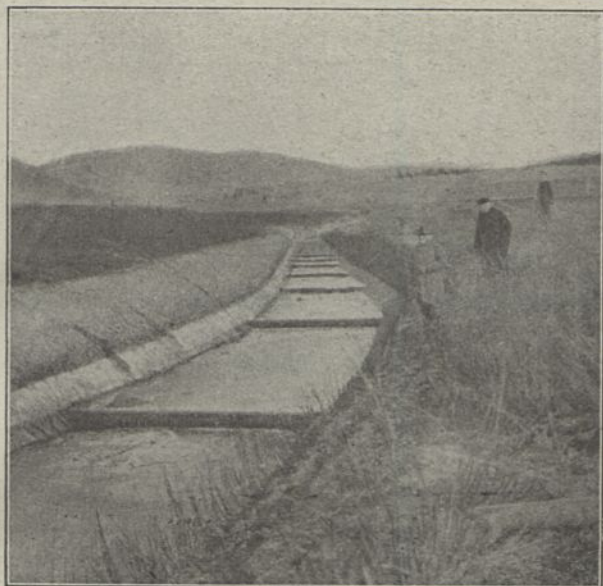
Rys. 220



Rys. 221.

Na rys. 216 podano zabudowanie potoku Cięcina (dorzecze Soły) w obrębie stożka; jest tu żłób kamienny ze stopniami.

Rys. 217 i 218 przedstawiają zabudowanie potoku Środowego w dorzeczu Raby. Wykonano tam przegrody kamienne, żłób kamienny, poprzeczki faszynowe i płotki, oraz zalesienie.



Rys. 222.

Rys. 219 przedstawia zabudowanie debry na potoku Zakijowskim w dorzeczu Dunajca.

Na rys. 220 podano zabudowanie potoku Czarna Woda w temsamem dorzeczu (przegroda kamienna, poniżej korekcja progowa), na rys. zaś 221 i 222 korekcje progowe potoków Bieliczna i Pławianka w dorzeczu Białej pobocznej Dunajca.

CZĘŚĆ 6.

Ochrona przed powodzią.

(Défense contre les inondations, Abwehr von Überschwemmungen).

I. Ogólne zasady.

Najdawniejszym środkiem ochrony przed wylewami rzek były obwałowania, które, jak to już powyżej wspomniano, sięgają bardzo odległych czasów. Gdzie kultury łąk i pastwisk nad rzekami zamieniano na pola uprawne, gdzie nad rzekami powstawały osady, tam starano się przez obwałowanie ochronić je przed wylewami. System ten tak się rozpow szechnił, że do ostatnich prawie czasów uważano go za najnaturalniejszy środek ochrony, tembardziej, że złączone z nim było istnienie rozległych obszarów o wysokiej kulturze.

Tymczasem podniosły się w ostatnich dziesiątkach lat ubiegłego wieku poważne głosy przeciw obwałowaniom, a zarzuty jakie im czynią, oparte są na długoletniem doświadczeniu, tudzież badaniu działania obwałowań. Poważni hydrotekci zwracają uwagę na niekorzystne skutki wałów, a niektórzy zalecają zupełne zerwanie z tym systemem. Przejdźmy pokrótce te zarzuty.

Schlichting mówiąc o wałach Renu wyraża się następująco: „Przez zabezpieczenie kraju przeciw niebezpieczeństwu wylewów i pochodów lodu został wprawdzie dotychczasowy zły stan usunięty, ale na jego miejsce nastąpiły nowe niemniej doniosłe niekorzyści, gdyż obwałowane grunta pozbawiono dobroczynnego działania wielkiej wody, a mianowicie corocznej uprawy namulęm, tudzież utrudniono im naturalne odwodnienie. Te niekorzyści stały się już dziś tak dotkliwemi, że w przyszłości dla ogólnego dobra trzeba je będzie usunąć“. Na innem miejscu powiada dalej, że koryto pomiędzy wałami, jakkolwiek powoli, statecznie się jednak podnosi, wały w ciągu wieków już znacznie zostały podniesione,

a grunta w międzywałach są przy niskich wałach letnich znacznie wyższe, jak grunta przy wysokich wałach zimowych. W przyszłości wały trzeba będzie ciągle podnosić, a skutkiem podnoszenia się dna koryta między wałami, coraz trudniejsze będzie odwodnienie obszarów poza nimi położonych. Wynikiem tego musi być, albo zaprowadzenie sztucznego podnoszenia wody zapomocą pomp, albo usunięcie wałów zimowych i zastąpienie ich wałami letnimi.

Jak widzimy, przeciw temu uniwersalnemu środkowi ochrony przed powodzią podniesiono tu trzy poważne zarzuty, a mianowicie: 1. uniemożliwienie naturalnego nawodnienia i namulania, czyli kolmatacji; 2. utrudnienie naturalnego odwodnienia obszarów poza wałami położonych i 3. stworzenia możliwości stałego podnoszenia się obszarów w międzywałach i to ponad poziom obszarów poza wałami położonych. O ile te zapatrywania są uzasadnione poznamy w dalszym ciągu.

Podobnie jak Schlichting, konstatuje inżynier Fischer¹⁾ systematyczne podnoszenie się stanów wielkiej wody Padu w jej obwałowanym dolnym biegu. Na podstawie długoletnich obserwacji wodoskazowych (w okresie 1705—1889) można zauważyć podnoszenie się maksymalnych stanów wody — linja łącząca punkty szczytowe odpowiedniego wykresu jest prawie prostą stale się wznoszącą. W badanym profilu pod Pontelagoscuro całkowite wzniesienie wynosi we wspomnianym okresie przeszło 2 m, czyli w ciągu wieku 1:30 m. Autor powołanej rozprawy zastanawia się bliżej nad przyczynami tego zjawiska. Przez zwężenie profilów odpływu wielkiej wody obwałowanej rzeki, powstają korzystniejsze warunki przepływu, a spadek naturalny jaki rzeka posiada, jest w tych warunkach za duży. Równocześnie ze spiętrzeniem wywołanem przez zwężenie przekrojów, nastąpi skutkiem nadmiaru siły poruszającej pogłębienie koryta, które przy ujściu rzeki ma wartość równą zeru, a w górę rośnie²⁾. W dalszym ciągu skutkiem tych samych przyczyn objawia się dążność do zmniejszania spadku, co może się dokonać tylko w ten sposób, że w górze nastąpi dalsze pogłębienie, w dole zaś podniesienie koryta. Fischer powołując się na przyjętą przez niektórych hydrotektów charakterystykę biegu rzek, a mianowicie że górny bieg jest to ta część rzeki, w której przeważa erozja, zaś dolny, w której przeważa osadzenie materiału, twierdzi, że gdzieś w średnim biegu rzeki znajdzie się punkt, w którym żadne zmiany następować nie będą. Jednak zmiany takie wogóle mają dokonywać się szybko i często jedna wielka woda

¹⁾ Gesamtursachen der stetigen Erhöhung der Deiche im Unterlaufe der Ströme Ztschft d. Ing. u. Arch. Ver. Wiedeń 1890.

²⁾ Zjawisko tego rodzaju można obserwować przy mostach ograniczających znacznie profil odpływu wielkiej wody; profile mostowe są zazwyczaj znacznie głębsze od sąsiednich na wolnej przestrzeni.

wystarczy, aby rzeka zmieniła sztucznie wytworzone warunki na stan ustalony, a dalsze zmiany są już znikomo małe.

Rozumowanie to, co do procesu jaki przechodzi rzeka obwałowana, wydaje się być w ogólnych zarysach usprawiedliwione, nie można się jednak zgodzić z twierdzeniem, że nastanie nowych warunków odpływu i stanu ustalonego następuje natychmiastowo, gdyż czas dokonywania się tych zmian, jak doświadczenie uczy, może być bardzo długi.

Na podstawie powyższego rozumowania dochodzi Fischer do wniosku, że podwyższenia się stanów wody w dolnych biegach nie należy przypisywać samym wałom. Wyrażając tę zasadę, ma autor prawdopodobnie na myśli, że rzeka w całym swym biegu nawet pomimo obwałowania i odcięcia znacznych obszarów potrafiłaby w znacznej części podolać ruchowi materiału naniesionego z góry, tak, że po pierwszych przejściach, wywołanych stworzeniem sztucznych warunków, już dalsze podnoszenie dna nie powinnyby następować. Jeżeli ono w rzeczywistości ma miejsce, to przypisać je należy w znacznej części nieracjonalnej gospodarce w górnych biegach rzek, której skutkiem jest przeciążenie ich ruchomym materiałem.

Takiesame zjawiska spostrzegano i na innych rzekach; prawie wszystkie większe obwałowane rzeki statecznie choć powoli podnoszą swe dno w dolnym biegu, tak, że w wielu miejscach leży ono wyżej od sąsiedniego terenu, a profil taki określają hydroteki jako „wzniesiony“ (schwebend).

Mówiąc o niekorzystnych skutkach wałów niepodobna pominąć, że bezpieczeństwo jakie dają wały nie jest zupełne, przerwy wałów, które nierzadko występują, są dla okolic nawiedzonych powodzią powodem daleko większych katastrof, niżby to miało miejsce w nieobwałowanych przestrzeniach, których kultura byłaby dostosowana do naturalnych warunków. I tak podaje Garbe¹⁾, że w pięćsetletnim okresie 1376—1876 było 74 wypadki przerwania wałów w delcie Wisły, to znaczy, że przeciętnie co 7 lat następowały katastrofy, na dolnym Renie zaś w okresie 1762—1861 było 16 katastrof powodziowych, z których 9 przybrało ogromne rozmiary. Szczególnie, w razie łatwości tworzenia się zatorów, skuteczność wałów często zawodzi, gdyż skutkiem spiętrzenia woda przelewa się przez wał i przerywa go. Proponowane przez wielu hydrotektów zniesienie wałów zimowych i zastąpienie ich wałami letnimi, jest w obecnych warunkach tylko wyjątkowo możliwe, a w przeważnej liczbie wypadków wprost niepodobne do przeprowadzenia; interesowane spółki wałowe godzą się raczej na powiększone koszta utrzymania, jak na podobną reformę. Katastrofy jakie się wydarzają nie wszędzie są tak dotkliwe i częste, a przez niżenie wałów klęska powodzi co roku by się

¹⁾ Deichverhältnisse, Hb. der Ing. Wissenschaften 1900.

powtarzała; dla zabezpieczenia zaś osad wałami pierścieniowymi, tudzież dla ich odwodnienia, trzeba by znaczne ponieść koszty.

Wszystkie te spostrzeżenia odnosily się do dolnych biegów rzek, należałoby jednak zbadać, czy wały w górnych i średnich biegach rzek, wywołują podobne szkodliwe następstwa. Profesor Garbe twierdzi, że jakkolwiek z tych samych przyczyn należałoby się także obawiać podwyższenia koryta w górnych i średnich biegach rzek, to jednak przeciwdziała tu samo obwałowanie, gdyż skupiony odpływ przy wyższych stacjach, łatwiej może poruszyć naniesiony materiał. W twierdzeniu tem jest zgodność z zasadą wyrażoną przez Fischera.

Jakkolwiek powszechnie są narzekania na szkodliwe skutki wałów, tak, że niektórzy system ten nazywają „nienaturalnym i zgubnym“, przecież na podstawie dotychczasowych doświadczeń w górnych i średnich biegach rzek, tych złych skutków w większej mierze niedostrzeżono. W poszczególnych wypadkach następowało nadmierne podniesienie obszarów między wałami, miało ono jednak charakter lokalny, a przez sztuczne obniżenie gruntu, tudzież zwiększenie odstępu wałów, dało się ono usunąć. Wielu hydrotektów uważa obwałowanie jako środek skutecznie współdziałający przy regulacji rzek, a to samo stwierdza praktyka, gdyż obwałowania nie są tylko dziełem dawnych wieków, ale i w najnowszych czasach na wielką skalę je wykonują. Stosunkowo dawniejsze regulacje rzek badeńskich¹⁾ (regulacja górnego Renu i dopływów), dalej regulacje rzek w Szwajcarii, regulacje alpejskich rzek bawarskich, wreszcie jedną z nowszych, regulację górnego Renu powyżej jeziora Bodeńskiego, wykonano w ten sposób, że równocześnie z robotami regulacyjnymi projektowano i wykonano obwałowanie.

Pod nazwą „korekcja rzek górskich“ rozumia hydrotekci niemieccy przeważnie regulację połączoną z obwałowaniem, a zatem równoczesne wykonanie tych robót.

Lecz nietylko przy rzekach górskich, ale także w dolnych i średnich biegach rzek obwałowania ciągle postępują. W państwie niemieckim, gdzie jak już poprzednio wspomniano, przy wielu rzekach jest już stan krytyczny, dokonano w niedawnych latach obwałowania Niemna, tudzież przeprowadzono rekonstrukcję obwałowania ramion ujścia Wisły, a specjalny wydział powołany do zbadania stosunków wodnych obszarów najwięcej zagrożonych wylewami, w części swej publikacji²⁾ traktującej o Wiśle wyraża zdanie, „że w przyszłości najodpowiedniej będzie wykonywać wały chroniące od najwyższych wielkich wód, gdyż

¹⁾ Patrz autora „Regulacje rzek i urządzenia dla żeglugi w południowych Niemczech, Szwajcarii i Vorarlbergu“ Czasop. techn. lwowskie 1903.

²⁾ Beantwortung der Frage: Welche Massregeln können angewendet werden um . . . der Hochwassergefahr . . . vorzubeugen, für das Memel, Weichsel und Pregel — Gebiet str. 31.

one znakomicie skupiają odpływ, a przez to usuwają wszelkie przeszkody przy przepływie wielkiej wody i pochodzie lodów⁴. Taksamo możnaby powołać wielu autorów głoszących to zdanie, wystarczy jednak jeżeli tylko jako ich reprezentanta wymienimy Honsella, który w broszurze o powodzi nad Renem w roku 1882, nawołuje do wykonywania odpowiednio wysokich i silnych wałów i nie szczędzenia na ten cel środków materialnych.

Wspomniawszy pokrótce o obwałowaniach i ich skutkach, tudzież o zapatrywaniach na tę kwestję, musimy teraz zbadać, czy inne środki jakie w celu usunięcia wylewów projektowano, względnie wykonywano, mogą stworzyć samodzielny system, względnie, jaka jest ich doniosłość i praktyczna wartość.

Jakież są te środki? Pierwszą ich grupę stanowią te, których celem jest powstrzymanie wody w obszarze źródeł, powiększenie możliwości wsiąkania jej w ziemię, aby następnie tylko powoli do rzek dostawać się mogła. Do środków tych należą przedewszystkiem utrzymywanie i zakładanie lasów na stokach, zalesianie nagich gór, zakładanie łąk na nagich obszarach, utrzymywanie jezior, tudzież wykonywanie stawów i sztucznych zbiorników wody, wykonywanie rowów poziomych. Wprawdzie, jak słusznie stwierdza de Mas¹⁾, sam grunt w lesie nie jest więcej przepuszczalny jak na obszarach poddanych kulturze rolnej, jednak liście, szpilki, (ściola leśna), pędy, korzenie, mech i różne pasożyty przeszkadzają przepływowi wody, skutkiem czego grunt dłużej styka się z wodą i może się lepiej nasycić. Ten dział obejmujemy zbiorową nazwą robót górskich, gdyż roboty wymienione wykonuje się w górnych regionach dorzeczy. Dział ten rozpadnie się na zatrzymanie wody 1. zapomocą zalesienia i zamurawienia i 2. zapomocą zbiorników; obydwie te rodzaje środków obejmują zatrzymanie, czyli retencję w pobliżu źródeł (emmagasinements vers les sources, Magazinierung bei den Quellen).

De Mas¹⁾ wlicza także między środkami ochrony „czyszczenie koryta“ (curage, Reinigung), oraz przekopy (coupure) sprowadzające wyprostowanie biegu, tworząc z nich grupę środków zmierzających „do przyspieszenia splywu wody“. Takie ujęcie rzeczy nie jest właściwe, gdyż roboty zmierzające do przyspieszenia odpływu wody nie mogą być zaliczone do robót chroniących przed powodzią, przyspieszenie bowiem odpływu wywołuje koncentrację w częściach biegu poniżej położonych, a zatem pogorszenie warunków. O prostowaniu biegu i skutkach wywołanego skrócenia wyraziliśmy się już obszerniej w rozdziale o przekopach. Co do czyszczenia łożyska, polegającego na usunięciu wszelkich przeszkód przepływu, jak złoży materiału, pni drzew, usunięciu wszelkich budowli z terenu zalewowego, lasów, wikliny i t. p., tudzież na

¹⁾ Rivières à courant libre. Paris 1899.

ewentualnem rozszerzeniu zbyt wąskich profilów wielkiej wody, celem ułatwienia odpływu i usunięcia lokalnych spiętrzeń, to wprawdzie takie czyszczenie przyspiesza odpływ wody, jednak charakter tych robót jest zupełnie inny, jak robót wywołujących skrócenie biegu zapomocą systemu przekopów, Podczas gdy naprzykład wykonania przekopów na podstawie przepisów ustawy wodnej można zakazać, z uwagi na niekorzystne oddziaływanie na przestrzenie poniżej położone, czyszczenie łożyska idzie właśnie po myśli przepisów ustawy wodnej, gdyż nie jest niczem innym jak utrzymaniem łożyska „w należytych stanie“.

1. Roboty górskie.

W obszernej literaturze technicznej dotyczącej wezbrań i wylewów napotykamy często twierdzenie, że głównym ich powodem jest wyniszczenie (dewastacja) lasów, które w ostatnich czasach postępowało szczególnie szybko. Zdanie to powtarzają nietylko laicy, ale i wielka część hydrotektów, mniejszość zapatruje się na wpływ lasów sceptycznie, nie przypisując im pod tym względem większego znaczenia.

Według zdania pierwszych lasy objawiają swe łagodzące działanie w dwojaki sposób: po pierwsze ujednostajniają klimat, tak, że opady nie występują tak intensywnie, powtóre zaś opady w dorzeczu zalesionem dostają się powoli do ścieków, daleko znaczniejsza część zostaje zatrzymana przez wsiąkanie i parowanie, odpływ się opóźnia, skutkiem czego zmniejsza się maximum odpływu, a zatem i stan wezbrania.

Według dotychczasowych badań okazuje się, że wykazanie wpływu zalesienia na klimat, a zatem i na opady, jest rzeczą niezmiernie trudną, a przypisywanie im w tym kierunku większego znaczenia, nie znajduje w statystyce wylewów poparcia. Przedewszystkiem dawność obwałowań i wiadomości o wylewach jakie mamy z dawnych wieków stwierdzają, że jakkolwiek w owych czasach dorzecza były bezwątpienia dobrze zalesione, przecież katastrofy takie się zdarzały. Wielu hydrotektów powołuje się na zdanie klimatologa Brücknera, który studjując wpływ kultury na klimat, na podstawie wahań klimatu od r. 1700 doszedł do wniosku, że w długich okresach zmieniają się lata suche i mokre, a wysokie stany wód są tylko skutkiem nadzwyczajnych opadów.

Pozostawiając na później dalsze rozpatrywanie wiadomości statystycznych, zajmiemy się drugą częścią działania lasów, t. j. ich wpływem na opóźnienie odpływu

Przedewszystkiem zaznaczyć należy, że górskie dorzecza mają daleko znaczniejsze względne objętości odpływu (na km² i sekundę) podczas wysokich stanów, jak dorzecza w równinach. Jeżeli porówna się

daty jakie posiadamy co do odpływu wielkich wód choćby tylko dla kilku rzek, to łatwo możemy otrzymać zupełnie wyraźny kontrast.

Na podstawie przybliżonych pomiarów i obliczeń oznaczono maksymalne objętości odpływu następujących rzek (przy ujściu):

Badeńska Wutach . . .	przy dorzeczu	1138 km ²	objętość	1000 m ³	t. j.	0.88 m ³ /km ² sek. ¹⁾
" Kinzig . . .	" "	1422	" "	1200	" "	0.84 " " "
Śląskiej Zacken . . .	" "	1006	" "	1200	" "	1.20 " " " ²⁾
" Bober . . .	" "	1210	" "	1350	" "	1.11 " " " ³⁾
Skawy	" "	1151	" "	933	" "	0.81 " " " ⁴⁾
Soly	" "	1388	" "	1210	" "	0.89 " " "

Wymieniono tu na razie rzeki o charakterze wybitnie górskim; jako przykład rzeki o charakterze przejściowym można podać górną Wisłę dla której największy odpływ na podstawie pomiarów hydrometrycznych oznaczono na 480 m³, co przy dorzeczu 1751 km² daje tylko 0.27 m³/km² sek., zaś wybitnym przykładem rzeki nizinnej jest Przemsza, której największy odpływ oznaczono na 197 m³, co przy dorzeczu 2095 km² daje tylko 0.095 m³/km², sek.

Wybrano tu naumyślnie rzeki, które mają podobne powierzchnie dorzeczy, aby porównanie mogło być uskutecznione.

Powodem tych ogromnych różnic we względnych objętościach odpływu jest przede wszystkim to, że opady w górach są znacznie większe jak na równinach, grunt mało przepuszczalny, silnie pochylony ułatwia szybki odpływ, a mnogość i rozgałęzienie ścieków powodują koncentrację odpływu.

Dążeniem robót górskich powinno być wytworzenie w górach takich warunków, aby znaczna część opadów została powstrzymana, a z drugiej strony utrudnienie odpływu przez odpowiednie zabudowanie ścieków. Zadanie powstrzymania opadów mają spełniać lasy i na tem miejscu należy zbadać jak daleko ich wpływ sięga.

Przedewszystkiem miarodajnymi powinny tu być doświadczenia, i wyniki badania przyrody w tym kierunku. Wspomnę tu o najważniejszych, które rzucają niejaki światło na tę kwestję.

L. Hagen w odczycie o wylewach⁵⁾, powołując się na wyniki pruskich i bawarskich stacji doświadczalnych powiada, że z deszczu, który pada w lesie, odpływa tylko 60—90%, przyczem silniej zatrzymuje opad las liściasty; część opadu pozostaje na konarach i liściach, co ułatwia parowanie, część zaś wsiąka w ściółę leśną i mech.

1) Beiträge zur Hydrographie der Grhz. Baden.

2) Denkschrift über die schles. Gebirgsflüsse.

3) Koło Mauer.

4) Studja krajowego Oddziału hydrograficznego.

5) Ctbl. d. Bauv. 1892.

Według tego byłoby działanie lasu wcale znaczne, jeżeli jednak weźmiemy pod uwagę deszcz długotrwały, to po nasyceniu warstwy pochłaniającej wodę, już niewiele tylko wsiąka.

Stwierdzają to doświadczenia Bühlera z których wynika, że warstwa ścióły leśnej może pochłonąć na obszarze jednego hektara tylko 16—18 m³, czemu odpowiada zaledwie opad 1.6—1.8 ^m/_m. Podobnie Hon-sell¹⁾, opierając się na zdaniach fachowców i rezultatach doświadczeń wykonywanych w Niemczech i w Austrii, uważa wpływ zalesienia na odpływ wielkich wód jako znikomo mały i wyraża zdanie: „Wielokrotnie już wykazano przy obszarach nawiedzonych wylewami, że w czasie, w którym rzekomo miało nastąpić pogorszenie stosunków wodnych, stan zalesienia się nie zmniejszył, a nawet w pewnych wypadkach powiększył“. Tensam autor konstatuje dalej, że w świecie ścisłych badaczy i fachowców nie przypisuje się lasom wydatnego wpływu na odpływ wielkich wód.

Ale wróćmy jeszcze do doświadczeń.

W czasopiśmie „Forschungen auf dem Gebiete der Agricultur-Physik“ z r. 1900 znajdujemy rezultaty doświadczeń profesora Dr. E. Wollny z Monachium, które streszczają się w następujących zdaniach:

a) Objętość wody, którą pochłania warstwa ścióły leśnej, jest zmienna i zależna tak od rodzaju tej warstwy, jak i od jej grubości. Przy grubości 5 cm pochłania pokład z mchu 31.7%, z liści dębowych około 57.3%, zaś przy grubości 30 cm pierwszy rodzaj około 44.5%, drugi 46.6% objętości tejże warstwy.

b) Objętość, którą warstwa przepuszcza wgląd, rośnie do 20 cm grubości warstwy, następnie zaś maleje.

c) Objętości, które parują są tem mniejsze, im grubsza jest warstwa, jednak do pewnej wartości, około 20 cm, są stałe.

d) Temperatura ziemi nagiej jest podczas dziennego minimum niższa, podczas maximum wyższa, jak ziemi pokrytej, to znaczy że wahania temperatury są większe.

e) Ziemia pokryta warstwą ścióły jest podczas cieplejszej pory roku znacznie wilgotniejsza jak ziemia naga; już warstwa 2.5—5 cm wystarcza, aby utrzymać w warstwie ziemi pod nią się znajdującej stopień wilgotności odpowiadający jej pojemności.

f) W ziemię niepokrytą wsiąka z tejsamej ilości opadu znacznie mniej jak w ziemię pokrytą tegosamego gatunku, a już warstwa 1 cm wystarcza, aby tę zdolność znacznie zwiększyć. Przy odnośnem doświadczeniu, objętość którą przepuściła warstwa pokryta o grubości 20 cm,

¹⁾ Neuere Literatur zur Wald und Wasserfrage, Ztbl. d. Bauverv. 1892.

wynosiła 26—33.000 cm³, zaś przy warstwie niepokrytej było w tych samych warunkach 18700 cm³.

Z przytoczonych rezultatów doświadczeń wynika, że warstwa pokrywająca ziemię, a zatem zalesienie, może wywrzeć pewien wpływ na odpływ; z ostatniego punktu widać, że zdolność zatrzymania opadu przez ziemię pokrytą jest znacznie większa, jak przez ziemię niepokrytą. Jednak punkt e) osłabia w wielkim stopniu znaczenie tego działania; przy dłuższym czasie trwania deszczu działanie to może być nawet szkodliwe, gdyż parowanie zostało osłabione, a ziemia utrzymuje się w stanie nasycenia. Wreszcie z punktu d) widać, że pokrycie ziemi wywiera pewien wpływ na wahania temperatury, a zatem nie jest wykluczone oddziaływanie lasów na klimat.

Jeszcze więcej szczegółów odnośnie do tej kwestji podaje profesor Ebermayer; rezultaty jego doświadczeń¹⁾ wykonywanych w stacjach w obszarach zalesionych, tudzież pozbawionych lasu, dają się streścić w następującym szeregu spostrzeżeń:

1. Okolice zalesione mają znacznie niższe maximum (roczne i dzienne) temperatury, co wpływa korzystnie na utrzymywanie wilgotności ziemi i rozwój roślinności, wpływ ten jest największy w cieplejszej porze roku. W okolicach pozbawionych lasu klimat jest znacznie ostrzejszy, w miesiącach cieplejszych maximum temperatury jest większe i różnica ta rośnie aż do 3°, minimum zaś spada i różnica dochodzi do 1,6° C.

2. Na ilość opadu wpływa las prawdopodobnie tylko o tyle, że zwiększa względną wilgotność powietrza i zbliża ją do stanu nasycenia, tak, że przy niższej temperaturze następuje w okolicy zalesionej skroplenie pary w większej ilości, jak na wolnej przestrzeni. Średnia roczna wilgotność jest w lasach większa, a wpływ ten jest znacznie większy w okolicach wyżej położonych, jak na nizinach.

3. Parowanie z wolnej powierzchni wody jest w lesie 2,6 razy, t. j. o 62% mniejsze jak na wolnej przestrzeni i to we wszystkich porach roku, a wpływ lasu na parowanie jest znacznie większy jak na temperaturę powietrza. Warstwa ściółki leśnej wpływa tak samo jak sam las na wilgotność ziemi i zasilanie źródeł, zmniejsza zaś parowanie o dalsze 22%, t. j. razem o 84%.

4. Korona drzew zatrzymuje przeciętnie 26%, czyli 1/4 część opadu.

5. Wyniszczenie lasów może mieć wpływ na zmianę ilości opadu chyba tylko w porze letniej.

¹⁾ Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden.

6. W obszarze niezalesionym wsiąka daleko mniej w grunt jak w zalesionym, wyniszczenie lasów w okolicach górskich jest daleko więcej szkodliwe jak na nizinach.

7. We wnętrzu zamkniętego lasu jest parowanie tak nieznaczne, że ilości wody doprowadzone przez opady, są zawsze znacznie większe od tej ilości, która paruje.

8. Lasy są w lecie zbiornikami wody, które stale zasilają źródła, potoki i rzeki; wyniszczenie lasów spowoduje brak wody; źródła zanikają, a w potokach i rzekach panują niskie stany.

Wyniki te stwierdzają niezmierną ważność lasów dla kultury i określają po części wpływ ich na warunki odpływu, jednak nie wynika z nich bezpośrednio, jakoby lasy miały zdolność wydatnego zmniejszenia objętości odpływu. Oddziaływanie lasów na odpływ będzie silniejsze w lecie jak w zimie i ma większe znaczenie dla deszczów nawalnych jak długotrwałych. Wezbrania rzek o znaczniejszych dorzeczach powstają z deszczów długotrwałych; po pierwszym perjodzie deszczów, które zupełnie nasyciły ziemię, następuje drugi, z którego już przeważna część odpływa, a w takim razie nie jest wykluczone i szkodliwe działanie lasów, gdyż jak z powyższego wynika, parowanie jest bardzo słabe.

Powołane wyniki doświadczeń określają wprawdzie ogólnie wpływ lasów, nie dają jednak jeszcze tego, co jest dla celów hydrotechnicznych potrzebne. Nie pozwalają one ocenić bezwzględnej ilości opadu, którą lasy potrafią powstrzymać przy różnych warunkach terenu i klimatu.

Dla wyjaśnienia zagadnień hydrotechnicznych powinny być doświadczenia takie wykonywane dla całych większych dorzeczy równocześnie w wielu punktach, przyczem zapomocą bezpośrednich pomiarów musiałaby być zbadana ilość odpływu, tudzież wielkość opadu. Zasadniczą podstawą takich badań powinna być dokładna charakterystyka terenu, co do warunków klimatycznych, wzniesienia i pochylenia stoków, tudzież rodzaju pokładów i roślinności; dalej badania takie powinny być odniesione do pewnego tylko okresu opadów, względnie do pewnego tylko wezbrania, którego cechy przez ściślejsze studja zostałyby określone.

Dotychczasowe doświadczenia dają zawsze tylko ogólny pogląd i daty przeciętne, a to do rozwiązania ścisłego zagadnień hydrotechnicznych nie wystarcza.

Ale wróćmy teraz do bliższego określenia powodów wezbrań i wylewów.

Jest rzeczą powszechnie wiadomą, że nadzwyczajne stany wody poprzedzają nadzwyczajne opady, a bezwzględne ilości opadu mierzone niejednokrotnie w czasie wezbrań były tak znaczne, że nawet najlepsze zalesienie nie zdołałoby wywrzeć znaczniejszego działania na odpływ. I tak, w czasie powodzi w dorzeczu Wisły w roku 1884 spadło według

obserwacji stacji Żywiec w czasie od 1—20 czerwca 294·3 $\frac{m}{m}$ opadu, a przeważna część stacji w tem dorzeczu miała w dniu 19 czerwca opad 70—80 $\frac{m}{m}$ ¹⁾. Jeżeli zważymy, że już miesiąc maj był obfity w deszcze, które powierzchnię całego dorzecza mogły nasycić, to okazuje się jasnym, że nawet najlepsze zalesienie nie mogło mieć znacniejszego wpływu na wezbranie. W temsamem dorzeczu podczas powodzi w r. 1903 dochodziły opady przy poszczególnych stacjach do jeszcze większych wysokości i tak w dniach od 9—12 lipca wynosił opad dzienny przy stacji Wisła do 107·8 $\frac{m}{m}$, Sucha do 110·0 $\frac{m}{m}$ a przy stacji Raycza do 160 $\frac{m}{m}$ ²⁾.

W krajach alpejskich spadło w dorzeczu Adygi podczas powodzi we wrześniu 1882 roku przy stacji Pejo 287·9 $\frac{m}{m}$, zaś przy stacji Trydent 291·2 $\frac{m}{m}$ opadu³⁾. W roku 1882 nastąpił również ogromny wylew Renu; w ciągu tego roku wykazała stacja Karlsruhe opad 1450 $\frac{m}{m}$ t. j. o 70% wyższy jak przeciętna wartość z okresu 1840—1881. Stacja Höhenschwand w Czarnym lesie w czasie od 23—26 listopada, t. j. za 4 dni miała 175·8 $\frac{m}{m}$, oprócz tego zaś stopniał śnieg, który w wielkiej ilości spadł 21 i 22. Cały opad miesięczny tej stacji wynosił 465 $\frac{m}{m}$, roczna zaś warstwa 2236 $\frac{m}{m}$, która w żadnym innym roku osiągnięta nie została⁴⁾.

Podczas wezbrania Dunaju w roku 1899 wykazała w dniu 12 września opad około 100 $\frac{m}{m}$ bardzo wielka liczba stacji, nierzadko napotykamy opad dzienny 200 $\frac{m}{m}$, a stacja Mühlau koło Admontu miała 287 $\frac{m}{m}$ opadu. Podczas wezbrania Dunaju w roku 1897 wynosił maksymalny dzienny opad stacji Neuwiese 345·1 $\frac{m}{m}$ ⁵⁾. Jeszcze ciekawszą datę podaje Krapf, autor projektu regulacji Renu powyżej ujścia do jeziora Bodeńskiego. Tłumacząc w swem sprawozdaniu potrzebę przyjęcia stosunkowo znacznego odstępu wałów dla tej rzeki, podaje, że w roku 1868 spadło przy stacji na górze św. Bernarda w czasie od 26—28 września, a zatem w 3 dniach, 535 $\frac{m}{m}$ opadu, a w ostatnim z tych dni 254 $\frac{m}{m}$.

Uzmysłowiwszy sobie, że przecież pierwszym powodem nadzwyczajnych stanów wód są nadzwyczajne opady, powróćmy do kwestji lasów. Przedewszystkiem nasuwałoby się pytanie, czy rzeczywiście tak błogie jest ich działanie i czy w dorzeczach dobrze zalesionych nigdy wylewy nie występują?

Otóż spostrzeżenia dotychczasowe temu zaprzeczają, a można wskazać dorzecza, które pomimo najlepszego zalesienia ciągle nawiedzane są gwałtownymi wylewami. Wang⁶⁾ mówiąc w tej kwestji, powołuje się

1) Sprawozdanie komisji fizjograficznej, Kraków 1885.

2) Raporty ombrometryczne Oddziału hydrograficznego.

3) Weber. Der Gebirgswasserbau im Alpenen Etschgebiet.

4) Honsel. Die Hochwasserkatastrophen am Rhein im November und Dezember 1882.

5) Centralne biuro hydrograf. austriackie Beiträge zur Hydrographie... 1900

6) Wang Grundriss der Wildbachverbauungen. 1901.

na dorzecze rzeki Wiedenki, które choć dobrze zalesione, bo obszar leśny wynosi tu 85% całego dorzecza, przecież nawiedzane jest częstymi wylewami. Podobne warunki panują w dorzeczu Traun, które pomimo dobrego zalesienia, tudzież korzystnego działania kilku jezior w tem dorzeczu położonych, było w latach 1897 i 1890 obrazem zniszczenia. Szczególnie wyraźnie zaprzeczają temu twierdzeniu dorzecza dopływów Odry na górnym Śląsku, które pomimo bardzo dobrego zalesienia, często nawiedzane są powodzią.

Wang wspomina dalej o twierdzeniu autorów szwajcarskich jak Weya i Lauterburga. Pierwszy z nich twierdzi, że gdyby obecne zalesienie kantonu Graubünden, które wynosi zaledwie 17% całej powierzchni, innych zaś kantonów wynoszące 20·2—36·1%, zostało w dwójnasób zwiększone, należałoby uważać korekcję rzek jako ukończoną, a wylewy zostałyby w zupełności usunięte. Tego rodzaju zdań jest dosyć, są to jednak wszystko hipotezy, a tymczasem przykłady wykazują co innego.

Jednak jakkolwiek nietrudno dziś jeszcze wskazać na mniejsze dorzecza, których stan lasów jest jeszcze zadowalniający, przy wielkich dorzeczach sprawa ma się inaczej, gdyż ich stan zalesienia w ostatnich czasach prawdopodobnie znacznie się zmniejszył.

Rozstrzygnięcie kwestji, czy wezbrania i wylewy zostały przez to powiększone czy też nie, może nastąpić tylko na podstawie statystyki powodzi.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę większe dorzecza, to przedewszystkiem zauważyć trzeba, że wysokość wezbrania, a zatem stany wody będące w związku z objętością odpływu, nie wynikają ze stałych praw przyrody, nie ulegają żadnemu systemowi, lecz są wynikiem przypadku. Jakkolwiek wielkie wezbrania poprzedzają wielkie opady, to jednak rozkład ich może być rozmaity. Całe wielkie dorzecza nigdy nie są objęte jednostajnie intensywnym opadem, stąd też wezbrania dopływów nie są równomierne i równoczesne. Wezbranie głównego ścieku jest kombinacją wezbrań dopływów, a zatem wpływa na nie oprócz opadów, ich czasu trwania i rozległości, także i czas w którym fala wezbrania rzeki pobocznej łączy się z falą rzeki głównej, co znowu głównie zależnem jest od układu dorzecza.

Wynika stąd, że powódź powstaje skutkiem zbiegu niekorzystnych warunków, a statystyka powinna przedewszystkiem stwierdzić, czy przez nieracjonalną gospodarkę w dorzeczach rzek, prawdopodobieństwo następowania wylewów zostało powiększone, czy zatem wylewy stały się obecnie częstszymi i dotkliwzszymi jak dawniej.

Obszerny pogląd na tę kwestję co do dorzecza Renu podaje Hon-sell¹⁾, zaś co do dorzecza Dunaju austriackie centralne biuro hydrogra-

¹⁾ Die Hochwasserkatastrophen am Rhein j. w.

ficzne¹⁾. Wywody obydwu źródeł poprzedzimy krótkim opisem odnośnych wezbrań.

Ogromny wylew, który w roku 1882 nawiedził dorzecze Renu, nie był izolowany, podobne zdarzenia zaszły i przy innych rzekach środkowej Europy. Początek tego roku odznaczał się wszędzie ogromnym brakiem wody, na końcu zaś nastąpiły wylewy. Wezbrania wiosenne często niebezpieczne z powodu szybkiego topnienia lodu, przeszły tym razem niepostrzeżenie, nie zaznaczywszy się wyższymi stanami wody. Po pięknym początku wiosny nastąpiły znowu mrozy, a po nich dopiero w miesiącu maju rozpoczął się okres deszczów, który już objął wszystkie miesiące letnie i jakkolwiek nie było wezbrań letnich z powodu topnienia śniegów w górach, przecież stan wody skutkiem opadów był stosunkowo wysoki. Z końcem roku nastąpiły dalsze opady w takiej mierze i w tak szybkim następstwie, że daty z poprzednich lat tego nie wykazują. Już w połowie września spadły w Alpach tak silne opady, że wezbrane dzikie potoki i rzeki górskie sprawiły w wielu miejscach spustoszenia. W tym samym czasie zaczął się stan wody Renu podnosić i osiągnął stosunkowo znaczną wysokość, lecz wkrótce znowu opadł, a fala górnego Renu rozpląszczyła się zupełnie w biegu średnim. Na dopływach górnego Renu, szczególnie od strony Czarnego Lasu, nastąpiły już podczas wrześniowej wody wylewy, które wywołały znaczne uszkodzenia budowli ochronnych.

Październik i listopad charakteryzowały znowu silne deszcze, które spowodowały szybkie i silne wahania stanów wody Renu. Z końcem listopada panowały znowu wszędzie ulewne deszcze, tak, że w całej środkowej Europie nastąpiły wysokie stany wody. W Szwajcarii opadów większych nie było, skutkiem czego pomimo silnych wezbrań dopływów z Czarnego Lasu i z Wogezów górny Ren nie wezbrał znacznie. Wody wezbranego Neckaru spłynęły już przedtem nim nadeszła fala Menu i Mozeli. Tymczasem fala Menu podniosła stan wody Renu o 0·23 m wyżej jak stan z r. 1845 i pod Koblencją spotkała się z falą Mozeli. Pomimo, że górny Ren nie był zbyt silnie wezbrany, koncentracja fal dopływów wywołała na dolnym Renie najwyższy stan jaki w tem stuleciu się zdarzył. Stan ten oznaczony na wódoskazy w Kolonji wynosił 9·52 m, t. j. był od najwyższego stanu z r. 1845 o 0·18 m wyższy, jednak o 2·91 m niższy, jak stan z roku 1784, który powstał w czasie pochodu lodów i zatorów.

Na początku grudnia spadły znowu obfite deszcze, Neckar i Mozela na nowo wezbrały, jednak trwało to krótko, gdyż nastąpiło znaczne obniżenie temperatury, a w górach spadły śniegi, które w czasie świąt Bożego Narodzenia były szczególnie obfite. Bezpośrednio potem nastą-

1) Beiträge zur Hydrographie j. w.

piło znaczne podwyższenie ciepłoty, w średnich górach podniosła się temperatura znacznie nad 0; stacja Höhenschwand wykazała temperaturę $+6.3^{\circ}\text{C}$ (1012 m n. p. m.), w dolinie Renu zaś panowała temperatura $+12^{\circ}\text{C}$. Oprócz tego spadł obfity deszcz, tak, że śnieg nagromadzony w górach w czasie od 25—27 grudnia zupełnie stopniał.

Ziemia w górach była w zupełności wodą nasycona i do tego pod śniegiem zamarznięta, należało się więc w tych warunkach obawiać katastrofy. Nastąpiła też ona w rzeczywistości, a przebieg jej był następujący:

Ren powyżej jeziora Bodeńskiego, ani jego dopływy w Szwajcarii i Vorarlbergu, nie miały zbyt wysokich stanów, dopiero Aara wraz z innymi dopływami spowodowała w dniu 27 grudnia nagle podwyższenie stanów wody Renu. Równocześnie stany dopływów z Czarnego Lasu podniosły się znacznie, niektóre do niebywalej wysokości, a wody ich wzmocniły falę Renu. Równocześnie wezbrał Neckar, a fala jego podniosła stan wody Renu koło Mannheimu do poziomu zaledwie o 0.23 m niższego od najwyższego znanego stanu z r. 1824. Jednak nim nadeszła fala górnego Renu, stan wody pod Mannheimem już znacznie opadł. Nowa kulminacja nastąpiła 2 stycznia i była o 0.29 m niższa od poprzedniej.

Podobnie rzecz się miała poniżej ujścia Menu; fala Neckaru i górnego Renu nadeszły już po opadnięciu fali Menu. Również i fala Mozeli wcześniej spłynęła i nie skoncentrowała się z falami górnych dopływów. Skutkiem nadejścia fali górnego Renu i złączenia się jej z falami mniejszych dolnych dopływów, w których obszarze panowały w tym czasie deszcze, nastąpiło znowu na dolnym Renie znaczne wezbranie. Stan wody pod Kolonją był od stanu z listopada o 0.58 m niższy, jednak w dalszym biegu był od niego wyższy, a mianowicie pod Emmerich o 0.14 m; stan ten przewyższył dotychczas w tem miejscu spostrzegany stan o 0.05 m.

Określiwszy cały przebieg wezbrania, który tu pokrótce podano, stara się Honsell zbadać, jakie są powody najnowszych wylewów i czy twierdzenie, że powstały one skutkiem nieracjonalnej gospodarki w dorzeczu, ma uzasadnienie.

Przedewszystkiem zwraca uwagę, że jakkolwiek podczas opisanego wezbrania w pewnych punktach dotychczas znane najwyższe stany wody nieznacznie zostały przewyższone, to przecież mamy dokładne wiadomości o stanach wody zaledwie od stu lat, a jest to okres za mały dla badania elementarnych katastrof. Naprzykład stany wody pod Kolonją z lat 1595, 1651 i 1658 znacznie przewyższyły ostatnie wezbranie. Honsell zbija również zdanie, że katastrofy stały się częstsze i że nowością są wylewy przy końcu roku. Przyznaje, że po roku 1872 były katastrofy powodziowe bardzo częstymi zjawiskami, jednak taksamo

było i w innych dorzeczach, nawet poza Europą. Przyczyna leżeć musi zatem w ilości opadu, a najlepszy dowód na to dają spostrzeżenia warstwy opadu, która rzeczywiście w tym perjodzie doszła do niebywalej wysokości.

Według spostrzeżeń stacji Karlsruhe wynosiła średnia roczna warstwa opadu w trzynastoletnich okresach

od 1843—1855 835 $\frac{m}{m}$

1856—1668 661 "

1869—1881 1095 " ; ostatnia wartość prze-

wyższa poprzednie prawie o 60%. Nie ulega zatem najmniejszej wątpliwości, że powodem nadzwyczajnych stanów wody były tylko nadzwyczajne opady.

Co do kwestji lasów twierdzi Honsell, że jakkolwiek wytępienie ich sprowadza niekorzystne skutki, jak podmycie i usunięcie się stoków, przeciążenie rzek rumowiskiem, a w pewnych warunkach nawet szybszy i silniejszy odpływ wody, jednak wpływu ich na klimat nikt dotąd nie zdołał wykazać. Właśnie obszary w dolinie Renu, należące do najlepiej zalesionych w Niemczech, dostarczyły podczas opisanej powodzi może najznaczniejszych odpływów i przyczyniły się w znacznej mierze do katastrof powodziowych. Na podstawie tych wywodów wyraża Honsell przekonanie, że stan zalesienia w dorzeczu Renu nie miał wpływu na wezbranie, a także i dalsze zalesienia, choć z innych względów wielce pożądane, widocznego zmniejszenia wylewów wywołać nie mogą.

W wyczerpująco i umiejętnie opracowanym artykule podaje austriackie centralne biuro hydrograficzne przebieg wezbrania Dunaju w r. 1899.

W czasie od 9—11 września spadły obfite śniegi w wyższych rejonach Alp, równocześnie zaś w dolinach deszcz. Tymczasem już 12 nastąpiło znaczne podwyższenie temperatury i spadł obfity deszcz, co spowodowało szybkie stopnienie śniegu poniżej wysokości 1600 m n. p. m. Następnie zaś w nocy z 13 na 14 nastąpił znowu ulewny deszcz, który w wielu miejscach miał charakter oberwania chmury. W dolinie górnego Innu, którego fala miała wytworzyć główną falę wezbrania, spadły już w pierwszych 7 dniach września silniejsze opady, to samo zaś było i w dorzeczu Salzach. Wogóle przed wystąpieniem w całym dorzeczu nawalnych opadów, już poprzedni okres obfitował w opady, szczególnie w dorzeczu górnego Dunaju. Nadzwyczajne wielkości opadów jakie tu nastąpiły podano już poprzednio, tu dodaje się tylko, że opad 0—50 $\frac{m}{m}$ spadł tylko na 12·4% dorzecza, reszta zaś miała opady przeważnie większe, a opad 600—700 $\frac{m}{m}$ miało jeszcze 2% całego dorzecza.

Wpływ górnego Dunaju na wytworzenie fali wezbrania był nieznaczny, tymczasem Inn już od tyrolsko-bawarskiej granicy wezbrany

był silnie, a wzmocnił go jeszcze dopływ Mangfall. Podobnie fala Salzach wzmocniona silnymi dopływami wyprzedziła przy ujściu zaledwie o 4 godziny falę Innu kulminującą w tem miejscu. Przez to wezbranie było tak silne i wpływ Innu na przebieg fali Dunaju był decydujący. W dorzeczu Traun spadły największe opady w górnej jego części 12, w dolnej 13, co mogło mieć niekorzystne następstwa. Jednak w dolnej części Traun do większej katastrofy nie przyszło, gdyż działanie jezior opóźniło odpływy z górnej części i przeszkodziło koncentracji. Podobnie na Anizie nie przyszło do koncentracji fali górnego biegu z falą dolną. Przebieg wezbrania był następujący: Przed przybyciem fali Innu i Traun nadeszła do ujścia fala Anizy i spowodowała gwałtowne podnoszenie się stanu wody, potem nadeszły oddzielne dwie fale Traun, z których ostatnia przeszła przy ujściu Anizy w dniu 14 września koło południa i wytworzyła kulminację przy +7.05 m, trwającą 3 godziny. Fala Innu nadeszła dopiero później, gdy stan wody pod Mauthausen zniżył się w międzyczasie o 10 cm. Po nadejściu fali Innu stan wody wzrósł do +7.15 m i był najwyższy podczas całego wezbrania.

Fala ta w dalszym przebiegu była panującą i wywołała w swym pochodzie, który od Mauthausen (ujście Anizy) do Wiednia trwał 42 godziny, zaś do Preszburga 75 godzin, w całym obszarze zalewowym zniszczenie.

Opisy obydwu wezbrań aż nadto dokładnie stwierdzają całą przypadkowość wysokości kulminacji, pozostaje jeszcze do zbadania, czy nie mają racji głosy, które twierdzą, że przez zmianę naturalnych warunków, do których także należy stan zalesienia, katastrofy nie stały się częstszymi, a zatem prawdopodobieństwo ich następstwa większe.

Otóż w powołanym artykule podana jest także historia wylewów Dunaju na podstawie dokładnych źródeł, z której wynika, że zdanie to nie ma żadnego uzasadnienia.

Na podstawie dat jakie przechowały się od początku 11 wieku przekonać się można, że w dawnych wiekach katastrofy powodziowe ani słabsze, ani rzadsze nie były.

Już z 11 wieku są wiadomości o wielkiej katastrofie, która porwała wiele ofiar w ludziach, w sto lat później opisują drugą, następnie dalsze w latach 1172 i 1173, tudzież 1193 i 1195. W każdym stuleciu, o ile zapiski istnieją, można wykazać, że katastrofy rzadziej nie występowały jak dziś, szczególnie obfitym w wezbrania miał być wiek 15, w którym notują 7 lat o nadmiernych wylewach, a w samym roku 1402 nastąpił wylew kilkakrotnie.

Podobnie często występowały powodzie w wieku 16. Przechowały się wiadomości o katastrofach w latach 1500, 1501, która to ostatnia należała do największych. Dalej podobne zdarzenia nastąpiły w latach

1508, 1520, 1527, 1567, 1568, 1570, 1572 i 1573, z których niektóre powstały wskutek zejścia lodów. Wielka woda z r. 1595 miała zerwać wszystkie mosty na Dunaju, a w latach 1597 i 1598 nastąpiły znowu w dorzeczu Dunaju powodzie.

Podobnie w wieku 17 i 18 wykazują zapiski znowu cały szereg powodzi, a szczególnie dotkliwą była powódź z r. 1787 gdyż objęła całe dorzecze Dunaju.

Z całego przedstawienia wynika, że katastrofy dawnych wieków ani nie były słabsze, ani rzadziej nie występowały jak w ostatniem stuleciu, pomimo, że stan zalesienia dorzeczy musiał być jeszcze zupełnie zadowalniający.

Jeżeli zatem nie jest wykluczone, że zalesienie może w pewnych warunkach korzystnie oddziaływać na klimat i na powstrzymanie odpływu, to przecież wpływ ten zbyt doniosły być nie może, jeżeli statystyka wylewów go nie wykryła¹⁾.

Rowy poziome, małe zbiorniki (stawy), kanały ulgi.

Środki te proponowane przez szereg autorów opierają się na zasadzie, aby wodę dzielić, zatrzymywać, a przez to wywołać opóźnienie odpływu.

Najobszerniej może przedstawił tę zasadę Hobohm²⁾. Ponieważ koryto rzeczne nie może przeważnie pomieścić tych ogromnych objętości jakie odpływają podczas długotrwałych deszczów, należy mu ulżyć, a to przez częściowe opóźnienie odpływu na stokach i ściekach, a powtórnie przez odwrócenie znacznych ilości wody, osobno u podnóża gór zbudowanymi kanałami ulgi. Pierwszą część zadania charakteryzuje jako tak zwane nawadnianie gór; wodę opadową, która się dostała do ścieków, zamierza rozprowadzić rowami poziomymi (o małym spadku) napowrót po stokach, woda ta ma wypełnić wszystkie naturalne zagłębienia i małe zbiorniki (stawy) sztucznie wytworzone zapomocą niskich zamknięć. Część wody wsiąknie, reszta zaś będzie spływać powoli po stokach, przez co dostanie się do koryta głównego dopiero ze znacznem opóźnieniem. Celem zmniejszenia kosztów, mają być stosowane tylko bardzo proste środki techniczne, a główny koszt przedstawiać będzie tylko wykonanie rowów rozprowadzających. Do robót dodatkowych miałoby należeć wykonanie w górach wałów i zamknięć poprzecznych i płotów, w celu opóźnienia odpływu. Zbiorniki wody byłyby urządzone tylko w tem miejscu, gdzie od rzeki głównej oddzielają się kanały ulgi i tworzyłyby tu t. zw. regulatory.

¹⁾ Również nie przypisują wybitnego znaczenia lasom z uwagi na zmniejszenie wylewów autorzy francuscy Belgrand i Vallès.

²⁾ Grundzüge für die Beseitigung der Überschwemmungen.

Poglądy swoje zastosowuje Hobohm do dorzecza Morawy, starając się na przykładzie uzasadnić możliwość wykonania proponowanych robót, jednak dokładniejsze zbadanie tych wywodów wskazuje, że sam autor nie potrafił projektu tego uprzystępnąć i nadać mu realnych kształtów. Wogóle operuje Hobohm zbyt małemi objętościami, nie stojącemi w żadnym stosunku do wielkości dorzecza.

Przedewszystkiem niepodobna się ludzi, aby w górach małymi środkami można było uzyskać możność zatrzymania wielkich objętości w rowach, małych zbiornikach i stawach; przecież ta woda już raz była jednostajnie rozdzielona w całym dorzeczu, a jednak skutkiem naturalnych warunków zdołała się szybko skoncentrować. Rowy rozprowadzające wodę mają tylko o tyle wartość, o ile mają znaczne przekroje i potrafią ująć wielkie objętości, wykonanie ich zaś w potrzebnych rozmiarach graniczy z praktyczną niemożliwością. Podobnie pojmuje je Garbe ¹⁾, który powiada, że aby rowy poziome były rzeczywiście skuteczne i miały działać nawet przy ulewnych deszczach, to musiałyby leżeć bardzo blisko siebie. Według jego obliczenia, jeśliby rowy miały zatrzymać 100 $\frac{m}{m}$ opadu, to odległość ich musiałaby wynosić 10 m, przyczem zajmowałyby $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{4}$ całej powierzchni, której zagospodarowanie stałoby się wobec tego niemożliwe. Przytem koszta rowów byłyby bardzo duże; Garbe oblicza je na 20—40.000 Mk na km² powierzchni dorzecza.

Proponowane środki stosowane były w małym zakresie w praktyce, nie zdołały jednak stworzyć systemu. Już w r. 1846 proponował także Polonceau wykonanie małych rowów, z których woda wypełniałaby zagłębienia i studnie, a coś podobnego wykonano w Niemczech na Harzu, w pobliżu Schemnitz, tudzież w ks. Nassauskiem, gdzie wodę opadową z obszaru zabagnionego lasu rozprówadzano rowami na stoki niżej położone. De Mas ubolewa, że w okresie ostatnich stu lat liczba stawów znacznie się zmniejszyła; stawy (etangs) uważa za cenną rezerwę wodną i przypisuje im wpływ na opóźnienie odpływu. Podobnie de Saint-Venant i Vallès przypisują im korzystne działanie.

Również i wykonanie kanałów ulgi nie może być uważane jako środek ogólniejszego znaczenia, gdyż w przeważnej liczbie wypadków łatwiej rozszerzyć łożysko rzeki, niż budować osobny kanał równoległy. W wyjątkowych wypadkach stosowano środek ten oddawna; jako przykład służyć mogą kanał ulgi pod Strassburgiem, odprowadzający z rzeki Ill 175 m³/sek. wprost do Renu, oraz kanał Leopolda w W. Ks. Badeńskiem, odprowadzający całą wielką wodę z rzeki Dreisam do Renu ²⁾.

¹⁾ Massregeln zur Abwehr von Überschwemmungen, unter besonderer Berücksichtigung der Gebirgsflüsse. (Ztbl. der Bauverwaltung).

²⁾ Projektem Hobohma zajmowano się u nas około r. 1879, badając możliwość zastosowania go do powstrzymania wylewów i meljoracji doliny Dniestru. (Patrz art. prof. Rychtera w „Przeglądzie Technicznym“ z r. 1879).

2. Powstrzymanie wezbrań zapomocą systemu zbiorników.

Myśl zatrzymywania wody w zbiornikach zamkniętych przegrodami dolin nie jest zupełnie nowa; we Francji w następstwie wylewów w latach 1846, 1856 i 1866 zapalano się bardzo do tego systemu, a Napoleon III polecił specjalnemu wydziałowi zbadać, czy nie możnaby zapobiedz wylewom w dolinie Loary zapomocą systemu dużych zbiorników. Następnie system ten polecało wielu inżynierów, a niektórzy uważali go jako jedynie możliwe racjonalne rozwiązanie sprawy. Po dokładniejszym zbadaniu przekonano się jednak, że system ten w zasadzie skuteczny, nie może być stosowany na wielką skalę, a wreszcie wymagałby w poważnej liczbie wypadków tak znacznych kosztów, że skutki tych robót nie stałyby w żadnym stosunku do poniesionych wydatków. Z drugiej strony zaś nie można systemowi temu odmówić pewnego znaczenia, gdyż był już projektowany i wykonywany w praktyce. Zresztą nie jest on niczem innym jak naśladowaniem naturalnych zbiorników retencyjnych, jakimi są jeziora¹⁾.

Aby zatem bliżej zbadać ten system, musimy poznać zdania hydrotektów, a potem przejść wskazówki jakie nam daje praktyka techniczna.

Według Garbego²⁾, środkowi temu niesłusznie przypisują tak wielkie znaczenie, gdyż jakkolwiek roboty takie wykonywano, jednak nigdzie jedynym ich celem nie było ochrona przed wylewami. Obecnie wszędzie przeważa przekonanie, że zatrzymywanie wielkiej wody w zbiornikach dla powstrzymania wylewów, tylko wyjątkowo może być dopuszczalne.

Inżynierowie francuscy na podstawie badań w dolinie Loary, tudzież w Sewennach i Pyreneach doszli do przekonania, że zakładanie przegród w wielkiej ilości napotyka na niezmiernie trudności techniczne, a w pewnych warunkach mogą zbiorniki działać raczej szkodliwie jak korzystnie.

Trudności w wykonaniu przegród, o jakich wspomina Garbe, wynikają z trzech zasadniczych powodów.

Przedewszystkiem pamiętać należałoby o tem, jak wielkie objętości trzeba powstrzymać w zbiornikach, aby zniżyć stan wielkiej wody w korytach rzecznych. Dla rzek śląskich w dorzeczu Odry obliczył Garbe tę objętość na 40.000 m³ na km² dorzecza pagórkowatego i to przy rzekach uregulowanych, dla gór zaś przyjmuje 75.000 m³ na km². Przy rzekach nieuregulowanych objętości byłyby jeszcze większe. Dla projektu systemu zbiorników w Württembergji w dorzeczu Steinlach przyjmowano 100.000 m³ na km², zaś we Francji dla zbiornika koło

¹⁾ Lombardini oznaczył objętość wielkiej wody Addy przy ujściu do jeziora Como na 1940 m³/sek, przy wyjściu na 804 m³/sek, zmniejszenie wynosi zatem około 60%.

²⁾ Massregeln zur Abwehr ... j. w.

St. Etienne, którego górna część przeznaczona jest dla przyjęcia nadmiaru wielkiej wody, przyjęto 114.000 m^3 z km^2 .

Są to objętości wprost ogromne — jeżeli teraz na ich podstawie wyrobimy sobie pojęcie o kosztach, to otrzymamy miarę możliwości wykonania tych urządzeń. Na podstawie wykonanych robót można przyjąć za 1 m^3 pojemności zbiornika w górach cenę 40 fenigów, w terenie pagórkowatym, gdzie założenie trudniejsze, 50 fenigów, skąd wypada koszt zbiorników na km^2 dorzecza 20 względnie 30 tysięcy Mk. (Koszta z przed wojny).

Przyjmując te wartości, otrzymuje Garbe dla dorzecza Odry koszt wykonania zbiorników dla usunięcia wylewów w kwocie 660 milionów Mk.¹⁾.

Pomimo tak niezmiernych kosztów nie możnaby jeszcze być pewnym, że wylewy zostaną bezwarunkowo usunięte, gdyż działanie tak wielkiej liczby zbiorników, założonych w górskich częściach dorzeczy, na stany wody w dolnych biegach, byłoby niepewne. Wylewy w dolnych biegach pochodzą z deszczów długotrwałych, lub opadów zimowych, opady z gór mają tu mniejsze znaczenie. W pewnych warunkach zbiorniki przy wypróżnianiu mogą spowodować wyższe stany w dolnym i średnim biegu, nie mówiąc już o katastrofach jakie mogą powstać i jakie rzeczywiście się zdarzały, z powodu przerw przegród. Wracając zaś do kosztów należy nadmienić, że przewyższyłyby znacznie spodziewane korzyści.

Mając na podstawie powyższego pewne wyobrażenie o rozmiarach tych robót, należy się z kolei zastanowić, czy wykonanie ich w potrzebnej rozciągłości jest możliwe. Otóż z góry można powiedzieć, że dla wielkich dorzeczy projekt taki jest niewykonalny. Przegrady dotychczas budowane dla użytkowania wody do różnych celów, zakładane były w miejscach wybranych, szczególnie odpowiadających potrzebom ich konstrukcji, tak ze względu na statyczne warunki, jak i minimum kosztów. Co się tyczy pierwszego punktu, to przecież aby można zbudować przegradę, trzeba wytrzymałego i nieprzepuszczalnego podłoża, złożonego ze zwięzłej skały, tudzież silnych skalistych stoków, co do drugiego zaś punktu, to zamknięcie doliny powinno być wykonane w miejscu zwężonem, dolina oddana pod zalew musi mieć znaczną pojemność, a grunt zajęty nie-

¹⁾ De Mas stwierdza, że gdy we Francji przystąpiono bliżej do realizacji tego systemu, okazały się wielkie trudności, przedewszystkiem z uwagi na koszt. Gdyby się chciało system ten zastosować do Loary, która prowadzi $11000 \text{ m}^3/\text{sek}$ i chodziło o zamagazynowanie tylko $1/4$ tej objętości przez 48 godzin, to trzeba by zamagazynować 400–500 milionów m^3 , których koszt wynosiłby przynajmniej 80 milionów franków, gdyż we Francji koszt zamagazynowania 1 m^3 wody wynosi rzadko mniej jak 0,15 franka. Dalej podnosi de Mas różne inne trudności, jak kosztowne czyszczenie zbiorników z osadów, trudność odpowiedniego współdziałania zbiorników i t. p.

znaczną wartość. Takie wyjątkowe warunki można znaleźć tylko w górach, przy zastosowaniu systemu zbiorników do wielkich dorzeczy trzeba się zgodzić na warunki gorsze, tak pod względem statycznym, jak i co do ekonomji budowy, przez co niebezpieczeństwo zawalenia się przegród, a także i koszty, musiałyby nadmiernie wzrosnąć. Z tych więc powodów okazuje się zrealizowanie tak obszernego projektu dla wielkich dorzeczy niemożliwe.

Na jedną jeszcze okoliczność trzeba tu zwrócić uwagę.

Przy projektowaniu systemu zbiorników dla pewnego dorzecza, nie można brać za podstawę do obrachowania potrzebnej pojemności zbiorników nadmiaru wody, jakiego koryto naturalne w dolnej części biegu odprowadzić nie potrafi. Często w tym kierunku ulega się złudzeniu. Pamiętać należy o tem, że maximum odpływu w dole, nie jest sumą maksymalnych objętości odpływu rzek pobocznych, a wezbranie rzeki głównej powstaje skutkiem najrozmaitszych kombinacji dopływających objętości, przyczem na stan wezbrania wpływa rozgałęzienie dorzecza, czas trwania wysokich stanów i chyżość postępu fali. Zbiornik wykonany w górach przyczynia się całą swą pojemnością do zmniejszenia objętości odpływu tylko tego ścieku, na którym jest wybudowany, zaś w odniesieniu do wielkiego dorzecza posiada małą, nieraz prawie znikomą wartość.

Intze¹⁾, który znaczną ilość zbiorników dla różnych celów projektował i wykonywał, mówiąc o zbiornikach wody dla celów przemysłu, wyraża się bardzo oględnie o możliwości zastosowania ich do powstrzymania wylewów. „Aby stwierdzić jaką doniosłość mają zbiorniki dla okolic poniżej położonych z uwagi na ochronę przed powodzią, wymaga to naturalnie specjalnych studjów, lecz spodziewana ochrona może mieć tylko w pewnych wypadkach donioślejsze znaczenie. W każdym razie suma działań wielu małych urządzeń, które do innych celów wykonano, także i w tym kierunku może mieć pewne znaczenie. Nie trzeba jednak zapominać, że nagromadzenie ogromnych mas wody na poszczególnych punktach i na znacznych wysokościach w górach, jest połączone dla mieszkańców dolin z ciągiem niebezpieczeństwem“.

Na innem miejscu powiada tensam autor, że wyjątkowo tylko może być wskazane zakładanie zbiorników wyłącznie dla ochrony przed wielką wodą, jeżeli wielkie masy wody w stosownych miejscach mogą być powstrzymane. Intze propagując myśl zakładania zbiorników dla celów użytkowania wody, nie odmawia im korzystnego współdziałania na wylewy, dalekim jest jednakże od zalecania wykonywania ich specjalnie dla powstrzymania wezbrań.

¹⁾ Ueber die Wasserverhältnisse im Gebirge, deren Verbesserung und wirtschaftliche Ausnutzung.

Poprzestając na tych ogólnych uwagach, trzeba zbadać, jak sprawa ta w praktyce obecnie się przedstawia, to znaczy, czy system ten rzeczywiście był dla celów powstrzymania wylewów stosowany, a względnie w jakich rozmiarach¹⁾.

Zbiorniki dawniejsze wykonane we Francji miały na celu głównie zasilanie kanałów żeglugi, jeden zaś z największych zbiornik Setton na la Cure, o pojemności 22 milionów m³, podwyższenie niskich stanów rzeki Yonny w celu poprawy żeglugi i spławu. Dopiero później zaczęto myśleć o zastosowaniu zbiorników do ochrony przed wylewami.

I tak zbiornik Furens wykonany w latach 1861—66 przez inżynierów Graeffa i Delocre'a, ma jako główny cel oddanie rzecze tej ilości wody, jaką jej się zabiera z wyżej położonych źródeł dla zaopatrzenia miasta St. Etienne, w czasie zaś posuchy służy sam do zaopatrzenia tego miasta. Do tych obu celów służy użyteczna pojemność zbiornika wynosząca 1,2 miliona m³, jednak zwierciadło wody może być zupełnie bezpiecznie podniesione o 5,5 m: warstwa ta o pojemności 400.000 m³ służy do ujęcia wielkich wód. Dorzecze wynosi tu 25 km², opad 850 $\frac{m}{m}$, a odpływ 65% opadu. Jak już poprzednio wspomniano, przy obliczeniu przyjęto nadmiar wielkiej wody równy 114.000 m³ z km², zatem nawet dla tak małego dorzecza, górna część zbiornika mająca ująć wielką wodę, jest niewystarczająca.

Pewne znaczenie w tym kierunku ma zbiornik Ternay, zasilający miasto Annonay, służący również celom meljoracji i przemysłu. Z końcem lata, gdy panują burze z obfitymi dorzeczami, zbiornik się wypróżnia, a pojemność jego wynosząca 3 miliony m³ służy częściowo do ujęcia wielkiej wody, a mianowicie pozostawia się 1,3 miliona m³ niewypełnione. Podobnie w zbiorniku Chartrain, służącym do zaopatrzenia we wodę miasta Roanne, napotykamy dwumetrową warstwę o pojemności 500.000 m³, służącą do ujęcia nadmiaru wielkich wód. Wspomnieć tu należy o zbiorniku Pinay (Loara), który powstaje skutkiem naturalnego zwiężenia doliny Forez, oraz częściowego zamknięcia przegrodą. Przegroda ta jednak różni się od innych tem, że posiada otwór 19,7 m długi, a 17 m wysoki, nie posiadający żadnego zamknięcia (digue de Pinay à pertuis ouvert). Przy wezbraniu powstaje skutkiem inundacji doliny przejściowo jezioro, a zatem zatrzymanie i opóźnienie odpływu. Wreszcie na wielką skalę zaprojektowane zbiorniki kanału żeglugi Marna-Saona, ukończonego ostatecznie w r. 1907 (4 wielkie zbiorniki o łącznej pojemności 44,227.000 m³ ²⁾), nie mają prócz zasilania kanału innego prze-

¹⁾ Patrz autora „Stan sprawy zapobiegania wylewom rzek zapomocą systemu zbiorników“. Odbitka z „Przeglądu technicznego“, Warszawa 1910.

²⁾ Annales des ponts et chaussées 1899 (IV S) i 1908 (I S).

znaczenia. Tylko przy opisie jednego z nich znajdujemy wzmiankę, że jakkolwiek powierzchnia zbiornika wynosi tylko 199 ha, obszar wykupiony obejmuje 225 ha, gdyż zachodzi potrzeba ujęcia szybkich wezbrań, które mogą stan wody podnieść o 0,20 m. Przyjmując średnią powierzchnię na 212 ha, otrzymuje się jako pojemność tej przestrzeni zaledwie 400.000 m³.

Liczne zbiorniki w Hiszpanji, niektóre już bardzo dawno wykonane, służą przeważnie do nawodnienia pól, zbiorniki we Włoszech w tym samym celu, oraz do zasilenia miast; podobne cele mają zbiorniki w Anglji, Stanach Zjednoczonych Am. Pn. i w Indjach. Kolosalny zbiornik Gatun na obszarze międzymorza Panama, powstały przez spiętrzenie rzeki Chagres groblą ¹⁾, wyrównuje dzięki swej olbrzymiej powierzchni (425 km²) w zupełności wahania odpływu tej rzeki (pojemność zbiornika 900 milionów m³ warstwa o grubości jednego metra magazynuje 425 milionów m³, co odpowiada odpływowi 3000 m³/sek przez czas przeszło półtorej doby). W czasie wezbrań podnieść się może stan wody w zbiorniku najwyżej o 0,61 m. I tu jednak celem wykonania zbiornika było nie usunięcie wylewów, lecz wytworzenie szczytowego stanowiska kanału i zasilanie go we wodę.

W Niemczech dopiero później rozpoczęto budowę przegród w celu wytworzenia wielkich zbiorników, mniejsze zakładano w Wogezach oddawna. Znaczniejsze wykonano w Westfalji i Prowincji Nadreńskiej; przeznaczenie ich opisuje Intze ²⁾. Łączna pojemność 17 zbiorników w dorzeczu Wupper i Ruhr, oraz Rur (góry Eiffel), wynosi 88,6 milionów m³, głównem zaś ich przeznaczeniem jest zużytkowanie wody do celów motorycznych w zakładach przemysłowych, zasilanie we wodę miast, tudzież zasilanie rzek w czasie posuchy i niskich stanów. Jako cel uboczny uważano powstrzymanie części wielkiej wody dla zmniejszenia wylewów i ograniczono się tylko do tego, że przy niektórych z nich zostawia się na czas wezbrań pewną niewielką przestrzeń próżną.

Największym z tych zbiorników, a do niedawna największym w Niemczech i w Europie był zbiornik w dolinie Urft o pojemności 45 milionów m³, zamykający dorzecze 375 km². Odpływ roczny wynosi tu 175 milionów m³, a największy odpływ 400—500 m³/sek, z czego można zatrzymać w zbiorniku 150 m³/sek. Nagromadzona woda ma służyć do wyzyskania siły motorycznej, ubocznym zaś tylko celem jest ochrona przed powodzią.

Lecz w Niemczech w innej stronie powstał projekt wykonania urządzeń chroniących od wylewów, a mianowicie w dorzeczu górnej

¹⁾ Patrz autora „Kanał Panamski“, odbitka z Czasopisma Technicznego, Lwów 1913.

²⁾ Über die Wasserverhältnisse im Gebirge... j. w.

Odry, gdzie wylewy szczególnie gwałtownie występowały. Należy tu odróżnić projekt pierwotny, bardzo rozległy, w którym postawiono sobie za zadanie, aby nawet najwyższe wody mogły być bez szkody odprowadzone, od projektu późniejszego, który z uwagi na nadmierne koszty redukuje znacznie pierwotny zakres. Zasadą obydwu jest regulacja koryta rzeki, aby mogło odprowadzać duże objętości, tylko że w pierwszym przewidziano jeszcze znaczne rozszerzenie profilu wielkiej wody. Oprócz tego obydwie projekty obejmują wykonanie zbiorników powodziowych w obszarze górnych biegów. Zbiorniki te ujmują nadmiar objętości przepływających łóżyskami górnego biegu rzeki Bobra i jej dopływów; łączną ich objętość projektowano na 77 milionów m³. Największy z nich zbiornik na Bobrze pod Mauer, ma pojemność 50 milionów m³, drugi na Kwiszy (Queis) pod Marklissą 15 milionów m³.

Projektowana pojemność zbiorników dostosowana jest do możliwości wykonania i uwzględnia ekonomiczne warunki całego przedsięwzięcia, nie odpowiada zaś największym odpływom, jakie wyjątkowo, powiedzmy w ciągu stulecia się trafiają. Pojemność projektowanych zbiorników wystarcza jednak, aby ująć i odprowadzić bez szkody zwykle wielkie wody, trafiające się częściej. Gdyby się chciało na przykład ochronić obszary przybrzeżne koło miejscowości Sagan¹⁾ od wylewów w czasie absolutnie najwyższego stanu, trzeba by, jak to obliczono, wykonać zbiorniki o łącznej pojemności 240 milionów m³. Zasada przyjęta tu jest słuszna, gdyż projekt oparty na najwyższych, a zupełnie wyjątkowo się zdarzających odpływach, byłby nieekonomiczny, a przytem bardzo trudny do zrealizowania, tak z uwagi na koszty, jak i warunki techniczne potrzebnych budowli.

Jak widać, projekt śląski jest jednym z niewielu, gdzie zastosowanie zbiorników dla celów ochrony przed wylewami zostało na większą skalę zrealizowane. Wprawdzie i tu woda ma być wyzyskana w przemyśle i dla kultury rolnej, jednak pierwszy cel był tu zasadniczym.

Pewne znaczenie mają dla ochrony przed powodzią zbiorniki wykonane w Niemczech w dorzeczu Wezery, a mianowicie zbiornik na Eder pod Hemfurt (202 miliony m³) i na Diemel pod Helminghausen (20 milionów m³). Zbiorniki te mają na celu: poprawę żeglugi na Wezerze przez powiększenie objętości przy niskich stanach, wyzyskanie siły wodnej i wreszcie zmniejszenie objętości wielkiej wody. Ten trzeci cel osiągnięto w ten sposób, że wielka woda rzeki Eder pod Hemfurt zmniejszy się z 900 na 250 m³, a Diemel pod Helminghausen ze 100 na 20 m³/sek, na Fuldzie pod Kassel zmniejszy się z 2000 na 1450 m³/sek, a wpływ ten widoczny będzie jeszcze na Wezerze.

¹⁾ Nad górnym Bobrem, dorzecze 4247 km², najw. w. w. 2000 m³/sek.

Jeden z najnowszych zbiorników wykonanych w Niemczech na Möhne w obszarze Ruhr o pojemności 130 milionów m³, otwarty w r. 1913, (zlewnia 416 km², odpływ średni roczny 245 milionów m³, największy odpływ 292 m³/sek)¹⁾ służy w pierwszej linii do powiększenia małej wody rzeki Ruhr, w drugiej zaś do wyzyskania siły wodnej, nie miano zaś na celu ochrony przed powodzią.

W Austrii zasługują na uwagę roboty w dorzeczu Wiedeni. Oprócz regulacji koryta, która z największego odpływu wynoszącego 610 m³ na sek. potrafi odprowadzić tylko 400 m³, wykonano zbiorniki o pojemności 1,6 miliona m³. Nie są to zbiorniki powstałe przez zamknięcie doliny przegradą, lecz siedm basenów wkopanych w ziemię.

Szereg zbiorników zaprojektowano w Czechach w dorzeczach górnej Łaby i Wełtawy w związku z akcją regulacji rzek; poprzednio już wykonano 6 zbiorników w dorzeczu Nissy Zgorzelickiej. Celem ich jest uzupełnienie regulacji rzek, ubocznym zaś wyzyskanie siły wodnej. Jak stwierdza urzędowe sprawozdanie²⁾, mają one służyć do ochrony przed powodzią przestrzeni położonych poniżej uregulowanych partji, którychby stosunki wodne skutkiem skrócenia biegu i przyspieszenia odpływu doznać mogły zmiany na gorsze. Największy z tych zbiorników (Kra-lostvi) ma pojemność 9 milionów m³.

W czasie od r. 1908 do 1912 zbadano w Małopolsce doliny górskie w dorzeczu Wisły i Dniestru i zaprojektowano szereg zbiorników w celu ochrony przed powodzią, wyzyskania siły wodnej i zasilania projektowanego kanału żeglugi³⁾. Z pięciu zbiorników zaprojektowanych w dorzeczu Wisły (przegrody zamykają dorzecza od 34,6 do 1089 km²) najważniejszym będzie zbiornik na Sole pod Porąbką, o pojemności 26,8 milionów m³, który zmniejsza maksymalny odpływ Soły z 1238 na 375 m³/sek, obniży szczyt fali Soły o 180—60 cm i wyrze również wybitny wpływ na falę wielkiej wody Wisły poniżej ujścia Soły, przyczyniając się do ochrony przed powodzią dalszej części doliny Wisły, a także i Krakowa.

Z powyższego przeglądu wynika, że systemu zbiorników nigdzie nie wykonano, ani na serjo nie projektowano, dla wielkich dorzeczy, a zastosowanie dotychczasowe obejmuje tylko górne biegi rzek i ma znaczenie tylko dla stosunkowo niewielkich obszarów; dla dużych dorzeczy zastosowanie tego systemu napotyka na nieprzewyciężone trudności. W każdym razie, jakkolwiek nie można uważać tego systemu

¹⁾ Die Möhnetalsperre und die Entwicklung des Talsperrenwesens im Ruhrgebiet. Zentralblatt für Wasserwirtschaft 1910 i Deutsche Bauzeitung 1913.

²⁾ Tätigkeitsbericht der Landeskommission für Flussregulierungen im Königreich Böhmen (I 1906, II 1908).

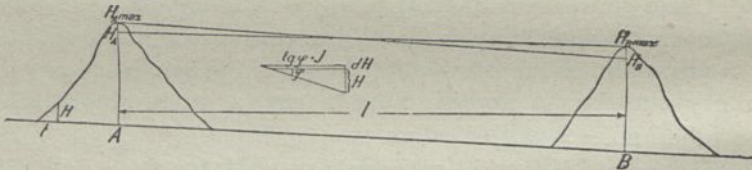
³⁾ Szczegóły w pracy T. Bäckera: Zbiorniki wody w zachodniej Galicji. Lwów 1914.

za samodzielny i możliwy do rozległego zastosowania, przecież w wyjątkowych warunkach może skutecznie współdziałać z innymi środkami ochronnymi i oddać dobrze usługi.

3. Obwałowanie.

a) Wpływ obwałowania na przebieg wezbrania.

Obwałowanie pewnej partji rzeki jest równoznaczne ze zmianą przekrojów przepływu wielkiej wody i skutkiem tego wpływa na kształt krzywej objętości (związek objętości Q i czasu t), oraz krzywej stanów wody (związek stanu wody H i czasu t). W celu bliższego określenia tego problemu, zastanówmy się nad przebiegiem wezbrania w pewnej przestrzeni rzeki A—B (rys. 222), wzdłuż której wykonano obwałowanie.



Rys. 222.

1. Skutkiem zwięzienia przekrojów przepływu nastąpi spiętrzenie u wstępu do partji obwałowanej, a zatem i zmniejszenie objętości przepływu.

W elemencie czasu dt odpływa $Q dt - B \frac{H}{I} dH$, gdzie B oznacza szerokość zwierciadła profilu naturalnego, zaś I spadek względny.

Na sekundę odpływa $q = \frac{Q dt - B \frac{H}{I} dH}{dt} = Q - \frac{B}{I} H \frac{dH}{dt}$

Jeżeli zatem krzywa objętości przedstawiona była związkami

$Q = f(t)$, to obecnie $\left(Q - \frac{B}{I} H \frac{dH}{dt}\right) = f(t)$.

W przypadkach praktycznych można wpływ ten pominąć.

2. Gdy fala wezbrania przy wodoskazie A osiąga stan h , któremu odpowiada objętość q , równocześnie przy wodoskazie B jest stan h_1 , któremu odpowiada objętość q_1 ; fala porusza się będzie aż do kulminacji w A ze spadkiem zwiększonym, po przejściu zaś kulminacji w A aż do kulminacji w B ze spadkiem zmniejszonym.

3. Jeżeli przyrost stanu wody wynosi w pewnym okresie na jednostkę czasu $\frac{dH}{dt}$, a szerokość zwierciadła profilu naturalnego jest B, natenczas z założeniem, że badana przestrzeń nie jest zbyt długa, objętościom sekundowym przechodzącym przez A odpowiadają objętości przy B mniejsze o $\frac{dH}{dt} B l$ podczas podnoszenia się stanu wody, odwrotnie zaś podczas opadania. Zatem objętości q przy wodoskazy B odpowiada początkowa objętość $q + \frac{dH}{dt} B l$ przy wodoskazy A, a zatem czas jaki upływa od wystąpienia takiej samej objętości przy wodoskazy B, jak przy wodoskazy A, wynosi $t + \frac{l}{v}$, gdzie t oznacza przeciąg czasu, w którym sekundowa objętość przepływu wzrosła przy wodoskazy A z q na $q + \frac{dH}{dt} B l$, zaś v średnią chyżość przepływu, odpowiadającą średniej objętości sekundowej fali $(q + \frac{dH}{dt} B l + q) \cdot \frac{1}{2} = q + \frac{dH}{dt} \frac{B l}{2}$, ze spadkiem do chwili kulminacji zwiększonym, t. j. $I + \frac{h_1 - h}{l}$.

Weźmy teraz pod uwagę maksymalną falę wezbrania. W czasie gdy w A jest kulminacja, przy B jest jeszcze stan niższy H_B . Od tej chwili zaczyna się spadek zwierciadła zmniejszać. W czasie jaki upłynął od kulminacji w A do kulminacji w B, przepłynęła przez profil A objętość

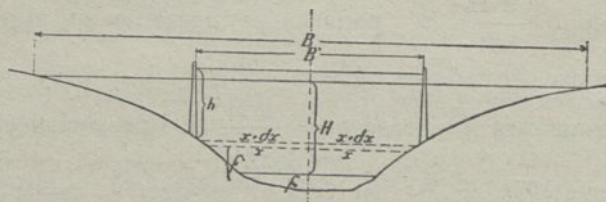
$\int_T^{T+t} Q dt$, a zatem na sekundę $\frac{\int_T^{T+t} Q dt}{t} = F v_p$, gdzie v_p oznacza średnią chyżość profilu, jednak $t = \frac{l}{v_f}$, gdzie v_f oznacza chyżość postępu szczytu fali.

$$\frac{l}{v_f} = \frac{\int_T^{T+t} Q dt}{F v_p}; \quad v_f = \frac{F v_p l}{\int_T^{T+t} Q dt} = \frac{F k I^m T_m^r l}{\int_T^{T+t} Q dt}$$

Wynika z tego, że chyżość postępu dowolnej fali, a także i szczytu fali, zależy będzie od naturalnych warunków łożyska, a także i od przebiegu wezbrania, t. j. od kształtu krzywej wezbrania w punkcie A.

Franzius¹⁾ omawiając warunki postępu fali przyplýwu morza w korycie Wezery stwierdza, że w profilu uregulowanym, a zatem o mniejszych oporach, fala porusza się szybciej.

Celem uzyskania obrazu, jak obwałowanie wpływa na zwiększenie chyżości przepływu, przyjmijmy teoretyczny kształt profilu wielkiej



Rys. 224.

wody taki, aby przy każdym napełnieniu średnia głębokość, a zatem i średnia chyżość, były stałe. Według oznaczeń na rys. 224

$$\frac{f' + 2x dy}{2(x + dx)} = T_m,$$

w czym f' oznacza powierzchnię przekroju aż do pewnego poziomu, $2x$ szerokość zwierciadła, y stan wody mierzony od poziomu małej wody.

$$f' + 2x dy = 2T_m x + 2T_m dx$$

$$2x dy = 2T_m dx$$

$$dy = T_m \frac{dx}{x}, \quad y = \int T_m \frac{dx}{x} = T_m \log x + C$$

$$\text{dla } y = 0, x = \frac{b}{2}, C = -T_m \log \frac{b}{2}; \quad y = T_m \log \frac{2x}{b}$$

$$x = \frac{b}{2} e^{\frac{y}{T_m}}$$

Naturalne przekroje w pewnych wypadkach okazują do tego przekroju podobieństwo; z podnoszeniem się stanów wody profil się szybko rozszerza, a średnia głębokość nie zwiększa.

Naprzykład dla $b_1 = 20_m, y = 3,0_m = H, T_m = 1,5_m \dots B = 148_m$ 1)

$b_2 = 40_n, y = 4,5_n = H, T_m = 1,5_n \dots B = 800_n$ 2)

Podobne kształty przekrojów wielkiej wody są w rzeczywistości możliwe, w przeważnej jednak liczbie wypadków, ponieważ zwykle wielkie wody

¹⁾ Die Korrektion der Unterweser j. w.

często się powtarzają, wytwarzają one zwarte profile odpływu, w których średnia głębokość, oraz średnia chyżość, osiąga największą wartość, a wezbrania występujące ponad brzegi mają już inne warunki przebiegu. W razie, jeżeli profil szybko się rozszerza, średnia głębokość i średnia chyżość, a zatem i chyżość postępu fali wezbrania, mogą maleć.

Klunzinger¹⁾ podaje przebieg dwu fal Dunaju między Passawą i Orsową na przestrzeni 1320 km, z których pierwsza przebyła przestrzeń tę w przeciągu 12½ dni, ze średnią chyżością 1,22 m/sek, druga zaś znacznie wyższa, która w 3 dni po niej nastąpiła, potrzebowała do przebycia tej przestrzeni 22 dni, a zatem chyżość postępu wynosiła tylko 0,70 m/sek. Wpływ na postęp fal wyższych ma także i to, że opory ruchu w terenie zalewowym są zwykle znacznie większe, jak w łożysku.

Jeżeli teraz przyjęty profil ograniczy się wałami w odstępnie B', następuje szybkie wzrastanie średniej głębokości, a zatem i średniej chyżości, od stanu w którym to ograniczenie się zaczyna.

Dla danej objętości maximalnej Q otrzymuje się dla obydwu przypadków:

$$Q = B T_m k \sqrt{I T_m} = (B' T_m + B' h') k \sqrt{I (T_m + h')}$$

$$B T_m \sqrt{T_m} = (B' T_m + B' h') \sqrt{T_m + h'}$$

$$\frac{B}{B'} T_m^{\frac{3}{2}} = (T_m + h')^{\frac{3}{2}}$$

$$T_m + h' = T_m' = \sqrt[3]{\frac{B^2}{B'^2} T_m}$$

Podstawiając np. liczby z przykładu 2) otrzymujemy:

$$a) \text{ dla } \frac{B}{B'} = 2, \quad T_m' = 1,59 \text{ m}, \quad T_m = 2,38 \text{ m}, \quad v_m' = 1,22 v_m$$

$$b) \quad \text{ " } \quad \text{ " } = 3, \quad \text{ " } = 2,13 \text{ " } \quad \text{ " } = 3,19 \text{ " } \quad \text{ " } = 1,46 \text{ " }$$

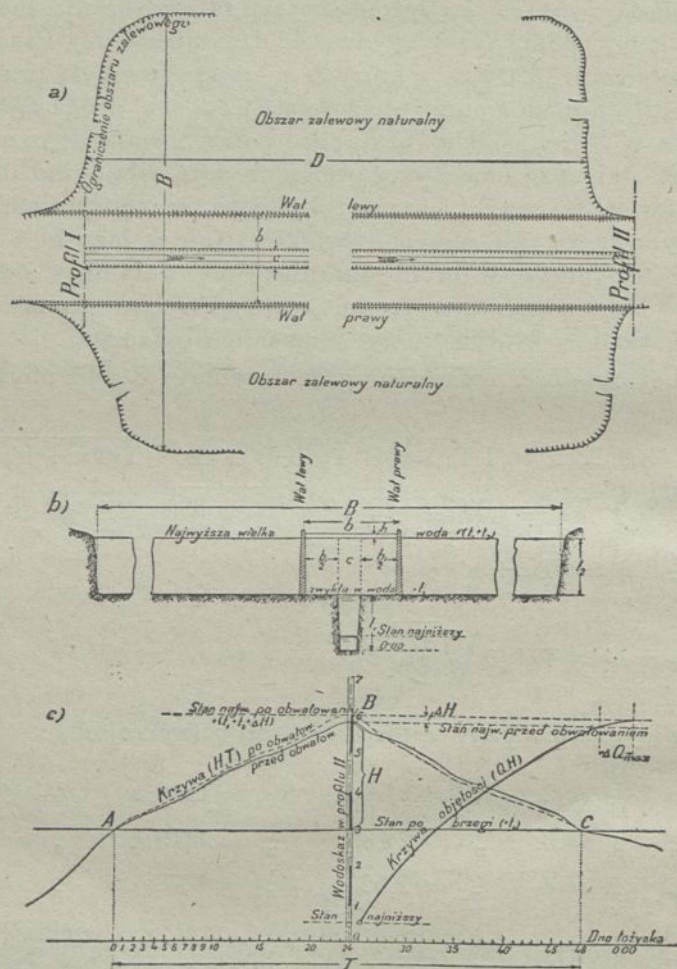
$$c) \quad \text{ " } \quad \text{ " } = 4, \quad \text{ " } = 2,52 \text{ " } \quad \text{ " } = 3,78 \text{ " } \quad \text{ " } = 1,92 \text{ " }$$

Jak widać z tego, zwężenie przekrojów odpływu wielkiej wody ma znaczny wpływ na przebieg fali wezbrania, a wpływ ten zwiększa się jeszcze, jeżeli nastąpiło równocześnie zwiększenie spadku skutkiem skrócenia biegu. Potwierdzają to liczne przykłady z praktyki. I tak podaje Suppan²⁾, że przed wykonaniem przekopów i obwałowania Cisy, najwyższe stany w Szegedynie dochodziły do 6,14 m (1830), po wykonaniu kilku przekopów do 6,91 m (1855), po wyprostowaniu biegu do 7,86 m (1876),

¹⁾ Ztschft d. Ing. u. Arch. Ver. 1896.

²⁾ Wasserstrassen und Binnenschiffahrt j. w.

podczas katastrofy w r. 1879 do 8,06 m, a najwyższy stan w ogóle doszedł do 8,84 m (1895). Postęp i przebieg fali wezbrania stał się daleko szybszy; podczas gdy w r. 1855 czas wzrostu stanu wody aż do kulminacji wynosił 52 dni, a opadnięcie zupełnie nastąpiło dopiero po 180 dniach,



Rys. 225.

wezbranie z r. 1895 osiągnęło maximum już w 6 dniach, a cały czas wezbrania wynosił tylko 59 dni.

Odcięcie terenu zalewowego (inundacji) przez obwałowanie musi wywołać, jak to już stwierdzono poprzednio, powiększenie objętości odpływających, a zatem i podwyższenie stanów wody. Chcąc zjawisko przedstawić w jaknajprostszej formie, przyjmijmy jak na rys. 225 roz-

legły teren zalewowy o długości D między partjami z natury zwężonymi (w profilach I i II), profil poprzeczny całego terenu zalewowego stały dla całej partji D (rys. 225 b), szerokość terenu zalewowego wynosi B , odstęp wałów b , szerokość profilu zwykłej wielkiej wody c , głębokość tego profilu t_1 , głębokość wody w terenie zalewowym t_2 , spiętrzenie w międzywalu przy najwyższym stanie wody h .

Powiększenie objętości nastąpi z tego powodu, że woda magazynowana w obszarze zalewowym, musi po obwałowaniu odpływać. Dla celów praktyki technicznej jest rzeczą pierwszorzędną wagi zorientowanie się, jak wielka będzie ta podwyżka objętości, względnie wzrost stanu wody. Ścisłe rozwiązanie zadania nie jest łatwe, wobec różnorodności wpływów jakie tu działają, zresztą działanie retencyjne obszaru zalewowego podobne jest do działania sztucznych lub naturalnych zbiorników retencyjnych (jeziora lub zbiorniki), którego badanie wywołało liczne prace¹⁾.

Chcąc zorientować się zupełnie ogółowo z jakimi przyrostami objętości i stanu wody można tu mieć do czynienia, przyjmijmy w przybliżeniu wzrost stanu wody w granicach między stanem po brzegi ($+t_1$) a kulminacją jako jednostajny i podobnie w opadającej gałęzi krzywej stanu wody (figura A—B—C na rys. 225 c przedstawiałaby trójkąt równoramienny o podstawie równej czasowi $2T$, jaki upływa od chwili wystąpienia wody z brzegów, aż do opadnięcia poniżej brzegów), oraz pominiemy opóźnienie wynikające z powodu czasu potrzebnego na przepływ wody między obydwoma profilami I i II. W takim razie objętość zatrzymywaną w obszarze zalewowym przed obwałowaniem można przyjąć na jednostkę czasu stałą, wynosi ona:

$$\Delta Q = (B-b) \frac{H}{T} D.$$

W przybliżeniu możemy zatem przyjąć, że o tę ilość zwiększy się po obwałowaniu odpływ sekundowy wielkiej wody w czasie od wystąpienia z brzegów aż do kulminacji.

Przykład. Rzeka nizinna o spadku $I=0,0002$, szerokość profilu wielkiej wody $B=3000$ m, odstęp wałów $b=800$ m, długość terenu retencyjnego 30 km, wysokość od stanu wody po brzegi ($+t_1$) aż do kulminacji $(t_1+t_2)=H=3$ m, objętość największego odpływu przed obwałowaniem $Q_{\max}=6000$ m³/sek, czas trwania wezbrania

¹⁾ Vide Forchheimer „Hydraulik“ 1914. „Füllung und Entleerung von Wasserbecken und Gefässen“ str. 323 i n., Kresnik „Oesterreichische Monatschrift für den öffentlichen Baudienst“ 1897, 1902 i 1906, Klunzinger „Zeitschrift des oester. Ing. u. Arch. Ver.“ 1886 i 1896. „Studien über den Verlauf der Hochwässer“.

powyżej brzegów zwykłej wielkiej wody 4 doby, czyli do kulminacji $T = 2 \times 86400 = 172800$ ssekund. Z powyższego

$$\Delta Q = (3000 - 800) \cdot \frac{3 \cdot 30.000}{172800} = 1146 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Jak z tego widać, odcięcie obszaru zalewowego może znacznie zwiększyć objętość przepływu, a skutkiem tego podwyższyć stan wielkiej wody między wałami. Aby profil przedstawiony na rys. 225 b przeprowadził między wałami $6000 \text{ m}^3/\text{sek}$, musi posiadać następujące wymiary:

$$b = 800 \text{ m, } \left\{ \begin{array}{l} \text{głębokość w środkowej części profilu (c) } \dots t_1 + t_2 + h = 6,5 \text{ m} \\ \text{" " " " skrajnych częściach " } \left(\frac{b_1}{2}, \frac{b_1}{2} \right) \dots t_2 + h = 3,5 \text{ "} \end{array} \right.$$

przy spadku $I = 0,0002$ średnia chyżość¹⁾ w części środkowej $v_1 = 1,977 \text{ m}$
 " " " " " " w częściach skrajnych $v_2 = 1,347 \text{ "}$

Aby objętość $6000 \text{ m}^3/\text{sek}$ przepłynęła między wałami, musi być

$$b_1 (t_2 + h) v_2 + c (t_1 + t_2 + h) v_1 = 6000 \text{ czyli}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b_1 \cdot 3,5 \cdot 1,347 + c \cdot 6,5 \cdot 1,977 = 6000 \\ b_1 + c = 800 \end{array} \right.$$

$$\text{skąd wynika } \left\{ \begin{array}{l} b_1 = 525,8 \text{ m} \\ b_2 = 274,2 \text{ "} \end{array} \right. \\ \hline 800,0 \text{ m}$$

Jeżeli teraz przyjmujemy, że maksymalna objętość podniosła się o $\Delta Q = 1146 \text{ m}^3/\text{sek}$, natenczas wzrost stanu wody ΔH w profilu II możemy oznaczyć z następującego równania:

$$b_1 (t_2 + h + \Delta H) v_1' + c (t_1 + t_2 + h + \Delta H) v_2' = (Q_{\text{max}} + \Delta Q)$$

v_1' i v_2' oznaczy się na podstawie formuł empirycznych, wstawiając $I = 0,0002$ i średnie głębokości $t_1' = t_2 + h + \Delta H$, względnie $t_2' = t_1 + t_2 + h + \Delta H$, oraz przyjmując pewne próbne ΔH .

Przyjmując na przykład na próbę $\Delta H = 0,5 \text{ m}$, otrzymuje się $t_1' = 4 \text{ m}$, $t_2' = 7 \text{ m}$, $v_1' = 1,471 \text{ m}$, $v_2' = 2,083 \text{ m}^2$. Z powyższego równania

$$\Delta H = \frac{(Q_{\text{max}} + \Delta Q) - b_1 v_1' (t_2 + h) - c v_2' (t_1 + t_2 + h)}{b_1 v_1' + c v_2'}$$

¹⁾ Rachowano formułą autora, używając tablicy cyfrowej podanej w części I.

²⁾ Według formuły autora j. w.

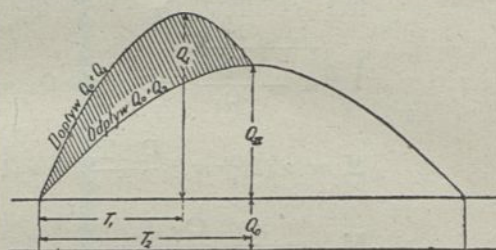
$$\Delta H = \frac{7146 - 525,8 \cdot 1,471 \cdot 3,5 - 274,2 \cdot 2,083 \cdot 6,5}{525,8 \cdot 1,471 + 274,2 \cdot 2,083}$$

$$\Delta H = 0,527 \text{ m.}$$

Wobec małej różnicy przyjętego i obliczonego ΔH , v_1' i v_2' nie ulegają zmianie, rachunku zatem nie trzeba powtarzać. Jak widać z tego, obwałowanie pewnej partji rzeki o znacznej retencji, może zwiększyć niebezpieczeństwo zalewu w partji poniżej położonej, która skutkiem tego wymagać może osobnych zarządzeń ochronnych.

Problemem powyższym zajmuje się również Forchheimer¹⁾, zakładając, że obszar zalewowy nie jest zbyt długi, natomiast stosunkowo szeroki i określając krzywą objętości (związek objętości i czasu) jako parabolę drugiego stopnia o osi pionowej.

Rozróżnia więc osobną parabolę dopływu i osobną parabolę odpływu, które rozchodzą się jednak dopiero wtedy, gdy rzeka zaczyna występować z brzegów, dlatego chwilę tę można przyjąć jako początek rachuby czasu. Tu zatem będzie wspólny początek obu parabol, a objętość przepływu odpowiadająca mu (woda po brzegi) niech będzie Q_0 (rys. 226). Jak długo dopływ ($Q_0 + Q_1$) przewyższa odpływ ($Q_0 + Q_2$), tak długo woda w terenie zalewowym się podnosi, w przeciwnym zaś razie opada. Ponieważ zaś odpływ wzrasta ze wzrostem stanu zalewu, następuje maximum odpływu, gdy $Q_0 + Q_1 = Q_0 + Q_2$, to znaczy, że tam gdzie obie parabole się przecinają, ma parabola odpływu punkt najwyższy. Oznaczając literami T_1 i T_2 czas, w którym dopływ względnie odpływ osiąga maximum Q_I , względnie Q_{II} , otrzymuje się następujące równania obu parabol:



Rys. 226.

$$\begin{cases} \text{a) } Q = Q_1 = Q_I \frac{2t T_1 - t^2}{T_1^2} \\ \text{b) } Q = Q_2 = Q_{II} \frac{2t T_2 - t^2}{T_2^2} \end{cases}$$

zaś objętość zamagazynowana w obszarze zalewowym przy stanie najwyższym

¹⁾ Hydraulik 1914, str. 331.

$$M = \int_0^{T_2} (Q_1 - Q_2) dt = \left[\frac{Q_I}{T_1^2} (T_1^2 t^2 - \frac{1}{3} t^3) - \frac{Q_{II}}{T_2^2} (T_2^2 t^2 - \frac{1}{3} t^3) \right]_0^{T_2} =$$

$$= \frac{T_2^2}{T_1^2} Q_I (T_1 - \frac{1}{3} T_2) - \frac{2}{3} T_2 Q_{II}.$$

Punkt o współrzędnych $t = T_2$, $Q = Q_{II}$ musi spełniać równanie a), czyli

$$Q_{II} = Q_I \frac{T_2^2}{T_1^2} [T_2 - T_1].$$

Z równania a) wynika również, że

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} - 2 \frac{T_2}{T_1} + \frac{Q_{II}}{Q_I} = 0, \quad \frac{T_2}{T_1} = 1 + \sqrt{1 - \frac{Q_{II}}{Q_I}}, \quad \text{a nazywając}$$

$$\sqrt{1 - \frac{Q_{II}}{Q_I}} = \nu, \quad \text{lub } Q_I = \frac{Q_{II}}{1 - \nu^2}, \quad \text{otrzymuje się}$$

$$M = \nu (1 + \nu)^2 \frac{Q_I T_1}{3} = \nu (1 + \nu) \frac{Q_I T_2}{3}$$

$$M = \frac{\nu}{1 - \nu} \frac{Q_{II} T_2}{3}$$

Przykład (przerachowanie poprzedniego przykładu):

$$Q_0 + Q_{II} = 6000 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Q_0 (objętość przepływu zwykłej wielkiej wody, t. j. po brzegi, rys. 225) oznaczmy na podstawie następujących danych: $I = 0,0002$, $c = 274,2 \text{ m}$, $t_1 = 3 \text{ m}$, $F_1 = c t_1 = 274,2 \cdot 3 = 822,6 \text{ m}^2$, ν (z formuły empirycznej, jak wyżej) $= 1,214 \text{ m}$, $Q_0 = 822,6 \cdot 1,214 = 998,64 \text{ m}^3/\text{sek} \sim 1000 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Wobec tego $Q_{II} = 6000 - 1000 = 5000 \text{ m}^3/\text{sek}$

$T_2 = T = 2 \text{ doby} = 2 \times 86400 = 172800 \text{ sekund}$

M (pojemność obszaru zalewowego odciętego wałami) $= 30000 \cdot 2200 \cdot 3$

$$M = 198,000,000 \text{ m}^3$$

$$M = \frac{\nu}{1 - \nu} \frac{Q_{II} T_2}{3} = \frac{\nu}{1 - \nu} \frac{5000 \cdot 172800}{3} = 198,000,000$$

$$\nu = 0,408, \quad Q_I = \frac{Q_{II}}{1 - \nu^2} = \frac{5000}{0,834} = 6000 \text{ m}^3/\text{sek},$$

zatem całkowity odpływ po obwałowaniu

$$Q_0 + Q_I = 6000 + 1000 = 7000 \text{ m}^3/\text{sek}.$$

Otrzymaliśmy tu zatem wynik w porównaniu z poprzednim, jak na przybliżony rachunek, stosunkowo zgodny.

Przyjęto tu, że kształt krzywych odpływu i dopływu jest symetryczny, podczas gdy zazwyczaj całkowity czas podnoszenia się stanu wody jest krótszy od czasu opadania. Obliczenie powyższe pozostaje jednak niezmienione i dla parabol o osiach ukośnych, do siebie równoległych.

II. Wykonanie obwałowań rzek.

Wałami (digue, Deich), nazywamy budowle ziemne ciągnące się obustronnie wzdłuż biegu rzeki, które ograniczają profil wielkiej wody i chronią przez to grunta i miejscowości położone w dolinie rzeki od zalewu.

1. Rodzaje wałów.

Przedewszystkiem rozróżniamy wały letnie i zimowe. Pierwsze są niższe i mają chronić tylko od wylewu w czasie zwykłych wezbrań w okresie letnim, t. z. w czasie wegetacji, wały zimowe są wyższe, ujmują szerszy profil i mają na celu ochronę przed powodzią w czasie najwyższych stanów¹⁾. Wynika z tego, że tylko wały zimowe dają ochronę zupełną, natomiast wały letnie tylko częściową. Często wykonują wały letnie w związku z wałami zimowymi, celem ochrony gruntów między wałami zimowymi położonych przed wezbraniem w czasie wegetacji.

Wykonanie wałów letnich może mieć na celu uzyskanie oszczędności w kosztach, gdyż wały te mają znacznie mniejsze wymiary jak wały zimowe. U nas w Polsce wykonywano wały chroniące od zwykłych letnich wezbrań tylko wyjątkowo, o charakterze budowli lokalnych, natomiast przedewszystkiem mają rację wały chroniące od najwyższych wielkich wód. Takie też wały wykonano na Wiśle w górnym i dolnym biegu (w obrębie Małopolski i Prus), oraz na większych jej dopływach.

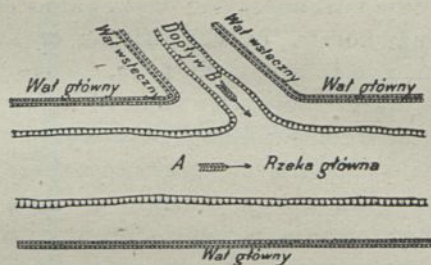
Dalej rozróżniamy wały otwarte i zamknięte. W zasadzie buduje się zazwyczaj wały zamknięte, gdzie zaś wysokie brzegi ograniczają rzekę, nawiązuje się wały do nich. Przy rzekach górskich, o znaczniejszym spadzie, przerywa się czasem wały, jeżeli dochodzimy do obszarów nisko położonych, a to w tym celu, aby woda przez namulanie je pod-

¹⁾ Nazwa pochodzi stąd, że przy bardzo wielkich dorzeczach, wody z opadów zimowych, t. j. z topnienia śniegów, osiągają zazwyczaj wyższe stany, jak przy wezbraniach letnich; przy dorzeczach małych i średnich może być odwrotnie.

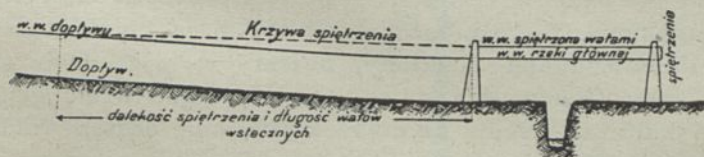
niosła, lub też jeżeli z powodu małej urodzajności i wartości tych gruntów nie zachodzi potrzeba ich ochrania. Dalej w pewnych wypadkach wykonuje się wały otwarte, czyli z przerwami, mając na celu li tylko skierowanie wody i odprowadzenie materiału ruchomego, nie zaś ochronę przed zalewem.

Wały poprzeczne, lub skrzydłowe, służą do nawiązania wału głównego, w miejscu gdzie on się zaczyna, z wysokim brzegiem, tudzież jako niskie wały wychodzące od wału głównego ku rzece, pochylone za prądem, a służące do osłabienia prądu wody w przestrzeniach między wałami a łożyskiem zwykłej wody.

Wały wsteczne służą do ograniczenia spiętrzenia wywołanego przez obwałowanie rzeki głównej (ścieku odbiorczego) wzdłuż dolnej (końcowej) partji dopływu. Jeżeli bowiem rzekę A (rys. 227) obwałujemy, a jej dopływu B nie, natenczas dopływ ten w każdym razie musi się obwałować od ujścia wstecz na takiej przestrzeni, na jaką rozciąga się spiętrzenie wody rzeki głównej, wywołane przez jej obwałowanie (rys. 228). Wały wsteczne wykonuje się tylko nad większymi dopływami, wodę dopływów mniejszych i rowów przeprowadza się przez wały rzeki głównej zapomocą osobnych przepustów, zwanych śluzami wałowymi. W czasie wezbrania rzeki głównej (ścieku odbiorczego) musi się służę wałową zamknąć, aby



Rys. 227.



Rys. 228.

woda przez nią nie wylewała się na zewnątrz. Do tego celu służą kłapy, zamykające wylot śluzy od strony koryta rzeki. Jeżeli stan wody rzeki głównej jest wyższy jak stan dopływu, ciśnienie wody kłapę przymyka, w razie przeciwnym, ciśnienie wody zewnętrznej (wody dopływu) kłapę otwiera. Na rzekach o długotrwałych wezbraniach mogą być mniejsze dopływy i rowy osuszające przez długi czas pozbawione odpływu, skutkiem czego zalewają grunta poza wałami rzeki głównej położone wody zewnętrzne, przez co mogą powstać znaczne szkody. Aby tego uniknąć,

zakłada się nad wielkimi rzekami stacje pompowe, których zadaniem jest przerzucanie nagromadzonych wód zewnętrznych do koryta rzeki tak długo, jak długo śluza wałowa jest zamknięta. Śluzy wałowe i stacje pomp opiszemy w dalszym ciągu.

Wały pierścieniowe ograniczają i chronią miejscowości przed zalewem, na przestrzeniach gdzie rzeka nie jest obwałowana. Wreszcie odróżnia się wały morskie, chroniące od zalewu przy wysokim stanie morza, od wałów rzecznych.

2. Ogólne zasady zakładania wałów.

Gdzie dolina rzeki jest zbyt wąska, a objętość przepływu wielkiej wody znaczna, tam wykonanie obwałowania nie jest wskazane, ponieważ kosztą byłyby nieraz w stosunku do osiągalnych korzyści zbyt duże, a to z powodu tego, że obszar gruntów wymagających ochrony jest w takim razie niewielki. Nie wynika z tego, jakoby się obwałowywało tylko rzeki wielkie; wały wykonuje się i nad całkiem małymi potokami, o ile osiągnie się przez to zabezpieczenie większych obszarów od zalewu.

Jak już poprzednio w dziale o regulacji rzek wspomniano, skutkiem obwałowania powstaje profil dwuczęściowy, względnie, jeżeli w obrębie koryta średniej wody wykonano jeszcze osobny profil dla małej wody, profil trzyczęściowy.

Odstęp wałów. Z uwagi na ujednostajnienie przepływu wody byłoby dobrze, gdyby odstęp obustronnych wałów w całym przebiegu był jednostajny, takie wykonanie jednak z innych względów nie byłoby odpowiednie. Tam gdzie nad rzeką są obszary niskie, wymagające jeszcze namulenia i podwyższenia przez rzekę (stare koryta, odsypiska, niskie obszary zawikłone, nisko położone pastwiska), a z powodu swej małej wartości nie wymagające ochrony, obszary te pozostawia się między wałami, a wały odsuwa się dalej od rzeki. Naodwrot, gdzie grunta o wysokiej kulturze sięgają aż do rzeki, daje się odstęp wałów jaknajmniejszy, aby jaknajwięcej gruntu ochronić przed zalewem.

Wynikają stąd zmienne odstępy wałów, zmiana odstępu z uwagi na regularny przepływ nie powinna się jednak odbywać raptownie, ale w sposób ciągły. Wobec zmienności odstępu wałów zachodzi potrzeba oznaczenia odstępu minimalnego, którego nie można przekroczyć, z uwagi na odprowadzenie wielkiej wody i na dopuszczalne spiętrzenie jej między wałami.

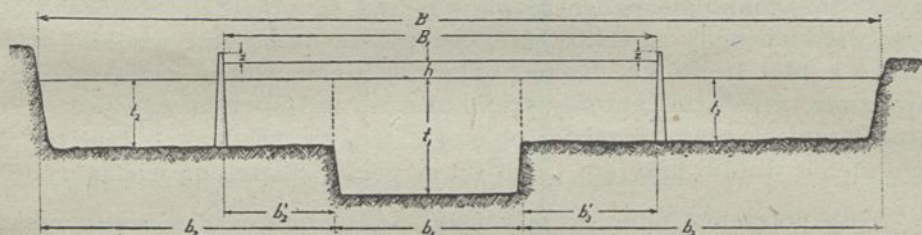
Wały jako budowle chroniące przed zalewem muszą z natury rzezy odcinać część profilu zalewowego, czyli zmniejszać rozmiary (szerokość i powierzchnię) profilów wielkiej wody. Skutkiem tego nastąpi naturalnie podniesienie się stanu wielkiej wody między wałami, czyli spię-

trzenie wody (rys. 229). Do racjonalnego oznaczenia najmniejszego odstępu wałów potrzeba:

1. Oznaczenia absolutnie najwyższego stanu wody, oraz absolutnie największej objętości przepływu;

2. zdjęcia charakterystycznych naturalnych profilów zalewowych rzeki, ograniczonych brzegami sięgającymi ponad najwyższą wodę. Profile takie zdejmuje się przede wszystkim w tych miejscach, gdzie brzegi ograniczające wielką wodę zbliżają się do siebie, gdzie więc te profile są zwężone;

3. Oznaczenia maximalnego spiętrzenia wody między wałami. To spiętrzenie (h , rys. 229) powiększa głębokość wody, a zatem i chyżość



Rys. 229.

przepływu, w dalszym zaś następstwie i siłą poruszającą, nie może być zatem zbyt wielkie, gdyż erozja w łożysku i ruch materiału zostałyby zwiększone, budowle wodne narażone w większej mierze na zerwanie, a obszary między wałami a rzeką narażone na uszkodzenie. Spiętrzenie to wynosi zazwyczaj od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, nie może być jednak przyjmowane dowolnie. W każdym poszczególnym przypadku należy z uwzględnieniem zwiększonej głębokości przeliczyć chyżość, tak dla właściwego łożyska, jak i dla obszarów przyległych i ocenić, czy powiększenie chyżości nie spowoduje szkodliwych skutków;

4. Przyjęcia wzniesienia wałów ponad najwyższy stan spiętrzonej wody (z , rys. 229). Wzniesienie to ma na celu uzyskanie pewności, że woda nie wzniesie się ponad koronę wałów i wynosi zazwyczaj 0,50–1,50 m, w wyjątkowych zaś wypadkach, tam gdzie mogą powstać nadmierne spiętrzenia skutkiem zatorów, przyjmuje się i znacznie więcej. Tak na przykład wzniesiono koronę wałów przy ujściu Wisły aż 3 m ponad spiętrzoną wielką wodę.

Co do objętości odpływu wielkiej wody, to naturalnie najlepiej będzie, jeżeli oznaczy się ją na podstawie pomiarów bezpośrednich, przez zdjęcie profilu hydrometrycznego i pomiarzenie chyżości. Nie zawsze jednak rozporządza się wynikami pomiarów bezpośrednich i trzeba bę-

dzie nieraz zadowolnić się oznaczeniem objętości na podstawie pomiaru profilu i spadku i zastosowania formuł empirycznych na średnią chyżość przepływu, a nawet oznaczyć objętość na podstawie wielkości dorzecza i współczynników odpływu. Im mniej dokładne jednak było oznaczenie objętości wielkiej wody, tem większe trzeba przyjąć wzniesienie wałów (z) ponad spiętrzoną wielką wodę, dla uzyskania odpowiedniej pewności. Wynika stąd nieraz znaczne zwiększenie kosztów, któregooby można uniknąć, gdyby badania hydrometryczne przeprowadzono dokładniej. Nie jest również właściwem obliczanie objętości odpływu wielkiej wody na podstawie najwyższych stanów oznaczonych w zbyt odległych czasach, gdyż stany te może nie mogłyby przy obecnych warunkach koryta wystąpić. Tak naprzykład gdy przed kilkunastu laty zastanawiano się nad ochroną Wiednia od powodzi, oznaczono odpływ wielkiej wody na 14.000 m³, na podstawie stanów wielkiej wody jeszcze z 14 i 15 wieku. Takiej objętości niema Dunaj nawet pod Budapesztem, a że sami autorzy projektu mieli wątpliwości, czy jest racjonalne przyjęcie tak znacznej objętości wody, świadczy o tem to, że wzniesienie wałów przyjęto tylko 0,1 m ponad spiętrzoną wielką wodę¹⁾.

Gdy potrzebne dane zostały ustalone, przeprowadza się obrachowanie najmniejszego odstępu wałów w sposób następujący:

Za podstawę bierze się średni profil ze zdjętych charakterystycznych profilów zalewowych, oraz spadek przeciętny danej przestrzeni i.

Objętość przepływu największej wielkiej wody, pomierzona lub obrachowana, wynosi (rys. 229):

$$Q = b_1 t_1 v_1 + b_2 t_2 v_2 + b_3 t_3 v_3,$$

w której to formule t_1 , t_2 i t_3 oznaczają odpowiednie średnie głębokości, a v_1 , v_2 , v_3 , średnie chyżości.

Następnie przyjmując pewne spiętrzenie h oznacza się przez próby taki odstępn wałów B_1 , aby w obwałowanym i spiętrzonym profilu przepływała tasama objętość.

$$Q = b_1 (t_1 + h) v_1' + b_2' (t_2 + h) v_2' + b_3' (t_3 + h) v_3'.$$

Chyżości obrachowuje się na podstawie znanych formuł empirycznych; będą one obecnie większe, gdyż jak wiadomo: $v = k \sqrt{i(t+h)}$; różnice nie mogą być z powodów powyżej wyluszczonej znaczne, wobec czego h nie powinno się przyjmować zbyt duże. Ostateczny wzór służący do obrachowania odstępu wałów jest:

$$\frac{Q}{\sqrt{i}} = b_1 k \sqrt{(t_1+h)^3} + b_2' k \sqrt{(t_2+h)^3} + b_3' k \sqrt{(t_3+h)^3},$$

z którego przez próby obrachuje się odpowiednie B_1 .

¹⁾ Dyskusja w tej sprawie w Zeitschrift d. Ing. u. Arch. Ver. Wiedeń.

Jak widzimy, do obrachowania odstępu wałów stosujemy tu formuły na przepływ wody w łożyskach; wywołane spiętrzenie nie będzie jednak wszędzie jednakowe, lecz zmienne, gdyż odstępowanie wałów nie jest stałe, nadto profile mają różną szerokość.

Rachunek powyższy należałoby zatem powtórzyć także dla najwęższych i najszerszych profilów. Tam gdzie obwałowanie się zaczyna, zaczyna się również i spiętrzenie w pełnej wartości, które wywołuje krzywą spiętrzenia ciągnącą się w górę rzeki. Naodwrot w miejscu gdzie spiętrzenie się kończy, objawi się zniżenie (depresja), a od tego punktu w górę rzeki sięgać będzie krzywa zniżenia.

Należy pamiętać, że przyjęcie zbyt małego odstępu wałów, może się odbić bardzo niekorzystnie na stanie całej rzeki, względnie jej partji, może wywołać potrzebę nowych kosztownych ubezpieczeń, jak progów w łożysku średniej wody i silnego ubezpieczenia dodatkowymi budowlami poprzecznymi przestrzeni między łożyskiem średniej wody i wałami położonych, jak to się np. okazało koniecznym na rzekach badeńskich.

Trasa wałów. Wały zakłada się w liniach prostych lub łukach, przyczem trzeba się trzymać następujących zasad:

1. Linje wałów powinny być w ogólnych zarysach dostosowane do linii trasy koryta średniej, względnie małej wody. Nie znaczy to jednak, ażeby kierunki miały być równoległe, względnie łuki współśrodkowe. Przeciwnie, łuki linii wałów powinny być zawsze znacznie łagodniejsze, czyli promienie krzywizny większe jak promienie łuków trasy łożyska, gdyż bezwładna masa wielkiej wody, nie może być prowadzona w ostrych łukach. Powtórę, tam gdzie w trasie łożyska jest łuk wklęsły, należy zastosować i dla wału łuk wklęsły, lub też prostą, wykonanie takie, jakie się niestety czasem spotyka, że trasa łożyska i trasa wału mają łuki przeciwnie skierowane, powinno być stanowczo wykluczone.

2. Przejścia poszczególnych kierunków wałów powinny mieć przebieg łagodny; należy unikać wszelkich ostrych kątów, nagłych załomów i nagłych rozszerzeń profilu. Takie nagłe rozszerzenia wpływają na stan rzeki bardzo szkodliwie, są miejscem składu materiału, sprzyjają powstawaniu zatorów i t. p.

3. Wały powinny być założone na terenie wyższym, pewnym, mało przepuszczalnym, nie powinny zbliżać się zbyt do łożyska średniej wody, czyli, że przestrzenie między łożyskiem średniej wody a wałami nie powinny być zbyt wąskie. Warunki te wynikają z potrzeby zabezpieczenia wału przed zerwaniem; wały położone na terenach niskich, przepuszczalnych, nie są pewne, gdyż po pierwsze muszą mieć znaczną wysokość, a powtórę woda spiętrzona przeciekając przez grunt przepuszczalny, na którym wał zbudowano, może wywołać podmycie stopy wału. Taksamo wały położone zbyt blisko łożyska średniej wody, a więc

blisko nurtu, są więcej zagrożone, gdyż woda płynąca może podmyć stopę wału i narazić go na przerwanie¹⁾.

Związek regulacji z obwałowaniem. Idealnym byłby taki postęp robót, że najpierw wykonałoby się regulację rzeki, a później dopiero, po jej zrealizowaniu i zamuleniu przestrzeni odciętych i starych koryt, wykonałoby się obwałowanie. Dotrzymanie takiego programu jest jednak niemożliwe, gdyż zwykle ochrona gruntów przed zalewem nie cierpi zwłoki i obwałowanie musi nieraz poprzedzić regulację, a w pewnych wypadkach, szczególnie na rzekach mniejszych, projektuje się obwałowanie równocześnie z regulacją.

Wielu autorów, przeważnie niemieckich, uważa wały jako bardzo skuteczny środek regulacji. Takie postawienie sprawy nie jest właściwe. Wyjątkowo tylko na rzekach górskich, gdzie teren zalewowy nie jest zbyt rozległy, a wały leżą blisko brzegów rzeki, wały przy wyższych stanach wywierają działanie podobne jak budowle regulacyjne, kierując prądem wody i wpływając na ruch materiału. Natomiast na rzekach większych, nizinnych, takiego bezpośredniego oddziaływania zwykle niema. Jednakowoż, jakkolwiek wałów w zasadzie nie można uznać za budowle regulacyjne, to przecież wały źle wykonane mogą z pewnością utrudnić zrealizowanie się regulacji, a nawet naturalne warunki rzeki pogorszyć.

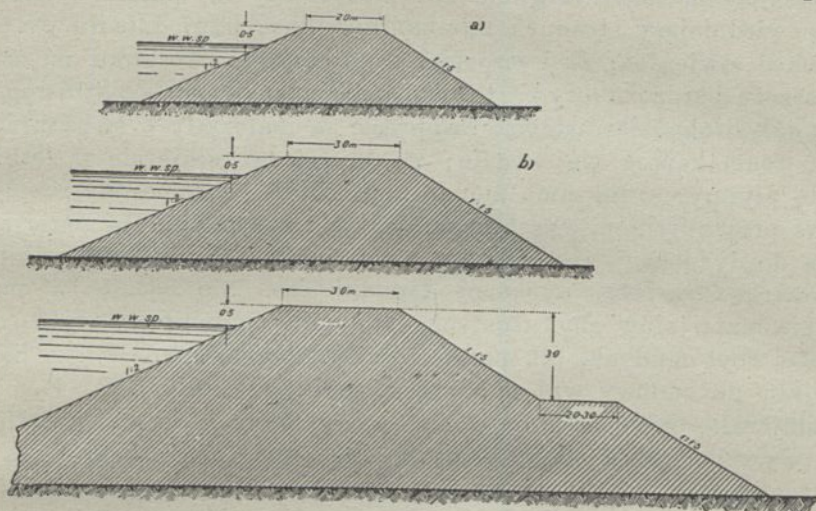
3. Profil poprzeczny wału, rozmiary, materiał i sposób wykonania.

W zasadzie przyjmuje się profil trapezowy, o koronie płaskiej, lub też wypukłej, albo spadającej od środka na oba boki, albo wreszcie o jednostronnym pochyleniu²⁾. Te ostatnie sposoby wykonania są lepsze, gdyż umożliwiają odwodnienie korony. Skarpa od strony łożyska rzeki, narażona na prąd wody i rozmoknięcie, wymaga łagodniejszego pochylenia, jak skarpa od strony łądu. W ogólności, tak szerokość korony (zazwyczaj 2—4,5 m, wyjątkowo jednak do 6, a nawet do 12 metrów), jak i pochylenie skarp, są różne i zależą od wielu okoliczności. Na rozmiary profilu poprzecznego wałów wpływają przede wszystkim:

¹⁾ Dla Wisły przyjęto w Małopolsce następujące najmniejsze odstępy wałów: Od Przemszy do Soły 270 m, do Skawy 300 m, do Niepołomic 340 m, do Dunajca 340—510, do Wisłoki 620—750, do Sanu 770—810, poniżej Sanu 940. Ten ostatni odstęp jest większy od przyjętego w projekcie regulacji Wisły w Królestwie opracowanym przez Kostenieckiego (775 m); że odstępy wałów w dolnych partjach Wisły w Małopolsce są zbyt duże, stwierdza fakt, że w obrębie zaboru pruskiego przyjęto rozstaw 1100 m, który później zmniejszono na 1000 m.

²⁾ Ehlers „Bau Unterhaltung und Verteidigung der Flussdeiche“ (Berlin 1914), daje tak koronie jak i ławeczce pochylenie 1:15, pierwszej ku łożysku, drugiej ku łądowi.

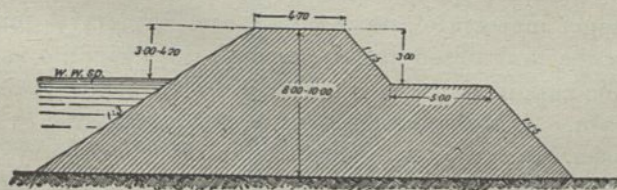
a) **Wysokość wału.** Wały narażone są w czasie wezbrań na jednostronne ciśnienie wody, rozmoknięcie materiału i przeciekanie wody przez wał, lub grunt, na którym wał jest zbudowany. Działania te są tem silniejsze, im stany wody osiągają znaczniejszą wysokość i im większe spiętrzenie wody wały wywołują, czyli im wał jest wyższy. Często samo powiększanie grubości wału ku dołowi wynika z powodu pochy-



Rys. 230.

lenia skarp nie wystarcza i trzeba zabezpieczyć stałość wału przez danie szerszej korony, lub też wykonanie rozszerzenia poniżej korony zapomo-
cą ławeczki (berme, Berme).

Tak na przykład wały wykonane w Małopolsce na rzekach mniejszych, (o mniejszej różnicy stanów wody), otrzymały szerokość korony 2 m (rys. 230 a), na rzekach większych 3 m (rys. 230 b), a w miejscach, gdzie wał skutkiem obniżenia terenu ma znaczniejszą wysokość dawano po stronie lądu ławeczkę (rys. 230 c) 2—3 m szeroką, umieszczoną 3 m pod koroną wału.



Rys. 231.

Wał Wisły w pobliżu ujścia przedstawia rysunek 231. Wały te z powodu znacznej wysokości (8—10 m) otrzymały koronę 4,7 m i po stronie lądu ławeczkę 5 m szeroką. Korona wznosi się 3 do 4,2 m

ponad wielką wodę z uwagi na niebezpieczeństwo tworzenia się zatworów. Celem osłabienia prądu wody w przestrzeniach między rzeką a korytem średniej wody wykonano wały poprzeczne, t. zw. trawersy, o koronie 2,5 m, skarpie górnej 1:2, dolnej 1:10.

b) **Materiał z którego wał się wykonuje.** Najodpowiedniejszym materiałem jest piaszczysta glina, lub piaszczysty il. Ehlers uważa jako najodpowiedniejszy stosunek mieszaniny gliny, względnie ilu, do piasku 2:1, choć stwierdza, że i materiał o odwrotnym stosunku mieszaniny jest jeszcze bardzo dobry¹⁾. Przymieszka piasku gruboziarnistego jest lepsza jak drobnoziarnistego. Najgorsze są materiały o strukturze pyłkowej, rozmakające we wodzie; miałki piasek staje się w zetknięciu z wodą płynny, a taksamo ziemie zbyt tłuste, rozmoczone rozplývają się, zaś przy zbyttniem wyschnięciu pękają i rozpadają. Im materiał jaki się ma do dyspozycji jest gorszy, tem profil wału musi być silniejszy, t. zn. korona szersza, a skarpy łagodniejsze. Nie będzie tu chodziło o użycie materiałów zbyt tłustych, bo tych w nadmiarze zwykle niema, ile raczej zbyt chudych, jak piasku i żwiru. Ponieważ nie wolno pobierać materiału do budowy wałów z przestrzeni od strony ładu, lecz tylko z międzywała, gdyż kopanie dołów materiałowych od strony ładu mogłoby wywołać przeciekanie wody, zabagnienie tych obszarów, a skutkiem tego nawet podmycie wałów, przeto musi się brać materiał taki, jaki się w międzywale znajduje, gdyż wobec ogromnych mas materiału ziemnego jakie tu są potrzebne, nie można myśleć o sprowadzaniu ich ze znaczniejszej odległości. Wynika z tego, że w pewnych wypadkach zmuszeni jesteśmy używać piasku, a nawet żwiru; materiał taki jest tem gorszy, im mniej zawiera części uszczelniających.

Co się tyczy wymiarów przekroju poprzecznego wału, to im gorszego materiału się używa, tem wymiary muszą być większe, nadto trzeba wał przed przeciekaniem odpowiednio zabezpieczyć, a mianowicie albo zapomocą jądra z materiału nieprzepuszczalnego założonego w środku wału, albotież zapomocą nieprzepuszczalnej warstwy 0,50—1,00 m grubości, ułożonej na skarpie od strony wody (rys. 232 a i b).

Gdzie nie było wogóle lepszego materiału, tam budowano także wały ze żwiru z piaskiem. W ten sposób wykonano w Szwajcarji wały na Renie między Tardisbrücke a jeziorem Bodeńskim, przyczem na

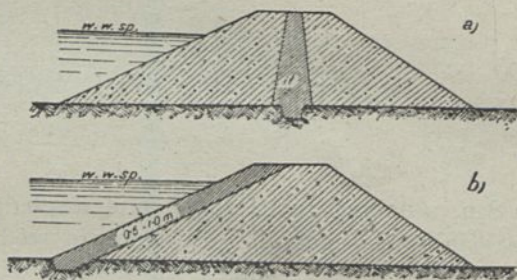
¹⁾ Schaffernak (Über die Standsicherheit durchlässiger, geschütteter Dämme, Wiedeń 1918, odbitka z Allg. Bauzeitung 1917) uważa, że piasek stanowi szkielet, a materiały pyłkowe, t. j. glina lub il, powinny stanowić wypełnienie, czyli że stosunek idealny byłby 60% piasku i 40% gliny. W praktyce jednak okazują się tłusciejsze ziemie lepsze.

Schelten przyjmuje, że zawartość piasku powinna wynosić najmniej 15, a najwięcej 45%, najlepiej zaś 15—18%.

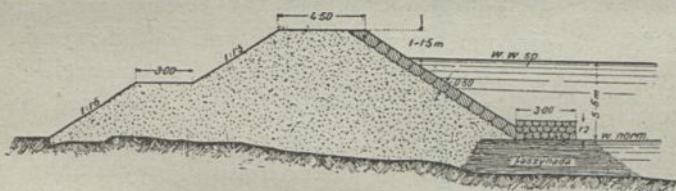
pewnej partji odstąpiono nawet od profilu dwuczęściowego i wykonano dla wielkiej wody profil jednoczęściowy, przemieniając dawne wysokie tamy regulacyjne (Wuhren)¹⁾ na wały. Ostateczny profil przedstawia rys. 233.

Warunkami stałości takiego wału są: 1) dostateczne rozmiary przekroju poprzecznego, 2) użycie materiału takiego, jaki się kopie w łózysku, t. j. żwiru zmieszanego z piaskiem i zwracanie uwagi przy sypaniu, aby się piasek od żwiru nie oddzielał, 3) przygotowanie odpowiednie podstawy, 4) ubezpieczenie skarpy wału od strony rzeki.

Przy budowie wałów Renu, uwzględniono warunki 3 i 4 w ten sposób, że z gruntu, który miał stanowić podstawę wału, usunięto młode namuły rozmakające we wodzie, stopę wału od strony wody ubezpieczono tamą faszynową z narzutem kamiennym, a skarpe silnym brukiem (rys. 233).



Rys. 232.



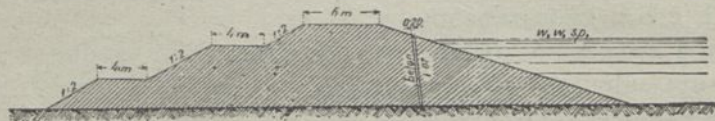
Rys. 233.

Dalsze uwagi co do materiału wałów, oraz wykonania robót ziemnych, podane będą poniżej.

c) **Czas trwania wysokich stanów wody.** Jeżeli na pewnej rzece stany wysokie, przewyższające naturalne brzegi, trwają długo, co następuje przede wszystkim na rzekach dużych, o małym spadku i wybitnie nizinnym charakterze, natenczas wał musi być ostrożniej budowany, materiał powinien być lepszy, a wymiary przekroju stosunkowo większe, jak na rzekach o krótkotrwałych wysokich stanach, w którym to wypadku wał tylko przez krótki stosunkowo czas bywa zamoczony. Do

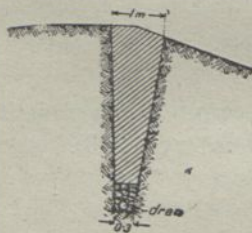
¹⁾ Inżynier Wey, który był z ramienia rządu szwajcarskiego kierownikiem tych robót, nazywa takie wały „Hochwuhren“. Patrz „Memorial zum Diepoldsauer Durchstich“, Schweizerische Bauztg., tom II, również Handbuch der Ingenieurwissenschaften „Wasserbau“, tom VII. 1911.

rzek takich należy np. Cisa, na której okres od wystąpienia z wysokich brzegów, aż do opadnięcia poniżej tychże, wynosi 6 tygodni, oraz dolny Dunaj na którym okres ten trwa 2 tygodnie. Korona wału wynosi 6 m, nadto wał posiada rozszerzenia od strony łądu, i bardzo łagodne skarpki (rys. 234). Na Cisie w niektórych miejscach rozszerzono koronę wału



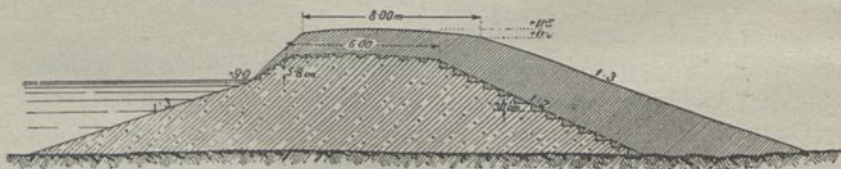
Rys. 234.

na 8 m, a nawet na 12 m. W miejscach, gdzie z powodu użycia gorszego materiału następowało przeciekanie wody i występowanie w formie źródełek na skarpi od strony łądu, wykonano ściankę uszczelniającą betonową 20 cm. grubości (rys. 234), a nawet drenowanie wału (rys. 235). Dren 10 cm średnicy ułożono u spodu wkopu w warstwie kamienia łamanego ze spadkiem 2% i wypuszczono go następnie do starego łożyska. W innym miejscu ubezpieczono skarpe od strony wody brukiem ceglany, względnie płytami betonowymi.



Rys. 235.

Rys. 236 przedstawia rozszerzenie i podwyższenie wału pierścieniowego Cisy pod Szegedynem. Po katastrofie z roku 1879 zabezpieczono miasto w ten sposób, że prócz wału podłużnego chroniącego je bezpośrednio, wykonano także wał

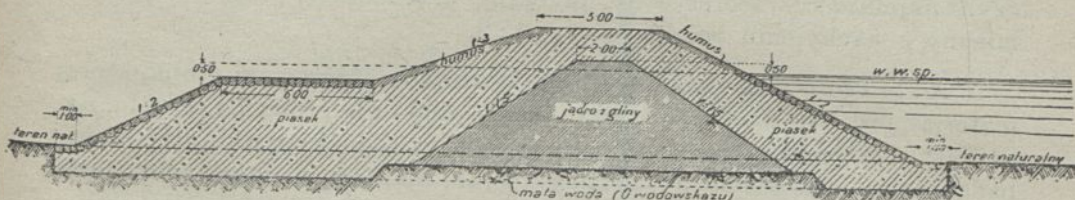


Rys. 236.

pierścieniowy, nawiązany do wału głównego, zabezpieczający miasto od powodzi na wypadek, gdyby wał główny został powyżej lub poniżej miasta przerwany. Rozszerzenia dokonano wycinając w starym wale zęby, a na koronie rowki i ubijając materiał w cienkich warstwach.

Rys. 237 przedstawia wał Dunaju na t. zw. Polu Morawskim. Wymiary są znaczne, ponieważ główna część przekroju poprzecznego

składa się z materiału przepuszczalnego; celem uszczelnienia dano silne jądro z materiału gliniastego. Wierzchnią warstwę ziemi złożoną z młodych rozmakających namulów skopano, a wał wpuszczono w grunt naturalny. Skarpy aż do stanu spiętrzonej wielkiej wody wybrukowano, jak również pasy łądu obustronnie do wału przylegające.

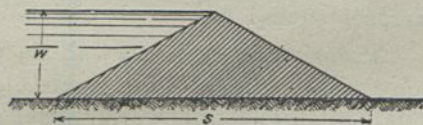


Rys. 237.

Działanie wody na wał.

Wał stanowiący budowlę poddaną jednostronnemu ciśnieniu wody, narażony jest na różnorodne działania, które mogą naruszyć jego równowagę, a mianowicie może zajść możliwość a) przesunięcia wału, b) utraty spójności cząstek skutkiem rozmoknięcia materiału i przejścia w stan płynny, c) utraty spójności skutkiem przeciekania wody przez wał i wypłukania części miałkich, tudzież wypływu na skarpie od strony łądu i wypłukanie na niej materiału, d) skutkiem rozmoknięcia podłoża wału i zapadnięcia się wału i e) skutkiem działania prądu wody płynącej, uderzenia fali, lub przelewu przez koronę. Punktami a)—c) zajmiemy się na tem miejscu, d) i e) omówimy w ustępie o wykonaniu robót ziemnych i ubezpieczeniu skarp.

Ad a) Przeciw możliwości przesunięcia wału w kierunku poprzecznym u podstawy, lub wzdłuż innej płaszczyzny poziomej, zabezpieczyć się można 1. przez zwiększenie tarcia (dobre połączenie warstw ze sobą, oraz połączenie spodu wału z podstawą) i 2. przez danie odpowiednio łagodnego pochylenia skarp, a przez to dostatecznie szerokiej podstawy. Aby wał o teoretycznym kształcie trójkąta równoramiennego pod działaniem ciśnienia słupa wody o wysokości w , sięgającego aż po koronę, nie został w kierunku poziomym przesunięty (rys. 238), musi zachodzić warunek:



Rys. 238.

$$\varphi \frac{w S}{2} (\gamma - \gamma_0) \geq \frac{\gamma w^2}{2},$$

przyczem poszczególne czynniki mają następujące znaczenie: φ tangens kąta tarcia materiału wału i gruntu, w wysokość, S szerokość podstawy wału, γ i γ_0 ciężary 1 m^3 ziemi i wody. Wstawiając za $\varphi = 0,5$, $\gamma = 1,5$, $\gamma_0 = 1$, otrzymuje się

$$S \geq 4 w,$$

czyli najmniejszy teoretyczny przekrój przedstawia trójkąt równoramienny o nachyleniu boków (skarp) 1:2.

Ad b) Teoretyczne rozpatrywanie warunków równowagi grobli, której materiał jest pod działaniem wody jest trudne i nie prowadzi do celu, natomiast wskazane tu jest wykonywanie badań doświadczalnych. Takie badania przeprowadzono np. w laboratorium wodnym wiedeńskim¹⁾, gdzie obserwowano zachowanie luźnie usypanych grobli pod działaniem wody.

Najpierw badano fizyczne własności materiałów przepuszczalnych i otrzymano następujące wyniki: Objętość przestrzeni wolnych między ziarnami, które wypełnia woda, jest w materiałach przepuszczalnych luźnie usypanych (piaski i żwiry) prawie stała i wynosi 40% całej objętości, z czego wynika, że i ciężary 1 m^3 tych materiałów, przy jednakowym składzie petrograficznym, mało się różnią; wynosiły one przy badanych materiałach (od miążkiego piasku dunajowego, aż do żwiru o średnicy 5 cm) od 1520 do 1660 kg, przeciętnie 1580 kg/m^3 .

Wobec znacznej pojemności wody, zwilżenie, względnie nasycenie wodą, musi wywierać znaczny wpływ na stałość grobli, który zależny jest zresztą w znacznym stopniu od średnicy materiału. Ważne jest tu również oznaczenie kąta nachylenia skarpy naturalnej φ . Według doświadczeń, φ nie jest zależne od grubości warstwy materiału; oznaczono je doświadczalnie dla materiału suchego, o różnym stopniu nasycenia wodą (od 0%—40%), o ziarnach jednakowej średnicy od $1 \frac{m}{m}$ —5 cm. Miążki piasek suchy miał $\text{tg } \varphi = 0,817$, w miarę wzrostu nasycenia wartość ta stale wzrastała i doszła przy nasyceniu 37,5% do 2,08, czyli materiał stawał się coraz stalszy, aż nagle po dojściu do tej krytycznej wartości zaczął się rozplýwać²⁾.

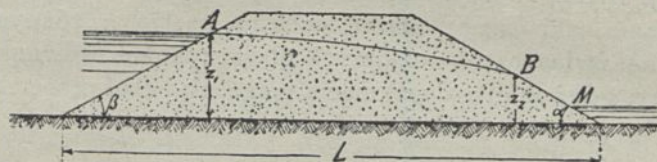
Przeciwnie zachowywał się żwir o średnicy ziarn $50 \frac{m}{m}$; materiał suchy miał $\text{tg } \varphi = 1,29$, małe ilości wody zaledwie go zwilżały, gdyż woda zupełnie odpływała, przy zupełnem zanurzeniu we wodzie $\text{tg } \varphi$ zmniejszyło się na 1,03. Materiały o pośredniej grubości ziarn miały

1) Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau im k. k. Ministerium für öffentliche Arbeiten über ausgeführte Versuche, Wiedeń 1918. Odbitka z Allgemeine Bauzeitung 1917.

2) Sprawozdanie podaje, że stan taki stwierdzono już w praktyce i powołuje się na przypadek opisany przez Forchheimera, jaki zaszedł w r. 1881 pod Akwizgranem; wał usypany z materiału bardzo miążkiego, pyłkowego, rozplýnął się pewnego dnia bez widocznej przyczyny, tak szybko, że ludzie zaledwie zdołali się schronić.

$\operatorname{tg} \varphi$ zawarte między powyższymi wartościami. Co do mieszaniny materiałów z ziarn grubszych i drobniejszych, to według doświadczeń, kąt tarcia mieszaniny zgadza się z kątem tarcia materiału miększego¹⁾.

Dalsze doświadczenia dotyczyły zjawisk związanych z przepływem wody przez wał w kierunku poprzecznym, wywołanym skutkiem jednostronnego ciśnienia wody na wał (rys. 239). Badano modele wału z piasku

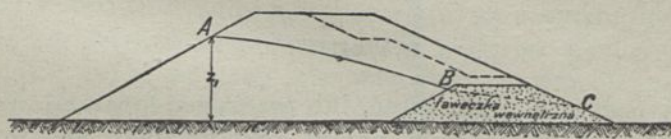


Rys. 239.

o jednakowej grubości ziarn, luźnie usypanego. Następuje przeciekanie wody, linja przeciekania A—B opada ku drugiej skarpie, a woda występuje w pewnym punkcie tej skarpy, który przy doświadczeniach leżał zawsze wyżej jak zwierciadło wody po drugiej stronie wału. Związek między poszczególnymi wielkościami podaje następujące równanie, oparte na prawie Darcy, wyrażającym zależność między chyżością wody w materiale przypuszczalnym a spadkiem ciśnienia ($u = ki$):

$$z_2 = (L \operatorname{tg} \alpha - z_1 \operatorname{tg} \alpha \cotg \beta) - \sqrt{(L \operatorname{tg} \alpha - z_1 \cotg \beta)^2 - z_1^2}$$

W praktyce linja przeciekania A B, którą można przyjąć jako prostą, nie powinna być przez skarpgę od strony ładu przecięta, lecz ma być w obrębie przekroju poprzecznego wału schowana. Celem uniknięcia



Rys. 240.

przepływu wody przez materiał i wymycia części miękich, należy dać od strony wody warstwę z materiału nieprzepuszczalnego jako uszczelnienie, zaś od strony ładu proponuje autor danie t. zw. „ławeczki wewnętrznej“ (Innenberme) (rys. 240) z materiału przepuszczalnego. Jako minimalny teoretyczny przekrój wału z piasku luźnie usypanego uważa

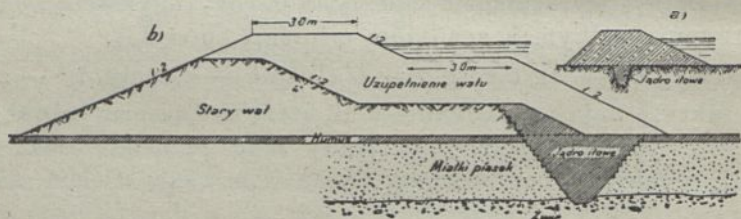
¹⁾ Engéls badał doświadczalnie zachowanie się nasypu piasku o ziarnach różnej grubości od 0,15 do 1,2^{mm} pod działaniem wody; kąt tarcia materiału suchego wynosił $\varphi = 31^{\circ}9'$, pod wodą 29°. (Ztschft. f. Bauwesen 1911).

również trójkąt równoramienny o nachyleniu obu skarp 1 : 2 (jak rys. 238). Skarpę od strony lądu można wykonać też w odsadzkach (ławeczki), które należy tak rozmieścić, aby ich zewnętrzne ograniczenie nie przecinało linii przeciekania wody.

Czy taka „ławeczka wewnętrzna“ z materiału gruboziarnistego, działającego jak dren i chroniąca skarpę od strony lądu od wyciekania wody i erozji byłaby korzystna, należałoby dopiero w praktyce zbadać, w każdym razie taki ostry podział wału na partje z różnych materiałów wykonane, zwłaszcza o poziomych płaszczyznach wewnętrznych, nie jest korzystny, gdyż miejsca zetknięcia mogą ułatwiać przeciekanie wody.

Wykonanie robót ziemnych¹⁾.

Grunt na którym wał się buduje powinien być przed rozpoczęciem sypania odpowiednio przygotowany, aby nastąpiło doskonałe połączenie podstawy wału z gruntem. Należy więc zdjąć darń z podstawy wału, oczyścić ją jaknajstaranniej z drzew, pniaków, krzaków, chwastów i korzeni, otwory po nich zasypać materiałem ziemnym i ubić go, na-



Rys 241 a i b.

stępnie całą podstawę wału zorać, lub przekopać łopatom. W miejscach niższych, gdzie woda osadziła namul rozplływający się w zetknięciu z wodą, a rozpadający się po wyschnięciu, należy go zupełnie usunąć. Jeżeli podłoże stanowi materiał bardzo przepuszczalny, należy przez nie zapuścić jątro łożowe 1 do 2 m grubości (rys. 241 a), lub też wykonać to uszczelnienie w sposób wskazany na rys. 241 b²⁾.

Teren po obu stronach wału (t. j. w podwalu i międzywalu), położony w najbliższym sąsiedztwie wału, powinien być przed uszkodzeniem

¹⁾ Zużytkowano tu także „Instrukcję techniczną dla budowy wałów ochronnych wzdłuż Wisły i jej głównych dopływów (Soła, Skawa, Raba, Dunajec, Wisłoka i San),“ wydaną przez Biuro meljoracyjne małopolskiego Wydziału krajowego w r. 1907.

²⁾ Wykonanie praktykowane w Badeńskim (według Hdb. der Ing. Wiss., Wasserbau 1911).

chroniony, a więc należy tu zabronić wykonywania w odstępnie 4—10 m od stopy wału rowów, studzien i wszelkich wkopów, a nawet orania w celu uprawy ziemi; najlepiej jeżeli te pasy stanowią łąkę. Pas po stronie łądu służy w czasie powodzi jako droga do przejazdu w celu kontroli i ochrony wału. Ehlers radzi najniższe części skarp wałów, na wysokości 0,6—0,8 m od podstawy, dać w bardzo łagodnym pochyleniu (około 1:8), przez co urządzenie osobnych pasów ochronnych równoległych stałoby się zbędne. Gdzie wał jest bliżej rzeki i u jego stopy spodziewać się należy silnego prądu, tam pas przywałowy po stronie rzeki należy u stopy wału ubezpieczyć faszyną, lub kamieniem.

Wykonanie wału powinno następować w warstwach conajwyżej 20 do 30 cm grubości, które należy silnie ubijać. Jaki materiał powinien być użyty, o tem powiedziano powyżej, tu dodaje się tylko, że unikać należy użycia ziemi ogrodowej i wogóle ziemi zmieszanej z częściami roślinnymi, w których krety i inne zwierzęta, jak myszy polne, oraz owady, robią otwory i chodniki; szczególnie niebezpiecznymi są krety, które niejednokrotnie spowodowały przeciekanie wody przez wał i przerwanie wału. Materiał musi być czysty, bez części obcych, organicznych, liści, kawałków drewna, patyków, trawy i t. p. Powinien być zupełnie rozdrobniony, większe bryły należy rozbić, a jeżeli jest zbyt suchy, należy go przed ubiciem zwilżyć.

Niezmiernie ważną czynnością jest należyte ubijanie warstw, dlatego jest zupełnie niewłaściwym, jeżeli się do tego używa młodszych i słabszych robotników, j. np. kobiet i dzieci; przeciwnie, powinni tu być użyci robotnicy silni i w dostatecznej ilości. Powołana powyżej instrukcja przepisuje, że do ubijania należy użyć 25% liczby robotników zajętych przy dobywaniu i dowozie materiału na nasypy; ilość tę tylko wtedy można zmniejszyć do połowy, jeżeli materiał ziemny dowozi się wozami. Zamiast sypać warstwy poziome, lepiej dawać im spad łagodny ku rzece, albowiem wykonywać je z lekką wypukłością ku górze, celem umożliwienia spływu wody.

Gdzie trasa wałów natrafia na stare łożyska wypełnione wodą, należy nasyp wykonać odrazu w całej szerokości, aby namul z podstawy wału możliwie wycisnąć. Ławeczki od strony łądu należy w tym wypadku zależnie od stosunków podłoża odpowiednio rozszerzyć, przynajmniej na 4 do 6 m i dać im bardzo łagodne skarpy; ławeczki takie należy w tym wypadku wykonać także po stronie rzeki. U stóp skarp ławeczek należy po obu stronach wykonać ubezpieczenia faszynowe.

Koronę wału, jeżeli ma służyć do komunikacji, należy ubezpieczyć warstwą piasku 15 cm grubości, lub też, co lepiej, żwirówką.

Rozszerzenie i podwyższenie istniejących wałów powinno być z reguły przeprowadzone po stronie łądu. Należy przytem zdjąć murawę

z korony i skarpy istniejącego wału i w tej zewnętrznej skarpie wykonać stopnie. Nasyp uzupełniający ma być wykonany w warstwach 15 cm grubości, dobrze ubitych. Tylko w razie jeżeli trasa wału leży daleko od rzeki, lub jeżeli to jest potrzebne w celu uregulowania trasy wału, może być rozszerzenie wykonane od strony ładu.

W sprawie pobierania materiału do budowy wału powiada powołana instrukcja: Materiał do nasypu powinien być pobierany jedynie z terenu położonego w międzywał. Wyjątek stanowi ta okoliczność, jeżeli poza trasą wałów znajdują się stare wały, z których materiał może być użyty do budowy nowych wałów. Należy przytem przestrzegać następujących zasad:

a) Pomiedzy stopą wału a krawędzią rowu materiałowego należy zostawić pas terenu, którego szerokość ma wynosić z reguły 3,0 m, a w piaszczystym podłożu i w wypadkach gdzie trasa wału leży blisko rzeki, albo w miejscu gdzie wał narażony jest na uderzenia wielkiej wody lub kry, 5 m. Te pasy terenu, jakoteż skarpy wzdłuż rowu materiałowego o nachyleniu 1:2, należy ubezpieczyć darnią, lub gdzie to jest możliwe, obsiać je w tensam sposób jak powierzchnię wałów.

b) Głębokość rowów materiałowych nie powinna z reguły przenosić 1 m; dno rowów materiałowych należy zakładać w spadku w kierunku ku rzece. W miejscach gdzie podłożę terenu tworzy przepuszczalny piasek zaleca się takie wykonanie wykopów, aby warstwy piasku, szczególnie w pobliżu wałów, nie zostały odkryte.

c) Ażeby zapobiedz powstaniu wzdłuż wałów szkodliwych prądów, należy pozostawić jako progi poprzeczne pasy terenu 5 m szerokie w dobrym, a 6 m w piaszczystym gruncie, a to w ten sposób, ażeby w tych miejscach gdzie te progi dotykają stopy wału, względnie leżącego wzdłuż niej pasu terenu, powstały odpowiednie rozszerzenia (w kształcie trójkątów prostokątnych o wysokości i podstawie równej 6 m). Progi mają mieć skarpe górną nachyloną w stosunku 1:1,5 dolną 1:2 i powinny być założone zasadniczo prostopadle do trasy wałów. Odległość progów może na Wiśle wynosić 80—100 m, w miejscach zagrożonych zaś 50 m. Na dopływach należy tę odległość zredukować zależnie od spadku rzeki. W razie jeżeli wyjątkowo teren miał spadek ku wałom, należy powierzchnię progów skopać, aby miały spadek ku rzece. Wodę z wykopów należy odprowadzić zapomocą rowów z odpowiednimi skarpami¹⁾.

d) Dno wykopów materiałowych i skarpy należy obsadzić wikliną, względnie wpląnąć na właścicieli gruntów, ażeby je obsadzili.

¹⁾ Ehlers (Bau, Unterhaltung und Verteidigung der Flussdeiche, j. w.) jest jeszcze znacznie ostrożniejszy w zakładaniu wykopów materiałowych; schemat rozkładu tychże podaje rys. 242.

e) Uzyskaną darni należy użyć do pokrycia skarp wałów, a przede wszystkim do pokrycia krawędzi korony i całych skarp wałów przy obiektach, lub w zagrożonych miejscach, ewentualnie do pokrycia korony.

f) W rowach materiałowych, których dno położone jest 3,5 m ponad normalną wodę, można zezwolić właścicielom gruntów na stopniowe usunięcie progów celem wyrównania terenu, jeżeli się obnażona powierzchnia terenu utrzymała, t. j. jeżeli nastąpiło załadowanie i utworzyła się murawa.

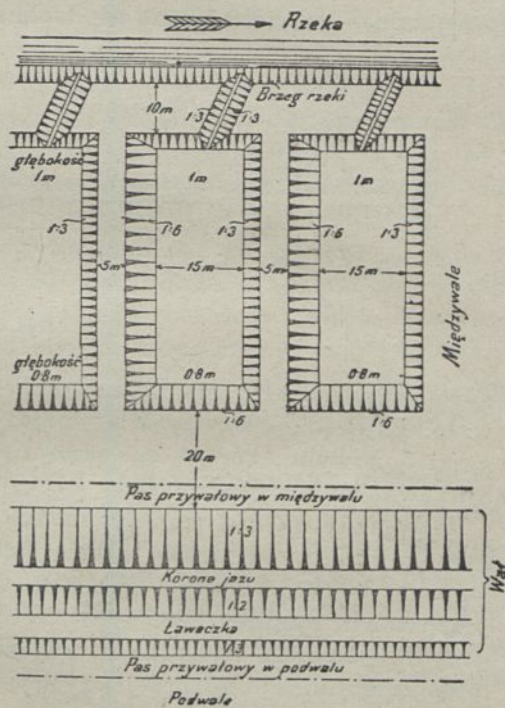
g) Nasypy powinny być wykonane w czasie wolnym od mrozów, a darniowanie możliwie do połowy października.

O ile pobiera się do budowy wału materiał z terenu wyżej położonego, poddanego kulturze, należy zdjąć warstwę humusu, wykonać wykop, a następnie na spodzie wykopu ułożyć napowrót zebraną warstwę humusu, aby grunt można było nadal wykorzystać.

Każdy nasyp nawet starannie wykonany i ubity osiada się. należy przeto przy wykonaniu dać nadwyżkę wysokości, która w normalnych warunkach ma wynosić przy materiale piaszczystym 5%, a przy gliniastym 10%. O ile podłoże wału jest miękkie i podatne,

potrzebna nadwyżka może być znacznie większa, nawet do 25%.

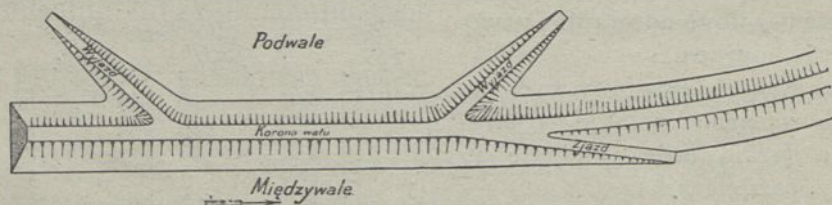
Do transportu ziemi używa się w naszych stosunkach najczęściej wozów z zaprzęgiem konnym, który to sposób należy uważać z uwagi na ubicie warstw jako najlepszy, dalej taczek, wózków ręcznych drewnianych poruszanych po deskach, większych wózków z zaprzęgiem konnym, wreszcie kolejek roboczych konnych, a przy większych robotach kolejek lokomotywowych. Ubijanie warstw jest przy każdym z tych sposobów potrzebne, tylko że przy pewnych z nich wymaga mniej sił roboczych, przy innych więcej, jak to już zresztą powyżej zaznaczono. Do ubijania używa się kafarków ręcznych, poruszanych przez jednego lub dwu ludzi; zamiast ubijania można zastosować walcowanie zapomocą



Rys. 242.

wałków odpowiednio ciężkich, o gładkim lub rowkowanym płaszczu, poruszanych kołmi, lub motorami parowymi, benzynowymi, lub elektrycznymi.

Przejazdy. Celem połączenia gruntów w podwale z gruntami w międzywale wykonuje się przejazdy przez wał, których ilość i rozkład powinny być dostosowane do potrzeby. Szerokość przejazdów stosuje się do szerokości odnośnych komunikacji. Dla dróg polnych może szerokość przejazdu wynosić 2,5 m, a spad obustronnych wyjazdów na wał (ramp



Rys. 243.

może wynosić 10‰; nachylenie skarp powinno być takie same jak skarp wału. Krawędzie korony wału należy przy przejazdach wzmocnić progami dębowymi, koronę zaś samą najmniej na 5 m z każdej strony wybrukować, lub wyżywić.

Wjazdy na wał (rampy) można od strony łądu zakładać w dowolnym kierunku, od strony rzeki należy je urządzać zasadniczo równoległe do kierunku wału i zwrócone za wodą¹⁾. Usytuowanie przejazdu przedstawia rysunek 243.

W pewnych wypadkach, zwłaszcza gdy wał jest bardzo wysoki, urządza się specjalne przejazdy z obniżoną koroną wału mniej więcej do połowy. Obniżenie to (przejazd) ma szerokość 4–8 m i ograniczone jest obustronnymi murami posiadającymi podwójne wpusty. Przy wielkiej wodzie zamyka się przerwę belkami, a między nie ubija się ziemię zmieszaną z nawozem.

Co do przejazdu wzdłuż wału zauważa się, że w regule wał nie może służyć do komunikacji publicznej, gdyż jazda wozami, przechód ludzi i przepęd bydła niszczy i obniża koronę i wogóle przyczynia się do zrujnowania wału. Pod tym względem konieczne jest wydanie surowych przepisów policyjnych i bardzo ściśle ich przestrzeganie. Jeżeli jednak wał z powodu swego wyjątkowego położenia, np. w obrębie miejscowości, ma służyć za drogę komunikacyjną, natenczas korona ma być tak utrwalona, ewentualnie i rozszerzona, aby bezpieczeństwo wałów nie

¹⁾ Vide powołana instrukcja.

ucierpiało. Wymaga to nietylko odpowiedniego zbudowania wału, ale i troskliwego i należytego utrzymania nawierzchni.

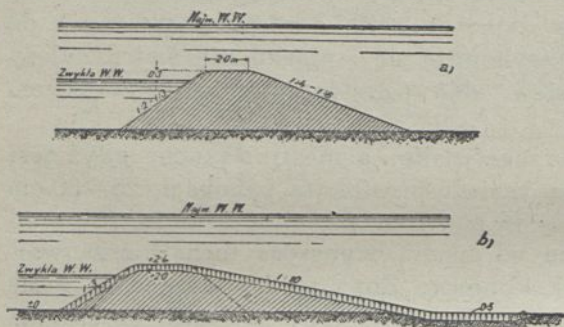
Ubezpieczenie korony i skarp wałów. Skarpy wału wymagają ubezpieczenia na powierzchni, tak z uwagi na działanie prądu wody, jak i z uwagi na działania atmosferyczne, jak deszczu, śniegu, zbytne wyschnięcie warstw zewnętrznych i t. p. Najprostszym i powszechnie stosowanym środkiem jest zamurawienie, które uskutecznia się przez pokrycie powierzchni wału darnią, o ile zaś niema darni w dostatecznej ilości, pokrywa się nią tylko najważniejsze części wału (skarpa od strony wody, krawędzie korony, spód skarpy od strony łądu), resztę zaś obsiewa mieszkanką nasion traw dających zbitą darn, dostosowanych do rodzaju gleby. Tam gdzie wał wykonuje się z piasku lub żwiru, należy tak pod darn, jak i pod zasiew, dać warstwę humusu 20 — 30 cm grubości.

Darn najlepiej wycinać na pastwisku, a nie na łąkach, gdyż jest tam więcej zbita; cegiełki mają kształt prostokąta o bokach 25—30 cm i grubość 7—10 cm. Układa się je zupełnie szczelnie i ubija, lub walcuje. Układanie rozpoczyna się od spodu, wpuszczając najniższą warstwę w wycięty w ziemi rowek klinowy. Zbyt mokrą darn układa się przed kładzeniem na krótki czas we warstwy, aby do pewnego stopnia wyschła.

Gdzie wał jest szczególnie narażony na działanie prądu wody i lodu (wały blisko łożyska średniej wody położone, lub których skarpa od strony wody musiała być z powodu braku miejsca zbyt stromo założona, wały przelewowe, skrzydłowe i t. p.), pokrywa się skarpe od strony wody brukiem z kamienia naturalnego lub sztucznego (płyty betonowe). Bruk z kamienia naturalnego ma grubość 20—40 cm i musi być ułożony na podsypce przepuszczalnej, z materiału gruboziarnistego, gdyż drobny piasek woda przy zmianach stanu wody i fali z łatwością wypłukuje, pozostawiając pod kamieniami próżnie, skutkiem czego bruk się zapada. Najlepiej ułożyć bruk na betonie i wypełnić stosugi zaprawą cementową, szczególnie w miejscach bardzo na prąd wody wystawionych, tembardziej, że wykonanie bruków suchych nie jest łatwe i wymaga doświadczonych robotników. Niema mowy naturalnie o pokrywaniu długich ciągów skarp wałów brukiem, gdyż podniosłoby to znacznie koszta i trzeba roboty takie ograniczyć do koniecznej potrzeby. Jak stwierdza Wey, wały Reny w kantonie St. Gallen pokryte darnią wytrzymują bez szkody chyżości nawet 2—3 m, przyczem jednak wielka woda nie trwa dłużej jak 2 dni. Tylko tam gdzie wał zbudowany jest ze żwiru, zdarzały się wypadki usunięcia się podkładu humusu i darni, z powodu braku łączności między humusem i żwirem i rozmoknięcia gruntu złożonego z namulów Reny u stóp wału.

4. Wały letnie i wały przelewowe.

Jak już poprzednio zaznaczono, wały letnie mają chronić dolinę przed zalewem w czasie zwykłych wezbrań letnich, zaś nadzwyczajne wielkie wody przelewają się przez ich koronę. Wynika z tego, że skarpa od strony łądu musi być bardzo łagodna, aby w czasie przelewania się wody nie została uszkodzona. Daje się więc tę skarpe w nachyleniu 1:4—1:6, albo też wzdłuż przeważnej części długości wału wykonuje się skarpe stromszą, natomiast na pewnych partjach, w miejscach gdzie teren naturalny jest wyższy, urząda się



Rys. 244.

przelewy, obniżając koronę wału o 30 do 50 cm i dając na tych partjach bardzo łagodne skarpy, o spadku 1:6 do 1:12, zazwyczaj brukowane. Ten drugi sposób jest odpowiedniejszy, zwłaszcza jeżeli przelew trwa dłużej. Obydwa sposoby wykonania przedstawia rysunek 244 a i b.

Koronie wałów letnich daje się zazwyczaj szerokość

2 m i zaokrągla jej krawędzie, wzniesienie jej ponad zwykłą wielką wodę letnią wynosi około 30 cm; skarpe od strony wody wykonuje się w pochyleniu 1:2 do 1:3.

Długość przestrzeni przelewowych (rys. 244 b) oznacza się z warunku, aby w czasie wzrostu stanu wody od dolnej powierzchni przelewu, aż do korony wałów letnich (t. j. o 30—50 cm), odpowiedni teren zalewowy (zalew letni, Sommerpolder, inondation, plaine protégée par les digues) mógł się wypełnić wodą; ilość wody przelewającą się przez obniżenie wału obliczamy stosując znane wzory na objętość przelewu¹⁾.

Według Wey'a i Stubera²⁾ niskie wały letnie, które chronią niewielkie partje doliny wypełniające się w przeciągu kilku godzin, mogą mieć w razie wykonania z bardzo dobrego materiału i pokrycia dobrą darnią następujące wymiary:

Wysokość nad teren	1 m	2 m	3 m
Szerokość korony	1 m	1,5 m	2 m
Nachylenie skarpy od strony wody	1:2	1:2,5	1:3
„ „ „ „ łądu	1:2	1:4	1:6

¹⁾ Patrz autora „Budowa jazów“, Lwów 1920.

²⁾ Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Wasserbau, Lipsk 1911.

Na pewnych partjach doliny korzystniej będzie zamiast wykonywać wały letnie, przeprowadzić regulację terenu, t. j. obniżyć miejsca zbyt wyniosłe bliżej łóżyska rzeki położone, a uzyskanym materiałem podwyższyć partje zbyt niskie, podlegające częstemu zalewowi, tudzież zasypać obniżenia i stare łóżyska. Takie załatwienie sprawy jest pod względem hydrotechnicznym najwłaściwsze, unika się rozdziału wody, bocznych prądów, które mogą wywołać dalsze pogłębienie miejsc obniżonych i przyczynić się do zerwania budowli regulacyjnych i uszkodzenia wałów zimowych. Jednak taka regulacja terenu zalewowego, z uwagi na znaczne koszty, może być przedsięwzięta tylko w ograniczonych rozmiarach i tylko tam, gdzie daje realne korzyści. Gdzie istnieje stare koryto oddalające się znacznie od projektowanego lub uregulowanego normalnego łóżyska, wykonuje się nieraz wał kierujący, powstrzymujący prąd wody od starego koryta i chroniący je w ten sposób od pogłębienia.

Niekorzystne skutki wałów, o których mówiliśmy na wstępie, a przede wszystkim to, że nie usuwają one niebezpieczeństwa powodzi bezwarunkowo, gdyż w czasie wyjątkowych wielkich wód powstają niejednokrotnie przerwy we wałach, prócz tego pozbawienie namulania przestrzeni niższych doliny przez wielką wodę rzeki skutkiem odcięcia inundacji, skłoniły w wielu wypadkach do urządzenia w wałach zimowych, a więc obliczonych na największą wielką wodę, miejsc obniżonych, czyli przelewów (*déversoir*, *Überlauf*), założonych w miejscach specjalnie wybranych, o koronie położonej w takiej wysokości, aby wszystkie zwykłe wielkie wody nie mogły się jeszcze przelewać. Nadzwyczajne wielkie wody występują w takich miejscach z brzegów i zalewają pewną partję doliny, przez którą, o ile jest od strony dolnej otwarta, woda przepływa i uchodzi do rzeki, o ile zaś jest zamknięta, musi się w dolnym końcu zalewu urządzić upust (*réversoir*, *Ablasse*). Skutkiem takich urządzeń następuje odciążenie wałów, gdyż z powodu zalewu i zatrzymania wody w obszarach poddanych zalewowi, stan wielkiej wody między wałami się zniża.

Takie urządzenia wykonano we Francji w dolinie Loary, skutkiem szkód i przerw wałów jakie wywołały nadzwyczajne wielkie wody w latach 1846, 1856 i 1866¹⁾. Na przestrzeni rzeki między Briare a Ponts-de-Cé wykonano pięć przelewów, których konstrukcję przedstawia rys. 245 a; na rys. 245 b podany jest przekrój poprzeczny wału Loary.

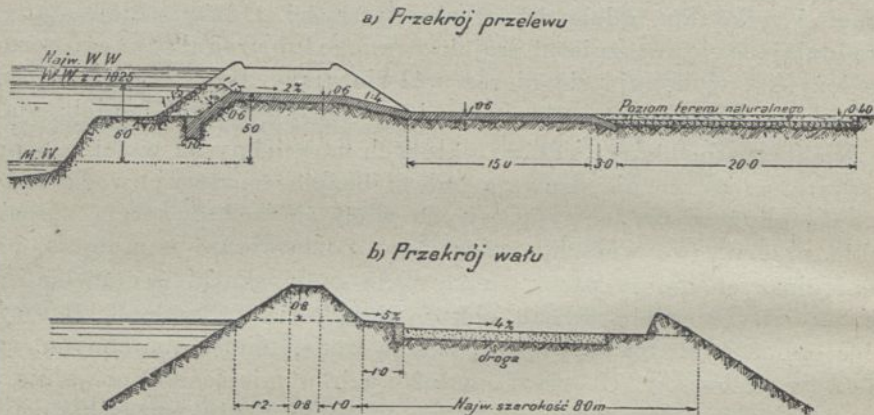
Jak widać z rysunku, trzeba tu odróżnić dwie korony przelewu, jedną w wysokości 6 m ponad stanem małej wody, sięgającą do wysokości wielkiej wody z r. 1825²⁾, która jest koroną grobelki ziemnej

1) De Mas „Rivières à courant libre“, Paris 1899.

2) Jest to największa wielka woda, podczas której nie było jeszcze przerw wałów.

o szerokości 1—1,5 m i drugą, pokrytą okładką z muru 60 cm grubości, od pierwszej o 1 m niżej położoną. Cel takiej podwójnej korony jest następujący: Przelew ma się rozpocząć dopiero przy stanie odpowiadającym wielkiej wodzie z r. 1825, gdy zaś stan wody na rzece dalej wzrasta, woda przelewająca się burzy część wystającą grobelki i przelew odbywa się przez niższą murowaną koronę, skutkiem czego zalew terenu inundacyjnego odbywa się szybko.

Dalsze przedłużenie przelewu stanowi podłoże murowane o tejsamej grubości, w spadkach 1 : 50, 1 : 4 i poziomo, pozatem zaś bruk przykryty



Rys. 245 a i b.

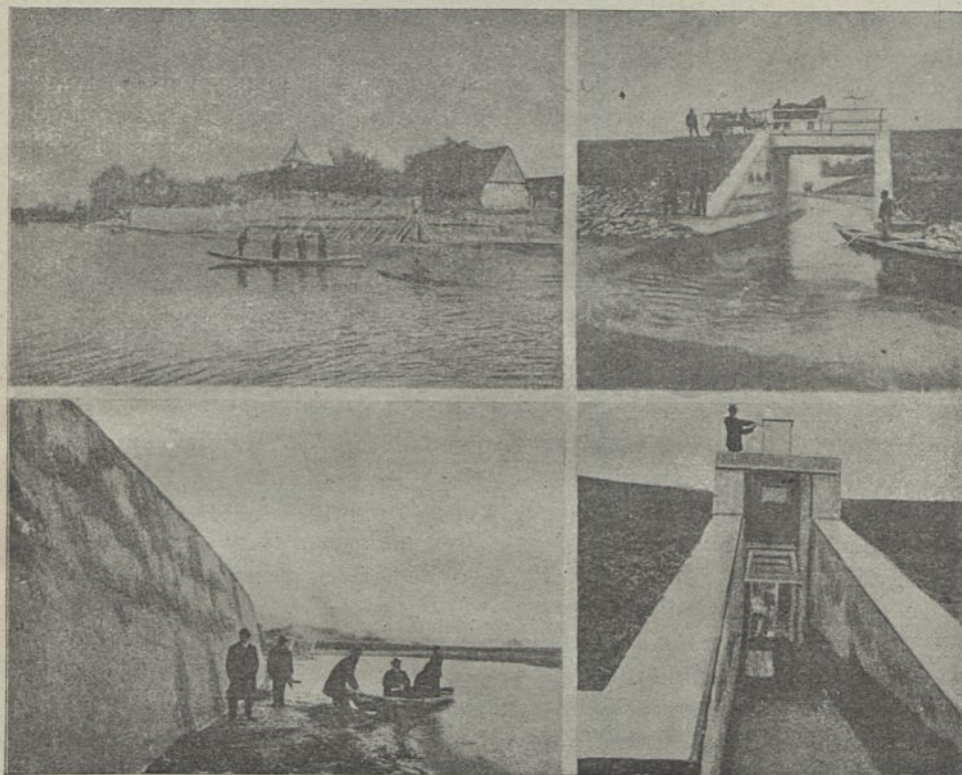
jest dla ochrony warstwą ziemi 40 cm grubości, na której utrzymuje się porost traw. To zakończenie przelewu założone już jest w poziomie terenu naturalnego doliny.

Długości przelewów wynoszą od 521 do 929 m, w czym jednak objęte są także i długości obustronnych pochyłości (ramp), zapomożą których łączy się korona przelewu z ograniczającymi częściami wałów; sama pozioma część przelewu ma długość od 300 do 800 m. Koszt 1 mb przelewu wynosił średnio 761 franków.

Że w partjach doliny poddanej inundacji, od dołu zamkniętych, muszą być urządzone wypusty, nie potrzeba bliżej wyjaśniać, tu bowiem woda wprowadzona znacznie powyżej mogłaby osiągnąć poziom taki, jak na górnym końcu doliny, wyższy zatem jak w rzece i mogłaby przerwać wały, a nawet przelewać się przez nie. Konstrukcja wypustów podobna jest do konstrukcji wpustów; jest tu taksamo murowany przelew i grobelka ziemna o koronie wyżej położonej, wystarczająca do powstrzymania przedostawania się wody z rzeki do terenu zalewowego,

którą jednak woda wprowadzona w górnej części doliny i nagromadzona w terenie zalewowym przerywa, o ile stan jej nadmiernie wzrośnie.

Mniejsze obszary terenu zalewowego, tak w celach retencji, jak i w celu podniesienia ich przez namulanie, można zalewać zapomocą śluz wałowych posiadających odpowiednie zamknięcia; śluzy te służą również do wypuszczenia wody po przejściu wezbrania i opadnięciu wody.



Rys. 246.

Takie obszary retencyjne na małą skalę założono przy obwałowaniu lewego brzegu Dunaju na t. zw. Polu Morawskim, poniżej Wiednia, wykonaniem w latach 1899—1904. Rys. 246 przedstawia takie urządzenie, a mianowicie fig. 1 teren zalany, 2 ograniczenie lewostronne murem oporowym, 3 śluzę wałową wpustową, 4 przeprowadzenie drogi i mostu przez zalew¹⁾.

¹⁾ W przeciwieństwie do tych urządzeń, mających na celu obniżenie stanu wielkiej wody, służą urządzenia spiętrzające wielką wodę, celem wyprowadzenia jej kanałami na

5. Śluzy wałowe.

Śluzy wałowe (Deichschleusen, Deichsiele, écluse d'une digue, pertuis, rigale) służą do przepuszczenia mniejszych potoków, ścieków naturalnych i odpływów rowów osuszających przez wał.

Równocześnie z projektem obwałowania wykonuje się projekt osuszenia doliny, gdyż obwałowanie stoi w ścisłym związku z osuszeniem; wały stanowią zaporę dla odpływu wód zewnętrznych, musi się więc w nich pozostawić otwory, którymi te wody będą mogły odpływać do rzeki. Otworami tymi są śluzy wałowe, które muszą mieć zamknięcia od strony rzeki (kłapy, lub zasuw), zamykane w czasie gdy stan wody na rzece się podnosi¹⁾. Ilość śluz we wałach należy ograniczyć do koniecznej potrzeby, gdyż założone w najniższych miejscach, gdzie zatem wał jest najwyższy, nieraz na niezbyt pewnym gruncie, stanowią zazwyczaj niebezpieczne punkty wału, tembardziej, że w miejscach gdzie wał ziemny styka się ze śluzą, mogą powstać nieszczelności.

Projekt osuszenia doliny podaje więc miejsca, gdzie przechodzić mają przez wał odpływy głównych ścieków i rowów, czyli położenie śluz, śluzy zaś należy tak zaprojektować, aby największe odpływy ze zlewni ścieku, względnie rowu, mogły odprowadzać bez wielkiego spiętrzenia (zazwyczaj 5—10 cm).

Ważną rzeczą jest należyte założenie proggu śluzy; nie może on być założony ani zbyt wysoko, ani zbyt nisko, gdyż w pierwszym wypadku nie można by odwoźnić najniższych części doliny, w drugim zaś następowaloby zamulanie śluzy.

W zasadzie dno śluzy powinno leżeć w wysokości dna rowów osuszających, względnie niewiele ponad tem dnem, w każdym razie nie wyżej jak obniżone skutkiem osuszenia zwierciadło wody gruntowej. Po drugiej stronie wału (w międzywał) wykonuje się rów odpływowy, celem dalszego odprowadzenia wody do rzeki.

Obliczenie otworu śluzy (rys. 247). Weźmy pod uwagę śluzę o jednym otworze, o szerokości w świetle b , której próg wznosi się ponad dno rowu o d , spiętrzenie dopuszczalne wynosi h , głębokość wody w rowie dopływowym T , głębokość w obrębie śluzy t .

niskie, zabagnione obszary przyrzeczne, celem namulania (kolmatacji). Takie urządzenie wykonało Biuro meljoracyjne małopolskiego Wydziału krajowego na górnym Dniestrze pod Dołobowem, którego główną część stanowi jaz ruchomy spiętrzający wielką wodę. (Patrz autora „Budowa jazów“, Lwów 1920, str. 93 tabl. VI.)

¹⁾ W pewnych wypadkach, a mianowicie tam gdzie chodzi o utrzymywanie w obszarze ochronionych wałami w pewnych okresach wyższego stanu wody gruntowej, dają i od strony ładu zamknięcie.

Światło śluzy obliczyć można z równania dla przelewu zupełnego:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} [(h+k)^{3/2} - k^{3/2}] + \mu_1 b t \sqrt{2g(h+k)},$$

w którym Q oznacza objętość wody jaką ma śluza przeprowadzić, h spiętrzenie na śluzie (5–10 cm), b światło śluzy, t głębokość wody, μ , μ_1 , współczynniki praktyczne, z których pierwszy można przyjąć równy 0,75, drugi 0,63–0,80, zależnie od kształtu wlotu i wysokości stopnia przy wejściu wody do śluzy, g przyspieszenie ciężkości 9,81 m, $k = \frac{v^2}{2g}$, gdzie v oznacza chyżość średnią wody powyżej śluzy.

$$v = \frac{Q_{m^3}}{F_{m^2}} = \frac{Q}{B(h+T+d)}; \quad k = \frac{Q^2}{2gB^2(h+t+d)^2}$$

Z równania powyższego oznaczyć można przez próby b .

Objętość Q oznacza się z dwu warunków: a) jako objętość największej wielkiej wody, którą śluza ma przeprowadzić i b) jako średni

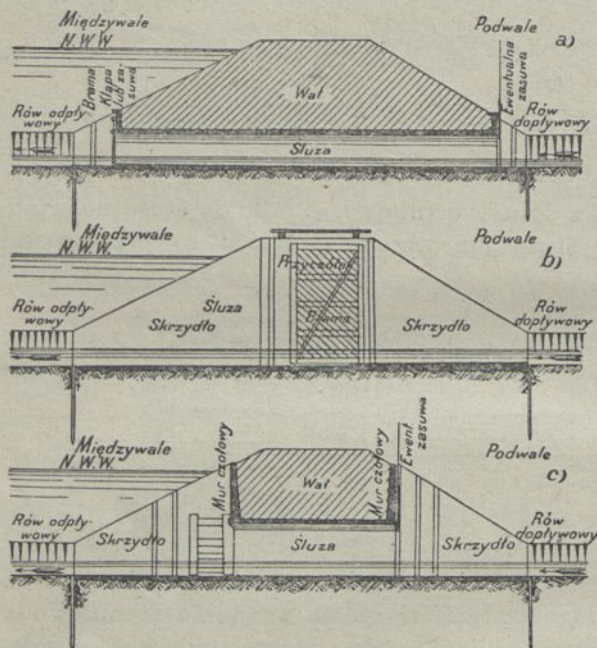


Rys. 247.

odpływ z obszaru ochronionego wałami w czasie opadania stanu wody między wałami, powiększony o objętość wody, która przecieka z międzywała do obszaru chronionego, oraz o wodę, która nagromadziła się w obszarze chronionym w czasie zamknięcia śluzy; te ostatnie dwie ilości muszą być przeliczone na sekundę i musi się uczynić pewne założenie co do czasu w jakim te wody mają spłynąć. Ehlers doradza przyjęcie warunku, aby objętości pod b) przeliczone na sekundę odprowadzone były w tym samym czasie, w jakim opadnie stan wody między wałami. Tensam autor radzi przyjąć objętość pod a) równą 0,8 lt na hektar i sekundę odwodnianej zlewni, jako średnią pierwszą część objętości odpływu pod b) 0,1 lt z ha, zaś co do podanych pod b) dodatkowych objętości, to mogą być one oznaczone tylko przez ocenienie.

Wobec tego, że objętości służące za podstawę do oznaczenia światła śluzy polegają na przyjęciach w pewnych granicach dowolnych, nie należy postępować zbyt skrupulatnie i raczej przyjąć światło większe, jak zbyt małe.

Konstrukcja śluz wałowych. Ponieważ punkty wału w których znajdują się śluzy należą do najmniej bezpiecznych, przeto śluzy powinny się budować bardzo pewnie, a również i fundament powinien odpowiadać wszelkim wymogom. W gruncie przepuszczalnym potrzebne będzie otoczenie całej śluzy ścianą szczelną, nadto obustronne przedłużenie obu czołowych ścian szczelnych (od strony dopływu i odpływu) w bok, celem przecięcia strug wody, któreby się mogły wytworzyć



Rys. 246.

pamiętać o tem, że ściany szczelne należą do najkosztowniejszych robót.

Co do konstrukcji rozróżnia się a) t. zw. śluzy zamknięte i b) śluzy otwarte. Śluza zamknięta stanowi stosunkowo niski przepust we wale, górna część wału przebiega w sposób nieprzerwany nad śluzą; taka śluza będzie dłuższa, ale będzie mieć skrzydła niskie i krótkie. Śluza otwarta stanowi przerwę we wale, ma wysokie przyczółki i wysokie, oraz długie skrzydła, na przyczółkach most celem komunikacji wzdłuż koryony wału. Naturalnie, że między tymi dwoma sposobami wykonania można sobie wyobrazić i konstrukcję pośrednią c), t. j. śluzę zamkniętą krótką, z wysokimi ścianami czołowymi. (Rys. 248, schematy a, b, c).

Najodpowiedniejsze są śluzy zamknięte, niskie, nad którymi zatem przeważna część wału przebiega nieprzerwanie, gdyż zapewniają najlepiej szczelność i bezpieczeństwo wału; śluzy otwarte wykonuje się tylko

pod wpływem spiętrzenia jakie wytwarza śluza w czasie wielkiej wody. W gruncie złym, ruchomym, potrzebny będzie prócz ścian szczelnych ruszt palowy, celem przeniesienia ciężaru śluzy na głębsze warstwy. Z drugiej strony trzeba unikać z uwagi na koszty robót niepotrzebnych; w gruncie dobrym, wytrzymałym i nieprzepuszczalnym, ściany szczelne mogą być niepotrzebne; zamiast nich wystarczy często mur żebrowy poprzecznie do osi śluzy wykonany, lub też tylko obustronne ściany szczelne poprzeczne przy wlocie i wylocie; trzeba

wyjątkowo i to tylko w takim razie, jeżeli objętość wody którą się ma przepuścić przez wał, wymaga wysokiego otworu.

Celem prowizorycznego zamknięcia śluzy w razie zepsucia się urządzenia zamykającego, urządza się w skrzydłach podwójne wpusty zapasowe, w które wkłada się w danym razie belki i przestrzeń między nimi wypełnia gliną.

Śluzy wałowe wykonuje się przedewszystkiem z materiału kamiennego; dawniej wykonywano je i z drzewa, co jednakże nie jest do polecenia. W wałach małopolskich dawne śluzy drewniane zastąpiono już prawie wszędzie śluzami betonowymi. Również nie jest wskazane wykonywanie śluz z kamienia łamanego, gdyż w razie niezbyt starannej roboty mogą wystąpić nieszczelności. Najodpowiedniejszymi materiałami są: beton, cegła dobrze wypalona i cios na zaprawie hydraulicznej. W Polsce najodpowiedniejszym materiałem będzie w przeważnej liczbie wypadków beton, lub beton uzbrojony, wyjątkowo cegła. Drzewa używano dawniej tylko z uwagi na taniść, obecnie wobec znacznego wzrostu cen tego materiału i ten wzgląd odpada; śluza drewniana wymaga częstych napraw i przebudowy, wobec czego z materiału tego niepowinno się w przyszłości śluz wykonywać. Drzewo nadaje się tylko do ścian szczelnych, rusztów palowych, ewentualnie także do konstrukcji zamknięć, a więc klap i bram.

Małe śluzy wałowe nazywają także przepustami wałowymi (Durchlass, Pumpsiel, canal, colateur) i mogą być wykonane jako rury betonowe, żelazne, lub skrzynki drewniane; śluzy i przepusty betonowe i murowane większych rozmiarów przesklepia się, mniejsze mogą być kryte płytami. Chcąc dać śluzie o ile możności jaknajmniejszą wysokość, a przytem zmniejszyć rozpiętość sklepienia, dzieli się ją, w razie jeżeli chodzi o odprowadzenie większych objętości odpływu, na dwa, trzy, lub więcej otworów, wykonując między nimi mury przedziałowe i sklepiąc każdy otwór osobno.

Zamknięcia śluz. Gdy stan wody w rzece zaczyna się podnosić i spodziewane jest wezbranie wznoszące się w międzywał w wyżej jak stan wody w rowach odpływowych podwala, natenczas musi się śluza od strony międzywala zamknąć, a to celem przeszkodzenia zalaniu obszarów chronionych przez wały, wodą przedostającą się przez otwór śluzy.

Jako zamknięcia używane są kłapy, bramy jedno- lub dwuskrzydłowe, lub zasuw. Wszelkie zamknięcia samoczynne nie są wskazane w śluzach wałów rzecznych, a to po pierwsze z tego powodu, ponieważ działanie ich nie jest pewne, powtóre zaś, ponieważ, o ile chodzi o wały rzeczne, wezbranie, a zatem i zamknięcie śluzy, trwa zazwyczaj stosunkowo długo, kilka dni, a nawet kilka tygodni, wobec czego najodpo-

wiedniejsze i zupełnie celowi odpowiadające jest zamykanie od ręki przez służbę wałową.

Dla śluz mniejszych najodpowiedniejsze są kłapy obracalne około osi poziomej, lub zasuw, dla większych wrota jedno- lub dwuskrzydłowe, obracalne około osi pionowej; jeżeli śluza ma kilka otworów, to każdy otwór wymaga osobnego zamknięcia. Kłapy wykonuje się z drzewa lub z blachy walcowanej; nie mogą one być ciężkie, gdyż kłapa przy małej już nadwyżce ciśnienia od strony podwała powinna się otwierać; dlatego użycie kłap lanych, z powodu znaczniejszego ich ciężaru, nie jest wskazane. Pozioma oś obrotu leży ponad kłapą, urządzenie zawieszenia ma być takie, aby kłapę można było po otwarciu śluzy obrócić w górę o 180° i oprzeć o mur czołowy ponad otworem śluzy.

Zasuw mają tę dobrą stronę, że można je zawsze uruchomić, nawet gdy otwór śluzy jest przykryty wodą. Wymagają one urządzenia odpowiednich wyciągów; celem zmniejszenia ciężaru, który przy podnoszeniu ma być pokonany, odciąża się je nieraz zapomocą przeciwwagi, lub zaopatruje wałkami celem zmniejszenia tarcia.

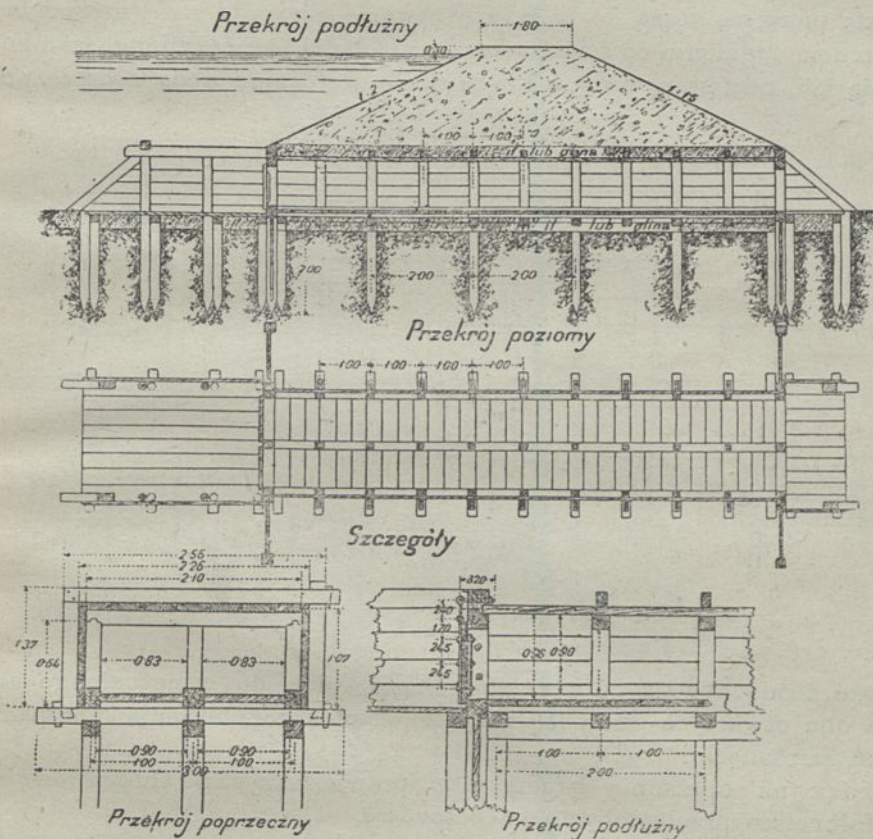
Bramy stosowane przy większych śluzach są w porównaniu z zasuwami o tyle korzystniejsze, że nie wymagają kosztownych wyciągów. Konstrukcja bram dwuskrzydłowych jest podobna do konstrukcji bram wspornych śluz komorowych, których obydwa skrzydła nachylone są do siebie pod kątem. Różnica jest tylko ta, że bramy wsporne śluz komorowych opierają się o próg tylko u dołu, natomiast bramy śluz wałowych muszą mieć oparcie i u góry. Wymaga to wykonania górnego progu, który podobnie jak dolny posiada dwie powierzchnie oporowe nachylone do siebie pod kątem. Wysokość progów (w płaszczyźnie poziomej) jest jednak przy śluzach wałowych mniejszy jak przy śluzach komorowych i wynosi $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ rozpiętości. Przy śluzach murowanych pewną trudność sprawia wykonanie górnego progów kątego; o ile się nie chce wykonać go z kamienia lub betonu, można go i przy śluzie murowanej wykonać z drzewa¹⁾.

W pewnych wypadkach daje się w śluzach również zamknięcia od strony podwała. Następuje to wtedy, jeżeli w czasie posuchy pragniemy przez powstrzymanie odpływu podnieść stan wilgotności obszarów ochronionych wałami; najzwyczajszymi zamknięciami są w takim razie zasuw.

Przykłady śluz wałowych. Na rysunku 249 przedstawiona jest śluza drewniana obwałowania Nowego Brnia (poboczna Wisły w Małopolsce). Jest to śluza większa, o dwu otworach ($2 \times 0,80 \times 0,70$) zamykanych od międzywała kłapami drewnianymi, obracalnemi około zawiasów nad

¹⁾ Vide Garbe „Deichschleusen (Siele)“, Handbuch der Ing. Wiss., Wasserbau, Lipsk 1911.

niemi położonych. Konstrukcja zrozumiała jest z rysunku; zauważa się tu, że ściany szczelne dano tylko pod obydwiema ścianami czołowymi, poprzecznie do kierunku ruchu wody, przedłużając je obustronnie w brzegi. Na gruncie niepewnym prócz progów podłużnych pod ścianami bocznymi dawano jeszcze pale co 2 m (jak to zaznaczono na

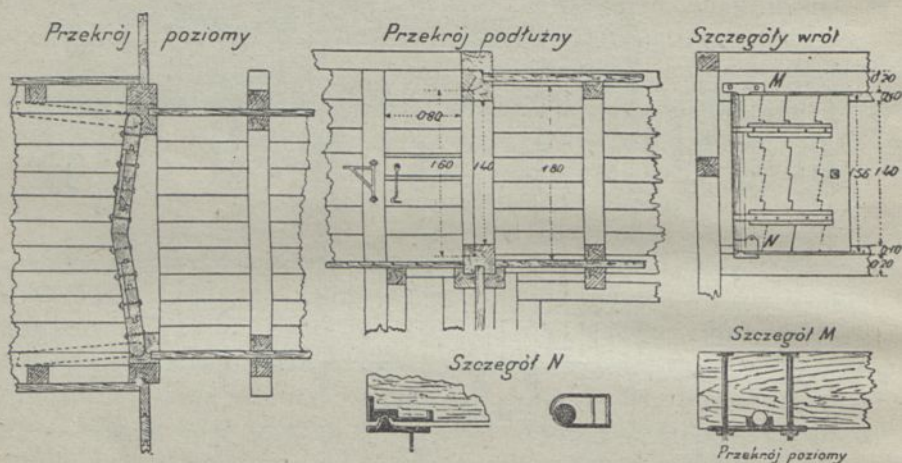


Rys. 249.

rysunku). Celem uzyskania szczelności, otoczono koryto śluży ze wszystkich stron warstwą łu lub gliny 0,25 m grubości.

Rys. 250 przedstawia częściowo śluzę obwałowania tejsamej rzeki, o świetle 2 m, wykonaną również z drzewa, zamykaną wrotami kątowymi o dwu skrzydłach obracalnych około osi pionowej. Słupy obrotowe obu skrzydeł wykonane z grubych dyli $0,25 \times 0,15$, posiadają nisze obrotowe w silnych słupach $0,30 \times 0,30$, obok których znajdują się drugie słupy $0,30 \times 0,20$; słupy wsporne wykonano z dyli $0,52 \times 0,15$. Osie

obrotu (czop górny i panewka dolna) osadzone są w niszach excentrycznie, celem zmniejszenia tarcia przy obracaniu. Wrota składają się z grubych dyli połączonych na zazębienie, opierają się o dołu i u góry o wcięcia w progach 10 cm wysokie. Szczegóły M i N podają urządzenie górnego (czop i łożysko) i dolnego (panewka i łożysko) końca osi obrotu. Na ścianach śluzy umieszczono żelazne obracalne wsporniki i haki; pierwsze służą do tego, aby otwarte skrzydła wrót utrzymywać w pewnym oddaleniu od ścian, celem wywołania samoczynnego zamknięcia się ich, gdy stan wody w międzywalu wzrośnie i woda zacznie prze-



Rys. 250.

plywać z międzywala do podwala, drugie służą do ewentualnego ustalenia obu otwartych skrzydeł przy ścianach i zapobieżenia przypadkowemu zamknięciu.

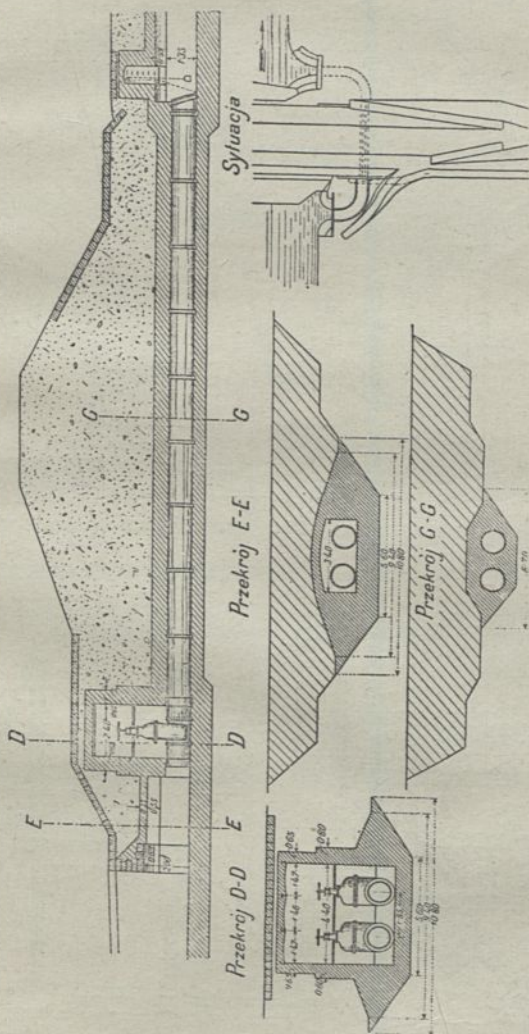
Jak już poprzednio wspomniano, prawie wszystkie śluzy drewniane w Małopolsce przebudowano na betonowe.

Rysunek 251 przedstawia śluzę betonową obwałowania Wisły w powiecie Dąbrowskim w Małopolsce. Jest to śluza o 3 otworach; obok podano przekroje śluz o jednym lub dwu otworach.

Cała śluza ma fundament otoczony ścianą szczelną, dno rowów dopływowego i odpływowego jest przed śluzą brukowane. Każdy otwór jest zamykany klapą z żelaza walcowanego, zawieszoną u góry na podwójnych zawiasach; klapa opiera się na czterech krawędziach, ściany boczne są lekko pochylone, co zapewnia lepsze przyleganie i większą szczelność klapy. W czasie niskich stanów na rzece klapa jest całkiem podniesiona w górę i ułożona na górnej odsadce muru czołowego.

Urządzenie kłapy i zawieszenie jej wyjaśnia szczegół podany na rysunku.

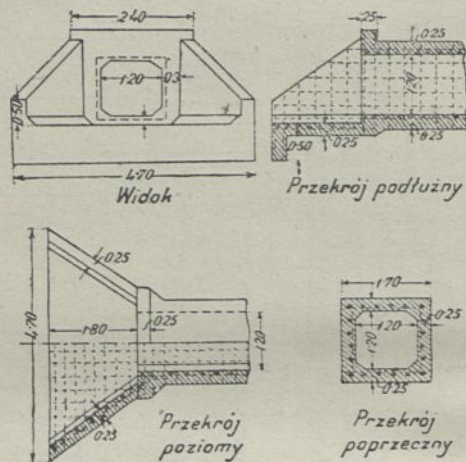
Rysunek 252 przedstawia służbę we wale Dunaju poniżej Wiednia, wykonaną z dwu rur żelaznych lanych osadzonych w betonie. Zam-



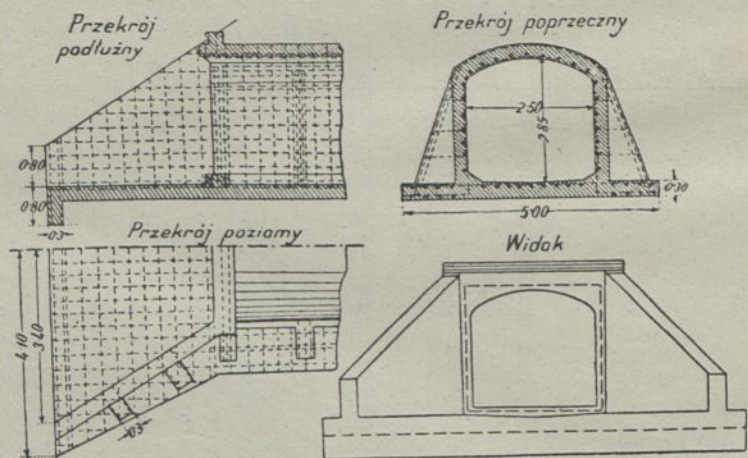
Rys. 252.

knięcia rur od strony międzywala dokonano kłapami odciążonemi przeciwwagami, od strony podwala zasuwanymi umieszczonemi w odpowiedniej komorze; dostępy do obu zamknięć stanowią kanały kryte, przełazowe.

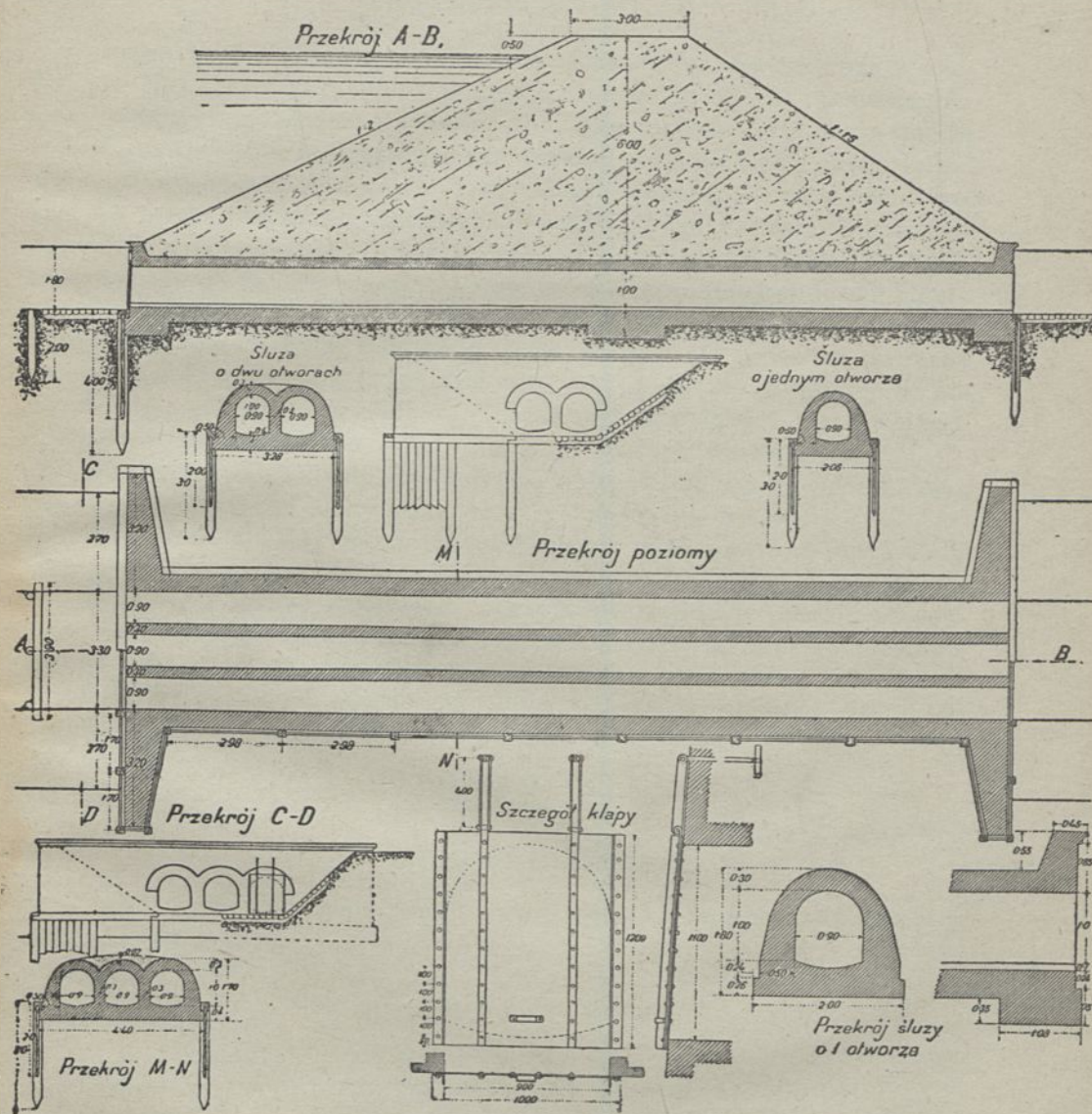
Rys. 253 i 254 przedstawiają typy śluz żelbetowych;¹⁾ na gruncie złym wymagają one rusztu palowego, w przepuszczalnym, murów żebrowych, względnie poprzecznych ścian szczelnych, celem zabezpieczenia przed podmyciem.



Rys. 253.



Rys. 254.



Rys. 251.

¹⁾ Według Schulzega „Schleusen“, Handbuch für Eisenbetonbau, Berlin 1910.

6. Zakłady pompowe.

Na rzekach o długotrwałych wezbraniach gromadzi się woda w czasie gdy śluzę są zamknięte w podwalu, zalewając nieraz znaczne obszary i sprawiając znaczne szkody. Aby tego uniknąć, wykonują spółki wałowe nad wielkimi obwałowaniami rzekami, w miejscach gdzie dolina wymaga odwodnienia również w czasach wezbrań, stacje pompowe, których celem jest przepompowanie doprowadzanych rowami odwadniającymi wód lądowych do łożyska rzeki. Działanie tych zakładów ograniczone jest do okresu wysokich stanów na rzece. Naturalnie, że stacje pompowe potrzebne są tylko na rzekach wielkich, nizinnych; na rzekach mniejszych, na których wezbranie trwa krócej, nie zachodzi potrzeba sztucznego odwodnienia, gdyż albo nagromadzenie wód lądowych nie będzie zbyt znaczne i szkodliwe, alboważ można w danym razie większe dopływy odprowadzić bez śluz, ujmując je wałami wstecznymi.

Do podnoszenia wody używane są najczęściej pompy odśrodkowe, jako siła motoryczna służy para, elektryczność, lub wiatr.

Do obliczania siły motorów trzeba sobie zdać sprawę z ilości wody jaką pompy mają przetłaczać. Przy robotach meljoracyjnych odwadniających (rowy i kanały osuszające) przyjmuje się, że w okresie wiosennym w przeciągu 14 dni trzeba odprowadzić $100 \frac{m}{m}$ opadu zimowego. Jeżeli dana śluza ma odwadniać p hektarów, a ruch stacji ma trwać przynajmniej około 22 godzin na dobę, natenczas objętość którą się będzie pompować wyniesie:

$$Q = \frac{0,100 \times 10000 \times p}{14 \times 22 \times 60 \times 60} = \\ = 0,0009 p \text{ m}^3/\text{sek}$$

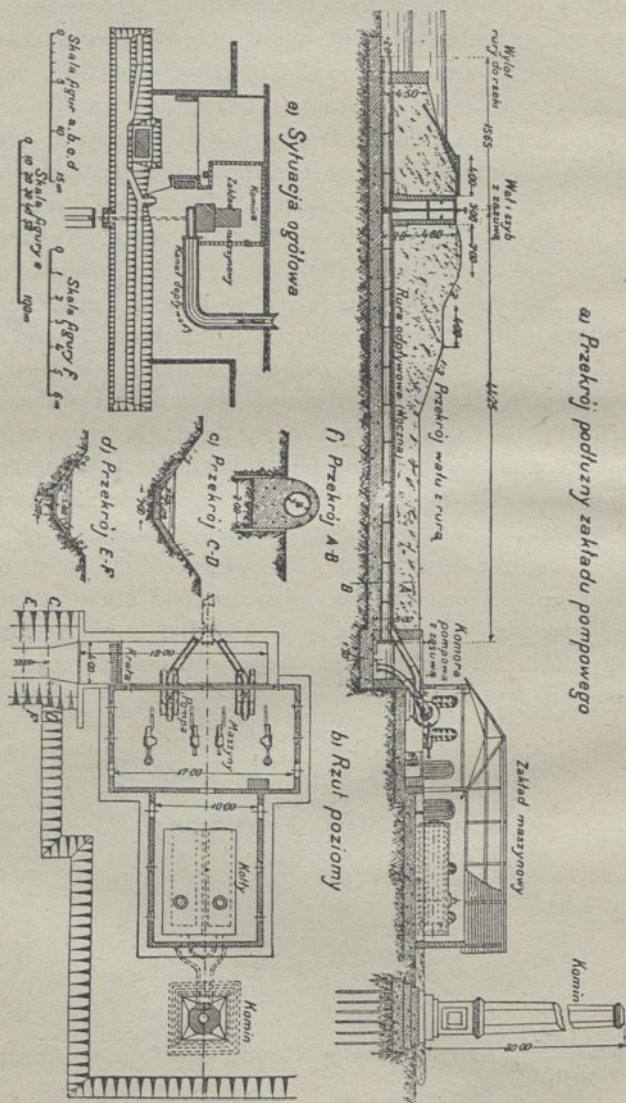
Jeżeli wysokość podnoszenia wody jest h, natenczas potrzebny efekt pompy jest

$$K = \frac{1000 Q h}{\mu \cdot 75}, \text{ a efekt motoru}$$

$$K_1 = \frac{1000 Q h}{\mu \mu_1 75}, \text{ przyczem } \mu = \text{średnio } 0,7, \text{ a } \mu_1 \text{ średnio } 0,8.$$

W projekcie stacji pompowej należy wziąć za podstawę tylko tę objętość wody, której inaczej jak zapomocą sztucznego podnoszenia nie da się odprowadzić; wszystkie wody, które przez wykonanie kanału obwodowego dadzą się bezpośrednio odprowadzić do rzeki, należy wyłączyć ze sztucznego odwodnienia.

Rysunek 255 przedstawia stację pompową spółki dla obwałowania Cisy i Dunaju w Titel przy ujściu Cisy. Pompa odśrodkowa sprężona



Rys. 255.

z maszyną parową czerpie wodę doprowadzaną głównym rowem odwadniającym do śluzy betonowej zamykanej zasuwą i stąd przetłacza ją do rzeki rurą żelazną obetonowaną.

7. Utrzymanie (konserwacja) i obrona wałów.

Należyte utrzymanie wałów polega 1) na nadzorze wałów i 2) na przedsięwzięciu wszelkich robót, które mają na celu zabezpieczenie należytego stanu wałów i zapewnienie ochrony obwałowanych obszarów.

Jak wynika z powyższego przedstawienia celu i sposobu wykonania obwałowań, należyte zaprojektowanie i wykonanie obwałowania wymaga łączenia się poszczególnych właścicieli gruntów w spółki wodne lub związki wałowe, których celem jest zazwyczaj nie tylko ochrona przed powodzią, ale także osuszenie doliny rzeki. Takie spółki zawiązują się na podstawie postanowień prawa wodnego i są kontrolowane przez organa państwowe. Sprężyste wykonywanie nadzoru wałowego (czyli policji wałowej) jest rzeczą niezmiernie ważną; chodzi o to, aby każde uszkodzenie korony lub skarp wałów, pokrywającej warstwy murawy, obiektów, jak przepustów i śluz wałowych, zaraz dostrzedz i naprawić. Wiele bardzo cennych robót meljoracyjnych wykonanych u nas w kraju nieraz znacznym kosztem, zmarniało zupełnie z powodu braku nadzoru i zaniedbania należytego utrzymania; przy nowych robotach pamiętać trzeba o tem, że nie wystarcza zapewnienie funduszu na budowę i wykonanie jej, lecz trzeba również zapewnić fundusze na stałą i troskliwą konserwację, oraz nadzór, bez czego cel robót może być chybiony.

W naszych warunkach przejazd i przechód koroną wałów powinien być wzbroniony, wyjąwszy miejsce do tego celu specjalnie przeznaczone i przygotowane (żwirowana lub brukowana korona, przejazdy i przechody), taksamo zabronić należy pasienie bydła na koronie i skarpach.

W zasadzie pasienie łżejszego bydła na wałach nie jest z uwagi na ich stałość szkodliwe, zwłaszcza jeżeli skarpy są łagodnie pochylone (przynajmniej w stosunku 1:2), a nadto jeżeli pasienie ograniczy się do okresów, w których wał jest suchy, nierozmoknięty. Pasienie może się nawet przyczynić do utrwalenia powierzchni wału, porost trawy jest gęstszy, a murawa staje się zbita. Jednak trudno tu ustrzedz się przed wykroczeniami i bezpieczniej jest wydać zakaz pasienia, a zbiór siana na wałach stanowiących własność spółek lub państwa wydzierżawiać sąsiednim mieszkańcom.

W szczególności trzeba dbać o to, aby korona nie doznała obniżenia, a przekrój poprzeczny wału zmniejszenia rozmiarów (przez osiadanie, zwianie materiału wyschniętego, lub uszkodzenie), a w danym razie należy profil doprowadzić do przepisanych rozmiarów. Krzewy, chwasty i rośliny zapuszczające głęboko korzenie należy wyrwać i tępić, a w razie jeżeli porost trawy na wałach jest lichey, należy powierzchnię ich użyźnić nawozem. Baczną uwagę należy zwrócić na szkodniki, jak króliki, krety i myszy; należy je tępić, a otwory szczelnie zabijać.

Do policji wałowej należy również przestrzeganie, aby w obszarze międzywałowym nie ścieśniano zapomocą budowli profilu wielkiej wody, aby nie budowano tam domów, nie sadzono drzew, a w obszarach wyżej położonych nie kultywowano starszej wikliny, aby w pobliżu wału nie wykonywano w podwału studzien, rowów, wkopów itp.

Szczególnie cenne są spostrzeżenia czynione na wałach w czasie wysokich stanów wody; wszystkie miejsca w których wał okazuje nie szczelność, przeciekanie wody w formie źródeł na skarpie od łądu, lub też u stopy wału, należy dokładnie obserwować i zaznaczyć, oraz zbadać przyczynę przeciekania. Takie nie szczelności powodujące źródła, jak również wyrzuszenie i opadnięcie rozmokłych skarp wałów, powinny być jaknajspieszniej usunięte, zapomocą wykonania odpowiedniego uszczelnienia, wykonania wkopu we wale, lub u stopy wału i wypełnienia go dobrym, nieprzepuszczalnym materiałem, a w danym razie nawet przez przebudowę danej partji wału.

Również troskliwej pieczy wymagają miejsca, gdzie wał leży tuż nad rzeką, zwłaszcza jeżeli brzeg rzeki jest zerwisty i grozi zerwanie gruntu aż po wał. Tu trzeba będzie ubezpieczyć brzeg zapomocą tamy równoległej (opaski), lub tam poprzecznych, a w razie potrzeby wykonać nawet lokalną regulację.

Niebezpieczne są również partje, gdzie wał przecina stare łożysko, oraz miejsca, gdzie kiedyś nastąpiła przerwa wału, z równoczesnem wyrwaniem gruntu stanowiącego podłoże wału. W takich razach powstaje często głębokie wybicie dna, a jeżeli nowy wał wykonuje się w temsamem miejscu, następuje zazwyczaj w czasie wysokiego stanu przeciekanie wody pod wałem i gromadzenie się jej w miejscu obniżonem (wyrwie) u stopy wału po stronie łądu (rys. 256 a). Aby osłabić przeciekanie wody i powstrzymać przez to wymywanie materiału ziemnego z wału, korzystnie będzie otoczyć wyrwę osobnym wałem¹⁾ zatrzymującym wodę; powstanie przez to zbiornik po stronie łądu, który równoważy ciśnienie wody wzniesionej w międzywał.

Na rzekach większych, o stosunkowo powolnym postępie fali wezbrania, niezmiernie ważnem będzie urządzenie służby zawiadamiania o wezbraniach, polegającej na tem, że obserwatorzy górnych wodoskazów danej rzeki i jej ważniejszych dopływów, podają telegraficznie lub telefonicznie wiadomości o stanach wody stacjom poniżej położonym i biurom zarządu technicznego. W czasie długotrwałych i ulewnych deszczów, oraz w razie otrzymania wiadomości ze stacji górnych o wysokich stanach na dopływach, należy zarządzić straż wałów i zorganizować pogotowia ratunkowe. Pogotowia te powinny być zaopatrzone

¹⁾ W Niemczech nazywają taki wał okalający „Quelldeich“.

w narzędzia, jak ręczne kafarki, taczki, nosze do ziemi, siekiery, łopaty, noże do chrustu; dalej materiały, jak dyle, deski, paliki, kamienie, faszyny, nawóz do uszczelniania, worki do piasku, drut, sznury, wreszcie materiał kolejki roboczej, łodzie, tudzież środki do oświetlenia, jak pochodnie, latarnie, etc. W razach groźnego niebezpieczeństwa należy wezwać do pomocy policję państwową, oraz wojsko; naturalnie, że ludność miejscowa powinna być obowiązkowo pociągnięta do pilnowania i pracy przy ratowaniu wałów.

Ochrony i stosowania środków zaradczych wymagają przedewszystkiem następujące miejsca wału:

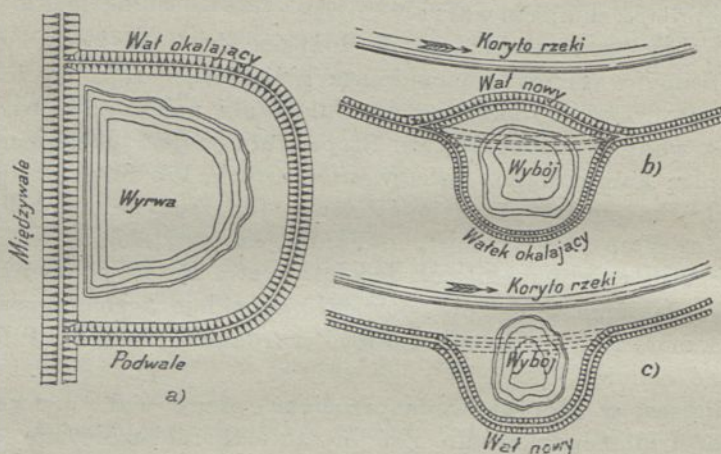
a) Punkty bardzo zbliżone do łożyska średniej wody, gdzie niedaleko od stopy wału jest znaczniejsza głębokość i duża chyżość wody, w których stopa wału i skarpa po stronie rzeki narażone są na zerwanie przez prąd wody i uderzenia fali. Stopę wału można ubezpieczyć zapomocą narzutu kamiennego, walców zatapiających, lub faszyn obciążonych kamieniem, skarpe zaś przez wyścielenie jej faszynami, chrustem lub wyścielką ze słomy z przybiciem palikami, matami słomianymi, plecionkami z chrustu, wykonanymi jak do plotów, etc. Przed pokryciem należy wszelkie zagłębienia w skarpie, powstałe skutkiem wybicia przez wodę, wypełnić ziemią i ubić, lub też założyć workami z piaskiem lub faszyną i wyrównać ziemią.

b) Miejsca, w których woda przecieka przez wał, wytwarzają na skarpie po stronie lądu źródło. Źródła takie są niebezpieczne, o ile wypływają z większą siłą i dają wodę mętną, zmieszaną z materiałem wypłukanym z wału. Najwłaściwsze jest zatkanie ich na skarpie od strony rzeki zapomocą worków z piaskiem lub cementem, co jest jednak możliwe tylko wtedy, jeżeli początek źródła na skarpie tej da się oznaczyć. Można także otoczyć miejsce wnikania wody we wał po stronie rzeki ogrodzeniem z pali i desek i przestrzeń między niem a wałem wypełnić workami z piaskiem, ziemią zmieszaną z nawozem, lub faszynadą. Jeżeli nieda się oznaczyć początku źródła po stronie rzeki, to wykonuje się od strony lądu, naokoło miejsca wypływu wody grodzę, z dwu ścian z pali i desek, wypełnioną ziemią, i tworzy w ten sposób zbiornik wody równoważący ciśnienie zewnętrzne, skutkiem czego wypływ źródła się osłabia.

W razie rozmoknięcia skarpy po stronie lądu na znaczniejszej przestrzeni skutkiem przeciekania wody, może nastąpić usunięcie się skarpy, przyczem i korona może się zapaść. Należy wtedy wzmocnić wał przez wykonanie grodzy na skarpie od strony rzeki. Wyjątkowo, o ile rozporządza się odpowiednimi narzędziami i materiałami (kafary, pale i deski), można wykonać wzmocnienie wału i od strony lądu, bijąc w skarpe lądową silne pale aż do gruntu naturalnego w jednym lub

w kilku rzędach, wykonując ściany z desek i zasypując przestrzenie między ścianami ziemią.

c) Miejsca, w których korona wału okazuje się przy wzroście stanu wody za niska. O ile ma się do dyspozycji dobry materiał ziemny, środki transportowe (wozy, kolejkę, taczki, nosze) można przez nadsypanie wału, z równoczesnym ubijaniem warstw, koronę podwyższyć. W razie przeciwnym, oraz gdy korona wału jest bardzo wąska, można wykonać na koronie grodzę, złożoną z dwu ścian z pali i desek z wypełnieniem tłustą ziemią, lub ziemią zmieszaną z nawozem. Grodza



Rys. 256.

taka może mieć około 1 m wysokości, w razie dalszego przyboru wody można obok niej wykonać drugą grodzę wyższą.

d) Przerwy wałów. Występują one w następujących formach: 1) zerwanie korony, 2) właściwa przerwa wału, przy której tworzy się wylom we wale, sięgający aż do gruntu naturalnego, 3) przerwa wału, z wybiciem gruntu naturalnego, przyczem jednak obszar przyległy wałowi po stronie rzeki nie zostaje przerywany i 4) przerwa wału z wybiciem gruntu naturalnego i częściowym przerywaniem się rzeki, skutkiem czego w kierunku przerwy i wybój istnieje silny prąd wody. Powstały wybój może być nieraz bardzo głęboki (na wielkich rzekach do kilkunastu metrów).

Odbudowę wału w miejscu przerwy można wykonać w trojaki sposób, a mianowicie: albo wykonać wał na dawnym miejscu przez wybój, albo obejść wybój wałem odchylonym ku rzece, alboważ obejść go wałem odchylonym ku lądowi (rys. 256 b i c). Pierwsze wykonanie jest najwłaściwsze, o ile wybój nie jest zbyt głęboki. Naturalnie, trzeba

tu wał wykonać z bardzo dobrego materiału, ewentualnie przy niepewnym podłożu zapuścić w nie jądro iłowe; wybój najlepiej zupełnie ziemią zasypać. Wykonanie drugie jest najmniej właściwe, psuje linię wału, zwążając profil wielkiej wody i odcinając wybój zupełnie od rzeki, skutkiem czego nie może zostać zamulony, a powtórnie, woda spiętrzona między wałami może przeciekać pod wałem do wyboju i wymywać grunt. W razie przyjęcia takiego rozwiązania, trzeba zagłębianie otoczyć osobnym wałkiem celem zrównoważenia ciśnienia wody. Trzecie rozwiązanie jest w zasadzie w danych warunkach (wybicie głębokie) najlepsze, gdyż nie usuwa możliwości zamulenia, wymaga jednak znacznego zwiększenia długości wału, tembardziej, że wybicie podłoża jest zawsze znacznie większe po stronie ładu, jak po stronie rzeki. Zabudowanie przerwy wału odbywa się zwykle dopiero po opadnięciu wody, wyjątkowo, w razie przerwy wału wraz z częściowem przerzuceniem się rzeki, trzeba wykonać zamknięcie jeszcze w czasie trwania wezbrania¹⁾.

Bardzo niebezpieczne są dla wałów zatory lodowe, które mogą wywołać skutkiem spiętrzenia wody jeszcze wyższe stany wody, jak wezbranie w zwykłych warunkach. Zatory tworzą się przedewszystkiem w partjach nieuregulowanych, zbyt rozszerzonych, stosunkowo płytkich, w których rzeka ma małą siłę poruszającą. Na rzekach wielkich, a mianowicie na ich partjach w pobliżu morza, bardzo dobre usługi oddają łamacze lodów (brice glace, Eisbrech schiff, -dampfer), t. j. osobne statki, które rozpoczynając swą pracę od dołu, od chwili utworzenia się powłoki lodowej postępują w górę, łamią lód, nie dopuszczając do wytworzenia się grubej i zwartej warstwy lodu. Na rzekach mających swe źródła, oraz źródła swych dopływów, w porównaniu z ujściem do morza znacznie na południe wysunięte, zachodzi ta niekorzystna okoliczność, że ruch lodu na wiosnę zaczyna się w partjach górnych wcześniej, jak w partjach dolnych. Takie warunki zachodzą naprzykład na Wiśle, której różnica szerokości geograficznej ujścia i źródeł wynosi 5°. Dlatego też na dolnej partji Wisły w obrębie zaboru pruskiego utrzymywało kierownictwo robót flotylę, składającą się z dwunastu silnie zbudowanych i w silne motory wyposażonych parowców, które służyły do łamania lodów. Wyjeżdża ona w początkowym okresie zimy, gdy powłoka lodowa zaczyna się tworzyć, do dolnego wylotu nowego ujścia Wisły pod Schiewenhorst i jadąc w górę rzeki łamie powłokę lodową, przyczem wytwarza szeroki kanał wolny od lodu, którym kra może swobodnie odpływać do morza.

¹⁾ Wykonanie takiego zamknięcia na większej rzece opisuje szczegółowo Ehlers w pracy „Bau, Unterhaltung und Verteidigung der Flussdeiche, Berlin 1914“.

CZEŚĆ 7.

Postanowienia prawa wodnego dotyczące regulacji rzek.

Na ziemiach Polski nie ma dotąd jednolitej ustawy wodnej, a w poszczególnych jej dzielnicach obowiązują jeszcze ustawy i rozporządzenia wydane przez państwa zaborcze. W Małopolsce obowiązuje ustawa wodna z 14 marca 1875 roku, oparta na austriackiej państwowej ustawie wodnej ramowej z r. 1869, wraz z nowelami z r. 1892, 1903 i 1910, oraz szereg innych ustaw i przepisów, w byłym zaborze pruskim pruska ustawa wodna z 7 kwietnia 1913 r., wraz z innemi ustawami, dotyczącymi poszczególnych działów gospodarstwa wodnego, wreszcie w byłym zaborze rosyjskim właściwej ustawy wodnej nie było, lecz opierano się na niektórych artykułach kodeksu cywilnego i licznych postanowieniach i zarządzeniach władz administracyjnych ¹⁾.

Konieczność spieszego wydania jednolitej dla całego państwa polskiego ustawy wodnej, zastosowanej do naszych stosunków, oraz dostosowanej do nowoczesnych potrzeb gospodarczych, nie ulega najmniejszej wątpliwości. Na wezwanie Sejmu ustawodawczego opracowano projekt, który jednak nie został dotychczas uchwalony i może jeszcze ulegć modyfikacjom. Z tego powodu nie można tu podać definitywnych postanowień ustawy, lecz tylko treść, względnie tendencję najważniejszych postanowień projektu, wraz z odpowiednim wyjaśnieniem z uwagi na techniczną stronę sprawy.

Wody są publiczne lub prywatne, pierwsze stanowią część dobra publicznego, drugie są własnością prywatną. Na wodach publicznych nie mogą powstać ani prawa własności, ani inne prawa prywatne,

¹⁾ Patrz artykuł autora „Ankieta w sprawie ustawy wodnej“, Czasopismo techniczne lwowskie 1920, str. 136.

z wyjątkiem uprawnień przewidzianych ustawą wodną. W zasadzie wszystkie wody są publiczne, z wyjątkiem tych, które ustawa wodna uznaje za wody prywatne, oraz tych, które na podstawie szczególnych tytułów prawnych stanowią własność prywatną¹⁾. Pojęcie rzeki jako dobra publicznego (w prawodawstwie francuskim *domaine public*) zastąpiono w ustawodawstwie niemieckim określeniem „rzeka państwowa“ (*Staatsfluss*), stanowiąca zatem własność państwa.

Z uwagi na regulację rzek ważnem jest ściśle określenie granicy między łożyskiem rzeki (pojętem jako dobro publiczne), a gruntami prywatnemi. Łożysko wody publicznej należy w każdym razie uważać jako dobro publiczne, łożysko zaś wody prywatnej jako własność właściciela wody. Jednak rozmiar i zakres łożyska można rozmaicie pojmować, a z opisu właściwości rzek wiadomo, że nad rzekami zarysowują się trojakiego rodzaju brzegi, a mianowicie: 1. brzegi ujmujące stany niskie, względnie średnie, 2. brzegi ujmujące zwykle wielkie wody, trafiające się mniej więcej co roku i 3. brzegi najwyższej wielkiej wody; z tych trzech rodzajów brzegów występują najwyraźniej brzegi zwykłych wielkich wód. Istnieją różne podstawy co do oznaczenia granicy między łożyskiem i własnością prywatną. Jedną z nich wychodzi z założenia, że tam gdzie się kończy możliwość użytkowania gruntu, choćby przez korzystanie z traw lądowych nad rzeką rosnących, tam się kończy własność prywatna, a zaczyna łożysko rzeki. Druga zasada dąży do oznaczenia granic łożyska według stanu wody określonego na wodoskazach; taka metoda byłaby pod względem hydrotechnicznym najwłaściwsza i najściślejsza, gdyż nie pozostawiałaby żadnych wątpliwości, jednak jak wynika z dalszych wywodów zastosowania tej zasady napotyka na trudności. Projekt ustawy wodnej stara się wykorzystać obie zasady postanawiając, że granicę między wodą a gruntami nadbrzeżnymi (linję brzegową) stanowią widoczne brzegi, gdzie zaś niema wyraźnych brzegów, stanowi granicę linja stałego porostu traw lądowych, względnie stanu wody odpowiadającego temu porostowi (t. j. stanowi normalnemu).

Zauważa się jednak, że zastosowanie powyższych zasad napotykać może w praktyce na wielkie trudności i być powodem samowolnych rozstrzygnięć, a powtórnie utrudnić roboty regulacyjne, gdyż z góry już oddaje w ręce prywatne nawet części łożyska rzeki, co do których sąsiadujący właściciele może nie rościli sobie przedtem prawa. Określenie

¹⁾ Do właściciela gruntu należą: woda z opadów atmosferycznych, woda w jeziorach, stawach, zbiornikach, odpływy z nich, dopóki nie opuszczą gruntu właściciela, woda gruntowa.

¹⁾ Według galicyjskiej ustawy wodnej z 14 marca 1875 r. jako rzeki publiczne uważano rzeki, na których kiedykolwiek odbywał się spław lub żegluga; rząd miał prawo uznania pewnej rzeki za publiczną.

granicy własności łożyska według porostu traw lądowych przysądza właścicielom prywatnym ze szkodą dla dobra publicznego, a z wątpliwą dla nich korzyścią, obszary w samym łożysku, do których posiadania może nie mieli tytułu prawnego, ani ich nie posiadali. W zasadzie trawy lądowe mogą rósć nawet na gruntach bardzo niskich tuż przy wodzie, na odsypiskach i przymuliskach, które przez przeważną część roku są nad wodą, w latach suchych rośnie trawa już powyżej stanu średniego niskiego.

Określenie łożyska według stanu wody oznaczonego na wodoskazie jest w praktyce także trudne do przeprowadzenia, gdyż po pierwsze na wielu rzekach, szczególnie mniejszych, wodoskazów niema, a powtórę charakterystyczne stany wody (najniższy, średni niski, średnia roczna, zwykła wielka woda i t. p.) ulegają w ciągu czasu zmianom skutkiem obniżenia, względnie podwyższenia się łożyska.

Definicja łożyska rzeki, względnie granicy między tem łożyskiem jako dobrem publicznem a gruntami prywatnymi, powinna spełniać następujące warunki: a) zabezpieczać w równej mierze prawa prywatne, jak i dobro publiczne, i b) pojęcie łożyska rzeki określić pod względem technicznym możliwie ściśle, unikając niejasności.

Dla wyjaśnienia sprawy zbadajmy jak tę kwestję pojmują we Francji¹⁾.

Według obecnie przyjętej tam ogólnie zasady, jako łożysko rzeki uważa się cały teren, do którego sięgają i który przykrywają w zwykłych warunkach i bez wystąpienia z brzegów, wody dochodzące do wyższego stopnia wzniesienia. Ta definicja zgadza się z zasadą prawa rzymskiego: „*ripa ea putatur esse, quae plenissimum flumem continet*“ (za brzeg uważa się to, co wypełnione koryto rzeki zamyka).

Definicja ta przedstawia jednak trudności w zastosowaniu i już naprzykład między ujęciem sprawy przez administrację robót publicznych i Radę stanu (*conseil d'etat*) wynikły pod tym względem niezgodności. Zasada administracji robót publicznych (t. j. Rady generalnej dróg i mostów i Ministerstwa robót publicznych) brzmi następująco: „Granica rzeki powinna być ustalona nietylko dla każdego brzegu osobno, ale i w każdym osobliwym punkcie, według granicy zewnętrznej, od której rozpoczyna się wystąpienie z brzegów. łożysko zawarte jest między dwiema linjami nieregularnymi i o wysokości nierównej, łączącymi na każdym brzegu punkty, w których ustaje występowanie wody z brzegów. Rozumie się przytem, że jeżeli szczyt brzegu naturalnego wznosi się mniej lub więcej ponad poziom najwyższej wody, granica łożyska nie przekracza tego poziomu.

¹⁾ Patrz De Mas „*Rivières à courant libre*“. Paris. 1899.

W przeciwieństwie do tego Rada stanu odrzuca odrębne traktowanie obu brzegów, oraz uwzględnienie kształtów terenu naturalnego, natomiast przyjmuje za podstawę odgraniczenia „ogólny plan wystąpienia z brzegów“ określony według wysokości, którą osiągną wody, gdy zaczynają się przelewać w dostatecznie wielkiej liczbie punktów.

De Mas stwierdza, że zasada administracji robót publicznych jest racjonalniejsza, że natomiast zasada Rady stanu, przyjmująca tensam poziom wystąpienia wody z obu brzegów, dopuszcza w wielu wypadkach dowolność w rozstrzygnięciu.

Jak widzimy, we Francji na rzekach żeglownych i spławnych ustala się granicę według stanu wody wypełniającej łożysko po brzegi (coulant à pleins bords, bordvolles Wasser), t. j. według stanu zwykłej wielkiej wody, nie zaś według granicy wegetacji lądowej, odpowiadającej stanowi znacznie niższemu.

Przymuliska, względnie odsypiska, stanowiące powiększenie gruntu skutkiem stopniowego oddalania się wody płynącej od brzegu, lub naturalnego obniżenia się zwierciadła wody, przypadają właścicielom gruntów nadbrzeżnych w granicach prawa własności.

Grunt uzyskany z łożyska rzeki wskutek wykonania budowli regulacyjnych przypada na własność tym, którzy ponieśli kosztą wykonania robót. Skoro grunty te nie będą potrzebne na cele żeglugi i spławu, do umocnienia brzegów, albo też do produkcji materiałów dla wykonania lub utrzymania budowli regulacyjnych, właściciele gruntów przyległych mają prawo pierwszeństwa do nabycia wspomnianych gruntów za uiszczeniem ich wartości.

Wody prywatne nadające się do żeglugi lub spławu, oraz takie wody prywatne, które mają być przez państwo regulowane, mogą być w drodze ustawy uznane za wody publiczne.

Osobne paragrafy normują sposób i rozmiar użytkowania wód publicznych i prywatnych.

Właściciele gruntów przylegających do publicznych wód żeglownych i spławnych, a w miarę potrzeby także właściciele gruntów leżących poza temi granicami, obowiązani są dozwolić bezpłatnie na urządzenie i utrzymanie przez państwo na ich gruntach drogi holowniczej. Właściciele ci obowiązani są nadto zezwolić na lądowanie i przymocowywanie statków i tratów.

Na wszelkie urządzenia sztuczne służące dla żeglugi i spławu na wodach publicznych i takie urządzenia na wodach prywatnych, które mogą wywrzeć wpływ na interes publiczny, lub na cudze prawa i na spąd, bieg i odpływ wody publicznej, wymagane jest pozwolenie władzy.

Pozwolenie władzy nie jest wymagane dla budowli prowadzonych przez państwo, na podstawie projektów zatwierdzonych przez ministra robót publicznych.

Utrzymanie wód i brzegów, regulacja wód, oraz ochrona przed powodzią. Obowiązek utrzymania wód żeglownych polega na utrzymaniu żeglowności i wolnego odpływu, na innych wodach płynących na utrzymaniu wolnego odpływu.

Na uregulowanych wodach płynących obowiązek ten obejmuje nadto utrzymanie stanu wytworzonego przez regulację. Obowiązek utrzymania publicznych wód żeglownych¹⁾ należy do państwa, innych zaś wód publicznych do spółek wodnych, które w tym celu będą utworzone, a obowiązek utrzymania wód prywatnych do ich właścicieli.

Spółki wodne dla utrzymania wód publicznych będą tworzone z urzędu jako spółki przymusowe.

Obowiązek utrzymywania wód uregulowanych, o ile nie zabezpieczono go w drodze ustawy, lub orzeczenia władzy, ciąży nadal na tych, którzy przed regulacją byli do tego obowiązani.

Właściciele gruntów nadbrzeżnych mają prawo podjąć roboty w celu umocnienia brzegów. Na gruntach zalewanych wodą wezbraną równo z brzegami nie mogą się znajdować drzewa, krzaki, ogrodzenia i inne przedmioty, któreby przeszkadzały wolnemu odpływowi wody.

Jeżeli budowle regulacyjne, lub dla ochrony od powodzi, przynoszą znaczną korzyść sąsiednim gruntom, lub innym nieruchomościom, oraz zakładom wodnym, albo też odwracają od nich znaczne szkody, można zobowiązać właścicieli, aby przyczynili się do kosztów odpowiednim datkiem nie przewyższającym osiągniętych korzyści, którego wysokość w braku dobrowolnego porozumienia oznaczy władza.

Przedsiębiorstwo regulacyjne może obejmować wykonanie budowli regulacyjnych, pogłębienie drogi wodnej dla żeglugi i spławu, wytworzenie nowego łożyska, regulację łożyska dla przepływu wielkich wód, oraz inne ulepszenia wychodzące poza zakres zwykłego utrzymania. Sztuczne tworzenie nowych gruntów przybrzeżnych i ustalanie ich przez sadzenie wikliny, uważa się za roboty regulacyjne.

Na przedsiębiorstwie regulacji ciąży obowiązek wzniesienia urządzeń potrzebnych do ochrony cudzych praw, gruntów i zabudowań przed szkodą, jakaby skutek regulacji powstać mogła. O ile takie urządzenia nie dadzą się pogodzić z zamierzoną regulacją, lub gospodarczo uzasadnić, dotknięty szkodliwym działaniem może żądać odszkodowania.

¹⁾ Do projektu ustawy dołączono wykaz tych rzek.

W celu wykonania robót konserwacyjnych, regulacyjnych, lub obwałowania, mają właściciele gruntów nadbrzeżnych i za nimi położonych, oddać za odszkodowaniem gruntu i inne nieruchomości potrzebne pod budowlę, tudzież place robocze i składowe, oraz zezwolić na połączenie budowli z brzegami.

Muszą oni zezwolić, również za odszkodowaniem, na wykonanie urządzeń pomocniczych, na składanie i przetwarzanie na gruntach nadbrzeżnych i za nimi położonych wydobytej ziemi, żwiru, piasku, drzewa itp., jak również na przywóz i odwóz materiałów budowlanych i dostęp dla robotników i osób dozoruujących. Wreszcie muszą oni zezwolić za odszkodowaniem na branie z tych gruntów potrzebnych materiałów, a to kamienia polnego i łamanego, żwiru, darniny, piasku, gliny, ziemi, wikliny, palików itp., jeżeliby obowiązany do utrzymania, lub też przedsiębiorstwo regulacyjne lub wałowe, mogły tylko po niestosunkowo wysokich cenach te materiały gdzieindziej uzyskać.

Z uwagi na ochronę od powodzi, może władza uczynić zależnem od swego zezwolenia:

a) kopanie dołów w przekroju wielkiej wody, wydobywanie gliny, kamieni, żwiru, piasku i innych materiałów z gruntów nadbrzeżnych, a w miarę potrzeby i z dalszych; b) obsadzanie drzewami i krzakami gruntów wolnych od zalewu przez wielką wodę, które jednak są narażone na podmycie.

Władza może zakazać: a) składania w przekroju wielkiej wody mułu, ziemi, piasku, żużli, kamieni, drzewa i innych materiałów, które mogą odpływ wody utrudniać; b) wzruszania ziemi przez orkę, karczowanie, cięcie darni, wypasanie itp. na gruntach nadbrzeżnych i na gruntach dalszych; c) używania gruntów nadbrzeżnych do wyciągania lub staczania drzewa, do pojenia bydła itp.

Na polecenie władzy właściciele gruntów będą obowiązani bez pretensji do odszkodowania, bądź sami usunąć, bądź zezwolić na usunięcie w przekroju przepływu wielkiej wody dziko rosnących drzew i krzaków, zaś poza tym obszarem wszystkich tych drzew i krzaków, które są narażone na wpadnięcie do wody lub wyrwanie.

W obszarze między wodą a wałami, na przestrzeniach zaś wód nieobwałowanych, lub niedostatecznie obwałowanych, w obszarze zalewu oznaczonym przez władzę, nie wolno bez jej zezwolenia: a) podnosić powierzchni terenu, tudzież wznosić, rozszerzać i przenosić, wystających nad powierzchnię ziemi grobel, wałów, budynków, murów i innych budowli, cegielni polowych, ogrodzeń, plan-

tacji drzew, krzaków itp.; b) całkowicie lub częściowo usuwać grobel wałów itp. wzniesień.

Ze względu na stałość wałów chroniących dolinę przed wylewami zabrania się: a) przejeżdżać, lub przepędzać zwierzęta przez wał w innych miejscach, aniżeli do tego przeznaczonych; b) skopywać, przebijać i zasadzać drzewami lub wikliną wału; c) paść zwierzęta na wale; d) kopać doły dla dobywania gliny, piasku itp., urządzać zbiorniki wody (sadzawki) i studnie, w odległości do 20-u m od stopy wału od strony lądu, orać ziemię bliżej aniżeli 2 m, licząc od stopy wału po obu jego stronach.

Władza administracyjna jest uprawniona wogóle ograniczyć lub zabronić takiego użytkowania wałów, któreby zmniejszało ich odporność.

Gdy wały podczas wielkiej wody są zagrożone, wszyscy mieszkańcy zagrożonych, a w razie potrzeby i sąsiednich miejscowości, obowiązani są na zarządzenie władzy administracyjnej lub miejscowej władzy policyjnej, dać bezpłatną pomoc do robót ochronnych i dostarczyć bezpłatnie na miejsce potrzebnych narzędzi i środków przewozowych. Na żądanie tych władz mają być dostarczane wszelkiego rodzaju materiały przydatne do obrony przed niebezpieczeństwem, z zastrzeżeniem zwrotu szkody.

Spółki wodne. Dla budowy, utrzymania i użytkowania urządzeń wodnych mogą być tworzone spółki wodne mające na celu: 1) odwodnienie, nawodnienie, lub namulanie gruntów; 2) utrzymanie wód, przez zabezpieczenie wolnego odpływu, ochronę gruntów nadbrzeżnych przed zrywaniem i niszczeniem przez wodę, tudzież ochronę przed wylewami (czyszczenie łożysk rzecznych, regulacje rzek, zabudowania potoków górskich i jarów, wraz z zalesieniem stoków, wstrzymanie usuwisk, obwałowanie dolin); 3) zabezpieczenie wód przed zanieczyszczeniem; 4) dostarczanie wody do picia i dla gospodarstwa domowego, tudzież kanalizację miast, wsi i miejscowości; 5) uprawę i eksploatację torfowisk; 6) uszlawnienie i żeglugę; 7) zbieranie wód (zbiorniki wodne), tudzież wyzyskanie siły wodnej.

Spółki wodne mogą być tworzone tylko dla tych przedsiębiorstw, które służą interesom publicznym, lub mają na celu wspólny gospodarczy pożytek.

Utworzenie spółki następuje: a) przez zatwierdzenie przez władze statutu uchwalonego jednomyślnie przez interesowanych; b) przez zatwierdzenie przez władze statutu uchwalonego przez większość interesowanych, przy przymusowym zobowiązaniu mniejszości do udziału w spółce; c) na podstawie zarządzenia władzy.

Spółka jest osobą prawną, musi mieć siedzibę w granicach państwa i być wpisana do księgi wodnej.

Spółka musi mieć zarząd, złożony z jednej lub więcej osób, z których jedna jest przewodniczącym. Nieunormowane ustawą wodną stosunki prawne spółki i jej członków określa statut, który podlega zatwierdzeniu władzy administracyjnej. Spółki są pod nadzorem rządu; nadzór ten odnosi się do wykonania, utrzymania i użytkowania urządzeń spółki, oraz do przestrzegania, aby sprawy spółki załatwiano zgodnie z ustawami i statutem.

Członkowie odpowiadają za datki udziałowe przypadające na nich, a udział ten normuje się według korzyści, które członkowie odnoszą z urządzeń spółki. Prawo głosu członków oznacza się według udziału w ciężarach spółki.

Spółki utworzone uchwałą większości. Gdy spółka ma być utworzona dla jednego z celów określonych powyżej, z wyłączeniem uszlusowania i żeglugi, oraz wyzyskania siły wodnej, można sprzeciwiających się właścicieli gruntów, kopalń i zakładów przemysłowych objętych planem przedsiębiorstwa spółki, tudzież istniejące spółki wodne i inne związki, zmusić do przystąpienia do spółki, jeżeli: a) przedsiębiorstwo może być przeprowadzone celowo tylko przez utworzenie spółki; b) większość interesowanych zgadza się na utworzenie spółki i c) przedsiębiorstwo, z uwzględnieniem ciężarów wynikających z należenia do spółki, przedstawia korzyści dla sprzeciwiających się, a przy spółkach dla utrzymania wód w czystości także, gdy przedsiębiorstwo spółki służy do usunięcia zanieczyszczenia wywołanego przez sprzeciwiających się. Jeżeli chodzi o grunta, oblicza się większość według powierzchni, uwzględniając dochód lub wartość.

Właściciele gruntów, dla których przedsiębiorstwo nie przedstawia żadnych korzyści, mogą być zmuszeni do przystąpienia do spółki, o ile to jest potrzebne do uzyskania wolnego odpływu, albo do przeprowadzenia nawodnienia lub odwodnienia; tego rodzaju grunty są jednak wolne od wszelkich ciężarów spółki.

Spółki przymusowe. Bez zgody interesowanych mogą być tworzone spółki dla utrzymania wód płynących, dla ochrony od powodzi, lub zabezpieczenia wód przed zanieczyszczeniem, jeżeli temu zanieczyszczeniu inaczej nie da się zapobiedz. Do spółek dla utrzymania wód płynących należy pociągnąć uprawnionych do użytkowania wody właścicieli gruntów, kopalń, zakładów przemysłowych, jak również spółki wodne i inne związki, którym należyte utrzymanie wody płynącej przynosi korzyść, spółka zaś utworzona w celu ochrony od powodzi ma obejmować właścicieli gruntów, kopalń i zakładów przemysłowych, spółki wodne i inne związki, którym zagraża niebezpieczeństwo.

Wywłaszczenie, służebność i inne ograniczenia. Na rzecz przedsiębiorstw służących interesom publicznym, a to odwodnienia, nawodnienia, namulania gruntów, regulacji wód, ochrony przed powodzią, budowy kanałów żeglownych, portów i przystani, budowy zbiorników wodnych, zaopatrzenia we wodę miast, wsi i miejscowości, budowy zakładów o sile wodnej, wreszcie budowy mostów z drogami dojazdowymi, mogą być ustanowione za odszkodowaniem potrzebne ograniczenia (służebności, serwituty) prawa własności gruntów i wód, potrzebnych do wykonania przedsiębiorstwa, a gdy to do osiągnięcia celu nie jest wystarczające, muszą być odstąpione za odszkodowaniem potrzebne grunta i inne nieruchomości, zakłady i urządzenia, tudzież uprawnienia wodne. Wodociągi, kanały i zakłady wodne, mogą być bez zezwolenia uprawnionych na koszt nowego przedsiębiorstwa przesunięte na inne miejsce, jeżeli to może nastąpić bez zmniejszenia sprawności zakładu wodnego.

Przedsiębiorcy należy wyznaczyć termin, do którego z przynależnego prawa przymusowego musi skorzystać, pod rygorem utraty tego prawa.

Jeżeli w celu wykonania urządzeń wodnych potrzebne są roboty przygotowawcze na cudzych gruntach, a właściciel ich nie chce na nie zezwolić, musi przedsiębiorstwo uzyskać pozwolenie władzy, która wyznaczy stosowny termin do podjęcia robót. Na żądanie właściciela gruntu ma władza oznaczyć zabezpieczenie, jakie powinno dać tymczasowo przedsiębiorstwo tytułem wynagrodzenia szkody, jakaby mogła powstać przez wykonywanie robót przygotowawczych.

Organom służby publicznej wolno przy odbywaniu czynności służbowych chodzić po gruntach nadbrzeżnych, przymuliskach, groblach, wałach itp.

Władze i postępowanie. Regulowanie stosunków wodnych po myśli przepisów ustawy wodnej należy do władz administracyjnych, a mianowicie w 1-ej instancji do starostw (względnie gmin, o ile im państwo poruczyło administrację), w 2-ej instancji do województw, wreszcie w 3-ej instancji do ministerstwa robót publicznych. Dla spornych rozstrzygnięć interesowanych, opartych na tytułach prywatno-prawnych, lub aktach prywatno-prawnych, niezawartych wobec władz administracyjnych, nadto dla zarzutów, których władza administracyjna nie jest powołana z mocy niniejszej ustawy rozstrzygać, pozostaje otwarta droga sądowa.

Ustawa wodna podaje zakres działania i uprawnienia każdej instancji.

Podania o pozwolenie na wykonanie przedsiębiorstwa mają być wnoszone do właściwej władzy i mają określać, o ile według na-

tury przedsiębiorstwa, albo uznania władzy, jeden lub drugi z motywów nie są zbyt liczne:

a) cel i zakres przedsiębiorstwa, z oznaczeniem miejscowości i wody, na której ma ono powstać; b) przy zakładach do używania wody oznaczenie żądanej ilości wody na sekundę przy najwyższym i niskim stanie wody, tudzież oznaczenie wysokości piętrzenia wody; c) sposób wykonania na podstawie projektu; d) wykazanie spodziewanych korzyści, albo strat i szkód, których się w razie zaniechania należy obawiać; e) wymienienie wszystkich uprawnionych do wody i innych interesowanych osób, na których prawo zamierzone przedsiębiorstwo oddziałuje, z dołączeniem ich ewentualnych oświadczeń; f) wyszczególnienie gruntów i zakładów wodnych, które mają być odstąpione, albo obciążone służebnościami, z wymienieniem właścicieli; wymienienie uprawnionych do wody, z dołączeniem wyciągów z księgi gruntowej, tabel likwidacyjnych, wyciągów z księgi wodnej itp.; g) przy zakładach do zużytkowania popędowej siły wody oznaczenie dającej się uzyskać największej siły wodnej, jak również siły wodnej żądanej przy niskim stanie wody.

Do podania ma być dołączony szczegółowy projekt techniczny sporządzony przez uprawnionego znawcę. Wyjątkowo, przy przedsiębiorstwach o większym rozmiarze, dla których opracowanie projektu szczegółowego wymagałoby znacznych kosztów, może władza zgodzić się na przedłożenie projektu generalnego.

Postępowanie administracyjne przy udzieleniu zezwolenia. Po wniesieniu podania ma władza właściwa przede wszystkim sprawdzić, czy zachodzą przewidziane przez ustawę warunki do udzielenia pozwolenia, oraz czy zamierzone użytkowanie odpowiada przepisom ustawy.

Jeżeli przedsiębiorstwo jest widocznie niedopuszczalne, lub jeżeli przedsiębiorca żąda przyznania mu prawa wyłączenia, lub ustanowienia służebności, które mu według ustawy nie przysługują, należy podanie odrzucić. Jeżeli zaś nie zachodzą okoliczności, któreby uzasadniały odrzucenie podania, lub jeśli przedsiębiorcy dostarczyli żądanych wyjaśnień i uzupełnień, albo mimo oznajmionych im wątpliwości obstają przy swym projekcie, należy przystąpić do dalszego postępowania.

Władza ma podać do publicznej wiadomości o zamierzonym przedsiębiorstwie przez wywieszenie ogłoszenia w swej siedzibie, oraz we wszystkich gminach, na które przedsiębiorstwo się rozciąga, lub na które może oddziaływać. W razie uznania przez władzę, należy zamieścić ogłoszenie w dzienniku urzędowym i w dziennikach miejscowych. Ogłoszenie ma zawierać nazwisko starającego się o zezwolenie, krótki opis przedsiębiorstwa, oraz termin i miejsce rozprawy komisyjnej; w ogłoszeniu należy także podać, gdzie jest projekt wyłożony do przejrzenia dla ogółu.

Władza wezwie do rozprawy przez udzielenie odpisu ogłoszenia przedsiębiorcę i wszystkie wiadome jej osoby interesowane.

Urzednicy przeprowadzający rozprawę, a zwłaszcza znawca techniczny, mają z urzędu zwrócić uwagę na wszystkie okoliczności oddziałujące na interesy publiczne i przestrzegać, by wskutek zamierzonego przedsiębiorstwa, lub związanych z niem robót, interesy te nie doznały uszczerbku. W razie pomyślnego wyniku dochodzeń wyda władza pozwolenie.

Pozwolenie ma zawierać: a) dokładny opis udzielonego uprawnienia; b) określenie czasu na jaki wydaje się pozwolenie; c) oznaczenie terminu rozpoczęcia i ukończenia budowy, oraz puszczenia przedsiębiorstwa w ruch; d) przepisanie urządzeń zabezpieczających interesy publiczne i prawa prywatne, zastrzeżenie potrzebnych warunków; e) załatwienie wszystkich wniosków, żądań i zarzutów, podniesionych w toku dochodzenia, oraz odesłanie interesowanych na drogę sądową co do spraw spornych (osiągnięte w toku postępowania porozumienia należy również zamieścić); f) dokładne oznaczenie przedmiotów wywłaszczenia, lub ustanowienia służebności, ustalenie odszkodowań, względnie zastęczenie ustalenia na później; g) dokładny opis gruntów i urządzeń, które ma nabyć przedsiębiorca i ustalenie odszkodowania.

W pozwoleniu należy zastrzedz zbadanie po ukończeniu budowy (kolaudacja), czy urządzenia przedsiębiorstwa odpowiadają pozwoleniu. W razie gdyby co do istotnych części tych urządzeń odstąpiono od pozwolenia, ma władza zabronić puszczenia przedsiębiorstwa w ruch i zobowiązać starającego się do uzyskania pozwolenia dodatkowego, o ile nie zajdzie potrzeba zastosowania dalej idących środków przymusowych.

Jeżeli dochodzenie przeprowadzono na podstawie projektu generalnego, przyczem stwierdzono dopuszczalność i wykonalność przedsiębiorstwa, ma władza wydać pozwolenie wstępne, w którym należy wyznaczyć przedsiębiorstwu możliwie jaknajkrótszy termin do przedłożenia projektu szczegółowego.

Co do budowli i urządzeń, dla których pozwolenie nie jest wymagane (budowle przedsiębrane przez państwo, na podstawie projektów zatwierdzonych przez ministerstwo robót publicznych), należy zarządzić dochodzenie, rozprawę jednak i orzeczenie ograniczyć tylko do zbadania i rozstrzygnięcia zarzutów i żądań interesowanych odnośnie do przewidzianych w projektach urządzeń.

Przepisy formalne o zarządzeniu dochodzeń należy przestrzegać także przy zarządzeniu rozpraw komisyjnych dla oznaczenia linii brzegowej, dla ustalenia rozmiaru i własności

ści gruntów uzyskanych wskutek budowli regulacyjnych, tudzież do oznaczenia stanu i ilości wody.

Władza może w toku postępowania wydać potrzebne zarządzenia tymczasowo z urzędu w celu strzeżenia interesów publicznych, na wniosek zaś interesowanych w celu powstrzymania niebezpieczeństwa, lub szkody dla interesów prywatnych.

Władze administracyjne są obowiązane przestrzegać, by zarządzenia w sprawach wodnych były wykonywane. Są one uprawnione wymuszać przeprowadzenie swych zarządzeń przez zagrożenie i nakładanie na opieszłych kar, po myśli dalszych postanowień ustawy, a w razie potrzeby same wykonać, lub polecić osobom trzecim usunięcie niedopuszczalnych stosunków, lub przywrócenie stanu pierwotnego na koszt opieszłych.

Księga wodna. Każde starostwo lub gmina, której poruczono administrację swego okręgu, ma prowadzić księgę wodną, wraz ze zbiorem map wodnych i dokumentów, w której mają być uwidocznione wszystkie w powiecie już istniejące i nowo nabyte uprawnienia używania wody, jakoteż wszystkie postanowienia co do wysokości, piętrzenia, ilości wody i zachodzące w tym względzie zmiany, z powołaniem się na odnośne orzeczenie. Również należy co do każdej spółki wodnej statut, spis członków spółki, spis członków zarządu, względnie wydziału, jak również podpisy osób podpisujących za zarząd uwidocznić w osobnym dodatku do księgi wodnej.

Tworzenie spółek wodnych. Postępowanie w celu utworzenia spółki wodnej może władza wdrożyć z urzędu, lub na wniosek interesowanych. Jeżeli utworzenia spółki żądają interesowani, mają oni przedłożyć odnośny projekt.

Projekt dla utworzenia spółki wodnej ma zawierać:

a) potrzebne rysunki i objaśnienia; b) kosztorys przedsiębiorstwa; c) wykaz gruntów, kopalń i zakładów przemysłowych, z podaniem nazwisk właścicieli i używających, spółek i innych związków, które mają być do udziału pociągnięte.

Postanowienia karne. Ściganie i karanie czynów karygodnych poniżej wymienionych, o ile nie podpadają pod powszechną ustawę karną, należy do terytorjalnie właściwych starostw, względnie gmin, którym poruczono administrację własnego okręgu.

Wszelkie uszkodzenia i nadwyrężenia urządzeń wodnych, tudzież przekroczenia ustawy wodnej, oraz przepisów i zarządzeń na podstawie tej ustawy wydanych, podlegają karze grzywny. Wyższemu wymiarowi grzywny ulegają następujące czyny karygodne: a) samowolne wprowadzenie do wody materiałów stałych lub cieczy mogących ją zanieczy-

ścić; b) zaniechanie umieszczenia lub utrzymania znaków wodnych (przy zakładach spiętrzających wodę); c) przez samowolne unieruchomienie zakładu spiętrzającego wodę; d) przez samowolne spuszczenie nagromadzonej wody; e) przez spiętrzenie wody ponad dozwoloną, lub spuszczenie poniżej dozwolonej wysokości; f) przez samowolne wykonanie budowli w obszarze zalewowym; g) przez niedotrzymanie warunków zastrzeżonych w pozwoleniu władzy.

W wypadkach uszkodzenia budowli regulacyjnych, kęp wikliny, albo wałów ochronnych, przez pasienie, albo przepędzanie zwierząt domowych, niezależnie od ścigania właściwego sprawcy, podpadają karze właściciele tych zwierząt, którzy nadto są odpowiedzialni za wyrządzoną szkodę.

Grzywny nakładane na mocy ustawy wodnej wpływają do skarbu państwa i mają być użyte na wykonanie i utrzymanie budowli wodnych w interesie publicznym.



OMYŁKI DRUKU.

Strona	wiersz	zamiast	ma być
15	24 od góry	Także	Takie
23	4 " "	Gersthofem	Gersthofen
23	16 " "	0,87 m ³ /km ²	t. j. 0,87 m ³ /km ²
33	3 " "	u (wykładnik)	n
46	2 " "	Δp	Δh
58	3 od dołu	Bauerverwaltung	Bauverwaltung
63	5 " "	2,622 $\sqrt[3]{0,95}$	2,622 : $\sqrt[3]{0,95}$
66	18 " "	od	do
66	rysunek	90	21
105	20 od góry	Lindhaego	Lindboego
111	9 od dołu	1 0-49 (wykładnik)	1-0-49
119	2 " "	$\frac{3}{4} S_{tm} = \frac{4}{3} n t m^2$	$S_{tm} = 6 n t m^2$
119	1 " "	$\frac{Q}{4 n k \sqrt{i}}$	$\frac{Q}{6 n k \sqrt{i}}$
120	1 od góry	16	36
120	24 " "	zmniejszyć	zwiększyć
123	(rys. 42)	średnia szerokość	średnia chyżość
139	3 od dołu	krzyżową	krzywą
167	19 od góry	w	o
219	20 " "	rozszerzyło się	rozszerzyło się koryto
234	13 od dołu	o ile	o ileby
264	11 " "	sosnowych	z sosnowych
307	3 od góry	lewym	prawym
317	10 " "	Wołdzie	Woldze
318	10 " "	umożliwieniu	umożliwienia
319	6 " "	wyjątkowo	wyjątkowe
323	2 " "	Zabudowanie	Zabudowania
338	7 od dołu	jedną	jedną
357	15 " "	ciężary	ciężary
372	12 od góry	stworzenia	stworzenie
380	12 " "	pośrednio	bezpośrednio.
431	9 " "	T	t
441	24 " "	pasienie	pasienia
448	27 " "	zastosowania	zastosowanie





BIBLIOTEKA GŁÓWNA

350465L/M