

C3

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

INSTYTUT GÓRNICTWA

Zbigniew NĘDZA

Wpływ gęstości powietrza oraz oporów wyrobisk
górnictw na parametry wznoszących się prądów
powietrznych i efektywność ich stabilizacji
podczas pożarów podziemnych

Praca doktorska

Promotor

Prof.dr hab.inż. Henryk Bystroń

WROCŁAW 1976

Nr. 3132

SPIS TREŚCI

strona

1. Wstęp - charakterystyka zagrożenia pożarowego, rola stabilizacji rozplywu powietrza w kopalniach	7
2. Aktualny stan wiedzy w problemie stabilizacji rozplywu powietrza w kopalni	17
2.1. Aktualny stan wiedzy w problemie wpływu gęstości powietrza lub jego temperatury na kierunek prądu powietrznego i jego wydatek	17
2.2. Aktualny stan wiedzy w problemie stabilizacji kierunków prądów powietrznych w kopalni	20
2.3. Krytyczna ocena aktualnego stanu wiedzy w problemie stabilizacji rozplywu powietrza w kopalni	34
3. Teza pracy doktorskiej	39
4. Ważniejsze założenia upraszczające i definicje niektórych terminów stosowanych w rozprawie	40
5. Wpływ gęstości powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym na kierunki i normalne wydatki objętościowe prądów głównego i bocznego w kopalni o wznoszącym się przewietrzaniu	45
5.1. Wprowadzenie	45
5.2. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem	50
5.2.1. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem przy wykonywania stabilizacji normalnego wydatku prądu głównego	50
A. Zmiany dysypacji energii w zależności od zmian gęstości	50
B. Zmiany dysypacji energii w zależności od zmian temperatury	57
5.2.2. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem przy wykonywania stabilizacji normalnego wydatku prądu bocznego	65
5.2.3. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem przy niewykonywania żadnej stabilizacji	69

A. Zmiany normalnego wydatku prądu bocznego w zależności od zmian gęstości przy założeniu $(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb}) = m$	69
B. Zmiany normalnego wydatku prądu głównego w zależności od zmian gęstości przy założeniu $(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb}) = m$	79
C. Zmiany normalnego wydatku prądu bocznego w zależności od zmian gęstości przy założeniu $\dot{V}_{na} / \dot{V}_{nb} = m$	85

5.2.4. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem w okresie po wystąpieniu odwróceń prądów bocznych	90
--	----

A. Zmiany dysypacji energii w drugim prądzie bocznym w zależności od zmian gęstości	90
B. Zmiany dysypacji energii w trzecim prądzie bocznym w zależności od zmian gęstości	98

6. Nierównościowe kryteria stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego oraz efektywność stabilizacji kierunku tego prądu w uaktywnionych normalnych sieciach kopali o wznoszącym się przewietrzaniu	110
--	-----

6.1. Wprowadzenie	110
-------------------------	-----

6.2. Nierównościowe kryteria stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego	113
---	-----

6.2.1. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczące sieci złożonej z trzech oczek niezależnych	113
---	-----

6.2.2. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczące sieci złożonej z czterech oczek niezależnych	117
---	-----

6.2.3. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczące sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych	120
---	-----

6.2.4. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczące sieci złożonej z sześciu oczek niezależnych	124
--	-----

6.3. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego	129
---	-----

6.3.1. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z trzech oczek niezależnych	129
A. Wpływ oporu tany R_{tw} w prądzie głównym na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego	129
B. Wpływ oporu R_s bocznicy grupowych na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego	134
C. Wpływ oporu R_z bocznicy grupowych na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego	139
D. Wpływ oporu R_w bocznicy głównej na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego	143
E. Wyniki obliczeń współczynnika efektywności stabilizacji	148
6.3.2. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z czterech oczek niezależnych	150
6.3.3. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych	152
6.3.4. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z sześciu oczek niezależnych	154
7. Możliwości praktycznego zastosowania uzyskanych rozwiązań dla dalszej poprawy bezpieczeństwa kopalń LGOM i ekonomiki ich wentylacji	157
8. Wnioski	163
Załączniki.....	165
Spis literatury	169

Rys. 1.1. Wskaźnik pożarowości w kopalniach węgla kamiennego w latach 1948 do 1975	8
2.1. Przekątna sieć pasywna I typu z jednym wentylatorem	22
2.2. Normalna sieć pasywna I typu z dwoma wentylatorami	22
2.3. Normalna sieć pasywna II typu z dwoma wentylatorami	22
2.4. Wpływ boczny w postaci dodatkowej bocznicy ..	26
2.5.a Przestrzenny schemat przewietrzania kopalni z dwoma oczkami niezależnymi	26
2.5.b Graficzne kryterium kierunków przepływu prądu głównego wewnętrznego ($\dot{V}_w$) i bocznego ($\dot{V}_b$) w kopalni o wznoszącej się wentylacji	26
5.1. Przepływ powietrza w bocznicy (d-w)	46
5.2. Schemat sieci wentylacyjnej z pożarem w bocznicy (1-A-2)	46
5.3. Wykres zależności $\xi_{mp} = f(R_{nb} \dot{V}_{nb}^2)$	56
5.4. Wykres zależności $T_{mp} = f(R_{nb} \dot{V}_{nb}^2)$	64
5.5. Wykres zależności $\xi_{mp} = f(R_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2)$...	68
5.6. Wykres zależności $\xi_{mp} = f(\dot{V}_{nb})$	76
5.7. Wykres zależności $\xi_{mp} = f(\dot{V}_{nb})$ dla $\dot{V}_{no} \neq 0$...	78

Rys. 5.8.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(\dot{V}_{na})$	.....	81
5.9.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(\dot{V}_{na})$ dla $\dot{V}_{no} \neq 0$	..	86
5.10.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(\dot{V}_{nb})$	.....	91
5.11.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(R_{nc} \dot{V}_{nc}^2)$	.....	95
5.12.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(R_{nc} \dot{V}_{nc}^2)$	.....	99
5.13.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(R_{nd} \dot{V}_{nd}^2)$	.....	104
5.14.	Wykres zależności	$\mathcal{S}_{mp} = f(R_{nd} \dot{V}_{nd}^2)$	.....	108
6.1.	Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnio- nej sieci wentylacyjnej złożonej z trzech oczek niezależnych		.....	114
6.2.	Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnio- nej sieci wentylacyjnej złożonej z czterech oczek niezależnych		.....	114
6.3.	Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnio- nej sieci wentylacyjnej złożonej z pięciu oczek niezależnych		.....	121
6.4.	Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnio- nej sieci wentylacyjnej złożonej z sześciu oczek niezależnych		.....	121
6.5.	Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_{tw})$	.....	132
6.6.	Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_{tw})$ przy $R_s = \text{var}$	..	135
6.7.	Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_s)$	.....	138
6.8.	Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_{tw})$ przy $R_z = \text{var}$	..	141
6.9.	Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_z)$	.....	144

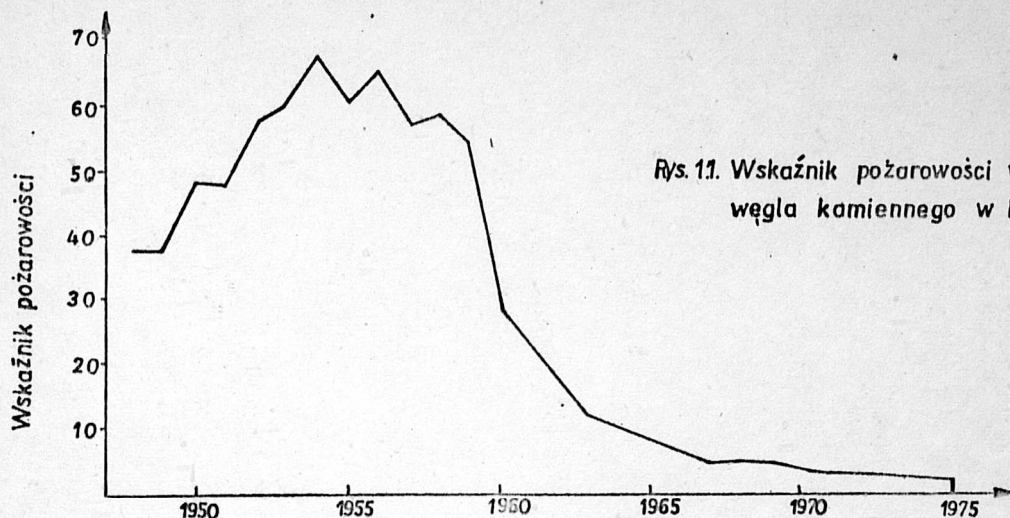
Rys. 6.10. Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_{tw})$ dla $R_w = \text{var}$...	147
6.11. Wykres zależności	$\beta_1 = f(R_w)$	149
7.1. Schemat przestrzenny sieci wentylacyjnej skła-	dającej się z k oczek niezależnych	161

1. WSTĘP - CHARAKTERYSTYKA ZAGROŻENIA POŻAROWEGO, ROLA STABILIZACJI ROZPLYWU POWIETRZA W KOPALNIACH

Oceniając zagrożenie pożarowe kopalń węgla kamiennego stosujemy wskaźnik pożarowości, określaną jako liczba pożarów przypadających w danym roku na jeden milion ton wydobytogo węgla [40]. Na rysunku 1.1. przedstawione zostały wartości tego wskaźnika w latach 1948-1975 [40]. Z rysunku tego wynika, że duże zagrożenie pożarowe występowało w kopalniach węgla kamiennego w latach 1948 do 1956. Natomiast od 1956 roku obserwujemy spadek zagrożenia pożarowego, czego wyrazem jest znaczne zmniejszenie się wskaźnika pożarowości, który od 1964 roku jest mniejszy od jedności. Te poważne osiągnięcia w zwalczaniu pożarów podziemnych są wynikiem zastosowania między innymi takich środków, jak:

- wycofanie światła otwartego z wyrobisk podziemnych,
- zwiększenie intensywności przewietrzania wyrobisk podziemnych,
- zmodernizowanie kopalnianych sieci wentylacyjnych,
- wprowadzenie wczesnego wykrywania pożarów,
- zainstalowanie przeciwpożarowych urządzeń sygnalizacyjno -
- alarmowych oraz
- zastosowanie rozbudowanej sieci wodnych rurociągów przeciwpożarowych.

Przyczyną powstawania pożarów w każdej kopalni mogą być przyczyny zewnętrzne, tj. zewnętrzne źródła ciepła o dostatecznie wysokiej temperaturze i działające dostatecznie długi



Rys. 11. Wskaźnik pożarowości w kopalniach węgla kamiennego w latach 1948 do 1975

Pożary w kopalniach LGOM w latach 1970÷1975

Tablica 1.1

Data	Miejsce	Objawy	Sposób ugazszenia	Przyczyna
29.IV.1970	ZG Polkowice poziom +24m wieża wyciągowa nad szybem P II	Dymy	Ugaszenie ręką	Zaproszenie ognia przy spawaniu (ewentualnie przez rzucenie niedopałka na pokrycie papowej)
24.IX.1970	ZG Polkowice poziom 810 m piwnica napędów urządzeń przyszy- bowych.	Otwarty ogień	Ugaszenie za pomocą sprzętu ratowniczego (zastępy ratownicze)	Wykorzystanie robót spawalniczych nad piwnicą zanieczyszczoną materiałami łatwopalnymi. Niedostateczne środki ochrony przy spawaniu.
17.X.1971	ZG Polkowice Rozdzielnia główna G-ST-2 w rotu- ndzie R-3	Dym i ogień	Ugaszenie za pomocą sprzętu gaśniczego (7 agregatów i gaśnic śniegowych)	Zwarcie w polu nr 5 na izolatorach przepustowych łączących dławik oraz zwarcie w moście szynowym transformatora nr 3.
27.IX.1973	ZG Polkowice oddz. G-14 przecinka 206 poz. 810÷850 m	Zapalenie się oleju napędowego na powierzchni wody.	Pożar trwał około 20 minut, poczym samoczynnie zgaśł.	Przewrócenie się palącej lampy lutowni- czej na spąg w pobliżu lustra wody pokrytego warstwą oleju napędowego. Niewłaściwe przygotowanie prac przy naprawie uszkodzonego kabla wysokiego napięcia.
25.X.1973	ZG Polkowice szyb P I	Zapalenie miatu rudnego nasyczonego olejem.	Ugaszenie za pomocą sprzętu gaśniczego.	Niewłaściwe zorganizowanie spawania, niska dyscyplina pracy przy wykonywaniu prac spawalniczych.
31.VIII.1975	ZG Polkowice oddział G 1/4	Gęste dymy	Ugaszenie za pomocą sprzętu gaśniczego.	Przyczyną był pożar przenośnika taśmowego (niewłaściwe rozwiązanie konstrukcyjne i niewłaściwe wykonanie ołożyskowania bębna urządzenia napinającego na osi).

okres czasu lub przyczyny wewnętrzne, tj. przemiany chemiczne i fizyczne doprowadzające w kopalniach węgla i niektórych rud do samozapalenia kopaliny samozapalnej (jak węgiel i niektóre rudy).

W kopalniach rud miedzi w LGOM (tablica 1.1.) pożar może spowodować tylko zewnętrzne źródło ciepła. Jak wynika z przedstawionej tablicy 1.1. ilość tych pożarów jest niewielka.

Zmniejszająca się ilość pożarów w kopalniach węgla, oraz mała ilość pożarów w kopalniach rud miedzi, nie może zwalniać osób dozoru ruchu od znajomości teorii walki z pożarami i pełnego przygotowania do praktycznego zwalczania tego zagrożenia.

Zawsze bowiem z eksploatacją podziemną nierozzerwalnie związane jest zagrożenie kopalń pożarami egzogenicznymi, a tym samym stale trzeba dążyć do przygotowania załogi do walki z pożarami. Istotną zaś cechą pożarów egzogenicznych jest to, że mogą one powstawać nieoczekiwanie i nagle w każdym miejscu kopalni, gdzie obok powietrza (tlenu) znajduje się materiał palny i źródło ciepła. Z praktyki górnictwa światowego wiadomo, że każdy pożar egzogeniczny w prądzie powietrza świeżego grozi poważną katastrofą.

Walka z pożarami podziemnymi należy do najbardziej niebezpiecznych i najtrudniejszych prac górniczych. Kierowanie akcją przeciwpożarową wymaga nie tylko dużego doświadczenia praktycznego, ale również niezbędnych wiadomości z zakresu pożarów podziemnych. Wiadomości te sprowadzają się do trzech podstawowych zagadnień:

- zapobiegania powstawania pożarów podziemnych (tj. profilaktyki pożarowej),

- zabezpieczenia ludzi i kopalń w przypadku powstania pożaru oraz
- skutecznej likwidacji pożarów.

Stosowanie środków mających na celu niedopuszczenie do powstania pożarów powinno być oparte na poznaniu przyczyn ich powstania oraz ich przebiegu. Znając mechanizm powstawania i przebiegu pożarów podziemnych można stosować właściwe wczesne ich wykrywanie, można uniknąć zaskoczenia w razie pojawienia się dymów oraz przedsięwziąć na czas środki w celu zabezpieczenia ludzi i zlokalizowania pożaru w dostatecznie wczesnej fazie rozwoju pożarów.

Szybka i skuteczna likwidacja powstałego pożaru jest możliwa wówczas, gdy w dostatecznie krótkim czasie potrafimy określić miejsce ogniska pożarowego, dojść do niego i szybko otamować możliwie małą przestrzeń. Im później zauważymy pożar oraz im później przystąpimy do tamowania zaognionej przestrzeni, tym większa będzie intensywność pożaru, większa ilość prądów może ulec odwróceniu oraz większa część kopalni zostanie zadymiona. W przypadku akcji przeciwpożarowej opóźnionej będzie utrudnione i niebezpieczne dojście do ogniska pożarowego oraz będzie istnieć możliwość, że kierownik akcji przeciwpożarowej będzie zdezorientowany co do miejsca ogniska pożarowego. Wówczas zazwyczaj trzeba otamować większą ilość wyrobisk górniczych dużą ilością tam pożarowych budowanych długi okres czasu. Do skutków [3] takiej opóźnionej akcji przeciwpożarowej zaliczamy:

- straty materialne, spowodowane unieruchomieniem znacznej części kopalni,

- większe prawdopodobieństwo wybuchów,
- większe prawdopodobieństwo odwrócenia prądów powietrznych wewnątrz zaognionej przestrzeni i zwiększenia obszaru zadymionego,
- objęty tamami duży obszar staje się zbiornikiem tlenku węgla, który przez dłuższy czas po otamowaniu pola będzie się wydobywał przez szczeliny w skałach oraz nieszczelności w tamach pożarowych.

Wymienionych skutków unikniemy, lub zmniejszymy je znacznie w przypadku, gdy obszar otamowany będzie możliwie mały, co możemy osiągnąć w początkowym stadium pożaru, gdy żaden z prądów powietrznych nie jest odwrócony.

Jeżeli wystąpiły zaburzenia kierunków prądów, to dobre wyniki możemy osiągnąć wówczas, gdy zastosujemy skuteczny sposób usunięcia zadymienia kopalni i umożliwimy bezpieczne dojście do ogniska pożarowego z prądem powietrza świeżego (niezadymionego).

Wciąż jeszcze znane są kopalnie, których sieć wentylacyjna jest skomplikowana, a stan tam wentylacyjnych jest zły, w szczególności zaś stan dróg wentylacyjnych jest niezadowalający, wobec czego stosowane bywają podziemne wentylatory wtórne. Przy niewłaściwym zainstalowaniu takich wentylatorów uzyskuje się poprawę wentylacji określonych rejonów przy równoczesnym pogorszeniu wentylacji innych rejonów.

Jeżeli w takich kopalniach występują prądy o niestabilnych kierunkach, to w przypadku powstania pożaru łatwo może dojść do wybuchu gazów pożarowych i to nawet w kopalniach niemetalicznych, do których m.in. zaliczają się kopalnie LGOM.

Jest interesujące, że dotychczas mniej wybuchów gazów pożarowych w czasie pożarów w polskim górnictwie zanotowano w kopalniach niemetanowych niż metanowych.

W czasie akcji ratowniczej i przeciwpożarowej istotne znaczenie ma stabilizacja prądów powietrznych oraz znajomość^a czynników wpływających na kierunki tych prądów i na ich wydatki w wyrobiskach kopalnianych. W czasie pożarów podziemnych wypadki z ludźmi niejednokrotnie o katastrofalnych rozmiarach były spowodowane zaburzeniami w kierunkach prądów powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych. Wybuchy zaś miały miejsce przy braku stabilizacji wydatków określonych prądów powietrznych, skutkiem czego gazy pożarowe (zwłaszcza metan w kopalniach metanowych) nie były dostatecznie rozrzedzone.

Wzrost temperatury spowodowany pożarem powoduje, że z jednej strony w bocznicach nachylonych, przez które przepływają gorące dymy, pojawiają się źródła depresji cieplnej, a z drugiej strony wzrost objętości gazów spowodowany wzrostem temperatury pociąga za sobą zwiększenie prędkości przepływu powietrza oraz dysypacji energii. Badanie tych zjawisk [28] wykazuje, że wzajemnie przeciwdziałają one sobie. Wynika z tego, że zakłócający globalny efekt pożaru nie będzie wzrastał do nieskończoności wraz ze wzrostem temperatury, lecz osiągnie maksimum przy stosunkowo niskiej średniej temperaturze dymów i gazów pożarowych. Na podstawie znajomości tej temperatury można szacować ryzyko odwrócenia kierunku przepływu powietrza w prądzie bocznym.

Kierownik akcji przeciwpożarowej powinien stosować takie czynniki, które zapobiegają zaburzeniom w przepływie

powietrza. Dotyczy to znajomości wpływu, jaki wywierają budowane tamy zasadnicze lub pomocnicze na ustabilizowanie rozplywu powietrza w sieci wentylacyjnej; w szczególności kierunków jego przepływu w określonych jej bocznicach.

W aktualnym stanie wyposażenia technicznego kopalń w zakresie wymienionej stabilizacji szczególną uwagę zwrócić należy na początkowe fazy rozwoju pożaru, za czym również przemawiają względy ekonomiczne i bezpieczeństwa górników w nowoczesnych kopalniach, do których zaliczają się między innymi kopalnie LGOM.

Pol. Wrest.

Polska nauka i praktyka górnicza od dawna szczyci się bardzo poważnymi osiągnięciami w zakresie naukowych zasad prowadzenia akcji przeciwpożarowej opracowanych przez W. Budryka. Zasady te w ostatnim okresie czasu są wdrażane za granicą, zwłaszcza w górnictwie zachodnioeuropejskim. Zasady te dały np. w Belgii impuls do dalszych badań teoretycznych, a w RFN do badań eksperymentalnych w Kopalni Doświadczalnej Tremonia w Dortmundzie.

W niniejszej pracy startuje się m.in. z wyników wspomnianych badań teoretycznych przeprowadzonych w Belgii, jak również korzysta się z osiągnięć polskich w zakresie tzw. aktywnych sieci wentylacyjnych, co szczegółowo przedstawione jest w dalszym ciągu tej pracy. Należy podkreślić, że mimo bardzo poważnych osiągnięć w problemie stabilizacji rozplywu powietrza w kopalniach problem ten wciąż jest jeszcze otwarty. Niniejsza praca dotyczy tego problemu i ma na celu rozwiązanie jednego z wielu zagadnień dotychczas otwartych, co przedstawimy w następnych rozdziałach.

Zanim przejdziemy do dalszych rozdziałów tej pracy, nadmieniamy, że chcąc przedstawić tezę naukową niniejszej rozprawy - tzn. zagadnienia, które postawimy do rozwiązania w tej pracy - rozpatrzemy aktualny stan wiedzy w zakresie stabilizacji rozplywu powietrza w kopalni, przy czym w całej pracy interesować się będziemy kopalniami o wznoszącym się przewietrzaniu. Do takich bowiem kopalń z jednej strony zaliczają się kopalnie LGOM, dla których adresowana jest ta praca, z drugiej zaś strony problem stabilizacji kierunków wznoszących się prądów powietrznych jest tak bardzo skomplikowany, że wciąż jeszcze nie można powiedzieć o możliwościach jego zamknięcia, wobec czego dążenie do objęcia tą pracą kopalń o schodzącym przewietrzaniu prowadziłoby do nadmiernego i nieuzasadnionego rozszerzenia rozprawy doktorskiej. Problem kopalń o schodzącym przewietrzaniu jest równie bardzo, a może bardziej, skomplikowany niż kopalń o wznoszącym przewietrzaniu.

Przedstawiając aktualny stan wiedzy w problemie stabilizacji rozplywu powietrza w kopalniach o wznoszącym przewietrzaniu zwrócimy główną uwagę na gęstość masy zadymionego powietrza, tj. powietrza kopalnianego, do którego przy jego przepływie przez ognisko pożarowe dołączają się dymy i gazy pożarowe. Powietrze to na drodze od ogniska pożaru do wentylatora głównego można również - zgodnie ze zwyczajem przyjętym powszechnie w praktyce - zwać dymami i gazami pożarowymi. Zajmując się gęstością średnią powietrza kopalnianego w bocznicy za ogniskiem pożarowym zwrócimy uwagę w szczególności na jej wpływ na kierunki i wydatki prądów powietrznych (rozdział 2.1), zwanych w temacie parametrami prądów powietrznych.

Z kolei przedstawimy aktualny stan wiedzy w problemie stabilizacji kierunków prądów powietrznych w kopalniach (rozdział 2.2.). Następnie podamy krytyczną ocenę aktualnego stanu wiedzy w omawianych zakresach (rozdział 2.3.) i z kolei formułujemy tezę naukową niniejszej rozprawy doktorskiej (rozdział 3).

Teza niniejszej rozprawy dotyczy 2 zagadnień: 1) ustalenie wpływu gęstości średniej powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym na kierunki i normalne wydatki objętościowe prądów powietrznych głównego i bocznego w kopalnianych aktywnych sieciach wentylacyjnych złożonych co najmniej z trzech oczek niezależnych, 2) wyprowadzenie nierównościowych kryteriów stabilizacji kierunków tzw. bocznych wznoszących się prądów powietrznych w uaktywnionych sieciach wentylacyjnych złożonych z co najmniej trzech oczek niezależnych oraz określenie efektywności stabilizacji kierunków prądów powietrznych w tych bocznicach przy zastosowaniu stabilizacyjnych tam dławiących.

Wymienione tu zagadnienia razem wzięte mają istotne znaczenie dla kopalń LGOM.

W rozdziale 5 przeprowadzamy badania mające na celu ustalenie zależności pomiędzy średnią gęstością powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym a dysypacją energii oraz wydatkiem normalnym w prądzie głównym i prądzie bocznym wznoszącym się, przy wykonywaniu stabilizacji normalnego wydatku prądu głównego, prądu bocznego oraz też bez wykonywania stabilizacji. Wyprowadzone zależności pozwalają na określenie gęstości, przy której następuje odwrócenie kierunku przepływu prądu bocznego oraz zmian wydatku normalnego i dysypacji w prądzie głównym w wyniku pożaru podziemnego.

W rozdziale 6 wyprowadzimy nierównościowe kryteria stabilizacji kierunków prądów bocznych wznoszących się dla sieci wentylacyjnych złożonych z trzech, czterech, pięciu i sześciu oczek niezależnych. Na podstawie wyprowadzonych kryteriów stabilizacji oraz zaproponowanych współczynników: dławienia i efektywności stabilizacji, przeprowadzimy rozważania nad efektywnością stabilizacji kierunku prądu bocznego.

W rozdziale 7 przedstawimy możliwości praktycznego zastosowania uzyskanych rozwiązań dla dalszej poprawy ekonomii i bezpieczeństwa kopalń LGOM. Wreszcie pracę tę zakończymy wnioskami (rozdział 8).

2. AKTUALNY STAN WIEDZY W PROBLEMIE STABILIZACJI ROZPŁYWU POWIETRZA W KOPALNI

2.1. Aktualny stan wiedzy w problemie wpływu gęstości powietrza lub jego temperatury na kierunek prądu powietrznego i jego wydatek

Pożar podziemny jako źródło energii może być przyczyną zaburzeń w rozplywie powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej. Problem ten był przedmiotem badań wielu naukowców polskich, jak np. W. Budryka [7], J. Mączyńskiego [24,25], J. Wacławika [27,30,38] oraz naukowców zachodnioeuropejskich [28] i innych [18,32].

W. Budryk w 1929 roku stworzył termodynamiczną teorię depresji cieplnej [2], na której oparł teorię stabilizacji kierunków prądów powietrznych, nazwaną przez Niego naukowymi zasadami prowadzenia akcji przeciwpożarowych w kopalniach [3].

W. Budryk w 1950 roku opracował pojęcie lokalnej depresji cieplnej [7] i w dalszych latach opublikował szereg oryginalnych prac [4,5,6].

J. Mączyński [24] rozważał wpływ nagrzewania skał na temperaturę przepływających gazów w oparciu o równania hydromechaniki i energii oraz przewodnictwa cieplnego. W roku 1965 omówił [25] problem wpływu gęstości powietrza w kopalni na zachodzący w niej ruch powietrza. Zwrócił uwagę na fakt, że samo równanie ruchu powietrza nie wystarcza do opisanie przepływu, lecz należy dodatkowo posłużyć się znajomością pola temperatury powietrza.

J. Wacławik [30], korzystając z układu następujących 3 równań:

- równania ciągłości

$$\frac{\partial g(s,t)}{\partial s} S(s) w(s,t) + S(s) \frac{\partial g(s,t)}{\partial t} = 0 \quad (2.1.1)$$

- równania ruchu

$$\frac{1}{g} \frac{Dw(s,t)}{Dt} = -\frac{1}{g} \frac{\partial p(s,t)}{\partial s} - \frac{dz}{ds} - i - \sum_j i_{lj} d(s-s_j) + \sum_i \frac{h_i}{g} d(s-s_i) \quad (2.1.2)$$

- oraz równania stanu gazów doskonałych

$$\frac{p}{g} = RT \quad (2.1.3)$$

Wyprowadził następujący warunek na kierunek przepływu powietrza od punktu 1 do punktu 2 w bocznicy z k - wentylatorami o spiętrzeniach h_{k0}

$$\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) < - \int_{s_1}^{s_2} \frac{dz}{RT} + \sum_k \frac{h_{k0}}{g_0} \frac{1}{RT} \quad (2.1.4)$$

We wzorach (2.1.1.) do (2.1.4.) przyjęto oznaczenia:

g - lokalne przyspieszenie siły ciężkości,

p - ciśnienie statyczne, bezwzględne powietrza,

g - gęstość powietrza,

s - współrzędna bieżąca (odległościowa, liczona np. od zrębu szybu wdechowego),

t - czas,

i - jednostkowy spadek hydrauliczny pochodzący od oporu

rozłożonego, tj. oporu występującego wzdłuż wyrobiska,

i_{lj} - spadek hydrauliczny, jaki występuje w j-tym skupionym oporze lokalnym,

h_i - różnica ciśnień wytworzona przez i-ty wentylator umieszczony w przewodzie w punkcie o współrzędnej s_i ,

$\delta=(s-s_j)$ - funkcja delta Diraca,

$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + w \frac{\partial}{\partial s}$ - symbol pochodnej substancjonalnej [30].

Nadmienić należy, że w niniejszej pracy znajduje zastosowanie jedynie międzynarodowy układ jednostek miar SI, wobec czego nie podaje się jednostek miar wielkości występujących w równaniach, zależnościach i wzorach podanych w tej pracy.

J. Wacławik [30] zaproponował również metodę określania objętości strumienia (wydatku objętościowego) powietrza w wyniku zmian gęstości powietrza w kopalni na drodze kolejnych przybliżeń przy korzystaniu z pola ciśnień.

Przytoczone prace w zasadzie nie precyzują w jaki sposób zmiany gęstości powietrza w bocznicy za ogniskiem pożarowym w miarę rozwoju pożaru wpływają na zmianę normalnego wydatku objętościowego powietrza oraz kierunek jego ruchu. Interesująco zagadnienia te zostały przedstawione w pracy zbiorowej naukowców zachodnioeuropejskich opublikowanej w 1968 roku [28]. W pracy tej korzystając z równania ruchu, wyprowadzono m.in. zależność dysypacji energii w prądzie bocznym od gęstości średniej powietrza lub jego temperatury średniej w bocznicy za ogniskiem pożarowym, przy czym zależność ta dotyczy tzw. pierwszego oraz drugiego prądu bocznego. Są to zależności:

$$RV^2 = f(\rho_m p)$$

oraz

$$RV^2 = f(T_m p)$$

gdzie:

R - opór,

V - normalny wydatek objętościowy,

ρ_{mp} - średnia gęstość powietrza,

T_{mp} - średnia temperatura powietrza.

Zależności powyższe, dotyczące pierwszego prądu bocznego, również zostały w pracy [28] przedstawione graficznie. Dla drugiego prądu bocznego, przy odwróconym kierunku przepływu w pierwszym prądzie bocznym zostały podane zależności funkcyjne. Z uwagi na to, że są one skomplikowane, usiłowano - na podstawie ich analizy - omówić ich przebiegi, bez podawania jednak ich obrazu graficznego.

Nadmienić należy, że w dalszym ciągu tej pracy nawiązujemy do wyżej wymienionych zależności, co również odpowiednio podkreślimy, a to z uwagi na ich znaczenie dla przedstawianego w tej pracy wpływu gęstości powietrza lub jego temperatury na kierunek prądu powietrznego i jego wydatek. Problem ten bowiem ma poważne znaczenie dla górnictwa w ogóle, ale - pomimo poważnych osiągnięć - jest na skutek swej złożoności wciąż jeszcze otwarty.

2.2. Aktualny stan wiedzy w problemie stabilizacji kierunków

prądów powietrznych w kopalni

Badania nad stabilizacją rozplywu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych prowadzone są od kilkadziesiąt lat [1], [3], [5 + 14], [16 + 20], [31 + 35], [39].

Na podstawie zaobserwowanej w czasie pożaru w kopalni Saturn zmiany kierunku przepływu powietrza w bocznicy przekątnej H.Czeozott przedstawił w 1910 roku [16] niebezpieczeństwo zmiany kierunku przepływu powietrza pod wpływem czynników termicznych. Opracował teorię prądów przekątnych [16] opartą na nierównościowym kryterium stabilizacji kierunku przepływu powietrza w przekątnej bocznicy w 2-oczkowej sieci pasywnej z jednym wentylatorem [7].

Według tej teorii, dla sieci przedstawionej na rys. 2.1.) przepływ powietrza w bocznicy przekątnej c w kierunku od A do B będzie zachowany, gdy

$$\frac{a}{a'} > \frac{b}{b'} \quad (2.2.1)$$

Prąd powietrza w bocznicy c będzie płynął w kierunku przeciwnym, tj. od B do A, gdy

$$\frac{a}{a'} < \frac{b}{b'}$$

W 1927 roku T.Kogut [7] w pracy dyplomowej podał kryterium stabilizacji kierunku przepływu w normalnej bocznicy w normalnej sieci pasywnej z wentylatorem głównym oraz wentylatorem pomocniczym. Według tej teorii, dla sieci przedstawionej na rysunku 2.2.) przepływ powietrza w bocznicy b w kierunku od A do B będzie zachowany, gdy

$$\frac{\Delta p_b}{\Delta p_c} < \frac{a}{c} \quad (2.2.2)$$

Dla odwróconego kierunku przepływu powietrza w bocznicy b otrzymamy

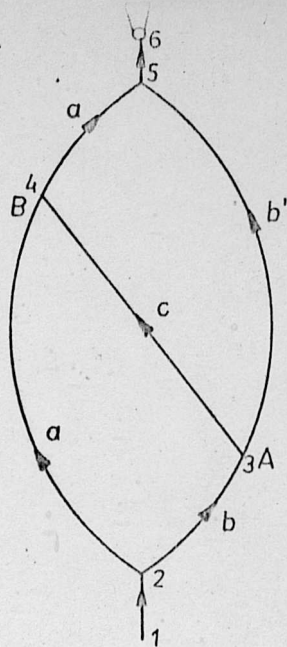
$$\frac{\Delta p_a}{\Delta p_c} > \frac{a}{c}$$

runek $A-B$

$$> \frac{b}{b'}$$

runek $B-A$

$$< \frac{b}{b'}$$



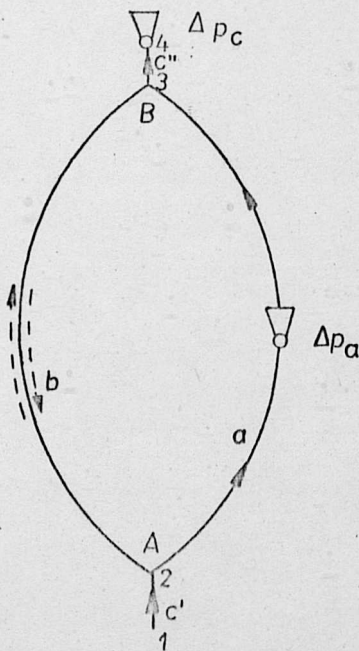
Rys 2.1. Przekątna sieć pasywna I typu z jednym wentylatorem.

runek $A-B$

$$< \frac{a}{c}$$

runek $B-A$

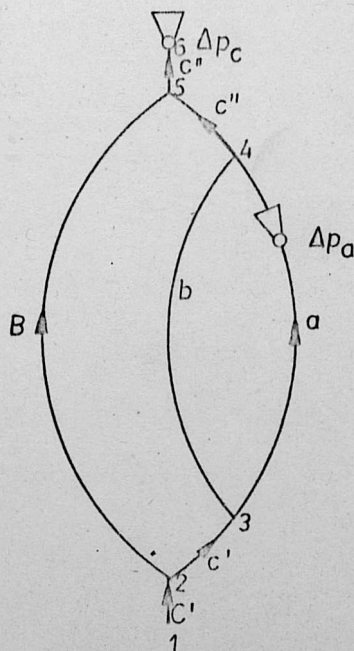
$$> \frac{a}{c}$$



Rys 2.2. Normalna sieć pasywna I typu z dwoma wentylatorami.

b zatrzymany

$$= \frac{a}{c(1 + \sqrt{\frac{c}{B}})^2 + c}$$



Rys.2.3. Normalna sieć pasywna II typu z dwoma wentylatorami.

W 1927 roku H.Czeozott 7 przedstawił kryterium stabilizacji kierunku przepływu w normalnej bocznicy w normalnej sieci pasywnej z wentylatorem głównym oraz wentylatorem pomocniczym. Dla sieci przedstawionej na rys. 2.3. prąd b zostanie zatrzymany, gdy

$$\frac{\Delta p_a}{\Delta p_c} = \frac{a}{C \left(1 + \sqrt{\frac{C}{B}} \right)^2 + C} \quad (2.2.3)$$

W 1930 roku G.Ryba [31] na podstawie wieloletniej praktyki w prowadzeniu akcji pożarowych, przedstawił opis stabilizacji rozplywu powietrza w kopalniach niemieckich. Stabilizacja ta jest przedstawiona jednak jakościowo, brak jest poparcia wywodów jakimkolwiek kryterium rachunkowym lub graficznym.

W 1930 roku W.Budryk [3] ogłosił teorię prowadzenia akcji przeciwpożarowej na kopalniach. Praca ta miała na celu (cytuje): "obok analizy matematycznej zjawisk, towarzyszących pożarom na kopalniach, znalezienie środków dla usunięcia zjawisk niepożądanych, zagrażających bezpieczeństwu załogi, znajdującej się na kopalni w chwili tamowania ognia, podanie sposobów jego odszukania oraz dojścia do niego w wypadku, gdy wskutek spóźnionej akcji ratunkowej i zadymienia znacznej części kopalni miejsce ognia nie jest dokładnie znane" [3, str. 59].

Teoria W.Budryka dotyczy stabilizacji kierunków przepływu i jest oparta na kryteriach stabilizacji, dotyczących tzw. uaktywnionych sieci pasywnych. Sieć taką uzyskał W.Budryk przez zastosowanie tzw. lokalnej depresji cieplnej w sieci pasywnej.

Depresja ta została przedstawiona przy pomocy "fikcyjnego wentylatora" zlokalizowanego w obranej bocznicy sieci pasywnej, co okazało się bardzo poważnym osiągnięciem, z którego korzysta się

do tej pory w kraju i za granicą.

Kryterium W. Budryka można napisać w postaci

$$\frac{l_w}{l_z} < \frac{R_w}{R_z} \quad (2.2.4)$$

gdzie:

l_w, l_z - depresje odpowiednio źródeł wewnętrznego (l_w) i zewnętrznego (l_z), występujących w częściach wewnętrznej (w) i zewnętrznej (z) systemu wentylacyjnego,

R_w, R_z - opory odpowiednio części wewnętrznej i zewnętrznej tego systemu.

Według teorii W. Budryka [3] pełną gwarancję, że prosty kierunek prądów został zachowany, będziemy mieli wówczas, gdy wszystkie prądy boczne, a w pierwszym rzędzie bocznicę o małym oporze zostaną otamowane i gdy w prądzie głównym posiadać będziemy tylko jedną tamę w pobliżu ogniska pożarowego; pomiędzy tą tamą a szybem wdechowym ruch powietrza nie powinien być niczym tamowany. Zamknięcie tamy w prądzie głównym przy otamowanych wszystkich prądach bocznych pomiędzy tą tamą a szybem wdechowym spowoduje zadymienie lub zagazowanie kopalni poza tamą, dając jednocześnie gwarancję, że część kopalni przed tamą nie ulegnie zadymieniu.

W 1954 roku W. Budryk [5] przedstawił szereg zagadnień dotyczących odwracania się prądów powietrznych w czasie pożarów podziemnych, omawiając odwracanie się prądów w systemach prostych lub złożonych przy pożarach w prądach wznoszących się lub schodzących. W pracy [5] zostały podane również wnioski praktyczne odnoszące się do zapobiegania zmianom kierunku prądów powietrznych.

S.Barczyk [1] w 1954 roku podał następujący warunek (kryterium nierównościowe) zachowania prostego kierunku prądu bocznego b (rysunek 2.4.) w uaktywnionej sieci pasywnej

$$q^2 < \frac{H + h_b + h_c}{c} \quad (2.2.5)$$

gdzie:

- H - depresja wentylatora głównego,
- h_b - depresja wentylatora fikcyjnego w bocznicy A-C,
- h_c - depresja wentylatora fikcyjnego w bocznicy C-D,
- q - objętościowy wydatek prądu w bocznicy B-C,
- c - opór bocznicy C-D.

W 1957 roku H.Bystroń [8] opublikował graficzne kryteria kierunków prądów powietrza w uaktywnionych sieciach pasywnych. W pracy tej przyjęto prosty normalny system przewietrzania i w jego części wewnętrznej zlokalizowano depresję cieplną (pożaru) h_{wi} oraz ognisko pożarowe, w którym zachodzi przyrost ilości gazów $\Delta \dot{V}$. Prąd główny wewnętrzny (o wydatku $\dot{V}_w$ przed ogniskiem pożaru) w tym oczku jest zatrzymany (tzn. $\dot{V}_w=0$) dla różnych par wartości przyrostu $\Delta \dot{V}$ i depresji cieplnej h_{wi} . Jedną parę wartości $(\Delta \dot{V}, h_{wi})$ znajduje się jako wynik określonego rozwiązania przyjętego systemu przewietrzania. Jedno takie rozwiązanie dostarcza jedną wartość depresji cieplnej h_{wi} , odpowiadającą założonej wartości przyrostu $\Delta \dot{V}$. Dysponując dostateczną liczbą par wartości $(\Delta \dot{V}, h_{wi})$ i traktując je jako współrzędne punktów, nanosi się te punkty na płaszczyznę prostokątnego układu współrzędnych o osi odciętych $\Delta \dot{V}$ i osi rzędnych h_{wi} .

Poprowadzone przez te punkty linie, zwane krytycznymi, przedstawiają zależność depresji h_{wi} od przyrostu $\Delta \dot{V}$ dla zatrzymania prądu głównego wewnętrznego i dla wartości oporu bocznego oraz depresji wentylatora przyjętych przy rozwiązywaniu wspomnianego systemu (rys. 2.5a).

W analogiczny sposób otrzymuje się linie krytyczne, przedstawiające zależność depresji cieplnej h_{wi} od przyrostu $\Delta \dot{V}$ dla zatrzymania prądu bocznego ($\dot{V}_b=0$) i dla tych samych wartości oporów bocznego oraz depresji wentylatora jak poprzednio.

Linie krytyczne narysowane w jednym układzie współrzędnych stanowią istotę graficznego kryterium [8] kierunków prądu bocznego $\dot{V}_b$ i prądu głównego wewnętrznego $\dot{V}_w$ (rys. 2.5b).

Na podstawie graficznych kryteriów można uzyskać dla dowolnych sieci kopalnianych określone dane mające znaczenie dla praktyki, jak na przykład:

- Cofanie prądów głównych i odwracanie prądów bocznych utrudniają: duża depresja wentylatora głównego oraz występująca w całkowitym prądzie wydechowym duża lokalna depresja cieplna.
- Tama zasadnicza zbudowana w prądzie głównym przed ogniskiem pożarowym utrudnia odwracanie się prądów bocznych, natomiast nie wywiera ona żadnego wpływu na kierunek prądu głównego. Skuteczność tej tamy maleje w miarę zmniejszania się jej oporu, jak również w miarę jak wzrasta ilość gazów w ognisku pożaru i jego sąsiedztwie.
- Tama pomocnicza zbudowana w prądzie bocznym utrudnia cofanie prądu głównego, a nie ma wpływu na kierunek prądu bocznego, w której jest zbudowana.

- Rejonowa tama regulacyjna zbudowana w prądzie wydechowym, którym płyną dymy z ogniska pożaru, utrudnia odwracanie się prądów bocznych oraz ułatwia cofanie się prądu głównego.
- Grupowe tamy bezpieczeństwa, zbudowane w prądach świeżego powietrza płynących w kierunku ogniska pożaru, ułatwiają cofanie się prądu głównego oraz odwracanie się prądów bocznych.
- Grupowe tamy bezpieczeństwa, zbudowane w prądach powietrza zużytego odprowadzających dymy, ułatwiają cofanie się prądu głównego i odwracanie się prądów bocznych.

W 1959 roku J. Litwiniszyn [23] zajmując się zagadnieniem stabilizacji automatycznej stwierdził, że dla sieci o stałej strukturze, w której przepływy są jednowymiarowe, badanie stabilności opiera się na układzie równań:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{q}_1}{dt} = \frac{a_{22} (A_1 - B) - a_{12} (A_2 - B_2)}{D} \\ \frac{d\bar{q}_2}{dt} = \frac{a_{11} (A_2 - B_2) - a_{12} (A_1 - B_1)}{D} \end{cases} \quad (2.2.6)$$

Stan ustabilizowany jest opisany układem równań:

$$\begin{cases} W_1 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) = A_1 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) - B_1 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) = 0 \\ W_2 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) = A_2 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) - B_2 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) = 0 \end{cases} \quad (2.2.7)$$

W powyższych układach równań przyjęto oznaczenia:

$$a_{mi} = \int_{mi} S^{-1}(s) ds \quad (2.2.8)$$

$$B_m = (t, \bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_M) = \sum_{mi} \left(\int_{mi} k_i ds \right) \quad (2.2.9)$$

$$A_m = (t, \bar{q}_1, \bar{q}_2 \dots \bar{q}_M) = - \sum_{mi} g \left(\frac{1}{i} \frac{dp_i}{ds} ds \right) \quad (2.2.10)$$

$$W_m = A_m - w_m$$

gdzie:

$q_i = q_i(s, t)$ - objętościowy wydatek powietrza w boczniccy i-tej w punkcie o współrzędnej bieżącej s w czasie t ,

$p_i = p_i(s, t)$ - ciśnienie powietrza w boczniccy i-tej w punkcie o współrzędnej bieżącej s w czasie t ,

g_i - gęstość powietrza w boczniccy i-tej,

S - pole przekroju poprzecznego boczniccy,

g - lokalne przyśpieszenie siły ciężkości,

m - numer oczka,

M - liczba oczek niezależnych w sieci,

k - węzeł sieci wentylacyjnej.

W 1926 roku H. Bystroń [10] opierając się na uzyskanych [8] równaniach linii krytycznych, stanowiących podstawę graficznego kryterium, wyprowadził ogólne i szczególne rachunkowe kryteria oraz wykazał ich zgodność z kryteriami innych autorów, stosowanymi w teorii wentylacji kopalń.

Sposobem analitycznym wykazał wzajemne powiązanie, zakresy słuszności i warunki stosowania kryteriów W. Budryka, S. Barczyka oraz graficznych kryteriów kierunków prądów powietrznych,

W 1962 roku R. Stenuit [36] przedstawił aktualny wówczas stan wiedzy w zakresie stabilizacji prądów powietrznych.

Publikacja ta nie wnosi nic nowego do nauki ani praktyki, a jest jedynie udziałem w dyskusji na temat znanych wówczas teorii stabilizacji.

W.Grigoriew [19] w 1965 roku przedstawił, jakie należy podjąć środki przy pożarach w kopalniach o dwu, trzech lub kilku poziomach eksploatacyjnych w celu uniknięcia odwróceń prądów powietrznych. Nie podał jednak żadnych zależności, które ujmowałyby ten problem ilościowo.

W 1967 roku W.Schmidt [23] analizował przebieg i oddziaływanie na wentylację kopalń pożarów egzogenicznych powstałych z przyczyn zewnętrznych, w wyrobiskach z prądami wznoszącymi lub schodzącymi. Poddał on analizie wpływ, jaki na kierunek prądu głównego i kierunki prądów bocznych wywiera depresja pożaru zgodna lub niezgodna z kierunkiem depresji wentylatora głównego.

Opierając się na kryterium W.Budryka, w 1969 roku G.Flüge [17] jako miarę stopnia stabilności prądu przekątnego zaproponował wskaźnik, który można podać w postaci

$$s_r = \frac{l_{fa'} \cdot l_{fb}}{l_{fa} \cdot l_{fb'}} \quad (22.11)$$

gdzie:

$l_{fa}, l_{fa'}, l_{fb}, l_{fb'}$ - dysypacje energii odpowiednio w bocznicach o oporach a, a', b, b' (rys.2.1).

G.Flüge uważa, że wskaźnik s_r powinien przyjmować wartość dodatnią, większą od jedności, tj.

$$s_r > 1 \quad (2.2.12)$$

Badania przeprowadzone w 8 kopalniach Zagłębia Ruhry [17] wykazały, że wskaźnik s_r przyjmuje następujące wartości:

dla wyrobisk poziomych $1,05+2,90$

w tym podszybia	1,05+1,40
wyrobiska pionowe	
i pochyłe	1,70+6,70
wyrobiska eksploatacyjne	2,50+4000
z tego około 2/3	> 5

Również G.Flüge w 1969 roku [18] przedstawił wskaźniki będące miarą stabilności prądu głównego w sieci dwuoczkowej:

- przy pożarze w prądzie wznoszącym

$$S_{px} = l_{fz} + \frac{l_{fb} \frac{\Delta V}{V_b}}{l_f} > 1 \quad (2.2.13)$$

- przy pożarze w prądzie schodzącym

$$S_{ex} = \frac{l_{fz} + l_{fa} \left(2 + \frac{\Delta V}{V_b} \right)}{l_f} > 1 \quad (2.2.14)$$

gdzie:

l_{fa}, l_{fb} - dysypacje energii w bocznicach o oporach a, b,

ΔV - przyrost ilości gazów pożarowych w ognisku pożaru oraz w jego sąsiedztwie,

$\dot{V}_a, \dot{V}_b$ - objętościowe wydatki powietrza w bocznicach o oporach a, b,

$$l_{fz} = \left(\dot{V}_a + \dot{V}_b \right)^2 R_z$$

G.Flüge [17], [18] przytoczył wniosek komisji bezpieczeństwa w kopalniach RFN. Według tego wniosku zmiana kierunku prądu bocznego przy przewietrzaniu wznoszącym kopalni

jest niemożliwa, jeżeli spełniony jest warunek

$$l_f > \frac{\Delta z}{3} \quad (2.2.15)$$

Zachowanie tego warunku wymaga, aby przy 100 metrowym odstępie poziomów w każdym ślepyim szybiku wystąpiła dysypacja energii 325 J/m^3 .

W 1970 roku A. Hausman [20] na przykładzie autentycznego pożaru przedstawił sposób wykorzystania teorii W. Budryka w praktyce. Przedstawił bardzo dokładnie jakie prace, wynikające z tej teorii, a mające na celu ustabilizowanie kierunków przepływu powietrza w zagrożonych bocznicach, zostały wykonane w kopalni objętej pożarem. Publikacja ta nie wnosi nic nowego do nauki, ale należy ją traktować jako pozycję ważną z uwagi na weryfikację doświadczalną teorii W. Budryka.

W. Schmidt w 1971 roku [33] zaproponował branie pod uwagę do oceny stabilności sieci wentylacyjnej nie tylko struktury sieci, ale również rozkładu ciśnień w poszczególnych bocznicach.

W 1972 roku H. Bystroń [11] wyprowadził kryteria stabilizacji kierunków przepływu w bocznicach sieci pasywnych lub bocznicach sieci aktywnych. Przedstawił kryteria stabilizacji normalnych wydatków objętościowych powietrza w bocznicach sieci aktywnych. Podał czynniki stabilizujące rozpliw powietrza w kopalni. Przedstawił teorię stabilizacji rozpliwu powietrza w sieciach aktywnych i skonfrontował ją z teoriami uprzednio znanymi. Z teorii tej wyprowadził prostą metodę, zwaną mnemotechniczną metodą stabilizacji kierunku przepływu powietrza w bocznicach sieci wentylacyjnej.

H.Bystroń [12] w 1973 roku wyprowadził nierównościowe oraz równościowe kryteria stabilizacji rozplywu powietrza w kopalni przy korzystaniu głównie z reprezentatywnych sieci aktywnych. Opierając się na tych kryteriach przedstawił metodę stabilizacji przydatną do zastosowań praktycznych, zwłaszcza w sieciach o dostatecznie małej aktywności.

W 1974 roku H.Bystroń [13], korzystając z sieci zastosowanych w teoriach H.Czeczotta i W.Budryka, wyprowadził równościowe kryteria stabilizacji wydatków prądów powietrznych. Z kryteriów tych wynikają nierównościowe kryteria stabilizacji kierunków prądów występujące w wymienionych teoriach. Wykazał, że istnieje współzależność między stabilizacją kierunku prądu, a stabilizacją jego wydatku. Kryteria równościowe, w których figurują spadki potencjału, umożliwiając przeprowadzenie stabilizacji wydatków przy korzystaniu ze schematów potencjalnych kopalnianych sieci wentylacyjnych.

W 1974 roku przedstawił H.Bystroń [14] stabilizację kierunków i stabilizację wydatków prądów, oparte na kryteriach wyprowadzonych przy upraszczających założeniach przyjętych w teorii W.Budryka, lecz przy korzystaniu z sieci wentylacyjnych, z których każda składała się z trzech oczek niezależnych. Kryteria te dotyczyły wymienionych stabilizacji odpowiednio przy małym lub dużym pożarze we wznoszącym się prądzie, jak i przy małym pożarze w nieodwróconym prądzie schodzącym i przy dużym pożarze w odwróconym prądzie schodzącym. Wyprowadził po raz pierwszy nierównościowe kryterium stabilizacji kierunków w czasie dużego pożaru w odwróconym schodzącym prądzie głównym. W równościowych kryteriach stabilizacji wydatków występują spadki potencjału, wobec czego

ten rodzaj stabilizacji przedstawił przy korzystaniu ze schematów potencjalnych.

E.Szubert [35] w 1974 roku na podstawie trzech przykładów udowadniał ważną rolę stabilizacji kierunków przepływu powietrza w sieci wentylacyjnej, nie wprowadzając jednak nic nowego do nauki.

A.Olajossy, W.Roszczyński oraz J.Wacławik w 1975 roku [27] w oparciu o fakt, że dla rozwiązania układu równań ciągłości, ruchu, stanu i energii łącznie z przewodnictwem cieplnym w skałach przyjmuje się, iż każdemu wydatkowi przepływającego powietrza odpowiada pole temperatury w wyrobiskach kopalnianych a wydatkowi i temperaturze pole ciśnienia, zaproponowali obliczenie wydatku przepływu w bezwęzłowym oczku sieci wentylacyjnej, jak i w niektórych prostych sieciach wentylacyjnych. Podane zależności mogą być przydatne do badania kierunków przepływu powietrza i jego wydatków podczas pożaru w kopalni.

2.3. Krytyczna ocena aktualnego stanu wiedzy w problemie stabilizacji przepływu powietrza w kopalni

Problem wpływu gęstości średniej powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym na kierunek i normalny wydatek objętościowy powietrza jest bardzo złożony oraz równocześnie trudny, ale jego rozwiązanie ma istotne znaczenie dla bezpieczeństwa załóg górniczych. Dotychczas wykonano niedużo badań w tym problemie. Do ważniejszych publikacji naukowych w tym

zakresie w kraju obok teorii W. Budryka zaliczyć można prace H. Bystronia [9,11] oraz J. Waclawika [27,30,38], a za granicą publikację zbiorową, zachodnioeuropejskich naukowców [28], w której z okazji przedstawiania teorii W. Budryka stabilizacji kierunków prądów w czasie pożaru podano interesujące wyniki badań dotyczące problemu wpływu gęstości powietrza na jego rozptył w prostych sieciach.

Można stwierdzić, że według metody Waclawika [27] w przypadku sieci prostych udaje się przedstawić wzory na wyznaczenie kierunku oraz wydatku powietrza. Dla skomplikowanej sieci również możliwe jest uzyskanie odnośnych zależności, jednak ich analiza z uwagi na złożoność tych zależności jest trudna. Toteż, według Waclawika [27], bez wykorzystania maszyn liczących nie jest celowe prowadzenie obliczeń numerycznych. W przypadku nieliniowych zmian temperatury $T(s)$ w bocznicach sieci wentylacyjnej można przeprowadzić aproksymację tych zmian odcinkami prostych, co stanowiłoby uogólnienie metody zaproponowanej przez Waclawika.

W pracy zachodnioeuropejskich naukowców [28] podane są zależności dysypacji energii w prądzie bocznym od gęstości powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym. Zależności te zostały wyprowadzone dla tzw. pierwszego prądu bocznego, jak również dla tzw. drugiego prądu bocznego przy odwróconym kierunku pierwszego prądu bocznego, przy czym tylko dla przypadku pierwszego sporządzono wykresy. Praca [28] otwiera w zasadzie badania nad wymienionym problemem. Problem ten jednak dotychczas był otwarty, gdyż w pracy [28] nie zostały podane zależności wpływu gęstości powietrza na kierunki i normalne

wydatki objętościowe dla dalszych, tj. trzeciego, czwartego itd. prądów bocznych.

Trzeba też podkreślić, że nawet wypróbowana w pracy [28] zależność dotycząca drugiego prądu bocznego przy odwróconym pierwszym prądzie bocznym nie została, jak wspomniano w rozdziale 2.1., przedstawiona graficznie, lecz tylko na podstawie analizy tej zależności podano wnioski co do jej przebiegu.

W zakresie badań nad stabilizacją rozplywu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych wykonano w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat wiele prac [1], [3], [5+14], [16+20], [31+35], [39].

Teorie H.Czeczotta [16] oraz W.Budryka [3] dostarczyły prostych niezawodnych środków wentylacyjnych, szeroko stosowanych przy zwalczaniu pożarów podziemnych w kopalniach polskich i zagranicznych. Teorie te są bardzo dużym dorobkiem polskim w światowej nauce o wentylacji kopalń i pożarach podziemnych.

Kryteria H.Czeczotta [16], T.Koguta [7], W.Budryka [3], S.Barczyka [1] zostały wyprowadzone z warunków równowagi dynamicznej dla stanów stacjonarnych sieci wyrażonych matematycznie przez zastosowanie I i II zasady Kirchhoffa do odpowiedniej liczby węzłów i oczek sieci, w których przepływy powietrza traktuje się jako jednowymiarowe. Wszystkie cztery przytoczone powyżej kryteria, według H.Bystronia [11], zostały wyprowadzone dla sieci, które nie cechują się "topologiczną reprezentatywnością" dla złożonych sieci wentylacyjnych, jakie mają kopalnie istniejące lub projektowane.

Dlatego też wymienione kryteria stabilizacji nie umożliwiają wyznaczenia wszystkich czynników stabilizujących, jakie można lub należy stosować w praktyce przemysłowej. Kryteria te nie uwzględniają depresji źródeł, bądź też w tych kryteriach występują depresje, ale nie wiadomo, jakie liczbowe wartości przyjmują one spośród ujętych przez charakterystyki poszczególnych źródeł depresji.

Graficzne kryteria kierunków prądów H. Bystronia [8] można zastosować do przypadku prostej sieci wentylacyjnej z uwzględnieniem charakterystyk wszystkich źródeł depresji (mechanicznych lub cieplnych), jak również przy uwzględnieniu dowolnych wartości przyrostu ilości gazów w ognisku pożaru. Dla złożonych sieci graficzne kryteria są wciąż jeszcze problemem otwartym.

H. Bystron [14] podał nierównościowe kryterium stabilizacji kierunków oraz stabilizacji wydatków prądów powietrznych w czasie małych lub dużych pożarów podziemnych w kopalni o wznoszącym lub schodzącym przewietrzaniu. Kryteria te zostały wprowadzone dla 3-oczkowych sieci wentylacyjnych przy spełnieniu uproszczających założeń przyjętych w teorii W. Budryka [3] opartej na 2-oczkowych sieciach wentylacyjnych. Dotychczas nie znane były nierównościowe kryteria stabilizacji kierunków prądów powietrznych dla sieci wentylacyjnych składających się z więcej niż trzech oczek niezależnych.

Wobec powyższego można stwierdzić, że problem stabilizacji rozpiływu powietrza (tj. kierunków i wydatków prądów powietrznych) w czasie pożarów podziemnych wciąż jeszcze

jest otwarty. Problem ten jest bardzo złożony i zawiera szeregi zagadnień, które dotychczas nie zostały rozwiązane.

W szczególności nie zbadano jeszcze zagadnienia efektywności stabilizacji rozplywu powietrza w kopalniach, ani zależności kierunków i wydatków wznoszących się prądów powietrznych od gęstości powietrza w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym.

Zbadanie tego zagadnienia ma istotne znaczenie dla nauki o pożarach podziemnych, jak i dla praktyki górniczej, zwłaszcza dla kopalń miedzi LGOM. W kopalniach tych praktycznie wszystkie prądy powietrzne są wznoszącymi się prądami, a efektywność stosowania stabilizacyjnych tam dławiących stanowi bardzo ważny problem praktyczny, a to z uwagi na budowanie w tych kopalniach w zasadzie tylko przyszybowych tam bezpieczeństwa.

3. TEZA PRACY DOKTORSKIEJ

Problem stabilizacji prądów powietrznych w kopalni jest - jak stwierdzono w rozdziałach 1 i 2 tej pracy - bardzo złożony. Pomimo dotychczasowych poważnych osiągnięć^a problem ten wciąż jeszcze jest otwarty. W szczególności dla kopalń LGOM - ze względów ekonomicznych i bezpieczeństwa pracy załóg górniczych - ważne jest zbadanie zależności kierunków i wydatków wznoszących się prądów powietrznych od gęstości powietrza płynącego w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym. Również ważne jest zbadanie efektywności stabilizacji kierunków wymienionych prądów. Dlatego też za celowe i uzasadnione należy uznać postawienie jako tezy naukowej rozwiązanie w niniejszej pracy doktorskiej następujących zagadnień:

- Ustalenie wpływu gęstości powietrza zadymionego w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym na kierunki i normalne wydatki objętościowe prądów głównego i bocznych w aktywnych sieciach wentylacyjnych kopalń o wznoszącym się przewietrzaniu,
- Wyprowadzenie nierównościowych kryteriów stabilizacji kierunku bocznych prądów powietrznych w uaktywnionych sieciach wentylacyjnych, złożonych co najmniej z trzech oczek niezależnych, jak również określenie efektywności stabilizacji tych prądów powietrznych przeprowadzonej przy stosowaniu stabilizacyjnych tam dławiających.

Podkreślić należy, że wymienione dwa zagadnienia naukowe zostały ujęte w temacie niniejszej pracy doktorskiej.

Nadmienić należy również, że kopalnie LGOM cechuje wznoszące się przewietrzanie, co jest przyczyną świadomego nieujęcia w tezie pracy kopalń o schodzącym przewietrzaniu.

4. WAŻNIEJSZE ZAŁOŻENIA UPRASZCZAJĄCE I DEFINICJE NIEKTÓRYCH TERMINÓW STOSOWANYCH W ROZPRAWIE

W pracach W. Budryka [3,5] i H. Bystronia [8,10] zostały wprowadzone i zdefiniowane (aktualnie stosowane w nauce i praktyce) nazwy prądów powietrznych przy pożarze w kopalni, a mianowicie:

Prąd główny - prąd powietrzny płynący od wlotu szybu wdechowego do ogniska pożaru i dalej do wylotu szybu wydechowego.

Prąd główny wewnętrzny - część prądu głównego zawarta w wewnętrznej części systemu.

Prąd główny zewnętrzny - część prądu głównego zawarta w zewnętrznej części systemu.

Prądy boczne - wszystkie inne prądy odgałęzione od prądu głównego.

Prostym prądem względem danego źródła depresji, według W. Budryka, jest taki prąd (główny lub boczny), którego kierunek jest zgodny z kierunkiem depresji tego źródła.

Odwróconym prądem względem danego źródła depresji nazywa się taki prąd, którego kierunek jest niezgodny z kierunkiem danego źródła depresji.

Jeśli dany prąd boczny o wydatku $\dot{V}_b$ lub główny prąd wewnętrzny o wydatku $\dot{V}_w$ jest prosty względem określonego źródła depresji l_z , to fakt ten wyraża się dodatnią wartością wydatku prądu, tj. $\dot{V}_b > 0$ lub $\dot{V}_w > 0$. W przypadku zaś, gdy prądy boczny ($\dot{V}_b$) i główny ($\dot{V}_w$) są odwrócone względem źródła depresji l_z (rys. 6.1.+6.4.), wówczas fakt ten wyrażają ujemne wartości

wydatków tych prądów, tzn. $\dot{V}_b < 0$ i $\dot{V}_w < 0$.

W niniejszej pracy przyjmujemy założenie upraszczające, że turbulentne przepływy powietrza w bocznicach kopalnianej sieci wentylacyjnej traktujemy jako jednowymiarowe i quasi - ustalone. Przy pożarach w kopalni występują nie ustalone (w czasie) przepływy gazów, zazwyczaj na skutek zmian wartości depresji pożaru, zmian wartości przyrostu ilości gazów w ognisku pożarowym i stopniowego budowania bądź nagłego zamykania tam wentylacyjnych. W niniejszej pracy zakłada się, że przy pożarze zachodzą na tyle powolne zmiany wartości ilości gazów, zmiany wartości oporów bocznie oraz zmiany wartości depresji źródeł depresji, że zmiany te powodują jedynie takie nie ustalone przepływy, które dadzą się w przybliżeniu przedstawić jako nieprzerwanie (w czasie) następujące po sobie różne quasi - ustalone przepływy.

W pracy tej również zakłada się, że w ognisku pożaru i jego sąsiedztwie zachodzi przyrost ilości gazów $\dot{V}_{no}$. Dotychczas problem przyrostu ilości gazów w ognisku pożarowym w Polsce był raczej rozważany teoretycznie [1], a badania eksperymentalne w zasadzie przeprowadzono w ZSRR [39]. Przyrost objętości gazów $\dot{V}_o$ w określonym przepływie quasi - ustalonym zmienia się wzdłuż drogi przepływu powietrza, począwszy od ogniska pożaru do wentylatora głównego, tj. $\dot{V}_o = \text{var.}$ Dzieje się to na skutek zmian ciśnienia i temperatury powietrza w miarę wzrastania odległości od ogniska pożaru [6,29,35,39]. Natomiast przyrost normalnego wydatku objętościowego $\dot{V}_{no}$, zwany w skrócie przyrostem gazów $\dot{V}_{no}$, nie ulega zmianom wzdłuż wymienionej drogi, dla określonego przepływu quasi ustalonego w sieci wentylacyjnej, tj. $\dot{V}_{no} = \text{idem.}$

Depresje cieplne (lokalne) występujące w zadymionych wyrobiskach niepoziomych zaognionego oczka sieci (tzn. oczka, w którym znajduje się ognisko pożaru) podajemy na schematach sieci wentylacyjnej symbolami zakreskowanych wentylatorów (rys. 6,1 - 6,4). Zaognione oczko sieci nazywać będziemy wewnętrzną częścią systemu, całą natomiast resztę sieci - zewnętrzną częścią systemu [6,10]. Zgodnie z pracami [6,14] przez l_z oznaczać będziemy wypadkową całkowitą depresję występującą w części zewnętrznej systemu o co najmniej dwóch oczkach, obejmującą depresję wentylatora głównego oraz depresję cieplną zlokalizowaną w tej części systemu.

W pracy tej korzystamy z pojęcia aktywnej sieci i pojęcia uaktywnionej sieci wentylacyjnej [11]. Przez aktywną sieć rozumiemy sieć rzeczywistą, w której zachodzą zmiany gęstości masy powietrza, które na skutek działania pola grawitacyjnego Ziemi, są przyczyną występowania lokalnych depresji cieplnych (naturalnych). Również opory bocznic sieci aktywnej zależą od gęstości powietrza, wobec czego stosować trzeba pojęcia oporu normalnego i oporu właściwego (klasycznego) [40].

Korzystając z pojęcia uaktywnionej sieci stosujemy takie samo pojęcie depresji cieplnej (naturalnej), jak w przypadku sieci aktywnej, ale stosujemy opory właściwe, a nie używamy oporów normalnych. Sieć uaktywnioną bowiem uzyskuje się z sieci pasywnej, wprowadzając do niej depresje cieplne w postaci "fikcyjnych wentylatorów", zastosowanych, jak wspomniano, po raz pierwszy przez W. Budryka. Dlatego też opory bocznic sieci pasywnej, jak i uaktywnionej są oporami właściwymi, jakie uzyskuje się przy niezmienniej gęstości powietrza ($\rho_m = 1,20 \text{ kg/m}^3$).

W pracy tej przez stabilizację wydatków prądów lub stabilizację kierunków prądów powietrznych w sieciach wentylacyjnych za H. Bystroniem [11] rozumiemy specjalną regulację (ręczną lub automatyczną) wydatków lub kierunków prądów powietrznych, tzn. regulację wykonaną za pomocą wentylatorów (skupionych źródeł energii) lub wentylacyjnych tam dławiących (skupionych elementów dysypatywnych), których lokalizacja jak też parametry są oparte na określonym kryterium stabilizacji. Jeśli mieć będziemy na myśli obydwa wymienione rodzaje stabilizacji (tj. stabilizację wydatków i stabilizację kierunków prądów), to będziemy stosowali termin stabilizacji rozplywu powietrza w kopalni.

Podkreślić należy, że badając wpływ gęstości powietrza zadymionego w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym na kierunki i normalne wydatki objętościowe prądów głównego i bocznych musimy korzystać z pojęcia sieci aktywnej. W badaniu tym bowiem pojęcia sieci pasywnej i sieci uaktywnionej są niewystarczające, gdyż we wzorze definiującym opór właściwy występuje stała gęstość masy powietrza $\rho_n = 1,20 \text{ kg/m}^3$. Natomiast w oporze normalnym, jaki stosuje się w przypadku sieci aktywnej, figuruje gęstość średnia masy powietrza ρ_m wzdłuż określonej bocznic. Stąd też w przedmiotowym badaniu przydatne jest tylko pojęcie sieci aktywnej.

Również podkreślić należy, że wyprowadzając nierównościowe kryteria stabilizacji tzw. bocznych prądów powietrznych i zajmując się określeniem efektywności stabilizacji kierunków takich prądów, będziemy - za W. Budrykiem [3] - korzystali z pojęcia uaktywnionej sieci wentylacyjnej. Pojęcie to bowiem

umożliwia stosowanie prostszych wzorów niż pojęcie sieci aktywnej. Wyniki zaś badań oparte w tym przypadku na pojęciu sieci uaktywnionej wydaje się, podobnie jak w teorii W. Budryka, będą wystarczające dla zastosowań praktycznych, zwłaszcza w kopalniach LGOM.

5. WPLYW GĘSTOŚCI POWIETRZA W WYROBISKU ZA OGNISKIEM POŻAROWYM NA KIERUNKI I NORMALNE WYDATKI OBJĘTOŚCIOWE PRĄDÓW GŁÓWNEGO I BOCZNEGO W KOPALNI O WZNOSZĄCYM SIĘ PRZEWIETRZANIU

5.1. Wprowadzenie

W niniejszym rozdziale wprowadzone zostaną zależności określające różnice ciśnień (statycznych, bezwzględnych) powietrza kopalnianego, które występują przy przepływie powietrza o gęstości ρ_m o normalnym wydatku objętościowym $\dot{V}_n$ w bocznicy (d-w) (rys. 5.1) odpowiednio od przekroju "d" do przekroju "w" o wysokościach niwelacyjnych odpowiednio z_d i z_w . Zależności te posłużą nam do badania wpływu gęstości powietrza zadymionego w wyrobisku za ogniskiem pożarowym na kierunki i normalne wydatki objętościowe prądów głównego i bocznego w kopalni o wznoszącym się przewietrzaniu.

Cheąc wyprowadzić wymienione zależności startujemy z równania ruchu w postaci

$$\frac{dl_f}{ds} = -g \frac{dz}{ds} - \frac{1}{\rho_m} \frac{dp}{ds} - \frac{1}{2} \frac{dw^2}{ds} \quad (5.1.1)$$

gdzie:

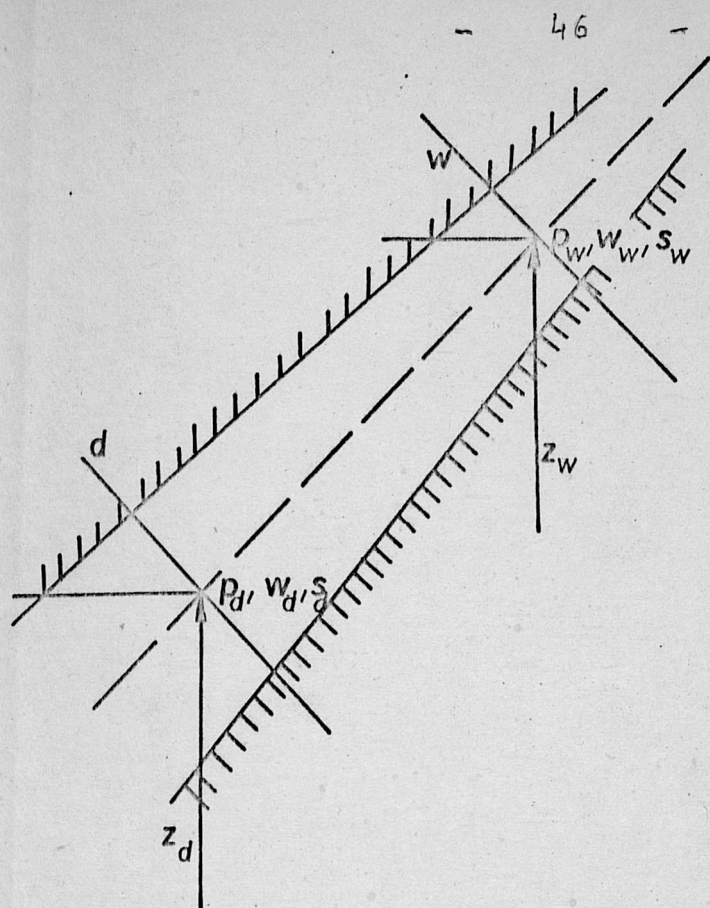
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ - lokalne przyśpieszenie siły ciężkości,

z - wysokość niwelacyjna liczona od poziomu odniesienia (poziomu morza) pionowo do góry,

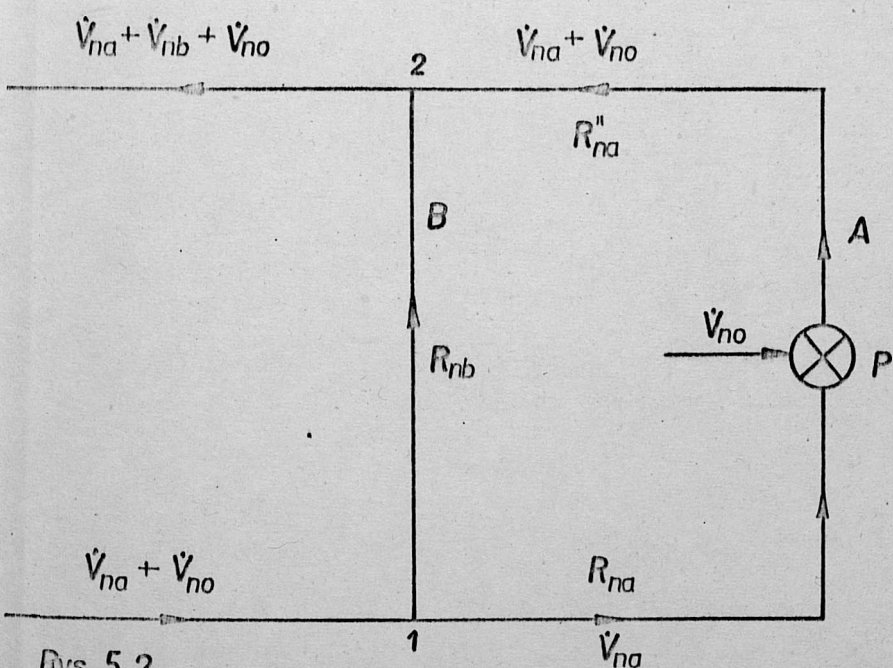
l_f - jednostkowa praca tarcia (dysypacja energii), tj. praca przypadająca na 1 kg powietrza,

ρ_m - średnia gęstość powietrza zadymionego na określonej długości wyrobisk,

w - średnia prędkość powietrza w przekroju bocznicy,



Rys. 5.1 Przepływ powietrza w bocznicy ($d-w$)



Rys. 5.2

Schemat sieci wentylacyjnej z pożarem
w bocznicy (1-A-2)

p - ciśnienie (statyczne, bezwzględne) powietrza,
 s - współrzędna bieżąca (odległościowa) liczona od zrzębu szybu wdechowego.

Mnożymy obie strony równania (5.1.1) przez wyrażenie $(\rho_m ds)$ i wykonujemy całkowanie względem współrzędnej bieżącej s od przekroju dopływu "d" do przekroju wypływu "w" bocznicy (d-w) podanej na rys. 5.1. Uzyskujemy

$$\rho_m \int_{s_d}^{s_w} \frac{dl_f}{ds} ds = -g \rho_m \int_{s_d}^{s_w} \frac{dz}{ds} ds - (p_w - p_d) - \frac{1}{2} \int_{s_d}^{s_w} \frac{dw^2}{ds} ds \quad (5.1.2)$$

Przy założeniu, że zmiana prędkości powietrza między przekrojami; dopływu "d" i wypływu "w" jest dostatecznie mała, można zależność (5.1.2) napisać w postaci

$$\rho_m \int_{s_d}^{s_w} \frac{dl_f}{ds} ds = g \rho_m \int_{z_w}^{z_d} dz + (p_d - p_w) \quad 5.1.3$$

skąd

$$(p_d - p_w) = g \rho_m \int_{z_d}^{z_w} dz + \rho_m \int_{s_d}^{s_w} \frac{dl_f}{ds} ds \quad (5.1.4)$$

Elementarna jednostkowa praca tarcia dl_f , przypadająca na 1 kg masy powietrza przepływającego przez element ds przewodu o stałej średnicy $D_e = idem$, ujęta jest równaniem H. Darcy'ego

$$dl_f = \lambda_f \frac{Wm^2}{2} \frac{ds}{D_e} \quad (5.1.5)$$

gdzie:

λ_f - liczba oporu bocznicy (przewodu), zwana bezwymiarowym współczynnikiem oporów ruchu,

D_e - średnica równoważna określana zależnością

$$De = 4 \frac{A}{B} \quad (5.1.6)$$

w której:

A - pole (powierzchni) użyteczne dla przepływu,

B - obwód powierzchni użytecznej dla przepływu.

Korzystając z zależności (5.1.6) oraz równania ciągłości dla przepływu ustalonego (quasi - ustalonego)

$$\dot{m} = idem = \rho_n \dot{V}_n = \rho \cdot \dot{V} = \rho A w_m \quad (5.1.7)$$

w którym:

$\dot{m}$ - wydatek masowy w obranym przekroju poprzecznym szczelnego przewodu,

$\dot{V}$ - wydatek objętościowy w tym przekroju,

$\rho_n = 1,20 \text{ kg/m}^3$ - normalna gęstość powietrza kopalnianego,

można zależność (5.1.5) napisać w postaci

$$dl_f = \frac{\lambda_f}{2} \left(\frac{\rho_n \dot{V}_n}{A g} \right)^2 \frac{B}{4A} ds = \frac{\lambda_f \rho_n^2}{8 g^2} \frac{B \dot{V}_n^2}{A^3} ds \quad (5.1.8)$$

Korzystając z zależności

$$dl_{fv} = \xi dl_f \quad (5.1.9)$$

w której dl_{fv} oznacza elementarną pracę tarcia przypadającą na 1 m^3 powietrza, zwaną dalej krótko dysypacją energii, możemy na podstawie (5.1.8) napisać

$$dl_{fv} = \frac{\lambda_f \rho_n}{8} \frac{\rho_n}{g} \frac{B}{A^3} \dot{V}_n^2 ds \quad (5.1.10)$$

skąd po odpowiednim scałkowaniu (rys. 5.1) otrzymamy

$$l_{fv} = \frac{\lambda_f g_n}{8} \frac{g_n}{g_m} \frac{B}{A^3} (s_w - s_d) \dot{V}_n^2 \quad (5.1.11)$$

gdzie g_m oznacza średnią gęstość masy powietrza na długości wyrobiska (bocznic) między przekrojami: dopływu "d" oraz wypływu "w", obliczaną jako średnia arytmetyczna z gęstości g_d i g_w w tych przekrojach, tj.

$$g_m = \frac{g_d + g_w}{2} \quad (5.1.12)$$

Ponieważ opór właściwy R bocznic (d-w) zawartej między przekrojami "d" i "w" dany jest wzorem

$$R = \frac{\lambda_f g_n}{8} \frac{B (s_w - s_d)}{A^3} \quad (5.1.13)$$

przeto na podstawie (5.1.11) otrzymujemy wzór

$$l_{fv} = R_n \dot{V}_n^2 \quad (5.1.14)$$

w którym

$$R_n = \frac{g_n}{g_m} R \quad (5.1.15)$$

gdzie R_n oznacza opór normalny bocznic (d-w) zawartej między przekrojami "d" i "w" odpowiednio o współrzędnych s_d i s_w .

Wstawiając prawą stronę wzoru (5.1.15) w miejsce oporu normalnego R_n występującego w (5.1.14) uzyskujemy

$$l_{fv} = \frac{g_n}{g_m} R \dot{V}_n^2 \quad (5.1.16)$$

Ze skojarzenia wzorów (5.1.9) i (5.1.16) z (5.1.4) otrzymujemy

$$(p_d - p_w) = g g_m (z_w - z_d) + \frac{g_n}{g_m} R \dot{V}_n^2 \quad (5.1.17)$$

W przypadku gdy przepływ powietrza odbywa się od przekroju "w" do przekroju "d" w bocznicy (d-w) podanej na rys. 5.1, wówczas zależność (5.1.4) przybierze postać

$$(p_d - p_w) = g \rho_m \left(z_w - z_d - \int_{s_d}^{s_w} \frac{dl_f}{ds} ds \right) \quad (5.1.18)$$

Po skojarzeniu zależności (5.1.9) i (5.1.16) z (5.1.18) uzyskamy

$$(p_d - p_w) = g \rho_m (z_w - z_d) - \frac{\rho_n}{\rho_m} R \dot{V}_n^2 \quad (5.1.19)$$

Zależności (5.1.17) i (5.1.19) określają różnice ciśnień (statycznych, bezwzględnych powietrza kopalnianego), które występują przy przepływie powietrza o gęstości ρ_m i normalnym wydatku objętościowym $\dot{V}_n$ w bocznicy (d-w) odpowiednio od przekroju "d" do przekroju "w" o wysokościach niwelacyjnych odpowiednio z_d i z_w .

Przy korzystaniu z zależności (5.1.17) i (5.1.19) w rozdziale następnym przedstawione zostaną wyniki badań mających na celu ustalenie wpływu gęstości powietrza zadymionego w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym na kierunki i normalne wydatki objętościowe prądów głównego lub bocznego (przy stabilizacji wydatku tych prądów lub bez ich stabilizacji) w aktywnych sieciach wentylacyjnych kopalń o wznoszącym się przewietrzaniu.

5.2. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem

5.2.1. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem przy wykonaniu stabilizacji normalnego wydatku prądu głównego

A. Zmiany dysypacji energii w zależności od zmian gęstości

W celu przedstawienia zmian wartości dysypacji energii w prądzie bocznym o oporze R_{nb} (rys. 5.3) wraz ze zmianą gęstości powietrza w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym przyjmujemy następujące założenia:

- stabilizowany jest wydatek prądu głównego, tzn. chodzi nam o to, aby wydatek $\dot{V}_{na}$ był stały, $\dot{V}_{na} = \text{idem}$,
- ilość (wydatek normalny) $\dot{V}_{no}$ wydzielających się gazów w ognisku pożarowym i jego sąsiedztwie jest wielkością stałą, $\dot{V}_{no} = \text{idem}$,
- pożar powstał pomiędzy węzłami 1 i 2, przy występowaniu bocznie poziomych tak powyżej jak i poniżej ogniska pożarowego (rys. 5.3).

Korzystając z powyższych założeń i zależności (5.1.17) otrzymamy związki:

$$p_1 - p_p = g \varrho_{ma} (z_p - z_1) + R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \quad (5.2.1.1)$$

$$p_p - p_2 = g \varrho_{mp} (z_2 - z_p) + \frac{\varrho_n}{\varrho_{mp}} R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \quad (5.2.1.2)$$

$$p_1 - p_2 = g \varrho_{ma} (z_2 - z_1) + R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \quad (5.2.1.3)$$

Eliminując p_1 , p_2 oraz p_p z zależności (5.2.1.1), (5.2.1.2) oraz (5.2.1.3) otrzymujemy

$$-g(\varrho_{ma} - \varrho_{mp})(z_2 - z_p) + R'_{na} \dot{V}_{na}^2 + R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \frac{\varrho_n}{\varrho_{mp}} - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0 \quad (5.2.1.4)$$

skąd po przekształceniu wynika

$$- [g \varrho_{ma} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2] \varrho_{mp} + [g (z_2 - z_p)] \varrho_{mp}^2 - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \varrho_{mp} + R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \varrho_n = 0 \quad (5.2.1.5)$$

Korzystając z oznaczeń:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} g_{ma} (z_2 - z_p) - R_{na} \dot{V}_{na}^2 \quad (5.2.1.6a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} g (z_2 - z_p) \quad (5.2.1.6b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} R_a'' (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 g_n \quad (5.2.1.6c)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} g_{mp} \quad (5.2.1.6d)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \quad (5.2.1.6e)$$

możemy związek (5.2.1.5) napisać w postaci

$$-ax + bx^2 - xy + c = 0$$

skąd

$$y = bx - a + \frac{c}{x} \quad (5.2.1.7)$$

Pierwsza pochodna funkcji $y = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$ (5.2.1.7) względem x wynosi

$$\frac{dy}{dx} = b - cx^{-2} = b - \frac{c}{x^2}$$

Pochodna ta jest równa zeru, gdy $x = x_{kr}$, przy czym

$$x_{kr} = \sqrt{\frac{c}{b}}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.1.6b) do (5.2.1.6d) wynika

$$(g_{mp})_{kr} = \sqrt{\frac{R_a'' (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 g_n}{g (z_2 - z_p)}} \quad (5.2.1.8a)$$

Druga pochodna funkcji y względem x , zgodnie z (5.2.1.7) wynosi:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = 2cx^{-3} = 2b\sqrt{\frac{b}{c}}$$

Pochodna ta jest większa od zera, przeto funkcja y posiada minimum

$$(y)_{\min} = 2\sqrt{bc} - a$$

wobec czego po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.1.6a) do (5.2.1.6c) i (5.2.1.6e) otrzymujemy

$$(R_{nb} \dot{V}_{nb})_{\min} = R'_{na} \dot{V}_{na}^2 - g_{ma}(z_2 - z_p) + 2\sqrt{g_{sn}(z_1 - z_p)R''_a(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2} \quad (5.2.1.8b)$$

Punkty przecięcia $y = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$ (5.2.1.7) z osią $x = g_{mp}$ określone są zależnościami x_1 i x_2 , przy czym:

$$x_1 = \frac{a - \sqrt{a^2 - 4bc}}{2b}$$

skąd po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.1.6a) do (5.2.1.6d) dostajemy

$$(g_{mp})_1 = \frac{g_{ma}(z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2}{2g(z_2 - z_p)} +$$

$$\frac{\sqrt{[g_{ma}(z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2]^2 - 4g_{sn} R''_a(z_2 - z_p)(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}}{2g(z_2 - z_p)} \quad (5.2.1.9)$$

natomiast

$$x_2 = \frac{a + \sqrt{a^2 - 4bc}}{2b}$$

skąd

$$\begin{aligned} (\vartheta_{mp})_2 = & \frac{g\vartheta_{ma}(z_2 - z_p) - R'_{na}\dot{V}_{na}^2}{2g(z_2 - z_p)} + \\ & + \frac{\sqrt{[g\vartheta_{ma}(z_2 - z_p) - R'_{na}\dot{V}_{na}^2]^2 - 4g\vartheta_n R''_a(z_2 - z_p)(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}}{2g(z_2 - z_p)} \end{aligned} \quad (5.2.1.10)$$

Obrazem graficznym związku (5.2.1.7) w układzie współrzędnych $(\vartheta_{mp}, R_{nb}\dot{V}_{nb}^2)$ jest hiperbola mająca dwie asymptoty (rys. 5.3):

$$\vartheta_{mp} = 0 \quad (5.2.1.11)$$

$$R_{nb}\dot{V}_{nb}^2 = -g(\vartheta_{ma} - \vartheta_{mp})(z_2 - z_p) + R'_{na}\dot{V}_{na}^2 \quad (5.2.1.12)$$

Badając funkcję y daną przez (5.2.1.7) rozróżniamy 3 przypadki: $a < 2\sqrt{bc}$, $a = 2\sqrt{bc}$ i $a > 2\sqrt{bc}$, a mianowicie:

W przypadku pierwszym, gdy

$$a < 2\sqrt{bc}$$

tj. zgodnie z oznaczeniami (5.2.1.6a) do (5.2.1.6c) gdy

$$g\vartheta_{ma}(z_2 - z_p) - R'_{na}\dot{V}_{na}^2 < 2\sqrt{g\vartheta_n R''_a(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2(z_2 - z_p)}$$

wtedy funkcja y dana przez (5.2.1.7) nie ma punktów przecięcia z osią odciętych $x = \vartheta_{ma}$, czyli dla $\vartheta_{mp} \in [0, \vartheta_{ma}]$, otrzymamy dodatnie wartości $y = R_{nb}\dot{V}_{nb}^2$; świadczy to o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (1-2), rys. 5.3

W przypadku drugim, gdy

$$a = 2 \sqrt{bc}$$

czyli gdy

$$g \vartheta_{ma} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 = 2 \sqrt{g \vartheta_n R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 (z_2 - z_p)}$$

wtedy funkcja y dana przez (5.2.1.7) ma z osią odciętych

$x = \vartheta_{ma}$ jeden punkt wspólny o współrzędnych

$$\left(\sqrt{R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \vartheta_n / g (z_2 - z_p)}, 0 \right).$$

Dla wartości $\vartheta_{mp} \in \left[0, \sqrt{R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \vartheta_n / g (z_2 - z_p)} \right)$

oraz $\vartheta_{mp} \in \left(\sqrt{R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \vartheta_n / g (z_2 - z_p)}, \vartheta_{ma} \right]$

otrzymamy dodatnie wartości $y = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$, świadczące o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (1-2), rys.5.3.

Natomiast dla wartości $\vartheta_{mp} = \sqrt{R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \vartheta_n / g (z_2 - z_p)}$,

dla których $R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0$, nie ma przepływu powietrza w bocznicy (1-2).

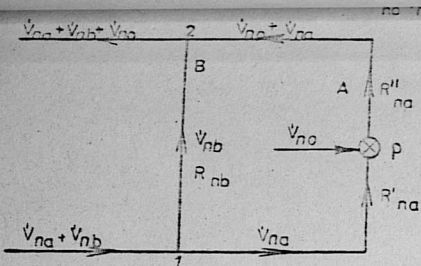
W przypadku trzecim, gdy

$$a > 2 \sqrt{bc}$$

czyli gdy

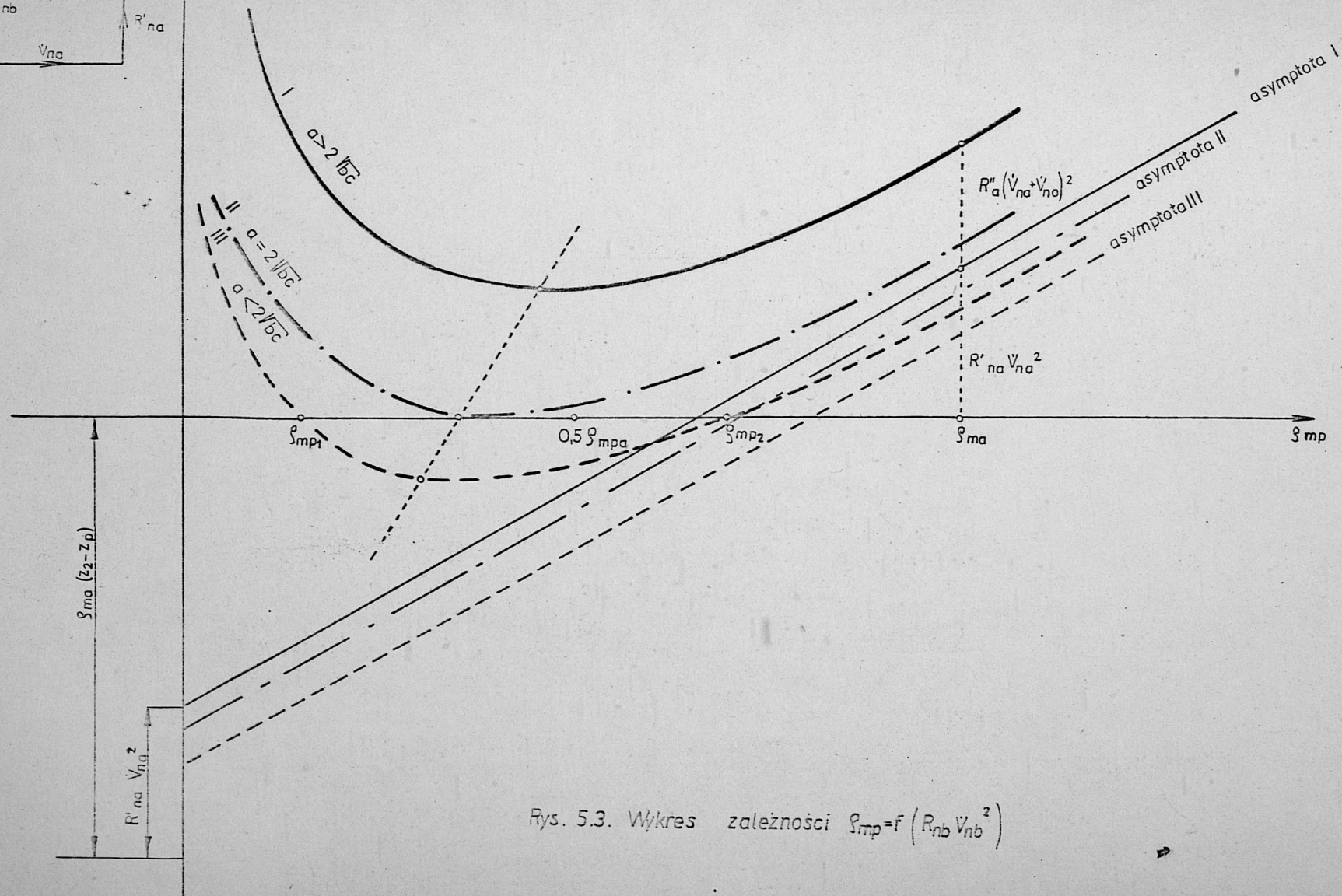
$$g \vartheta_{ma} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 > 2 \sqrt{g \vartheta_n R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 (z_2 - z_p)}$$

wtedy funkcja y dana przez (5.2.1.7) ma dwa punkty przecięcia z osią odciętych, $x = \vartheta_{ma}$; wartości ϑ_{mp_1} i ϑ_{mp_2} ,



$$-g(s_{ma} - s_{mp})(z_2 - z_p) - R'_{na} V_{na}^2 + R'_a (V_{na} + V_{no})^2 \left(\frac{g_n}{g_{mp}} \right) - R_{nb} V_{nb}^2 = 0$$

$$y = bx + c\bar{x}^1_a$$



Rys. 5.3. Wykres zależności $s_{mp} = f(R_{nb} V_{nb}^2)$

dla których $R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0$, określone są zależnościami (5.2.1.9) i (5.2.1.10).

Dla wartości $g_{mp} \in [0, g_{mp_1}]$ oraz $g_{mp} \in (g_{mp_2}, g_{ma}]$ kierunek prądu powietrza w bocznicy (1-2), rys. 5.3, jest prosty. Dla $g_{mp} \in (g_{mp_1}, g_{mp_2})$ kierunek przepływu powietrza w bocznicy (1-2) jest odwrócony.

Obraz graficzny funkcji y danej przez (5.2.1.7) dla przedstawionych powyżej trzech przypadków przedstawiony został na rys. 5.3. Sens fizyczny ma część krzywej $R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = f(g_{mp})$ położona na prawo od osi rzędnych, tzn. dla wartości $g_{mp} > 0$. Ta część krzywej ma minimum, które może być ujemne (odwrócony kierunek przepływu w bocznicy (1-2)), co zachodzi gdy: 1) wyrażenie $g_{ma} (z_2 - z_1)$ ma dużą wartość, 2) wyrażenie $R_a'' (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2$ ma małą wartość.

Z powyższego wynika, że funkcja y dana przez (5.2.1.7) określa przebieg zmian dysypacji energii w prądzie bocznym (1 - β - 2) (rys. 5.3) wraz ze zmianami średniej gęstości powietrza zadymionego w bocznicy (P - A - 2) za ogniskiem pożarowym. Ujemne wartości dysypacji energii w bocznicy (1 - β - 2) dla określonych powyżej średnich gęstości powietrza w bocznicy (P - A - 2) świadczą o odwróconym kierunku prądu bocznego.

B. Zmiany dysypacji energii w zależności od zmian temperatury

Zmiany dysypacji energii w prądzie bocznym (1 - β - 2) mogą być przedstawione w zależności od zmian temperatury powietrza zadymionego w bocznicy (P - A - 2) za ogniskiem pożarowym.

W tym celu korzystamy z termicznego równania stanu gazów doskonałych w postaci

$$\rho_p = \frac{p}{R_p T_p}$$

gdzie:

- p - ciśnienie statyczne, bezwzględne powietrza,
- R_p - indywidualna stała gazowa powietrza w boczniicy za ogniskiem pożarowym,
- T_{mp} - średnia bezwzględna temperatura powietrza w wymienionej boczniicy za ogniskiem pożarowym.

Przy założeniu, że powietrze zadymione w boczniicy za ogniskiem pożarowym zawiera 6% CO_2 , 6% H_2O , 11% O_2 , 77% N_2 , zgodnie z pracą [28] uzyskujemy

$$R_p = 288,80 \text{ J/ (kg K)} \quad (5.2.1.14)$$

Indywidualna stała gazowa powietrza w boczniicy bezpośrednio przed ogniskiem pożarowym niewiele różni się od indywidualnej stałej gazowej powietrza suchego

$$R_a = 287,04 \text{ J/ (kg K)}$$

Z zależności (5.2.1.13) otrzymamy

$$\rho_{mp} T_{mp} = \rho_{ma} T_{ma} = \rho_n T_n \quad (5.2.1.15)$$

Z zależności (5.2.1.14) i (5.2.1.15) otrzymujemy

$$-g \rho_n (z_2 - z_p) \left(\frac{T_n}{T_{ma}} - \frac{T_n}{T_{mp}} \right) + R_{na} \dot{V}_{na}^2 + R_a^u (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \left(\frac{T_{mp}}{T_n} \right) \rho_n - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0 \quad (5.2.1.16)$$

Przekształcając zależność (5.2.1.16) do postaci

$$-R_{nb}\dot{V}_{nb}^2 - \left[g g_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \right] + g T_n g_n (z_2 - z_p) \frac{1}{T_{mp}} + \frac{R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}{T_n} T_{mp} = 0$$

oraz wprowadzając oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} g g_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \quad (5.2.1.17a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} g g_n T_n (z_2 - z_p) \quad (5.2.1.17b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}{T_n} \quad (5.2.1.17c)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} T_{mp} \quad (5.2.1.17d)$$

i korzystając z oznaczenia (5.2.1.6e), możemy napisać

$$y = cx + \frac{b}{x} - a \quad (5.2.1.18)$$

Pierwsza pochodna funkcji $y = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$ (5.2.1.18) względem x (5.2.1.17d) wynosi

$$\frac{dy}{dx} = c - bx^{-2}$$

Pochodna ta jest równa zero wówczas, gdy $x = x_{kr}$, przy czym

$$x_{kr} = \sqrt{\frac{b}{c}}$$

skąd po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.1.17b) do (5.2.1.17d) wynika

$$(\tau_{mp})_{kr} = \frac{\tau_n}{(\dot{V}_{no} + \dot{V}_{na})} \sqrt{\frac{g(z_2 - z_p)g_n}{R_a''}} \quad (5.2.1.19)$$

Druga pochodna funkcji y (5.2.1.18) względem x , tj.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = 2bx^{-3} = 2c \sqrt{\frac{c}{b}}$$

jest większa od zera. Funkcja (5.2.1.18) posiada więc minimum

$$(y)_{\min} = -a + 2\sqrt{bc}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.1.17a) do (5.2.1.17c) wynika

$$(R_{nb} \dot{V}_{nb}^2)_{\min} = -g g_n \frac{\tau_n}{\tau_{ma}} (z_2 - z_p) + R_{na}' \dot{V}_{na}^2 + 2(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no}) \sqrt{g g_n R_a'' (z_2 - z_p)} \quad (5.2.1.20)$$

Punkty przecięcia funkcji y (5.2.1.18) z osią $x = \tau_{mp}$ określają zależności x_1 i x_2 , przy czym:

$$x_1 = \frac{a + \sqrt{a^2 - 4bc}}{2c}$$

skąd po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.1.17a) do (5.2.1.17d) wynika

$$\begin{aligned} (T_{mp})_1 = & \frac{T_n \left[g \vartheta_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \right]}{2 \vartheta_n R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2} + \\ & + \frac{T_n \sqrt{\left[g \vartheta_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \right]^2 - 4 g \vartheta_n T_n R''_a (z_2 - z_p) (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}}{2 \vartheta_n R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2} \end{aligned} \quad (5.2.1.21)$$

natomiast

$$x_2 = \frac{a - \sqrt{a^2 - 4bc}}{2c}$$

stąd

$$\begin{aligned} (T_{mp})_2 = & \frac{T_n \left[g \vartheta_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) + R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \right]}{2 \vartheta_n R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2} + \\ & - \frac{T_n \sqrt{\left[g \vartheta_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) + R'_{na} \dot{V}_{na}^2 \right]^2 - 4 g \vartheta_n T_n R''_a (z_2 - z_p) (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}}{2 \vartheta_n R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2} \end{aligned} \quad (5.2.1.22)$$

Obrazem graficznym funkcji y (5.2.1.18) w układzie współrzędnych $\left(T_p, R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \right)$ jest hiperbola mająca duże asymptoty (rys. 5.4):

$$T_{mp} = 0 \quad (5.2.1.23)$$

$$\left(R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \right) = -g \vartheta_n (z_2 - z_p) \frac{T_n}{T_{ma}} + R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \frac{T_{mp}}{T_n} \quad (5.2.1.24)$$

Badając funkcję y (5.2.1.18) rozróżniamy 3 przypadki:

$a < 2\sqrt{bc}$, $a = 2\sqrt{bc}$ i $a > 2\sqrt{bc}$, a mianowicie:

W przypadku pierwszym, gdy

$$a < 2\sqrt{bc}$$

czyli po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.1.17a) do (5.2.1.17c)

gdy

$$g \vartheta_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 < 2 \sqrt{g \vartheta_n R''_a (z_2 - z_p) (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}$$

wtedy funkcja y (5.2.1.18) nie ma punktów przecięcia z osią odciętych $x = T_{mp}$, czyli dla $T_{mp} \in [0, +\infty)$ otrzymamy dodatnie wartości $y = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$; świadczy to o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (1 - B - 2) (rys. 5.4).

W przypadku drugim, gdy

$$a = 2\sqrt{bc}$$

czyli gdy

$$g \vartheta_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R'_{na} \dot{V}_{na}^2 = 2 \sqrt{g \vartheta_n R''_a (z_2 - z_p) (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}$$

wtedy funkcja y (5.2.1.18) ma z osią odciętych $x = T_{mp}$ jeden punkt wspólny o współrzędnych $\left(T_n \sqrt{g \vartheta_n (z_2 - z_p) / R''_a} / (\dot{V}_{no} + \dot{V}_{na}), 0 \right)$.

Dla wartości $T_{mp} \in [0, T_n \sqrt{g \xi_n (z_2 - z_p) / R_a''} / (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})]$ oraz $T_{mp} \in (T_n \sqrt{g \xi_n (z_2 - z_p) / R_a''} / (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no}), +\infty)$ otrzymamy dodatnie wartości $y = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$ świadczące o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy $(1 - B - 2)$ (rys. 5.4). Dla wartości $T_{mp} = T_n \sqrt{g \xi_n (z_2 - z_p) / R_a''} / (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})$, dla której $R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0$, zachodzi zatrzymanie przepływu powietrza w bocznicy $(1 - B - 2)$.

W przypadku trzecim, gdy

$$a > 2 \sqrt{bc}$$

czyli gdy

$$g \xi_n \frac{T_n}{T_{ma}} (z_2 - z_p) - R_{na}' \dot{V}_{na}^2 > 2 \sqrt{g \xi_n R_a'' (z_2 - z_p) (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2}$$

wtedy funkcja (5.2.1.18) ma dwa punkty przecięcia z osią odciętych $x = T_{mp}$; wartości $(T_{mp})_1$ oraz $(T_{mp})_2$, dla których $R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0$, określone są zależnościami (5.2.1.21) oraz (5.2.1.22). Dla wartości $T_{mp} \in [0, T_{mp,1})$ oraz $T_{mp} \in (T_{mp,2}, +\infty)$ kierunek prądu powietrza w bocznicy $(1 - B - 2)$ (rys. 5.4) jest prosty. Dla $T_{mp} \in (T_{mp,1}, T_{mp,2})$ kierunek przepływu powietrza w bocznicy $(1 - B - 2)$ jest odwrócony.

Obraz graficzny funkcji y (5.2.1.18) został przedstawiony na rys. 5.4. Sens fizyczny ma tylko ta część krzywej $R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = f(T_{mp})$, która jest położona na prawo od osi rzędnych, a więc dla wartości $T_{mp} > 0$. Ta część krzywej ma minimum, które może być ujemne (odwrócony kierunek przepływu powietrza w bocznicy $(1 - B - 2)$), co zachodzi gdy: 1) wyrażenie $(g T_n / T_{ma})$

ma dużą wartość, 2) wyrażenie $R''_a \left(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no} \right)^2 / T_n$ ma małą wartość.

Dla każdej wartości $x=T_{mp}$, dla której $y=R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$ jest mniejsze od zera, kierunek prądu powietrza w boczniccy (1 - B - 2) jest odwrócony. Na rys. 5.4 będą to wartości funkcji y (5.2.1.17) znajdujące się w IV ćwiartce układu współrzędnych $(T_{mp}, R_{nb} \dot{V}_{nb}^2)$.

Należy podkreślić, że oznaczenia (5.2.1.6a) do (5.2.1.6e), z których korzystamy w związkach (5.2.1.7) do (5.2.1.12), są odmienne od oznaczeń (5.2.1.17a) do (5.2.1.17d), z których korzystamy w związkach (5.2.1.18) do (5.2.1.24).

W następnym rozdziale przeanalizowany zostanie wpływ gęstości średniej powietrza w boczniccy (P - A - 2) (rys. 5.5) za ogniskiem pożarowym na dysypację energii w tej boczniccy przy założeniu, że stabilizowany jest normalny wydatek prądu bocznego.

5.2.2. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem przy wykonaniu stabilizacji normalnego wydatku prądu bocznego

Chcąc przeanalizować wpływ zmian średniej gęstości powietrza w boczniccy (P - A - 2) (rys. 5.5) za ogniskiem pożarowym na dysypację energii w tej boczniccy przy założeniu, że stabilizowany jest normalny wydatek prądu bocznego $\dot{V}_{nb} = \text{idem}$ (a nie prądu głównego, jak w rozdziale 5.2.1), przekształcamy zależność (5.2.1.4) do postaci

$$-g \frac{(z_2 - z_p) \xi_{ma}}{\xi_n} \xi_{mp} + \frac{g(z_2 - z_p)}{\xi_n} \xi_{mp}^2 + \frac{R'_{na} \dot{V}_{na}^2}{\xi_n} \xi_{mp} + R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 - \frac{R_{nb} \dot{V}_{nb}^2}{\xi_n} \xi_{mp} = 0 \quad (5.2.2.1)$$

Korzystając z oznaczeń:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_p)g_{ma} + R_{nb}\dot{V}_{nb}^2 - R_{na}^l \dot{V}_{na}^2}{g_n} \quad (5.2.2.2a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_p)}{g_n} \quad (5.2.2.2b)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} g_{mp} \quad (5.2.2.2c)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} R_a'' (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \quad (5.2.2.2d)$$

możemy związek (5.2.2.1.) napisać w postaci

$$-ax + bx^2 + y = 0$$

skąd

$$y = x(-bx + a) \quad (5.2.2.3)$$

Pierwsza pochodna funkcji $y = R_a'' (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2$ (5.2.2.3) względem x wynosząca

$$\frac{dy}{dx} = -2bx + a$$

jest równa zeru wtedy, gdy

$$x = x_{kr} = \frac{a}{2b}$$

czyli po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.2.2a) do (5.2.2.2c)

$$(g_{mp})_{kr} = \frac{g_{ma}}{2} + \frac{R_{nb}\dot{V}_{nb}^2 - R'_{na}\dot{V}_{na}^2}{2g(z_2 - z_p)} \quad (5.2.2.4)$$

- Druga pochodna funkcji y (5.2.2.3) wynosząca

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -2b$$

jest mniejsza od zera. Funkcja ta ma więc maksimum

$$(y)_{\max} = \frac{a^2}{4b}$$

czyli po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.2.2a) i (5.2.2.2b)

$$\left[R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \right]_{\max} = \frac{[g(z_2 - z_p)g_{ma} + R_{nb}\dot{V}_{nb}^2 - R'_{na}\dot{V}_{na}^2]^2}{4[g(z_2 - z_p)]} \quad (5.2.2.5)$$

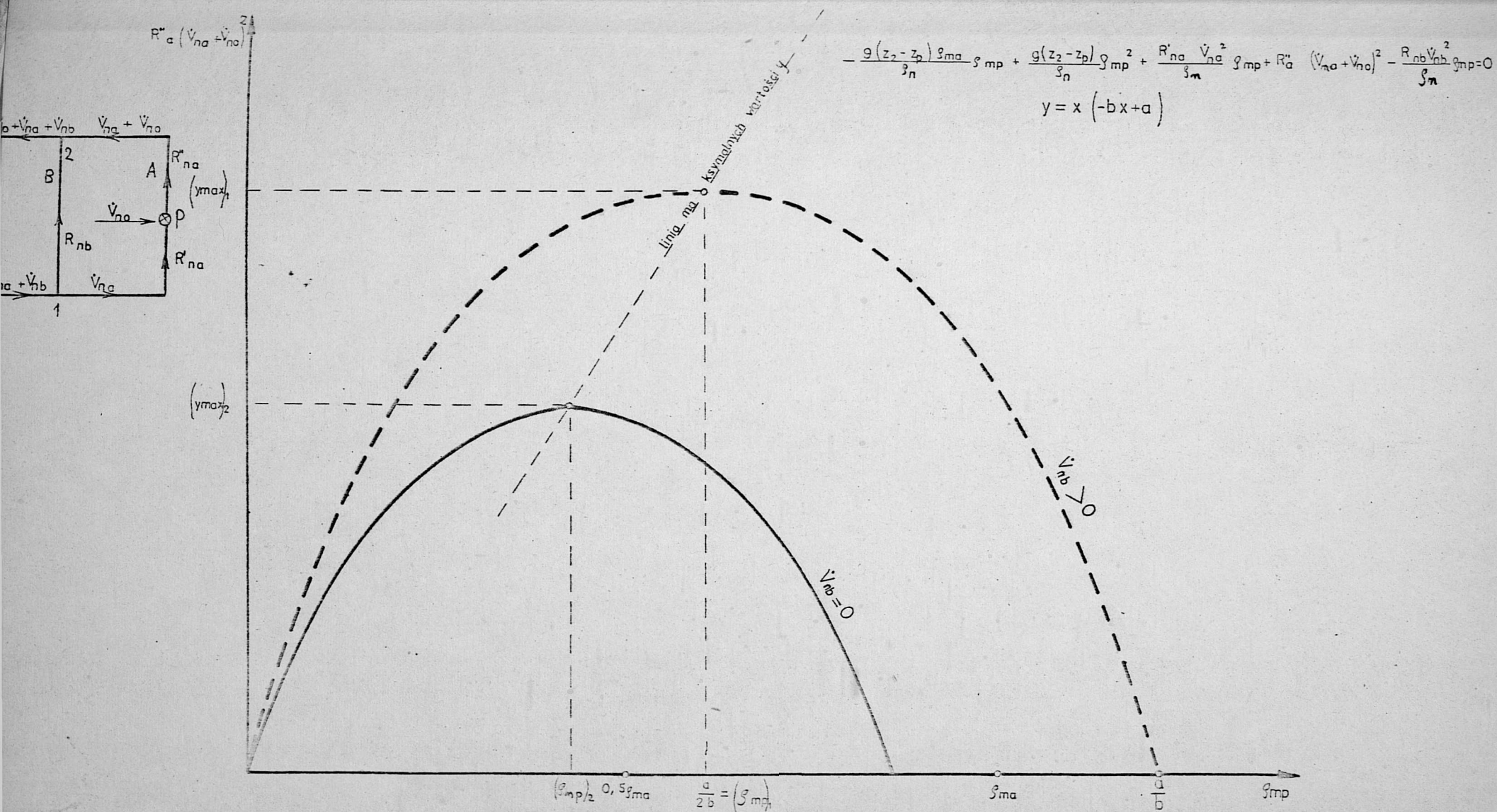
Punkty przecięcia funkcji y (5.2.2.3) z osią odciętych

$x = g_{mp}$ określają x_1 i x_2 , przy czym:

$$x_1 = (g_{mp})_1 = 0$$

oraz

$$x_2 = \frac{a}{b}$$



Rys. 5.5. Wykres zależności $g_{np} = f(R'_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2)$

czyli po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.2.2a) do (5.2.2.2b)

$$(\varrho_{mp})_2 = \frac{[g(z_2 - z_p)\varrho_{ma} + R_{nb}\dot{V}_{nb}^2 - R'_{na}\dot{V}_{na}^2]^2}{g(z_2 - z_p)} \quad (5.2.2.7)$$

W przypadku, gdy normalny wydatek prądu bocznego 1 - B - 2 (rys. 5.5) jest równy zeru, tj. $\dot{V}_{nb} = 0$, wówczas mamy

$$(y_2)_{max} = [R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2]_{max} = \frac{[g(z_2 - z_p)\varrho_{ma} - R'_{na}\dot{V}_{na}^2]^2}{4g(z_2 - z_p)}$$

Obrazem graficznym funkcji y (5.2.2.3.) jest parabola przedstawiona na rys. 5.5, której maksimum określają zależności (5.2.2.4) i (5.2.2.5), natomiast jej punkty przecięcia z osią odciętych $x = \varrho_{mp}$ dane są zależnościami (5.2.2.6) i (5.2.2.7)

W przypadku gdy średnia gęstość powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym maleje od ϱ_{ma} do $(\varrho_{mp})_{kr}$, która jest określona zależnością (5.2.2.4), wówczas dysypacja energii w prądzie głównym rośnie do wartości $[R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2]_{max}$ określonej przez (5.2.2.5). Jeśli ϱ_{mp} maleje od $(\varrho_{mp})_{kr}$ do 0, to $R''_a (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2$ również maleje do 0.

W następnym rozdziale wyprowadzone zostaną zależności dotyczące zaburzeń wentylacji przy działaniu pożaru i niewykonywaniu żadnej stabilizacji.

5.2.3. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem przy niewykonywaniu żadnej stabilizacji

A. Zmiany normalnego wydatku prądu bocznego w zależności od zmian gęstości przy założeniu $(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb}) = m$

W przypadku gdy badamy zmiany normalnego wydatku $\dot{V}_{nb}$ w prądzie bocznym (1 - B - 2) (rys. 5.6) w zależności od gęstości średniej powietrza w wyrobisku (P - A - 2) za ogniskiem pożarowym, wówczas zmieniamy założenia przyjęte w rozdziale 5.2.1 na następujące:

a) wentylacja odbywa się bez wykonywania stabilizacji, przy czym

$$\dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb} = m \quad (5.2.3.1)$$

gdzie m oznacza parametr zmienny,

b) ilość (normalny wydatek objętościowy) dymów i gazów pożarowych wydzielających się w ognisku pożarowym i jego sąsiedztwie jest równa zero

$$\dot{V}_{no} = 0$$

c) pożar powstał pomiędzy węzłami 1 i 2 na poziomie niższym (rys. 5.6).

Przy przyjęciu powyższych założeń równanie (5.2.1.4) przybierze postać

$$-g(\varrho_{ma} - \varrho_{mp})(z_2 - z_1) + R_a(m - \dot{V}_{nb})^2 \frac{\varrho_n}{\varrho_{mp}} - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0 \quad (5.2.3.2)$$

skąd

$$-\frac{R_a \varrho_n}{R_{nb}} (m - \dot{V}_{nb})^2 - \frac{g(z_2 - z_1)}{R_{nb}} \varrho_{mp}^2 + \dot{V}_{nb}^2 \varrho_{mp} + \frac{g(z_2 - z_1) \varrho_{ma}}{R_{nb}} \varrho_{mp} = 0$$

Wprowadzając do tego równania następujące oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_a g_n}{R_{nb}} \quad (5.2.3.3a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1) g_{ma}}{R_{nb}} \quad (5.2.3.3b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1)}{R_{nb}} \quad (5.2.3.3c)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} Q_{mp} \quad (5.2.3.3d)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} V_{nb} \quad (5.2.3.3e)$$

otrzymamy

$$-a(m-y)^2 - cx^2 + xy^2 + bx = 0$$

skąd wynika

$$y^2(x-a) + 2am y - (am^2 + cx^2 - bx) = 0 \quad (5.2.3.4)$$

Należy zaznaczyć, że oznaczenia (5.2.3.3a) do (5.2.3.3e) dotyczą innych wielkości niż oznaczenia przyjęte w poprzednich rozdziałach tej pracy.

Dla funkcji y (5.2.3.4) pierwsza pochodna

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2cx - y^2 - b}{2xy + 2a(m-y)}$$

jest równa zeru, gdy

$$x = x_{kr} = \frac{b}{2c} + \frac{y^2}{2c}$$

Zależność określającą krytyczną gęstość $(\rho_{mp})_{kr}$ powietrza w wyrobisku za ogniskiem pożarowym można więc - po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.3.3b) do (5.2.3.3e) - napisać w postaci

$$(\rho_{mp})_{kr} = \frac{\rho_{ma}}{2} + \frac{R_{nb} \dot{V}_{nb}^2}{2g(z_2 - z_1)} \quad (5.2.3.5)$$

Ponieważ druga pochodna funkcji y (5.2.3.5), wynosząca

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{2c}{xy + a(m-y)}$$

jest większa od zera, można stwierdzić, że funkcja ta ma minimum

$$(y)_{min} = -\frac{am}{a-x} + \sqrt{\left(\frac{am}{a-x}\right)^2 - \frac{am^2 + cx^2 - bx}{a-x}}$$

skąd po uwzględnieniu wymienionych oznaczeń oraz $x = x_{kr}$ wynika

$$(\dot{V}_{nb})_{min} = \frac{-R_a \rho_n m}{R_a \rho_n - R_{nb} \rho_{mp}} + \sqrt{\left(\frac{R_a \rho_n m}{R_a \rho_n - R_{nb} \rho_{mp}}\right)^2 - \frac{R_a \rho_n m^2 + g(z_2 - z_1) \rho_{mp}^2 - g(z_2 - z_1) \rho_{ma} \rho_{mp}}{R_a \rho_n - R_{nb} \rho_{mp}}} \quad (5.2.3.6)$$

Wyróżnik równania (5.2.3.4)

$$\Delta = 4a^2 m^2 + 4(x-a)(am^2 + cx^2 - bx) = 4x[am^2 + ab + cx^2 - x(ac + b)]$$

jest większy od zera, gdy

$$m \geq \sqrt{\frac{(ac+b)x - ab - cx^2}{a}} \quad (5.2.3.7)$$

tj. (po skorzystaniu z odnośnych oznaczeń 5.2.3.3) gdy

$$m \geq \sqrt{g(z_2 - z_1) \left[\frac{g_{mp}(g_{ma} - g_{mp})}{R_a g_n} - \frac{g_{ma} - g_{mp}}{R_{nb}} \right]} \quad (5.2.3.8)$$

Nierówność (5.2.3.7) ma sens fizyczny, gdy

$$(ac+b)x - ab - cx^2 \geq 0$$

tj. gdy

$$c(a-x)\left(x - \frac{b}{c}\right) \geq 0$$

lub (po skorzystaniu z odnośnych oznaczeń 5.2.3.3) gdy

$$-\frac{g(z_2 - z_1)}{R_{nb}} \left(g_{mp} - \frac{R_a g_n}{R_{nb}} \right) (g_{mp} - g_{ma}) \geq 0 \quad (5.2.3.9)$$

Punkty przecięcia funkcji $y = \dot{V}_{nb}$ (5.2.3.4) z osią $x = g_{mp}$ określają x_1 i x_2 , przy czym

$$x_1 = \frac{b + \sqrt{b^2 - 4acm^2}}{2c}$$

tj. (po skorzystaniu z wymienionych oznaczeń 5.2.3.3)

$$(g_{mp})_1 = \frac{g_{ma}}{2} + \sqrt{\frac{g_{ma}^2}{4} + \frac{R_a g_n m^2}{g(z_2 - z_1)}} \quad (5.2.3.10)$$

oraz

$$x_2 = \frac{b - \sqrt{b^2 - 4acm^2}}{2c}$$

tj.

$$(\xi_{mp})_2 = \frac{\xi_{ma}}{2} - \sqrt{\frac{\xi_{ma}^2}{4} + \frac{R_a \xi_n m^2}{g(z_2 - z_1)}} \quad (5.2.3.11)$$

Obrazem graficznym funkcji $y = \dot{V}_{nb}$ (5.2.3.4) jest hiperbola przedstawiona na rys. 5.6, której minimum ma współrzędne

$(\xi_{mpkr}, \dot{V}_{nbmin})$ podane zależnościami (5.2.3.5) oraz (5.2.3.6).

Punkt przecięcia hiperboli obrazującej funkcję $y = \dot{V}_{nb}$ (5.2.3.4) z osią $y = \dot{V}_{nb}$ określa zależność

$$y = m$$

tj. po uwzględnieniu (5.2.3.1)

$$y = \dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb}$$

Analizując funkcję $y = \dot{V}_{nb}$ (5.2.3.4) rozróżniamy trzy przypadki $b < 2m \sqrt{ca}$, $b = 2m \sqrt{ca}$, $b > 2m \sqrt{ca}$.

W przypadku pierwszym, gdy

$$b < 2m \sqrt{ca}$$

tj. (po skorzystaniu z odnośnych oznaczeń 5.2.3.3) gdy

$$m < \frac{g_{ma}}{2} \sqrt{\frac{g(z_2 - z_1)}{R_a g_n}}$$

funkcja $y = \dot{V}_{nb}$ (5.2.3.4.) nie ma punktów przecięcia z osią odciętych, czyli dla $g_{mp} \in [0, g_{ma}]$, otrzymamy dodatnie wartości $y = \dot{V}_{nb}$; świadczy to o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (1 - B - 2) (rys. 5.6).

W przypadku drugim, gdy

$$b = 2m \sqrt{ca}$$

tj. (po skorzystaniu z odnośnych oznaczeń 5.2.3.3.) gdy

$$m = \frac{g_{ma}}{2} \sqrt{\frac{g(z_2 - z_1)}{R_a g_n}}$$

funkcja y (5.2.3.4) posiada jeden punkt wspólny z osią odciętych, punkt o współrzędnych $(0,5 g_{ma}, 0)$. Dla $g_{mp} \in [0, 0,5 g_{ma}]$ oraz $g_{mp} \in (0,5 g_{ma}, g_{ma}]$ otrzymamy dodatnie wartości $y = \dot{V}_{nb}$ świadczące o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (1 - B - 2) (rys. 5.6).

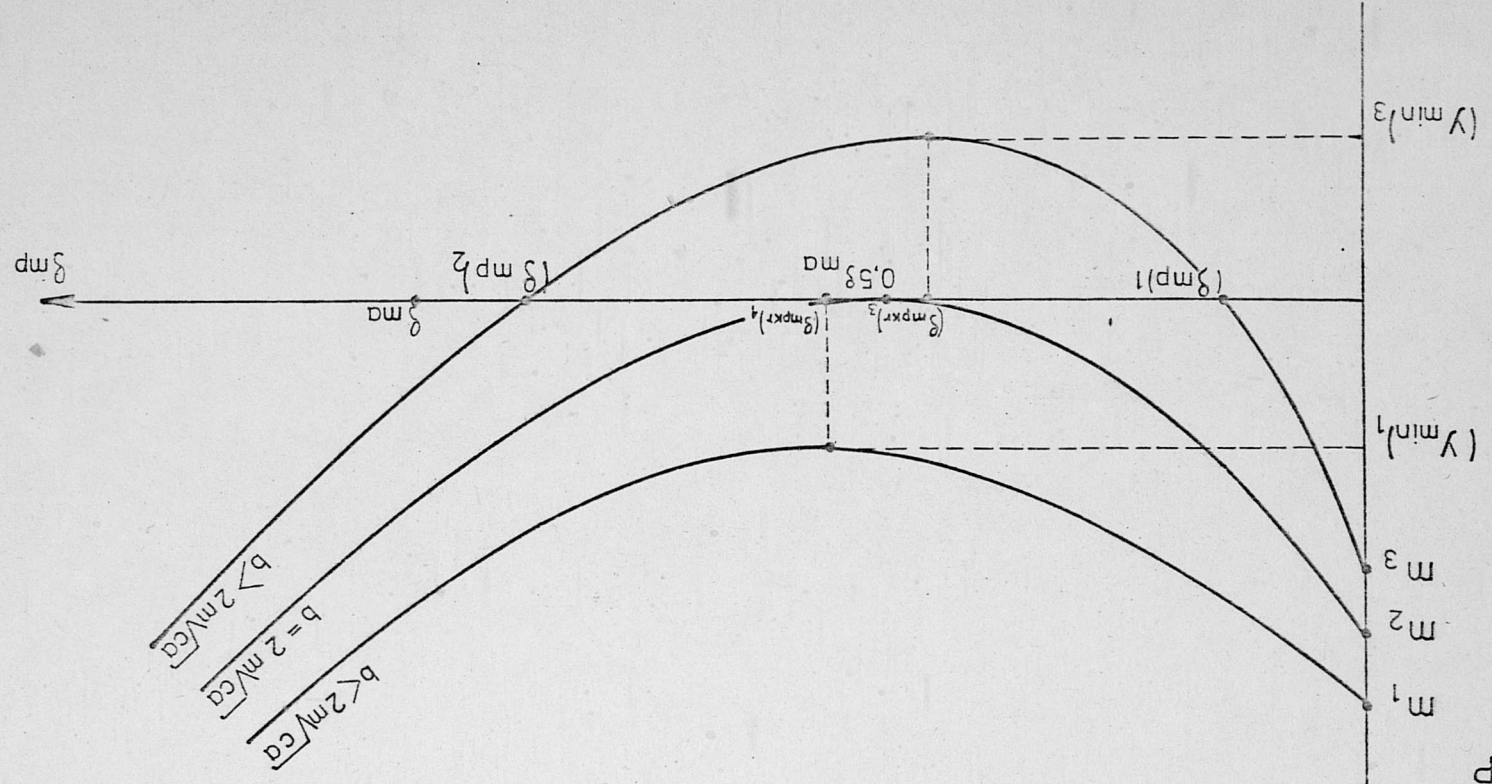
W przypadku trzecim, gdy

$$b > 2m \sqrt{ca}$$

tj. (po skorzystaniu z odnośnych oznaczeń 5.2.3.3) gdy

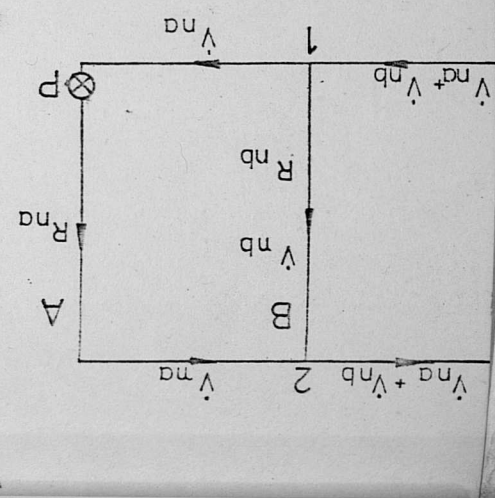
$$m > \frac{g_{ma}}{2} \sqrt{\frac{g(z_2 - z_1)}{R_a g_n}}$$

Rys. 5.6 Wykres zależności $\delta_{mp} = f(V_{nb})$.



$$- \frac{R_{nb}}{R_{nb}} (m - V_{nb})^2 - g(z_2 - z_1) \frac{R_{nb}}{R_{nb}} \delta_{mp}^2 + V_{nb}^2 \delta_{mp}^2 + g(z_2 - z_1) \frac{R_{nb}}{R_{nb}} \delta_{mp} = 0$$

$$- a(m - y)^2 - cx^2 + xy^2 + bx = 0$$



wtedy funkcja y (5.2.3.4) ma dwa punkty przecięcia z osią odciętych; wartości ξ_{mp_1} i ξ_{mp_2} , dla których $\dot{V}_{nb} = 0$, określone są zależnościami (5.2.3.10) i (5.2.3.11). Dla $\xi_{mp} \in [0, \xi_{mp_1})$ oraz $\xi_{mp} \in (\xi_{mp_2}, \xi_{ma}]$ kierunek prądu powietrza w bocznicy (1 - B - 2) (rys. 5.6) jest prosty. Dla $\xi_{mp} \in (\xi_{mp_1}, \xi_{mp_2})$ kierunek przepływu powietrza w bocznicy (1 - B - 2) jest odwrócony.

Jeżeli pożar powstał pomiędzy węzłami 1 i 2, powyżej poziomu niższego oraz jeśli ilość dymów i gazów wydzielających się w wyniku pożaru jest wielkością różną od zera, tj. jeżeli

$$\dot{V}_{no} \neq 0$$

to z równania (5.2.1.4) uzyskamy

$$\begin{aligned} & \frac{R_a'' \dot{V}_{no}^2 \xi_n}{R_{nb}} - \xi_{mp} \dot{V}_{nb}^2 - \left(\frac{g(z_2 - z_p) \xi_{ma}}{R_{nb}} \right) \xi_{mp} + \left(\frac{g(z_2 - z_p)}{R_{nb}} \right) \xi_{mp}^2 + \\ & + \left(\frac{R_a'}{R_{nb}} \right) (m - \dot{V}_{nb})^2 \xi_{mp} + \left(\frac{R_a'' \xi_n}{R_{nb}} \right) (m - \dot{V}_{nb})^2 + \left(\frac{2R_a'' \dot{V}_{no} \xi_n'}{R_{nb}} \right) (m - \dot{V}_{nb}) = 0 \end{aligned} \quad (5.2.3.12)$$

Jeśli zastosujemy oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_p) \xi_{ma}}{R_{nb}} \quad (5.2.3.13a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_p)}{R_{nb}} \quad (5.2.3.13b)$$

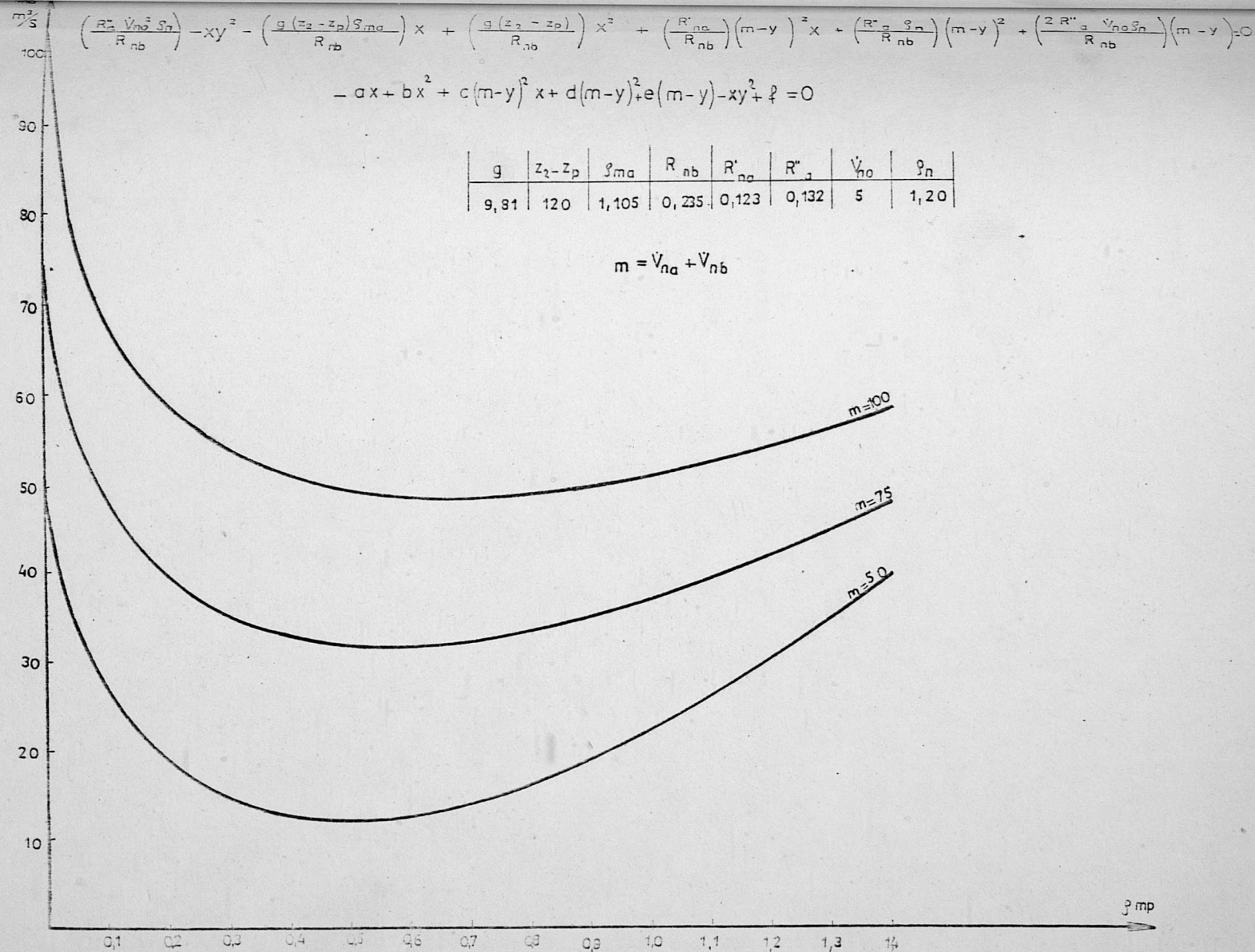
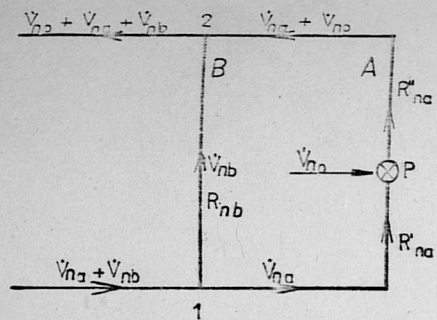
$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_a'}{R_{nb}} \quad (5.2.3.13c)$$

$$d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_a'' \xi_n}{R_{nb}} \quad (5.2.3.13d)$$

$$e \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2R_a'' \dot{V}_{no} \xi_n}{R_{nb}} \quad (5.2.3.13e)$$

$$f \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_a'' \dot{V}_{no} \xi_n}{R_{nb}} \quad (5.2.3.13f)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} \xi_{mp} \quad (5.2.3.13g)$$



Rys.5.7. Wykres zależności $g_{mp} = f(V_{nb})$ dla $V_{na} \neq 0$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} V_{nb} \quad (5.2.3.13h)$$

to ostatnie równanie przybierze postać

$$-ax + bx^2 + c(m-y)^2 x + d(m-y)^2 + e(m-y) - xy^2 + f = 0 \quad (5.2.3.14)$$

Obraz graficzny funkcji y (5.2.3.14), sporządzony przy zastosowaniu EMC, dla odpowiednich danych, został przedstawiony na rys. 5.7.

B. Zmiany normalnego wydatku prądu głównego w zależności od zmian gęstości przy założeniu $(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb}) = m$

Chcąc określić zmiany normalnego wydatku $\dot{V}_{na}$ prądu głównego (P - A - 2) (rys. 5.8) wraz ze zmianą średniej gęstości w tym wyrobisku, korzystamy z relacji (5.2.3.1) w postaci

$$\dot{V}_{nb} = m - \dot{V}_{na}$$

Równanie (5.2.1.4) po skorzystaniu z tej relacji można napisać następująco

$$-g(\xi_{ma} - \xi_{mp})(z_2 - z_1) + R_a \dot{V}_{na}^2 \frac{\xi_n}{\xi_{mp}} - R_{nb}(m - \dot{V}_{na})^2 = 0 \quad (5.2.3.15)$$

Przekształcamy równanie (5.2.3.15) do postaci

$$- \frac{g(z_2 - z_1)\xi_{ma}}{R_a \xi_n} \xi_{mp} + \frac{g(z_2 - z_1)}{R_a \xi_n} \xi_{mp}^2 + \dot{V}_{na}^2 - \frac{R_{nb}}{R_a \xi_n} + - \frac{R_{nb}}{R_a \xi_n} (m - \dot{V}_{na})^2 \xi_{mp} = 0 \quad (5.2.3.16)$$

Wprowadzając oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1) g_{ma}}{R_a g_n} \quad (5.2.3.17a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1)}{R_a g_n} \quad (5.2.3.17b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{nb}}{R_a g_n} \quad (5.2.3.17c)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} g_{mp} \quad (5.2.3.17d)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} \dot{V}_{na} \quad (5.2.3.17e)$$

uzyskujemy równanie

$$-ax + bx^2 + y^2 - c(m-y)^2 x = 0$$

skąd

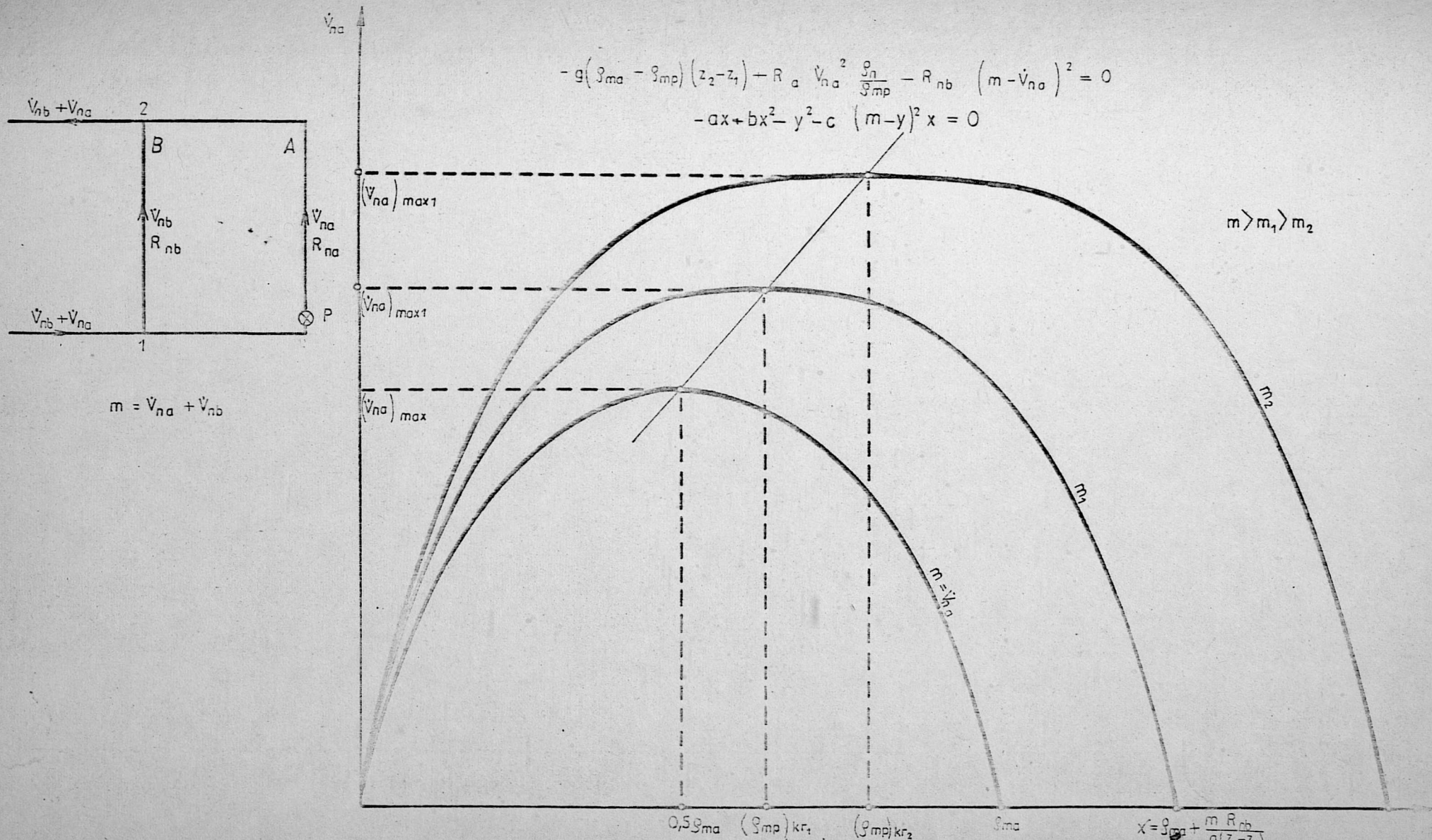
$$y^2 (1 - cx) + 2mcxy - [x(a + cm^2)] + bx^2 = 0 \quad (5.2.3.18)$$

Dla funkcji $y = \dot{V}_{na}$ (5.2.3.18) pierwsza pochodna

$$\frac{dy}{dx} = \frac{a - 2bx + c(m-y)^2}{2y + 2cx(m-y)}$$

jest równa zeru, gdy

$$x = x_{kr} = \frac{a}{2b} + \frac{c}{2b} (m-y)^2$$



Rys. 5.8. Wykres zależności ξ_{mp} od $\dot{V}_{na}$

Krytyczna średnia gęstość $(\varrho_{mp})_{kr}$ w wyrobisku za ogniskiem pożarowym, zgodnie z odnośnymi oznaczeniami (5.2.3.17), wynosi

$$(\varrho_{mp})_{kr} = \frac{\varrho_{ma}}{2} + \frac{R_{nb} \dot{V}_{nb}^2}{2g(z_2 - z_1)} \quad (5.2.3.19)$$

Druga pochodna funkcji y (5.2.3.18)

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-2b}{1+cx(m-y)y}$$

jest - jak można stwierdzić - mniejsza od zera, przeto funkcja (5.2.3.18) ma maksimum.

Wyróżnik równania (5.2.3.18)

$$\Delta = 4x \left[(1-cx)(a-bx) + cm^2 \right]$$

jest większy od zera, gdy

$$m \geq \sqrt{\frac{(1-cx)(a-bx)}{-c}}$$

czyli - po odpowiednim skorzystaniu z oznaczeń (5.2.3.17) - gdy

$$m \geq \sqrt{\frac{g(R_a \varrho_n - R_{nb} \varrho_{mp})(z_2 - z_1)(\varrho_{ma} - \varrho_{mp})}{R_{nb} R_a \varrho_n}} \quad (5.2.3.20)$$

Wartość $(y)_{max}$ jest określona zależnością

$$(y)_{max} = \frac{mcx}{(cx-1)} + \sqrt{\frac{x(a-bx)}{(1-cx)} + \frac{xcm^2}{(1-cx)^2}}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.3.17) wynika

$$(\dot{V}_{na})_{max} = \frac{m R_{nb} g_{mp}}{R_{nb} g_{mp} - R_a g_n} + \sqrt{\left(g_{ma} - g_{mp} \right) \frac{g_{mp} (z_2 - z_1)}{R_a g_n - R_{nb} g_{mp}} + \frac{R_{nb} R_a g_n m^2}{R_a g_n - R_{nb} g_{mp}} g_{mp}} \quad (5.2.3.21)$$

Punkty przecięcia funkcji $y = \dot{V}_{na}$ (5.2.3.18) z osią odciętych $x = g_{mp}$ określone są zależnościami

$$x_1 = g_{mp1} = 0 \quad (5.2.3.22)$$

$$x_2 = g_{mp2} = g_{ma} + \frac{m^2 R_{nb}}{g(z_2 - z_1)} \quad (5.2.3.23)$$

Obrazem graficznym funkcji y (5.2.3.18) jest parabola, posiadająca punkty przecięcia z osią odciętych $x = g_{mp}$ określone zależnościami (5.2.3.22) i (5.2.3.23) oraz wierzchołek o współrzędnych $(g_{mpkr}, \dot{V}_{na max})$ określonych zależnościami (5.2.3.19) i (5.2.3.21). Z przebiegu funkcji y (5.2.3.18) wynika, że w przypadku gdy g_{mp} maleje od g_{ma} do $(g_{mp})_{kr}$ wówczas normalny wydatek objętościowy $\dot{V}_{na}$ prądu głównego rośnie do $(\dot{V}_{na})_{max}$; a gdy g_{mp} maleje od $(g_{mp})_{kr}$ do 0, wtedy $\dot{V}_{na}$ maleje od $(\dot{V}_{na})_{max}$ do 0.

W przypadku gdyby pożar powstał pomiędzy węzłami 1 i 2 na poziomie wyższym oraz gdyby ilość dymów i gazów pożarowych wydzielających się w wyniku pożaru była różna od zera

$$\dot{V}_{no} \neq 0$$

wówczas z równania (5.2.1.4) uzyskalibyśmy

$$-g(z_2 - z_p)\xi_{ma} + g(z_2 - z_p)\xi_{mp} + R'_{na}\dot{V}_{na}^2 + R''_a(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 \frac{\xi_n}{\xi_{mp}} - R_{nb}(m - \dot{V}_{na})^2 = 0 \quad (5.2.3.24)$$

Przekształcamy równanie (5.2.3.24) do postaci

$$\begin{aligned} & - \left(\frac{g(z_2 - z_p)\xi_{ma}}{R''_a \xi_n} \right) \xi_{mp} + \left(\frac{g(z_2 - z_p)}{R''_a \xi_n} \right) \xi_{mp}^2 + \left(\frac{R'_{na}}{R''_a \xi_n} \right) (\dot{V}_{na}^2 \xi_{mp}) + \\ & + \dot{V}_{na}^2 + \dot{V}_{no}^2 - 2\dot{V}_{no} \gamma - \left(\frac{R_{nb}}{R''_a \xi_n} \right) (m - \dot{V}_{na})^2 \xi_{mp} = 0 \end{aligned} \quad (5.2.3.25)$$

Wprowadzamy oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_p)\xi_{ma}}{R''_a \xi_n} \quad (5.2.3.26a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_p)}{R''_a \xi_n} \quad (5.2.3.26b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R'_{na}}{R''_a \xi_n} \quad (5.2.3.26c)$$

$$d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{2\dot{V}_{no} R''_a \xi_n}{R''_a \xi_n} \quad (5.2.3.26d)$$

$$e \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{nb}}{R''_a \xi_n} \quad (5.2.3.26e)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} \xi_{mp} \quad (5.2.3.26f)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} \dot{V}_{na} \quad (5.2.3.26g)$$

Kojarząc równanie (5.2.3.25) z oznaczeniami (5.2.3.26) otrzymujemy

$$-ax + bx^2 + cy^2x + y^2 + dy + V_0^2 e \left(m - y \right)^2 x = 0 \quad (5.2.3.27)$$

Obrazem graficznym funkcji y (5.2.3.27), otrzymanym w wyniku obliczeń na EMC, jest krzywa przedstawiona na rys. 5.9 dla różnych wartości parametru m .

C. Zmiany normalnego wydatku prądu bocznego w zależności od zmian gęstości przy założeniu $\dot{V}_{na} / \dot{V}_{nb} = m$

W przypadku gdy przyjmiemy

$$\frac{\dot{V}_{na}}{\dot{V}_{nb}} = m$$

tj. gdy

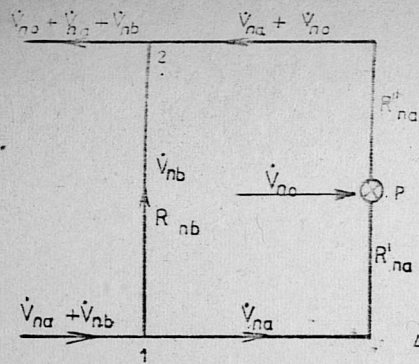
$$\dot{V}_{na} = m \dot{V}_{nb} \quad (5.2.3.28)$$

wówczas równanie (5.2.1.4.) można napisać w postaci

$$-g \left(g_{ma} - g_{mp} \right) (z_2 - z_1) + R_a m^2 \dot{V}_{nb}^2 \frac{g_n}{g_{mp}} - \dot{V}_{nb}^2 R_{nb} = 0$$

skąd po przekształceniach wynika

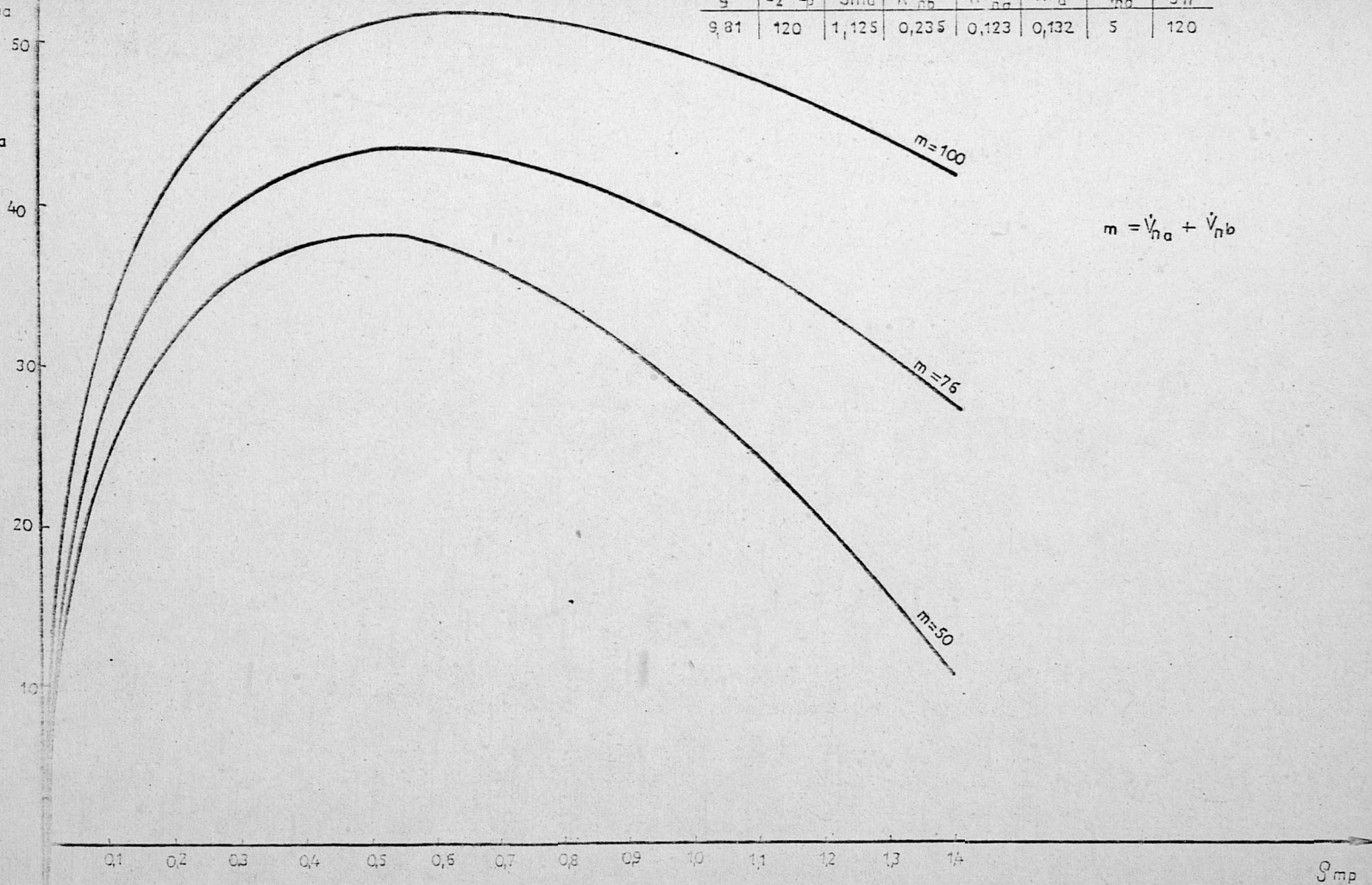
$$g_{mp} \dot{V}_{nb}^2 - \frac{g_n m^2 R_a}{R_{nb}} \dot{V}_{nb}^2 - \frac{g(z_2 - z_1)}{R_{nb}} g_{mp}^2 + \frac{g g_{ma} (z_2 - z_1)}{R_{nb}} g_{mp} = 0 \quad (5.2.3.29)$$



$$-\left(\frac{g(z_z - z_p) s_{na}}{R''_a s_n}\right)x + \left(\frac{g(z_z - z_p)}{R''_a s_n}\right)x^2 + \left(\frac{R'_{na}}{R''_a s_n}\right)y^2 x + y^2 + 2V_{no}y + V_{no}^2 - \left(\frac{R_{nb}}{R''_a s_n}\right)(m-y)^2 x = 0$$

$$-ax + bx^2 + cy^2x + y^2 + dy + V_0^2 - e(m-y)^2x = 0$$

g	$z_z - z_p$	s_{na}	R_{nb}	R'_{na}	R''_a	V_{no}	s_n
9,81	120	1,125	0,235	0,123	0,132	5	120



Rys. 5.9. Wykres zależności $S_{mp} = f(V_{na})$ dla $V_{no} \neq 0$

Wprowadzamy oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g_n m^2 R_a}{R_{nb}} \quad (5.2.3.30a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1)}{R_{nb}} \quad (5.2.3.30b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g g_{ma}(z_2 - z_1)}{R_{nb}} \quad (5.2.3.30c)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} g_{mp} \quad (5.2.3.30d)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} \dot{V}_{nb} \quad (5.2.3.30e)$$

Korzystając z oznaczeń (5.2.3.30), możemy równanie (5.2.3.29) napisać w postaci:

$$xy^2 - ay^2 - bx^2 + cx = 0$$

wobec czego

$$y = \sqrt{\frac{x(c - bx)}{a - x}} \quad (5.2.3.31)$$

Z równania (5.2.3.31) wynika, że

$$x \leq \frac{c}{b}$$

skąd po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.3.30)

$$\xi_{mp} \leq \xi_{ma} \quad (5.2.332)$$

jak również

$$x < a$$

tj.

$$\xi_{mp} < \frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}} \quad (5.2.33)$$

Pierwsza pochodna funkcji y (5.2.3.31)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{bx^2 - 2abx + ac}{2(bx^2 - cx)^{\frac{1}{2}} (x-a)^{\frac{3}{2}}}$$

jest równa zero, gdy

$$x_1 = a - \sqrt{a\left(a - \frac{c}{b}\right)}$$

$$x_2 = a + \sqrt{a\left(a - \frac{c}{b}\right)}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.3.30)

$$(\xi_{mp})_{kr_1} = \frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}} - \sqrt{\left(\frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}}\right)^2 - \frac{\xi_n m^2 R_a \xi_{ma}}{R_{nb}}} \quad (5.2.3.34)$$

$$(\xi_{mp})_{kr_2} = \frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}} + \sqrt{\left(\frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}}\right)^2 - \frac{\xi_n m^2 R_a \xi_{ma}}{R_{nb}}} \quad (5.2.3.35)$$

Pierwiastek (5.2.3.35) nie spełnia nierówności (5.2.3.33), przeto w dalszych rozważaniach został on pominięty.

Z zależności (5.2.3.34) wynika, że

$$m \geq \sqrt{\frac{g_{ma} R_{nb}}{g_n R_a}}$$

Maksimum funkcji y (5.2.3.31) wynosi

$$(y)_{\max} = \sqrt{\frac{[b(a - \sqrt{a(a - \frac{c}{b})}) - c][a - \sqrt{a(a - \frac{c}{b})}]}{\sqrt{a(a - \frac{c}{b})}}}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.3.30)

$$(\dot{V}_{nb})_{\max} = \sqrt{\frac{\frac{g(z_2 - z_1)}{R_{nb}} \left[\frac{g_n m^2 R_a}{R_{nb}} - \sqrt{\left(\frac{g_n m^2 R_a}{R_{nb}} \right)^2 - \frac{g_n m^2 R_a g_{ma}}{R_{nb}}} \right] - \frac{g g_{ma} (z_2 - z_1)}{R_{nb}}}{\sqrt{\left(\frac{g_n m^2 R_a}{R_{nb}} \right)^2 - \frac{g_n m^2 R_a g_{ma}}{R_{nb}}}}} \quad (5.2.3.36)$$

Punkty przecięcia funkcji y (5.2.3.31) z osią odciętych $x = g_{mp}$ mają odcięte:

$$x_1 = g_{mp1} = 0 \quad (5.2.3.37)$$

$$x_2 = g_{mp2} = \frac{c}{b} = g_{ma} \quad (5.2.3.38)$$

Obrazem graficznym funkcji y (5.2.3.31) jest parabola przedstawiona na rys. 5.10, o punktach przecięcia z osią $x = g_{mp}$ określonych zależnościami (5.2.3.37) i (5.2.3.38) i wierzchołku o współrzędnych $(g_{mpkr}, \dot{V}_{nb max})$ określonych zależnościami (5.2.3.34) i (5.2.3.36). Z rys. 5.10 wynika, że w przypadku gdy g_{mp} maleje od wartości g_{ma} do $(g_{mp})_{kr}$ określonej zależnością (5.2.3.34), wówczas normalny wydatek objętościowy $\dot{V}_{nb}$ prądu bocznego (1 - B - 2) rośnie do wartości $(\dot{V}_{nb})_{max}$ określonej zależnością (5.2.3.36). Gdy g_{mp} maleje od $(g_{mp})_{kr}$ do 0, wtedy $\dot{V}_{nb}$ maleje od $(\dot{V}_{nb})_{max}$ do 0.

W następnym rozdziale wyprowadzone zostaną zależności dotyczące przypadku zaburzeń wentylacji spowodowanych pożarem w okresie po wystąpieniu odwróceń prądów bocznych.

5.2.4. Zaburzenia wentylacji spowodowane pożarem w okresie po wystąpieniu odwróceń prądów bocznych

A. Zmiany dysypacji energii w drugim prądzie bocznym w zależności od zmian gęstości

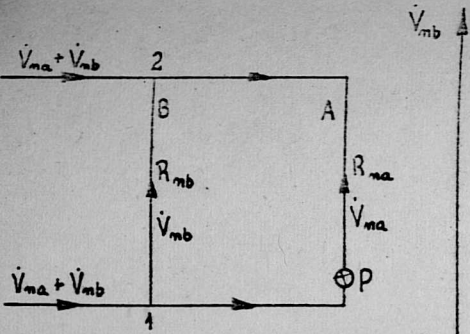
W celu zbadania wpływu gęstości średniej powietrza w boczniocy (P - A - 2) (rys. 5.11) za ogniskiem pożarowym na dysypację energii w boczniocy (3-4) przy wystąpieniu odwrócenia prądu bocznego (1 - B - 2) korzystamy z zależności (5.1.17) i (5.1.19).

Otrzymujemy:

$$(p_1 - p_2) = g_{mp}(z_2 - z_1) + R_a \dot{V}_{na}^2 \frac{g_n}{g_{mp}} \quad (5.2.4.1)$$

$$-g(\xi_{ma} - \xi_{mp})(z_2 - z_1) + R_a m^2 \dot{V}_{nb}^2 \frac{\xi_n}{\xi_{mp}} - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = 0$$

$$y = \sqrt{\frac{x(bx-c)}{x-a}}$$



$$m = \frac{\dot{V}_{ma}}{\dot{V}_{nb}}$$

$$(\dot{V}_{nb})_{max}$$

$$(\xi_{mp})_{kr} = \frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}} - \sqrt{\left(\frac{\xi_n m^2 R_a}{R_{nb}}\right)^2 - \frac{\xi_n m^2 R_a \xi_{ma}}{R_{nb}}}$$

$$\xi_{mp} = \frac{\xi}{6} = \xi_{ma}$$

$$\xi_{mp}$$

Rys.5.10 Wykres zależności $\xi_{mp} = f(\dot{V}_{nb})$

$$(p_1 - p_2) = g g_{ma} (z_2 - z_1) - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \quad (5.2.4.2)$$

$$(p_3 - p_4) = g g_{ma} (z_2 - z_1) + R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \quad (5.2.4.3)$$

$$(p_1 - p_3) = -R_{ns}^i \dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.4)$$

$$(p_4 - p_2) = -R_{ns}'' \dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.5)$$

Dodając stronami związki (5.2.4.3), (5.2.4.4) i (5.2.4.5) uzyskujemy zależność

$$-(p_1 - p_2) = g g_{ma} (z_2 - z_1) + R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.6)$$

Na podstawie zależności (5.2.4.1), (5.2.4.3), (5.2.4.4) i (5.2.4.5) możemy napisać

$$-g (z_2 - z_1) (g_{ma} - g_{mp}) - R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_a \dot{V}_{na}^2 \frac{g_n}{g_{mp}} = 0 \quad (5.2.4.7)$$

W przypadku odwróconego kierunku przepływu prądu powietrza w bocznicy (1 - B - 2) otrzymamy

$$\dot{V}_{na} = \dot{V}_{ns} + \dot{V}_{nb} \quad (5.2.4.8)$$

Kojarząc zależność (5.2.4.8) z równaniem (5.2.4.7) otrzymamy

$$-g (z_2 - z_1) (g_{ma} - g_{mp}) - R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_a (\dot{V}_{ns} + \dot{V}_{nb})^2 \frac{g_n}{g_{mp}} = 0 \quad (5.2.4.9)$$

Kojarząc zaś zależność (5.2.4.2) z (5.2.4.6) dostajemy

$$R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 = R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 - R_{nc} \dot{V}_{nc}^2$$

skąd

$$\frac{\dot{V}_{nb}}{\dot{V}_{ns}} = \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{nc} \dot{V}_{nc}^2}{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2} \right)} \quad (5.2.4.10)$$

Doprowadzając równanie (5.2.4.9) do postaci

$$\begin{aligned} & -g(z_2 - z_1) \vartheta_{ma} \vartheta_{mp} + g(z_2 - z_1) \vartheta_{mp}^2 - R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \vartheta_{mp} + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 \vartheta_{mp} + \\ & + R_a \dot{V}_{ns}^2 \left(1 + \frac{\dot{V}_{nb}}{\dot{V}_{ns}} \right)^2 \vartheta_n = 0 \end{aligned}$$

oraz korzystając z zależności (5.2.4.10), otrzymujemy

$$\begin{aligned} & -g(z_2 - z_1) \vartheta_{ma} \vartheta_{mp} + g(z_2 - z_1) \vartheta_{mp}^2 - R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \vartheta_{mp} + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 \vartheta_{mp} + \\ & + R_a \dot{V}_{ns}^2 \left[1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{nc} \dot{V}_{nc}^2}{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2} \right)} \right]^2 \vartheta_n = 0 \end{aligned}$$

skąd wynika

$$\begin{aligned} & \frac{g(z_2 - z_1)}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{ns}^2} \vartheta_{mp}^2 - \frac{1}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{ns}^2} R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \vartheta_{mp} - \vartheta_{mp} \left[\frac{g(z_2 - z_1) \vartheta_{ma}}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{nb}^2} - \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{ns}^2} \right] + \\ & + \left[1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{1}{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2} R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \right)} \right]^2 = 0 \end{aligned} \quad (5.2.4.11)$$

Wprowadzamy oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1) \vartheta_{ma}}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{ns}^2} \quad (5.2.4.12a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1)}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{ns}^2} \quad (5.2.4.12b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{\vartheta_n R_a \dot{V}_{ns}^2} \quad (5.2.4.12c)$$

$$d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{s_n R_a \dot{V}_{ns}^2} \quad (5.2.4.12d)$$

$$e \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{ns}}{R_{nb}} \quad (5.2.4.12e)$$

$$f \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2} \quad (5.2.4.12f)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} s_{mp} \quad (5.2.4.12g)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \quad (5.2.4.12h)$$

Równanie (5.2.4.11) po skorzystaniu oznaczeń (5.2.4.12) można napisać w postaci

$$bx^2 - cxy - x(a-d) + \left[1 + \sqrt{e(1-fy)}\right]^2 = 0 \quad (5.2.4.13)$$

Obraz graficzny funkcji y (5.2.4.13) został przedstawiony na rys. 5.11. Wykres ten sporządzono przy zastosowaniu EMC dla wartości przedstawionych na rys. 5.11. Jak wynika z tego rysunku, wykresem funkcji y (5.2.4.13) jest hiperbola.

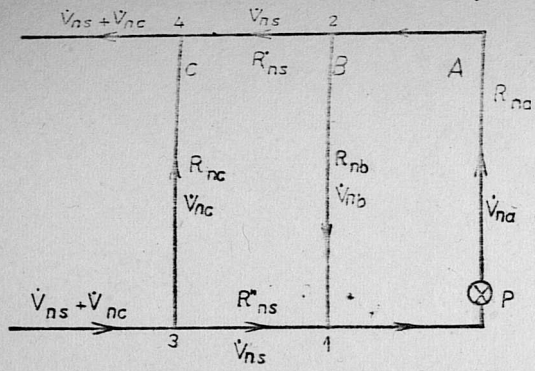
W przypadku gdy $y=0$, wówczas z równania (5.2.4.13) wynika

$$bx^2 - x(a-d) + (1 + \sqrt{e})^2 = 0 \quad (5.2.4.14)$$

Po obliczeniu wyróżnika tego równania

$$\Delta = (a-d)^2 - 4b(1 + \sqrt{e})^2$$

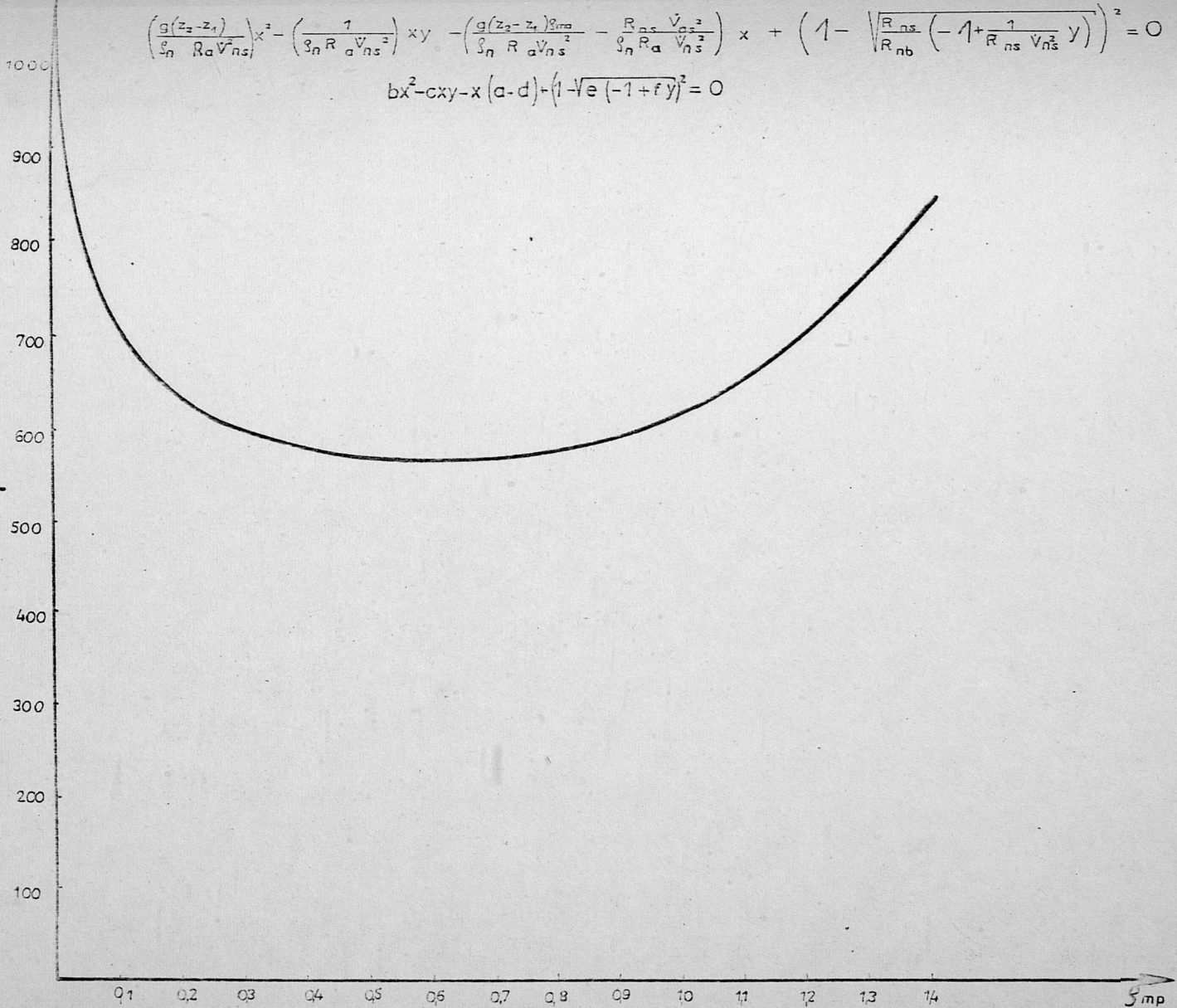
można określić punkty przecięcia się wykresu funkcji y z osią x (5.2.4.13) mające odcięte x_1 i x_2 , przy czym



g	$z_2 - z_1$	g_{ma}	R_{nb}	g_n	V_{ns}	R_a	R_{ns}
9,81	120	1,125	0,235	1,20	50	0,331	0,196

Rys. 5.11. Wykres zależności

$$g_{mp} = f(R_{nc} V_{nc}^2)$$



$$x_1 = \frac{(a-d) - \sqrt{(a-d)^2 - 4b(1+\sqrt{e})^2}}{2b}$$

czyli - po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.4.12)

$$(\xi_{mp})_1 = \frac{\xi_{ma}}{2} - \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{2g(z_2-z_1)} \sqrt{\frac{[g(z_2-z_1)\xi_{ma} - R_{ns}\dot{V}_{ns}^2]^2}{4g^2(z_2-z_1)^2} - \frac{\xi_n R_a \dot{V}_{ns}^2}{g(z_2-z_1)} \left(1 + \frac{R_{ns}}{R_{nb}}\right)^2} \quad (5.2.4.15)$$

jak również

$$x_2 = \frac{(a-d) + \sqrt{(a-d)^2 - 4b(1+\sqrt{e})^2}}{2b}$$

tj.

$$(\xi_{mp})_2 = \frac{\xi_{ma}}{2} - \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{2g(z_2-z_1)} + \sqrt{\frac{[g(z_2-z_1)\xi_{ma} - R_{ns}\dot{V}_{ns}^2]^2}{4g^2(z_2-z_1)^2} - \frac{\xi_n R_a \dot{V}_{ns}^2}{g(z_2-z_1)} \left(1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}}}\right)^2} \quad (5.2.4.16)$$

W przypadku gdy $x=0$, wówczas z równania (5.2.4.13) wynika zależność

$$[1 + \sqrt{e(1-fy)}]^2 = 0 \quad (5.2.4.17)$$

Na podstawie zależności (5.2.4.17) można określić punkt przecięcia się funkcji y (5.2.4.13) z osią rzędnych, tj.

$$y = \frac{e-1}{ef}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.4.12)

$$R_{nc}\dot{V}_{nc}^2 = (R_{ns} - R_{nb})\dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.18)$$

Jak już wspomniano, wykresem funkcji y (5.2.4.13) jest hiperbola.

Rozróżniamy tu 3 przypadki:

W przypadku pierwszym, gdy

$$b > \frac{(a-d)^2}{4(1+\sqrt{e})^2}$$

tj. gdy (zgodnie z oznaczeniami (5.2.4.12))

$$b > \frac{\left[\frac{g(z_2 - z_1) \xi_{ma}}{\xi_n R_a \dot{V}_{ns}^2} - \frac{R_{ns}}{\xi_n R_a} \right]^2}{4 \left(1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}}} \right)^2}$$

wtedy wykres funkcji y (5.2.4.13) nie ma punktów przecięcia z osią odciętych, czyli dla $\xi_{mp} \in [0, \xi_{ma}]$ otrzymamy dodatnie wartości $y = R_{nc} \dot{V}_{nc}^2$, co świadczy o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-4) (rys. 5.12).

W przypadku drugim, gdy

$$b = \frac{(a-d)^2}{4(1+\sqrt{e})^2}$$

tj. gdy (zgodnie z oznaczeniami (5.2.4.12))

$$b = \frac{\left[\frac{g(z_2 - z_1) \xi_{ma}}{\xi_n R_a \dot{V}_{ns}^2} - \frac{R_{ns}}{\xi_n R_a} \right]^2}{4 \left(1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}}} \right)^2}$$

wtedy funkcja y (5.2.4.13) ma z osią odciętych jeden punkt wspólny o współrzędnych $\left[0, 5 \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 / 2g(z_2 - z_1) \right], 0$.

Dla wartości $\xi_{mp} \in \left[0, 5 \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 / 2g(z_2 - z_1) \right]$ oraz $\xi_{mp} \in \left(0, 5 \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 / 2g(z_2 - z_1), \xi_{ma} \right]$ otrzymamy dodatnie wartości $y = R_{nc} \dot{V}_{nc}^2$ świadczące o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-4).

Dla wartości $\xi_{mp} = 0,5 \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 / 2g(z_2 - z_1)$, dla których $R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 = 0$, występuje zatrzymanie przepływu powietrza w bocznicach (3-4) (rys. 5.12).

W przypadku trzecim, gdy

$$b < \frac{(a-d)^2}{4(1+|e|)^2}$$

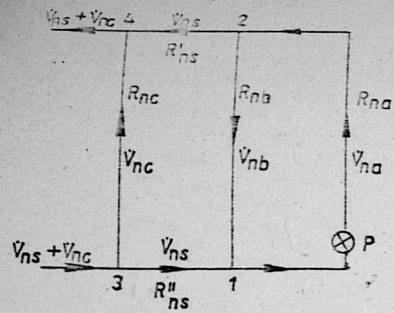
tj. gdy (zgodnie z oznaczeniami (5.2.4.12))

$$b < \frac{\left[\frac{g(z_2 - z_1) \xi_{ma}}{\xi_n R_a \dot{V}_{ns}^2} - \frac{R_{ns}}{\xi_n R_a} \right]^2}{4 \left(1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}}} \right)^2}$$

wtedy funkcja y (5.2.4.13) ma dwa punkty przecięcia z osią odciętych. Wartości $(\xi_{mp})_1$ oraz $(\xi_{mp})_2$, dla których $R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 = 0$, określone są zależnościami (5.2.4.15) i (5.2.4.16). Dla wartości $\xi_{mp} \in [0, (\xi_{mp})_1]$ oraz $\xi_{mp} \in [(\xi_{mp})_2, \xi_{ma}]$ kierunek przepływu powietrza w bocznicach (3-4) jest prosty. Dla wartości zaś $\xi_{mp} \in (\xi_{mp}_1, \xi_{mp}_2)$ kierunek przepływu powietrza w bocznicach (3-4) (rys. 5.12) jest odwrócony.

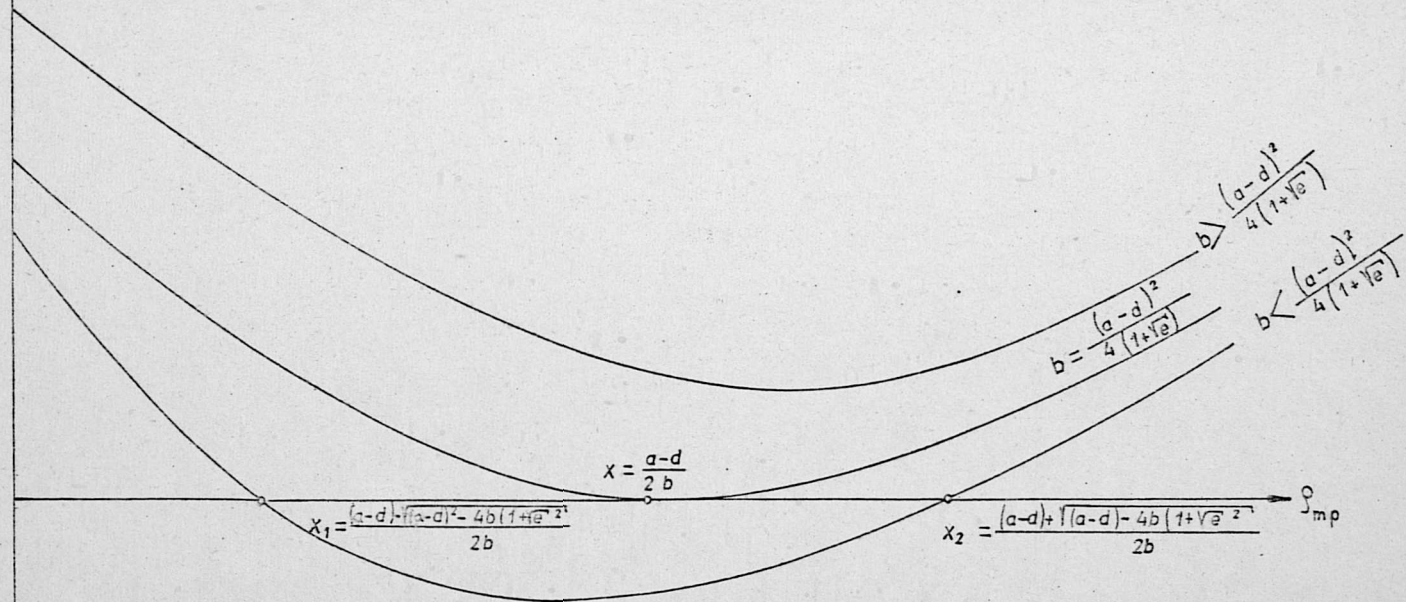
B. Zmiany dysypacji energii w trzecim prądzie bocznym w zależności od zmian gęstości

Chcąc zbadać wpływ gęstości średniej powietrza zadymionego w bocznicach (P - A - 2) (rys. 5.13) za ogniskiem pożarowym na dysypację energii w prądzie bocznym (5-6) przy odwróconych kierunkach przepływu powietrza w bocznicach (1 - B - 2) i (3-4),



$$\left(\frac{g(z_s - z_1)}{g_n R_a V_{ns}^2} \right) x^2 - \left(\frac{1}{g_n R_a V_{ns}^2} \right) xy - \left(\frac{g(z_s - z_1) g_{ma}}{g_n R_a V_{ns}^2} - \frac{R_{ns} V_{ns}^2}{g_n R_a V_{ns}^2} \right) x + \left(1 + \sqrt{\frac{R_{ns}}{R_{nb}}} \left(1 - \frac{R_{nc} V_{nc}^2}{R_{ns} V_{ns}^2} \right) \right)^2 = 0$$

$$bx^2 - cxy - x(a-d) + \left(1 + \sqrt{e(1-fy)} \right)^2 = 0$$



Rys. 5.12. Wykres zależności $g_{mp} = f(R_{nc} V_{nc}^2)$

wychodzimy z zależności (5.1.17) oraz (5.1.19). Otrzymujemy:

$$(p_1 - p_2) = g \vartheta_{mp} (z_2 - z_1) + R_a \dot{V}_{na}^2 \frac{\vartheta_n}{\vartheta_{mp}} \quad (5.2.4.19)$$

$$(p_1 - p_2) = g \vartheta_{ma} (z_2 - z_1) - R_{nb} \dot{V}_{nb}^2 \quad (5.2.4.20)$$

$$(p_3 - p_4) = g \vartheta_{ma} (z_2 - z_1) - R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 \quad (5.2.4.21)$$

$$(p_5 - p_6) = g \vartheta_{ma} (z_2 - z_1) + R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 \quad (5.2.4.22)$$

$$(p_1 - p_3) = -R_{ns}'' \dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.23)$$

$$(p_3 - p_5) = -R_{nm}'' \dot{V}_{nm}^2 \quad (5.2.4.24)$$

$$(p_4 - p_2) = -R_{ns}' \dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.25)$$

$$(p_6 - p_4) = -R_{nm}' \dot{V}_{nm}^2 \quad (5.2.4.27)$$

Dodając stronami związki od (5.2.4.22) do (5.2.4.27) uzyskujemy zależność

$$(p_1 - p_2) = g \vartheta_{ma} (z_2 - z_1) + R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 - R_{nm} \dot{V}_{nm}^2 - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 \quad (5.2.4.28)$$

Na podstawie zależności (5.2.4.19) i (5.2.4.28) możemy napisać

$$-g (z_2 - z_1) (\vartheta_{ma} - \vartheta_{mp}) - R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2 + R_a \dot{V}_{na}^2 \frac{\vartheta_n}{\vartheta_{mp}} = 0 \quad (5.2.4.29)$$

Dla przepływu powietrza w sieci przedstawionej na rys. 5.13 otrzymujemy

$$\dot{V}_{nm} = \dot{V}_{ns} + \dot{V}_{nc} = \dot{V}_{na} - \dot{V}_{nb} + \dot{V}_{nc}$$

t.j.

$$\dot{V}_{na} = \dot{V}_{nm} + \dot{V}_{nb} - \dot{V}_{nc} \quad (5.2.4.30)$$

Sumując stronami zależności (5.2.4.29) oraz (5.2.4.30) dostajemy

$$-g(z_2 - z_1) (\xi_{ma} - \xi_{mp}) - R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2 + R_a (\dot{V}_{nm} + \dot{V}_{nb} - \dot{V}_{nc})^2 \frac{\xi_n}{\xi_{mp}} = 0 \quad (5.2.4.31)$$

Na podstawie związków (5.2.4.20) i (5.2.4.28) otrzymamy zależność

$$-R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2 + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 = R_{nb} \dot{V}_{nb}^2$$

skąd wynika

$$\frac{\dot{V}_{nb}}{\dot{V}_{nm}} = \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \right)} \quad (5.2.4.32)$$

Ze skojarzenia zależności (5.2.4.21), (5.2.4.24), (5.2.4.26) i (5.2.4.28) uzyskujemy

$$R_{nc} \dot{V}_{nc}^2 = R_{nm} \dot{V}_{nm}^2 - R_{nd} \dot{V}_{nd}^2$$

skąd po przekształceniu wynika

$$\frac{\dot{V}_{nc}}{\dot{V}_{nm}} = \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}} \left(1 - \frac{R_{nd} \dot{V}_{nd}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \right)} \quad (5.2.4.33)$$

Doprowadzamy zależność (5.2.3.31) do postaci

$$-g(z_2 - z_1) (\xi_{ma} - \xi_{mp}) - R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 + R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2 + R_a \dot{V}_{nm}^2 \left(1 + \frac{\dot{V}_{nb}}{\dot{V}_{nm}} - \frac{\dot{V}_{nc}}{\dot{V}_{nm}} \right)^2 \frac{\xi_n}{\xi_{mp}} = 0 \quad (5.2.4.34)$$

Na podstawie związków (5.2.4.32) do (5.2.4.34) dostajemy

$$-g(z_2 - z_1)(g_{ma} - g_{mp}) - R_{nd}\dot{V}_{nd}^2 + R_{ns}\dot{V}_{ns}^2 + R_{nm}V_{nm}^2 + R_a\dot{V}_{nm}^2 \left(1 + \right.$$

$$\left. + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{nd}\dot{V}_{nd}^2 - R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{R_{nm}\dot{V}_{nm}}\right)} - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}} \left(1 - \frac{R_{nd}\dot{V}_{nd}^2}{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2}\right)} \right)^2 \frac{g_n}{g_{mp}} = 0$$

skąd wynika

$$\begin{aligned} & \frac{g(z_2 - z_1)}{R_a\dot{V}_{nm}^2 g_n} g_{mp}^2 + \frac{1}{R_a\dot{V}_{nm}^2 g_n} R_{nd}\dot{V}_{nd}^2 g_{mp} - \left(\frac{g(z_2 - z_1)g_{ma}}{R_a\dot{V}_{nm}^2 g_n} - \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{R_a g_n \dot{V}_{nm}^2} - \frac{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} \right) g_{mp} + \\ & + \left(1 + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{1}{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2} R_{nd}\dot{V}_{nd}^2 + \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2}\right)} - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}} \left(1 - \frac{R_{nd}\dot{V}_{nd}^2}{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2}\right)} \right)^2 = 0 \end{aligned} \quad (5.2.4.35)$$

Wprowadzamy oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1)g_{ma}}{R_a\dot{V}_{nm}^2 g_n} \quad (5.2.4.36a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{g(z_2 - z_1)}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} \quad (5.2.4.36b)$$

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} \quad (5.2.4.36c)$$

$$d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{g_n R_a \dot{V}_{nm}^2} \quad (5.2.4.36d)$$

$$e \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2}{g_n R_a \dot{V}_{nm}^2} \quad (5.2.4.36e)$$

$$R_{nb}$$

$$g \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \quad (5.2.4.36g)$$

$$h \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \quad (5.2.4.36h)$$

$$i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{nm}}{R_{nc}} \quad (5.2.4.36i)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} s_{mp} \quad (5.2.4.36j)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 \quad (5.2.4.36k)$$

Korzystając z oznaczeń (5.2.4.35), możemy napisać równanie (5.2.3.34) w postaci

$$bx^2 + cxy - x(a - d - e) + \left(1 - \sqrt{f(1 - hy + g)} - \sqrt{i(1 - hy)}\right)^2 = 0 \quad (5.2.4.37)$$

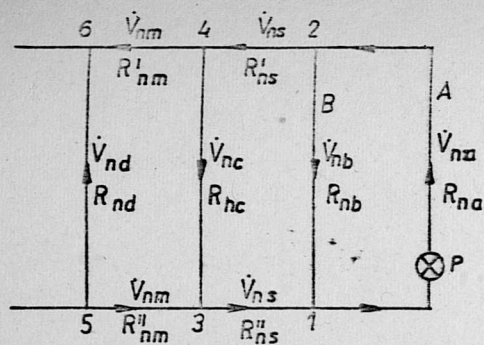
Obraz graficzny funkcji y (5.2.4.37) został przedstawiony na rys. 5.13. Wykres ten został sporządzony przy zastosowaniu EMC dla wartości podanych w tabelicy na rys. 5.13. Jak wynika z rys. 5.13 wykresem funkcji y (5.2.4.37) jest hiperbola.

W przypadku gdy $y=0$, wówczas funkcja y (5.2.4.37) ma postać

$$bx^2 - x(a - d - e) + \left(1 - \sqrt{f(1 - g)} + \sqrt{i}\right)^2 = 0 \quad (5.2.4.38)$$

Wyróżnikiem tego równania jest

$$\Delta = (a - d - e)^2 - 4b \left(1 - \sqrt{f(1 - g)} + \sqrt{i}\right)^2$$

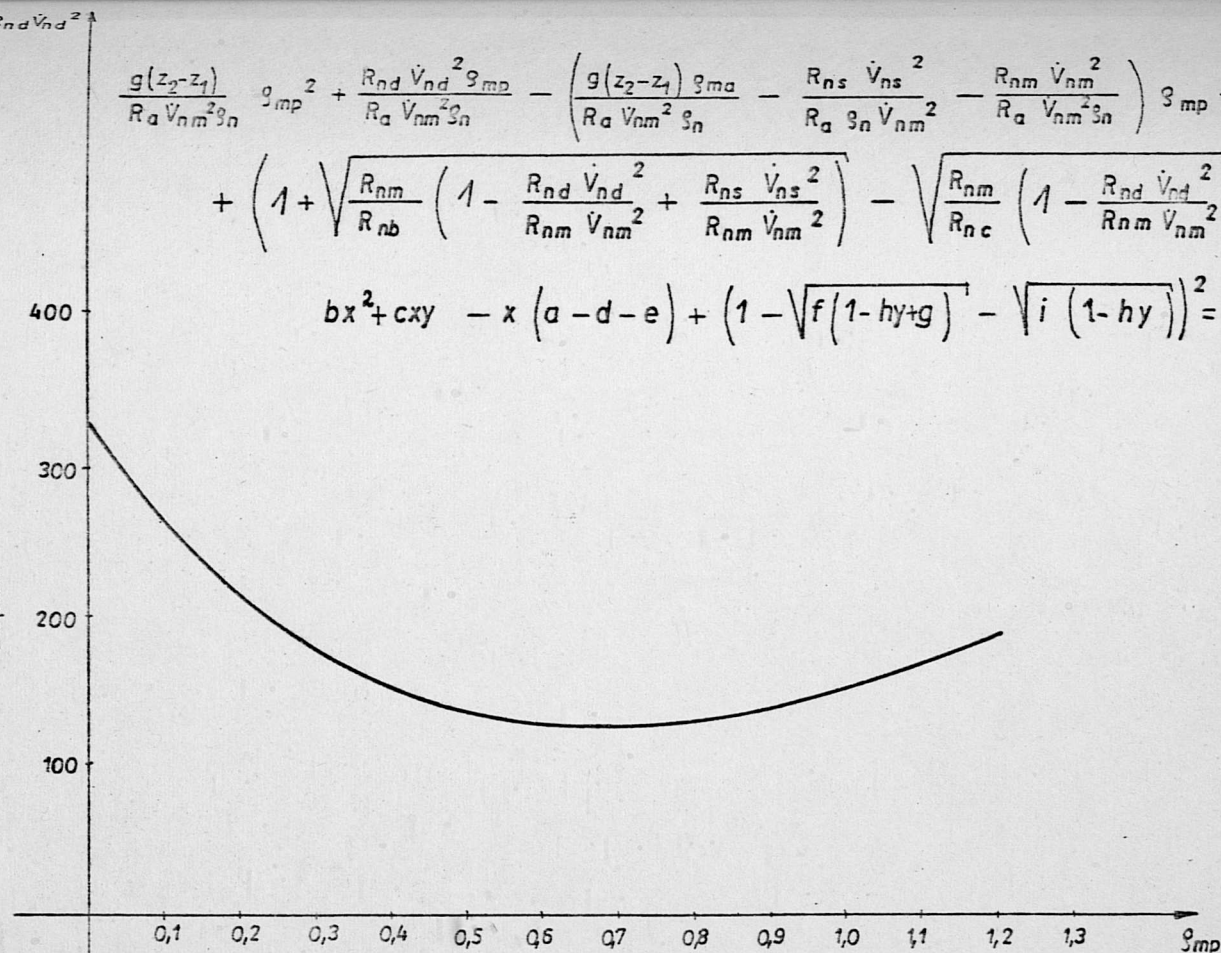


$$\frac{g(z_2 - z_1)}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} g_{mp}^2 + \frac{R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 g_{mp}}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} - \left(\frac{g(z_2 - z_1) g_{ma}}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} - \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_a g_n \dot{V}_{nm}^2} - \frac{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2}{R_a \dot{V}_{nm}^2 g_n} \right) g_{mp} +$$

$$+ \left(1 + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{nd} \dot{V}_{nd}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} + \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \right)} - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}} \left(1 - \frac{R_{nd} \dot{V}_{nd}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \right)} \right)^2 = 0$$

$$bx^2 + cxy - x(a - d - e) + \left(1 - \sqrt{f(1 - hy + g)} - \sqrt{i(1 - hy)} \right)^2 = 0$$

g	$z_2 - z_1$	g_{ma}	R_{ns}	R_{nm}	g_n	$\dot{V}_{ns}$	$\dot{V}_{nm}$	R_a	R_{nb}	R_{nc}	R_{nd}
9,81	120	1125	0,196	0,213	1,20	60	40	0,331	0,235	0,196	0,237



Rys. 5.13 Wykres zależności $g_{mp} = f(R_{nd} \dot{V}_{nd}^2)$

odcięte punktów przecięcia się funkcji y (5.2.4.37) z osią odciętych wynoszą x_1 i x_2 , przy czym

$$x_1 = \frac{(a-d-e) - \sqrt{(a-d-e)^2 - 4b(1-\sqrt{f(1-g)} + \sqrt{i})^2}}{2b}$$

skąd po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.4.36) wynika

$$(\vartheta_{mp})_1 = \frac{\vartheta_{ma}}{2} - \frac{(R_{ns}\dot{V}_{ns}^2 + R_{nm}\dot{V}_{nm}^2)}{2g(z_2 - z_1)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{[g(z_2 - z_1) - R_{ns}\dot{V}_{ns}^2 - R_{nm}\dot{V}_{nm}^2]}{4g^2(z_2 - z_1)^2} - \frac{R_a\dot{V}_{nm}\vartheta_n}{g(z_2 - z_1)} \left(1 - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}}} \left(1 - \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2} \right) + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}}} \right)^2} \quad (5.24.39)$$

jak również

$$x_2 = \frac{(a-d-e) + \sqrt{(a-d-e)^2 - 4b(1-\sqrt{f(1-g)} + \sqrt{i})^2}}{2b}$$

skąd po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.4.35) uzyskujemy

$$(\vartheta_{mp})_2 = \frac{\vartheta_{ma}}{2} - \frac{(R_{ns}\dot{V}_{ns}^2 + R_{nm}\dot{V}_{nm}^2)}{2g(z_2 - z_1)} +$$

$$+ \sqrt{\frac{[g(z_2 - z_1) - R_{ns}\dot{V}_{ns}^2 - R_{nm}\dot{V}_{nm}^2]}{4g^2(z_2 - z_1)^2} - \frac{R_a\dot{V}_{nm}\vartheta_n}{g(z_2 - z_1)} \left(1 - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}}} \left(1 - \frac{R_{ns}\dot{V}_{ns}^2}{R_{nm}\dot{V}_{nm}^2} \right) + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}}} \right)^2} \quad (5.24.40)$$

Jak już wspomniano, wykresem funkcji y (5.2.4.37) jest hiperbola. Badając funkcję y (5.2.4.37) rozróżniamy 3 przypadki:

W przypadku pierwszym, gdy:

$$b > \frac{(a-d-e)^2}{4(1-\sqrt{f(1-g)}+\sqrt{i})^2}$$

tj. (po skorzystaniu z oznaczeń (5.2.4.36)) gdy

$$g(z_2-z_1) \xi_{ma} > \frac{\left[\frac{g(z_2-z_1) \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 - R_{nm} \dot{V}_{nm}^2}{R_a \dot{V}_{nm}^2 \xi_n} \right]^2}{4 \left[1 - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \right)} + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}}} \right]^2}$$

wtedy funkcja y (5.2.4.37) nie ma punktów przecięcia z osią udejętych, czyli dla wartości $\xi_{mp} [0, \xi_{ma}]$ otrzymujemy dodatnio wartości $R_{nd} \dot{V}_{nd}^2$, co świadczy o prostym kierunku przepływu powietrza w bocznicy (5-6) (rys. 5.14).

W przypadku drugim, gdy:

$$b = \frac{(a-d-e)^2}{4(1-\sqrt{f(1-g)}+\sqrt{i})^2}$$

tnz. (przy uwzględnieniu oznaczeń (5.2.4.36)) gdy

$$g(z_2-z_1) \xi_{ma} = \frac{\left[\frac{g(z_2-z_1) \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 - R_{nm} \dot{V}_{nm}^2}{R_a \dot{V}_{nm}^2 \xi_n} \right]^2}{4 \left[1 - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2} \right)} + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}}} \right]^2}$$

wtedy funkcja y (5.2.4.37) ma z osią odciętych jeden punkt wspólny o współrzędnych $\left[0,5 \xi_{ma} - \frac{(R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2)}{2g(z_2 - z_1)}, 0\right]$.

Dla wartości $\xi_{mp} \in \left[0, \left(0,5 \xi_{ma} - \frac{(R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2)}{2g(z_2 - z_1)}\right)\right]$ oraz $\xi_{mp} \in \left(\left(0,5 \xi_{ma} - \frac{(R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2)}{2g(z_2 - z_1)}\right), \xi_{ma}\right]$ otrzymujemy dodatnie wartości

$y = R_{nd} \dot{V}_{nd}^2$ świadczące o prostym kierunku przepływu w bocznicy (5-6). Dla wartości zaś $\xi_{mp} = 0,5 \xi_{ma} - \frac{(R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 + R_{nm} \dot{V}_{nm}^2)}{2g(z_2 - z_1)}$ dla których $R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 = 0$, występuje zatrzymanie przepływu powietrza w bocznicy (5-6) (rys. 5.14).

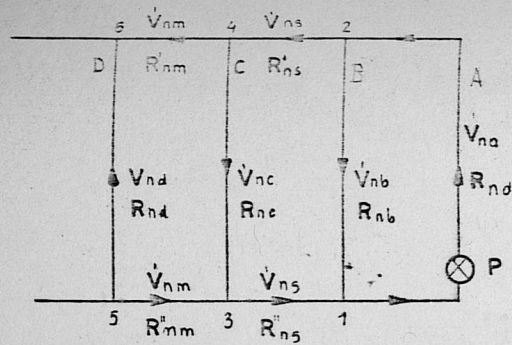
W przypadku trzecim, gdy:

$$b < \frac{(a-d-e)^2}{4(1-\sqrt{f(1-g)}+\sqrt{i})^2}$$

tj. (po uwzględnieniu oznaczeń (5.2.4.36)) gdy

$$g(z_2 - z_1) \xi_{ma} < \frac{\left[g(z_2 - z_1) \xi_{ma} - R_{ns} \dot{V}_{ns}^2 - R_{nm} \dot{V}_{nm}^2\right]^2}{R_a \dot{V}_{nm}^2 \xi_n \left[4 \left[1 - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{R_{ns} \dot{V}_{ns}^2}{R_{nm} \dot{V}_{nm}^2}\right)} + \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}}}\right]^2\right]}$$

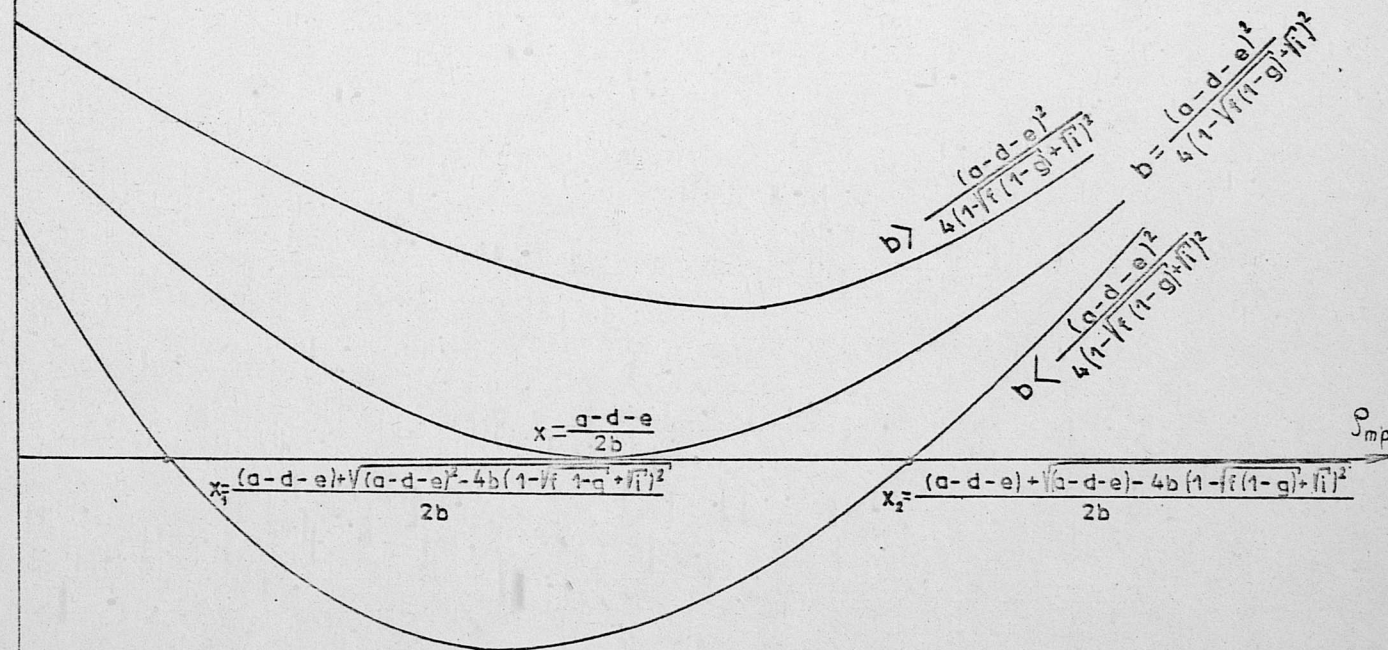
wtedy funkcja y (5.2.4.37) ma dwa punkty przecięcia z osią odciętych. Wartości $(\xi_{mp})_1$ oraz $(\xi_{mp})_2$, dla których $R_{nd} \dot{V}_{nd}^2 = 0$ określone są zależnościami (5.2.4.39) i (5.2.4.40). Dla wartości $\xi_{mp} \in [0, (\xi_{mp})_1]$ oraz $\xi_{mp} \in (\xi_{mp}_2, \xi_{ma}]$ kierunek przepływu powietrza w bocznicy (5-6) jest prosty. Dla wartości zaś $\xi_{mp} \in ((\xi_{mp})_1, (\xi_{mp})_2)$ kierunek przepływu powietrza w bocznicy (5-6) (rys. 5.14) jest odwrócony.



$$\frac{g(z_2 - z_1)}{R_a V_{nm}^2 g_n} S_{mp}^2 + \frac{1}{R_a V_{nm}^2 g_n} R_{nd} V_{nd}^2 S_{mp} - \left(\frac{g(z_2 - z_1) g_{na}}{R_a V_{nm}^2 g_n} - \frac{R_{ns} V_{ns}^2}{R_a V_{nm} g_n} - \frac{R_{nm} V_{nm}^2}{R_a V_{nm} g_n} S_{mp} + \right.$$

$$\left. + \left(1 \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nb}} \left(1 - \frac{1}{R_{nm} V_{nm}^2} R_{nd} V_{nd}^2 + \frac{R_{ns} V_{ns}^2}{R_{nm} V_{nm}^2} \right)} - \sqrt{\frac{R_{nm}}{R_{nc}} \left(1 - \frac{1}{R_{nm} V_{nm}^2} R_{nd} V_{nd}^2 \right)} \right)^2 = 0 \right.$$

$$bx^2 + cxy - x(a - d - e) + (1 + \sqrt{f(1 - hy + g)} - \sqrt{i(1 - hy)})^2 = 0$$



Rys.5.14. Wykres zależności $S_{mp} = f(R_{nd} V_{nd})^2$

W następnym rozdziale wyprowadzone będą nierównościowe kryteria stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego w sieciach wentylacyjnych złożonych z trzech, czterech, pięciu i sześciu oczek niezależnych oraz przeprowadzone zostaną rozważania nad efektywnością stabilizacji kierunku tego prądu.

6. NIERÓWNOŚCIOWE KRYTERIA STABILIZACJI KIERUNKU TZW. BOCZNEGO PRĄDU POWIETRZNEGO ORAZ EFEKTYWNOŚĆ STABILIZACJI KIERUNKU TEGO PRĄDU W UAKTYWNIONYCH NORMALNYCH SIECIACH KOPALNI O WZNOSZĄCYM SIĘ PRZEWIETRZANIU

6.1. Wprowadzenie

Teoria W. Budryka stabilizacji kierunków prądów powietrznych, nazywana też naukowymi zasadami prowadzenia akcji przeciwpożarowych w kopalniach [3], oparta jest na nierównościowych kryteriach stabilizacji, wyprowadzonych dla 2-oczkowych sieci wentylacyjnych.

Dla kopalni o wznoszącym przewietrzaniu W. Budryk wyprowadził kryterium (2.2.4), według którego konieczne jest dławienie prądu głównego. Z kryterium tego nie wynika potrzeba dławienia prądów bocznych, gdyż w kryterium tym nie występuje opór bocznicy, w której płynie prąd boczny.

Chcąc mówić o dławieniu prądów bocznych, trzeba dysponować nierównościowym kryterium stabilizacji wyprowadzonym dla sieci złożonej co najmniej z trzech oczek niezależnych [7, 14].

W niniejszym rozdziale przedstawimy stabilizację kierunków prądów powietrznych w czasie pożarów podziemnych w kopalni o wznoszącym przewietrzaniu, jak również efektywność tej stabilizacji. Kryteria nierównościowe, na których oparta jest ta stabilizacja i ocena jej efektywności wyprowadzimy, korzystając z uaktywnionych sieci złożonych z trzech, czterech, pięciu lub sześciu oczek niezależnych. Każda z tych sieci spełnia upraszczające założenia przyjęte we wspomnianej teorii W. Budryka.

W niniejszym rozdziale również skorzystamy z nierównościowego kryterium H.Czeczotta stabilizacji kierunku prądu bocznego w sieci złożonej z trzech oczek niezależnych i z dwoma wentylatorami. Wyprowadzenie tego kryterium przedstawione jest za H.Czeczottem przez W.Budryka [7] oraz H.Dystrońską [14].

W czasie pożaru podziemnego praktycznie nie mamy wpływu na źródła depresji, których depresje występują po lewej stronie nierównościowego kryterium. Dlatego rozważania ograniczymy jedynie do oporów występujących po prawej stronie odnośnych kryteriów nierównościowych. Prawą stronę takiego kryterium będziemy oznaczać symbolem β , który proponujemy nazwać współczynnikiem dławienia (tamowania).

Natomiast efektywność stabilizacji kierunków prądów powietrznych będziemy mierzyli następnym współczynnikiem, α , który proponujemy nazwać współczynnikiem efektywności stabilizacji kierunków prądów powietrznych

$$\alpha = \frac{\beta_1 - \beta}{\beta} \quad (6.1.1)$$

gdzie:

- β - współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący normalnego stanu wentylacji, tzn. w okresie czasu przed powstaniem pożaru podziemnego,
- β_1 - współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący awaryjnego stanu wentylacji, tzn. po wykonaniu określonego manewru stabilizacyjnymi tamami dławiącymi w czasie akcji przeciwpożarowej.

Im wyższa jest wartość współczynnika efektywności stabilizacji α , tym większa pewność utrzymania prostego kierunku stabilizowanego prądu powietrznego. W rozdziale tym będą rozpatrywane przypadki, gdy w sieciach wentylacyjnych przedstawionych na rys. 6.1 do 6.4 występuje mały albo duży pożar. Zakładamy, że przyrost ilości gazów w ogniskach tych pożarów jest praktycznie równy zeru (jak w teorii W. Budryka).

W każdej z rozpatrywanych sieci działają dwa źródła depresji, przedstawione w postaci wentylatorów fikcyjnych o depresjach wypadkowych l_w i l_z . Wentylator fikcyjny o depresji l_w przedstawia depresję cieplną występującą w oczku wewnętrznym $(3-4-5-6-7-3)$ z rys. 6.1, $(4-5-6-7-8-4)$ z rys. 6.2, $(5-6-7-8-9-5)$ z rys. 6.3, $(6-7-8-9-5-6)$ z rys. 6.4.

Wentylator fikcyjny o depresji l_z stanowi połączenie szeregowo rzeczywistego wentylatora i depresji cieplnej występującej w oczku zewnętrznym $(1-2-3-7-8-9-10-1)$ z rys. 6.1 lub $(1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-1)$ z rys. 6.2 lub $(1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-13-14-1)$ z rys. 6.3 lub $(1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-1)$ z rys. 6.4.

Ogniska pożarowe w rozpatrywanych sieciach wentylacyjnych znajdują się we wznoszących prądach powietrza, wobec czego kierunek depresji cieplnej l_w jest zgodny z kierunkiem prądu powietrznego w tej bocznicy.

W następnym rozdziale wyprowadzone zostaną nierównościowe kryteria stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego dla sieci wentylacyjnych złożonych z trzech i więcej oczek niezależnych (kopaliń o wznoszącym się przewietrzaniu).

6.2. Nierównościowe kryteria stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego

6.2.1. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotycząco sieci złożonej z trzech oczek niezależnych

W sieci wentylacyjnej, której schematy przestrzenne i kanoniczne przedstawione zostały na rys. 6.1, w miejscu (4-5) istnieje ognisko pożarowe, co do którego założyliśmy, że nie jest ono źródłem masy ($\dot{V}_{n0}=0$). Kierunki prądów w oczku głównym tej sieci są zgodne z kierunkiem depresji wentylatorów. Kierunki prądów bocznych w bocznicach (3-7) i (2-8) są zgodne z kierunkiem depresji l_z , a niezgodne z kierunkiem depresji l_w .

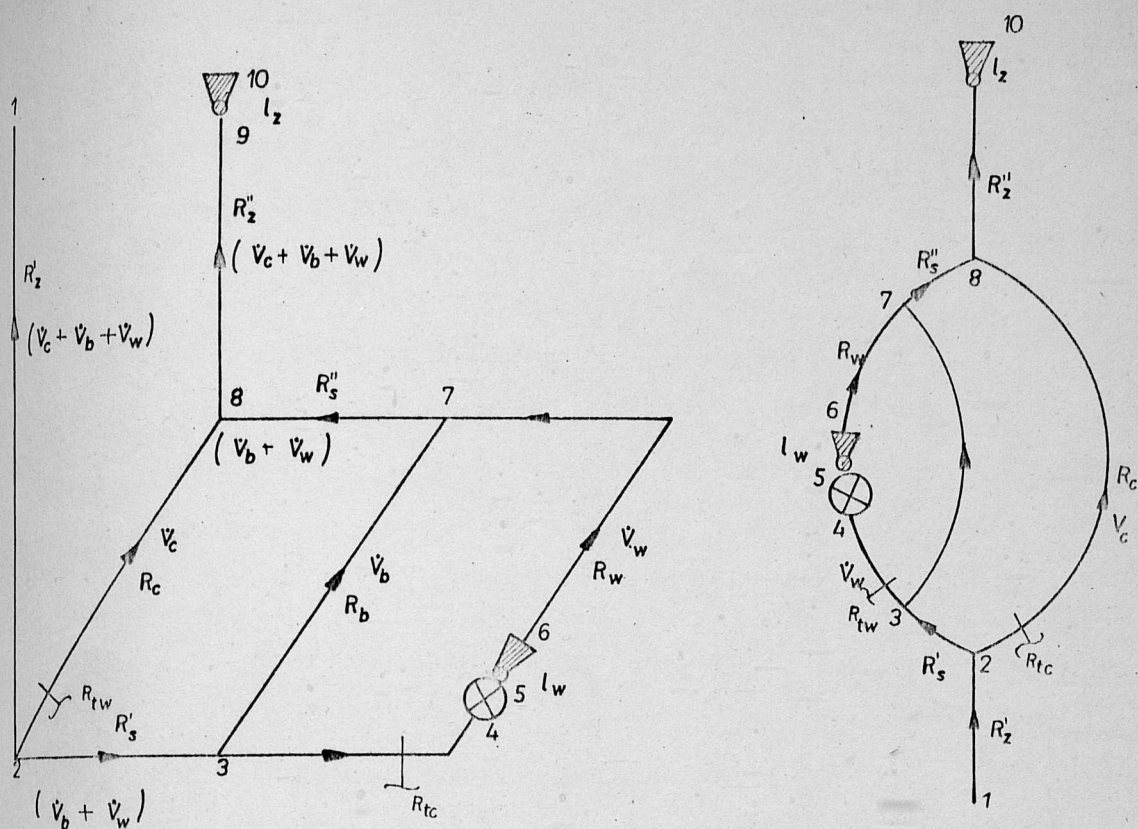
W przypadku gdy depresja l_w jest duża, wówczas kierunki prądów bocznych w bocznicach (3-7) i (2-8) ulegną odwróceniu. Oczywiście w pierwszej kolejności zmieni się kierunek prądu w bocznicy (3-7), gdyż znajduje się ona w najbliższym sąsiedztwie wentylatora fikcyjnego o depresji l_w . Wówczas dla oczek (3-4-5-6-7) oraz (1-2-3-7-8-9-10-1) sieci z rys. 6.1 otrzymamy odpowiednio równania:

$$l_w = R_w \dot{V}_w^2 - R_b \dot{V}_b^2 \quad (6.2.1.1)$$

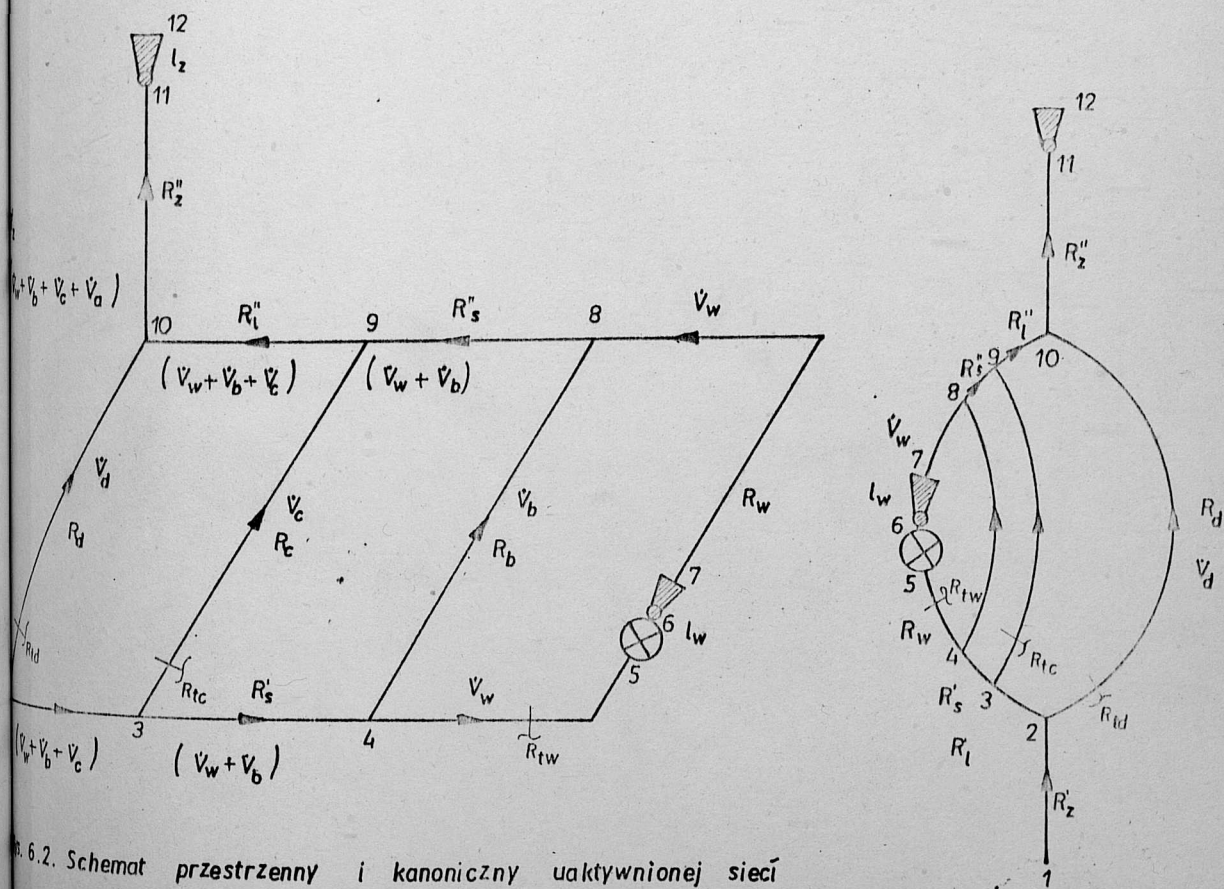
$$l_z = R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + R_s (\dot{V}_b + \dot{V}_w)^2 + R_b \dot{V}_b^2 \quad (6.2.1.2)$$

Mnożąc odpowiednio stronami równania (6.2.1.1) i (6.2.1.2) i porządkując, otrzymamy równanie kwadratowe

$$\begin{aligned} & [l_w (R_z + R_s + R_b) + l_z R_b] \dot{V}_b^2 + 2l_w [R_s \dot{V}_w^2 + R_z (\dot{V}_c + \dot{V}_w)] \dot{V}_b + \\ & - \{ l_z R_w \dot{V}_w - l_w [R_s \dot{V}_w^2 + R_z (\dot{V}_c + \dot{V}_w)^2] \} = 0 \end{aligned} \quad (6.2.1.3)$$



Rys. 6.1. Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnionej sieci wentylacyjnej złożonej z trzech oczek niezależnych.



Rys. 6.2. Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnionej sieci wentylacyjnej złożonej z czterech oczek niezależnych.

w którym wydatek $\dot{V}_b$ powietrza w bocznicy (3-7) płynącego w kierunku od węzła 3 do węzła 7 traktujemy jako niewiadomą.

W przypadku gdy prąd boczny w bocznicy (3-7) jest zatrzymany, to jego wydatek $\dot{V}_b$ jest równy zero, tj.

$$\dot{V}_b = 0 \quad 6.2.1.4$$

Równanie (6.2.1.3) przy spełnieniu warunku (6.2.1.4) redukuje się odpowiednio do związku

$$l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_s \dot{V}_w^2 + R_z (\dot{V}_c + \dot{V}_w)^2] = 0 \quad (6.2.1.5)$$

Dla oczka (2-3-7-8-2) otrzymamy równanie

$$R_b \dot{V}_b^2 + R_s (\dot{V}_b + \dot{V}_w)^2 - R_c \dot{V}_c^2 = 0 \quad (6.2.1.6)$$

które przy spełnieniu warunku (6.2.1.4) redukuje się do związku

$$R_s \dot{V}_w^2 - R_c \dot{V}_c^2 = 0 \quad (6.2.1.7)$$

Eliminując wydatki $\dot{V}_w$ i $\dot{V}_c$ ze związków (6.2.1.5) i (6.2.1.7) dostajemy zależność

$$\frac{l_w}{l_z} = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \left|\frac{R_s}{R_c}\right|^2\right)} \quad (6.2.1.8)$$

która jest warunkiem zatrzymania prądu bocznego w bocznicy (3-7).

Jeśli wyraz wolny równania (6.2.1.3) jest dodatni, tj. jeżeli

$$l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_s \dot{V}_w^2 + R_z (\dot{V}_c + \dot{V}_w)^2] > 0 \quad (6.2.1.9)$$

to równanie (6.2.1.3) ma dodatni wyróżnik i dwa pierwiastki rzeczywiste, z których jeden jest większy od zera. Pierwiastkowi dodatniemu tego równania, tj. wydatkowi

$$\dot{V}_b > 0 \quad (6.2.1.10)$$

odpowiada przepływ powietrza w bocznicy (3-7) w kierunku od węzła 3 do węzła 7. Warunek (6.2.1.9) można po skojarzeniu ze związkami (6.2.1.7) napisać w postaci

$$\frac{l_w}{l_z} < \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2} \quad (6.2.1.11)$$

Warunek (6.2.1.11) jest nierównościowym kryterium kierunku prądu bocznego, który w bocznicy (3-7) płynie od węzła 3 do węzła 7. Warunek ten dotyczy uaktywnionej sieci złożonej z trzech oczek niezależnych rys. (6.1).

Stabilizując kierunek prądu bocznego w bocznicy (3-7) należy

- zwiększyć opory R_c , R_w oraz depresję l_z ,
- zmniejszyć opory R_s , R_z oraz depresję l_w .

Kierownik akcji przeciwpożarowej (ratowniczej) może w czasie pożaru wpływać na opory określonych bocznic. Dlatego też podstawowymi pracami, podczas akcji przeciwpożarowej w sieci

złożowej z trzech oczek niezależnych, będzie zwiększenie oporów bocznice (2-8) i (3-4) (rys. 6.1) przez zbudowanie w nich stabilizacyjnych tam dławiących.

6.2.2. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczącej sieci a złożonej z czterech oczek niezależnych

W sieci wentylacyjnej, której schematy przestrzenne i kanoniczne przedstawione zostały na rys. 6.2, w miejscu (5-6) występuje ogniisko pożarowe nie będące źródłem masy ($\dot{V}_{no}=0$).

Kierunki przepływu w oczku głównym są zgodne z kierunkiem depresji wentylatorów fikcyjnych.

Kierunki prądów w bocznicach (4-8), (3-9), (2-10) są zgodne z kierunkiem depresji l_z , a niezgodne z kierunkiem depresji l_w . Może się więc zdarzyć, że dla dostatecznie dużych wartości depresji l_w kierunki tych prądów ulegną zmianie na przeciwnie. Wówczas w pierwszej kolejności zmieni się kierunek prądu w bocznicy (4-8), gdyż znajduje się ona w najbliższym sąsiedztwie wentylatora fikcyjnego o depresji l_w .

Dla oczka (1-2-3-4-8-9-10-11-12) sieci z rys. 6.2 otrzymamy

$$l_z = R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d) + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + R_s (\dot{V}_w + \dot{V}_b)^2 + R_b \dot{V}_b^2 \quad (6.2.2.1)$$

Mnożąc odpowiednio stronami równania 6.2.1.1. oraz 6.2.2.1 oraz porządkując otrzymane równanie

$$[l_w (R_z + R_l + R_s + R_b) + l_z R_b] \dot{V}_b^2 + 2l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d) + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c) + R_s \dot{V}_w] \dot{V}_b + - \{ l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2] \} = 0 \quad (6.2.2.2)$$

w którym wydatek $\dot{V}_b$ prądu bocznego w bocznicy (4-8) płynącego od węzła 4 do węzła 8 traktujemy jako niewiadomą.

W przypadku, gdy prąd boczny w bocznicy (4-8) jest zatrzymany, wówczas jego wydatek $\dot{V}_b$ jest równy zeru, tj.

$$\dot{V}_b = 0 \quad 6.2.2.3$$

Równanie (6.2.2.2) przy spełnieniu warunku (6.2.2.3) redukuje się do związku

$$l_2 R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2] = 0 \quad (6.2.2.4)$$

Dla oczka (2-3-4-3-9-10-2) (rys. 6.2) otrzymujemy równanie

$$R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + R_s (\dot{V}_w + \dot{V}_b)^2 + R_b \dot{V}_b^2 = R_d \dot{V}_d^2$$

które przy spełnieniu warunku (6.2.2.3) redukuje się do związku

$$R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2 = R_d \dot{V}_d^2 \quad (6.2.2.6)$$

Eliminując wydatki $\dot{V}_w$, $\dot{V}_c$ oraz $\dot{V}_d$ ze związków (6.2.2.4), (6.2.2.6) i (6.2.1.7) otrzymamy warunek

$$\frac{l_w}{l_2} = \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right) + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d}} \right)^2} \quad (6.2.2.7)$$

który nazywamy kryterium zatrzymania prądu bocznego w bocznicy (4-8).

Jeżeli wyraz wolny równania (6.2.2.2) jest dodatni, tj. jeśli

$$l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2] > 0 \quad (6.2.2.8)$$

to równanie (6.2.2.2) ma dodatni wyróżnik i dwa pierwiastki rzeczywiste, z których jeden jest większy od zera. Pierwiastkowi dodatniemu tego równania, tj. wydatkowi

$$\dot{V}_b > 0 \quad (6.2.2.9)$$

odpowiada przepływ powietrza w bocznicy (4-8) w kierunku od węzła 4 do węzła 8.

Warunek (6.2.2.8) po skojarzeniu ze związkami (6.2.1.7) i (6.2.1.6) można napisać w postaci

$$\frac{l_w}{l_z} \left\{ \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d} \right)^2} \right\}^2 \quad (6.2.2.10)$$

Warunek (6.2.2.10) jest zwany nierównościowym kryterium stabilizacji kierunku prądu bocznego, który płynie w bocznicy (4-8) od węzła 4 do węzła 8.

Stabilizując kierunek prądu bocznego w bocznicy (4-8) należy:

- zwiększyć opory R_c , R_d , R_w oraz depresję l_z ,
- zmniejszyć opory R_l , R_s , R_z oraz depresję l_w .

Kierownik akcji przeciwpożarowej (ratowniczej) może w czasie pożaru wpływać na opory określonych bocznic. Dlatego też podstawowymi pracami, podczas akcji ratunkowej w sieci złożonej z czterech oczek niezależnych, będzie zwiększenie oporów bocznic (4-5), (3-9) i (2-10) (rys. 6.2) przez zbudowanie w nich stabilizacyjnych tam dławiających.

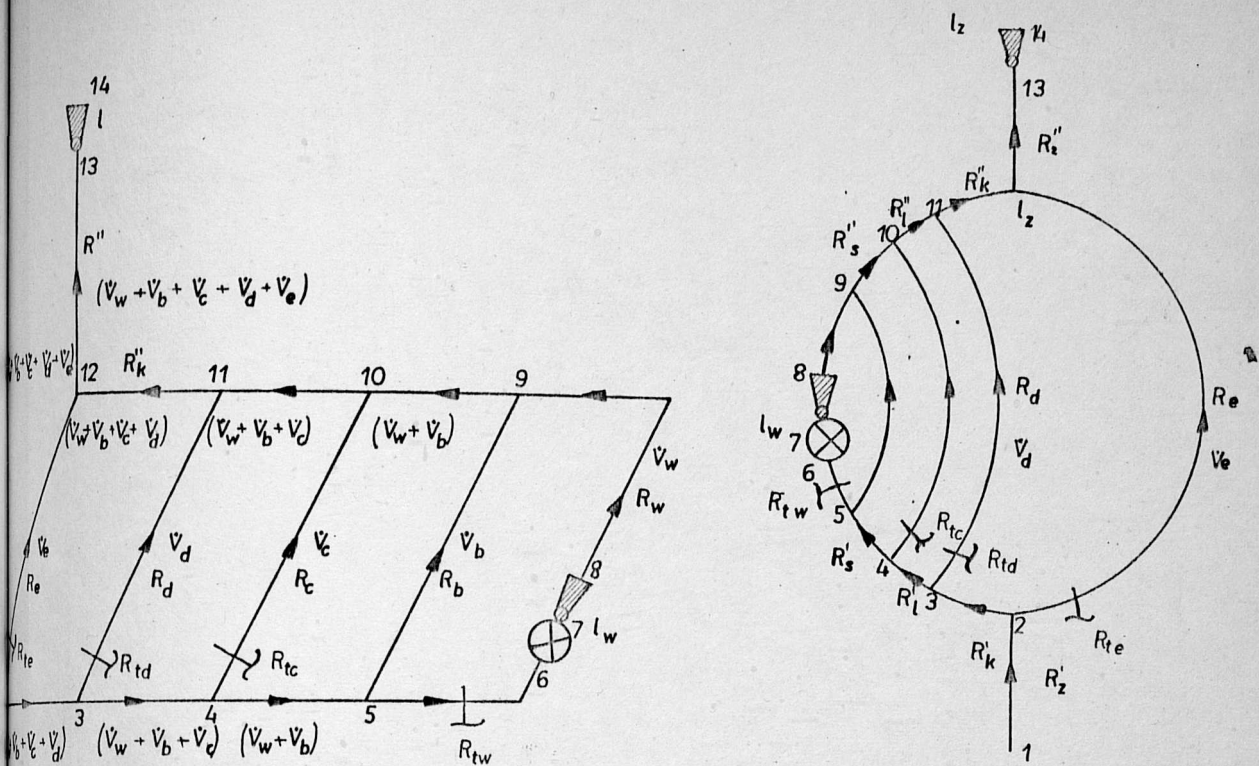
6.2.3. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczące sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych

W sieci wentylacyjnej, której schematy przestrzenne i kanoniczne przedstawione zostały na rys. 6.3 w miejscu (6-7) istnieje ognisko pożarowe nie będące źródłem masy $\dot{V}_{no} = 0$. Kierunki przepływu powietrza w oczku głównym tej sieci są zgodne z kierunkiem depresji wentylatorów fikcyjnych.

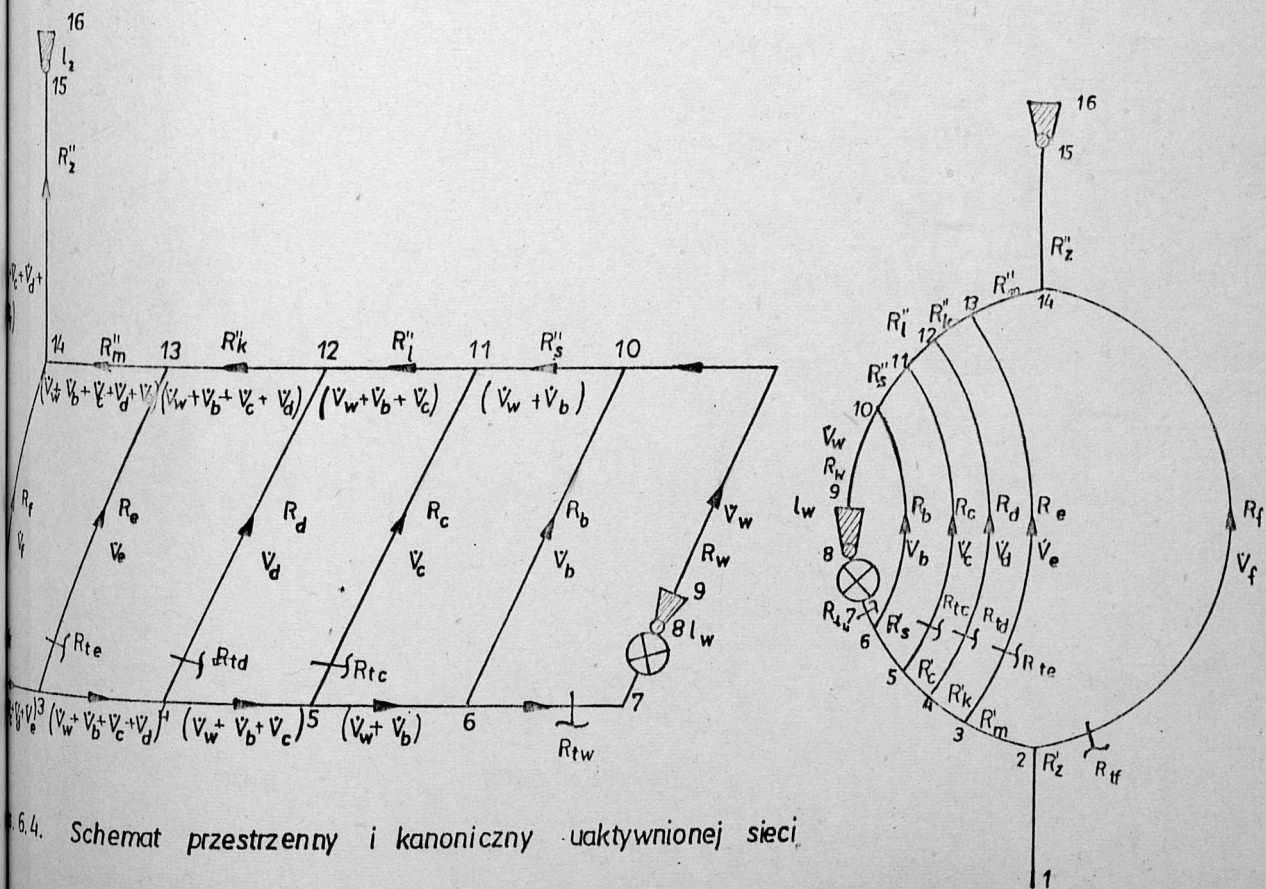
Kierunki prądów w bocznicach (5-9), (4-10), (3-11) oraz (2-12) są zgodne z kierunkiem depresji l_z , a niezgodne z kierunkiem depresji l_w . Może się więc zdarzyć, że dla dostatecznie dużych wartości depresji l_w kierunki tych prądów ulegną zmianie na przeciwne. Wówczas w pierwszej kolejności zmieni się kierunek prądu w bocznicy (5-9), gdyż znajduje się ona w najbliższym sąsiedztwie wentylatora fikcyjnego o depresji l_w .

Dla oczka (1-2-3-4-5-9-10-11-12-13-14-1) sieci z rys. 6.3 otrzymujemy

$$l_z = R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + \\ + R_s (\dot{V}_w + \dot{V}_b)^2 + R_b \dot{V}_b^2 \quad (6.2.3.1)$$



Rys. 6.3. Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnionej sieci wentylacyjnej złożonej z pięciu oczek niezależnych.



Rys. 6.4. Schemat przestrzenny i kanoniczny uaktywnionej sieci wentylacyjnej złożonej z sześciu oczek niezależnych.

Mnożąc odpowiednio stronami równania (6.2.1.1) i (6.2.3.1) oraz porządkując, uzyskujemy równanie

$$\begin{aligned} & [l_w(R_2 + R_k + R_l + R_s + R_b) + l_z R_b] \dot{V}_b^2 + 2l_w[R_z(\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e) + R_k(\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d) + \\ & + R_l(\dot{V}_w + \dot{V}_c) + R_s \dot{V}_w] \dot{V}_b - \left\{ l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w[R_z(\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 + \right. \\ & \left. + R_k(\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d)^2 + R_l(\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2] \right\} = 0 \end{aligned} \quad (6.2.3.2)$$

w którym wydatek $\dot{V}_b$ powietrza płynącego w bocznicy (5-9) od węzła 5 do węzła 9 traktujemy jako niewiadomą.

W przypadku gdy prąd boczny w bocznicy (5-9) jest zatrzymany, wówczas jego wydatek $\dot{V}_b$ jest równy zeru, tj.

$$\dot{V}_b = 0 \quad (6.2.3.3)$$

Równanie (6.2.3.2) po spełnieniu warunku (6.2.3.3) redukuje się do związku

$$l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w[R_z(\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 + R_k(\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d)^2 + R_l(\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2] = 0 \quad (6.2.3.4)$$

Dla oczka (2-3-4-5-9-10-11-12-2) otrzymamy równanie

$$R_k(\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l(\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + R_s(\dot{V}_w + \dot{V}_b)^2 + R_b \dot{V}_b^2 = R_e \dot{V}_e^2 \quad (6.2.3.5)$$

które po spełnieniu warunku (6.2.3.3) redukuje się do związku

$$R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2 = R_e \dot{V}_e^2 \quad (6.2.3.6)$$

Eliminując wydatki $\dot{V}_w$, $\dot{V}_c$, $\dot{V}_d$ i $\dot{V}_e$ ze związków (6.2.3.4), (6.2.3.6), (6.2.1.7) i (6.2.2.6), otrzymamy zależność

$$\frac{l_w}{l_z} = \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2 + R_k \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2}{R_d}}\right) + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2}{R_d}}\right) + \frac{\left(R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2 + R_k \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2}{R_d}}\right)^2\right)^2}{R_e}} \quad (6.2.3.7)$$

która jest warunkiem zatrzymania prądu bocznego w bocznicy (5-9).

Jeżeli wyraz wolny równania (6.2.3.2) jest dodatni, tj.

jeżeli

$$l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w \left[R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2 \right] > 0 \quad (6.2.3.8)$$

to równanie (6.2.3.2) ma dodatni wyróżnik i dwa pierwiastki rzeczywiste.

Pierwiastkowi dodatniemu tego równania, tj. wydatkowi

$$\dot{V}_b > 0 \quad (6.2.3.9)$$

odpowiada przepływ powietrza w bocznicy (5-9) w kierunku od węzła 5 do węzła 9.

Warunek (6.2.3.8) po skojarzeniu ze związkami (6.2.3.6), (6.2.1.7) oraz (6.2.2.6) można napisać w postaci

$$\frac{l_w}{l_z} < \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + R_k \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d}} \right) + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d}} \right) + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + R_k \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d}} \right)^2}{R_d}} \right)^2}{R_e} \quad (6.2.3.10)$$

Warunek (6.2.3.10) jest nazywany nierównościowym kryterium stabilizacji kierunku prądu bocznego, który płynie w bocznicy (5-9) od węzła 5 do węzła 9 (rys. 6.3).

Stabilizując kierunek prądu bocznego w bocznicy (5-9) należy

- zwiększyć opory R_c, R_d, R_e, R_w oraz depresję l_z ,
- zmniejszyć opory R_k, R_l, R_s, R_z oraz depresję l_w .

Kierownik akcji przeciwpożarowej (ratunkowej) może w czasie pożaru wpływać na opory określonych bocznic. Dlatego też podstawowymi pracami podczas akcji ratunkowej w sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych jest zwiększenie oporów bocznic (2-12), (3-11), (4-10) i (5-6) (rys. 6.3) przez zbudowanie w nich stabilizacyjnych tam dławiących.

6.2.4. Nierównościowe kryterium stabilizacji dotyczące sieci złożonej z sześciu oczek niezależnych

W sieci wentylacyjnej, której schemat przestrzenny i kanoniczny zostały przedstawione na rys. 6.4 w miejscu (7-8),

istnieje ognisko pożarowe nie będące źródłem masy ($\dot{v}_{no} = 0$).

Kierunki prądów w oczku głównym są zgodne z kierunkiem depresji wentylatorów fikcyjnych. Kierunki prądów w bocznicach (6-10), (5-11), (4-12), (3-13), (2-14) są zgodne z kierunkiem depresji l_z , a niezgodne z kierunkiem depresji l_w . Może się więc zdarzyć, że dla dostatecznie dużych wartości depresji l_w kierunki tych prądów ulegną zmianie na przeciwnie. Wówczas w pierwszej kolejności zmieni się kierunek prądu w bocznicy (6-10), gdyż znajduje się ona w sąsiedztwie wentylatora fikcyjnego o depresji l_w .

Dla oczka (1-2-3-4-5-6-10-11-12-13-14-15-16-1) sieci z rys. 6.4 otrzymamy

$$l_z = R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e + \dot{V}_f)^2 + R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 +$$

$$+ R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + R_s (\dot{V}_w + \dot{V}_b)^2 + R_b \dot{V}_b^2 \quad (6.2.4.1)$$

Mnożąc odpowiednio stronami równania (6.2.1.1) i (6.2.4.1) oraz porządkując, uzyskujemy równanie

$$[l_w (R_z + R_m + R_k + R_l + R_s + R_b) + l_z R_b] \dot{V}_b^2 + 2l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e + \dot{V}_f) +$$

$$+ R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e) + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d) + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c) + R_s \dot{V}_w] \dot{V}_b +$$

$$- \{ l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e + \dot{V}_f)^2 + R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 +$$

$$+ R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2] \} = 0 \quad (6.2.4.2)$$

w którym wydatek $\dot{V}_b$ powietrza płynącego w bocznicy (6-10) od węzła 6 do węzła 10 (rys. 6.4) traktujemy jako niewiadomą.

W przypadku gdy prąd boczny w bocznicy (6-10) jest zatrzymany, wówczas wydatek $\dot{V}_b$ jest równy zeru, tj.

$$\dot{V}_b = 0 \quad (6.2.4.3)$$

Równanie (6.2.4.2) po spełnieniu warunku (6.2.4.3) redukuje się do związku

$$l_2 R_w \dot{V}_w^2 - l_w [R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e + \dot{V}_f)^2 + R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d + \dot{V}_c)^2 + \\ + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_e)^2 + R_s \dot{V}_w^2] = 0 \quad (6.2.4.4)$$

Dla oczka (2-3-4-5-6-10-11-12-13-14-2) sieci z rys. 6.4 uzyskamy równanie

$$R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_b + \dot{V}_c)^2 + \\ + R_s (\dot{V}_w + \dot{V}_b)^2 + R_b \dot{V}_b^2 = R_f \dot{V}_f^2 \quad (6.2.4.5)$$

które po spełnieniu warunku (6.2.4.3) redukuje się do związku

$$R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e)^2 + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2 = R_f \dot{V}_f^2 \quad (6.2.4.6)$$

Eliminując wydatki $\dot{V}_w, \dot{V}_c, \dot{V}_d, \dot{V}_e, \dot{V}_f$ ze związków (6.2.1.7), (6.2.2.6), (6.2.3.6), (6.2.4.4) i (6.2.4.6) dostajemy zależność

$$\frac{l_w}{l_z} = \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + \dots + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \dots + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + \dots + R_f}{R_f}} \right)} \quad (6.2.4.7)$$

która jest warunkiem zatrzymania prądu bocznego w bocznicy (6-10).

Jeżeli wyraz wolny równania (6.2.4.2) jest dodatni, tj. jeżeli

$$l_z R_w \dot{V}_w^2 - l_w \left[R_z (\dot{V}_w + \dot{V}_c + \dot{V}_d + \dot{V}_e + \dot{V}_f)^2 + R_m (\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d + \dot{V}_c)^2 + R_k (\dot{V}_w + \dot{V}_e + \dot{V}_d)^2 + R_l (\dot{V}_w + \dot{V}_c)^2 + R_s \dot{V}_w^2 \right] > 0 \quad (6.2.4.8)$$

to równanie (6.2.4.2) ma wyróżnik dodatni i dwa pierwiastki rzeczywiste.

Pierwiastkowi dodatniemu tego równania, tj. wydatkowi

$$\dot{V}_b > 0 \quad (6.2.4.9)$$

odpowiada przepływ powietrza w bocznicy (6-10) w kierunku od węzła 6 do węzła 10.

Warunek (6.2.4.8) po skojarzeniu ze związkami (6.2.1.7), (6.2.2.6), (6.2.3.6) i (6.2.4.6) można napisać w postaci

$$\frac{l_w}{l_z} < \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \dots + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \dots + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \dots + \frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \dots + \dots}{R_f} \right)}{R_e} \right)}{R_f} \right)} \right)} \quad (6.2.4.10)$$

Warunek (6.2.4.10) jest zwany nierównościowym kryterium stabilizacji kierunku prądu bocznego, który płynie w bocznicy (6-10) od węzła 6 do węzła 10 (rys. 6.4).

Stabilizując kierunek prądu bocznego w bocznicy (6-10) należy:

- zwiększyć opory R_c, R_d, R_e, R_f, R_w oraz depresję l_z ,
- zmniejszyć opory R_m, R_z, R_k, R_l, R_s oraz depresję l_w .

Kierownik akcji przeciwpożarowej (ratowniczej) może w czasie pożaru wpływać na opory określonych bocznic. Dlatego też podstawowymi pracami podczas akcji ratunkowej w sieci złożonej z sześciu oczek niezależnych jest zwiększenie oporów bocznic

(2-14), (3-13), (14-12), (5-11) i (6-7) (rys. 6.4) przez zbudowanie w nich stabilizacyjnych tam dławiących.

W następnym rozdziale na podstawie wyprowadzonych nierównościowych kryteriów stabilizacji kierunku prądu bocznego przeprowadzone zostaną badania efektywności stabilizacji kierunków tych prądów powietrznych.

6.3. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego

6.3.1. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z trzech oczek niezależnych

A. Wpływ oporu tamy R_{tw} w prądzie głównym na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego

W celu zbadania efektywności stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu powietrznego, korzystamy z współczynnika dławienia β oraz współczynnika efektywności stabilizacji α (6.1.1) zaproponowanych w rozdziale 6.1.

Dla sieci przedstawionej na rys. 6.5. otrzymujemy współczynnik dławienia β ujęty wzorem

$$\beta = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2} \quad (6.3.1.1)$$

Zakładamy, że dla zachowania prostego kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-7) (rys. 6.5) zbudowano w bocznicach (3-4) oraz (2-8) tamy o oporach wynoszących odpowiednio R_{tw} oraz

R_{tc} . Dla tych założeń zależność (6.3.1.1) przybiera postać

$$\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.2)$$

Przekształcając zależność (6.3.1.2) do

$$\beta_1 = \frac{1}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} R_{tw} + \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2}$$

oraz wprowadzając oznaczenia:

$$a \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.3a)$$

$$b \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.3b)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} R_{tw} \quad (6.3.1.3c)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} \beta_1 \quad (6.3.1.3d)$$

uzyskujemy funkcję

$$y = ax + b \quad (6.3.1.4)$$

Funkcja (6.3.1.4) przedstawia zależność pomiędzy współczynnikiem dławienia β_1 , a oporem tamy R_{tw} w bocznicy (2-8) (rys. 6.5). Opór tamy R_{tc} zabudowanej w bocznicy (3-4) traktować będziemy jako parametr.

Obrazem graficznym funkcji $y = \beta_1$ (6.3.1.4) dla różnych wartości oporu R_{tc} jest pęk prostych przedstawionych na rys. 6.5. Proste te przebiegają przez punkt o współrzędnych $(-R_w, 0)$ i są nachylone do osi odciętych pod kątem α_n , przy czym

$$\operatorname{tg} \alpha_n = a$$

skąd po uwzględnieniu (6.3.1.3 a) otrzymujemy

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{1}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.5)$$

Z zależności (6.3.1.5) wynika, że im większa jest wartość oporu R_{tc} , tym większy jest kąt nachylenia prostej przedstawiającej (6.3.1.4) do osi odciętych $x = R_{tc}$. Punkt przecięcia funkcji y (6.3.1.4) z osią rzędnych (czyli gdy $x = R_{tw} = 0$) określa zależność

$$y = b$$

skąd po uwzględnieniu oznaczeń (6.3.1.3b) i (6.3.1.3d) otrzymamy

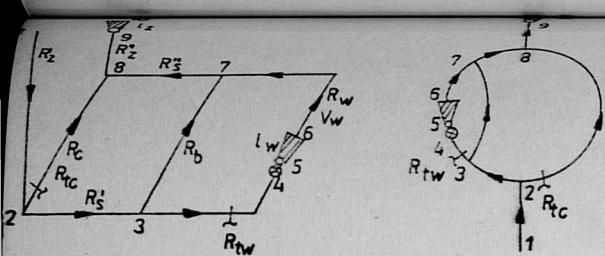
$$\beta_1 = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.6)$$

Sens fizyczny posiadają tylko proste o równaniu (6.3.1.4) przechodzące przez I ćwiartkę układu współrzędnych (R_{tw}, β_1) , tzn. dla

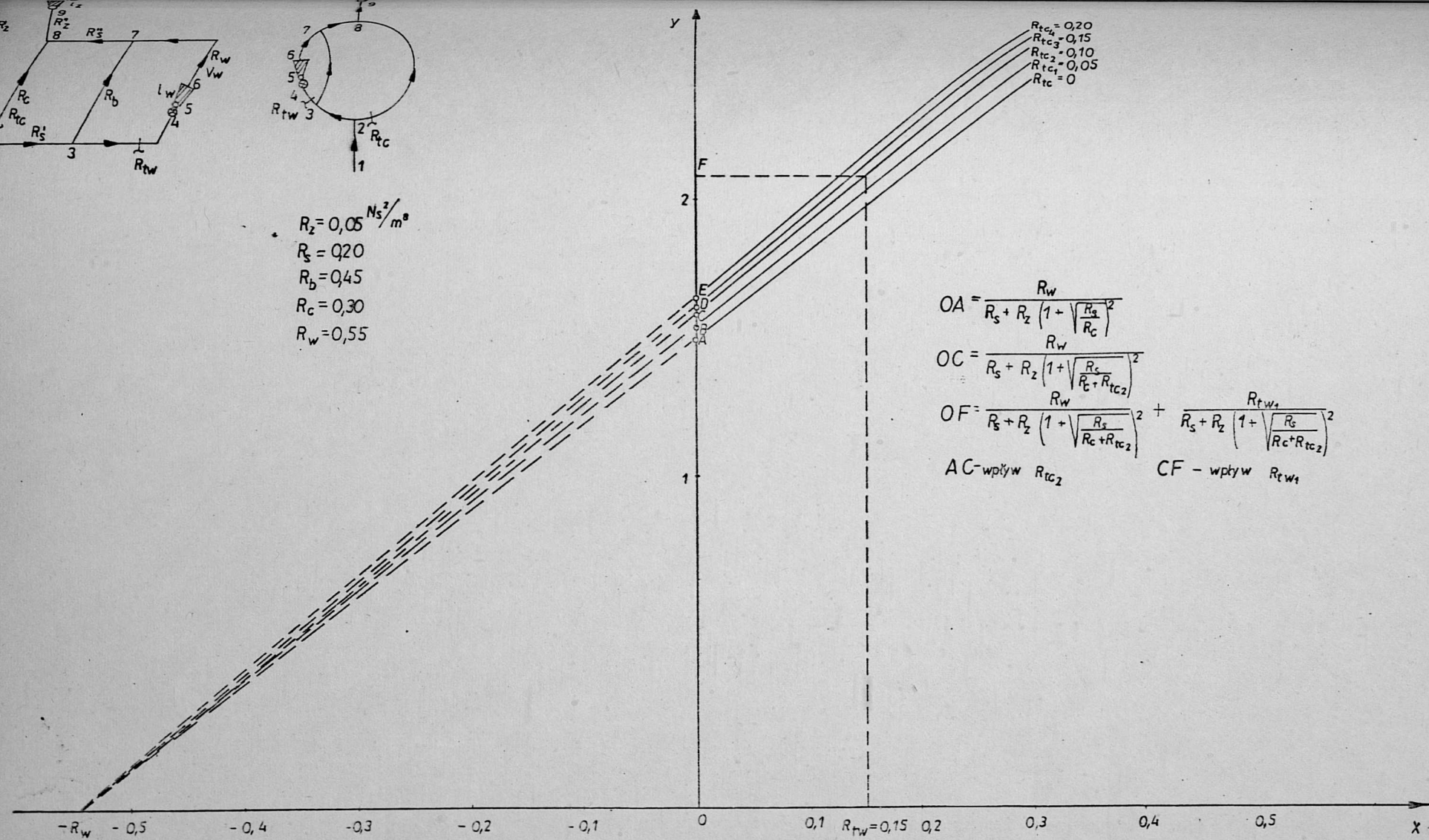
$$R_{tw} \in [0, +\infty) \text{ oraz } \beta_1 \in [0, +\infty)$$

Opory tam w bocznicach (3-4) oraz (2-8) (rys. 6.5) wynoszą odpowiednio R_{tw} i R_{tc2} ; wpływ tych oporów na prosty kierunek prądu bocznego (3-7) obrazuje odcinek AF, będący różnicą odcinków OF i OA (rys. 6.5), tzn.

$$AF = OF - OA \quad (6.3.1.7)$$



$R_z = 0,05 \text{ } Ns^2/m^2$
 $R_s = 0,20$
 $R_b = 0,45$
 $R_c = 0,30$
 $R_w = 0,55$



$$OA = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2}$$

$$OC = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc2}}}\right)^2}$$

$$OF = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc2}}}\right)^2} + \frac{R_{tw1}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc2}}}\right)^2}$$

AC - wpływ R_{tc2} CF - wpływ R_{tw1}

Rys 6.5. Wykres zależności $\beta_1 = f(R_{tw})$

gdzie:

$$OF=\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc_2}}} \right)^2} \quad - \text{współczynnik dławienia (tamowania)} \\ \text{dotyczący awaryjnego stanu wentyla-} \\ \text{cji, tzn. po wykonaniu tam dławia-} \\ \text{cych w bocznicach (3-4) oraz (2-8)} \\ \text{w czasie akcji przeciwpożarowej,}$$

$$OA=\beta = \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2} \quad - \text{współczynnik dławienia (tamowania)} \\ \text{dotyczący normalnego stanu wentyla-} \\ \text{cji, tzn. w okresie czasu przed} \\ \text{powstaniem pożaru.}$$

Odcinek AF jest równy sumie dwóch odcinków: AC i CF, (rys. 6.5), tzn.

$$AF = AC + CF \quad (6.31.8)$$

Odcinek AC (rys. 6.5) obrazuje wpływ oporu tamy R_{tc} zabudowanej w boczniccy (2-8) na kierunek prądu bocznego (3-7).

Natomiast odcinek CF obrazuje wpływ oporu tamy R_{tw} zabudowanej w boczniccy (3-4) na kierunek tego prądu.

Jak wynika z rys. 6.5, dla przyjętych wartości oporów bocznic oraz oporów tam, długość odcinka CF jest znacznie większa niż długość odcinka AC. Wpływ oporu tamy R_{tw} w boczniccy (3-4) na zachowanie prostego kierunku prądu bocznego (3-7) jest znacznie większy od wpływu oporu tamy w boczniccy (2-8).

D. Wpływ oporu R_s bocznie grupowych na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego

W przypadku gdy nie tylko ulegają zwiększeniu opory bocznie (3-4) i (2-3) - w wyniku zabudowania tam o oporach R_{tw} i R_{tc} - lecz także ulega zwiększeniu opór R_s będący sumą oporów R'_s i R''_s bocznie (2-3) i (8-7) (rys. 6.6), wówczas dla prostego kierunku prądu bocznego (3-7) można napisać

$$C_n F_n = C_n A + A F_n \quad (6.3.1.9)$$

a dla odwróconego kierunku prądu bocznego (3-7)

$$C_n A = C_n F_n - A F_n$$

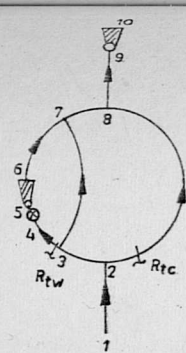
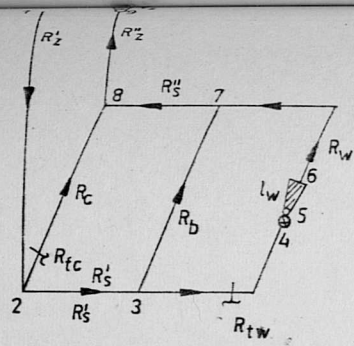
gdzie:

$C_n F_n$ - odcinek obrazujący wpływ oporu tamy R_{tw} zabudowanej w bocznicy (3-4) (rys. 6.6),

$C_n A$ - odcinek obrazujący wpływ oporu tamy R_{tc} zabudowanej w bocznicy (2-3),

$A F_n$ - odcinek obrazujący sumaryczny wpływ oporu tamy R_{tw} i R_{tc} w przypadku zwiększenia oporu bocznie (2-3) i (7-8) od R_s do R_{sn} .

Z rys. 6.6 wynika, że w przypadku gdy zwiększamy opory bocznie (2-3) oraz (7-8) od R_s do R_{sn} (przy $n \rightarrow \infty$), wówczas odcinek OF_n obrazujący współczynnik dławienia β , dotyczący awaryjnego stanu wentylacji tzn. po wykonaniu tam dławiających w bocznicach (3-4) oraz (2-8) o stałych oporach R_{tw} i R_{tc}



$$R_z = 0,05 \text{ N s}^2 / \text{m}^8$$

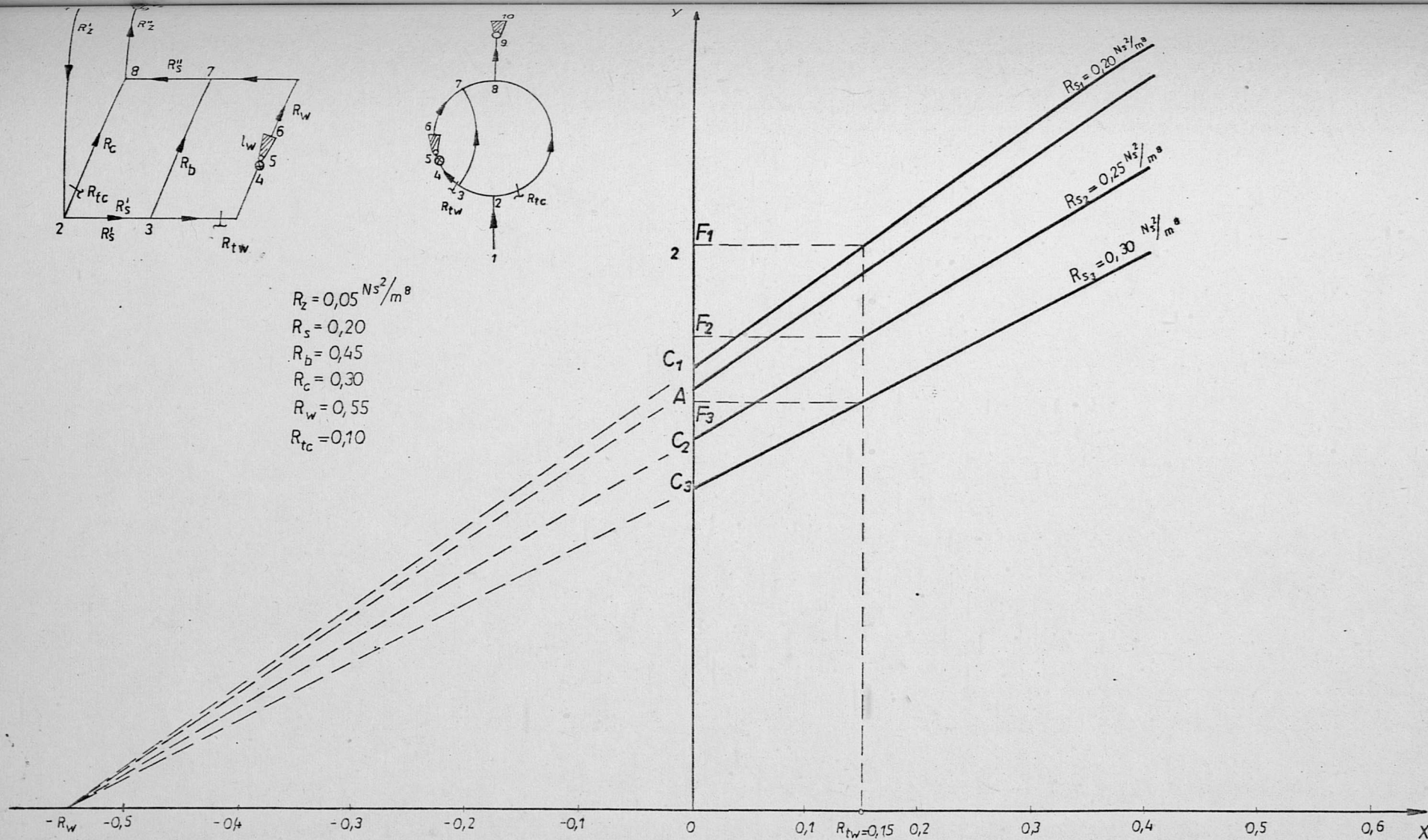
$$R_s = 0,20$$

$$R_b = 0,45$$

$$R_c = 0,30$$

$$R_w = 0,55$$

$$R_{tc} = 0,10$$



Rys 6.6. Wykres zależności $\beta_1 = f(R_{tw})$ przy $R_s = \text{var}$

może być mniejszy od odcinka OA obrazującego współczynnik dławienia β_1 dotyczącego normalnego stanu wentylacji. W tym przypadku

$$\beta_1 < \beta$$

czyli

$$\frac{R_w + R_{tw}}{R_{sn} + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_{sn}}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} < \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2} \quad (6.3.1.10)$$

co oznacza, że otrzymaliśmy odwrócony kierunek prądu bocznego (3-7) (rys. 6.6) w wyniku zwiększenia oporu bocznice (2-3) i (7-8) od R_s do R_{sn} przy stałych oporach tam R_{tw} i R_{tc} .

W celu przedstawienia wpływu oporu R_s , bocznice (2-3) oraz (6-7) (rys. 6.7), na wartość współczynnika dławienia β_1 dotyczącego awaryjnego stanu wentylacji (tzn. po wykonaniu tam dławiających w bocznicach (3-4) oraz (2-8) o stałych wartościach oporów R_{tw} i R_{tc}) będziemy korzystali z następujących oznaczeń:

$$c \stackrel{\text{def}}{=} R_w + R_{tw} \quad (6.3.1.11a)$$

$$d \stackrel{\text{def}}{=} R_z \quad (6.3.1.11b)$$

$$e \stackrel{\text{def}}{=} R_c + R_{tc} \quad (6.3.1.11c)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} R_s \quad (6.3.1.11d)$$

$$y \stackrel{\text{def}}{=} \beta_1 \quad (6.3.1.11e)$$

Korzystając z oznaczeń (6.3.1.11) możemy zależność (6.3.1.2) napisać w postaci

$$y = \frac{c}{x + d \left(1 + \sqrt{\frac{x}{e}}\right)^2} \quad (6.3.1.12)$$

Wykresem funkcji y danej przez (6.3.1.12) jest krzywa przedstawiona na rys. 6.7, której punkt przecięcia z osią rzędnych y określa zależność

$$y = \frac{c}{d}$$

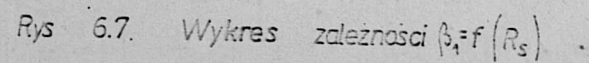
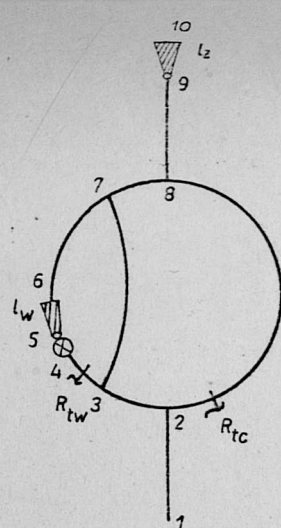
która po uwzględnieniu (6.3.1.11a), (6.3.1.11b) i (6.3.1.11e) przybiera postać

$$\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_z} \quad (6.3.1.13)$$

Jak wynika z rys. 6.7, w przypadku wzrostu oporu R_s w bocznicach (2-3) i (7-8) wartość współczynnika β_1 maleje, zmniejszają się więc szanse na zachowanie prostego kierunku prądu bocznego (3-7). Wówczas również zmniejsza się efektywność stosowania tam stabilizacyjnych o oprach R_{tw} oraz R_{tc} w bocznicach (3-4) oraz (2-8). Malenie tej efektywności jest przedstawione przez zmniejszanie się wartości współczynnika efektywności stabilizacji α . Współczynnik ten - przy odpowiednio dużym oporze R_s - może przyjąć wartość ujemną, co świadczy o zmianie kierunku przepływu powietrza w bocznicach (3-7).

W celu określenia oporu R_{sn} , przy którym nastąpi odwrócenie kierunku przepływu powietrza w bocznicach (3-7) (rys. 6.7) przy stałych oporach tam w bocznicach (3-4) oraz (2-8), doprowadzamy zależność (6.3.1.10) do postaci

$$R_{sn}^2 + \left(\frac{R_w^2 R_z^2}{R_c + R_{tc}} \right) R_{sn} - \left\{ (R_w + R_{tw}) \left(R_s + 2R_z \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \frac{R_s}{R_c} \right) + R_{tw} R_z \right\} > 0 \quad (6.3.1.14)$$



Po obliczeniu wyróżnika tego równania

$$\Delta = \left(\frac{R_w^2 R_z^2}{R_c + R_{tc}} \right)^2 + 4 \left[(R_w + R_{tw}) \left(R_s + 2R_z \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \frac{R_s}{R_c} \right) + R_{tw} R_z \right]$$

uzyskujemy dwa pierwiastki:

$$(R_{sn})_1 = - \left(\frac{R_w^2 R_z^2}{R_c + R_{tc}} \right) + \sqrt{\left(\frac{R_w^2 R_z^2}{R_c + R_{tc}} \right)^2 + 4 \left[(R_w + R_{tw}) \left(R_s + 2R_z \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \frac{R_s}{R_c} \right) + R_{tw} R_z \right]} \quad (6.3.1.15)$$

$$(R_{sn})_2 = - \left(\frac{R_w^2 R_z^2}{R_c + R_{tc}} \right) - \sqrt{\left(\frac{R_w^2 R_z^2}{R_c + R_{tc}} \right)^2 + 4 \left[(R_w + R_{tw}) \left(R_s + 2R_z \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \frac{R_s}{R_c} \right) + R_{tw} R_z \right]} \quad (6.3.1.16)$$

Pierwiastek $(R_{sn})_2$ określany przez (6.3.1.16) jako ujemny nie będzie brany pod uwagę w dalszych rozważaniach. Zależność (6.3.1.15) określa wartość R_{sn} , do której musi wzrosnąć opór R_s bocznicy (2-3) i (7-8) (rys. 6.7), jeśli kierunek przepływu prądu powietrza w bocznicy (3-7) ma ulec odwróceniu.

C. Wpływ oporu R_z bocznicy grupowych na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego

W przypadku gdy, oprócz zwiększania oporów bocznicy (3-4) i (2-8) w wyniku zabudowania tam o oporach R_{tw} i R_{tc} , ulega również zwiększeniu opór R_z , będący sumą oporów R'_z bocznicy (1-2) (rys. 6.8) oraz R''_z bocznicy (8-9), wówczas odcinek określający wpływ oporów tam R_{tw} i R_{tc} na ustabilizowanie kierunku prądu bocznego (3-7) (rys. 6.8) dla prostego kierunku będzie określany zależnością

$$C_{nn} F = C_n A + A F_n \quad (6.3.1.17)$$

a dla odwróconego kierunku

$$C_n A = C_n F_n - AF_n \quad (6.3.1.17a)$$

gdzie:

$C_n F_n$ - odcinek obrazujący wpływ oporu tamy R_{tw} zabudowanej w bocznicy (3-4) (rys. 6.8),

$C_n A$ - odcinek obrazujący wpływ oporu tamy R_{tc} zabudowanej w bocznicy (2-8),

$F_n A$ - odcinek obrazujący sumaryczny wpływ oporów tam R_{tw} i R_{tc} w przypadku zwiększenia oporu bocznic (1-2) i (8-9) od R_z do R_{zn} .

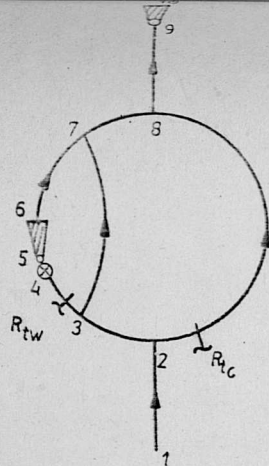
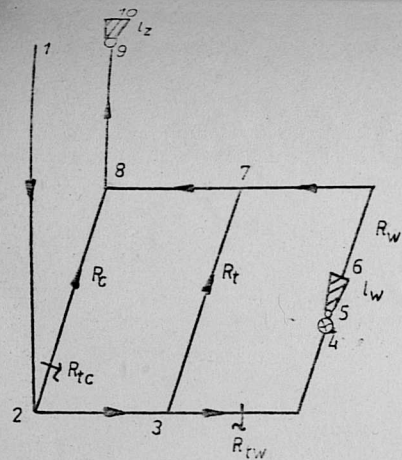
Jak wynika z rysunku 6.8, w przypadku zwiększania oporu bocznic (1-2) i (8-9) od R_z do R_{zn} przy $n \rightarrow \infty$ odcinek OF_n , obrazujący współczynnik dławienia β_1 dotyczący awaryjnego stanu wentylacji, tzn. po wykonaniu tam dławiących w bocznicach (3-4) oraz (2-8) o oporach R_{tw} i R_{tc} może być mniejszy od odcinka OA obrazującego współczynnik dławienia β dotyczącego normalnego stanu wentylacji.

W przypadku gdy

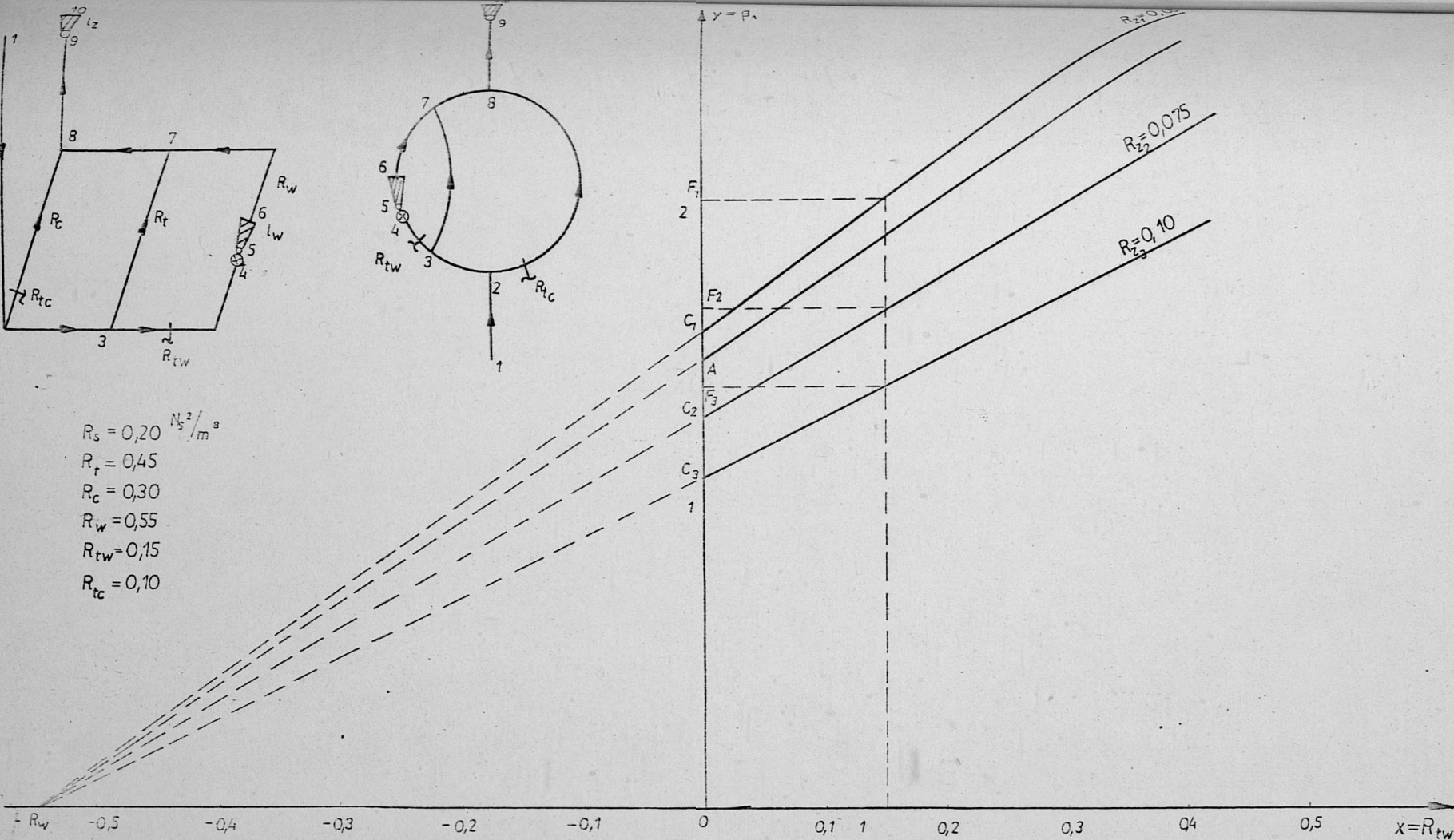
$$\beta_1 < \beta$$

czyli gdy

$$\frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_{zn} \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}}\right)^2} < \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}}\right)^2} \quad (6.3.1.18)$$



$$\begin{aligned}
 R_s &= 0,20 \text{ N}_s^2/\text{m}^3 \\
 R_t &= 0,45 \\
 R_c &= 0,30 \\
 R_w &= 0,55 \\
 R_{tw} &= 0,15 \\
 R_{tc} &= 0,10
 \end{aligned}$$



Rys. 6.8. Wykres zależności $\beta_z = f(R_{tw})$ przy $R_z = \text{var}$

wówczas otrzymamy odwrócony kierunek prądu bocznego (3-7) (rys. 6.8), a to w wyniku zwiększenia oporu bocznice (1-2) i (8-9) od R_z do R_{zn} przy stałych oporach tam R_{tw} i R_{tc} .

W celu przedstawienia wpływu oporu R_z bocznice (1-2) oraz (8-9) (rys. 6.9) na wartość współczynnika dławienia β_1 dotyczącego awaryjnego stanu wentylacji, tzn. po wykonaniu tam dławiających w bocznicach (3-4) i (2-8) o oporach R_{tw} i R_{tc} , korzystamy z zależności (6.3.1.2) wprowadzając oznaczenia:

$$f \stackrel{\text{def}}{=} R_s \quad (6.3.1.19a)$$

$$g \stackrel{\text{def}}{=} \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_t + R_{tc}}} \right)^2 \quad (6.3.1.19b)$$

$$h \stackrel{\text{def}}{=} R_s \quad (6.3.1.19c)$$

Korzystając z oznaczeń (6.3.1.19) oraz (6.3.1.11a) i (6.3.1.11e) otrzymujemy

$$y = \frac{c}{h + gx} \quad (6.3.1.20)$$

Wykresem funkcji $y = \beta_1$, danej przez (6.3.1.20) jest krzywa przedstawiona na rys. 6.9, której punkt przecięcia z osią rzędnych y określa zależność

$$y = \frac{c}{h}$$

która po uwzględnieniu (6.3.1.11a), (6.3.1.11e) oraz (6.3.1.19c) przybierze postać

$$\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_s} \quad (6.3.1.21)$$

Jak wynika z rys. 6.9, w przypadku wzrostu oporu R_z bocznio (1-2) i (3-9) maleje wartość współczynnika β , wówczas zmniejszają się szanse na zachowanie prostego kierunku prądu bocznego (3-7). Wówczas również zmniejsza się efektywność działania tam stabilizacyjnych o oporach R_{tw} i R_{tc} w bocznicach (3-4) i (2-8).

Malenie tej efektywności jest przedstawione przez zmniejszanie się wartości współczynnika efektywności stabilizacji α . Współczynnik ten przy odpowiednio dużym oporze R_z może przyjmując wartość ujemną, co świadczy o zmianie kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-7).

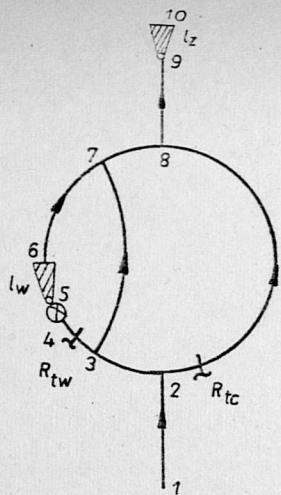
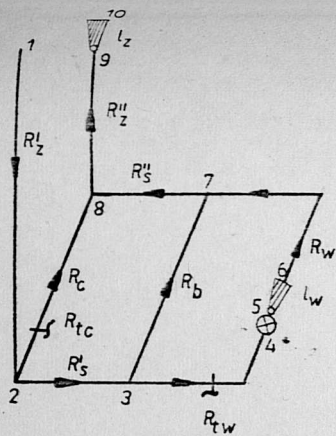
W celu określenia oporu R_{zn} , przy którym nastąpi odwrócenie kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-7) (rys. 6.9) przy stałych oporach tam R_{tw} i R_{tc} w bocznicach (3-4) i (2-8), przekształcamy zależność (6.3.1.18) do postaci

$$R_{zn} > \frac{(R_w + R_{tw}) \left[R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + R_{tw} R_s \right]}{R_w \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.22)$$

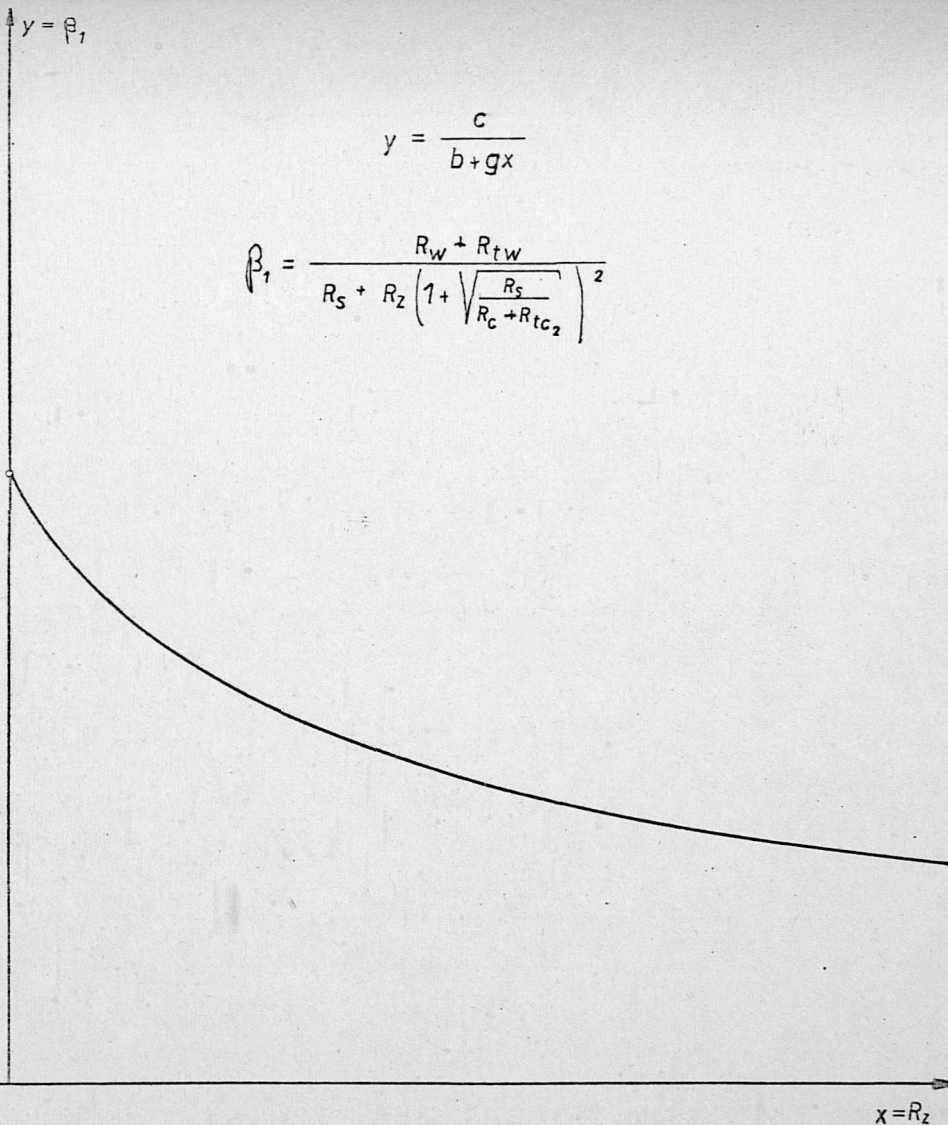
Zależność (6.3.1.22) określa wartość R_{zn} , do której musi wzrosnąć opór R_z bocznio (1-2) i (3-9), jeśli kierunek prądu bocznego (3-7) ma ulec odwróceniu.

D. Wpływ oporu R_w bocznicy głównej na efektywność stabilizacji pierwszego prądu bocznego

W przypadku gdy - oprócz zwiększenia oporów bocznio (3-4) i (2-8) w wyniku zabudowania tam o oporach R_{tw} i R_{tc} - ulega zmniejszeniu opór R_w będący sumą oporów R_w^I i R_w^{II} bocznio (3-4) i (6-7) (rys. 6.10) wówczas dla prostego kierunku prądu



$$\frac{R_W + R_{tW}}{R_S}$$



$$y = \frac{c}{b + gx}$$

$$\beta_1 = \frac{R_W + R_{tW}}{R_S + R_Z \left(1 + \sqrt{\frac{R_S}{R_C + R_{tC_2}}}\right)^2}$$

Rys. 6.9. Wykres zależności $\beta_1 = f(R_Z)$

bocznego (3-7) uzyskujemy

$$C_n F_n = C_n A + A F_n \quad (6.3.1.23)$$

a dla odwróconego kierunku prądu bocznego (3-7) dostajemy

$$C_n A = C_n F_n - A F_n$$

gdzie:

- $C_n F_n$ - odcinek obrazujący wpływ oporu tamy R_{tw} zabudowanej w bocznicy (3-4) (rys. 6.10),
- $C_n A$ - odcinek obrazujący wpływ oporu tamy R_{tc} zabudowanej w bocznicy (2-8),
- $F_n A$ - odcinek obrazujący sumaryczny wpływ oporów tam R_{tw} i R_{tc} w przypadku zmniejszania oporu bocznicy (3-4-5-6-7) od R_w do R_{wn} .

Jak wynika z rysunku 6.10 w przypadku gdy zmniejsza się opór bocznicy (3-4-5-6-7) od R_w do R_{wn} , wówczas odcinek OF_n , obrazujący współczynnik dławienia β_1 , dotyczący awaryjnego stanu wentylacji (tzn. po wykonaniu tam dławiących w bocznicach (3-4) oraz (2-8) o oporach R_{tw} i R_{tc}) może być mniejszy od odcinka OA obrazującego współczynnik dławienia β dotyczący normalnego stanu wentylacji. W tym przypadku zachodzi

$$\beta_1 < \beta$$

tzn.

$$\frac{R_{wn} + R_{tw}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} < \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2} \quad (6.3.1.24)$$

Wówczas występuje odwrócony kierunek prądu bocznego (3-7) (rys. 6.10), a to w wyniku zmniejszenia oporu bocznicy (3-4-5-6-7) od R_w do R_{wn} przy stałych oporach tam dławiających R_{tw} i R_{tc} w bocznicach (3-4) oraz (2-7).

W celu przedstawienia wpływu oporu R_w bocznicy (3-4-5-6-7) (rys. 6.10) na wartość współczynnika dławienia β_1 dotyczącego awaryjnego stanu wentylacji (tzn. po wykonaniu tam dławiających w bocznicach (3-4) i (2-8) o oporach R_{tw} i R_{tc}), korzystamy z zależności (6.3.1.2). Wprowadzamy oznaczenia:

$$k \stackrel{\text{def}}{=} \frac{R_{tw}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.25a)$$

$$x \stackrel{\text{def}}{=} R_w \quad (6.3.1.25b)$$

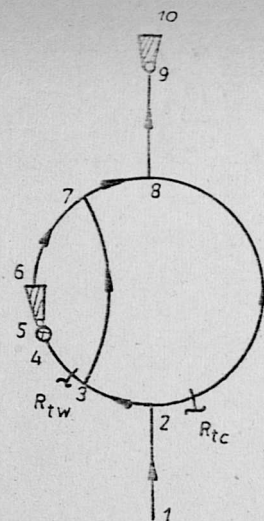
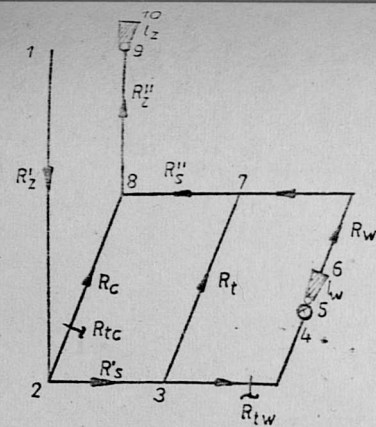
Korzystając z oznaczeń (6.3.1.25) oraz (6.3.1.3a) i (6.3.1.3d), otrzymujemy funkcję

$$y = ax + k \quad (6.3.1.26)$$

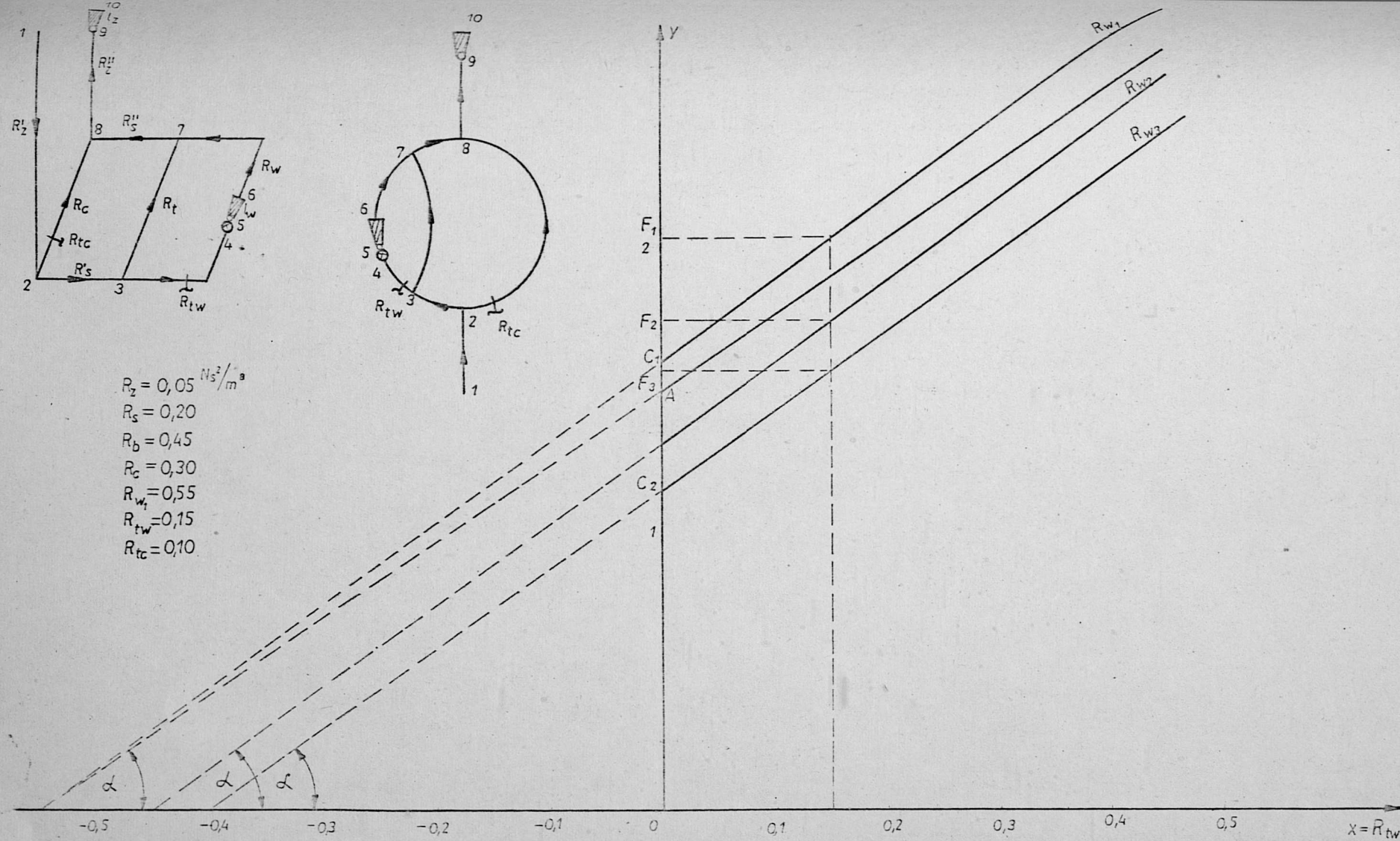
Obrazem funkcji $y = \beta_1$ danej przez (6.3.1.26) jest prosta przedstawiona na rys. 6.11, której punkt przecięcia z osią rzędnych y określany jest przez $y=k$, skąd po uwzględnieniu (6.3.1.3d) i (6.3.1.25a) otrzymamy

$$\beta_1 = \frac{R_{tw}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} \quad (6.3.1.27)$$

Prosta ta przechodzi przez punkt o współrzędnych $(-R_{tw}, 0)$ i nachylona jest do osi odciętych x pod kątem α_n określanym zależnością (6.3.1.5).



$$\begin{aligned}
 R_z &= 0,05 \text{ Ns}^2/\text{m}^3 \\
 R_s &= 0,20 \\
 R_b &= 0,45 \\
 R_c &= 0,30 \\
 R_{w_i} &= 0,55 \\
 R_{tw} &= 0,15 \\
 R_{tc} &= 0,10
 \end{aligned}$$



Rys. 6.10. Wykres zależności $\beta_1 = f(R_{tw})$ dla $R_w = \text{var}$

Jak wynika z rys. 6.11, w przypadku zmniejszania się oporu R_w bocznicy (3-4-5-6-7) wartość współczynnika β_1 maleje. Wówczas zmniejszają się szanse na zachowanie prostego kierunku prądu bocznego (3-7). Zmniejsza się też efektywność stosowania tam stabilizacyjnych oporach R_{tw} i R_{to} w bocznicach (3-4) i (2-8), o czym świadczy zmniejszająca się wartość współczynnika efektywności stabilizacji α . Współczynnik ten - przy odpowiednio małym oporze R_w - może przyjąć wartość ujemną, co świadczyć będzie o zmianie kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-7).

W celu określenia oporu R_{wn} , przy którym nastąpi odwrócenie kierunku przepływu powietrza w bocznicy (3-7) (rys. 6.11) przy stałych oporach tam R_{tw} i R_{to} w bocznicach (3-4) i (2-8) przekształćmy zależność (6.3.1.24) do postaci

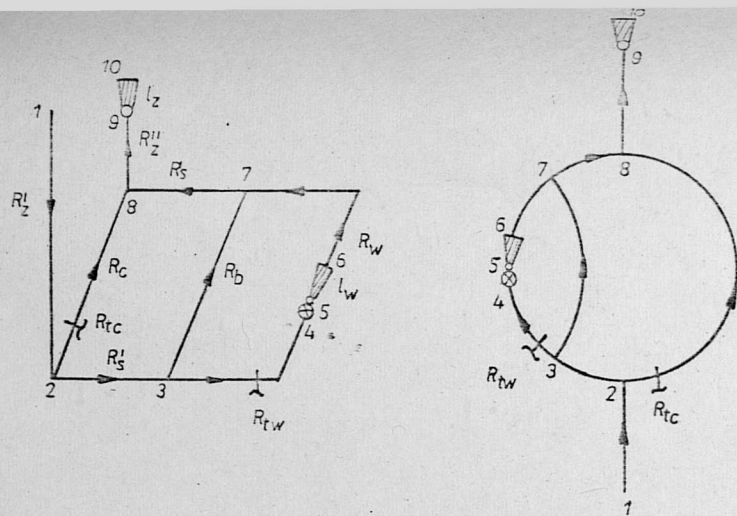
$$R_{wn} < \frac{(R_w - R_{tw}) \left[R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 \right]}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2} \quad (6.3.1.28)$$

przypadku gdy opór R_w w bocznicy (3-4-5-6-7) osiągnie wartość określoną zależnością (6.3.1.28), wówczas współczynnik efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego (3-7) α będzie mniejszy od zera, co jest jednoznaczne z odwróceniem kierunku prądu powietrznego w tej bocznicy.

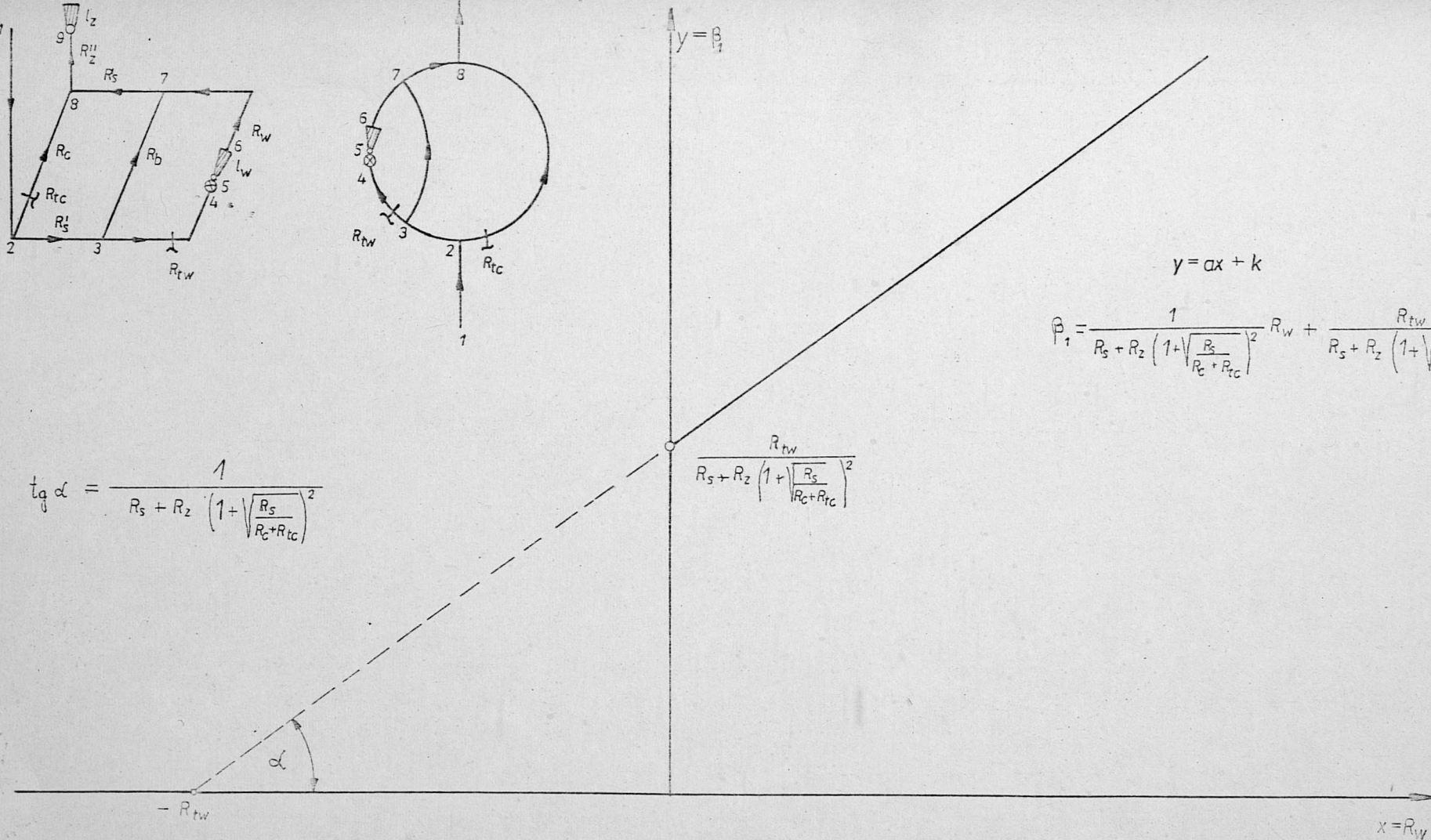
Wyniki obliczeń współczynnika efektywności stabilizacji

Współczynnikiem efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego (3-7) (rys. 6.1) dla sieci złożonej z trzech oczek niezależnych zgodnie z zależnościami (6.1.1), (6.3.1.1) i (6.3.1.2) wynosi

$$\alpha = \frac{\frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2} - \frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}}{\frac{R_w}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}} \quad (6.3.1.29)$$



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{R_s + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2}$$



Rys. 6.11. Wykres zależności $\beta_1 = f(R_w)$

Wartości współczynnika α wg. zależności (6.3.1.29) dla różnych wartości oporów tam stabilizacyjnych R_{tw} i R_{tc} w bocznicach (3-4) oraz (2-8) (rys. 6.1) wyliczone zostały przy zastosowaniu EMC. Wyniki obliczeń zestawiono w załączniku 1.

W przypadku, gdy będzie wykonana tylko tama stabilizacyjna w bocznicy (3-4), dla przyjętych wg. załącznika 1 wartości oporów bocznie i tam, wówczas współczynnik α przyjmie wartość 0,5513. W przypadku gdy będzie wykonana tylko tama w bocznicy (2-8), wtedy współczynnik α będzie wynosił 0,1153. Natomiast jeżeli tamy będą się znajdowały w bocznicach (3-4) i (2-8), to współczynnik α osiągnie wartość 0,7301. Przytoczone tu 3 wyniki obliczeń oraz 57 dalszych wyników znajdujących się w załączniku 1 świadczą o dominującym wpływie oporu tamy stabilizacyjnej w bocznicy (3-4) na ustabilizowanie kierunku prądu bocznego (3-7) (rys. 6.1); natomiast mały jest wpływ oporu tamy stabilizacyjnej w bocznicy (2-8) na kierunek wymienionego prądu bocznego.

W następnym rozdziale zostaną przytoczone wyniki obliczeń efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego w sieci złożonej z czterech oczek niezależnych.

6.3.2. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z czterech oczek niezależnych

W celu określenia efektywności stabilizacji kierunku przepływu powietrza w bocznicy (4-8) (rys. 6.2) sieci złożonej z czterech oczek niezależnych, korzystamy z warunku (6.2.2.10),

na podstawie którego obliczamy dwa następujące współczynniki:

a) współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący normalnego stanu wentylacji (tzn. w okresie przed powstaniem pożaru podziemnego), który określany jest wzorem

$$\beta = \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d}} \right)^2} \quad (6.3.2.1)$$

b) współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący awaryjnego stanu wentylacji (tzn. po wykonaniu w czasie akcji przeciwpożarowej tam o oporach R_{tw} , R_{tc} , R_{td} w bocznicach (4-5) (3-9) i (2-10) (rys. 6.2)), który ujęty jest wzorem

$$\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2}{R_d + R_{td}}} \right)^2} \quad (6.3.2.2)$$

Wartości liczbowe współczynników dławienia β i β_1 oraz współczynnika efektywności stabilizacji α określone odpowiednio wzorami (6.3.2.1), (6.3.2.2), (6.1.1) dla prostego kierunku prądu bocznego (4-8) (rys. 6.2) zostały wyliczone na EMC dla 73 kombinacji wartości oporów bocznie i tam. Wyniki obliczeń zestawione są w załączniku 2. Jak z tych obliczeń wynika, w przypadku zabudowania tamy tylko w bocznicy (3-9), współczynnik α jest zdecydowanie mniejszy niż w przypadku zabudowania tamy tylko w bocznicy (4-5), lecz większy niż w przypadku zabudowania tamy tylko w bocznicy (2-10). Dla identycznych maksymalnych wartości przyjętych oporów tam R_{tw} , R_{tc} , R_{td} w bocznicach (4-5), (3-9) i (2-10) w wymienionych powyżej trzech przypadkach wartości współczynnika α będą odpowiednio wynosiły: 0,5513, 0,1402 i 0,1230.

Świadczy to o dominującym wpływie oporu tamy R_{tw} w bocznicy (4-5) na ustabilizowanie prostego kierunku prądu bocznego (4-8); natomiast znacznie mniejszy jest wpływ oporów tam R_{to} i R_{td} w bocznicach (3-9) i (2-10) na kierunek tego prądu.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że jeśli zwiększa się opór R_L będący sumą oporów bocznicy (2-3) i (9-10) oraz zwiększa się opór R_S będący sumą oporów bocznicy (3-4) i (8-9) (rys. 6.2), to maleje współczynnik efektywności stabilizacji kierunku prądu w bocznicy (4-8).

W następnym rozdziale przytoczone zostaną wyniki obliczeń efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego w sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych.

6.3.3. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu w sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych

W celu określenia efektywności stabilizacji kierunku przepływu powietrza w bocznicy (5-9) (rys. 6.3) sieci złożonej z pięciu oczek niezależnych korzystamy z (6.2.3.10), na podstawie którego obliczamy dwa następujące współczynniki:

a) współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący normalnego stanu wentylacji (tzn. w okresie przed powstaniem pożaru podziemnego), określane zależnością

$$\beta = \frac{R_w}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + \dots + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + \dots + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2 + R_k \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}}}{R_d}} \right)^2} \quad (6.3.3.1)$$

b) współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący awaryjnego stanu wentylacji (tzn. po wykonaniu w czasie akcji przeciwpożarowej tam o oporach R_{tw} , R_{tc} , R_{td} , R_{te} w bocznicach (5-6), (4-10), (3-11) i (2-12) (rys. 6.3), określane zależnością

$$\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 + \dots + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 + \dots + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 + R_k \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 + \frac{R_s + R_c \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2}{R_d + R_{td}}}{R_e + R_{te}}} \quad (6.3.3.2)$$

Wartości liczbowe współczynników dławienia β i β_1 oraz współczynnika efektywności stabilizacji α określone odpowiednio wzorami (6.3.3.1), (6.3.3.2) i (6.1.1) dla prostego kierunku prądu bocznego (5-9) zostały wyliczone na EMC dla 80 kombinacji oporów bocznic i tam. Wyniki obliczeń zestawione są w załączniku 3. Jak wynika z tych obliczeń, na ustabilizowanie kierunku prądu bocznego (5-9) (rys. 6.3) w sieci wentylacyjnej złożonej z pięciu oczek niezależnych decydujący wpływ wywiera opór tamy R_{tw} w bocznicy (5-6), natomiast coraz mniejszy wpływ mają odpowiednio opory tam R_{tc} w bocznicy (4-10), R_{td} w bocznicy (3-11) oraz R_{te} w bocznicy (2-12). Z przeprowadzonych obliczeń wynika również, że w przypadku zwiększania oporów:

R_s , tj. sumy oporów bocznic (4-5) i (9-10) (rys. 6.3),

R_l , tj. sumy oporów bocznic (3-4) i (10-11),

R_k , tj. sumy oporów bocznic (2-3) i (11-12),

$$R_z, \quad \text{tj. sumy oporów bocznie } (1-2) \text{ i } (12-13),$$

maleje współczynnik efektywności stabilizacji α prądu bocznego (5-9).

W następnym rozdziale przytoczone zostaną wyniki obliczeń efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego w sieci wentylacyjnej złożonej z sześciu oczek niezależnych.

6.3.4. Efektywność stabilizacji kierunku tzw. bocznego prądu
w sieci złożonej z sześciu oczek niezależnych

W celu określenia efektywności stabilizacji kierunku przepływu powietrza w bocznicy (6-10) (rys. 6.4) sieci złożonej z sześciu oczek niezależnych korzystamy z warunku (6.2.4.10) na podstawie którego obliczamy dwa następujące współczynniki :

a) współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący normalnego stanu wentylacji (tzn. w okresie przed powstaniem pożaru podziemnego), który określany jest zależnością

$$\beta = \frac{R_W}{R_S + R_I \left(1 + \sqrt{\frac{R_S}{R_C}}\right)^2 + \dots + R_Z \left(1 + \sqrt{\frac{R_S}{R_C}}\right) + \dots + \frac{R_S + R_I \left(1 + \sqrt{\frac{R_S}{R_C}}\right)^2}{R_f} + \dots +}$$

(6.3.4.1)

$$R_m \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} + \dots + \sqrt{\frac{R_s + R_c \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c}} \right)^2}{R_d}} \right)^2 \bigg| R_e \bigg| R_f$$

b) współczynnik dławienia (tamowania) dotyczący awaryjnego stanu wentylacji (tzn. po wykonaniu w czasie akcji przeciwpożarowej tam o oporach R_{tw} , R_{tc} , R_{te} , R_{tf} w bocznicach (6-7), (5-11), (4-12), (3-13) i (2-14) (rys. 6.4), który określamy zależnością

$$\beta_1 = \frac{R_w + R_{tw}}{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2 + \dots + R_z \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} + \dots + \sqrt{\frac{R_s + R_l \left(1 + \sqrt{\frac{R_s}{R_c + R_{tc}}} \right)^2}{R_f + R_{tf}}} \right)^2 + \dots + \dots} \quad (6.3.4.2)$$

Wartości liczbowe współczynników dławienia β i β_1 oraz współczynnika efektywności stabilizacji α określone odpowiednio wzorami (6.3.4.1), (6.3.4.2) i (6.1.1) dla prostego kierunku prądu bocznego (6-10) (rys. 6.4) zostały wyliczone na ENO dla 78 kombinacji oporów bocznie i tam stabilizacyjnych. Wyniki obliczeń zestawione są w załączniku 4.

Jak z załącznika 4 wynika, na ustabilizowanie kierunku prądu bocznego (6-10) (rys. 6.4) w sieci wentylacyjnej złożonej z sześciu oczek niezależnych decydujący wpływ wywiera opór

tamy R_{tw} w bocznicy (6-7), natomiast coraz mniejszy wpływ mają odpowiednio opory tam R_{tc} w bocznicy (5-11), R_{td} w bocznicy (4-12), R_{te} w bocznicy (3-13) i R_{tf} w bocznicy (2-14).

Z przeprowadzonych obliczeń wynika również, że w przypadku zwiększenia oporów

R_s , tj. sumy oporów bocznicy (5-6) i (10-11) (rys. 6.4),

R_1 , tj. sumy oporów bocznicy (4-5) i (11-12),

R_k , tj. sumy oporów bocznicy (3-4) i (12-13),

R_m , tj. sumy oporów bocznicy (2-3) i (13-14),

R_z , tj. sumy oporów bocznicy (1-2) i (14-15),

maleje współczynnik efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego (6-10).

7. MOŻLIWOŚCI PRAKTYCZNEGO ZASTOSOWANIA UZYSKANYCH ROZWIĄZAŃ DLA DAJSZEJ POPRAWY BEZPIECZEŃSTWA KOPALŃ LGOM I EKONOMIKI ICH WENTYLACJI

W czasie akcji ratowniczej jak i zwalczania pożarów istotne znaczenie ma stabilizacja prądów powietrznych oraz znajomość czynników wpływających na kierunki tych prądów i na ich wydatki. Kopalnie LGOM można zaliczyć do kopalń, których sieci wentylacyjne są skomplikowane, a to z uwagi na system eksploatacji, związany z utrzymywaniem dużej ilości czynnych wyrobisk. Stwierdzić należy, że w kopalniach tych znajduje się zbyt mała liczba stabilizacyjnych tam dławiających, zwłaszcza tam znajdujących się wewnątrz rejonów eksploatacyjnych, gdyż budowane są w zasadzie tylko przyszybowe tamy bezpieczeństwa.

Znając uzyskane w tej pracy zależności ujmujące wpływ gęstości powietrza na parametry (kierunek i wydatek) wznoszących się prądów powietrznych, można zapobiegać zaburzeniom kierunków prądów bocznych. Wyprowadzone zależności bowiem pozwalają na określenie zmian dysypacji energii oraz normalnych wydatków objętościowych prądów głównego i bocznego w funkcji gęstości powietrza w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym. Innymi słowy wyprowadzone zależności umożliwiają przewidywanie zakłóceń w rozplywie powietrza zachodzących na skutek zmian jego gęstości wywołanych działaniem pożaru. Na przykład w przypadku badania zmian dysypacji energii w zależności od zmian gęstości przy wykonywaniu stabilizacji normalnego wydatku prądu głównego w sieci przedstawionej na rys. 5.3, prąd boczny (1-B-2) ulegnie odwróceniu wówczas, gdy $(y)_{\min}$ określone zależnością (5.2.1.8b) spełniać będzie

warunek

$$(y)_{\min} < 0 \quad (7.1)$$

czyli

$$R'_{na} \dot{V}_{na}^2 + 2 \sqrt{g \vartheta_n (z_2 - z_p)} R''_{na} (\dot{V}_{na} + \dot{V}_{no})^2 < g \vartheta_{ma} (z_2 - z_p) \quad (7.2)$$

Jak z zależności (7.2) wynika, prąd boczny (1-B-2) (rys. 5.3) może ulec odwróceniu tym szybciej, im większa jest różnica wysokości niwelacyjnych $(z_2 - z_p)$ oraz im mniejsze są opory R'_{na} oraz R''_{na} . Jeśli duże są wartości różnicy $(z_2 - z_p)$, a małe wartości oporów R'_{na} i R''_{na} , wówczas $(y)_{\min}$ określone zależnością (5.2.1.8b) przyjmuje wartości znacznie mniejsze od zera, co związane jest z odwróceniem prądu bocznego (1-B-2).

W przypadku badania zmian normalnego wydatku prądu bocznego w zależności od zmian gęstości - przy założeniu $(\dot{V}_{na} + \dot{V}_{nb}) = m$ i przy niewykonywaniu żadnej stabilizacji w sieci przedstawionej na rys. 5.6 - prąd boczny (1-B-2) ulegnie odwróceniu wówczas, gdy $(y)_{\min}$ określone zależnością (5.2.3.6) będzie spełniać warunek (7.1), czyli gdy

$$\sqrt{\left(\frac{R_a \vartheta_n m}{R_a \vartheta_n - R_{nb} \vartheta_{mp}} \right)^2 + \frac{R_a \vartheta_n m^2 + g (z_2 - z_1) \vartheta_{mp}^2 - g (z_2 - z_1) \vartheta_{ma} \vartheta_{mp}}{R_a \vartheta_n - R_{nb} \vartheta_{mp}}} < \frac{R_a \vartheta_n m}{R_a \vartheta_n - R_{nb} \vartheta_{mp}} \quad (7.3)$$

Analiza zależności (7.3) doprowadza, podobnie jak przy analizie nierówności (7.2), do określania czynników mających wpływ na

osiąganie takich wartości dysypacji energii w bocznicy (1-B-2), przy których nastąpi odwrócenie kierunku przepływu w tej bocznicy.

Przedstawione w tej rozprawie zagadnienia efektywności stabilizacji kierunków prądów powietrznych jest niezwykle istotne dla kopaliń LGOM. Na podstawie wyprowadzonych w rozdziale 6 zależności można podać następujące nierównościowe kryterium stabilizacji tzw. bocznego prądu powietrznego w uaktywnionej sieci wentylacyjnej o liczbie k oczek niezależnych

$$\frac{l_w}{l_z} < \frac{R_1}{f_k(R_j, R^m)} \quad (7.4)$$

gdzie:

R_j - opory prądów grupowych ($j = 1, 2, 3 \dots k$),

R_m - opory prądów bocznych ($m = 2, 3, \dots k$).

Wartość $f_k(R_j, R^m)$ wyrażenia figurującego po prawej stronie kryterium (7.4) określona jest za pomocą wzoru rekurencyjnego

$$f_k(R_j, R^m) = \begin{cases} R_2 & k=1 \\ R_2 + \sum_{n=2}^{k-1} R_{n+1} \left(1 + \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{\frac{f_i(R_j, R^m)}{R^{i+2}}} \right)^2 & k=2,3 \end{cases} \quad (7.5)$$

Współczynnik efektywności stabilizacji kierunku prądu bocznego w sieci wentylacyjnej składającej się z k oczek niezależnych wówczas ujęty jest zależnością

$$\alpha = \frac{\frac{R_1}{f(R_j, R^m, R_{tm})} - \frac{R_1}{f(R_j, R^m)}}{\frac{R_1}{f(R_j, R^m)}} \quad (7.6)$$

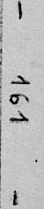
w której R_{tm} oznacza opory niezbędnych tam wynikających z kryterium (7.4).

W przypadku gdy współczynnik efektywności stabilizacji określony zależnością (7.6) będzie mniejszy od zera, wówczas prąd boczny $(k-B-k+1)$ (rys. 7.1) ulegnie odwróceniu.

Jeśli mamy sieć składającą się z k oczek niezależnych, to można przeprowadzić analizę podobną do tej jaka została przeprowadzona w rozdziale 6.3 dla sieci składających się odpowiednio z trzech, czterech, pięciu i sześciu oczek niezależnych.

W kopalniach LGOM miejscem o potencjalnym zagrożeniu od pożarów egzogenicznych, a więc pożarów, które grożą bardzo poważnymi konsekwencjami (katastrofami z ludźmi) są przyszybowe komory materiałów pędnych lub komory maszynowe. Pomiedzy szymbami wdechowymi a tymi komorami znajdują się przyszybowe tamy bezpieczeństwa, które w przypadku pożaru będą odgrywały decydującą rolę w stabilizowaniu kierunków prądów bocznych. Znając wyniki rozwiązań uzyskanych w tej rozprawie, można podjąć decyzję dotyczące budowania takich tam bezpieczeństwa, których wpływ na stabilność kierunku danego prądu powietrznego będzie istotny.

W przypadku gdy powstanie pożar wewnątrz rejonu eksploatacyjnego, wówczas nie należy budować tam we wszystkich prądach bocznych, a trzeba przede wszystkim zbudować tamę dławiącą w prądzie głównymi i to zgodnie z teorią W. Dudryka bezpo-



średnio przed ogniskiem pożarowym. Tama zasadnicza bowiem wywiera decydujący wpływ na ustabilizowanie kierunku prądu bocznego znajdującego się najbliżej ogniska pożarowego. Dopiero w tym przypadku, gdy tama zasadnicza nie wpłynie w dostatecznej mierze na ustabilizowanie kierunku prądu bocznego, wówczas należy budować tamy stabilizacyjne w kolejnych prądach bocznych, coraz odleglejszych od ogniska pożarowego. Budowanie tam stabilizacyjnych w wymienionej kolejności wpłynie z jednej strony na szybsze osiągnięcie właściwego efektu (tzn. ustabilizowanie kierunku prądu bocznego, co przyczyni się do bezpiecznego wyjścia osób z zagrożonych rejonów). Z drugiej zaś strony przy takiej kolejności budowania tam, można zrezygnować z budowania tam, które nie przynoszą większych efektów. Przy takim postępowaniu skraca się czas prowadzenia akcji ratowniczej przeciwpożarowej, jak również małe są nakłady finansowe na przeprowadzenie tych akcji.

Podkreślić należy, że niniejsza praca otwiera możliwości stworzenia teoretycznych podstaw lokalizacji tam bezpieczeństwa w kopalniach LGOM. Dotychczas budowanie takich tam tylko na podszybiach nie ma wciąż jeszcze gruntownych podstaw naukowo-badawczych. Oczywiście względy bezpieczeństwa, jak i względy ekonomiczne kopalń LGOM, przemawiają za dalszym kontynuowaniem prac badawczych zapoczątkowanych w niniejszej rozprawie.

8. WNIOSKI

1. Podane w pracy zależności i ich obrazy graficzne ujmuja wpływ gęstości powietrza w bocznicy za ogniskiem pożarowym na rozplływ powietrza w sieciach wentylacyjnych, jak również ujmuja w sposób ilościowy efektywność stabilizacji prądów bocznych w kopalniach o wznoszącym się przewietrzaniu.
2. Wyprowadzone w niniejszej pracy zależności pomiędzy średnią gęstością powietrza w wyrobiskach za ogniskiem pożarowym, a dysypacją energii oraz normalnymi wydatkami objętościowymi prądów głównego i bocznego - zarówno przy wykonywaniu stabilizacji wydatków prądu głównego i prądu bocznego, jak i bez wykonywania takiej stabilizacji - pozwalają na określenie gęstości zadymionego powietrza, przy której w czasie pożaru podziemnego następuje odwrócenie kierunku prądu bocznego oraz występują niebezpieczne zmiany wydatku prądu głównego i dysypacji energii w tym prądzie.
3. Wyprowadzone w pracy nierównościowe kryteria stabilizacji prądów bocznych w sieciach wentylacyjnych złożonych z trzech, czterech, pięciu i sześciu oczek niezależnych pozwalają nie tylko na określenie czynników stabilizujących kierunki określonych prądów, lecz także kryteria te stanowią punkt wyjścia do opracowania współczynników dławienia i efektywności stabilizacji.

4. Opierając się na zaproponowanych w tej pracy współczynnikach dławienia oraz efektywności stabilizacji kierunku prądu powietrznego wykazano w sposób ilościowy, że jeżeli w czasie pożaru podziemnego stabilizowany jest kierunek prądu bocznego, to główną rolę odgrywa opór tamy zasadniczej zabudowanej w prądzie głównym zgodnie z teorią W. Budryka, natomiast tamy pomocnicze budowane w prądach bocznych coraz odleglejszych od miejsca pożaru wywierają coraz to mniejszy wpływ na kierunek stabilizowanego prądu bocznego.
5. Niniejsza praca otwiera perspektywy dalszych badań nad stabilizacją rozplywu powietrza w kopalniach, zwłaszcza w kopalniach LGOM. Znając wyniki rozwiązań wykonanych w tej rozprawie można prowadzić prace badawcze dotyczące zagadnienia budowania takich tam bezpieczeństwa, które są istotne dla stabilizacji kierunków prądów powietrznych w czasie pożarów podziemnych, a niebudowania tam bezpieczeństwa, które nie są istotne dla wspomnianej stabilizacji. Zagadnienie to ma poważne znaczenie użytkowe dla kopalń LGOM.

	LP.	RW	PS	RZ	RC	RIW	RIC	β	β_1	δ
R_{TW}	1	.1814	.1583	.0981	.2157	.01	.00	.3975	.4194	.0551
	2	.1814	.1583	.0981	.2157	.02	.00	.3975	.4413	.1103
	3	.1814	.1583	.0981	.2157	.03	.00	.3975	.4632	.1654
	4	.1814	.1583	.0981	.2157	.04	.00	.3975	.4851	.2205
	5	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.00	.3975	.5070	.2756
	6	.1814	.1583	.0981	.2157	.06	.00	.3975	.5289	.3308
	7	.1814	.1583	.0981	.2157	.07	.00	.3975	.5508	.3859
	8	.1814	.1583	.0981	.2157	.08	.00	.3975	.5727	.4410
	9	.1814	.1583	.0981	.2157	.09	.00	.3975	.5947	.4961
	10	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.00	.3975	.6166	.5513
R_{TC}	11	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.01	.3975	.6030	.0140
	12	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.02	.3975	.6083	.0274
	13	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.03	.3975	.6134	.0401
	14	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.04	.3975	.6182	.0522
	15	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.05	.3975	.6228	.0638
	16	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.06	.3975	.6273	.0750
	17	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.07	.3975	.6315	.0857
	18	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.08	.3975	.6356	.0959
	19	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.09	.3975	.6395	.1058
	20	.1814	.1583	.0981	.2157	.00	.10	.3975	.6433	.1153
R_{TC}	21	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.01	.3975	.6252	.5730
	22	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.02	.3975	.6334	.5937
	23	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.03	.3975	.6413	.6134
	24	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.04	.3975	.6488	.6323
	25	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.05	.3975	.6559	.6503
	26	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.06	.3975	.6628	.6676
	27	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.07	.3975	.6694	.6841
	28	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.08	.3975	.6757	.7000
	29	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.09	.3975	.6818	.7153
	30	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.10	.3975	.6876	.7301
R_{TC}	31	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.01	.3975	.5141	.2935
	32	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.02	.3975	.5209	.3105
	33	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.03	.3975	.5273	.3267
	34	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.04	.3975	.5335	.3422
	35	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.05	.3975	.5394	.3571
	36	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.06	.3975	.5450	.3713
	37	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.07	.3975	.5504	.3849
	38	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.08	.3975	.5556	.3980
	39	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.09	.3975	.5606	.4106
	40	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.10	.3975	.5654	.4227
R_{TW}	41	.1814	.1583	.0981	.2157	.01	.10	.3975	.4677	.1767
	42	.1814	.1583	.0981	.2157	.02	.10	.3975	.4921	.2382
	43	.1814	.1583	.0981	.2157	.03	.10	.3975	.5166	.2997
	44	.1814	.1583	.0981	.2157	.04	.10	.3975	.5410	.3612
	45	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.10	.3975	.5654	.4227
	46	.1814	.1583	.0981	.2157	.06	.10	.3975	.5899	.4841
	47	.1814	.1583	.0981	.2157	.07	.10	.3975	.6143	.5456
	48	.1814	.1583	.0981	.2157	.08	.10	.3975	.6388	.6071
	49	.1814	.1583	.0981	.2157	.09	.10	.3975	.6632	.6686
	50	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.10	.3975	.6876	.7301
R_{TW}	51	.1814	.1583	.0981	.2157	.01	.05	.3975	.4461	.1225
	52	.1814	.1583	.0981	.2157	.02	.05	.3975	.4694	.1811
	53	.1814	.1583	.0981	.2157	.03	.05	.3975	.4928	.2398
	54	.1814	.1583	.0981	.2157	.04	.05	.3975	.5161	.2984
	55	.1814	.1583	.0981	.2157	.05	.05	.3975	.5394	.3571
	56	.1814	.1583	.0981	.2157	.06	.05	.3975	.5627	.4157
	57	.1814	.1583	.0981	.2157	.07	.05	.3975	.5860	.4744
	58	.1814	.1583	.0981	.2157	.08	.05	.3975	.6093	.5330
	59	.1814	.1583	.0981	.2157	.09	.05	.3975	.6326	.5917
	60	.1814	.1583	.0981	.2157	.10	.05	.3975	.6559	.6503

	LP.	RW	RI	RS	RZ	RC	RD	RTW	RTc	RTD	β	β_1	δ
R_{RW}	1	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.010	.000	.000	.1105	.1166	.0551
	2	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.020	.000	.000	.1105	.1226	.1103
	3	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.030	.000	.000	.1105	.1287	.1654
	4	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.040	.000	.000	.1105	.1348	.2205
	5	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.050	.000	.000	.1105	.1409	.2756
	6	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.060	.000	.000	.1105	.1470	.3308
	7	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.070	.000	.000	.1105	.1531	.3859
	8	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.080	.000	.000	.1105	.1592	.4410
	9	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.090	.000	.000	.1105	.1653	.4961
	10	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.000	.000	.1105	.1714	.5513
R_{Tc}	11	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.010	.000	.1105	.1123	.0167
	12	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.020	.000	.1105	.1141	.0327
	13	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.030	.000	.1105	.1158	.0480
	14	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.040	.000	.1105	.1174	.0627
	15	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.050	.000	.1105	.1190	.0768
	16	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.060	.000	.1105	.1205	.0904
	17	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.070	.000	.1105	.1219	.1035
	18	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.080	.000	.1105	.1233	.1162
	19	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.090	.000	.1105	.1246	.1284
	20	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.100	.000	.1105	.1260	.1402
R_{Td}	21	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.010	.1105	.1122	.0156
	22	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.020	.1105	.1138	.0304
	23	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.030	.1105	.1154	.0445
	24	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.040	.1105	.1169	.0579
	25	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.050	.1105	.1183	.0707
	26	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.060	.1105	.1196	.0829
	27	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.070	.1105	.1209	.0947
	28	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.080	.1105	.1222	.1059
	29	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.090	.1105	.1234	.1167
	30	.1814	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.000	.100	.1105	.1245	.1270
R_{TW}, R_{Tc}	31	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.010	.010	.000	.1107	.1188	.0726
	32	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.025	.025	.000	.1107	.1310	.1835
	33	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.050	.050	.000	.1107	.1520	.3730
	34	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.075	.075	.000	.1107	.1734	.5678
	35	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.000	.1107	.1957	.7673
	36	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.010	.000	.010	.1107	.1186	.0715
	37	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.025	.000	.020	.1107	.1298	.1721
	38	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.050	.000	.050	.1107	.1511	.3652
	39	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.075	.000	.075	.1107	.1721	.5543
	40	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.000	.100	.1107	.1934	.7470
R_{Tc}, R_{Td}	41	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.010	.010	.1107	.1143	.0326
	42	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.025	.025	.1107	.1195	.0795
	43	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.050	.050	.1107	.1353	.2217
	44	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.000	.100	.100	.1107	.1423	.2857
	45	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.010	.010	.010	.1107	.1206	.0894
	46	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.025	.025	.025	.1107	.1359	.2280
	47	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.050	.050	.050	.1107	.1628	.4703
	48	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.075	.075	.075	.1107	.1910	.7257
	49	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.2206	.9928
	50	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.010	.100	.100	.1107	.1502	.3564
R_{TW}	51	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.025	.100	.100	.1107	.1619	.4625
	52	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.050	.100	.100	.1107	.1815	.6325
	53	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.075	.100	.100	.1107	.2011	.8151
	54	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.2206	.9928
	55	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.010	.1107	.1987	.7950
	56	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.025	.1107	.2030	.8359
	57	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.050	.1107	.2094	.8928
	58	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.075	.1107	.2154	.9454
	59	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.010	.100	.1107	.1967	.7763
	60	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.025	.100	.1107	.2013	.8179
R_{Tc}	61	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.050	.100	.1107	.2083	.8817
	62	.1818	.1153	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.075	.100	.1107	.2148	.9398
	63	.1818	.1253	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1064	.2126	.9267
	64	.1818	.1353	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1025	.2051	.8527
R_I	65	.1818	.1453	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.0989	.1982	.7904
	66	.1818	.1553	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1918	.7326
	67	.1818	.1653	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1854	.6784
	68	.1818	.1753	.13830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1802	.6278
	69	.1814	.1153	.14830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.2125	.9196
	70	.1814	.1153	.15830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.2053	.8545
	71	.1814	.1153	.16830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1986	.7940
	72	.1814	.1153	.17830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1925	.7389
	73	.1814	.1153	.18830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1813	.6377
	74	.1814	.1153	.19830	.0981	.2157	.2018	.100	.100	.100	.1107	.1713	.5827

	Lp.	RW	PL	RK	RS	PZ	RC	RD	RE	RTW	RTC	RTD	RTF	β	β_1	d
R _W	1	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0100	.0000	.0000	.0000	.0096	.0101	.0551
	2	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0250	.0000	.0000	.0000	.0096	.0102	.1378
	3	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0500	.0000	.0000	.0000	.0096	.0122	.2756
	4	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0750	.0000	.0000	.0000	.0096	.0135	.4135
R _H	5	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1000	.0000	.0000	.0000	.0096	.0149	.5515
	6	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1000	.0100	.0100	.0100	.0096	.0152	.6895
	7	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1000	.0250	.0250	.0250	.0096	.0175	.8311
	8	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1000	.0500	.0500	.0500	.0096	.0202	1.0744
R _T	9	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1000	.0750	.0750	.0750	.0096	.0228	1.3168
	10	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1000	.1000	.1000	.1000	.0096	.0254	1.5604
	11	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0100	.1000	.0100	.0100	.0096	.0127	.3244
	12	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0250	.1000	.0100	.0100	.0096	.0137	.4629
R _W	13	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0500	.1000	.0100	.0100	.0096	.0153	.6008
	14	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0750	.1000	.0100	.0100	.0096	.0170	.7388
	15	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0100	.0100	.0100	.0100	.0096	.0127	.3510
	16	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0250	.0250	.0100	.0250	.0096	.0146	.5287
R _T	17	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0500	.0500	.0100	.0500	.0096	.0180	.8800
	18	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0750	.0750	.0100	.0750	.0096	.0216	1.2566
	19	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0100	.0100	.0100	.0100	.0096	.0125	.3034
	20	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0250	.0250	.0250	.0100	.0096	.0144	.5034
R _W	21	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0500	.0500	.0500	.0100	.0096	.0178	.8638
	22	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.1814	.0750	.0750	.0750	.0100	.0096	.0215	1.2471
	23	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0358	2.6708
	24	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0327	2.3511
R _T	25	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.0500	.1000	.1000	.1000	.0097	.0295	2.0264
	26	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.0250	.1000	.1000	.1000	.0097	.0263	1.6976
	27	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.0000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0231	1.3709
	28	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.0750	.1000	.1000	.0097	.0348	2.3764
R _W	29	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0337	2.4631
	30	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.0500	.1000	.1000	.0097	.0325	2.3511
	31	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.0000	.1000	.1000	.0097	.0312	2.2414
	32	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.0000	.0750	.1000	.0097	.0334	2.6036
R _T	33	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0500	.1000	.0097	.0305	2.1304
	34	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0250	.1000	.0097	.0271	1.7857
	35	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0000	.1000	.0097	.0231	1.3683
	36	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0000	.0750	.0097	.0341	2.5031
R _W	37	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0000	.0500	.0097	.0321	2.2987
	38	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0000	.0250	.0097	.0298	2.0366
	39	.1814	.1536	.1798	.1383	.0981	.2157	.0725	.0925	.1000	.1000	.0000	.0000	.0097	.0268	1.7340
	40	.1714	.1536	.1798	.1383	.0981	.2057	.0825	.1025	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0356	2.6701
R _T	41	.1614	.1536	.1798	.1383	.0981	.1957	.0725	.1125	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0353	2.6391
	42	.1514	.1536	.1798	.1383	.0981	.1857	.1025	.1325	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0353	2.6391
	43	.1514	.1536	.1798	.1383	.0981	.1757	.1125	.1425	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0351	2.4123
	44	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0097	.0322	2.3917
R _W	45	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.0750	.1000	.0099	.0318	2.2287
	46	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.0500	.1000	.0099	.0306	2.1078
	47	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.0250	.1000	.0099	.0293	1.9718
	48	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.0000	.0000	.0099	.0277	1.8120
R _T	49	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.0000	.0000	.0750	.0000	.0099	.0	.87
	50	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.0000	.0000	.1000	.0099	.0239	2.1111
	51	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.0250	.1000	.0099	.0278	1.8186
	52	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.0000	.1000	.0099	.0256	1.5880
R _W	53	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.0750	.1000	.1000	.0099	.0317	2.2167
	54	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.0500	.1000	.1000	.0099	.0304	2.0827
	55	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.0250	.1000	.1000	.0099	.0282	1.9369
	56	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.0000	.1000	.1000	.0099	.0273	1.7986
R _T	57	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.0750	.1000	.1000	.1000	.0099	.0292	1.9582
	58	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.0500	.1000	.1000	.1000	.0099	.0255	1.5817
	59	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.0250	.1000	.1000	.1000	.0099	.0217	1.2651
	60	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.0000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0180	.9285
R _W	61	.1214	.1536	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0320	2.2323
	62	.1214	.1736	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0311	2.1414
	63	.1214	.1836	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0303	2.0606
	64	.1214	.1936	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0296	1.9338
R _T	65	.1214	.2036	.1798	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0289	1.9191
	66	.1214	.1536	.1998	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0319	2.2232
	67	.1214	.1536	.1998	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0311	2.1414
	68	.1214	.1536	.2098	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0302	2.0505
R _W	69	.1214	.1536	.2198	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0295	1.9797
	70	.1214	.1536	.2298	.1383	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0287	1.8989
	71	.1214	.1536	.1798	.1483	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0317	2.2020
	72	.1214	.1536	.1798	.1583	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0307	2.1010
R _T	73	.1214	.1536	.1798	.1683	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0297	2.0000
	74	.1214	.1536	.1798	.1783	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0289	1.9191
	75	.1214	.1536	.1798	.1883	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0280	1.8282
	76	.1214	.1536	.1798	.1983	.0981	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0272	2.0202
R _W	77	.1214	.1536	.1798	.1483	.1181	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0282	1.8484
	78	.1214	.1536	.1798	.1483	.1281	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0267	1.6969
	79	.1214	.1536	.1798	.1483	.1381	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0253	1.5555
	80	.1214	.1536	.1798	.1483	.1481	.1657	.1325	.1525	.1000	.1000	.1000	.1000	.0099	.0241	1.4343

LP	RM	RI	RS	RH	P ₇	PC	PD	PE	PF	RTM	RT _r	RTD	PTE	RTF	β	Zol 4	β ₁	α
R ₁₀	1	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0100	0000	0000	0000	0000	0021	0022	0063
	2	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0250	0000	0000	0000	0000	0021	0024	0118
	3	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0300	0000	0000	0000	0000	0021	0026	0217
	4	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0750	0000	0000	0000	0000	0021	0028	0375
	5	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	1000	0000	0000	0000	0000	0021	0031	0454
R ₁₁	6	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0100	0000	0000	0000	0021	0021	0200
	7	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0250	0000	0000	0000	0021	0022	0267
	8	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0300	0000	0000	0000	0021	0023	0331
	9	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0750	0000	0000	0000	0021	0024	0358
	10	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	1000	0000	0000	0000	0021	0025	0415
R ₁₂	11	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0100	0000	0000	0021	0022	0209
	12	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0250	0000	0000	0021	0022	0258
	13	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0500	0000	0000	0021	0023	0372
	14	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0750	0000	0000	0021	0024	0398
	15	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	1000	0000	0000	0021	0025	0473
R ₁₃	16	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0100	0000	0021	0022	0208
	17	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0250	0000	0021	0022	0255
	18	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0500	0000	0021	0023	0365
	19	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0750	0000	0021	0024	0399
	20	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	1000	0000	0021	0025	0478
R ₁₄	21	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0000	0100	0021	0021	0200
	22	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0000	0100	0021	0021	0208
	23	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0000	0250	0021	0022	0265
	24	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0000	0300	0021	0023	0367
	25	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	215H	0000	0000	0000	0000	0750	0021	0024	0424
R ₁₅	26	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	0000	0000	0000	1000	0021	0024	1587
	27	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	0100	1000	1000	1000	0069	0127	8392
	28	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	0250	1000	1000	1000	0069	0137	9805
	29	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	0500	1000	1000	1000	0069	0133	12159
	30	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	0750	1000	1000	1000	0069	0130	14513
R ₁₆	31	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	1000	0069	0136	16888
	32	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	0100	1000	1000	0069	0167	14128
	33	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	0250	1000	1000	0069	0171	14550
	34	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	0300	1000	1000	0069	0176	15456
	35	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	0500	1000	1000	0069	0181	16191
R ₁₇	36	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0100	1000	0069	0181	16191
	37	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0250	1000	0069	0181	16191
	38	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0500	1000	0069	0181	16191
	39	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0750	1000	0069	0181	16191
	40	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	0100	1000	0069	0181	16191
R ₁₈	41	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0250	1000	0069	0181	16191
	42	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0500	1000	0069	0181	16191
	43	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0750	1000	0069	0181	16191
	44	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	0100	0069	0181	16191
	45	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0250	1000	0069	0181	16191
R ₁₉	46	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0500	1000	0069	0181	16191
	47	1853	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	0750	1000	0069	0181	16191
	48	1633	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	49	1533	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	50	1433	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
R ₂₀	51	1333	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2236	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	52	1233	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2136	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	53	1133	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	2036	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	54	1033	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1936	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	55	933	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1836	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
R ₂₁	56	833	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1736	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	57	733	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1636	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	58	633	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1536	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	59	533	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1436	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	60	433	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1336	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
R ₂₂	61	333	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1236	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	62	233	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1136	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	63	133	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	1036	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	64	33	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	936	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
	65	3	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	836	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191
R ₂₃	66	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	736	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	67	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	636	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	68	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	536	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	69	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	436	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	70	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	336	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
R ₂₄	71	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	236	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	72	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	136	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	73	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031	36	1000	1000	1000	1000	0069	0181	16191	
	74	1622	1438	1036	1397	1136	2296	1958	2031									

LITERATURA

1. BARCZYK S.: Odwracanie się głównego prądu powietrza przy pożarach we wznoszącym się prądzie (teoria wpływów bocznych). Archiwum Górnictwa i Hutnictwa 1954, t.II, z.4
2. BUDRYK W.: Depresja cieplna. Przegląd Górniczo-Hutniczy 1929, nr 11 i 12
3. BUDRYK W.: Naukowe zasady prowadzenia akcji przeciwpożarowej na kopalniach. Przegląd Górniczo-Hutniczy 1930, nr 2,3,4
4. BUDRYK W.: Depresja pożaru podziemnego i miejsca jej występowania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa 1953. t.I, z.3-4
5. BUDRYK W.: Odwracanie się prądów powietrznych w czasie pożarów podziemnych i sposoby zapobiegania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa 1954, nr 2
6. BUDRYK W.: Pożary i wybuchy w kopalniach. Cz.1. Pożary podziemne, WGH, Katowice 1956
7. BUDRYK W.: Wentylacja kopalń. Cz.1. Przewietrzanie wyrobisk, WGH, Katowice 1961
8. BYSTRON H.: Graficzne kryteria kierunków prądów powietrznych w kopalnianych sieciach przewietrzania. Prace GIG. Komunikat nr 196, Wyd. Śląsk, Katowice 1957
9. BYSTRON H.: Teoria schodzących i wznoszących się prądów powietrza w kopalni. Przegląd Górniczy 1961, nr 9
10. BYSTRON H.: Teoria kierunków przepływu powietrza przy pożarze w kopalni. Przegląd Górniczy 1962, nr 4
11. BYSTRON H.: Teoria stabilizacji rozplywu powietrza w aktywnych sieciach wentylacyjnych. Prace GIG. Komunikat nr 562, Wyd. Śląsk, Katowice 1972

12. BYSTROŃ H.: Stabilisation optimale de la réparation de l'air dans les réseaux d'aérage des mines. Conférence internationale sur la recherche de la secunte dans les mines, Karlove Vary, 1973
13. BYSTROŃ H.: Współzależność między stabilizacją kierunków, a stabilizacją wydatków prądów powietrznych w kopalniach. Przegląd Górniczy 1974, nr 3
14. BYSTROŃ H.: Stabilizacja kierunków i stabilizacja wydatków prądów powietrznych w czasie małych lub dużych pożarów podziemnych. Przegląd Górniczy 1974, nr 4
15. BYSTROŃ H.: Stacjonarne pola potencjalne w kopalnianej sieci wentylacyjnej, Przegląd Górniczy 1974, nr 10
16. CZECZOTT H.: Teoria prądów przekątnych. Przegląd Górniczo-Hutniczy 1910, nr 1,4,5,8,10,14-16.
17. FLUGE G. : Zur Beurteilung der Stabilität von Wetterströmen. 16 Sitzung des Ausschusses Grubenbewetterung. Essen 14.III.1969
18. FLUGE G.: Druckgefälle zur Beurteilung der Stabilität von Wetterströmen. Glückauf Forschungshefte. June 1969
19. GRIGORIEW J.W.: Sposoby lokalizacji pożarów s sochraneniem wientilacionnogo režima ugołnych szacht pri razlicznych warientach wskrytija. Zapiski Len.Ord.Lenina i Trud.Kras.Znam. Gornego Instituta. Tom L, Wyp. 1, Rudnicznaja wientilacija, Izd.Niedra, Leningrad 1965
20. HAUSMAN A.: Exemple d'aplication de la méthode dite "Méthode Budryk" à un quartier d'aérage du fond d'une mine de houille. Annales des Mines de Belgique 1970, 6
21. KNOTHE S., MACIEJASZ Z.: Manewrowanie elementami wentylacyjnymi w czasie pożaru podziemnego. Taktyka pożarowa w kopalniach węgla. Tom III, Wyd.GIG, Katowice 1970
22. LITWINISZYN J.: Z zagadnień dynamiki przepływu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych. Przegląd Górniczy 1951, nr 7

23. LITWINISZYN J.: Flow Stability in Pipe Networks. Bulletin de l'Académie Polonaise de Sciences 1959, Vol. VII, Nr 10
24. MACZYŃSKI J.: Współdziałanie nagrzewania skał z przepływami w sieciach wentylacyjnych. Archiwum Górnictwa, T. VIII, 1963, z. 2
25. MACZYŃSKI J.: Jeszcze o ruchu powietrza w kopalni - przepływy ustalone. Przegląd Górniczy 1965, nr 1
26. OCHEJDUSZKO S.: Termodynamika stosowana, Wyd. III, WNT, Warszawa 1970
27. OLAJOSSY A., ROZCZYŃIAŁSKI W., WACŁAWIK J.: Kierunek i natężenie przepływu powietrza w kopalnianych sieciach wentylacyjnych przy liniowym rozkładzie temperatury w bocznicach, Archiwum Górnictwa, tom XX, zeszyt 2, Warszawa-Kraków 1975
28. Organ Permanent pour la sécurité dans les Mines de Houille, Groupe d'Expert Aérage: Stabilisation de l'aérage en cas d'incendie, Exposé documentaire sur la théorie du professeur Budryk. Annales des Mines de Belgique 1968, 4 livre
29. OSIPOW S.N., ŻADAN W.M.: Wientilacija szacht pri podziemnych požarach, Izd, Nedra, Moskwa 1973
30. ROZCZYŃIAŁSKI W., WACŁAWIK J.: Wpływ gęstości powietrza na kierunek ruchu i wydatek przepływu w wyrobiskach kopalnianych, Archiwum Górnictwa, Tom XIX, 1974, z. 2
31. RYBA G.: Handbuch des Grubenrettungswesens. I Band. Brände und Grubenexplosionen, Verlag A. Felix, Leipzig 1929
32. SCHMIDT W.: Der Verlauf und die wettertechnische Auswirkung von offenen Grubenbränden in abwärts bewetterten Grubenbauen. 12 Internationale Konferenz Grubensicherheitlicher Versuchsanstalten, Dortmund 1967, 42
33. SCHMIDT W.: Stabilität der Bewetterung und Stabilisierungsmöglichkeiten. 14 Intern. Konferenz von Grubensich-Instituten. Donezk, UdSSR, 1971, A10
34. SCHMIDT W.: Probleme der gegenseitigen Beeinflussung von offenen Grubenbränden und Wetterführung. Glückauf Forschungshefte, 1973, t. 34, nr 6
35. SCHUBERT E., BOTH W.: Die Massnahmen zur Stabilisierung der Bewetterung bei Auftreten offener Grubenbrände, Glückauf 1974, nr 1
36. STENUIT R.: Lutte contre feux et incendies des mines en Pologne. Annales des Mines de Belgique 1963, 4 livre
37. TRUTWIN W.: Określenie wielkości depresji pożarowej. Archiwum Górnictwa, tom XIV, 1971, z. 2
38. WACŁAWIK J.: Wpływ gęstości powietrza na jego ruch w wyrobiskach kopalnianych. Komunikat nr 63, Seminarium Zakładu

Mech. Górotworu PAN i Zakładu Aerologii AGH, Kraków 1972

39. WOSKOBOINIKOW W.J.: Izyskaniye blagoprijatnogo wientilacijnogo rieżima szachty pri likwidacji podziemnego pożara z pomaszczju elektrieskoj modieli. Ugol Ukrainy 1960
40. Zbiorowa praca : Poradnik Górnika, tom III, dział/III, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1974

