

Na prawach rękopisu

INSTYTUT INŻYNIERII LĄDOWEJ
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
Raport serii PRE nr 38 / 99

**OCENA I KSZTAŁTOWANIE KONSTRUKCJI
PRZEWODÓW KANALIZACYJNYCH
W UJĘCIU TEORII NIEZAWODNOŚCI**

Bogdan Przybyła

Praca doktorska

Promotor: dr hab. inż. Cezary Madryas, prof. PWr.

Słowa kluczowe:

przewód kanalizacyjny, niezawodność, uszkodzenie, ocena stanu, zbiory rozmyte, inspekcja, program kontroli, strategia odnowy z kontrolą, kanały krytyczne, kolejka uszkodzonych przewodów, system masowej obsługi

Wrocław 1999

Spis rzeczy

	Str.
1. Wstęp.....	4
1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu.....	4
1.2. Wyniki ankiety.....	8
1.3. Cel pracy, tezy i zakres.....	11
2. Uszkodzenia przewodów kanalizacyjnych.....	13
2.1. Definicja uszkodzenia przewodu kanalizacyjnego.....	13
2.2. Rozpoznanie stanu uszkodzenia w przewodzie kanalizacyjnym.....	16
2.3. Przyczyny uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych.....	18
2.4. Klasyfikacja uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego.....	21
2.4.1. Uszkodzenia rejestrowane w trakcie przeglądów przewodów.....	22
2.5. Konsekwencje uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego.....	28
2.5.1. Kryteria analizy konsekwencji uszkodzeń.....	28
2.5.1.1. Ustalenie zależności między uszkodzeniami przewodu a wyznacznikami stanu.....	30
2.5.2. Rozpoznanie konsekwencji złego stanu przewodów.....	32
2.5.3. Ocena poziomu zagrożenia powodowanego przez uszkodzenia.....	34
2.5.3.1. Ustalenie kolejki uszkodzeń w przewodzie kanalizacyjnym z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych.....	35
2.5.3.2. Przykład I.....	42
2.5.4. Wnioski.....	50
3. Niezawodność przewodów kanalizacyjnych.....	52
3.1. Definicja niezawodności sieci kanalizacyjnej.....	52
3.2. Analiza niezawodności sieci kanalizacyjnej.....	52
3.3. Niezawodnościowy opis przewodów kanalizacyjnych.....	54
3.3.1. Model pracy przewodu kanalizacyjnego.....	54
3.3.2. Ilościowa charakterystyka niezawodności.....	55
3.3.2.1. Wskaźniki niezawodności obiektów nieodnawialnych - pojęcia podstawowe.....	55
3.3.2.2. Wskaźniki niezawodności obiektów odnawialnych.....	57
3.3.2.3. Estymacja wskaźników niezawodności.....	64
3.3.2.4. Estymacja miar bezawaryjności i gotowości.....	64
4. Ocena stanu przewodu kanalizacyjnego.....	66
4.1. Uwagi wstępne.....	66
4.2. Opis stanu przewodu.....	67
4.3. Metody oceny stanu przewodu.....	68
4.3.1. Przykładowe metody oceny stosowane w praktyce.....	69
4.3.2. Wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych w ocenie stanu przewodu.....	78
4.3.2.1. Zbiory rozmyte w opisie obiektów technicznych.....	78

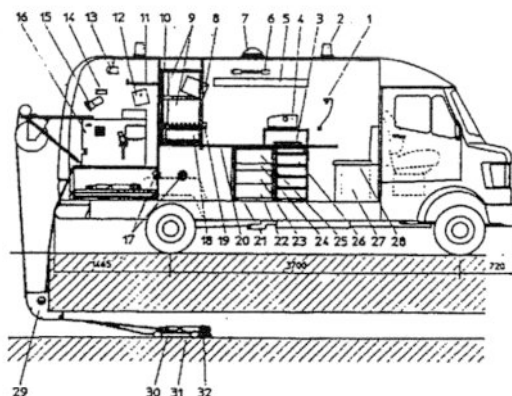
4.3.2.2. Metoda I	80
4.3.2.3. Metoda II.....	85
4.3.2.4. Przykład II.....	87
4.4. Wnioski.....	88
5. Kontrola przewodów kanalizacyjnych.....	91
5.1. Uwagi wstępne.....	91
5.2. Metody kontroli przewodów kanalizacyjnych.....	92
5.2.1. Inspekcje wzrokowe.....	93
5.2.2. Tendencje rozwojowe w inspekcji przewodów kanalizacyjnych.....	94
5.3. Program kontroli przewodów.....	99
5.3.1. Uwzględnienie obchodu sieci w programie kontroli.....	102
5.3.2. Powiązanie programu kontroli z oceną stanu przewodu.....	102
5.4. Uszkodzalność przewodów i ich odnowa w programie kontroli.....	109
5.4.1. Składowe odnowy w programie kontroli.....	109
5.4.2. Rozpoznanie stanu uszkodzenia dla estymacji miar bezawaryjności przewodu.....	115
5.4.2.1. Metoda I.....	117
5.4.2.2. Metoda II.....	118
5.4.2.3. Przykład III.....	119
5.5. Częstość prowadzenia kontroli.....	121
5.6. Wnioski.....	123
6. Rdzeń systemu i kanały krytyczne w sieci kanalizacyjnej.....	124
6.1. Uwagi wstępne.....	124
6.2. Struktura kosztów naprawy przewodów – K_n	124
6.2.1. Podział kosztów.....	124
6.2.2. Charakterystyka kosztów.....	125
6.2.2.1. Koszty wymiany kanału na nowy – K_w	125
6.2.2.2. Koszty związane ze specyfiką budowy kanałów w warunkach miejskich – K_m	126
6.2.2.3. Koszty społeczne i ekologiczne – K_s	126
6.3. Określenie kosztów zawodności – K_z	128
6.4. Identyfikacja kanałów krytycznych (przykład metody).....	128
6.4.1. Założenia.....	128
6.4.2. Dane wyjściowe.....	129
6.4.3. Algorytm postępowania.....	129
6.5. Wnioski.....	132
7. Zastosowanie modeli masowej obsługi dla ustalenia liczby brygad remontowych obsługujących sieć.....	134
7.1. Uwagi wstępne.....	134
7.2. System masowej obsługi przewodów kanalizacyjnych.....	135
7.3. Optymalizacja organizacji odnowy.....	137
7.3.1. Ustalenie liczby brygad remontowych dla przewodów krytycznych.....	138
7.3.1.1. Metoda I.....	140
7.3.1.2. Metoda II.....	140
7.3.1.3. Przykład IV.....	140

7.3.1.4. Przykład V.....	142
8. Podsumowanie.....	144
Literatura.....	147
Streszczenie.....	151
Summary.....	153

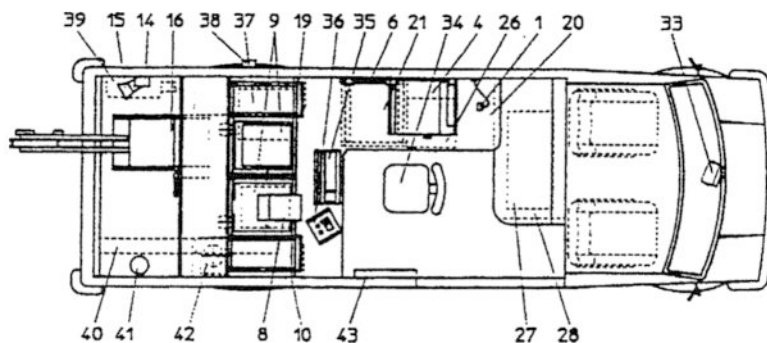
1. Wstęp

1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu

Niezwykle intensywny od kilkunastu lat rozwój informatyki i elektroniki powoduje, że nowoczesne techniki znajdują zastosowanie w licznych dziedzinach działalności ludzkiej, umożliwiając podjęcie nierealnych dotychczas działań i kreując zupełnie nowe standardy w projektowaniu, zarządzaniu przedsiębiorstwami, gromadzeniu danych itp.. Jednym z przykładów takiego postępu jest zastosowanie w kanalizacji nowych metod kontroli przewodów, dostarczających informacji o ich stanie w ilości większej i lepszych jakościowo w porównaniu z dotychczasowymi. Aktualnie, najistotniejszym wydaje się powszechne wprowadzenie w przedsiębiorstwach zarządzających siecią kanalizacyjną, inspekcji przewodów z wykorzystaniem kamer. Zestawy kamerowe stosowane w przeglądach przewodów określane są skrótem CCTV - Closed Circuit Television. Inspekcje przewodów wykorzystujące kamery określa się jako inspekcje CCTV, inspekcje telewizyjne lub inspekcje video. Pierwsze próby przeglądów z wykorzystaniem kamer dokonywane były prawdopodobnie w Niemczech w latach 50., jednak o upowszechnieniu systemu można mówić w latach 80. [53]. Przykładowy zestaw do inspekcji telewizyjnych, mieszczący się w samochodzie półciężarowym, przedstawiono na rysunku 1.1.



Rys.1.1.1. Typowy zestaw samochodowy do przeglądu sieci [96]: 1,6,19,43 - oświetlenie kabiny, 2 - światło sygnalizacyjne, 3 - papier, 4 - drukarka, 5 - plansza magnetyczna, 7 - wywietrznik, 8 - monitor kontrolny, 9 - monitory dodatkowe, 10 - stojak pod oprzyrządowanie, 11 - półka, 12 - tylny monitor, 13 - kamera kontrolna „pomieszczenia technicznego”, 14,15 - skrzynka przyłączeniowa i aparat telefonu wewnętrznego, 16 - winda kablowa, 17 dysze, 18 video-recorder. 19,20 blat stołu. 21,26 - wbudowane szafki, 22,23,25 - urządzenia zasilająco-sterownicze, 24 - komputer, 27 - akumulatory, 28 - miejsce do siedzenia, 29 - krążek prowadzący, 30,31,32 - układ kamerowy (napęd, oświetlenie, kamera), 33 - monitor, 34 - krzesło obrotowe, 35 klawiatura komputera, 36 - stół sterowniczy napędu kamery, 37 - video-printer, 38 - zewnętrzne gniazdo zasilania, 39 - ogrzewanie, 40 - pojemnik na drgi do opuszczania kamer, 41 - butla z gazem obojętnym, 42 - pojemnik na wodę.



Rozwój informatyki, wyrażający się w upowszechnianiu komputerów o coraz większych zdolnościach obliczeniowych i wykorzystujących coraz to bardziej

zaawansowane oprogramowania, umożliwia zapamiętanie i co ważne - selektywny dostęp do ogromnej ilości informacji pochodzących z przeglądów wielokilometrowej sieci kanalizacyjnej. Powstaje więc możliwość tworzenia i permanentnego rozbudowywania baz danych o sieci, zawierających nie tylko dane z inspekcji, lecz również uzupełniane dowolnymi informacjami pochodzącymi z innych źródeł. Powiązanie baz danych z programami ekspertowymi oraz innymi programami specjalistycznymi (wspomagającymi projektowanie, rachunkowość, wykonywanie statystyk itp.), jak również dostępność do inwentaryzacyjnych map numerycznych (rozwój Geograficznych Systemów Informacji – GIS), pozwala na tworzenie całościowych systemów, wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem i usprawniających eksploatację sieci kanalizacyjnej. Przykładowy, ideowy schemat wymiany informacji w systemie KIS – PROCART, przedstawiono na rysunku 1.2 [97].



Rys.1.2. Schemat wymiany informacji w systemie KIS - PROCART [94]

Możliwości jakie daje specjalistyczne oprogramowanie komputerowe w zakresie: magazynowania, szybkości dostępu, analizy i przetwarzania wyników przeglądów przewodów, w powiązaniu z łatwością przeprowadzania kontroli (tym samym uzyskania wyników) przy użyciu nowoczesnej techniki video powoduje, że pojęcie systematycznej kontroli przewodów kanalizacyjnych uzyskuje jakościowo inne znaczenie.

Ze względu na wyjątkowo negatywne konsekwencje nieprawidłowego działania sieci, szczególnie dla środowiska, wynikające z nieszczelności przewodów, potrzebne staje się narzędzie umożliwiające rozpoznanie ich stanu oraz późniejsze śledzenie zmian w nich zachodzących. Możliwości takie stwarza systematyczne prowadzenie kontroli sieci, wykorzystujące kamery CCTV, z których wyniki zapisywane są w bazie danych. Z tego powodu wykorzystanie sprzętu kamerującego powiązanego z odpowiednim oprogramowaniem stało się standardem w wielu krajach. Przykładem mogą tu być działania podejmowane w Niemczech, co znalazło odbicie w licznych opracowaniach literaturowych, dotyczących:

- inwentaryzacji sieci (tworzenia katastrów stanu) i zarządzania z wykorzystaniem elektronicznej obróbki danych – np.: [18,20,37,47, 61],

- uszkodzalności przewodów – np.: [33,68,69,72],
- metod oceny stanu przewodów i podejmowania decyzji o odnowie – np.: [9,38,58,70].

Należy również zwrócić uwagę na inne zagraniczne normy i wytyczne związane z inspekcją CCTV przewodów i tworzeniem katastru sieci [77,78,80,83,86,87,93,91,92].

Dla zapoznania się z sytuacją panującą w kraju, autor przeprowadził ankietę, którą szczegółowo przedstawiono w rozdziale 1.2. Uzyskane odpowiedzi (druga połowa 1997 roku) wskazują na istniejącą świadomość zysków jakie może dać stosowanie nowoczesnego sprzętu do kamerowania i tworzenia baz danych, oraz wynikającą stąd potrzebę wprowadzania nowoczesnych technik do eksploatacji sieci kanalizacyjnych. Jednocześnie daje się zauważyć, że druga połowa lat dziewięćdziesiątych jest okresem intensywnego wprowadzania zestawów inspekcyjnych CCTV do pracy w przedsiębiorstwach, lecz proces ten dotyczy przede wszystkim przedsiębiorstw obsługujących duże aglomeracje miejskie. W okresie przeprowadzania ankiety, większość miejscowości o liczbie mieszkańców poniżej 100 tysięcy nie dysponowała odpowiednim sprzętem, jednak sytuacja ta ulega szybkiej zmianie. Wyniki ankiety wskazują, że zadanie wprowadzania przez przedsiębiorstwa do eksploatacji nowoczesnych technik inspekcji przewodów kanalizacyjnych jest w Polsce ciągle aktualne. Ponadto, nawet przy dostępie do odpowiedniego sprzętu, istnieje problem jego najefektowniejszego wykorzystania, jak również odpowiedniej analizy informacji z przeglądów. Jednym z pierwszych efektów podejmowania działań inspekcyjnych i porządkujących dane, może być nowa inwentaryzacja sieci przewodów, prowadząca ostatecznie do stworzenia aktualnego katastru obiektów infrastruktury podziemnej. Brak takiego katastru i potrzebę jego opracowania podkreślano we wnioskach dyskusji generalnej części problemowej 34 Konferencji Naukowej „Krynica '97”.

Rozważając przyczyny wymienionych problemów zwraca się uwagę na brak wyczerpujących, krajowych opracowań dotyczących zagadnienia inspekcji i oceny stanu przewodu kanalizacyjnego. Można wymienić następujące publikacje, w których skrótowo poruszono temat inspekcji TV – sprzętu i zasad prowadzenia inspekcji – [12,21,53,55,59,65]. W dostępnej literaturze krajowej brakuje wyczerpującego opracowania o charakterze podręcznika inspekcji TV. Zagranicznym przykładem takiego podręcznika może być [8]. Rzadkie są również analizy dotyczące uszkodzalności sieci kanalizacyjnej [34,45,52], w przeciwieństwie do odpowiednich analiz sieci wodociągowej. Z problematyką oceny stanu przewodu kanalizacyjnego autor zetknął się jedynie w pracy [59].

W pracy [59], podjęto między innymi temat kształtowania postępu eksploatacyjnego przewodów kanalizacyjnych. Podkreślono, że podstawowym warunkiem wprowadzenia modeli programowej eksploatacji sieci (np.: strategii z optymalnym okresem odnowy) jest zebranie odpowiedniej ilości informacji, które gromadzone być mogą w bazach danych. Ponieważ aktualnie, w kraju takich zbiorów informacji nie ma, lub są tworzone, zakłada się na najbliższe lata strategię z kontrolą, jako strategię wiodącą w procesie eksploatacji. Niezamierzoną inicjacją takiej strategii stanowi zauważalny rozwój metod odnowy przewodów, poprzedzonych kontrolą ich stanu. Biorąc pod uwagę rozległość sieci kanalizacyjnej, powstaje problem przyjęcia takiej strategii kontroli, aby w pewnym momencie można było uzyskać możliwie pełny obraz zmian w niej zachodzących, przy możliwie małych kosztach kontroli.

Podstawową funkcją kontroli jest ocena stanu przewodów, prowadząca do podjęcia decyzji o ich odnowie, łącznie z ustaleniem kolejności prowadzenia odnow. Problem ten jest widoczny szczególnie w sytuacji rozległej, zróżnicowanej sieci (przewody budowane w różnych warunkach i z różnych materiałów), w której nawarstwiły się zaniedbania wynikające z nieprawidłowej eksploatacji, gdy przedsiębiorstwo zarządzające siecią dysponuje ograniczonymi środkami – jest to sytuacja dotycząca wielu miast w Polsce. Wykorzystując komputerowe metody oceny przewodów, krajowe przedsiębiorstwa stosują oprogramowanie gotowe (najczęściej zagraniczne), lub tworzą własne. Metody oceny stosowane w tych programach oparte są najczęściej na zasadzie przydzielania punktów karnych uszkodzeniom i ewentualnym wiązaniu ich z warunkami zewnętrznymi w jakich pracuje przewód. Podejście to jest być może słuszne, lecz fakt istnienia tych metod nie zmniejsza zasadności nowatorskiego podjęcia tematu. Możliwa jest bowiem ocena stanu obiektów technicznych metodami bardziej zaawansowanymi np.: wykorzystując teorię zbiorów rozmytych lub sieci neuronowe. Jako przykład podać można rozwiązania zaproponowane dla obiektów mostowych [2,81]. Również w pracy [59] przedstawiono koncepcję porównywania uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego stosując podejście rozmyte. Perspektywiczne może się okazać wykorzystanie metody porównywania parami [44].

Podstawowymi rezultatami prowadzenia omówionych wyżej działań może być efektowniejsze wykorzystanie środków jakimi dysponuje przedsiębiorstwo zarządzające siecią kanalizacyjną, jak również poprawienie niezawodności tej sieci. Teoretycznie problem niezawodności sieci kanalizacyjnej był dotychczas rozważany łącznie z niezawodnością sieci wodociągowej [26,31,40,43,75]. Jednak w przeciwieństwie do sieci wodociągowej nie przeprowadzono jak dotychczas w kraju zaawansowanych badań niezawodnościowych istniejących sieci kanalizacyjnych [59]. W pracy tej podano prawdopodobne przyczyny takiej sytuacji. Jako jedną z głównych wymieniono nieodpowiednią ilość i jakość informacji o stanie przewodów, jakimi dysponują przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjne. Powstające możliwości zbierania i gromadzenia informacji o uszkodzeniach w przewodzie stwarzają więc możliwość zmiany aktualnej sytuacji. Jednocześnie zagadnienie estymacji wskaźników niezawodnościowych przewodów kanalizacyjnych (oceny niezawodności elementów sieci wodociągowej i kanalizacyjnej dokonuje się za pomocą tzw. miar (wskaźników) niezawodności) charakteryzuje się wyraźną specyfiką wynikającą z realnego występowania niezawodnościowego stanu częściowego uszkodzenia.

Reasumując, przedmiotem niniejszej pracy będą zagadnienia kontroli i oceny stanu przewodów kanalizacyjnych, jak również umożliwienie przez podejmowanie tych działań praktycznej oceny i zwiększenia niezawodności przewodów. Odnosząc wymienione działania do zakresu czynności eksploatacyjnych, należą one do takich zagadnień jak nadzorowanie (dozorowanie, genezowanie, diagnozowanie) i obsługiwanie zapobiegawcze [11].

Wszystkie rozważania szczegółowe odnosi się do przewodu kanalizacyjnego, rozumianego jako odcinek kanału ograniczony studzienkami lub jako układ szeregowo połączonych ze sobą odcinków.

1.2. Wyniki ankiety

Ankietę autor pracy przeprowadził w październiku 1997 r. Zadano łącznie 18 pytań o różnym poziomie szczegółowości. 16 pytań ujęto w tabeli, prosząc o odpowiedź w postaci TAK lub NIE, z możliwością uzupełnienia w rubryce uwag. Dwa ostatnie pytania wymagały krótkiego opisu działań podejmowanych w przedsiębiorstwie. Wzór rozesyłanej ankiety przedstawiono poniżej.

	PYTANIE	TAK*	NIE*	UWAGI**
1.	Czy zakład przeprowadza przeglądy przewodów kanalizacyjnych ?			
2.	Czy przeglądy są prowadzone systematycznie ?			
3.	Czy przeglądy prowadzi się wg. ustalonego schematu lub strategii ? (jeśli nie to czy planuje się wprowadzić w przyszłości)***			
4.	Czy przeglądów dokonuje się z użyciem kamer video ? (jeśli nie to czy widzi się konieczność wprowadzenia w przyszłości)***			
5.	Czy zakład dysponuje własnym sprzętem do kamerowania ?			
6.	Czy zakład korzysta z usług wyspecjalizowanych firm prowadzących inspekcje ?			
7.	Czy formularze w czasie inspekcji wypełniane są ręcznie, czy w sposób zautomatyzowany - kamera powiązana z komputerowym systemem rejestrującym ?			
8.	Czy oprogramowanie komputera własne (ew. napisane na zlecenie) ?			
9.	Czy może zakupiono „gotowy” system rejestracji			
10.	Czy zakład ustalił własną formę tzw. „karty stanu” otrzymywanej w wyniku przeglądu przewodu między studzienkami ? (jeśli tak to proszę dołączyć przykładową kartę)			
11.	Czy zakład posiada ustaloną listę typów uszkodzeń wykorzystywaną podczas przeglądów ?			
12.	Czy jest to lista własna ? (proszę ew. podać źródło opracowania)***			
13.	Czy zakład buduje komputerową bazę danych wspomagającą zarządzanie zakładem ?			
14.	Czy dane z przeglądów są zapisywane w bazie danych ?			
15.	Czy baza danych opiera się na zakupionym programie ? (jakim)***			
16.	W przypadku braku bazy - czy zakład planuje zbudować ją w przyszłości ? ***			

* - zakreślić poprawną odpowiedź

** - o ile to możliwe uzupełniać odpowiedzi „tak”, „nie”

*** - odpowiedzieć w rubryce uwag

Proszę dodatkowo udzielić krótkich odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Jak wykorzystywane są wyniki inspekcji ?

2. Jak dokonuje się oceny stanu lub innej klasyfikacji przeglądniętego odcinka sieci (programy ekspertowe, specjaliści zakładowi, zlecenie ekspertyz,.... ; intuicyjne określanie stanu, ocena na podstawie przydzielanych punktów karnych,....) ?

Po wysłaniu 48 ankiet do zakładów wodociagowo-kanalizacyjnych (w większości były to zakłady w byłych miastach wojewódzkich), otrzymano łącznie 20 odpowiedzi, na podstawie których wyciągnięto ogólne wnioski o sytuacji w kraju dotyczącej problemu wykorzystania nowoczesnych technik przeglądów i gromadzenia danych z inspekcji przewodów kanalizacyjnych. Analizując odpowiedzi, zakłady pogrupowano według zaawansowania prowadzonych w badanym obszarze działań. Otrzymano cztery grupy oznaczone literami A, B, C, D, do których zaliczono odpowiednio: A - 5 zakładów, B - 7 zakładów, C - 6 zakładów, D - 2 zakłady.

Do grupowania zakładów przyjęto następujące kryteria:

- prowadzenie przez zakład systematycznych przeglądów
- prowadzenie przeglądów z użyciem kamer video
- posiadanie przez zakład własnego zastawu do kamerowania
- rejestracja uszkodzeń w trakcie przeglądu, wykorzystująca program komputerowy powiązany z kamerą
- posiadanie przez zakład komputerowej bazy danych
- zapisywanie w bazie danych wyników przeglądów

Pozytywna odpowiedź na wszystkie pytania przydzielała zakład do grupy A. Pozostałe grupy scharakteryzowano poniżej:

B - w zakładach prowadzone są systematyczne przeglądy sieci z wykorzystaniem własnego sprzętu, lub w przypadku jego braku poprzez zlecenie prac specjalistycznym firmom. Zakłady deklarują posiadanie komputerowej bazy danych, lub są na etapie jej wprowadzania. Wyniki przeglądów nie w każdym przypadku są zapisywane w bazie danych.

C - przeglądy nie są prowadzone systematycznie, nawet gdy zakład posiada własny sprzęt do kamerowania. Ewentualny zestaw do kamerowania nie jest powiązany z komputerem służący do zapisywania i wstępnego opracowania danych - opis uszkodzeń jest dokonywany ręcznie na podstawie obrazu z monitora. Zakłady nie zapisywały wyników przeglądów w bazach danych wspomagających zarządzanie (taką bazą dysponowały 2 zakłady).

D - zakłady nie przeprowadzają systematycznych przeglądów sieci i nie wykorzystują kamer video. Nie posiadają ustalonej listy uszkodzeń, którą mogłyby wykorzystywać do przeglądów. Nie zapisuje się też wyników przeglądów w bazie danych (zakład w jednym mieście posiada bazę, w drugim nie).

Zgodnie z przewidywaniami do grupy A lub B zakwalifikowano zakłady obsługujące duże aglomeracje miejskie. W grupie A są trzy miasta liczące więcej niż 600 tys. mieszkańców i jedno powyżej 300 tys.. W grupie B na siedem miast, trzy liczą powyżej 400 tys. mieszkańców, oraz dwa powyżej 200 tys.. Należy zwrócić uwagę, że do grupy A należy jedna miejscowość o ok. 100 tys. mieszkańców, a do grupy B dwie o ludności do 150 tys.. Liczba mieszkańców pozostałych jedenastu

miast ujętych w klasyfikacji wahała się od ok. 100 do 200 tysięcy (jedno powyżej 200 tys. i dwa poniżej 100 tys.). Zostały one przydzielone do grup C i D. Należy zauważyć, że nie tylko największe miasta w kraju dysponują pełnymi zestawami do inspekcji i opracowania wyników. Wyraźnie jednak dominują one w najlepszych grupach A i B, co wynika najprawdopodobniej z ich możliwości finansowych.

Większość miejscowości dysponuje prostymi zestawami do kamerowania pozwalającymi zapisać obraz z przewodu na taśmie magnetycznej (video) przy równoczesnym ręcznym opisie uszkodzeń, lub z oprogramowaniem do sporządzania karty stanu i prostego magazynowania danych. Na rynku działają też firmy prywatne, dokonujące przeglądów na zlecenie zakładów wodociągowo - kanalizacyjnych nie posiadających własnego sprzętu, lub dysponujących wyposażeniem zbyt skromnym dla potrzeb obsługiwanej sieci.

Odpowiednie oprogramowanie dla zapisywania, magazynowania i wstępnej obróbki danych posiadają zakłady z grup A i B. Spotyka się oprogramowanie „gotowe”, zakupione z całym zastawem do kamerowania, lub wykonane niezależnie, na zlecenie zakładu. W drugim przypadku zestaw służący do kamerowania może być kompletowany samodzielnie przez zakład z niezależnych części. Większość zakładów deklaruje systematyczność kontroli, przeprowadzając je według ustalonego schematu.

Jedenaście zakładów zadeklarowało posiadanie własnej bazy danych, z czego siedem - wszystkie z grupy A i dwie z B - zapisuje w nich wyniki kontroli przewodów.

Wyniki inspekcji wykorzystywane są przez zakłady w następujący sposób:

- a) ocena stanu technicznego i jakości wykonania (odbior) nowych kanałów, przed przyjęcie ich do eksploatacji,
- b) ocena stanu technicznego eksploatowanych przewodów dla ustalenia potrzeby, zakresu i kolejności odnowy,
- c) precyzyjna lokalizacja rodzaju, położenia i wielkości uszkodzeń,
- d) ustalenie przyczyn awarii,
- e) podjęcie decyzji o sposobie usuwania awarii,
- f) ocena stanu technicznego (odbior) przewodów po przeprowadzeniu odnowy,

Tak szeroki zakres wykorzystania wyników inspekcji był przedstawiany we wszystkich odpowiedziach grupy A i większości grupy B. Świadczy o znajomości i dobrym wykorzystaniu możliwości jakie daje kamerowanie. Odpowiedzi pozostałych grup były odpowiednio zawężone, dla wszystkich jednak przegląd z użyciem kamer jest podstawą do podjęcia decyzji o doraźnych działaniach eksploatacyjnych lub o remoncie przewodu.

Ocena stanu przeglądniętego odcinka najczęściej jest przeprowadzana dwuetapowo. Wstępnej oceny dokonuje operator kamery w trakcie przeglądu, zapisując uwagi ręcznie w przygotowanych formularzach, lub w pamięci komputera. Szczegółową analizę przeprowadzają specjaliści zakładowi przy wykorzystaniu filmu video i raportu z przeglądu. Klasyfikacja uszkodzeń ma prawie zawsze charakter intuicyjny, wynika z doświadczenia personelu zakładu. Tylko w trzech przypadkach (1 z grupy A i 2 z B) do oceny wykorzystuje się systemy klasyfikacji bazujące na przydzielaniu punktów karnych (programy ekspertowe własne lub zakupione). Jeden zakład (grupa A) zadeklarował dążenie do opracowania takiego systemu klasyfikacji.

Rzadko korzysta się ze specjalistycznych ekspertyz oceniających stan odcinków sieci - z tej formy korzystają cztery zakłady, traktując ekspertyzy jako działania uzupełniające.

Należy zauważyć wysoką świadomość potrzeby prowadzenia przeglądów z użyciem kamer dla procesu eksploatacji sieci kanalizacyjnej i korzyści z tego wynikających. Podobnie traktuje się oprogramowanie do zarządzania zakładem. Prawie wszystkie zakłady, które nie posiadały własnego sprzętu do kamerowania, deklarowały chęć jego zakupu. Wszystkie zakłady planowały również zorganizowanie bazy danych, lub były na etapie ich wprowadzania. Należy przypuszczać, że zastosowanie nowoczesnych technik przeglądu i oceny stanu sieci będzie się szybko upowszechniać i obejmować również małe miejscowości (nie zostały one objęte ankietą, ale z informacji uzyskanych przez autora wynika, że w większości nie podejmowano jak dotąd przedstawionych działań).

1.3. Cel pracy, tezy i zakres

Ze względu na przedstawione w rozdziale 1.1, możliwości jakie daje zastosowanie inspekcji TV i komputerowych baz danych w kanalizacji, należy rozważyć problemy powstające w pierwszym okresie upowszechniania się tych technik. Propozycje możliwie efektywnego ich wykorzystania, wydają się tu ważnym zagadnieniem, biorąc pod uwagę ceny sprzętu, konieczność wyszkolenia personelu i zmian w strukturze przedsiębiorstwa zarządzającego siecią. Podstawowym problemem staje się umiejętność analizy uszkodzeń występujących w przewodach pracujących w różnych warunkach. Prawidłowa ocena uszkodzeń – stanu przewodu, w powiązaniu z programem jego kontroli, jest niezbędna dla estymacji parametrów niezawodnościowych przewodu, co w dalszym etapie może dać efekt w postaci wprowadzenia programowej eksploatacji sieci.

Mając na uwadze przedstawione możliwości i uwarunkowania zewnętrzne – dostępność nowych technik, stan wiedzy o teorii niezawodności, odnowy i metodach oceny obiektów technicznych, jak również niezadowalający poziom eksploatacji sieci przez przedsiębiorstwa (rozdział 1.2), można sformułować cel pracy:

Celem pracy jest wskazanie działań umożliwiających poprawę niezawodności przewodów kanalizacyjnych przez stymulowanie procesu ich eksploatacji.

Przedstawiony cel implikuje główne tezy pracy, które można sformułować następująco:

1. *istnieje możliwość stymulowania procesu eksploatacji przewodów dla poprawy ich niezawodności, poprzez udoskonalanie:*
 - programu kontroli przewodów,
 - oceny stanu technicznego przewodów,
 - metodyki estymacji parametrów niezawodnościowych przewodów,
 - organizacji procesu odnowy przewodów;
2. *podniesienie poziomu niezawodności przewodów wymaga wykorzystania naukowych metod analizy procesu ich eksploatacji. W pracy wykorzystano w tym celu modele:*
 - teorii zbiorów rozmytych,
 - teorii niezawodności,
 - teorii masowej obsługi.

Zakres pracy przedstawiono omawiając skrótowo poszczególne rozdziały.

W rozdziale drugim zawarto szeroką analizę uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych. Zdefiniowano pojęcie pełnego i częściowego stanu uszkodzenia przewodu i odniesiono te stany do rezultatów inspekcji TV. Przedstawiono klasyfikację uszkodzeń przewodu, zwracając szczególną uwagę na konsekwencje wynikające z ich wystąpienia. Zaproponowano metodę pozwalającą na wzajemne porównywanie uszkodzeń ze względu na stwarzane przez nie zagrożenia, według ustalonych kryteriów.

W rozdziale trzecim przedstawiono ogólnie uznany [43,59,75], niezawodnościowy opis przewodów kanalizacyjnych. Zestawiono wskaźniki niezawodności istotne dla analizy tych przewodów. Przedstawiono również podstawowe przyczyny, które zdaniem autora powodują trudności w praktycznej estymacji wskaźników niezawodności, w szczególności miar awaryjności.

W rozdziale czwartym rozważono problem oceny stanu przewodu. Przedstawiono podejście do tego problemu poza granicami kraju, oraz podano przykłady praktycznych metod oceny. Zaproponowano również dwie autorskie metody, o różnym poziomie szczegółowości oceny, wykorzystujące podejście rozmyte.

W rozdziale piątym szczegółowo omówiono inspekcję (kontrolę) przewodów kanalizacyjnych. Przedstawiono wymagania, zalety i wady inspekcji CCTV, jak również spektrum innych technik badań przewodów. Szerzej potraktowano wprowadzane od kilku lat metody geotechniczne kontroli. Zaproponowano szczegółowy program kontroli przewodów, powiązany z metodami oceny i uwzględniający przeprowadzenie odnowy. W rozdziale tym poddano analizie składowe odnowy wynikające z uwzględnienia stanu częściowego i pełnego uszkodzenia. Zaproponowano sposób umożliwiający rozpoznanie stanu uszkodzenia przewodu, istotnego dla estymacji miar awaryjności. Sposób ten, w powiązaniu z prowadzeniem kontroli wg ustalonego programu umożliwia praktyczną estymację wskaźników niezawodności przewodu.

W rozdziale szóstym wprowadzono pojęcia rdzenia systemu i kanałów krytycznych sieci. Przyjęto kryterium kosztów dla wydzielenia kanałów krytycznych, jednak ze względu na trudność ustalenia wysokości kosztów zawodności, przedstawiono praktyczną (brytyjską) metodę określania przewodów krytycznych sieci.

W rozdziale siódmym podjęto próbę określenia optymalnej liczby brygad remontowych obsługujących sieć przewodów. Zadanie rozwiązano wykorzystując modele masowej obsługi. Zaproponowano dwie proste metody optymalizacji odnoszące się do przewodów zakwalifikowanych do określonej grupy kanałów krytycznych. Rozwiązano dwa przykłady dla przyjętych parametrów systemu masowej obsługi i przy symulowanej zmiennej wysokości jednostkowych kosztów zatrudnienia brygady i kosztów zawodności przewodów.

Praca w znacznej mierze przyjmuje podejście przedstawione w [59], podejmując próbę rozwinięcia zasygnalizowanych w niej zadań naukowych.

2. Uszkodzenia przewodów kanalizacyjnych

2.1. Definicja uszkodzenia przewodu kanalizacyjnego

Według [59] uszkodzenie przewodu kanalizacyjnego jest przejściem ze stanu zdatności do stanu niezdatności, rozumianego jako niespełnienie stawianych przewodowi wymagań.

W instrukcji niemieckiej [77] przedstawiono podobną definicję: „uszkodzenie przewodu w sensie utrzymania prawidłowego działania sieci jest stanem, który ze względu na jego zastosowanie, uwarunkowuje niedopuszczalne obniżenie zdolności funkcjonowania”.

Przez stan przewodu można rozumieć stopień jego zdolności do wykonywania pracy [75]. Praca przewodu kanalizacyjnego polega na odprowadzaniu określonej ilości ścieków do odbiornika, w określonym czasie i przy zapewnieniu jego szczelności.

Uszkodzenie przewodu polega więc na utracie zdolności do wykonywania pracy. Jeżeli przewód przestaje realizować swoje zadanie oznacza to, że całkowicie utracił zdolność wykonywania pracy. Gdy przewód realizuje swoje zadanie w sposób niepełny - niezgodnie z założeniami, utracił on częściowo zdolność wykonywania pracy.

Wszystkie właściwości i funkcje realizowane przez przewód określa się jako zbiór cech przewodu C , będący sumą podzbiorów cech mierzalnych C_m i cech niemierzalnych C_n [59].

Cechy mierzalne (ilościowe) opisują w sposób obiektywny te funkcje i właściwości przewodu, które w danym przedziale czasu można pomierzyć. Do tych cech zalicza się: charakterystyki geometryczne przewodu (wymiaru przekrojów poprzecznych i elementów konstrukcyjnych, długości i spadki podłużne przewodu oraz wymiaru określające jego położenie w planie i zagłębienie), charakterystyki konstrukcyjno-wytrzymałościowe (parametry materiałów konstrukcyjnych, nośność i odkształcalność elementów konstrukcyjnych i osiadanie), parametry hydrauliczne (przepustowość, prędkość przepływu, szorstkość), szczelność oraz wiek.

Cechy niemierzalne (jakościowe) opisują w sposób subiektywny te właściwości przewodu, które nie mogą zostać jednoznacznie pomierzone. Do tych cech zalicza się odporność na korozję, objawy technicznego i ekonomicznego starzenia, trwałość, przydatność użytkową.

Przewodowi pracującemu w konkretnych warunkach można przypisać dopuszczalne granice cech mierzalnych $\underline{C_{mi}}, \overline{C_{mi}}$ takie, że każda wartość i-tej cechy zawarta w przedziale $(\underline{C_{mi}}, \overline{C_{mi}})$, odpowiada prawidłowemu (założonemu) działaniu przewodu.

Dla cech niemierzalnych można podjąć próbę sprecyzowania kryteriów oceny czy dana cecha odpowiada warunkom prawidłowej pracy przewodu. Ze względów formalnych przyjmuje się zerojedynkowy system identyfikacji cechy. Oznacza to, że spełnienie przez cechę warunków stawianych przewodowi zapisuje się w postaci $C_{nj} = 1$, a niespełnienie jako $C_{nj} = 0$.

Dla prawidłowo pracującego przewodu (przewód ma zdolność do pełnego wykonywania pracy, lub inaczej przewód jest w stanie zdatności) można zapisać:

$$\forall_i, C_{mi} \in (\underline{C_{mi}}, \overline{C_{mi}}) \wedge \forall_j, C_{nj} = 1 \quad i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (2.1)$$

W stanie uszkodzenia przynajmniej jedna cecha ze zbioru cech mierzalnych C_m i niemierzalnych C_n opisujących przewód, przestanie spełniać stawiane mu wymagania [59]:

$$\exists_i, C_{mi} \notin (\underline{C_{mi}}, \overline{C_{mi}}) \vee \exists_j, C_{nj} = 0 \quad i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (2.2)$$

Chcąc dokonać rozróżnienia między stanem niezdatności, w którym przewód charakteryzuje całkowita utrata zdolności do wykonywania pracy, a stanem niezdatności z częściową utratą tej zdolności autor proponuje wprowadzić dodatkowe oznaczenia.

Dla cech mierzalnych przyjęto granice $\underline{C'_{mi}}, \overline{C'_{mi}}$ takie, że $\underline{C'_{mi}} < \underline{C_{mi}}$, a $\overline{C'_{mi}} > \overline{C_{mi}}$. Jeżeli jakakolwiek cecha przewodu C_{mi} wyjdzie poza przedział tolerancji $(\underline{C_{mi}}, \overline{C_{mi}})$ nie przekraczając przedziału $(\underline{C'_{mi}}, \overline{C'_{mi}})$, wtedy mamy do czynienia z częściową utratą zdolności do wykonywania pracy. Po przekroczeniu granic $\underline{C'_{mi}}$ lub $\overline{C'_{mi}}$ przewód przestaje całkowicie realizować przypisane mu zadania.

Dokonanie takiego wyróżnienia jest konieczne ze względu na specyfikę pracy przewodu kanalizacyjnego, polegającą na tym, że uszkodzenia powodujące całkowite przerwanie jego pracy występują stosunkowo rzadko. Zazwyczaj zdarzają się sytuacje (szczególnie w przewodach nieprawidłowo eksploatowanych), że przewód realizuje swoją funkcję z obniżonym standardem, powodując różnego typu straty (ekologiczne, społeczne, inne). Ustalenie momentu, w którym przewód całkowicie przestaje realizować swoją funkcję jest jednoznaczne tylko w jednym przypadku - gdy nastąpiło przerwanie przepływu ścieków. W większości skrajnych przypadków uszkodzony przewód realizuje swoją funkcję w bardzo ograniczonym zakresie, powodując jednocześnie powstanie dużych strat. Jako przykład można tu podać sytuację gdy następuje całkowita utrata nośności przewodu (cecha mierzalna - nośność - wyszła poza graniczny przedział), jednak przewód odprowadza ścieki dzięki powstałemu w gruncie przesklepieniu, zapobiegającemu pełnemu zamknięciu przepływu. Oczywiście, taki układ jest bardzo niepewny, przypadkowe wymuszenie może doprowadzić do runięcia gruntu do wnętrza i pełnego zamknięcia przepływu. Uznanie więc w opisaney sytuacji, że przewód utracił całkowicie zdolność wykonywania pracy (mimo utraty nośności) nie jest w pełni obiektywne. Czynnikiem decydującym dla stwierdzenia, że przewód jest niezdatny do wykonywania pracy, staje się prawdopodobieństwo zamknięcia przepływu, lub wielkość powstających strat, której wartość graniczna może się różnić w zależności od warunków lokalnych (w pewnych rozsądnych granicach). Powoduje to, że ustalenie konkretnych (aktualnych w każdych warunkach) wartości $\underline{C'_{mi}}$ lub $\overline{C'_{mi}}$ przynajmniej dla niektórych cech nie jest możliwe.

Określone $\underline{C'_{mi}}$ i $\overline{C'_{mi}}$ są więc umownymi granicami określającymi niedopuszczalnie niską jakość pracy przewodu.

Przyjęcie granicznego przedziału $(\underline{C'_{mi}}, \overline{C'_{mi}})$, wykazuje również konieczność natychmiastowego przeprowadzenia odnowy przewodu, gdy dowolna z jego cech C_{mi} wyjdzie poza ten przedział.

Dla uwzględnienia cech niemierzalnych w opisie stanów niezdatności całkowitej lub częściowej, należy zrezygnować z zerojedynkowego sposobu identyfikacji cechy, wywodzącego się z systemu logiki dwuwartościowej, w której

dowolne zdanie może być albo prawdziwe albo fałszywe (cecha niemierzalna albo spełnia warunki stawiane przewodowi - $C_{nj} = 1$, albo nie spełnia - $C_{nj} = 0$). Należy bowiem uwzględnić możliwość istnienia stanów pośrednich między 0 a 1, oznaczających częściowe spełnianie przez daną cechę warunków stawianych przewodowi.

Jak wspomniano, dla oceny cechy niemierzalnej ustala się pewną liczbę mniej lub bardziej ścisłych kryteriów, na podstawie których uzasadnia się czy spełnia ona warunki stawiane przewodowi. Dla dokonania oceny można zastosować teorię zbiorów rozmytych, wywodzącą się z logik wielowartościowych [32].

Przykładowo, taką cechę niemierzalną jak trwałość przewodu żelbetowego, można ocenić analizując łącznie następujące kryteria:

- wytrzymałość betonu,
- szczelność betonu,
- zawartość chlorków i siarczanów w betonie,
- karbonatyzacja betonu
- stan powierzchni przewodu (otuliny zbrojenia)
- korozja zbrojenia.

Uzasadnione może być również przyjęcie innego zestawu kryteriów.

Można ustalić idealny przypadek, gdy badana cecha doskonale spełnia warunki stawiane przewodowi, to znaczy - w danym momencie lub przedziale czasu, kryteria są realizowane na odpowiednio wysokim poziomie. Kryteriom odpowiadają zarówno możliwe do pomierzenia wartości (w przykładzie dla wytrzymałości, szczelności i składu chemicznego betonu), jak i oceny opisowe albo wartościujące - (dla opisu stanu powierzchni przewodu: „stan bez zmian”, „stan bardzo dobry”).

Badając cechę przewodu C_{nj} rozpatruje się prawdziwość zdania „cecha C_{nj} doskonale realizuje warunki pracy przewodu określone kryteriami”. Prawdziwość tego nieostrego sformułowania (pod tym pojęciem należy rozumieć zdanie któremu nie można przyporządkować ścisłego zakresu lub ściśle charakteryzującej je wielkości, jednak mimo to jest rozumiane w miarę jednoznacznie np.: uszkodzenie jest niegroźne, pan X jest młody, itp.) określa się nie za pomocą pojęć prawda - fałsz, lecz za pomocą liczby z jednostkowego odcinka na prostej $[0, 1]$. Mówi się wtedy o *stopniu prawdziwości* χ zdania, traktowanym jako malejąca funkcja odległości od zdania idealnie prawdziwego. Przydzielenie wartości skrajnych - $\chi = 0$ lub $\chi = 1$ oznacza pełną wiedzę na temat cechy C_{nj} . Warto tu zaznaczyć, że pojęcie wiedzy rozumiane jest tu subiektywnie - można również tu mówić o pewności jak i zdecydowaniu. Przyjmując wartość 1 - wyraża się pewność, że cecha C_{nj} doskonale spełnia warunki stawiane przewodowi i odpowiada bezbłędnej pracy przewodu. Wartość 0 oznacza całkowitą bezpodstawność określonego wyżej zdania i można ją uznać za odpowiadającą stanowi uszkodzenia, gdy przewód utracił w sposób pełny zdolność do wykonywania pracy. Przydzielenie wartości χ z przedziału $(0,1)$ oznacza brak pewności co do prawdziwości analizowanego zdania. Kryteria przypisane do cechy nie są w takiej sytuacji realizowane na odpowiednio wysokim poziomie (ustalonym dla przypadku idealnego). Stopnie prawdziwości z tego przedziału są więc związane ze stanem uszkodzenia, gdy przewód realizuje swoją funkcję z obniżonym standardem - cecha nie spełnia warunków stawianych przewodowi w sposób doskonały.

Oczywiście, możliwe jest rozpatrywanie prawdziwości zdania sformułowanego zupełnie inaczej np.: „cecha C_{nj} nie realizuje warunków pracy przewodu”. W takim

przypadku wartości skrajne interpretuje się odpowiednio: $\chi = 0$ oznacza stan prawidłowej pracy przewodu, natomiast $\chi = 1$ oznacza wystąpienie stanu pełnego uszkodzenia.

Przyjmijmy, że w dalszych rozważaniach wykorzystamy sformułowanie „*cecha C_{nj} nie realizuje warunków pracy przewodu*”.

Przy takim założeniu zapis (2.2) dla stanu uszkodzenia pełnego (przewód całkowicie utracił zdolność wykonywania zadania) modyfikuję do następującej postaci:

$$\exists_i, C_{mi} \notin (\underline{C'_{mi}}, \overline{C'_{mi}}) \vee \exists_j, C_{nj} : \chi_{nj} = 1 \quad i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (2.3)$$

Dla stanu uszkodzenia częściowego (przewód częściowo utracił zdolność wykonywania zadania) :

$$\exists_i, C_{mi} \in [(\underline{C'_{mi}}, \underline{C_{mi}}) \vee (\overline{C_{mi}}, \overline{C'_{mi}})] \vee \exists_j, C_{nj} : \chi_{nj} \in (0, 1) \quad i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (2.4)$$

2.2. Rozpoznanie stanu uszkodzenia w przewodzie kanalizacyjnym

Stan uszkodzenia powstający w wyniku oddziaływań różnych czynników, związany jest zazwyczaj z wyjściem wielu cech przewodu C poza określony dla nich dopuszczalny przedział $(\underline{C}, \overline{C})$. Jednocześnie przy zmianie wielu cech można wyróżnić cechy „wiodące”, które ulegają największym zmianom. Dla pełnego opisu uszkodzenia zdefiniowanego w rozdziale 2.1, należałoby zidentyfikować wszystkie cechy przewodu, które uległy zmianie. Ze względów praktycznych analiza taka nie jest możliwa do wykonania, co powoduje, że dla rozpoznania stanu przewodu należy posługiwać się określonymi charakterystykami lub formami objawów pierwotnych i wtórnych związanych ze zmianami co najmniej kilku cech przewodu.

Zaistnienie w przewodzie stanu uszkodzenia może zostać stwierdzone na podstawie badań przewodu lub obserwacji zmian w terenie pod którym on przebiega. Zmiany w terenie stanowią przesłankę na podstawie której przeprowadza się badania kanału.

Formalną podstawą do rozpoznania i późniejszej oceny stanu przewodu kanalizacyjnego jest jego inspekcja¹, będąca według źródeł niemieckich [8,25] jednym z trzech podstawowych elementów (obok konserwacji i odnowy) eksploatacji sieci kanalizacyjnej.

Ze względu na charakter inspekcji (prowadzenie obserwacji wzrokowej) rejestrowane obrazy - typy uszkodzeń, stanowią obserwowalny (dający się zauważyć) zespół zmian powiązanych ze sobą przyczyną powstania (przyczyna uszkodzenia) i przez to możliwy do wyróżnienia spośród pozostałych zespołów zmian, znajdujących się często w bezpośrednim sąsiedztwie. Przykładowe typy uszkodzeń to pęknięcia podłużne, nacieki, ubytki materiału w ścianie przewodu, odsłonięte zbrojenie, itd. Nawiazując do zbioru cech opisujących przewód, typ uszkodzenia jest zasadniczo objawem wyjścia jednej lub wielu cech poza zakres dopuszczalny dla stanu zdatności. Przykładowo, ubytkowi materiału odpowiada zmiana takich cech mierzalnych jak nośność, grubość ścianki, odkształcalność.

Zbiór typów uszkodzeń mogących wystąpić w przewodzie kanalizacyjnym jest ograniczony, jednak w obrębie każdego typu cechy z nim związane mogą w różnym

¹ Podstawowe znaczenie ma aktualnie inspekcja wzrokowa – bezpośrednia lub niebezpośrednia. Inspekcja przewodów kanalizacyjnych zastała omówiona w rozdziale 5.2.

stopniu wychodzić poza dopuszczalny dla nich przedział. Powoduje to, że typy uszkodzeń mogą charakteryzować się różną intensywnością.

W literaturze (np.: [8,34,53]) typy uszkodzeń określane są zazwyczaj jako uszkodzenia przewodów kanalizacyjnych, co jest pewnym zawężeniem w stosunku do definicji uszkodzenia według [59], przyjętej w rozdziale 2.1. Definicja ta zachowuje ważność gdy w przewodzie pojawi się dowolna ilość typów uszkodzeń. Przedstawia więc podejście uogólnione, dotyczące zmiany dowolnych cech przewodu, traktowanych niezależnie.

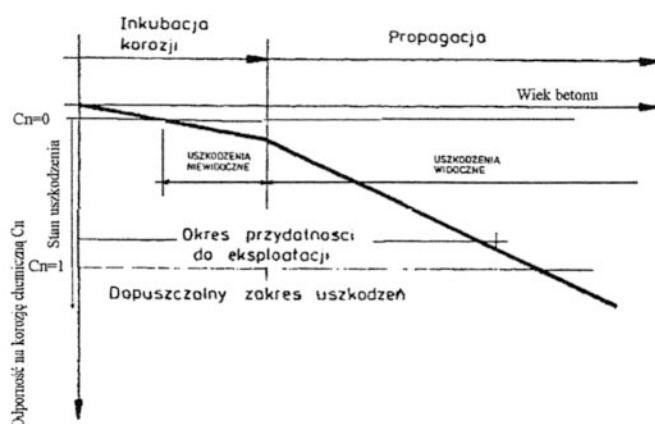
Od tego momentu, mówiąc o uszkodzeniu przewodu należy mieć na myśli sytuację, gdy nastąpiło wyjście jednej lub wielu cech przewodu poza dopuszczalny zakres, z tym, że są to zmiany powiązane ze sobą przyczyną powstania uszkodzenia.

Stan uszkodzenia przewodu nawiązujący do definicji uszkodzenia według [59], odpowiada sytuacji gdy w przewodzie powstało jedno lub więcej uszkodzeń. Zmiany cech opisujących przewód można tu rozpatrywać bez uwzględniania powiązań między nimi.

Znajomość jednego lub kilku uszkodzeń występujących w przewodzie nie może dawać pełnej wiedzy o stanie całego przewodu.

Należy podkreślić, że nie wszystkie uszkodzenia pojawiające się w przewodach mogą być zaobserwowane w trakcie przeglądów. Ponadto, stwierdzenie występowania niektórych uszkodzeń następuje na podstawie objawów zazwyczaj im towarzyszących np.: o naruszeniu struktury gruntu otaczającego przewód może świadczyć jego osadzanie się we wnętrzu przewodu, w pobliżu pęknięć. Dla uzyskania pewności należy w takich przypadkach przeprowadzać badania dodatkowe.

Niemożliwość zaobserwowania uszkodzenia wynika przede wszystkim z naturalnych ograniczeń ludzkiego wzroku (powiązanego z narzędziem np.: kamera TV) oraz skali uszkodzenia. Sytuacja taka występuje, gdy szybkość z jaką zachodzą zmiany cech jest niewielka - mówi się wtedy o uszkodzeniu parametrycznym. Proces degradacji przewodu następuje powoli, a objawy zaistniałego stanu uszkodzenia nie są natychmiast zauważalne. Przykładowy model degradacji przewodu betonowego podlegającego naturalnemu procesowi starzenia, z wiodącą cechą niemierzalną C_n - odpornością na korozję chemiczną, przedstawiono na rysunku 2.1.



Rys.2.1. Model degradacji przewodu betonowego w wyniku procesów starzeniowych

2.3. Przyczyny uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych

Przyczyny uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych można podzielić na pięć podstawowych grup [59] :

- $A(t)$ - błędy konstrukcyjne,
- $B(t)$ - błędy technologiczno - materiałowe,
- $C(t)$ - błędy eksploatacji,
- $D(t)$ - procesy starzeniowe,
- $E(t)$ - bodźce zakłócające.

Błędy konstrukcyjne i technologiczno - materiałowe nie zależą od czynnika czasu, odmierzanego od chwili przyjęcia przewodu do eksploatacji. Powstają one w trakcie nieodpowiedniego wykonawstwa obiektu, wad materiałów oraz z powodu przyjęcia niewłaściwego rozwiązania projektowego. Mogą być przyczyną wystąpienia w przewodzie uszkodzeń jeszcze przed włączeniem go do eksploatacji.

Wymienione grupy przyczyn można podzielić na losowe i deterministyczne. Przyczyny uszkodzeń wynikające z podejmowania niewłaściwych decyzji przez uczestników procesu realizacji i utrzymania przewodów określa się mianem błędów. Na podjęcie decyzji wpływają konkretne przesłanki, błąd może wynikać z intencji lub braku wiedzy, nie ma jednak charakteru losowego. Z tego powodu błędy mają charakter deterministyczny.

Do przyczyny uszkodzeń o charakterze losowym zakwalifikowano w [34]:

- awarie urządzeń sąsiadujących z przewodami,
- nieprzewidziane zmiany oddziaływań zewnętrznych,
- naturalne procesy starzeniowe.

Zbiór czynników wymuszających (wymuszeń) jakim poddawane są przewody w czasie pracy można podzielić na :

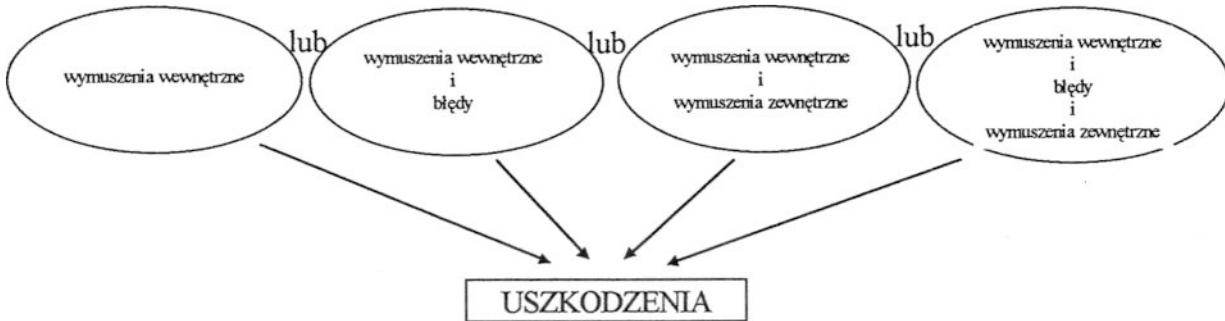
- a) podzbiór wymuszeń wynikających z roboczej funkcji przewodu (wymuszenia wewnętrzne),
- b) podzbiór wymuszeń spowodowanych oddziaływaniem otoczenia przewodu (wymuszenia zewnętrzne).

Wymuszenia wewnętrzne do których zalicza się: agresywność chemiczną ścieków, zawartość w nich frakcji ściernych, temperaturę ścieków, prędkość przepływów i ich wydatki, agresywność chemiczną strefy ponad poziomem ścieków; są podstawową przyczyną zachodzących w przewodzie procesów starzeniowych $D(t)$, niemożliwych do uniknięcia. Projektując przewód i planując proces eksploatacji dąży się do uzyskania jak największej odporności przewodu na wymuszenia tego typu i tym samym na spowolnienie procesów starzeniowych. Wystąpienie błędów projektowych, wykonawstwa lub eksploatacji spowoduje przyspieszenie starzenia się przewodu i w następstwie pojawienie się stanu uszkodzenia.

Do podzbioru wymuszeń zewnętrznych zalicza się obciążenia mechaniczne (statyczne i dynamiczne), agresywność chemiczną środowiska gruntowego, destrukcyjne oddziaływanie innych budowli - szczególnie w przypadku ich awarii lub realizacji, niszczące oddziaływanie korzeni drzew i inne. Wymienione czynniki zewnętrzne działają w sposób losowy i charakterystyczna jest dla nich zmienność w czasie. Agresywność chemiczna środowiska gruntowego może przyspieszać procesy starzeniowe przewodu $D(t)$, jednak naturalne jest utożsamianie wymuszeń zewnętrznych z bodźcami zakłócającymi $E(t)$.

Reasumując, do przyczyn uszkodzeń o charakterze losowym należy zaliczyć procesy starzeniowe $D(t)$ i bodźce zakłócające $E(t)$.

Mechanizm powstawania uszkodzeń wynika z zadań i przebiegu procesów zdeterminowanych (projektowanie, wykonawstwo i eksploatacja) oraz przebiegu i intensywności występowania zdarzeń losowych (awarie, oddziaływania zewnętrzne, procesy starzeniowe). Przyczyny powstawania uszkodzeń w trakcie pracy przewodu przedstawiono poglądowo na rysunku 2.2.



Rys.2.2. Mechanizm powstawania uszkodzeń w pracującym przewodzie kanalizacyjnym

Relacje przyczyny - stan uszkodzenia można zapisać wykorzystując oznaczenia przyjęte na początku rozdziału:

$$\{D(t) \vee [D(t) \wedge A(0) \wedge B(0) \wedge C(t)] \vee [D(t) \wedge E(t)] \vee [D(t) \wedge A(0) \wedge B(0) \wedge C(t) \wedge E(t)]\} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ stan uszkodzenia przewodu (2.5)

Powstanie w przewodzie zmian w stosunku do stanu idealnego - stanu prawidłowej pracy, spowoduje zwiększenie w nim intensywności procesów destrukcyjnych. Zbiór wymuszeń - roboczych (wewnętrznych) i zewnętrznych - wpływających na przewód nie musi ulec zmianie, wystarczy że zmieniają się warunki oddziaływania poszczególnych elementów tego zbioru. W przewodzie zachodzi wtedy zjawisko propagacji uszkodzeń, wyrażające się zwiększaniem istniejących oraz powstawaniem nowych uszkodzeń pierwotnych i wtórnych. Uszkodzenia wtórne są konsekwencją zaistnienia uszkodzeń pierwotnych, inicjujących zawodne działanie przewodu.

Przykładowo, w tabeli 2.1 przedstawiono cele, warunki brzegowe, typowe błędy i uszkodzenia dla procesów projektowania, wykonawstwa i eksploatacji (przyczyny deterministyczne uszkodzeń) przewodów betonowych. Analogicznie, dla przyczyn o charakterze losowym, mechanizm powstawania uszkodzeń przedstawiono w tabeli 2.2 [34].

W tabeli 2.3 zestawiono podstawowe przyczyny uszkodzeń i odpowiadające im objawy według [8] dla przewodów niepodatnych. Autor tabeli nie brał pod uwagę możliwości wbudowania w przewód uszkodzonych lub wadliwych materiałów.

Tabela 2.1. Cele, warunki brzegowe, błędy i typowe uszkodzenia procesów deterministycznych [34]

L.p.	Nazwa procesu	Cel procesu	Warunki brzegowe	Typowe błędy procesu	Typowe uszkodzenia
1.	projektowanie	- zapewnienie parametrów: - wytrzymałościowych (nośność trwałość), - hydraulicznych (przepływ), - ekologicznych (szczelność)	- techniczne: - obciążenia mechaniczne, - warunki środowiskowe (chemia gruntu i ścieków), - obciążenie hydrauliczne, - prognozowanie zmian warunków zewnętrznych (obciążeń mechanicznych i hydraulicznych), - nietechniczne: - kwalifikacje projektanta	- nierozpoznanie warunków gruntowo-wodnych, - złe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe, - zła prognoza (nieuwzględnienie wzrostu obciążeń mechanicznych i hydraulicznych)	- deformacje niwelety - zarysowanie konstrukcji, - pęknięcia obudowy, - nadmierne odkształcenia, - nieszczelności połączeń, - nieszczelności struktury betonu, - korozja betonu i stali,
2.	wykonawstwo	realizacja założeń i wymagań projektowych	- techniczne: - technologiczność, - dostępność materiałów i technologii, - nietechniczne: - kwalifikacje wykonawcy	- niewłaściwe parametry betonu, - złe rozmieszczone zbrojenie, - nieprawidłowo wykonane izolacje, - złe wykonane dylatacje i styki, - złe wykonana obsypka	- zarysowanie konstrukcji, - pęknięcia obudowy, - nieszczelności połączeń, - nieszczelności struktury betonu, - korozja betonu i stali,
3.	eksploatacja	zapewnienie bezawaryjnej pracy sieci	- techniczne: - technologiczność serwisu, - nietechniczne: - kwalifikacje serwisu, - przyjęty program eksploatacji	- niewuwzględnienie wzrostu ilości ścieków oraz ich agresywność (czynniki szkodliwe dla przewodu), - nieoczystczenie przewodów, - brak kontroli stanu przewodów, - brak napraw bieżących	- korozja betonu i zbrojenia, - nieszczelność przewodu, - zniszczenie izolacji, - utrata nośności przewodu, - zniszczenie wykładziny kinety

Tabela 2.2. Proces powstawania uszkodzeń dla zdarzeń losowych [34]

L.p.	Typowe zdarzenia	Rodzaj zdarzenia	Typowe uszkodzenia
1.	awaria urządzeń sąsiadujących	uszkodzenie innego przewodu i usuwanie tego uszkodzenia	uszkodzenia mechaniczne (np. złamanie przewodu)
2.	zmiana warunków zewnętrznych	- zmiana sposobu zagospodarowania terenu (np. budowa ulicy) - zmiana warunków środowiskowych (np. chemia gruntów i ścieków)	- intensyfikacja korozji, - rysy, pęknięcia, - nieszczelność konstrukcji
3.	procesy starzeniowe	- techniczne: - korozja betonu, stali, izolacji, - zmiana struktury materiałów, - starzenie moralne: - niewydolność przewodu	- utrata właściwości technicznych (nośność szczelność, itp.), - zmiana grubości otuliny, - zmiany chropowatości betonu, - wycieranie się kinety, - niezdolność do odprowadzenia rzeczywistej ilości ścieków

Tabela 2.3. Podstawowe przyczyny uszkodzeń i ich objawy [8]

PODSTAWOWE PRZYCZYNY USZKODZEN	TYPOWE OBJAWY
1. Przeciążenia statyczne lub dynamiczne	przynajmniej dwie przeciwległe podłużne rysy, pierwotne tworzenie skorup *
2. Nieprawidłowe lub złe wykonane posadowienie	rysy poprzeczne
3. Wygięcia (w osi przewodu)**	szczeliny lub rozwarstwienia o przebiegu stożkowym
4. Obciążenie punktowe	rysy zbiegające się w jednym punkcie, wtórne tworzenie skorup *
5. Nieprawidłowe podłączanie przyłączy	całościowe spektrum uszkodzeń
6. Korozja	zużycie chemiczne

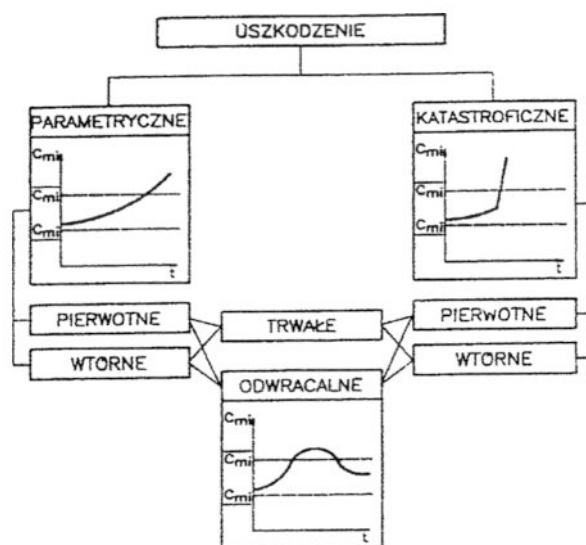
* - tłumaczenie niemieckiego nazewnictwa

** - na skutek nieprawidłowego wykonawstwa (powstałe w czasie montażu)

2.4. Klasyfikacja uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego

Klasyfikacje uszkodzeń występujących w przewodzie kanalizacyjnym zostały przedstawione w pracach [59,75]. W obu przypadkach uwzględniano szybkość z jaką zachodzą zmiany cech opisujących przewód, wprowadzając pojęcia uszkodzeń *parametrycznych* i *katastroficznych* [59], lub uszkodzeń *stopniowych* i *nagłych* [75]. Z punktu widzenia teorii niezawodności rozróżniono ponadto uszkodzenia *niezależne* - spowodowane dowolnymi przyczynami z wyjątkiem wystąpienia innego uszkodzenia, oraz uszkodzenia *zależne* - spowodowane zaistnieniem innego uszkodzenia [75]. W pracy [59] odpowiadają im uszkodzenia *pierwotne* i *wtórne*. Z punktu widzenia wpływu uszkodzenia na zdolność przewodu do wypełniania zadania, autor [75] wyróżnia uszkodzenia *pełne* - wystąpienie takiego uszkodzenia powoduje przejście przewodu w stan uszkodzenia całkowitego, oraz uszkodzenia *niepełne* - przewód realizuje swoje zadanie z obniżonym standardem.

Klasyfikacja uszkodzeń przyjęta przez autora [59] została przedstawiona na rysunku 2.3



Rys.2.3. Klasyfikacja uszkodzeń przewodu wg [59]

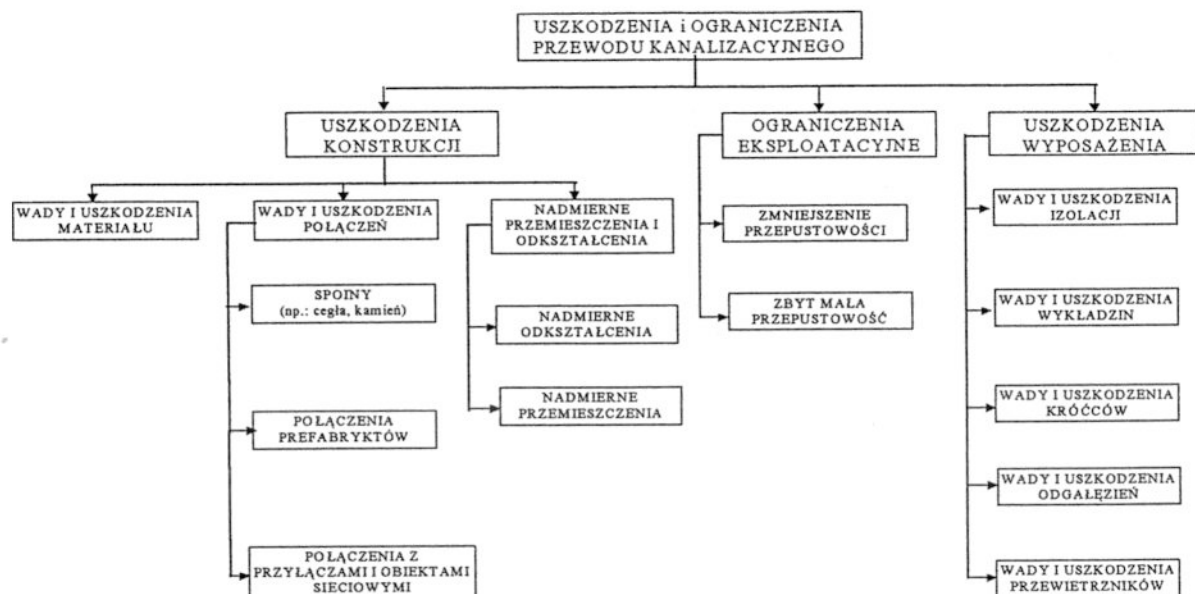
Za uszkodzenia trwałe należy uważać takie, które nie mogą być usunięte w ramach prac konserwacyjnych jak np.: czyszczenie przewodu, usuwanie korzeni itp..

Istnieje także wiele innych możliwości klasyfikowania uszkodzeń przewodów. Przykładowo można dokonać klasyfikacji ze względu na [63]:

- przyczyny powstania uszkodzeń,
- stan zaawansowania (stopień degradacji przewodu),
- stopień zagrożenia jakie powoduje dane uszkodzenie,
- sposób i koszt naprawy,
- konsekwencje zaniechania naprawy.

Dla ujednolicenia opisu rodzajów uszkodzeń niezbędne jest wprowadzenie systemu jednoznacznej klasyfikacji oraz opracowanie możliwie pełnego katalogu uszkodzeń występujących w przewodach kanalizacyjnych. Katalog taki powinien zawierać w usystematyzowanej formie opisy spotykanych uszkodzeń, uzupełnione stosownym materiałem ilustrującym (zdjęcia, szkice, itp.) oraz komentarz dotyczący możliwych przyczyn i konsekwencji uszkodzeń. Jak wspomniano w rozdziale 1.1,

działania obejmujące to zagadnienie prowadzone były w wielu krajach od co najmniej kilkunastu lat. Na rysunku 2.4 przedstawiono koncepcję systematyki uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego, opracowaną na podstawie [4].



Rys.2.4. Koncepcja systematyki uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego

2.4.1. Uszkodzenia rejestrowane w trakcie przeglądów przewodów

Poniżej przedstawiono propozycje typów uszkodzeń jakie obserwuje się w trakcie przeglądów przewodów kanalizacyjnych. Liczba typów uszkodzeń (form zniszczenia) jakie mogą wystąpić w przewodzie jest ograniczona, jednak ze względu na przyjęcie indywidualnych form zapisu lub rejestracji uszkodzeń, listy uszkodzeń sporządzone przez różne ośrodki mogą różnić się zarówno ilością pozycji, jak i przyjętym nazewnictwem. Dla porównania przedstawiono klasyfikacje uszkodzeń według:

- Katedry Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Świętokrzyskiej [53],
- Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji we Wrocławiu [85],
- firmy Per Aarsleff S.A. - Dania [84],
- wytycznych Abwassertechnische Vereinigung - Niemcy [77].

I. Klasyfikacja Katedry Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Świętokrzyskiej obejmuje następujące typy uszkodzeń przedstawione w tabeli 2.4. Wymieniono główne typy uszkodzeń bez podziału na podgrupy, z podaniem oznaczeń [53]:

Tabela 2.4. Klasyfikacja uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych [53]

L.P.	RODZAJ USZKODZENIA	OZNACZENIE
1.	zarysowanie	ZR
2.	pęknięcie	PE
3.	wyłom	WM
4.	przemieszczenie	PR
5.	skorodowanie ścian	KO
6.	wytarte dno	WD
7.	zmiana średnicy	ZS
8.	deformacja przekroju	DP

Tabela 2.4. (c.d.)

9.	zmiana osi kanału	ZO
10.	infiltracja	IN
11.	brak fragmentu ściany	BS
12.	erozja spoin	ES
13.	wykwity wapienne	WK
14.	narosty tłuszczowe	NT
15.	osad denny	OD
16.	gruz	GR
17.	narosty i nacieki	NN
18.	stojące ścieki	SS
19.	przeszkody	PK
20.	wystająca uszczelka	WU
21.	przechodzący przewód	PP
22.	korzenie drzew	KD
23.	włączenie przykanalika	WP
24.	odkryte zbrojenie	OZ
25.	zawalenie kanału	ZW
26.	występowanie gryzoni	WG

II. Klasyfikacja Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji we Wrocławiu – podano główne typy uszkodzeń wraz z ich podziałem na podgrupy i klasy przyjęte w przewodniku [85].

Tabela 2.5. Klasyfikacja uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych [85]

L.P.	GRUPA USZKODZEN	PODGRUPY USZKODZEN I ICH KLASY	OZNACZENIA
1	uszkodzenia konstrukcji	pęknięcia (podłużne, poprzeczne, promieniste) – klasa 1 i klasa 2	KL1, KP1, KO1; KL2, KP2, KO2
		tworzenie skorup – klasa 3	KS3
		ubytek skorupy – klasa 4	KU4
		zawał – klasa 5	KZ5
2	korozja i erozja ścianki kanału	korozja glazury – klasa 1	SG1
		korozja ścianki rury – klasa 2	SK2
		tworzenie otworów w ścianie – klasa 3	SO3
		inkrustacje ścianki – klasa 3	SI3
3	uszkodzenie złączy	przesunięcie osi łączenia – klasa 1 ÷ 4	ZP1, ZP2, ZP3, ZP4
		otwarte złącze – klasa 1 ÷ 3	ZR1, ZR2, ZR3
		wysunięcie uszczelnienia (wypływ lepiku, wystający sznur, wystająca uszczelka) – klasa 1 ÷ 3	ZL1, ZS1, ZU1; ZL2, ZS2, ZU2; ZL3, ZS3, ZU3
		korzenie – klasa	ZK1, ZK2, ZK3
		nacieki – klasa 1 ÷ 3	ZI1, ZI2, ZI3
4	deformacje	klasa 1 ÷ 3	PR1, PR2, PR3
5	wystająca przeszkoda	klasa 0 ÷ 3	PX0, PX1, PX2, PX 3
6	infiltracja	klasa 1 ÷ 3	IN1, IN2, IN3
7	zmiana kierunku	klasa 1 ÷ 3	RO1, RO2, RO3
8	poziom ścieków	klasa określona jako procent wypełnienia	PS (10%, 20%, ..., 100%)

III. Klasyfikacja firmy Per Aarsleff S.A. obejmuje typy uszkodzeń nazywane tutaj *obserwacjami*. Obok uszkodzenia przedstawiono kod identyfikacyjny oraz ilość klas na które dana obserwacja może zostać podzielona.

Tabela 2.6. Klasyfikacja uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych firmy Per Aarsleff S.A.

L.p.	Uszkodzenie	Kod	Klasy
1.	Pęknięcia i wylomy	RB	1 - 4
2.	Korozja i erozja	KO	1 - 4
3.	Deformacje	DE	1 - 3
4.	Przesunięcie osi	FS	1 - 4
5.	Otwarte złącze	ÅS	1 - 4
6.	Zwisająca uszczelka	IG	1 - 3
7.	Korzenie	RØ	1 - 3
8.	Przesiakanie	IN	1 - 3
9.	Nacieki	UF	1 - 3
10.	Osady	AF/AL.	1 - 3
11.	Stan wody (ścieków)	VA	%
12.	Przeszkody	FO	1 - 3
13.	Odgąlenie	GR	0 - 3
14.	Wcięcie i wwiert	PÅ	0 - 4
15.	Zmiany kierunku	RE	0 - 3

Niektóre z użytych tu określeń mają charakter skrótowy, wynikający prawdopodobnie z trudności w znalezieniu prostej i jednoznacznej nazwy dla danej obserwacji. Wszystkie wymienione uszkodzenia są szczegółowo zdefiniowane w podręczniku [84], który zawiera również ich fotografie i ustala sposób przydzielania klas.

IV. Klasyfikacja uszkodzeń według wytycznych Abwassertechnische Vereinigung e.V. - ATV. Podano główne typy uszkodzeń, ich podgrupy oraz przyjęte oznaczenia [77]:

Tabela 2.7. Klasyfikacja uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych Abwassertechnische Vereinigung e.V

Uszkodzenia	Notacja
1. Nieszczelności 1.1. w połączeniach rur, ewentualnie w spoinach budowli kanalizacyjnych* lub ich części 1.2. w ścianach rur lub w ścianach budowli 1.3. w miejscach przyłączeń do rur, budowli, w połączeniach ze studzienkami lub obiektami sieciowymi	UC (B, E, F) (O, U, L, R) UW (B, E, F) (O, U, L, R) UA (B, E, F) (O, U, L, R)
2. Przeszkody odpływu 2.1. przeszkody ogólnie 2.2. sedimentacja – piasek 2.3. sedimentacja – gruby żwir 2.4. stwardniały osad 2.5. wystające uszczelnienie 2.6. inkrustacje 2.7. wystające przeszkody w przekroju poprzecznym 2.8. wrastanie korzeni	H - (E, F) (O, U, L, R) HDS - nn HDG - nn HF- HG (E,F) (O, U, L, R) nn HI (E,F) (O, U, L, R) nn HE (E,F) (O, U, L, R) nn HP (O, L, R) nn
3. Odchyłki położenia 3.1. w kierunku pionowym 3.2. w kierunku poziomym 3.3. w osi przewodu 3.4. wygięcie	LV (E,F) (O, U) nn LH (E,F) (L, R) nn LL (B, E, F) - nn LB (E,F) (O, U, L, R) nn

Tabela 2.7. (c.d.)

4. Zużycie mechaniczne (starcie)	V- (E,F) (U, L, R)
5. Korozja	
5.1. korozja w strefie połączenia	CC (B, E, F) (O, U, L, R)
5.2. korozja wewnętrzna	C- (B, E, F) (O, U, L, R)
5.3. korozja zewnętrzna	CO (B, E, F) (O, U, L, R)
5.4. korozja zaprawy w fugach	CB (B, E, F) (O, U, L, R)
6. Odkształcenie - dla rur podatnych ponad dopuszczalną wartość	D- - (O, U, L, R) nn
7. Rysy	
7.1. rysy w strefie połączeniowej	RC (E, F) (O, U, L, R) nn
7.2. rysy podłużne	RL (E, F) (O, U, L, R) nn
7.3. rysy poprzeczne	RQ (E, F) (O, U, L, R) nn
7.4. rysy wychodzące z jednego punktu	RX (E, F) (O, U, L, R) nn
7.5. lokalne powierzchnie ścięcia – tworzenie skorup (Scherbenbildung)	RS (E, F) (O, U, L, R) nn
8. Pęknięcia przewodu (Rohrausbruch)	
8.1. brak części ścianki	BW (B, E, F) (O, U, L, R)
8.2. brak części ścianki w strefie połączenia	BC (B, E, F) (O, U, L, R)
8.3. powierzchnie ścięcia w całym przekroju przewodu (Rochrbruch)	BS (B, E, F) (O, U, L, R)
8.4. zawalenie się przewodu	BT (B, E, F)

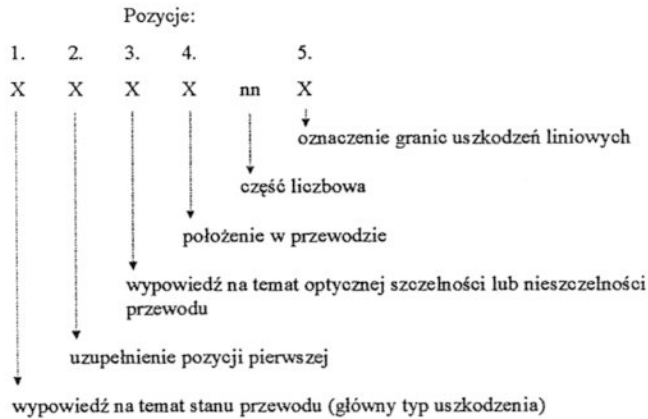
* pod pojęciem budowni kanalizacyjnej należy rozumieć przewody z elementów drobnowymiarowych (kamienne, ceglane), monolityczne (żelbetowe, betonowe) lub przewody składane z elementów prefabrykowanych.

Niezależnie traktowane są uszkodzenia związane z przyłączami (stan króćca) i odgałęzieniami (zaznacza się występowanie w przewodzie odgałęzień i przyłączy oraz stan ich uszkodzenia).

Tabela 2.8. Klasyfikacja uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych Abwassertechnische Vereinigung e.V (c.d.)

Uszkodzenia	Notacja
9. Odgałęzienia	A- - (O, U, L, R)
9.1. odgałęzienie zamknięte	AU- (O, U, L, R)
9.2. odgałęzienie zatkane	A-D (O, U, L, R)
9.3. pęknięcie w strefie odgałęzienia	AR (B, E, F) (O, U, L, R)
9.4. odgałęzienia nieprawidłowo wykonane	AN (E, F) (O, U, L, R)
10. Króćce	S- - (O, L, R)
10.1. króciec wystający	SE (E, F) (O, L, R) nn
10.2. króciec nieprawidłowo wykonany	SN (E, F) (O, L, R)
10.3. króciec zamknięty	SU- (O, L, R)
10.4. pęknięcie w strefie króćca	SR (B, E, F) (O, L, R)
10.5. Króciec zatkany	S-D (O, L, R)
11. Uszkodzenia pozostałe (wtórne)	
11.1. podpiętrzenie ścieków	W- - S nn
11.2. infiltracja wody gruntowej	W- - G
11.3. dopływ wody zewnętrznej	W- - F

W oznaczeniach uszkodzeń używa się kodu pięciopozycyjnego, w którym pierwsza litera oznacza typ uszkodzenia. Kombinacja pozostałych liter pozwala określić podgrupy uszkodzeń. Przyjęty system notacji jest elastyczny, umożliwia zapisanie szczególnych przypadków uszkodzeń, innych niż wymienione wyżej podgrupy.



Rys.2.5. Zasada notacji uszkodzeń przewodu wg ATV M 143, T.2 [77]

W tabeli 2.9 podano znaczenia wykorzystywanych skrótów.

Tabela 2.9. Znaczenia skrótów wykorzystywanych przy notacji uszkodzeń

Pozycja 1.	Pozycja 2.	Pozycja 3.	Pozycja 4.
A – odgałęzienie;	A – podłączenie do rury, studzienki lub budowli;	B – widoczny grunt;	F – woda zewnętrzna;
B – brak ścianki, pęknięcie;	B – wygięcie;	D – zatkany;	G – woda gruntowa;
C – korozja;	C – połączenie rur;	E – widoczna wnikająca woda;	O – sklepienie rury;
D – odkształcenie rur podatnych;	D – sedymentacja;	F – widoczna wilgoć;	U – dno rury;
H – przeszkoda;	E – wystaje;	G – gruby żwir;	L – lewe wezłowie;
L – odchylenie położenia;	F – utwardzony;	S – piasek	R – prawe wezłowie;
R – zarysowanie;	G – uszczelnienie;		S – podpiętrzenie;
S – króciec;	H – poziomo;		V – pionowo;
U – nieszczelność;	I – inkrustacja;		H – poziomo;
V – zużycie mechaniczne;	K – klinkier;		A – osiowo
W – uszkodzenia pozostałe	L – na długości;		
	M – zaprawa do fug;		
	N – wadliwie wykonane;		
	O – na zewnątrz;		
	P – korzenie;		
	R – pęknięcie;		
	S – ścinanie;		
	T – zawalenie się;		
	U – zamknięty; nieprzepuszczalny;		
	V – pionowy;		
	W – ścianka rury, budowli;		
	X – pęknięcia (rysy) wychodzące z jednego punktu		

W wytycznych [77] powiązano wyżej wymienione uszkodzenia z ich prawdopodobnymi przyczynami, wskazując również na nieprzestrzeganie konkretnych norm, instrukcji i wytycznych niemieckich (DIN, ATV A, ATV M). W wytycznych tych podano również szczegółowy sposób klasyfikowania i zapisywania uszkodzeń w trakcie inspekcji optycznej.

Na terenie Niemiec funkcjonują liczne systemy i programy do rejestracji i opisu uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych. Wymieniony system ATV jest zalecany do powszechnego stosowania. Prowadzić to ma do stopniowej rezygnacji z istniejących

innych systemów, na rzecz uzyskania ujednoliconej metody rozpoznania i oceny stany przewodów kanalizacyjnych.

Możliwość w miarę łatwego powiązania większości wymienionych uszkodzeń z prawdopodobnymi przyczynami powoduje, że względnie dobrze pasują one do definicji uszkodzenia określonej w rozdziale 2.2. Inspekcje przewodów kanalizacyjnych z wykorzystaniem listy ATV są prowadzone z powodzeniem od wielu lat - lista uszkodzeń i odpowiedni sposób zapisu prowadzony w trakcie przeglądów został sprawdzony praktycznie. Z tych względów powyższe typy uszkodzeń przyjęto w dalszej części pracy jako podstawę do prowadzenia analiz.

Definicje oraz szczegółowy opis typów uszkodzeń przewodu w nawiązaniu do zapisu ATV, można znaleźć w pracy [8].

Występowanie uszkodzeń w przewodach z różnych materiałów pokazuje tabela 2.10.

Przyjęto następującą konwencję oznaczeń:

b - przewody betonowe, żb - przewody żelbetowe, k - przewody kamionkowe, żł - przewody żeliwne, m - przewody murowane, ts - przewody z tworzyw sztucznych, e - przewody eternitowe, zs - przewody z rur zespolonych

Tabela 2.10. Występowanie uszkodzeń w przewodach z różnych materiałów

L. P.	TYP USZKODZENIA	b	żb	k	żł	m	ts	e	zs
1.	nieszczelności w połączeniach rur, ewent. w spoinach budowli kanalizacyjnych *	+	+	+	+	+	+	+	+
2.	nieszczelności w ścianach rur lub w ścianach budowli kanalizacyjnych *	+	+			+		+	
3.	nieszczelności w miejscach przyłączeń do rur, w połączeniach ze studzienkami lub obiektami sieciowymi *	+	+	+	+	+	+	+	+
4.	przeszkody ogólnie	+	+	+	+	+	+	+	+
5.	sedymencja	+	+	+	+	+	+	+	+
6.	stwardniały osad	+	+	+	+	+	+	+	+
7.	wystające uszczelnienie	+	+	+	+	+	+	+	+
8.	inkrustacje **	+	+			+			
9.	wystające przeszkody w przekroju poprzecznym przewodu **	+	+	+	+	+	+	+	+
10.	wrastanie korzeni **	+	+	+	+	+	+	+	+
11.	odchyłki położenia w kierunku pionowym	+	+	+	+		+	+	+
12.	odchyłki położenia w kierunku poziomym	+	+	+	+		+	+	+
13.	odchyłki położenia w osi przewodu	+	+	+	+		+	+	+
14.	odchyłki położenia – wygięcie	+	+	+	+	+	+	+	+
15.	zużycie mechaniczne (starcie)	+	+	+	+	+	+	+	+
16.	korozja w strefie połączenia	+	+	+	+	+	+	+	+
17.	korozja zaprawy w fugach					+			
18.	korozja zewnętrzna	+	+	+	+	+	+	+	+
19.	korozja wewnętrzna	+	+	+	+	+	+	+	+
20.	odkształcenie - dla rur podatnych ponad dopuszczalną wartość **						+	+	
21.	rysy w strefie połączeniowej	+	+	+	+		+	+	+
22.	rysy podłużne	+	+	+	+	+	+	+	+

Tabela 2.10. (c.d.)

23	rysy poprzeczne	+	+	+		+		+	+
24	rysy wychodzące z jednego punktu	+	+	+		+	+	+	+
25	lokalne powierzchnie ścięcia	+	+	+		+		+	+
26	brak części ścianki	+	+	+	+	+		+	+
27	brak części ścianki w strefie połączenia	+	+	+	+			+	+
28	powierzchnie ścięcia w całym przekroju przewodu	+	+	+				+	+
29	zawalenie się przewodu	+	+	+	+	+		+	+
30	odgałęzienie zatłokane	+	+	+	+	+	+	+	+
31	pęknięcie w strefie odgałęzienia	+	+	+	+	+	+	+	+
32	odgałęzienia nieprawidłowo wykonane	+	+	+	+	+	+	+	+
33	króciec wystający	+	+	+	+	+	+	+	+
34	króciec nieprawidłowo wykonany	+	+	+	+	+	+	+	+
35	pęknięcie w strefie króćca	+	+	+	+	+	+	+	+
36	podpiętrzenie ścieków	+	+	+	+	+	+	+	+

* - tylko uszkodzenia pierwotne, ** - zawsze są to uszkodzenia wtórne

2.5. Konsekwencje uszkodzeń przewodu kanalizacyjnego

2.5.1. Kryteria analizy konsekwencji uszkodzeń

Prawidłowo pracujący przewód kanalizacyjny powinien odprowadzać założoną ilość ścieków do odbiornika, przy jednoczesnej jego neutralności dla otoczenia, w którym jest prowadzony i przy minimalnej uciążliwości eksploatacyjnej dla zarządzającego siecią. Można więc scharakteryzować przewód jego parametrami wytrzymałościowymi, oddziaływaniem na otoczenie sprowadzającym się do szczelności oraz wydolnością - czyli parametrami hydraulicznymi. Konsekwencje zaniechania naprawy uszkodzeń, które powstały w przewodzie wyrażają się w zaburzeniu jego prawidłowej pracy. Analizę szkodliwości uszkodzeń występujących w przewodzie należy przeprowadzić więc pod kątem ich wpływu na wymienione zbiory parametrów, które można traktować jako podstawowe kryteria oceny prawidłowej pracy przewodu kanalizacyjnego (rysunek 2.6).

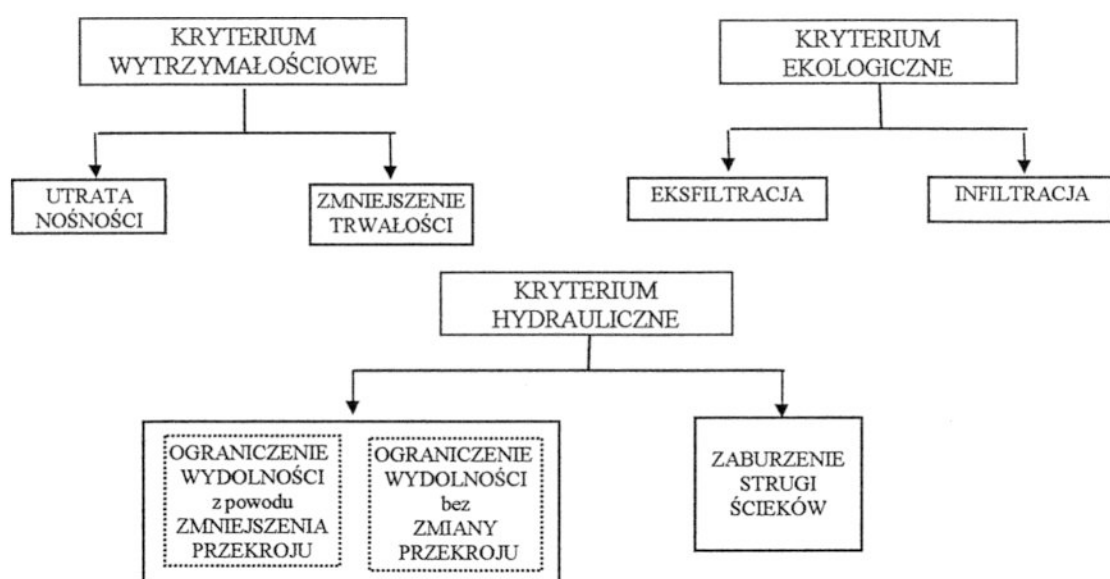


Rys.2.6. Kryteria oceny prawidłowej pracy przewodu kanalizacyjnego

Kryterium wytrzymałościowe związane jest z cechami wytrzymałościowymi przewodu, którymi są nośność i trwałość. Przez nośność należy rozumieć zdolność przewodu do przejmowania obciążeń, wyrażoną dopuszczalną wartością obciążeń określonego rodzaju [95]. Trwałość (wg [95]), jest to okres w ciągu którego przewód

zachowuje swoje właściwości użytkowe w normalnych warunkach eksploatacji (trwałość użytkowa), lub zdolność przeciwstawiania się działaniom czynników niszczących np.: korozji, określona okresem czasu potrzebnym do zużycia przewodu. W rozdziale 2.1 potraktowano trwałość przewodu jako cechę niemierzalną, dla oceny której należy przyjąć odpowiedni zestaw kryteriów. Brak szczelności przewodu (kryterium ekologiczne), objawia się w zależności od warunków gruntowo-wodnych, infiltracją wody do przewodu, lub eksfiltracją ścieków do gruntu. Parametry hydrauliczne przewodu mają zapewnić jego odpowiednią wydolność. Ograniczenie wydolności przewodu spowodowane jest stratami miejscowymi i stratami na długości powstającymi w czasie turbulentnego przepływu ścieków. Straty te wynikają z oporów jakie muszą pokonać płynące ścieki, oraz z rozpraszania energii w czasie poprzecznych, pulsacyjnych ruchów elementów cieczy, będących istotą ruchu turbulentnego [64]. Opory przepływu w kanałach ściekowych zależą od wymiaru kanału, współczynnika chropowatości, spadku hydraulicznego, współczynnika lepkości kinematycznej, a także od stosunku napełnienia kanału do wysokości jego przekroju [5].

Przyjmując powyższe założenia określono wyznaczniki wskazujące na niespełnienie lub spełnianie wybranego kryterium i określające pogorszenie parametrów charakteryzujących przewód (wyznaczniki stanu). Wyznaczniki stanu są powiązane z kryteriami, co pokazano na rysunku 2.7.



Rys. 2.7. Wyznaczniki określające pogorszenie stanu przewodu

Ograniczenie wydolności z powodu zmniejszenia przekroju - dotyczy przypadków uszkodzeń powodujących lokalne zmniejszenie przekroju poprzecznego przewodu np.: nacieki, przeszkody. Uszkodzenia te powodują również powstanie oporów miejscowych, które podobnie jak np.: połączenia rur prefabrykowanych bardzo znacznie wpływają na wielkość oporów przepływu [5]. Zwiększają one również burzliwość przepływu ścieków, oraz mogą powodować przerwanie ciągłości strugi. *Ograniczenie wydolności bez zmiany przekroju* - związane jest z uszkodzeniami, których oddziaływanie na wydolność przewodu wynika z powstania oporów liniowych przepływu (np.: łuszczenie powierzchni materiału), oporów miejscowych bez zmniejszenia przekroju poprzecznego przewodu (np.: rozsunięcie połączenia rur,

miejscowy brak ścianki przewodu), lub zwiększenia ilości prowadzonych ścieków (infiltracja). Przy przepływie burzliwym jednostajnym, jaki jest przyjmowany do obliczeń hydraulicznych przewodów, może zaistnieć sytuacja, w której chropowatości ścianek schowane są w podwarstwie laminarnej i przez to nie wpływają na ograniczenie wydolności. Jednak ze względu na rzeczywiste wymiary kanałów, ich spadki hydrauliczne, współczynniki lepkości kinematycznej oraz przepływy o praktycznym znaczeniu, w warunkach przepływu burzliwego jednostajnego chropowatości ścianek częściowo lub całkowicie wystają z podwarstwy laminarnej [5]. Biorąc pod uwagę zmienność przepływów w czasie, dopływy ścieków z przykanalików, oraz istniejące uszkodzenia należy się liczyć z powstaniem w kanale (szczególnie lokalnie) ruchu burzliwego niejednostajnego, powodującego sfalowanie zwierciadła i rozbryzgiwanie ścieków, oraz powstawanie zjawiska kawitacji.

Uszkodzenia zwiększające burzliwość przepływu powodują odsłanianie chropowatości na ściankach i tym samym ograniczają wydolność przewodów. Mogą również znacząco wpływać na powstawanie kawitacji i rozbryzgiwania ścieków. W celu umożliwienia analizy uszkodzeń pod kątem ich wpływu na wymienione zjawiska wprowadzono wyznacznik: *zaburzenie strugi ścieków*.

2.5.1.1. Ustalenie zależności między uszkodzeniami przewodu a wyznacznikami stanu

Ustalenie występowania bezpośrednich zależności między uszkodzeniami przewodu kanalizacyjnego a wyznacznikami stanu - określającymi pogorszenie jego parametrów, jest trudne ze względu na dużą złożoność mechanizmów prowadzących do powstawania uszkodzeń, istnieniem wzajemnych zależności między uszkodzeniami w przewodzie (uszkodzenia pierwotne i wtórne) oraz powiązania między stanem przewodu a środowiskiem gruntowo - wodnym w którym on się znajduje. Przykładowo, dla konkretnych uszkodzeń możliwe jest zachodzenie zarówno zjawiska eksfiltracji jak i infiltracji, w zależności od warunków gruntowo - wodnych w otoczeniu przewodu i aktualnego umiejscowienia uszkodzenia w stosunku do poziomu ścieków.

Aby stwierdzić istnienie zależności między uszkodzeniem a wyznacznikami stanu należy rozpoznać :

1. rodzaj uszkodzenia,
2. lokalizację uszkodzenia,
3. wielkość uszkodzenia lub jego wymiary decydujące np.: rozwartość rysy, głębokość, itp.,
4. charakter uszkodzenia (pierwotne, wtórne) i towarzyszące uszkodzeniu objawy np.: sedymentacja gruntu w sąsiedztwie nieszczelności,
5. warunki gruntowo - wodne w otoczeniu przewodu.

Zależności między uszkodzeniami przewodu a wyznacznikami stanu przedstawiono w tabeli 2.11. Tabela nie uwzględnia intensywności tych zależności, przyjęto w niej również tylko część uszkodzeń według listy ATV, pomijając te, których analiza wymaga dodatkowych informacji.

Tabela 2.11. Występowanie lub brak zależności między uszkodzeniami przewodu kanalizacyjnego a wyznacznikami stanu (+ oznacza występowanie zależności) . Przyjęto następujące oznaczenia wyznaczników: N - utrata nośność, T - zmniejszenie trwałość, E - eksfiltracja, I - infiltracja, W1 - ograniczenie wydolności z powodu zmniejszenia przekroju, W2 - ograniczenie wydolności bez zmiany przekroju, ZS - zaburzenie strugi ścieków

TYP USZKODZENIA		KRYTERIUM WYTRZYMAŁOŚCIOWE		KRYTERIUM EKOLOGICZNE		KRYTERIUM HYDRAULICZNE		
		N	T	E	I	W1	W2	ZS
1.	nieszczelności w połączeniach rur, ewent. w spoinach budowli kanalizacyjnych		+	+'	+'		+	+
2.	nieszczelności w ścianach rur lub w ścianach budowli kanalizacyjnych		+	+'	+'		+	+
3.	nieszczelności w miejscach przyłączy do rur, w połączeniach ze studzienkami lub obiektami sieciowymi		+	+'	+'		+	+
4.	przeszkody ogólnie					+		+
5.	sedymantacja					+		+
6.	stwardniały osad					+		+
7.	wystające uszczelnienie			+'	+'	+		+
8.	inkrustacje	+*	+			+		+
9.	wrastanie korzeni	+*	+	+'	+'	+		+
10.	odchyłki położenia w kierunku pionowym			+'	+'	+		+
11.	odchyłki położenia w kierunku poziomym			+'	+'	+		+
12.	odchyłki położenia w osi przewodu			+'	+'		+	+
13.	odchyłki położenia - wygięcie			+'	+'		+	+
14.	zużycie mechaniczne (starcie)	+**	+	+'***	+'** *		+	+
15.	korozja zewnętrzna	+**	+	+'***	+'** *			+
16.	korozja wewnętrzna	+**	+	+'***	+'** *		+	+
17.	odkształcenie - dla rur podatnych ponad dopuszczalną wartość	+				+		+
18.	rysy w strefie połączeniowej	+*	+	+'***	+'** *			+
19.	rysy podłużne	+	+	+'***	+'** *			+
20.	rysy poprzeczne	+*	+	+'***	+'** *			+
21.	rysy wychodzące z jednego punktu	+*	+	+'***	+'** *			+
22.	lokalne powierzchnie ścięcia	+*	+	+'***	+'** *			+
23.	brak części ścianki	+*	+	+'	+'		+	+
24.	powierzchnie ścięcia w całym przekroju przewodu	+	+	+'	+'	+		+
25.	zawalenie się przewodu	+	+	+'	+'	+		+
26.	odgałęzienie zatkane						+	
27.	pęknięcie w strefie odgałęzienia	+*	+	+'***	+'** *			+
28.	króciec wystający					+		+
29.	pęknięcie w strefie króćca	+*	+	+'***	+'** *			+

* - lokalna (miejscowa) utrata nośności

** - w zależności od intensywności i zakresu występowania uszkodzenia może mieć charakter lokalny

*** - może wystąpić przy dużej intensywności uszkodzenia

' - może wystąpić eksfiltracja lub infiltracja w zależności od poziomu wód gruntowych i usytuowania uszkodzenia

2.5.2. Rozpoznanie konsekwencji złego stanu przewodów

Spowodowane uszkodzeniami zaburzenia w pracy przewodów skutkują licznymi konsekwencjami, które można opisać wiążąc je z wyznacznikami stanu (tabela 2.12).

Tabela 2.12. Konsekwencje złego stanu przewodów kanalizacyjnych

KRYTERIA	WYZNACZNIKI	KONSEKWENCJE
KRYTERIUM WYTRZYMAŁOŚCIOWE	UTRATA NOŚNOŚCI	UTRATA ZDOLNOŚCI PRZENOSZENIA OBCIĄŻEŃ --- zniszczenie przewodu (katastrofa budowlana)
		CZĘŚCIOWE LUB CAŁKOWITE ZAMKNIĘCIE PRZEPŁYWU
		ROZŁUŻNIANIE I ZAPADANIE SIĘ GRUNTU NAD PRZEWODEM --- konsekwencje w postaci uszkodzeń sąsiadujących budowli
		UTRATA SZCZELNOŚCI PRZEWODU
	ZMNIEJSZENIE TRWAŁOŚCI	PRZYSPIESZENIE ZAISTNIENIA PRZYPADKU UTRATY NOŚNOŚCI
		KONIECZNOŚĆ ZWIĘKSZENIA INTENSYWNOŚCI KONTROLI PRZEWODU
		UTRATA SZCZELNOŚCI PRZEWODU
KRYTERIUM EKOLOGICZNE	EKSFILTRACJA	SKAŻENIE GLEBY --- (degradacja środowiska, wyłączenie terenu z produkcji rolnej, obniżenie walorów rekreacyjnych terenów, zagrożenie zdrowia ludności)
		SKAŻENIE WÓD GRUNTOWYCH --- (degradacja środowiska, zagrożenie ujęć wody do różnych celów, obniżenie walorów rekreacyjnych terenów, zagrożenie zdrowia ludności), wpływ agresywnych wód na obiekty budowlane - w tym sam przewód
		PODWYŻSZENIE POZIOMU WÓD GRUNTOWYCH --- zabagnianie terenów, konsekwencje w postaci uszkodzeń budowli (wypór, zalewanie pomieszczeń, zmiany parametrów geotechnicznych podłoża)
		ROZŁUŻNIANIE GRUNTU WOKÓŁ PRZEWODU --- nierównomierne osiadanie przewodu (deformacja kinety, dodatkowe rozszczelnienie przewodu, zmniejszenie wydolności), zmiana rozkładu obciążeń (utrata nośności i obniżenie trwałości przewodu), konsekwencje w postaci uszkodzeń sąsiadujących budowli
	INFILTRACJA	OBNIŻENIE POZIOMU WÓD GRUNTOWYCH --- przesuszanie terenów (degradacja środowiska, niszczenie zieleni miejskiej), konsekwencje w postaci uszkodzeń budowli (zmiany parametrów geotechnicznych podłoża - osiadanie)
		DODATKOWE HYDRAULICZNE OBCIĄŻENIE PRZEWODÓW --- zmniejszenie wydolności przewodów, przeciążenie pompowni, oczyszczalni ścieków itp. (zwiększone koszty utrzymania sieci, zanieczyszczenie wód odbiornika), przyspieszanie procesów erozyjnych w przewodzie (obniżenie trwałości przewodu)
		PRZEDOSTAWIANIE SIĘ GRUNTU DO PRZEWODU --- przeciążenie pompowni, oczyszczalni ścieków itp. (zwiększone koszty utrzymania sieci, zanieczyszczenie wód odbiornika), zmniejszanie wydolności przewodu poprzez zamulanie, zwiększenie intensywności abrazji (obniżenie trwałości przewodu)
		ROZŁUŻNIANIE GRUNTU, TWORZENIE WOLNYCH PRZESTRZENI WOKÓŁ PRZEWODU I ZAPADANIE SIĘ GRUNTU NAD PRZEWODEM - -- zmiana rozkładu obciążeń (utrata nośności i obniżenie trwałości przewodu), konsekwencje w postaci uszkodzeń sąsiadujących budowli
	OGRANICZENIE WYDOLNOŚCI	OKRESOWE LUB STAŁE SPIĘTRZENIE ŚCIEKÓW --- praca przewodu pod ciśnieniem powodująca rozszczelnianie, zalewanie najniższych pomieszczeń w budynkach (zagrożenie zdrowia ludności, uszkodzenia budynków, straty mienia)
		NIE ODBIERANIE ŚCIEKÓW OD KORZYSTAJĄCYCH Z SIECI --- okresowy zakaz lub niemożność korzystania z urządzeń powiązanych z kanalizacją (pogorszenie warunków higieniczno-zdrowotnych, wynikające różnego typu problemy organizacyjne, straty sfery produkcyjnej i usługowej)
		NIE ODBIERANIE WÓD OPADOWYCH --- zalewanie ulic i chodników - utrudnienia komunikacyjne
KRYTERIUM HYDRAULICZNE	ZABURZENIE STRUGI ŚCIEKÓW	ROZBRYZGIWANIE ŚCIEKÓW --- tworzenie się szczególnie agresywnego środowiska powodującego korozję (obniżenie trwałości przewodu)
		POWSTANIE ZJAWISKA KAWITACJI (obniżenie trwałości przewodu)
		ZWIĘKSZENIE OPORÓW PRZEPŁYWU

Przedstawione w tabeli 2.12 konsekwencje złego stanu przewodów wyrażają się w negatywnych skutkach dla:

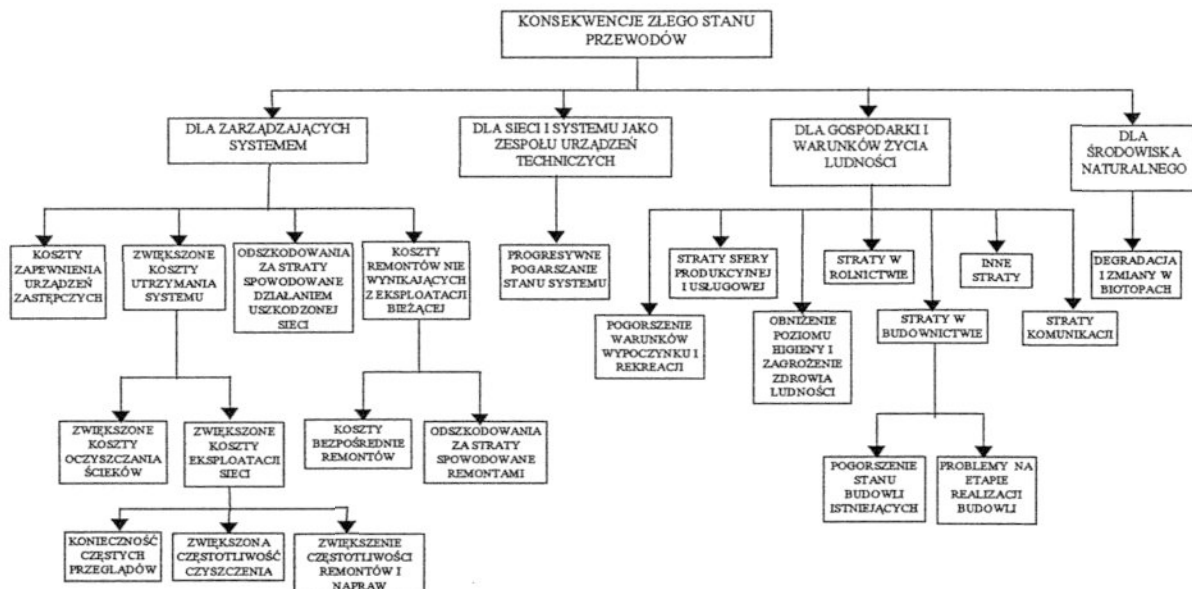
- gospodarki i warunków życia ludności,
- środowiska naturalnego,
- sieci i systemu jako zespołu urządzeń technicznych,
- zarządzających systemem.

Schemat tak podzielonych konsekwencji przejścia przewodów ze stanu prawidłowej pracy do stanu uszkodzenia przedstawiono na rysunku 2.8. Konsekwencje według rysunku 2.8 powiązane z wyznacznikami stanu określającymi utratę parametrów przewodu (tabela 2.13). Utrata przez przewód odpowiednich parametrów jest bezpośrednią przyczyną opisanych konsekwencji.

W tabeli przyjęto następujące oznaczenia:

Wyznaczniki stanu : N - utrata nośności, T - zmniejszenie trwałości, E - eksfiltracja, I - infiltracja, W - ograniczenie wydolności, ZS - zaburzenie strugi ścieków.

(+ oznacza, że utrata parametrów przewodu określanych przez dany wyznacznik przyczynia się bezpośrednio do opisanych konsekwencji)



Rys.2.8. Konsekwencje złego stanu przewodów kanalizacyjnych.

Tabela 2.13. Uzależnienie konsekwencji złego stanu przewodu od wyznaczników

KONSEKWENCJE ZŁEGO STANU PRZEWODU:	KRYTERIUM WYTRZYMAŁOŚCIOWE		KRYTERIUM EKOLOGICZNE		KRYTERIUM HYDRAULICZNE	
	N	T	E	I	W	ZS
DLA SIECI JAKO ZESPOŁU URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH						
PROGRESYWNE POGORSZENIE STANU SIECI		+	+	+		+
DLA ŚRODOWISKA NATURALNEGO						
DEGRADACJA I ZMIANY W BIOTOPACH			+	+		
DLA GOSPODARKI I WARUNKÓW ŻYCIA LUDNOŚCI						
POGORSZENIE WARUNKÓW WYPOCZYNKU I REKREACJI			+	+	+	
STRATY SFERY PRODUKCYJNEJ I USŁUGOWEJ			+		+	
OBNIŻENIE POZIOMU HIGIENY I ZAGROŻENIE ZDROWIA LUDNOŚCI			+	+	+	
STRATY W ROLNICTWIE			+	+		

Tabela 2.13. (c.d.)

STRATY W BUDOWNICTWIE	+		+	+	+	
INNE STRATY MIENIA			+		+	
STRATY KOMUNIKACJI	+		+	+	+	
DLA ZARZĄDZAJĄCYCH SYSTEMEM						
KOSZTY ZAPEWNIENIA URZĄDZEŃ ZASTĘPCZYCH					+	
ZWIĘKSZONE KOSZTY OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW				+		
ZWIĘKSZONE KOSZTY EKSPLOATACJI SIECI		+	+	+	+	
ODSZKODOWANIA ZA STRATY SPOWODOWANE DZIAŁANIEM USZKODZONEJ SIECI	+	+	+	+	+	
KOSZTY REMONTÓW NIE WYNIKAJĄCYCH Z EKSPLOATACJI BIEŻĄCEJ	+					

2.5.3. Ocena poziomu zagrożenia powodowanego przez uszkodzenia

Podstawą dla oceny poziomu zagrożenia stwarzanego przez uszkodzenie jest ustalenie konsekwencji jego wystąpienia w przewodzie, wyrażające się w jakościowym i ilościowym powiązaniu uszkodzenia z wyznacznikami stanu opisanymi w rozdziale 2.5.1. Celem analizy zagrożenia stwarzanego przez uszkodzenie jest uzyskanie tzw. listy rankingowej uszkodzeń jakie wystąpiły w przewodzie, dla ustalenia kolejności ich usuwania. W dalszym etapie, ocena stopnia zagrożenia stwarzanego przez pojedyncze uszkodzenie może pozwolić na całościową ocenę stanu uszkodzenia przewodu kanalizacyjnego, w którym wystąpiły różne uszkodzenia, oraz na wzajemne porównanie stanu różnych przewodów pracujących w odmiennych warunkach.

Za listę rankingową uszkodzeń w przewodzie można uznać zestawienie (kolejkę), w której uszkodzenia są ustawione według wzrastającego stopnia stwarzanego przez nie zagrożenia.

Klasyfikowanie uszkodzeń występujących w przewodzie kanalizacyjnym ze względu na stwarzany przez nie poziom zagrożenia jest zazwyczaj kłopotliwe i może prowadzić do kontrowersyjnych wniosków. Wynika to w znacznej mierze z tego, że poziom zagrożenia stwarzany przez dane uszkodzenie jest wielkością niemierzalną. Może być on różny dla tego samego uszkodzenia w zależności od przyjętego kryterium oceny. Można wymienić dwie grupy kryteriów dla wzajemnego porównywania uszkodzeń:

1. kryterium jest jedna lub kilka charakterystyk uszkodzenia i może być ono wykorzystywane do porównywania uszkodzeń jednego typu - np.: pęknięcia w przewodzie porównujemy na podstawie długości i szerokości szczeliny. Wbrew pozorowej jednoznaczności, kryterium to może prowadzić do błędnych wyników z powodu nieuwzględnienia wpływu czynników zewnętrznych na efekt działania uszkodzenia. Przykładowo zmiana warunków gruntowo-wodnych na trasie przewodu powoduje różne efekty dla identycznych pęknięć na stykach - brak widocznych następstw w gruntach spoistych, a w gruntach piaszczystych wplukiwanie materiału do wnętrza przewodu powodujące jego zapychanie połączone z powstawaniem niebezpiecznych pustek nad nieszczelnością.
2. kryterium stanowią mniej lub bardziej ściśle określone konsekwencje (następstwa i skutki) uszkodzenia, które można uszczegółowić wyróżniając kryterium wytrzymałości, kryterium ekologiczne i kryterium hydrauliczne wraz z odpowiadającymi im wyznacznikami (rysunek 2.7, rozdział 2.5.1). Analiza

uszkodzeń pod kątem konsekwencji ich wystąpienia w przewodzie umożliwia wzajemne porównywanie uszkodzeń różnych typów.

Im kryterium względem którego porównuje się uszkodzenia jest ściślej określone, tym dokładniejsze są wyniki przeprowadzanej analizy. Porównywanie uszkodzeń ze względu na stwarzany przez nie poziom zagrożenia jest możliwe również wtedy gdy kryterium nie jest jednoznacznie określone, a bierze się pod uwagę wszelkie potencjalne zagrożenia związane z funkcjonowaniem przewodu. W tym przypadku ocena jest jednak kłopotliwa i może prowadzić do kontrowersyjnych wyników, uzależnionych w znacznej mierze od umiejętności i doświadczenia oceniającego. Ważny jest również sposób w jaki dokonuje się analizy uszkodzeń, oraz znajomość czynników zewnętrznych wpływających na pracę przewodu.

Jeden z podstawowych sposobów analizy polega na stosowaniu tzw. *wag*, którymi są np.: liczby naturalne z pewnego przedziału [59]. Określając jak niebezpieczne jest uszkodzenie, poprzez przydzielenie mu liczby (wagi) umiejscawia się je w konkretnym miejscu przedziału liczbowego, co pozwala na zakwalifikowanie całego zbioru uszkodzeń i uzyskanie ich kolejki. Praktyczne zastosowanie tej metody polega na podzieleniu przyjętego zakresu liczb na podprzedziały, którym przyporządkowane są instrukcje działania dla serwisu obsługującego sieć. Po zastosowaniu metody otrzymuje się plan postępowania z poszczególnymi uszkodzeniami. Ze względu na swoją prostotę sposób z wagami jest chętnie stosowany. Jego podstawową wadą jest to, że ocenia się tu praktycznie jednocześnie cały zbiór uszkodzeń (przydziela się wartość liczbową pojedynczemu uszkodzeniu, ale w porównaniu ze wszystkimi pozostałymi, którym tę wartość już przydzielono). Oczywiście wpływa to niekorzystnie na dokładność wyników.

2.5.3.1. Ustalenie kolejki uszkodzeń z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

Kolejkę uszkodzeń ustala się przez porównywanie ich parami - każdorazowo analizując tylko dwa uszkodzenia. Dzięki temu zmniejsza się możliwość dokonania błędnej oceny. Metoda ta wykorzystuje matematyczną teorię formalną *Zlu*, zmodyfikowaną tak aby można ją było wykorzystać do opisu „nieporządných” kolejek [62]. Przez „nieporządne” kolejki rozumie się takie, w których nie wiadomo z całą pewnością kto za kim stoi, a kto przed kim.

W pracy [62] został wyprowadzony sposób ustalenia kolejności zbioru elementów, których jednoznaczne uszeregowanie nie jest oczywiste. Autor [59] zaproponował przyjęcie tej metody dla oceny wielkości niemierzalnych, w tym dla uszeregowania zbioru uszkodzeń przewodu, tak aby było jednoznaczne, które z uszkodzeń jest najniebezpieczniejsze i powinno być wyeliminowane w pierwszej kolejności. Stało się to inspiracją dla autora niniejszej pracy, który sprawdził przedstawioną metodę praktycznie [66]. Z powodu względnej trudności w ustaleniu stopnia prawdziwości zdania: *uszkodzenie u_1 jest bardziej niebezpieczne od uszkodzenia u_2* , oznaczanego $s(u_1, u_2)$ - szczególnie przy porównywaniu dużego zbioru uszkodzeń, przeprowadził on własne poszukiwania literaturowe. Udało się uzyskać rozwiązanie zbieżne z proponowanym w [62] i [59], wygodniejsze jednak w praktycznym zastosowaniu.

Klasyfikacja elementów zbiorów dla ustalenia wzajemnych zależności między nimi (np.: ustalenie podobieństwa lub różnic pomiędzy poszczególnymi elementami) była jednym z pierwszych obszarów na których zastosowano zbiory rozmyte [46].

Rozważmy zbiór $O = (o_1, o_2, \dots, o_n)$ obiektów. Zdarza się (gdy np. obiekty nie są dostępne bezpośrednio obserwacji lub charakteryzują się cechami niemierzalnymi), że jedynym źródłem danych są informacje pochodzące od ekspertów, charakteryzujące się wieloaspektowością (właściwą ludziom) w podejściu i ocenie obiektów. Wynikiem takiego podejścia może być relacja rozmyta $R \subseteq O \times O$ o wartościach $\chi(o_i, o_j)$ interpretowanych np.: jako stopień podobieństwa jednostek o_i oraz o_j . Dalsze postępowanie zależy od tego jakie formalne właściwości ma relacja $R \subseteq O \times O$, w tym przede wszystkim jaki typ przechodniości reprezentuje.

Pojęcie relacji rozmytej jest jednym z podstawowych pojęć teorii zbiorów rozmytych. Tak jak zbiór rozmyty jest uogólnieniem zbioru nierozmytego, tak relacja rozmyta jest uogólnieniem relacji nierozmytej.

Według [32], relację rozmytą dwuargumentową R między dwoma zbiorami (nierozmytymi) $X = \{x\}$ i $Y = \{y\}$ definiujemy jako zbiór rozmyty określony na iloczynie kartezjańskim $X \times Y$, tzn. $R \subseteq X \times Y = \{(x, y): x \in X, y \in Y\}$, $\forall x \in X, \forall y \in Y$.

Jest więc ona zbiorem par

$$R = \{(\chi_R(x, y), (x, y))\}, \quad \forall x \in X, \quad \forall y \in Y, \quad (2.6)$$

gdzie $\chi_R: X \times Y \rightarrow [0, 1]$ jest funkcją przynależności relacji rozmytej R przypisującą każdej parze $(x, y), x \in X, y \in Y$, jej stopień przynależności $\chi_R(x, y) \in [0, 1]$, będący miarą intensywności relacji rozmytej R między x i y .

Relację rozmytą można zapisać w postaci:

$$R = \sum_{x, y} \chi_R(x, y) / (x, y), \quad (2.7)$$

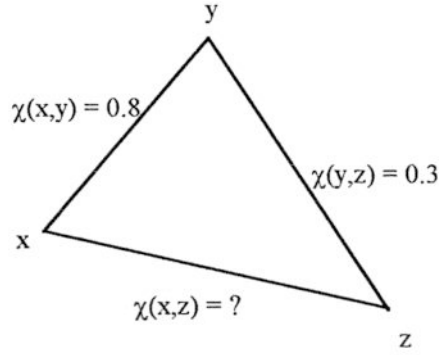
jednak najczęściej określa się ją za pomocą macierzy np.:

niech $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$ - relacja $R \subseteq X \times Y$ o stopniach przynależności $\chi_R(x, y)$:

$$\chi_R(x, y) = \begin{matrix} & y_1 & y_2 & y_3 \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} \chi_{11} & \chi_{12} & \chi_{13} \\ \chi_{21} & \chi_{22} & \chi_{23} \\ \chi_{31} & \chi_{32} & \chi_{33} \\ \chi_{41} & \chi_{42} & \chi_{43} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (2.8)$$

Bezpośrednie zdefiniowanie pojęcia przechodniości relacji rozmytej jest trudne. Zazwyczaj definiuje się typ przechodniości związany z daną relacją. Przechodność jest podstawową właściwością relacji rozmytych, decydującą o ich znaczeniu teoretycznym i roli w praktycznych zastosowaniach [46]. Przechodność relacji określa warunki wzajemnego powiązania stopni przynależności χ_{ij} . Można przedstawić następującą graficzną interpretację przechodniości relacji rozmytej R [62].

Jeżeli w graficznej prezentacji relacji węzeł x jest połączony z węzłem y oraz węzeł y jest połączony z węzłem z , to musi istnieć połączenie węzłów x i z . Jeśli jest to prawdziwe dla dowolnych trzech węzłów, to relację taką nazywa się przechodnią. Każdej parze elementów powiązanych ze sobą relacją przypisana jest liczba z przedziału $[0, 1]$ (stopień przynależności). Połączenia węzłów grafu (rysunek 2.9) mają różną moc. Powstaje pytanie jaką liczbę należy przypisać odcinkowi łączącemu punkty x oraz z , aby relacja była przechodnia.



Rys.2.9. Graficzna interpretacja przechodniości relacji rozmytej [62]

Odpowiedzi na to pytanie mogą być różne, tak jak wiele jest możliwości wyboru rodzaju przechodniości relacji. Przykładowo relacja rozmyta $R \subseteq X \times X$ jest przechodnia w sensie max-min wtedy i tylko wtedy, gdy [32]:

$$\chi_R(x, z) \geq \bigvee_{y \in Y} (\chi_R(x, y) \wedge \chi_R(y, z)), \quad \forall x, z \in X. \quad (2.9)$$

Algebraiczny sposób definiowania przechodniości został przedstawiony między innymi w [62]. W literaturze przedmiotu można znaleźć definicje i interpretacje różnych typów przechodniości. W pracy [46] poddano wszechstronnej analizie formalnej podstawowe definicje przechodniości.

Typy przechodniości relacji rozmytych mają bezpośredni związek z problematyką preferencji i wyboru. Przyjmijmy, że $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ jest zbiorem uszkodzeń i zadaniem eksperta jest wybór uszkodzenia najmniej niebezpiecznego, lub uporządkowanie ich od najbardziej niebezpiecznego do najmniej niebezpiecznego (ustalenie kolejki uszkodzeń) ze względu na wyróżnione kryterium lub zespół kryteriów. Podejmujący decyzje będzie porównywał uszkodzenia parami, co ma na celu zmniejszenie możliwości popełnienia błędu.

Niech $\chi(x_i, x_j)$ z przydzieloną jej wartością wskazuje określoną preferencję uszkodzenia x_i względem x_j . W celu ułatwienia formułowania preferencji jednego uszkodzenia w stosunku do drugiego proponuję określoną skalę ocen, unormowaną do odcinka $[0, 1]$:

1. x_i jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_j (absolutna preferencja x_i względem x_j) -
 $\chi(x_i, x_j) = 1$
2. x_i jest zdecydowanie niebezpieczniejsze od x_j -
 $\chi(x_i, x_j) = 0.9$
3. x_i jest znacznie niebezpieczniejsze od x_j -
 $\chi(x_i, x_j) = 0.75$
4. x_i jest nieco niebezpieczniejsze od x_j -
 $\chi(x_i, x_j) = 0.6$
5. x_i i x_j są jednakowo niebezpieczne (x_j i x_i są preferowane jednakowo) -
 $\chi(x_i, x_j) = 0.5$

Wartości $\chi(x_i, x_j)$ należące do obustronnie otwartego przedziału $(0.5, 1)$ wskazują na wyraźnie określoną preferencję uszkodzenia x_i względem x_j z intensywnością tej preferencji zmieniającą się od średniej do silnej. Ponadto przyjmuje się, że suma preferencji x_i względem x_j , oraz x_j względem x_i jest równa jeden, to znaczy:

$$\chi(x_i, x_j) + \chi(x_j, x_i) = 1. \quad (2.10)$$

Ponadto porównując dane uszkodzenie z sobą samym nie można przypisać żadnej preferencji - $\chi(x_i, x_i) = 0$.

Dzięki przypisaniu każdej parze uszkodzeń wartości $\chi(x_i, x_j)$ oraz przyjmując $\chi(x_j, x_i) = 1 - \chi(x_i, x_j)$ i $\chi(x_i, x_i) = 0$ otrzymuje się rozmytą relację (*preferencji*) $R \subseteq X \times X$ z funkcją przynależności $\chi_R(x_i, x_j)$.

Jeżeli otrzymana relacja spełnia szczególne warunki, to znaczy jeśli R jest superprzechodnia, względnie addytywnie lub multiplikatywnie przechodnia to możliwe jest (na podstawie wartości χ) odtworzenie tzw. *funkcji użyteczności* charakteryzującej sposób wartościowania czyli przyjmowania wartości χ przez eksperta porównującego uszkodzenia [46]. Formalnie funkcja użyteczności odwzorowuje zbiór rozwiązań w skalę przedziałową $[0,1]$ w zależności od typu przechodniości.

W trakcie porównywania uszkodzeń sposób wartościowania nie jest ściśle określony, ma raczej charakter intuicyjny. Powoduje to powstawanie wątpliwości co do przydzielanego stopnia preferencji, szczególnie wtedy, gdy kryteria względem których porównuje się uszkodzenia są liczne lub rozmyte (nieostre). W praktyce oceny preferencyjne zawierają więc niezgodności, wyrażające się w tym, że relacja preferencji R , a zwłaszcza typ jej rozmytej przechodniości odbiega od tych przy których daje się jednoznacznie odtworzyć funkcja użyteczności. Im więcej powstaje wątpliwości w trakcie ustalania wartości χ , tym oceny preferencyjne mogą być bardziej niezgodne. W skrajnym przypadku otrzymana relacja może przestać spełniać wymagania stawiane relacjom porządkującym (np. według Kaufmanna porządkiem rozmytym jest relacja rozmyta, która jest zwrotna, przechodnia i antysymetryczna [32]).

Jednym ze sposobów uniknięcia powyższego problemu jest przekształcenie relacji R do postaci relacji *ściślej preferencji* R^S o funkcji przynależności $\chi_R^S(x_i, x_j)$.

Trzy najbardziej znane wzory transformacyjne zostały przedstawione w pracy [46]. Jeżeli rozmyta relacja R^S określona którymkolwiek z tych wzorów spełnia warunek *istnienia* ściślej preferencji, tj. :

$$\chi^S(x, y) > 0 \text{ i } \chi^S(y, z) > 0 \Rightarrow \chi^S(x, z) > 0 \text{ dla dowolnych } x, y, z \in X, \quad (2.11)$$

to istnieją w X rozwiązania niezdominowane ze względu na tą relację.

Relacja R^S określona transformacją:

$$\chi^S(x_i, x_j) = 0 \vee [\chi(x_i, x_j) - \chi(x_j, x_i)], \quad (2.12)$$

spełnia warunek (2.11), gdy wyjściowa relacja R jest *s-przechodnia*, to znaczy spełniony jest warunek:

dla dowolnych $x, y, z \in X$ i $(x \neq y, y \neq z, z \neq x)$:

$$\chi(x, y) > \chi(y, x) \text{ i } \chi(y, z) > \chi(z, y) \Rightarrow \chi(x, z) > \chi(z, x). \quad (2.13)$$

Jeżeli relacja R nie spełnia warunku (2.13), oznacza to, że w trakcie porównywania uszkodzeń (ustalania $\chi(x_i, x_j)$) został popełniony gruby błąd - należy sprawdzić oceny $\chi(x_i, x_j)$ przydzielane uszkodzeniom.

Aby wybrać uszkodzenie najmniej niebezpieczne ze zbioru uszkodzeń $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, na którym określono relację rozmytą $R \subseteq X \times X$, przetransponowaną następnie w relację ścisłego porządku R^S , można wykorzystać koncepcję optymalnego wyboru Orłowskiego [46].

Jeżeli $\chi^S(x_i, x_j) > 0$, to możemy uszkodzenie x_i uznać za bardziej niebezpieczne od x_j w stopniu równym $\chi^S(x_i, x_j)$. Będzie się mówiło wówczas, że x_i dominuje x_j w stopniu $\chi^S(x_i, x_j)$. Za pierwsze w zbiorze uszkodzeń (najgroźniejsze) przyjmuje się to uszkodzenie, które jest zdominowane przez pozostałe w najniższym stopniu.

Oznaczmy przez ND zbiór rozmyty określony na X , którego funkcja przynależności dana jest wzorem :

$$ND(x_i) = 1 - \max_{x_j \in X} \chi^S(x_j, x_i), \quad \forall x_i \in X. \quad (2.14)$$

$ND(x_i)$ określa stopień, do którego liczba rozmyta x_i nie jest zdominowana przez elementy zbioru X . Inaczej mówiąc, $ND(x_i)$ określa stopień, w którym x_i może być uznane za najgroźniejsze z uszkodzeń. Jest to więc uszkodzenie o maksymalnym stopniu dominacji. Podzbiór najniebezpieczniejszych (tak samo niebezpiecznych) uszkodzeń w zbiorze X określa się następująco:

$$X^{ND} = \left\{ x_i \in X \mid ND(x_i) = \max_{x_j \in X} ND(x_j) \right\}. \quad (2.15)$$

Wzór (2.14) pozwala skutecznie określić kolejkę uszkodzeń występujących w przewodzie. W tym celu należy obliczyć stopień dominacji $ND(x_i)$ dla każdego uszkodzenia ze zbioru X oraz wybrać uszkodzenie (uszkodzenia) o maksymalnym stopniu dominacji. Następnie należy powtórnie obliczyć stopnie dominacji dla zbioru uszkodzeń, z którego wykluczono uprzednio wybrane, najgroźniejsze uszkodzenie. Ustalenie kolejki uszkodzeń polega więc na etapowym wybieraniu uszkodzeń najgroźniejszych, z coraz mniej licznego podzbioru X . Przyjmuje się więc założenie, że po wykluczeniu dowolnego uszkodzenia z rozważań - po usunięciu go z kolejki, pozostałe uszkodzenia dalej tworzą kolejkę.

Autor [46] przeanalizował właściwości zbioru rozmytego ND określonego na zbiorze $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, o funkcji przynależności danej wzorem:

$$ND(A_i) = 1 - \max_{x_j \in X} R^S(A_j, A_i), \quad \forall A_i \in X, \quad (2.16)$$

gdzie: $R^S(A_j, A_i)$ są funkcjami przynależności relacji R^S powstałej przez transformację (2.12) s-przechodniej relacji rozmytej $R \subseteq A \times A$. Zwracając szczególną uwagę na rozmyte elementy zbioru A , które nie były zdominowane przez żadne inne - $ND(A_i) = 1$, udowadnia twierdzenie mające praktyczne znaczenie w stosowaniu koncepcji Orłowskiego.

Oznaczmy przez $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_m\}$ następny skończony zbiór liczb rozmytych;

Twierdzenie 4.6 [46]. Jeżeli $v \in R_\Delta$ (dla przyjętych oznaczeń - $\chi(x_i, x_j) \forall x_i, x_j \in X$ należy do s-przechodniej relacji R), to

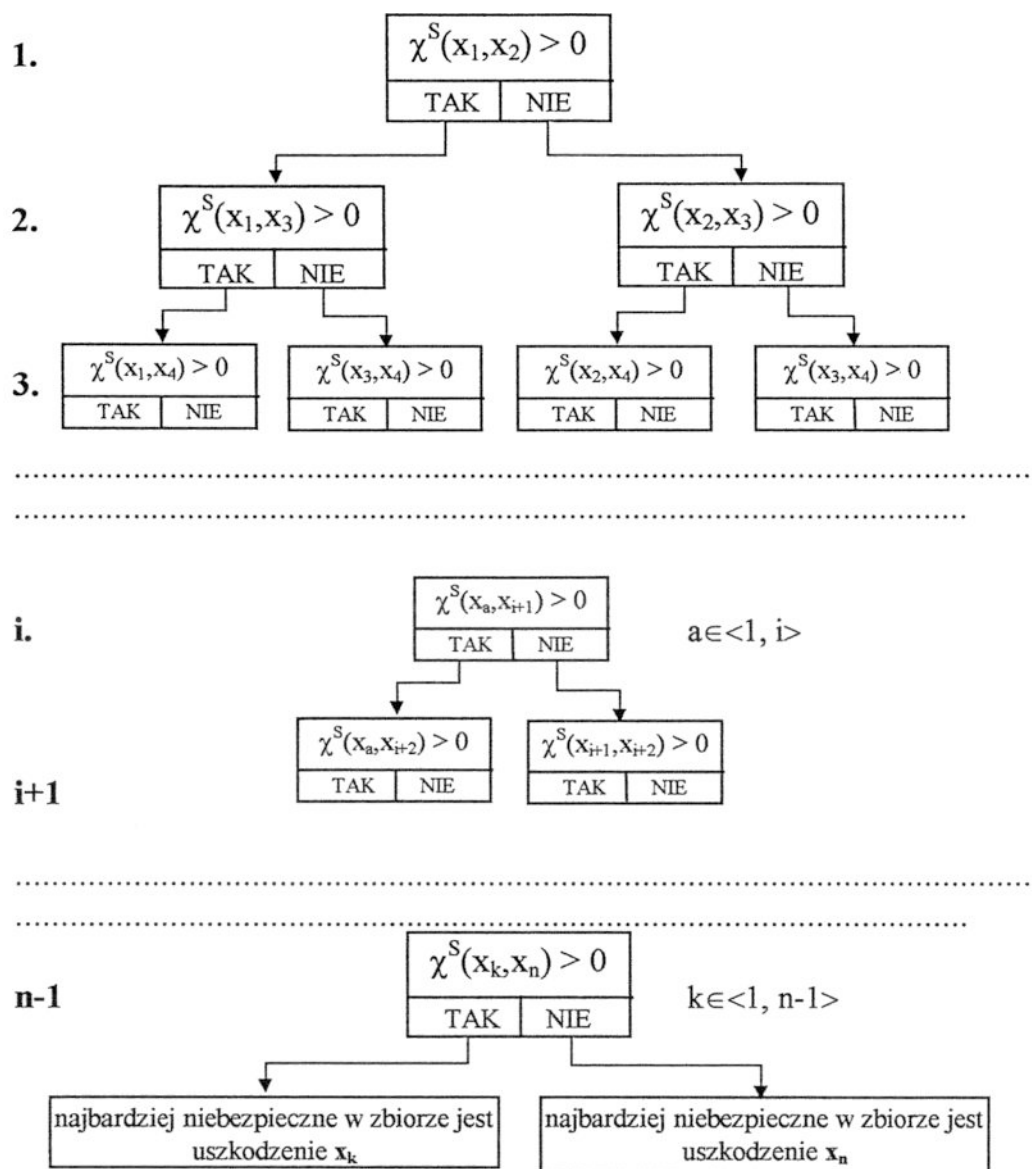
- a) $R^s(B_s, A_r) > 0 \Rightarrow B_s \in (A \cup B)^{UND}$;
 - b) $R^s(B_j, A_r) = 0$ dla każdego $B_j \in B^{UND} \Rightarrow A_r \in (A \cup B)^{UND}$;
 - c) $R^s(B_j, A_r) = 0 \Rightarrow A_r \in (A \cup \{B_j\})^{UND}$;
 - d) $R^s(B_j, A_r) > 0 \Rightarrow B_j \in (A \cup \{B_j\})^{UND}$;
 - e) $(A \cup B)^{UND} = (A^{UND} \cup B^{UND})^{UND}$;
- przy czym $A_r \in A^{UND}, B_s \in B^{UND}$.

(2.17)

Dowody poszczególnych tez twierdzenia można znaleźć w pracy [46], strony 87, 88. Tezy c) i d) umożliwiają szybkie wyznaczenie najmniejszej liczby w zbiorze A po zastosowaniu s-przechodnich wskaźników porównywania liczb rozmytych. Należy mianowicie porównać A_1 z A_2 i wybrać mniejszy element, następnie porównać go z A_3 , itd. Po wybraniu najmniejszego elementu, porównywanie powtarza się dla stopniowo ograniczanego zbioru A .

Ten sposób postępowania można bezpośrednio zastosować dla wyznaczenia najniebezpieczniejszego uszkodzenia w zbiorze.

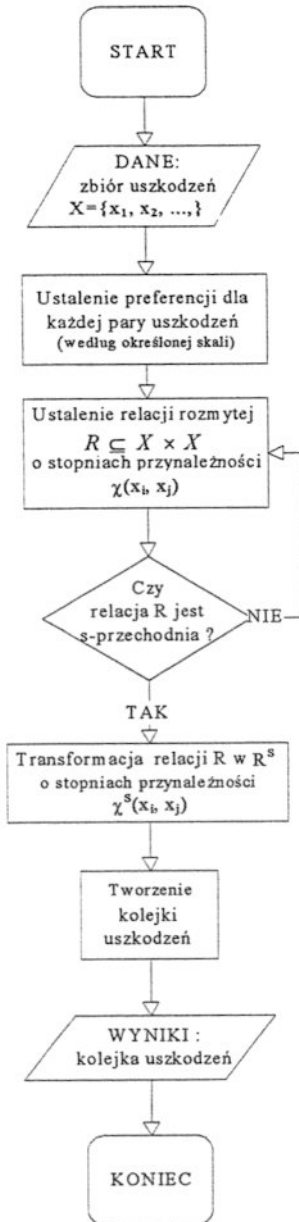
W tym celu należy porównać uszkodzenie x_1 z x_2 , wybrać bardziej niebezpieczne z nich, następnie porównać je z x_3 , wybrać bardziej niebezpieczne itd. Porównanie uszkodzeń polega na analizie stopni przynależności $\chi^s(x_i, x_j)$ relacji R^s , przyjmujących wartości z przedziału $<0,1>$. Jeśli $\chi^s(x_i, x_j) = 0$, uszkodzenie x_j jest bardziej niebezpieczne od x_i , w pozostałych przypadkach tzn. $\chi^s(x_i, x_j) > 0$, uszkodzenie x_i jest bardziej niebezpieczne od x_j . Schemat wyszukiwania uszkodzenia najbardziej niebezpiecznego ze zbioru $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ można przedstawić następująco:



Rys.2.10. Schemat poszukiwania uszkodzenia najbardziej niebezpiecznego zbioru uszkodzeń X

Po wybraniu uszkodzenia najbardziej niebezpiecznego, analizę powtarza się dla zmodyfikowanej relacji R_{n-1}^S . Relacja ta nie posiada stopni przynależności $\chi^S(x_k, x_j)$ oraz $\chi^S(x_i, x_k)$, $\forall x_i, x_j \in X$, gdzie przez x_k oznaczono wybrane uprzednio uszkodzenie najbardziej niebezpieczne, wykluczone z dalszych rozważań. Macierz określająca stopnie przynależności R_{n-1}^S powstaje z macierzy R^S przez wyrzucenie wiersza i kolumny odpowiadających uszkodzeniu x_k . Działania powtarza się aż do ustalenia ważności wszystkich uszkodzeń - ostatnie dwa, najmniej niebezpieczne, uzyskuje się z analizy relacji R_2^S .

Schemat blokowy służący ustaleniu kolejki uszkodzeń według poziomu stwarzanego przez nie zagrożenia przedstawiono na rysunku 2.11. Budując algorytmy szczegółowe dla poszczególnych bloków schematu można uzyskać program pozwalający ustawiać uszkodzenia, w którym rola eksperta polegać będzie na porównywaniu par uszkodzeń i wskazaniu ich preferencji.



Rys.2.11. Ideowy schemat blokowy algorytmu ustalenia kolejki uszkodzeń według wzrastającego stopnia

2.5.3.2. Przykład I

Należy ustalić kolejkę sześciu uszkodzeń zaobserwowanych w trakcie przeglądu przewodu betonowego o średnicy 500 mm. Uszkodzenia zapisano według notacji ATV [77]. Przewód ułożony jest w gruntach niespoistych, powyżej zwierciadła wody gruntowej.

Uszkodzenia (występujące razem uszkodzenia pierwotne i wtórne):

1. nieszczelne na całym obwodzie połączenie rur, z inkrustacją na całym obwodzie, redukcja powierzchni przekroju ok. 5% - x_1 ;

formalny zapis uszkodzenia : UC - -
HI - - 05 [%]

2. rysa poprzeczna w kluczu o maksymalnej szerokości nie przekraczającej 1 mm, widoczna wilgoć, towarzysząca inkrustacja redukująca przekrój ok. 1% - x_2 ;

formalny zapis uszkodzenia : RQFO 01 [mm]
HIFO 01 [%]

3. rysa podłużna w kluczu z towarzyszącą w kinecie, na całej długości rury maksymalna szerokość rysy w kluczu do 2 mm, w kinecie nieznana, widoczna wilgoć - x_3 ;

formalny zapis uszkodzenia : RLFO 02 R
RLFU nm R

4. wystający króciec w prawym węzłowie, redukujący przekrój o ok. 10% - x_4 ;

formalny zapis uszkodzenia : SE - R 10 [%]

5. wystający króciec w lewym węzłowie, redukujący przekrój o ok. 5%, z rysą poprzeczną na całym obwodzie, śladami wilgoci i towarzyszącą inkrustacją redukującą przewód o ok. 10% (rysa powstała w trakcie niezgodnego z zasadami osadzania króćca, nie zapewniono również szczelności połączenia), nie można określić maksymalnej szerokości rysy - x_5 ;

formalny zapis uszkodzenia : SEFL 05 [%]
RQF - nm
HIF - 10 [%]

6. wystająca uszczelka w lewej części połączenia rur, widoczne ślady wilgoci - x_6 ;

formalny zapis uszkodzenia : HGFL 02 [%]

Uszkodzenia postanowiono porównać ze względu na ich oddziaływanie na:

- A) nośność przewodu (kryterium wytrzymałościowe),
- B) wydolność przewodu (kryterium hydrauliczne),
- C) eksfiltrację ścieków do gruntu (kryterium ekologiczne).

A. Porównanie uszkodzeń ze względu na nośność przewodu

I. Ustalenie preferencji dla par uszkodzeń (wg uprzednio przyjętej skali)

- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_2 - uszkodzenie x_2 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_1 - $\chi(x_2, x_1) = 0.75$,
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_3 - uszkodzenie x_3 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_1 - $\chi(x_3, x_1) = 1$,
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_4 - uszkodzenie x_4 jest nieco niebezpieczniejsze od x_1 - $\chi(x_4, x_1) = 0.6$,
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_5 - uszkodzenie x_5 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_1 - $\chi(x_5, x_1) = 1$,
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_6 - uszkodzenia x_1 i x_6 są jednakowo niebezpieczne - $\chi(x_1, x_6) = 0.5$,
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_3 - uszkodzenie x_3 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_2 - $\chi(x_3, x_2) = 1$,

- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_4 - uszkodzenie x_2 jest nieco niebezpieczniejsze od x_4 - $\chi(x_2, x_4) = 0.6$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_5 - uszkodzenie x_5 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_2 - $\chi(x_5, x_2) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_6 - uszkodzenie x_2 jest zdecydowanie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_2, x_6) = 0.9$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_4 - uszkodzenie x_3 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_4 - $\chi(x_3, x_4) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_5 - uszkodzenie x_3 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_5 - $\chi(x_3, x_5) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_6 - uszkodzenie x_3 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_3, x_6) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_4 z x_5 - uszkodzenie x_5 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_4 - $\chi(x_5, x_4) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_4 z x_6 - uszkodzenie x_4 jest zdecydowanie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_4, x_6) = 0.9$
- porównuje się uszkodzenia x_5 z x_6 - uszkodzenie x_5 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_5, x_6) = 1$

II. Ustalenie relacji rozmytej $R \subseteq X \times X$

Relację ze stopniami przynależności $\chi_R(x, y)$ przedstawiono w postaci macierzy.

Skorzystano ze wzorów: $\chi(x_i, x_j) + \chi(x_j, x_i) = 1$ oraz $\chi(x_i, x_i) = 0$.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0	0.25	0	0.4	0	0.5
x_2	0.75	0	0	0.6	0.25	0.9
x_3	1	1	0	1	0.75	1
x_4	0.6	0.4	0	0	0.25	0.9
x_5	1	0.75	0.25	0.75	0	1
x_6	0.5	0.1	0	0.1	0	0

III. Sprawdzenie s-przechodności relacji R - warunek (2.13)

Należy sprawdzić wszystkie możliwe „trójki” stopni przynależności określonych dla różnych uszkodzeń. Ze względu na wartości preferencji przydzielane parom uszkodzeń oraz powiązanie między $\chi(x_i, x_j)$ i $\chi(x_j, x_i)$ warunek (2.13) sprowadzi się do postaci :

dla dowolnych $x_i, x_j, x_k \in X$ i $(x_i \neq x_j, x_j \neq x_k, x_k \neq x_i)$:

$$\chi(x_i, x_j) > 0.5 \text{ i } \chi(x_j, x_k) > 0.5 \Rightarrow \chi(x_i, x_k) > 0.5$$

Warunek ten jest spełniony - relacja R jest s-przechodnia.

IV. Transformacja relacji R do relacji ścisłej preferencji R^S - wzór (2.12)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0	0	0	0	0	0
x_2	0.5	0	0	0.2	0	0.8
x_3	1	1	0	1	0.5	1
x_4	0.2	0	0	0	0	0.8
x_5	1	0.5	0	0.5	0	1
x_6	0	0	0	0	0	0

V. Budowa kolejki uszkodzeń

Kolejkę budujemy stopniowo, poszukując uszkodzeń najbardziej niebezpiecznych

a) uszkodzenie bardziej
niebezpieczne ↓

$$\begin{aligned}\chi^S(x_1, x_2) &= 0 & x_2 \\ \chi^S(x_2, x_3) &= 0 & x_3 \\ \chi^S(x_3, x_4) &= 1 & x_3 \\ \chi^S(x_3, x_5) &= 0.5 & x_3 \\ \chi^S(x_3, x_6) &= 1 & x_3 - \text{uszkodzenie najbardziej niebezpieczne}\end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned}\chi^S(x_1, x_2) &= 0 & x_2 \\ \chi^S(x_2, x_4) &= 0.2 & x_2 \\ \chi^S(x_2, x_5) &= 0 & x_5 \\ \chi^S(x_5, x_6) &= 1 & x_5 - \text{uszkodzenie najbardziej niebezpieczne}\end{aligned}$$

c)

$$\begin{aligned}\chi^S(x_1, x_2) &= 0 & x_2 \\ \chi^S(x_2, x_4) &= 0.2 & x_2 \\ \chi^S(x_2, x_6) &= 0.8 & x_2 - \text{uszkodzenie najbardziej niebezpieczne}\end{aligned}$$

d)

$$\begin{aligned}\chi^S(x_1, x_4) &= 0 & x_4 \\ \chi^S(x_4, x_6) &= 0.8 & x_4 - \text{uszkodzenie najbardziej niebezpieczne}\end{aligned}$$

e)

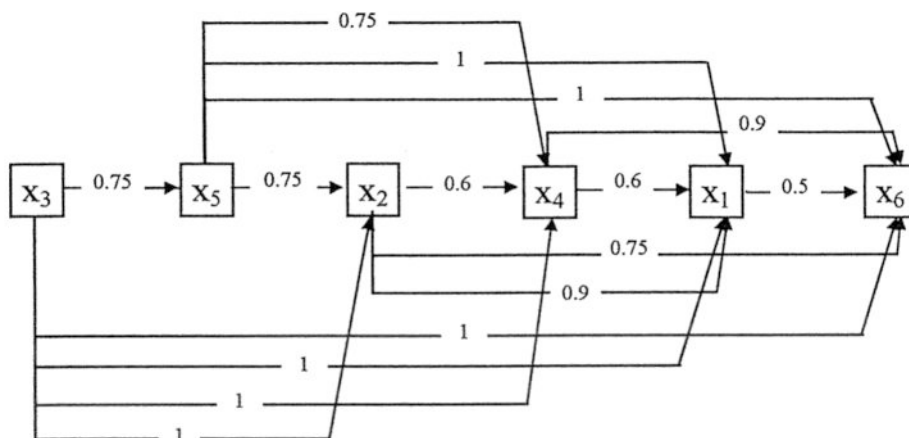
$$\chi^S(x_1, x_6) = 0 \quad x_6 - \text{uszkodzenie najbardziej niebezpieczne}$$

Kolejność uszkodzeń od najbardziej niebezpiecznego jest więc następująca:

$$x_3, x_5, x_2, x_4, x_6, x_1$$

Porównując uszkodzenia x_1 i x_6 przydzielono im $\chi(x_1, x_6) = 0.5$, co oznacza, że są one jednakowo niebezpieczne. Ich pozycja w kolejce może więc być przestawiona. Budowa kolejki uszkodzeń na podstawie relacji R^S nie pozwala uwzględnić uszkodzeń jednakowo niebezpiecznych. W przypadku występowania takiej sytuacji ($\chi(x_i, x_j) = 0.5$), x_i i x_j zostają ustawione obok siebie, lecz w różnych pozycjach kolejki. Graf kolejki z zaznaczonymi wartościami preferencji rozwiązuje ten problem - pozwala zauważyć jednakowy poziom zagrożenia stwarzany przez te uszkodzenia. Ponadto porównując przydzielone preferencje uszkodzeń jednakowo niebezpiecznych z pierwszym uszkodzeniem bardziej od nich niebezpiecznym – w tym przypadku $\chi(x_4, x_6) = 0.9$ i $\chi(x_4, x_5) = 0.6$, otrzymujemy rzeczywistą kolejność uszkodzeń.

Budując kolejkę uszkodzeń za pomocą obliczanych stopni dominacji $ND(x_i)$, można bezpośrednio spostrzec uszkodzenia jednakowo niebezpieczne ponieważ wartości stopni dominacji są dla nich jednakowe. Przydzielanie uszkodzeniom wartości $\chi(x_i, x_j) = 0.5$ występuje tym częściej, im bardziej nieostre (niejednoznaczne) jest kryterium ich porównywania. Graf kolejki rozmytej przedstawiono na rysunku 2.12.



Rys.2.12. Graf kolejki rozmytej dla przykładu A

B. Porównanie uszkodzeń ze względu na wydolność przewodu

I. Ustalenie preferencji dla par uszkodzeń (wg uprzednio przyjętej skali)

- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_2 - uszkodzenie x_1 jest zdecydowanie niebezpieczniejsze od x_2 - $\chi(x_1, x_2) = 0.9$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_3 - uszkodzenie x_1 jest zdecydowanie niebezpieczniejsze od x_3 - $\chi(x_1, x_3) = 0.9$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_4 - uszkodzenie x_4 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_1 - $\chi(x_4, x_1) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_5 - uszkodzenie x_5 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_1 - $\chi(x_5, x_1) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_6 - uszkodzenie x_1 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_1, x_6) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_3 - uszkodzenie x_2 jest nieco niebezpieczniejsze od x_3 - $\chi(x_2, x_3) = 0.6$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_4 - uszkodzenie x_4 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_2 - $\chi(x_4, x_2) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_5 - uszkodzenie x_5 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_2 - $\chi(x_5, x_2) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_6 - uszkodzenie x_6 jest nieco niebezpieczniejsze od x_2 - $\chi(x_6, x_2) = 0.6$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_4 - uszkodzenie x_4 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_3 - $\chi(x_4, x_3) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_5 - uszkodzenie x_5 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_3 - $\chi(x_5, x_3) = 1$

- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_6 - uszkodzenie x_6 jest znacznie niebezpieczniejsze od x_3 - $\chi(x_6, x_3) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_4 z x_5 - uszkodzenie x_4 jest nieco niebezpieczniejsze od x_5 - $\chi(x_4, x_5) = 0.6$
- porównuję uszkodzenia x_4 z x_6 - uszkodzenie x_4 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_4, x_6) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_5 z x_6 - uszkodzenie x_5 jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_6 - $\chi(x_5, x_6) = 1$

II. Ustalenie relacji rozmytej $R \subseteq X \times X$

Relację ze stopniami przynależności $\chi_R(x, y)$ przedstawiono w postaci macierzy.

Skorzystano ze wzorów: $\chi(x_i, x_j) + \chi(x_j, x_i) = 1$ oraz $\chi(x_i, x_i) = 0$.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0	0.9	0.9	0.25	0.25	0.75
x_2	0.1	0	0.6	0	0	0.4
x_3	0.1	0.4	0	0	0	0.25
x_4	0.75	1	1	0	0.6	1
x_5	0.75	1	1	0.4	0	1
x_6	0.25	0.6	0.75	0	0	0

III. Sprawdzenie s-przechodniości relacji R - warunek (2.13)

Warunek:

dla dowolnych $x_i, x_j, x_k \in X$ i $(x_i \neq x_j, x_j \neq x_k, x_k \neq x_i)$:

$$\chi(x_i, x_j) > 0.5 \text{ i } \chi(x_j, x_k) > 0.5 \Rightarrow \chi(x_i, x_k) > 0.5$$

jest spełniony - relacja R jest s-przechodnia.

IV. Transformacja relacji R do relacji ścisłej preferencji R^S - wzór (2.12)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0	0.8	0.8	0	0	0.5
x_2	0	0	0.2	0	0	0
x_3	0	0	0	0	0	0
x_4	0.5	1	1	0	0.2	1
x_5	0.5	1	1	0	0	1
x_6	0	0.2	0.5	0	0	0

V. Budowa kolejki uszkodzeń

a) uszkodzenie bardziej
niebezpieczne ↓

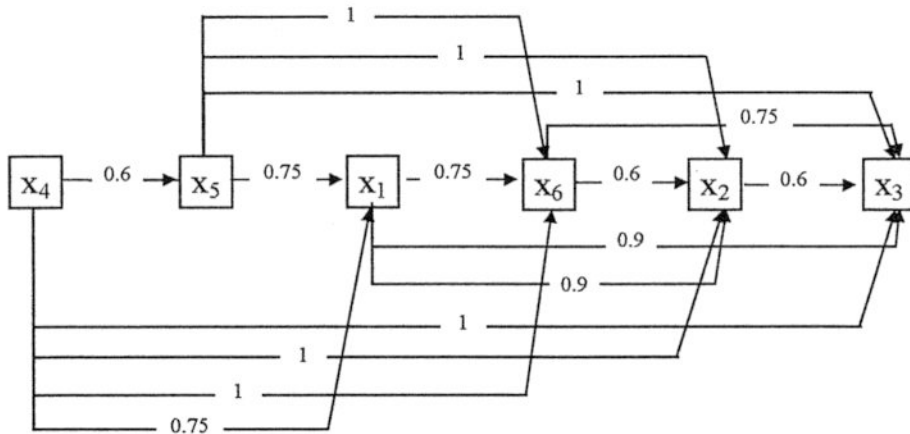
$$\begin{aligned} \chi^S(x_1, x_2) &= 0.8 & x_1 \\ \chi^S(x_1, x_3) &= 0.8 & x_1 \\ \chi^S(x_1, x_4) &= 0 & x_4 \end{aligned}$$

- $\chi^S(x_4, x_5) = 0.2$ x_4
 $\chi^S(x_4, x_6) = 1$ x_4 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- b)
- $\chi^S(x_1, x_2) = 0.8$ x_1
 $\chi^S(x_1, x_3) = 0.8$ x_1
 $\chi^S(x_1, x_5) = 0$ x_5
 $\chi^S(x_5, x_6) = 1$ x_5 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- c)
- $\chi^S(x_1, x_2) = 0.8$ x_1
 $\chi^S(x_1, x_3) = 0.8$ x_1
 $\chi^S(x_1, x_6) = 0.5$ x_1 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- d)
- $\chi^S(x_2, x_3) = 0.2$ x_2
 $\chi^S(x_2, x_6) = 0$ x_6 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- e)
- $\chi^S(x_2, x_3) = 0.2$ x_2 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne

Kolejność uszkodzeń od najbardziej niebezpiecznego jest więc następująca:

$x_4, x_5, x_1, x_6, x_2, x_3$

Na rysunku 2.13 przedstawiono graf kolejki rozmytej



Rys.2.13. Graf kolejki rozmytej dla przykładu B

C. Porównanie uszkodzeń ze względu na eksfiltrację ścieków

I. Ustalenie preferencji dla par uszkodzeń (wg uprzednio przyjętej skali)

- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_2 - $\chi(x_1, x_2) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_3 - $\chi(x_1, x_3) = 0.5$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_4 - $\chi(x_1, x_4) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_5 - $\chi(x_1, x_5) = 0.6$
- porównuje się uszkodzenia x_1 z x_6 - $\chi(x_1, x_6) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_3 - $\chi(x_3, x_2) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_4 - $\chi(x_2, x_4) = 0.5$

- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_5 - $\chi(x_5, x_2) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_2 z x_6 - $\chi(x_6, x_2) = 0.9$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_4 - $\chi(x_3, x_4) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_5 - $\chi(x_3, x_5) = 0.6$
- porównuje się uszkodzenia x_3 z x_6 - $\chi(x_3, x_6) = 0.75$
- porównuje się uszkodzenia x_4 z x_5 - $\chi(x_5, x_4) = 1$
- porównuje się uszkodzenia x_4 z x_6 - $\chi(x_6, x_4) = 0.9$
- porównuje się uszkodzenia x_5 z x_6 - $\chi(x_5, x_6) = 0.75$

II. Ustalenie relacji rozmytej $R \subseteq X \times X$

Relację ze stopniami przynależności $\chi_R(x, y)$ przedstawiono w postaci macierzy.

Skorzystano ze wzorów: $\chi(x_i, x_j) + \chi(x_j, x_i) = 1$ oraz $\chi(x_i, x_i) = 0$.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0	1	0.5	1	0.6	0.75
x_2	0	0	0	0.5	0	0.1
x_3	0.5	1	0	1	0.6	0.75
x_4	0	0.5	0	0	0	0.1
x_5	0.4	1	0.4	1	0	0.75
x_6	0.25	0.9	0.25	0.9	0.25	0

III. Sprawdzenie s-przechodniości relacji R - warunek (2.13)

Warunek:

$$\text{dla dowolnych } x_i, x_j, x_k \in X \text{ i } (x_i \neq x_j, x_j \neq x_k, x_k \neq x_i):$$

$$\chi(x_i, x_j) > 0.5 \text{ i } \chi(x_j, x_k) > 0.5 \Rightarrow \chi(x_i, x_k) > 0.5$$

jest spełniony - relacja R jest s-przechodnia.

IV. Transformacja relacji R do relacji ścisłej preferencji R^S - wzór (2.12)

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	0	1	0	1	0.2	0.5
x_2	0	0	0	0	0	0
x_3	0	1	0	1	0.2	0.5
x_4	0	0	0	0	0	0
x_5	0	1	0	1	0	0.5
x_6	0	0.8	0	0.8	0	0

V. Budowa kolejki uszkodzeń

- a) uszkodzenie bardziej
niebezpieczne ↓

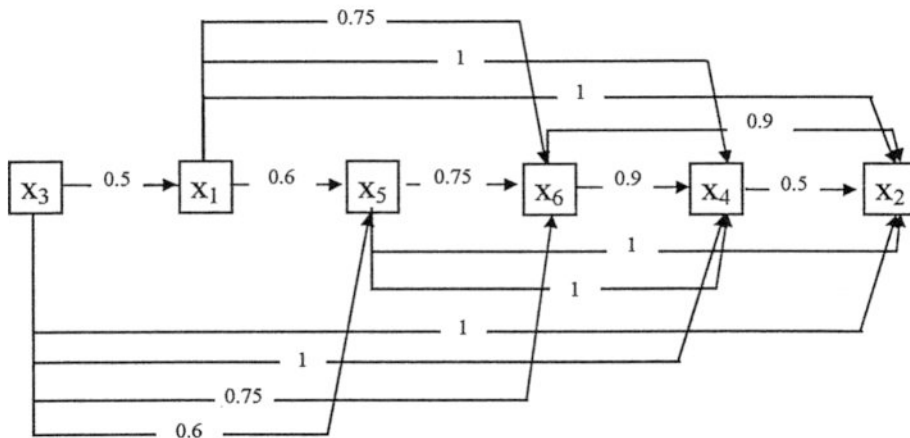
$$\begin{array}{ll} \chi^S(x_1, x_2) = 1 & x_1 \\ \chi^S(x_1, x_3) = 0 & x_3 \\ \chi^S(x_3, x_4) = 1 & x_3 \\ \chi^S(x_3, x_5) = 0.2 & x_3 \end{array}$$

- b) $\chi^S(x_3, x_6) = 0.5$ x_3 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- $\chi^S(x_1, x_2) = 1$ x_1
- $\chi^S(x_1, x_4) = 1$ x_1
- $\chi^S(x_1, x_5) = 0.2$ x_1
- $\chi^S(x_1, x_6) = 0.5$ x_1 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- c) $\chi^S(x_2, x_4) = 0$ x_4
- $\chi^S(x_4, x_5) = 0$ x_5
- $\chi^S(x_5, x_6) = 0.5$ x_5 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- d) $\chi^S(x_2, x_4) = 0$ x_4
- $\chi^S(x_4, x_6) = 0$ x_6 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne
- e) $\chi^S(x_2, x_4) = 0$ x_4 - uszkodzenie najbardziej niebezpieczne

Kolejność uszkodzeń od najbardziej niebezpiecznego jest więc następująca:

$x_3, x_1, x_5, x_6, x_4, x_2$

Na rysunku 2.14 przedstawiono graf kolejki rozmytej



Rys.2.14. Graf kolejki rozmytej dla przykładu C

2.5.4. Wnioski

Analizując określony zbiór uszkodzeń pod kątem stwarzanego przez nie zagrożenia otrzymuje się różne kolejki uszkodzeń w zależności od przyjętego kryterium oceny. Powstaje więc pytanie o znaczenie poszczególnych kryteriów dla oceny stanu przewodu. Na podstawie tabeli 2.13 (rozdział 2.5.2.) można stwierdzić, że największe konsekwencje są związane z utratą przez przewód szczelności – niespełnieniem kryterium ekologicznego prawidłowej pracy przewodu. Tabela ta podaje jednak tylko bezpośrednie przyczyny wystąpienia tych konsekwencji. Należy natomiast podkreślić, że w większości przypadków rozszczelnienie przewodu występuje jednocześnie z utratą przez przewód nośności. Inaczej mówiąc uszkodzenia przewodu związane z kryterium wytrzymałościowym (szczególnie uszkodzenia o dużej intensywności) powodują równocześnie jego rozszczelnienie – tabela 2.11.

Sytuacja odwrotna nie zachodzi (za wyjątkiem przypadku wpłukiwania do wnętrza przewodu gruntu przez nieszczelne połączenia, co może spowodować zmianę warunków posadowienia i obniżenie nośności). W pewnych konkretnych warunkach prowadzenia przewodu np.: w strefach ochrony pośredniej ujęć wód podziemnych, w sąsiedztwie obiektów przyrodniczych o szczególnym znaczeniu, itp. oczywiste wydaje się wyróżnienie konkretnego kryterium jako decydującego w ocenie przewodu i zagrożenia przez niego stwarzanego. Jednak nawet w tych przypadkach niedopuszczalne jest aby parametry przewodu związane z pozostałymi kryteriami nie były spełnione. Postuluje się więc w ogólnym przypadku traktować kryteria jako równoważne. Analizę uszkodzeń powinno się więc prowadzić według trzech kryteriów, wykorzystując do dalszych analiz (np. odnośnie przeprowadzenia odnowy) wynik najniekorzystniejszy. Problem ten dotyczy oceny stanu przewodu i został szczegółowiej rozważony w rozdziale 4. Bezpośrednie uwzględnienie omówionych kryteriów możliwe jest przy wykorzystaniu metody II oceny stanu przewodu, zaproponowanej przez autora w rozdziale 4.2.2.3.

3. Niezawodność przewodów kanalizacyjnych

3.1. Definicja niezawodności sieci kanalizacyjnej

Zadaniem sieci kanalizacyjnej jest odprowadzanie wymaganej ilości ścieków z obszaru zabudowanego (miasta, osiedla, zakładu przemysłowego), w odpowiednim czasie i przy zachowaniu szczelności. Aby realizować swoje zadanie, sieć musi zostać prawidłowo zaprojektowana i wykonana, a następnie poddana odpowiednim działaniom eksploatacyjnym. Dla oceny jakości z którą sieć realizuje swoją funkcję (zadanie), wykorzystuje się pojęcie niezawodności sieci kanalizacyjnej. Norma polska [88] podaje następującą opisową definicję niezawodności:

Niezawodność - właściwość obiektu charakteryzująca jego zdolność do pełnienia określonych funkcji, w określonych warunkach i w określonym przedziale czasu.

Przedstawiona definicja ma charakter ogólny i odnosić się może do wszelkich obiektów i systemów technicznych.

Sieć kanalizacyjna zbudowana jest z powiązanych ze sobą przewodów i obiektów sieciowych, na które oddziałują różnorodne wymuszenia. Może być zatem traktowana jako podsystem systemu kanalizacyjnego, który dodatkowo zapewnia oczyszczenie ścieków i odprowadzenie ich do odbiornika. Pozostałymi podsystemami tego systemu są [43]: pompownie, oczyszczalnie ścieków i wyloty kanalizacyjne do odbiorników. Autorzy [43] podali definicję niezawodności systemu kanalizacyjnego, którą można łatwo przystosować do zdefiniowania niezawodności sieci kanalizacyjnej:

Niezawodność sieci kanalizacyjnej jest to jej właściwość polegająca na odprowadzaniu z danego terenu do określonego odbiornika (oczyszczalni) przewidywanej ilości ścieków, przy określonych warunkach istnienia i eksploatacji sieci i w ciągu założonego czasu eksploatacji.

Zdolność do spełnienia tych zadań uważana jest za jakościową charakterystykę niezawodności. Niezawodność jest więc łącznym zestawieniem szeregu wielkości charakteryzujących obiekt, z których najważniejsze to [75]:

- zdolność do pracy bez uszkodzeń,
- długowieczność
- sposobność remontowa.

Podane w definicji założenie określonego czasu eksploatacji, powinno dotyczyć tylko elementów sieci, ze względu na przewidywaną zwykle jej stałą rozbudowę i dostosowywanie do bieżących wymagań.

Najczęstszymi objawami zawodności sieci kanalizacyjnej są następujące skutki:

- brak możliwości odprowadzania ścieków,
- eksfiltracja ścieków,
- infiltracja wód gruntowych do przewodów.

Mogą one występować razem lub osobno i powodują liczne dalsze konsekwencje omówione w rozdziale 2.5.

3.2. Analiza niezawodności sieci kanalizacyjnej

Wszystkie obiekty techniczne, zarówno proste jak i złożone, podlegają uszkodzeniom spowodowanym wymuszeniami. Uszkodzenia zakwalifikować należy do zdarzeń losowych, tak jak losowe są ich przyczyny np.: wahania temperatury, wady materiałowe, pomyłki eksploatacyjne i inne [75]. Uszkodzenia obiektów w sposób

decydujący wpływają na to, czy i jak realizuje on swoje funkcje. Ilościowy opis niezawodności sieci kanalizacyjnej może więc być związany z opisem uszkodzeń i ich wpływem na jej pracę. Skoro uszkodzenia są zjawiskami losowymi, do ich opisu należy wykorzystywać zasady rachunku prawdopodobieństwa. Prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń, czas trwania okresów pracy i inne, mogą być określane w sposób przybliżony przez podanie częstości tych zjawisk, co umożliwia badania statystyczne. Badania statystyczne pozwalają na określenie cech niezawodnościowych obiektów istniejących. Otrzymane w ten sposób wyniki mogą stanowić podstawę dla oszacowania lub prognozowania niezawodności obiektów planowanych lub takich, dla których nie przeprowadzono bezpośrednich badań. Można więc wyróżnić dwa podejścia w badaniach niezawodnościowych, różniące się sposobem postawienia zadania i innymi danymi wejściowymi:

- 1 - niezawodnościową analizę aprioryczną,
- 2 - niezawodnościową analizę aposterioryczną.

Niezawodnościowa analiza aprioryczna dotyczy stadium projektowania sieci kanalizacyjnej i ma prowadzić do uzyskania przez tą sieć największej niezawodności. Dla wykonania takiej analizy należy dysponować niezawodnościowymi charakterystykami wszystkich elementów składowych sieci. Do obliczeń przyjmuje się wyznaczone wcześniej charakterystyki elementów, długotrwale istniejących w podobnych systemach.

Niezawodnościowa analiza aposterioryczna ma prowadzić do uzyskania charakterystyk niezawodnościowych elementów i całości istniejącej sieci. Jest ona wykonywana na podstawie badań statystycznych eksploatowanego systemu. Uzyskane dane mogą być wykorzystane do wyciągnięcia wniosków co do konieczności modernizacji sieci istniejącej, lub w niezawodnościowej analizie apriorycznej sieci nowoprojektowanych, o podobnej strukturze i elementach składowych.

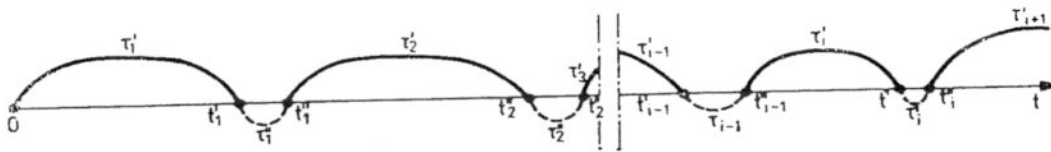
Podane wcześniej definicje są bardzo ogólne i mają charakter opisowy. Takie przedstawienie niezawodności uświadamia jednak zakres pojęcia i pozwala na przyjęcie kierunku postępowania przy badaniach dla ilościowej analizy niezawodności sieci. Pierwszym etapem ilościowego badania niezawodności jest podział obiektu (systemu) na elementy podstawowe i znalezienie wzajemnych powiązań między tymi elementami - oczywiście z niezawodnościowego punktu widzenia. Otrzymuje się w ten sposób jego niezawodnościową strukturę, stanowiącą podstawę dla dalszej analizy. Można przyjąć, że najmniejszym - podstawowym elementem sieci kanalizacyjnej jest odcinek przewodu między studzienkami. Odcinki te, powiązane ze sobą poprzez obiekty sieciowe (studzienki), tworzą podstawową, szeregową strukturę sieci. Specyficzne powiązanie ze sobą tych struktur szeregowych - stanowiących podsystemy w systemie jakim jest sieć kanalizacyjna - powoduje, że struktura niezawodnościowa sieci jest złożona. Elementami tej struktury są obiekty sieciowe i przewody, które traktuje się w badaniach niezawodności niezależnie. Należy zwrócić uwagę, że odcinek przewodu między studzienkami może być również przedstawiony jako system elementów, połączonych szeregowo, co wynika z konstrukcji przewodu (np.: odcinki rur o różnej długości ze złączami między nimi) [59].

Ze względu na dominującą rolę przewodów w sieci kanalizacyjnej można przyjąć, że niezawodność sieci jest w znacznej mierze uzależniona od niezawodności przewodów. W dalszych rozważaniach analizowany będzie odcinek przewodu między studzienkami, traktowany jako podstawowy element sieci.

3.3. Niezawodnościowy opis przewodów kanalizacyjnych

3.3.1. Model pracy przewodu kanalizacyjnego

Z analizy funkcjonowania przewodów kanalizacyjnych wynika że są one obiektami naprawialnymi - w przypadku uszkodzenia naprawia się je lub wymienia na nowe. Przewód kanalizacyjny jest więc obiektem technicznym podlegającym odnowie. Odnową przewodu nazywa się jego przejście ze stanu niezdatności eksploatacyjnej (stanu uszkodzenia) do stanu zdatności. Czas odnowy (naprawy) nie jest zanedbywalnie mały w porównaniu z czasem pracy przewodu i musi być uwzględniony w obliczeniach niezawodnościowych. Z niezawodnościowego punktu widzenia przewód kanalizacyjny podlega procesowi pracy z odnową niezerową. Na rysunku 3.1 przedstawiono ilustrację graficzną tego procesu [43].



Rys.3.1. Ilustracja graficzna procesu z odnową niezerową [43]

$\tau_1', \tau_2', \dots$ - okresy pracy (sprawności)

$\tau_1'', \tau_2'', \dots$ - okresy niesprawności (w tym odnowy)

$t_1', t_2', \dots$ - chwile wystąpienia niesprawności

$t_1'', t_2'', \dots$ - chwile włączenia obiektu do pracy (początek stanu sprawności)

Przewód po przepracowaniu czasu τ_1' ulega uszkodzeniu i jest poddawany odnowie do czasu t_1'' , następnie pracuje w okresie τ_2' i znowu ulega uszkodzeniu, po czym poddawany jest powtórnie odnowie τ_2'' itd. Zakłada się przy tym, że wszystkie czasy odnowy i pracy są zmiennymi losowymi niezależnymi, oraz że wszystkie czasy pracy mają jednakowe rozkłady prawdopodobieństwa i wszystkie czasy odnowy mają jednakowe rozkłady prawdopodobieństwa [43,75]. Założenia te są słuszne po przyjęciu pewnych uproszczeń, umożliwiających stworzenie realnego opisu procesu pracy przewodu. Zakłada się, że strumień zdarzeń - ciąg następujących po sobie odnow i odcinków pracy - jest strumieniem bez pamięci, pojedynczym i stacjonarnym [43,75,59].

Strumień zdarzeń bez pamięci cechuje się tym, że ilość zdarzeń (np. uszkodzeń) w pewnym odcinku czasu nie zależy od tego jak pracował obiekt do początku rozpatrywanej chwili czasu [75].

Strumień uszkodzeń nazywamy pojedynczym, jeżeli prawdopodobieństwo zajścia dwóch lub więcej uszkodzeń w odcinku czasu $(t, t + \Delta t)$ jest równe zero, gdy długość tego odcinka zmierza do zera [75].

Strumień jest stacjonarny - oznacza to, że rozkład uszkodzeń na osi czasu zależy tylko od długości rozpatrywanego odcinka czasu, a nie zależy od tego w którym miejscu na osi czasu został on umiejscowiony [75].

W nawiązaniu do przyjętego modelu procesu funkcjonowania, wyróżnia się dwa podstawowe stany przewodu :

- stan sprawności (pracy),
- stan niesprawności (uszkodzenia lub odnowy).

W stanie niesprawności można dodatkowo wyróżnić dwa stany cząstkowe :

- stan naprawy obejmujący właściwe czynności naprawcze,
- stan oczekiwania na naprawę uwzględniający czynności przygotowawcze lub brak informacji o uszkodzeniu.

3.3.2. Ilościowa charakterystyka niezawodności

Wskaźnikiem niezawodności nazywa się ilościową charakterystykę niezawodności, zdefiniowaną dla przyjętego modelu niezawodnościowego obiektu [40]. Wskaźnik może charakteryzować jedną lub więcej właściwości niezawodnościowych obiektu. Z wielu wskaźników zdefiniowanych m.in. w [89], należy wybrać te, które najlepiej nadają się do opisu pracy przewodów kanalizacyjnych.

3.3.2.1. Wskaźniki niezawodności obiektów nieodnawialnych - pojęcia podstawowe

Niezawodnością przewodu w czasie $(0, t)$ nazywamy prawdopodobieństwo tego, że stan uszkodzenia wystąpi po czasie t (czyli przewód będzie sprawny w czasie $(0, t)$) i ma postać [59]:

$$R(t) = P(\tau > t) \text{ dla } t \geq 0, \quad (3.1)$$

gdzie: τ - zmienna losowa typu ciągłego, przyjmująca wartości z przedziału $(0, \infty)$, tu traktowana jako czas,

Można założyć:

- niezawodność przewodu w chwili $t = 0$ wynosi 1: $R(0) = 1$,
- niezawodność jest nierosnącą funkcją czasu : $R'(t) < 0$,
- po czasie nieskończenie długim niezawodność przewodu jest równa 0 : $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$.

Jeżeli istnieje odpowiednia baza obserwacji, wartości $R(t)$ można statystycznie oszacować na podstawie próby elementów. Estymatorem niezawodności przewodu będzie:

$$\bar{R}(t) = \frac{M(t)}{M}, \quad (3.2)$$

gdzie: M - liczba wszystkich elementów w próbie,

$M(t)$ - liczba tych elementów próby, które w przedziale czasu $(0, t)$ nie uległy uszkodzeniu.

Miarą zawodności przewodu jest prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia w przedziale czasu $(0, t)$:

$$Z(t) = P(\tau < t) \text{ dla } t \geq 0. \quad (3.3)$$

Funkcja $Z(t)$ jest dystrybuantą zmiennej losowej czasu pracy. Można zauważyć, że suma prawdopodobieństwa czasu pracy i prawdopodobieństwa uszkodzenia w przedziale $(0, t)$ jest prawdopodobieństwem zdarzenia pewnego, a więc:

$$R(t) + Z(t) = 1. \quad (3.4)$$

Zakładając, że dystrybuita $F(t) = Z(t)$ jest różniczkowalna w przedziale czasu $(0, t)$, to jej pochodna (gęstość prawdopodobieństwa czasu pracy) wyraża się wzorem:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = F'(t) \quad (3.5)$$

i nazywana jest częstością uszkodzeń [59]. Ponieważ $F(t) + P(t) = 1$, zachodzi:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dP(t)}{dt}. \quad (3.6)$$

Estymator pozwalający na praktyczne wyznaczenie częstości uszkodzeń ma następującą postać:

$$\bar{f}(t) = \frac{n_f(\Delta t)}{n_0 \Delta t}, \quad (3.7)$$

gdzie: n_0 - początkowa liczebność próbek,

$n_f(\Delta t)$ - liczba uszkodzeń obiektów w przedziale czasu $\left[t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2} \right]$,

Δt - długość przedziału czasu.

Przyjmując, że przewód znalazł się w stanie uszkodzenia w wyniku:

- zaburzeń eksploatacji,
- starzenia się przewodów,
- błędów projektowych i montażu,
- błędów konstrukcyjno-materiałowych,
- działania zbioru wymuszeń;

przy dodatkowym założeniu, że są one zdarzeniami niezależnymi - niezawodność wypadkową przewodu można przedstawić w postaci iloczynu [59]:

$$R_o(t) = R(t)R_A(0)R_B(0), \quad (3.8)$$

gdzie: $R(t) = R_C(t)R_D(t)R_E(t)$ - niezawodność wynikająca z pracy przewodu,

$R_C(t)$ - składowa niezawodności wynikająca z błędów eksploatacji,

$R_D(t)$ - składowa niezawodności wynikająca ze starzenia się sieci,

$R_E(t)$ - składowa niezawodności wynikająca ze skutków działania zbioru wymuszeń;

$R_A(0)$ - składowa niezawodności wynikająca z błędów projektowania i montażu,

$R_B(0)$ - składowa niezawodności wynikająca błędów technologiczno - materiałowych,

$R_A(0)$ i $R_B(0)$ dotyczą uszkodzeń powstałych w umownym przedziale czasu $\langle -\infty, 0 \rangle$, chwila $t = 0$ oznacza moment przyjęcia przewodu do eksploatacji.

Duże znaczenie w niezawodnościowej charakterystyce uszkadzalności obiektów ma intensywność uszkodzeń, która jest opisana zależnością wiążącą ją z funkcjami zawodności i niezawodności [59]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{F'(t)}{1 - F(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)}. \quad (3.9)$$

Według [75], intensywność uszkodzeń jest prawdopodobieństwem tego, że element sprawny w chwili t uszkodzi się w odcinku czasu $(t, t + \Delta t)$, przy $\Delta t \rightarrow 0$.

Dla celów praktycznych można się posługiwać estymatorem intensywności uszkodzeń [59]:

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n_f(\Delta t)}{n(\Delta t) \Delta t}, \quad (3.10)$$

gdzie: $n(\Delta t) = \frac{1}{2} \left[n\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right) + n\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) \right]$ - średnia liczba obiektów sprawnych w chwili czasu Δt ,

$n\left(t - \frac{\Delta t}{2}\right), n\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ - liczba sprawnych obiektów na początku i na końcu czasu Δt ,
 $n_f(\Delta t)$ - liczba uszkodzeń obiektów w przedziale czasu $\left[t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right]$.

Średni czas pracy T_{sr} przewodu do wystąpienia uszkodzenia jest równy wartości oczekiwanej czasu jego bezuszkodzeniowej pracy. Ze względu na ciągłość funkcji losowej τ można zapisać:

$$T_{sr} = E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (3.11)$$

Estymatorem wartości T_{sr} jest statystyczny średni czas określony zależnością:

$$\bar{T}_{sr} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_{sr,i}, \quad (3.12)$$

gdzie: M - liczba wszystkich elementów w próbie,
 $t_{sr,i}$ - wynikający z badań średni czas bezuszkodzeniowej pracy i-tego elementu.

Biorąc pod uwagę proces funkcjonowania przewodu kanalizacyjnego (jego odnawialność) zdefiniowane parametry niezawodnościowe mogą być wykorzystane do opisu niezawodności przewodu od momentu jego włączenia do pracy do chwili gdy zajdzie pierwsze uszkodzenie, oraz w przedziałach czasu między kolejnymi uszkodzeniami [59].

3.3.2.2. Niezawodność obiektów odnawialnych

W pracy [43] wyszczególniono następujące wskaźniki niezawodności charakteryzujące obiekty wodociągowe i kanalizacyjne podlegające odnowie niezerowej:

1. Miary bezawaryjności:

- prawdopodobieństwo pracy (sprawności) obiektu,
- średni czas pracy (sprawności) między uszkodzeniami,
- parametr strumienia uszkodzeń (niesprawności),
- częstość uszkodzeń (niesprawności).

Miary bezawaryjności charakteryzują zdolność obiektu do zachowania sprawności podczas wykonywania zadania i opisują funkcyjnie lub liczbowo takie zmienne losowe jak czas sprawności między uszkodzeniami τ i liczba uszkodzeń.

2. Miary naprawialności:

- średni czas odnowy (niesprawności),
- intensywność odnowy,
- prawdopodobieństwo odnowy.

Ze względu na stany cząstkowe stanu niesprawności (oczekiwanie na naprawę i naprawa) można dodatkowo wyróżnić:

- średni czas naprawy
- średni czas oczekiwania na naprawę

Miary naprawialności charakteryzują podatność obiektu na wykonanie napraw. Opisują nie tylko właściwości przewodu, lecz uwzględniają również sprawność techniczno-organizacyjną systemu obsługującego sieć.

3. Miary gotowości:

- wskaźnik gotowości,
- wskaźnik przestoju,
- wskaźnik wykorzystania technicznego.

Miary gotowości charakteryzują wpływ uszkodzeń i związanych z nimi odnów na bezawaryjną realizację zadań przez obiekt. Charakterystyki te opisują w sposób kompleksowy niezawodność obiektu, uwzględniając jednocześnie bezawaryjność i naprawialność.

4. Miary efektywności:

- wskaźnik efektywności,
- współczynnik niedoboru wody (ścieków).

Miary efektywności określają stopień realizacji zadania przez obiekt techniczny.

5. Miary specjalne:

- wskaźnik technologicznej sprawności obiektu (stacji uzdatniania wody, oczyszczalni ścieków)
- wskaźnik postoju w stanie sprawności.

Miary specjalne charakteryzują własności obiektów wodociągowych i kanalizacyjnych ze względu na proces funkcjonowania, warunki eksploatacji itp.

Biorąc pod uwagę zadanie jakie realizuje przewód kanalizacyjny oraz uwzględniając model jego pracy, wskaźnikami istotnymi dla analizy niezawodnościowej przewodów kanalizacyjnych są:

- | | |
|---|-------------|
| - prawdopodobieństwo pracy (sprawności) przewodu | $R(t)$ |
| - średni czas pracy (sprawności) między uszkodzeniami | T_p |
| - parametr strumienia uszkodzeń (niesprawności) | $\omega(t)$ |
| - średni czas odnowy (nisprawności) | T_o |
| - intensywność odnowy | $\mu(t)$ |
| - prawdopodobieństwo odnowy | $P_o(t)$ |
| - wskaźnik gotowości | $K_g(t)$ |
| - wskaźnik przestoju | $K_p(t)$ |
| - wskaźnik wykorzystania technicznego | $K_w(t)$ |
| - wskaźnik efektywności | E |

I. Prawdopodobieństwo pracy (sprawności) przewodu - $R(t)$

Odpowiada wskaźnikowi zdefiniowanemu dla obiektów nieodnawialnych, z tym, że przedział czasu $(0, t)$ jest liczony między kolejnymi uszkodzeniami, tj. od momentu uruchomienia po uszkodzeniu. Zakładając, że niezawodność charakteryzuje się rozkładem wykładniczym, uogólnione wyrażenie określające prawdopodobieństwo pracy można opisać zależnością :

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right], \quad (3.13)$$

gdzie: $\lambda(t)$ jest intensywnością uszkodzeń określoną wzorem (3.9), dla przedziałów czasu między uszkodzeniami.

II. Średni czas pracy (sprawności) między uszkodzeniami - T_p , i średni czas odnowy (niesprawności) - T_o

Średni czas pracy T_p jest wartością oczekiwaną zmiennej losowej T'_p określającej czas pracy (sprawności) obiektu między uszkodzeniami. Średni czas pracy określa się wzorem:

$$T_p = E(T'_p) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt. \quad (3.14)$$

Średni czas odnowy T_o jest wartością oczekiwaną zmiennej losowej T'_o określającej czas odnowy obiektu i określa się go wzorem :

$$T_o = E(T'_o) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt \quad (3.15)$$

W procesie pracy przewodu, zilustrowanym na rysunku 3.1, odcinki pracy τ'_i stanowią chwilowe realizacje zmiennej losowej T'_p , a czasy odnowy τ''_i chwilowe realizacje zmiennych losowych T'_a . Przyjęcie założeń upraszczających - braku pamięci strumienia zdarzeń oznacza, że zmienne T'_p i T'_a są zmiennymi niezależnymi, natomiast założenie stacjonarności pozwala przyjąć, że rozkłady tych zmiennych są stałe. Wartości średniego czasu odnowy T_o i wartości średniego czasu poprawnej pracy T_p można oszacować na podstawie danych eksploatacyjnych wzorami [59]:

$$\bar{T}_p \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau'_i, \quad \tau'_i = t_{p,i}, \quad (3.16)$$

$$\bar{T}_a \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau''_i, \quad \tau''_i = t_{a,i}, \quad (3.17)$$

gdzie: $t_{p,i}$ - czas trwania i-tego okresu pracy,
 $t_{a,i}$ - czas trwania i-tej odnowy,
 n - liczba odnów (okresów pracy) w badanym okresie.

III. Parametr strumienia uszkodzeń (niesprawności) - $\omega(t)$

Wskaźnik ten określa prawdopodobieństwo uszkodzenia obiektu w przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$ niezależnie od tego, czy w chwili t obiekt był sprawny czy też nie, z uwzględnieniem, że po dokonaniu naprawy obiekty wracają do eksploatacji. Parametr ten uwzględnia więc stałość liczby obiektów odnawialnych w badanej próbie.

Parametr $\omega(t)$ jest pochodną oczekiwanej liczby uszkodzeń $v(t)$, które wystąpiły od początku okresu badań do chwili t , co można zapisać następująco:

$$\omega(t) = \frac{dE[v(t)]}{dt}. \quad (3.18)$$

Dla oszacowania strumienia uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych (ogólnie obiektów liniowych) stosuje się wzory odnoszące się do jednostki długości tych przewodów. Uwzględnia się również ewentualne zmiany długości tych przewodów, wynikające z rozbudowy sieci w przedziale czasu Δt , gdy prowadzone są badania.

W odniesieniu do obiektów liniowych, których długość nie zmienia się, lub zmienia się bardzo nieznacznie stosuje się następujące wzory [43] :

$$a) \bar{\omega}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{m_i(t, t + \Delta t)}{l_i \Delta t}, \quad (3.19)$$

b) wzór uproszczony - $\bar{\omega}(t) = \frac{m(t, t + \Delta t)}{L \cdot \Delta t}$, (3.20)

gdzie: n - liczba badanych przewodów (odcinków przewodów),

$m_i(t, t + \Delta t)$ - liczba uszkodzeń i-tego przewodu w przedziale czasu Δt ,

l_i - długość i-tego badanego przewodu w przedziale czasu Δt ,

$m(t, t + \Delta t)$ - liczba uszkodzeń wszystkich badanych przewodów w przedziale czasu Δt ,

L - całkowita długość badanych przewodów,

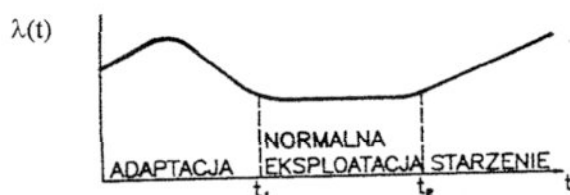
Δt - długość przedziału czasu w jakim dokonuje się obserwacji.

Estymatory $\omega(t)$ uwzględniające zmiany długości przewodów można znaleźć w pracach [43,75].

Biorąc pod uwagę przyjęte założenia dla strumienia uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych, intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ określona dla obiektów nieodnawialnych i w przypadku przewodów dotycząca odcinków czasu między uszkodzeniami, jak i parametr strumienia uszkodzeń $\omega(t)$ są stałe i równoważne (w ogólnym przypadku są to różne pojęcia) tzn.:

$$\lambda(t) = \lambda, \omega(t) = \omega \text{ i } \lambda = \omega \quad (3.21)$$

Stałości funkcji $\lambda(t)$ i $\omega(t)$ nie są spełnione w każdym momencie działania przewodu. Można wydzielić trzy charakterystyczne okresy zmienności $\lambda(t)$ - okres adaptacji, normalnej eksploatacji i okres starzenia się przewodu, co przedstawia rysunek 3.2.



Rys.3.2. Funkcja zmian intensywności uszkodzeń w czasie [59]

Występowanie błędów konstrukcyjnych i wykonawczych powoduje zwiększoną intensywność uszkodzeń w okresie początkowym i może być odnoszona do nowych lub odnowionych przewodów. Następnie intensywność uszkodzeń maleje i w stosunkowo długim okresie czasu ma wartość stałą ($\lambda = const.$). Przedział czasu między t_1 a t_2 traktuje się jako okres normalnej pracy przewodu. Przyjmuje się, że w tym przedziale czasu niezawodność charakteryzuje się rozkładem wykładniczym. Funkcje niezawodności, zawodności i gęstość prawdopodobieństwa czasu pracy opisują wtedy następujące wzory:

$$\begin{aligned} R(t) &= e^{-\lambda t}, \\ F(t) &= 1 - e^{-\lambda t}, \\ f(t) &= \lambda e^{-\lambda t}, \end{aligned} \quad (3.22)$$

Po upływie normalnej eksploatacji intensywność uszkodzeń znacznie wzrasta, na co wpływają przede wszystkim procesy starzeniowe. W tym przedziale przestaje też obowiązywać wykładnicze prawo niezawodności.

Analiza funkcji zmian intensywności uszkodzeń w czasie pozwala wyciągnąć wnioski dotyczące podstawowych zasad utrzymania przewodów kanalizacyjnych [59]:

- a) dzięki doborowi materiałów i technologii oraz jakości wykonawstwa nowych przewodów powinno się minimalizować czas trwania przedziału czasu $\langle 0, t_l \rangle$,
- b) stare fragmenty sieci (z przedziału $\langle t_2, \infty \rangle$) o znacznej intensywności uszkodzeń parametrycznych powinny być tak odnawiane, aby natężenie intensywności po odnowie odpowiadało natężeniu z przedziału $\langle t_l, t_2 \rangle$, co wymaga wysokiej jakości technologii odnowy, materiałów i robocizny,
- c) wszystkie przewody powinny być eksploatowane według przyjętej, strategii programowej, co gwarantuje maksymalne wydłużenie przedziału normalnej pracy sieci $\langle t_l, t_2 \rangle$.

Prawidłowa eksploatacja przewodu sprzyja więc maksymalnemu przedłużeniu przedziału normalnej pracy, który jest okresem najkorzystniejszym - intensywność uszkodzeń jest najmniejsza, przy najbardziej przewidywalnym zachowaniu się przewodu.

IV. Prawdopodobieństwo odnowy przewodu - $P_o(t)$

Wskaźnik ten określa prawdopodobieństwo zdarzenia, że w przedziale czasu $(0, t)$ uszkodzenie zostanie usunięte. Prawdopodobieństwo to opisuje się wzorem :

$$P_o(t) = P(T'_o < t) = \int_0^t f_o(\tau) d\tau, \quad (3.23)$$

gdzie: T'_o - czas odnowy,

$f_o(\tau)$ - gęstość zmiennej losowej T'_o .

Wartość prawdopodobieństwa odnowy można oszacować na podstawie danych z eksploatacji według wzoru [43]:

$$\bar{P}_o(t) = \frac{n(t)}{n}, \quad (3.24)$$

gdzie: $n(t)$ - liczba zdarzeń polegająca na tym, że czas usuwania niesprawności (odnowy) jest nie dłuższy od czasu t ,

n - liczba wszystkich wartości czasu odnowy lub inaczej liczba wszystkich rozpatrywanych obiektów.

V. Intensywność odnowy - $\mu(t)$

Parametr ten określa liczbę niesprawności usuwanych w jednostce czasu:

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_o(\Delta t / t)}{\Delta t} = \frac{f_o(t)}{1 - P_o(t)}, \quad (3.25)$$

gdzie: $P_o(\Delta t / t)$ - prawdopodobieństwo warunkowe odnowy obiektu w przedziale czasu $(t, t + \Delta t)$, przy warunku, że odnowa nie zakończyła się do czasu t ,
 $P_o(t), f_o(t)$ - jak we wzorze (3.23).

Estymator intensywności odnowy ma postać [43]:

$$\bar{\mu}(t) = \frac{n(t, t + \Delta t)}{n(t) \Delta t}, \quad (3.26)$$

gdzie: $n(t, t + \Delta t)$ - liczba obiektów, których odnowa zakończyła się do czasu $(t, t + \Delta t)$,

$n(t)$ - liczba obiektów, których odnowa zakończyła się do czasu t ,

Δt - przedział czasu na jakie podzielono badane okresy odnów.

Przy założeniu, że czas odnowy podlega rozkładowi wykładniczemu, intensywność odnowy jest stała $\mu(t) = \mu$ i jej wartość można oszacować na podstawie wzoru:

$$\mu = \frac{n_o}{t_o}, \quad (3.27)$$

gdzie: n_o – liczba odnów badanych obiektów,

t_o – sumaryczny czas trwania niesprawności (odnów) badanych obiektów.

W tym wypadku prawdopodobieństwo odnowy przewodu jest funkcją intensywności odnowy μ :

$$P_o(t) = 1 - \exp(-\mu t). \quad (3.28)$$

VI. Wskaźnik gotowości - $K_g(t)$, wskaźnik przestoju - $K_p(t)$ i wskaźnik wykorzystania technicznego - $K_w(t)$

Wskaźnik gotowości $K_g(t)$ jest prawdopodobieństwem tego, że przewód będzie sprawny w dowolnym momencie czasu t . W praktyce wskaźnik ten umożliwia ocenianie dyspozycyjności przewodu w zakresie realizowania przypisanej mu funkcji. Wskaźnik gotowości jest funkcją czasu, jednak praktyczne znaczenie ma stacjonarna wartość tego wskaźnika K_g , którą uzyskuje się gdy urządzenie pracuje dostatecznie długo. Wykazano, że dla układu kanalizacyjnego średnio już po pierwszej dobie eksploatacji funkcja $K_g(t)$ przyjmuje stałe wartości i można ją zastąpić stacjonarnym wskaźnikiem K_g [48], określanym wzorem:

$$K_g = \lim_{t \rightarrow \infty} K_g(t) = \frac{T_p}{T_p + T_o}, \quad (3.29)$$

który można estymować na podstawie oszacowanych wartości średniego czasu pracy $\bar{T}_p$ i średniego czasu odnowy $\bar{T}_o$:

$$\bar{K}_g \cong \frac{\bar{T}_p}{\bar{T}_p + \bar{T}_o}. \quad (3.30)$$

Wskaźnik przestoju $K_p(t)$ (nazywany często współczynnikiem zawodności) jest dopełnieniem do jedności wskaźnika gotowości $K_p = 1 - K_g$. Estymuje się go wzorem:

$$\bar{K}_p \cong \frac{\bar{T}_o}{\bar{T}_o + \bar{T}_p}. \quad (3.31)$$

Wskaźnik wykorzystania technicznego $K_w(t)$ jest prawdopodobieństwem tego, że w dowolnej chwili obiekt znajduje się w stanie sprawności i wykonuje swoje zadanie. Na podstawie danych z eksploatacji, wartość tego wskaźnika oblicza się ze wzoru [40]:

$$\bar{K}_w = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{l_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{l_i} + \sum_{i=1}^n \frac{t_n}{l_i} + \sum_{i=1}^n \frac{t_p}{l_i}}, \quad (3.32)$$

gdzie: t_i - sumaryczny czas poprawnej pracy badanego odcinka sieci w rozpatrywanym okresie eksploatacji,

t_n - sumaryczny czas naprawy badanego odcinka sieci w rozpatrywanym okresie eksploatacji,

t_p - sumaryczny czas zużyty na zabiegi profilaktyczne badanego odcinka sieci w rozpatrywanym okresie eksploatacji,
 l_i - długość i-tego odcinka sieci.

Po przyjęciu, że w procesie pracy przewodu kanalizacyjnego, jego czas pracy T_p i czas odnowy T_o mają rozkłady wykładnicze, oraz $\lambda(t) = \lambda$, $\omega(t) = \omega$ i $\lambda = \omega$, można napisać:

$$\lambda = \frac{1}{T_p}, \quad \mu = \frac{1}{T_o}, \quad \bar{K}_g = \frac{\mu}{\mu + \lambda}, \quad \bar{K}_p = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (3.33)$$

Należy pamiętać, że przedstawione wzory i modele niezawodnościowego opisu przewodu odzwierciedlają rzeczywistość w sposób przybliżony, co wynika przede wszystkim z niepewności przyjętych założeń stacjonarności i (w mniejszym stopniu) braku pamięci strumienia zdarzeń. Uwidacznia się to szczególnie w przypadku odnowy niepełnej (remonty bieżące), która nie zmienia wszystkich cech przewodu. W przypadku odnow pełnych (remonty kapitalne, modernizacje) następuje zmiana większości cech przewodu, przez co powyższe warunki są dobrze spełnione i przez co obliczenia niezawodnościowych cech przewodu są dokładne. Ważne jest, że przedstawione wzory estymatorów są aktualne w okresie normalnej eksploatacji przewodu (rysunek 3.2), gdy rozkład trwałości elementów sieci jest rozkładem wykładniczym o stałej intensywności uszkodzeń. Długość tego przedziału jest wielokrotnie większa od pozostałych, szczególnie pierwszego - okresu adaptacji. Długość trzeciego przedziału - okresu starzenia przewodu - może być również relatywnie długa, jeśli sieć pracuje jako uszkodzona i nie zostały podjęte działania zmierzające do usunięcia tego stanu. Wynika stąd rola doboru odstępu między kontrolami, pozwalającymi wykryć stan uszkodzenia.

VII. Wskaźnik efektywności - E

Opisuje on stopień realizacji zadania (spełnienia wymagań) przez dany obiekt techniczny i najprościej określa się go wzorem [43]:

$$E = \frac{Q}{Q_o}, \quad (3.34)$$

gdzie: Q - uśredniona wydajność działania obiektu technicznego obniżona w wyniku różnorodnych przyczyn w rozważanym okresie,

Q_o - wymagana uśredniona wydajność obiektu w rozważanym okresie.

Przyjmując, że zadaniem przewodów kanalizacyjnych jest odprowadzenie wymaganej ilości ścieków w przedziale czasu, można określić wskaźnik efektywności przewodów kanalizacyjnych jako stosunek rzeczywistej ilości ścieków odprowadzonych przez przewód w rozważanym przedziale czasu do planowanej ilości ścieków jaką miał on odprowadzić. Tak ujęty wskaźnik efektywności nie mówi nic o jakości realizacji zadania przez przewód, lecz pozwala ocenić spełnianie się prognoz dotyczących ilości „produkowanych” ścieków i trafność przyjęcia przekroju poprzecznego przewodu.

Dla oceny jakości realizacji zdania przez przewód mógłby służyć stosunek ilości ścieków na końcu przewodu do ilości wpływającej (na początku badanego przewodu) z uwzględnieniem dopływów bocznych, w rozważanym przedziale czasu. Tak ujęty wskaźnik jakości pracy pozwala określić wielkość eksfiltracji ścieków i infiltracji wody do przewodu. Biorąc pod uwagę zmienność warunków gruntowo

wodnych na długości przewodu, otrzymany wynik może być obarczony błędem ze względu na kompensowanie się efektu infiltracji i eksfiltracji. Z tego powodu do oceny jakości pracy przewodu można wykorzystać wysokość kosztów zawodności. Składniki kosztów zawodności zostały omówione w pracy [59].

3.3.2.3. Estymacja wskaźników niezawodności

W badaniach statystycznych parametrów niezawodności mogą wystąpić problemy związane z [59,28]:

- doborem odpowiednio licznej próbki,
- ograniczonym czasem badań,
- trudnością uzyskania jednorodności próbki i jednorodności warunków jej użytkowania,
- zmiennością w czasie wymuszeń zewnętrznych,
- losowością wymuszeń,
- niezależnością wyników badań.

W literaturze można znaleźć opis zasad postępowania przy ustalaniu parametrów niezawodnościowych obiektów wodociągowych i kanalizacyjnych [43,56,59,75]. Ogólnie - dla obiektów technicznych - zagadnienie to porządkuje norma [90]. Problem określenia niezawodnościowych parametrów pracy sieci wodociągowej został w znacznej mierze rozwiązany, co dokumentują liczne przykłady literaturowe, przedstawiające wyniki analiz wodociągów konkretnych miejscowości - między innymi: [16,26,27,41,42].

W przeciwieństwie do sieci wodociągowej, badania niezawodności sieci kanalizacyjnych są w stadium początkowym, o czym świadczy niewielka ilość publikacji. Prace teoretyczne [40,43,56,75] przedstawiają rozwiązania dotyczące niezawodności wodociągów i kanalizacji, co jak dotąd nie znalazło odzwierciedlenia w postaci przeprowadzenia zaawansowanych badań niezawodnościowych istniejących systemów kanalizacyjnych. Przyczyny takiej sytuacji w kraju, jak również stan publikacji dotyczących tego tematu (do roku 1993) został omówiony w pracy [59]. Szczególną uwagę zwraca się tam na brak odpowiedniej rejestracji uszkodzeń elementów sieci kanalizacyjnej, wynikającej prawdopodobnie z niebezpośredniości odczuwania efektów wystąpienia uszkodzenia. Po roku 1993 nie daje się zauważyć wzrostu zainteresowania tematem. Z nowszych prac ujmujących praktyczną ocenę awaryjności przewodów kanalizacyjnych można wymienić jedynie [26,48]. W pracy [48] dokonano obliczeń wskaźników niezawodnościowych ($\bar{T}_p, \bar{T}_o, \bar{K}_g$) dla kolektora deszczowego przyjmując do obliczeń ω i μ z danych literaturowych [31,73].

Jeżeli brak oszacowań wskaźników niezawodnościowych dla sieci kanalizacyjnych wynika z nieistnienia uporządkowanych danych o ich awaryjności, to sytuacja taka może ulec zmianie ze względu na prowadzenie od kilku lat przez większe przedsiębiorstwa wodociągowo - kanalizacyjne przeglądów sieci kanalizacyjnych przy wykorzystaniu technik video i dokumentacji wyników.

3.3.2.4. Estymacja miar bezawaryjności i gotowości

Postanowiono traktować przewód kanalizacyjny jako podstawowy element sieci, nie uwzględniając złożoności jego budowy (np.: elementy prefabrykowane, złącza, wloty przykanalików). Zamiast uszkodzeń poszczególnych elementów składowych, będzie więc brany pod uwagę globalny stan uszkodzenia określany dla

całego przewodu między studzienkami. Wzory estymujące miary bezawaryjności i gotowości przewodu kanalizacyjnego: średni czas pracy między uszkodzeniami $\bar{T}_p$, parametr strumienia uszkodzeń $\bar{\omega}$ (intensywność uszkodzeń λ), wskaźnik gotowości $\bar{K}_g$ oraz wskaźnik przestoju $\bar{K}_p$, wymagają znajomości czasu trwania i-tego okresu pracy lub liczby uszkodzeń przewodu w przedziale czasu Δt (dla wskaźników gotowości dodatkowo wymagana jest znajomość czasu odnowy). Można wyróżnić dwa podstawowe elementy, warunkujące możliwość przeprowadzenia obliczeń:

- umiejętność rozpoznawania stanu uszkodzenia przewodu,
- umiejętność ustalenia chwili wystąpienia stanu uszkodzenia.

Rozpoznawanie stanu uszkodzenia przewodu kanalizacyjnego nie jest zagadnieniem oczywistym, co wynika ze specyfiki jego pracy (problem ten przedstawiono w rozdziale 2.2). Oprócz stanu pełnego uszkodzenia przewodu, kiedy całkowicie przestaje on realizować swoją funkcję i co objawia się najczęściej w postaci awarii, wyróżnia się stan uszkodzenia częściowego, gdy przewód pracuje z obniżonym standardem. Uwzględnianie przy obliczeniach tylko stanów pełnego uszkodzenia przewodu (np.: obliczenia na podstawie rejestrowanych awarii), spowoduje uzyskanie nieprawdziwych (zbyt korzystnych) wartości wskaźników. Z drugiej strony, przyjmowanie wszystkich przypadków stanu częściowego uszkodzenia do obliczeń wskaźników - to znaczy - uwzględnianie wszelkich zmian w przewodzie w stosunku do stanu prawidłowej pracy, spowoduje, że obliczone wskaźniki będą zbyt niekorzystne. Należy więc ustalić miarodajny dla estymacji parametrów niezawodnościowych poziom (przypadek) stanu uszkodzenia przewodu.

Za miarodajny stan uszkodzenia przewodu postanowiono przyjąć przypadki:

1. wystąpienie awarii (dającej bezpośrednio odczuwalne efekty zaistniałego stanu uszkodzenia),
2. „odpowiednio” zły stan przewodu.

Pierwszy przypadek jest oczywisty, związane jest z nim podjęcie przez zarządzającego siecią natychmiastowych działań zmierzających do przywrócenia przewodowi sprawności.

Drugi przypadek wynika z negatywnej oceny stanu przewodu po przeprowadzonej kontroli. Konieczne jest więc przyjęcie takiej metody oceny stanu, która pozwoli jednoznacznie stwierdzić zaistnienie „odpowiednio” złego stanu przewodu.

Problem ustalenia chwili wystąpienia stanu uszkodzenia w przewodzie wynika z niedostępności przewodów dla ciągłej obserwacji zmian cech warunkujących jego pracę oraz z rozłożonego w czasie tempa zmian tych cech. Rozwiązanie tego problemu może polegać na przyjęciu optymalnego systemu kontroli stanu przewodu.

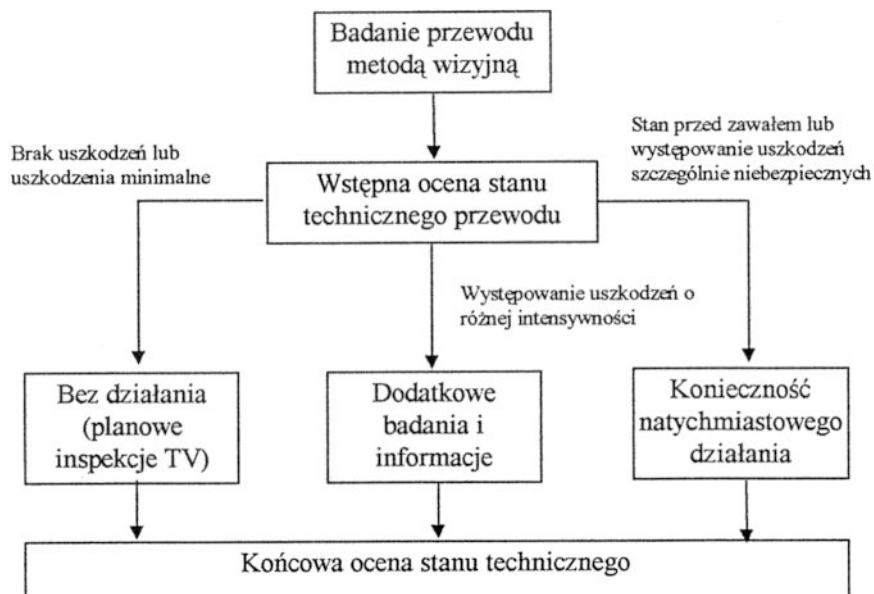
4. Ocena stanu przewodu kanalizacyjnego

4.1. Uwagi wstępne

Ocena stanu obiektów kanalizacyjnych jest jednym z podstawowych lecz i najbardziej złożonych zagadnień wspomagających proces eksploatacji systemu. Związana jest ściśle z grupą działań, które łącznie pozwalają na sprawowanie przez przedsiębiorstwo kontroli nad siecią kanalizacyjną (w Niemczech przyjęto hasłowe pojęcie: „własny nadzór”, „własna kontrola” - niem. *Selbsüberwachung*) [38]. Zalicza się do nich:

1. ewidencję dostępnych danych na odpowiednich nośnikach jak np.: plany inwentaryzacyjne, bazy danych;
2. badanie stanu przewodów z wykorzystaniem (lecz nie tylko) inspekcji wzrokowej;
3. ocenę stanu przewodów według ujednoliconych założeń;
4. rozłożone w czasie usuwanie uszkodzeń na podstawie ustalonej strategii odnowy;
5. aktualizację zbioru danych uwzględniającą powtarzalne badania.

Na rysunku 4.1 przedstawiono ogólny schemat procedur zmierzających do oceny stanu kanału, w którym punktem wyjściowym jest przeprowadzona inspekcja wzrokowa [93].



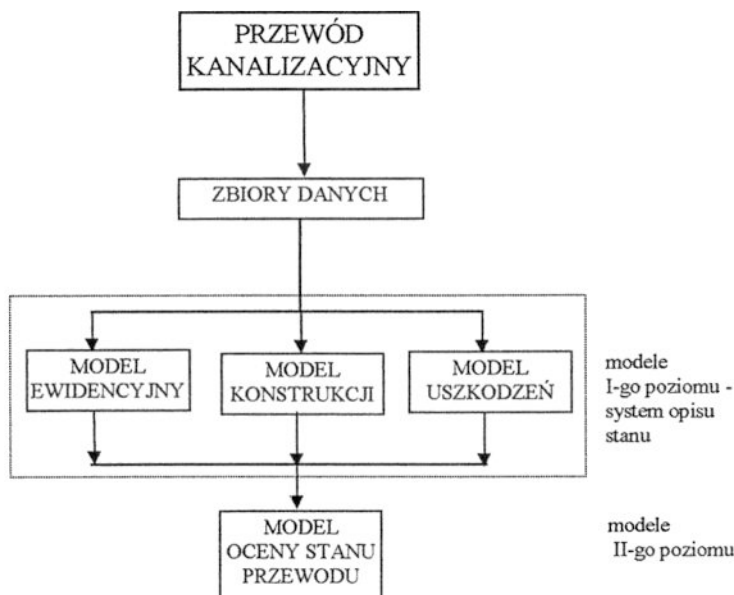
Rys.4.1. Schemat procedur zmierzających do oceny stanu technicznego przewodu kanalizacyjnego [93]

W Polsce problem opisu i oceny stanu przewodu jest rozważany tylko na poziomie poszczególnych przedsiębiorstw zarządzających sieciami wodociągowymi i kanalizacyjnymi. Działania te nie są pomiędzy przedsiębiorstwami koordynowane. Kraje europejskie stworzyły państwowe standardy opisu i oceny stanu przewodów. Jako przykłady można wymienić: Niemcy, Wielką Brytanię czy Holandię. Obecnie rozważa się możliwość opracowania regulacji i zharmonizowania standardów w ramach Unii Europejskiej. W pierwszym rzędzie planuje się opracowanie jednolitego systemu oznaczania uszkodzeń, jak również dokonanie podziału między rejestracją (ewidencją, opisem) stanu a jego klasyfikacją (przez klasyfikację rozumie się

inspekcję wraz z przeprowadzaną na jej podstawie oceną). Projekt ma być złożony do końca 1999 roku [38].

4.2. Opis stanu przewodu

Przeprowadzenie oceny przewodu kanalizacyjnego musi być poprzedzone opisem jego stanu. Należy dokonać rozróżnienia między opisem a oceną stanu przewodu. Opis stanu przewodu nie ogranicza się do ewidencji uszkodzeń występujących w przewodzie, lecz uwzględnia szeroki zbiór danych związanych z jego funkcjonowaniem. Dane te można zebrać w postaci modeli blokowych, przedstawionych na rysunku 4.2.



Rys.4.2. Modele opisu i oceny przewodu kanalizacyjnego

Model ewidencyjny zawiera podstawowe dane pozwalające umiejscowić przewód w przestrzeni (określić jego położenie w stosunku do innych obiektów, rozpoznać warunki gruntowo-wodne w jakich pracuje), rozpoznać jego funkcję oraz wymuszenia zewnętrzne jakim jest poddawany. Konkretnie mogą to być takie dane jak: numer przewodu, nazwa ulicy pod jaką przebiega, klasa ulicy, rodzaj nawierzchni, parametry eksploatacyjne (funkcja przewodu, jego zlewnia, odbiornik ścieków itp.), rzędne początku i końca przewodu, średnia głębokość położenia, poziom zwierciadła wody gruntowej, rodzaj gruntu itp..

Model konstrukcji przewodu odwzorowuje jego ukształtowanie w przekroju podłużnym i poprzecznym, oraz podaje charakterystyki materiałów konstrukcyjnych. Są to np.: materiał, średnica, profil, spadek kinety, wyposażenie itp.

Model uszkodzeń zawiera opis ich rodzaju, wielkości, lokalizację w nawiązaniu do układu konstrukcyjnego przewodu, charakter uszkodzeń (pierwotne i wtórne) oraz dodatkowe uwagi powstające w trakcie kontroli. Budowa modelu uszkodzeń związana jest z rozpoznaniem stanu uszkodzenia przewodu.

Można wyróżnić trzy grupy danych lokalizowanych w modelach pierwszego poziomu:

- wielkości mierzalne (np.: wymiary elementów, odległości itp.), podawane w postaci wartości liczbowych w przyjętym układzie jednostek,
- nazwy własne (np.: nazwy ulic, rodzaj gruntu itp.),

- pozostałe informacje (np.: uwagi, definicje) zapisywane w postaci zdań lub kodów.

Modele pierwszego poziomu uzupełnione o informacje dodatkowe i odniesione do całej sieci kanalizacyjnej stanowią tzw. kataster stanu przewodów. W pracy [80] zdefiniowano kataster stanu przewodów jako zbiór danych, które są niezbędne dla dokumentacji zasobów sieci, jak i wynikających z nich zadań. Należy tu wymienić np.:

1. dane ewidencyjne: dane o położeniu przewodów, ich głębokości, otoczeniu - ulice, budynki itp., w połączeniu z danymi materiałowymi jak rok budowy, materiał, przekrój itp. - (model ewidencyjny i model konstrukcji);
2. dane opisujące stan przewodów np.: różne uszkodzenia (model uszkodzeń);
3. dane hydrauliczne - dane umożliwiające hydrauliczne obliczenia sieci kanalizacyjnej dla sprawdzenia jej możliwości odprowadzania ścieków (przepustowości) przy uwzględnieniu zmieniających się warunków brzegowych;
4. dane wartościujące - dane służące określeniu wartości majątkowej i wyniki tych obliczeń;
5. dane dodatkowe - pośrednio związane z przewodami - ważne ze względu na eksploatację przewodów i oczyszczalni ścieków, dla oszacowania agresywności ścieków lub wsparcia procesu eksploatacji oczyszczalni.

Można wymienić podstawowe warunki i wymagania stawiane systemom dla opisu stanu przewodu [70]:

- jednoznaczność rodzaju uszkodzeń,
- jednoznaczność położenia uszkodzenia,
- jednoznaczność liczby uszkodzeń,
- możliwość automatyzacji dalszej obróbki,
- system opisu stanu nie może zawierać elementów oceniających, musi się ograniczać tylko do „czystego” opisu obserwacji,
- przydatność do badań (przeглядów) w przewodach przełazowych i nieprzełazowych.

4.3. Metody oceny stanu przewodu

Ogólnie wyróżnia się następujące metody oceny stanu obiektów technicznych, mogące mieć również zastosowanie w przypadku przewodów kanalizacyjnych:

- metoda deterministyczna, w której ocena oparta jest na analizie wybranych wielkości statyczno-wytrzymałościowych (np. wartości naprężeń, przemieszczeń), parametrów eksploatacyjnych (np.: przepustowości, wymiary przekroju poprzecznego) itp.; dane przedstawiane są w postaci liczbowej i porównywane z wartościami wzorcowymi (dopuszczalnymi, wymaganymi); ogólna ocena formułowana jest na podstawie ocen wybranych parametrów,
- metoda probabilistyczna, polegająca na wzbogaceniu metody deterministycznej ujęciem losowym, wykorzystującym rachunek prawdopodobieństwa,
- metoda punktowa, polegająca na subiektywnym przypisaniu przez osobę dokonującą oceny, pewnych wartości punktowych według ustalonej skali, informacjom opisującym stan budowli; punktowe oceny poszczególnych uszkodzeń i innych cech obiektu przetwarzane są następnie w celu uzyskania globalnej oceny stanu budowli,

- metoda opisowa, w której poszczególnym informacjom opisującym stan obiektu przyporządkowuje się określenia słowne pochodzące ze zbioru określeń dopuszczalnych (np. dobry, zły, zadowalający itp.); wybór określenia zależy od subiektywnej oceny osoby przygotowującej dane,
- metoda zbiorów rozmytych, polegająca na przypisaniu każdemu rodzajowi informacji ze zbioru opisującego stan budowli zbioru rozmytego; funkcje przynależności tych zbiorów należy określić na podstawie badań eksperymentalnych oraz analiz literaturowych i komputerowych wielu praktycznych rozwiązań konstrukcji i przykładów ich uszkodzeń. Operacje na zbiorach rozmytych mogą prowadzić do jednoznacznych danych, wymagają jednak badań, szczególnie pod kątem budowy funkcji przynależności. Podejście rozmyte może łączyć w sobie elementy podejścia deterministycznego, punktowego i opisowego.

Do oceny stanu przewodów kanalizacyjnych wykorzystuje się przede wszystkim metody punktowe z elementami opisowymi (jedynie z takimi zetknął się autor prowadząc poszukiwania literaturowe).

Ze względu na zróżnicowane możliwości prowadzenia badań w przewodach przełączowych i nieprzełączowych, wynikające przede wszystkim z ich dostępności, można przyjąć różne sposoby opisu (rejestracji) uszkodzeń, jak również inne metody oceny stanu przewodów. Przykładowo, do oceny stanu przewodów przełączowych łatwiej można wykorzystywać metodę typu deterministycznego, która umożliwia opis przewodu pod kątem jego konstrukcji, szczelności i parametrów eksploatacyjnych, uwzględniając tylko cechy mierzalne (co jest jej wadą). Jednak i w tym przypadku mogą wystąpić ograniczenia w rejestracji danych odpowiednich dla metody deterministycznej, wynikające z możliwości technicznych i praktycznych realizacji badań przez przedsiębiorstwa. Korzystnym wydaje się więc tworzenie jednego modelu oceny stanu dla przewodów przełączowych i nieprzełączowych.

Jednocześnie logicznym jest korzystanie z różnych metod oceny w zależności od dokładności badań (opisu) stanu przewodu, związanych z przyczyną i rodzajem przeprowadzanej kontroli. Przykładowo, ograniczony opis stanu przewodu wynikający z kontroli bieżących wymagać będzie innej (uproszczonej) metody oceny, niż w przypadku gdy dokonywana będzie ona po dokładniejszej kontroli okresowej.

Metoda oceny stanu przewodów bazująca na przeglądzie wzrokowym nie może być zbyt dokładna. Poziom jej dokładności musi być adekwatny do poziomu identyfikacji uszkodzeń jaki umożliwia inspekcja wzrokowa. Metody punktowe i opisowe dobrze nadają się do oceny przewodów przy niezupełnie obiektywnym źródle danych - modelu uszkodzeń. Poziom ich dokładności może dobrze „współgrać” z dokładnością wyników z inspekcji wzrokowej.

4.3.1. Przykładowe metody oceny stosowane w praktyce

Poniżej przedstawiono przykładowe metody oceny stanu przewodów, które są metodami punktowymi z elementami opisowymi.

I. Metoda brytyjska [93]

Celem oceny jest zakwalifikowanie przewodu do jednej z pięciu klas odzwierciedlających jego aktualny stan, dla ustalania przedziałów czasu między

kolejnymi inspekcjami oraz konieczności przeprowadzenia odnowy. W metodzie rozpatruje się odcinki przewodu między studzienkami.

O klasie danego odcinka decyduje uszkodzenie posiadające największą wagę tj. uszkodzenie najbardziej niebezpieczne, ilość uszkodzeń przypadających na 1 mb kanału lub suma wszystkich uszkodzeń występujących w badanym odcinku. Zły stan przewodu występuje gdy:

- zarejestrowano co najmniej jedno, groźne uszkodzenie,
- zarejestrowano odpowiednio liczny zbiór uszkodzeń o mniejszym znaczeniu.

W przyjętym zbiorze uszkodzeń wyróżnia się trzy grupy:

- uszkodzenia strukturalne, dotyczące zmian konstrukcji przewodu,
- uszkodzenia utrudniające eksploatację przewodu,
- uszkodzenia „specyficzne”.

Dla przewodów wykonanych w różnych technologiach (np.: murowane i prefabrykowane) przyjmuje się różne zbiory uszkodzeń strukturalnych. Wszystkim uszkodzeniom przypisane są wagi i odpowiednie ilości punktów. Zbiory uszkodzeń utrudniających eksploatację i uszkodzenia specyficzne są jednakowe dla wszystkich rodzajów przewodów. Przykładowe punktacje uszkodzeń przedstawiono w tabelach 4.1, 4.2, 4.3.

Tabela 4.1. Punktacja uszkodzeń strukturalnych w przewodach z prefabrykatów [93]

Uszkodzenie	Opis	Ilość punktów	Uwagi
połączenie rur rozsunięte	mało	0.1	każde rozsuniecie
	średnio	0.5	każde rozsuniecie
	dużo	2.0	każde rozsuniecie
połączenie rur przesunięte	mało	0.1	każde przesunięcie
	średnio	0.5	każde przesunięcie
	dużo	2.0	każde przesunięcie
rysy	na obwodzie	1.0	każde pęknięcie
	podłużne	2.0	każde pęknięcie
	złożone	5.0	każde pęknięcie
pęknięcia	na obwodzie	8	każde
	podłużne	15	„
	złożone	40	„
złamanie	-	60	każde
deformacja kształtu	5 %	10	każde
	10 %	30	„
	15 %	60	„
	20 %	90	„
	25 %	125	„
	30 %	165	„
zawał	-	165	każdy

Tabela 4.2. Punktacja uszkodzeń strukturalnych w przewodach murowanych [93]

Typ uszkodzenia	Opis	Rozmiar uszkodzenia (część wewnętrznej powierzchni)						
		pojedyncze	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12
brak zaprawy	powierzchniowe	0	0	0	0	0	0	0
	średnie	0	0	0	0	1	1	1
	całkowite	0	1	1	1	1	2	2
przemieszczenie cegieł		15	30	60	90	120	150	180
brakujące cegły		20	40	80	120	160	200	240
rysy	podłużne na obwodzie	5						
		5						
pęknięcia	podłużne na obwodzie	60						
		60						
zawał		165						
deformacje %		5	10	15	20	25	30	
punkty		20	60	120	180	250	330	

Tabela 4.3. Punktacja uszkodzeń utrudniających eksploatację [93]

Tabela 4.51. Punktacja uszkodzen utrudniajacych eksploatacje [25]			
Defekt	Opis	Punktacja	
korzenie	pojedyncze	1.0	
	kilka	2.0	
	w duzej ilosci	5 %	1.0
		5-20 %	2.0
		>20 %	5.0
inkrustacje, narosla	male	1.0	
	sdrednie	2.0	
	duze	5.0	
luszczenie sie, korozja	male	1.0	
	sdrednie	2.0	
	duze	5.0	
zamulenie	male < 5 %	1.0	
	sdrednie 5 – 20 %	2.0	
	duze > 20 %	5.0	
tluszcze	< 5 %	1.0	
	5 – 20 %	2.0	
	> 20 %	5.0	
przeszkody, zator	-	10.0	

Po przeglądzie oblicza się ilość punktów przypadających na badany odcinek. W wyniku obserwacji otrzymuje się trzy wartości:

- wartość maksymalną - wskazującą uszkodzenie najgroźniejsze,
- wartość średnią - określającą ilość uszkodzeń przypadających na 1 mb przewodu,
- sumę - określa ilość i jakość uszkodzeń występujących w badanym odcinku.

Wstępnej klasyfikacji przewodu dokonuje się na podstawie tabel, niezależnych dla uszkodzeń strukturalnych i utrudniających eksploatację.

Tabela 4.4. Klasyfikacja przewodów wg skali punktowej dla uszkodzeń strukturalnych [93]

Klasa kanału	Wartość punktowa		
	maksymalna	całkowita	średnia
1	< 10	< 20	< 0.3
2	10 – 59	20 – 99	0.3 – 1.49
3	> 60	> 100	> 1.5

Tabela 4.5. Klasyfikacja przewodów wg skali punktowej dla uszkodzeń utrudniających eksploatację [93]

Klasa kanału	Wartość punktowa		
	maksymalna	całkowita	średnia
1	< 5	nie stosuje się	< 1.0
2	5 – 7.9	nie stosuje się	1 – 1.99
3	> 8	nie stosuje się	> 2.0

Dodatkowo uwzględnia się ewentualne występowanie gruntu o wysokim ryzyku wplukiwania do przewodu jak i oddziaływanie na przewód dużych zmiennych obciążeń, co powoduje modyfikację uzyskanej klasy przewodu.

Tabela 4.6. Wpływ rodzaju gruntu i dodatkowych obciążeń na klasyfikację przewodu [92]

Klasyfikacja uszkodzeń wewnętrznych	Typ gruntu	Uzyskana klasa		
		Dodatkowe obciążenia		
		rzadkie	przypadkowe	ciągłe
4	wysokie ryzyko	4	5	5
3		3	4	5
2		2	3	3
4	średnie ryzyko	4	4	5
3		3	4	4
2		2	2	3
4	niskie ryzyko	4	4	5
3		3	3	3
2		2	2	2

O ostatecznej klasyfikacji decyduje uwzględnienie informacji zebranych przed przeprowadzeniem inspekcji, dotyczących otoczenia i dotychczasowej pracy przewodu:

1. dla przewodów ulegających częstym zawałom - minimalna klasa jaka może zostać przyznana – 4,
2. dla przewodów w otulinie betonowej - uzyskaną klasę przewodu można zmniejszyć o 1,
3. przewody zbudowane z podwójnej warstwy cegieł i położone w gruntach o średnim lub wysokim ryzyku traktuje się jako położone w gruntach o niskim ryzyku,
4. dla przewodów, które często ulegają uszkodzeniu, przy spadku dna większym niż 10‰, uzyskana klasa powinna zostać zwiększona o 1,
5. dla przewodów przebiegających pod drogami o dużym natężeniu ruchu, przykrytych mniej niż jednometrową warstwą gruntu, uzyskana klasa powinna zostać zwiększona o 1,
6. dla przewodów położonych poniżej zwierciadła wody gruntowej, w gruntach o wysokim ryzyku, uzyskana klasa powinna zostać zwiększona o 1.

W modelu przyjęto następujące interpretacje klasy przewodu:

- klasa 5 - zawał przewodu lub stan bardzo bliski wystąpienia zawału (deformacje >15%, pęknięcia, załamania, duże powierzchnie uszkodzone, poważne nieszczelności);
- klasa 4 - zawał bardzo prawdopodobny (deformacje 5 - 15%, pęknięcia, załamania, duże ubytki materiału);
- klasa 3 - zawał w najbliższej przyszłości mało prawdopodobny, występowanie przecieków (deformacje 0 - 5%, pęknięcia, źle wykończone połączenia, zmiany spadków, korozja, narośla);
- klasa 2 - zawał mało prawdopodobny, duże prawdopodobieństwo przecieków (pęknięcia na obwodzie, niewielkie uszkodzenia połączeń);
- klasa 1 - stan przewodu zadowalający (bez uszkodzeń).

Uzyskane klasy pozwalają planować częstotliwość inspekcji oraz przyjąć program naprawczy (tabele 4.7, 4.8).

Tabela 4.7. Okresy między inspekcjami przewodu [93]

Stan techniczny kanału Klasa	Kategoria kanału A	Kategoria kanału B
5	w ramach awarii	w ramach awarii
4	.*	5 lat
3	3 lata	15 lat
2	5 lat	20 lat
1	10 lat	20 lat

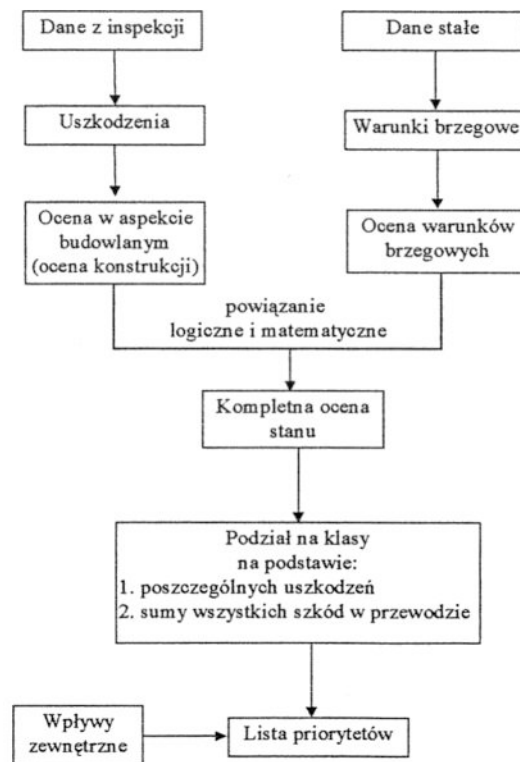
* - gdy nie został określony czas planowanej renowacji, przewód powinien być pod stałą kontrolą, inspekcje należy prowadzić często np. co dwa tygodnie

Tabela 4.8. Klasyfikacja przewodu do remontu lub renowacji [93]

Klasa przewodu	Konieczne prace
4 i 5	stan przewodu krytyczny: zawał lub zniszczenie uniemożliwiające prawidłową pracę; konieczne pilne rozpoczęcie prac remontowych lub renowacyjnych
3	przewód w złym stanie technicznym, pogorszone warunki hydrauliczne; przewód powinien zostać ujęty w najbliższym planie remontów
1 i 2	przewód w dobrym stanie; prace remontowe nie są konieczne, należy kontynuować planowe inspekcje TV

II. Model niemiecki [58]

Opisana w pracy metoda opiera się w znacznej mierze na instrukcji ATV A 143 [77]. Na rysunku 4.3 przedstawiono schemat blokowy modelu:



Rys.4.3. Model oceny stanu przewodów [58]

Uszkodzenia rejestrowane są w trakcie inspekcji zgodnie z zasadami ustalonymi w instrukcji [77]. Następnie ocenia się stan konstrukcji przewodu przydzielając uszkodzeniom odpowiednią liczbę punktów. Przydzielona liczba punktów powinna odzwierciedlać wpływ danego uszkodzenia na stan konstrukcji przewodu. Punktacja dla danego uszkodzenia jest iloczynem punktacji częściowych, związanych z pozycyjną formą notacji uszkodzeń (rysunek 2.5, rozdział 2.4.1).

Przykład punktacji różnych uszkodzeń (rysy podłużne) przedstawiono w tabeli 4.9. Przyjęto następujące oznaczenia:

- 1 - rysa podłużna w sklepieniu o maksymalnej szerokości 0.05 cm, widoczna wilgoć;
- 2 - rysa podłużna w sklepieniu o maksymalnej szerokości 0.3 cm, na odcinku przewodu, widoczna wilgoć;
- 3 - rysa podłużna w sklepieniu o maksymalnej szerokości 0.3 cm, na całej długości przewodu, widoczna wilgoć;
- 4 - rysa podłużna w sklepieniu o maksymalnej szerokości 0.3 cm, na całej długości przewodu, widoczna infiltrująca woda;

Tabela 4.9. Przykład punktacji dla różnych uszkodzeń [58];

l.p.	Notacja wg ATV M 143, T.2					Ocena stany konstrukcji					
	pozycje wg notacji					punktacje dla pozycji					TT
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	R	L	F	O	0.05	60		1.0	1.0	1.5	90
2	R	L	F	O	0.3	60		1.0	1.0	4.0	240
3	R	L	F	-	0.3	60		1.0	2.0	4.0	480
4	R	L	E	-	0.3	60		2.0	2.0	4.0	960

Oznaczenia przyjęte w tabeli:

R - rysa, L - podłużna, F - widoczne zawilgocenie, E - widoczna infiltrująca woda, O - w kluczu, o ograniczonej długości, - - na całej długości przewodu (oznaczenia wg ATV M 143, T.2), TT - łączna liczba punktów.

Celem oceny warunków brzegowych jest uwzględnienie różnego potencjału zagrożenia stwarzanego przez uszkodzenia w konkretnych warunkach. Dla stwierdzonych uszkodzeń należy określić ilościowo ważne warunki zewnętrzne i wynik ich oceny powiązać ze stanem konstrukcji przewodu. W przedstawianym modelu warunki brzegowe analizuje się w aspekcie ich wpływu na nośność konstrukcji przewodu, degradację środowiska i zdolność funkcjonowania przewodu (w sensie odprowadzania wymaganej ilości ścieków).

Ze względu na nośność konstrukcji opisuje się:

- położenie przewodu w odniesieniu do obszaru ruchu pojazdów - wykorzystanie powierzchni terenu pod którą przebiega przewód,
- wysokość przekrycia przewodu,
- wymiary przewodu.

Są to dane niezbędne do rozpoznania obciążeń mechanicznych oddziaływujących na przewód.

Dla rozpoznania wpływu warunków brzegowych na ewentualną degradację środowiska analizuje się:

- położenie przewodu w terenie,
- położenie w stosunku do poziomu wody gruntowej,
- przynależność przewodu do kanalizacji określonego rodzaju,
- stopień zanieczyszczenia ścieków,
- wypełnienia (wykorzystanie hydrauliczne),
- wymiary przewodu.

Dane te pozwalają uwzględnić występowanie w otoczeniu przewodu obszarów wymagających szczególnej ochrony np.: tereny wodonośne, rekreacyjne; możliwość występowania eksfiltracji lub infiltracji; rodzaj i ilość ścieków, która może wydostać się na zewnątrz przewodu.

W aspekcie hydraulicznej zdolności funkcjonowania przewodu rozpatruje się:

- jego wypełnienia (wykorzystanie hydrauliczne),
- wymiary.

Pozwala to ustalić znaczenie i wykorzystanie przewodu w sieci kanalizacyjnej miasta. W ramach oceny warunków brzegowych, wymienionym danym przypisane zostają współczynniki (wagi). Wagi te określają stosunek konkretnej danej do tzw. sytuacji typowej, której waga przyjmuje wartość 1.0. Na przykład dla *wymiarów przewodów* za sytuację typową uznaje się przewód o średnicy ϕ 200, a dla *położenia przewodu w obszarze ruchu pojazdów* sytuacją typową jest położenie przewodu pod ulicą dojazdową (odpowiednia klasa ulicy). Konkretnym danym przydziela się więc wartości >1 , lub <1 .

Ocena warunków brzegowych przebiega równolegle do oceny stanu konstrukcji przeprowadzanej na podstawie jej uszkodzeń. Zwraca się uwagę, że nie wszystkie uszkodzenia mają związek z każdym z trzech aspektów zagrożeń. Jeśli istnieje związek między uszkodzeniem a zagrożeniem, uzyskana punktowa ocena uszkodzenia jest mnożona przez wagi przypisane warunkom zewnętrznym. Następuje więc zwiększenie lub zmniejszenie punktacji uszkodzeń. Ostatecznej oceny stanu dokonuje się na podstawie sumy punktów wszystkich uszkodzeń, lub uszkodzenia najbardziej niebezpiecznego w przewodzie. Przykład wpływu różnych warunków brzegowych na punktację konkretnego uszkodzenia (rysa podłużna w kluczu o rozwarości 0.3 cm) przedstawiono w tabeli 4.10.

Tabela 4.10. (opis w tekście) [58]

Warunki brzegowe:																	
1. przewód ogólnospławny, ϕ 300, droga dla pieszych, 4.0 m przekrycia, poniżej poziomu wody gruntowej, ścieki domowe, 80% wypełnienia hydraulicznego;																	
2. przewód ogólnospławny, ϕ 300, droga główna, 1.0 m przekrycia, powyżej poziomu wody gruntowej, ścieki domowe, 80% wypełnienia hydraulicznego;																	
3. przewód sanitarny, ϕ 400, droga dojazdowa, 2.0 m przekrycia, zmienny poziom wody gruntowej, ścieki domowe, 110% wypełnienia hydraulicznego;																	
	Ocena stanu konstrukcji przewodu	Ocena warunków brzegowych														Ostateczna ocena stanu	
		Stateczność				Obciążenie środowiska						Funkcja			Σ		
		LIV	H	DN	TT	STO	LGW	ES	V G	HYD	DN	TT	HYD	DN			TT
1	240	0.2 5	0.9 6	1.0	0.2 4	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0	0.80			-	1.04	250
2	240	1.3	1.6 2	1.0	2.1 1	1.0	2.0	1.0	1.0	0.8	1.0	1.60			-	3.71	890
3	240	1.0	1.4 8	1.3	1.9 2	1.0	1.5	2.0	1.0	1.1	1.3	4.29			-	6.21	1490

Oznaczenia przyjęte w tabeli:

LIV - położenie przewodu w obszarze ruchu pojazdów, H - wysokość przekrycia przewodu [m], DN - wymiary przewodu [m], STO - położenie przewodu w terenie, LGW - położenie w stosunku do poziomu wody gruntowej [m], ES - rodzaj kanalizacji, VG - stopień zanieczyszczenia ścieków, HYD - wypełnienie przewodu;
TT - iloczyn wag przydzielonych warunkom brzegowym dla poszczególnych aspektów, Σ - suma iloczynów.

Wadą przedstawionej metody (na co zwrócono również uwagę w [33]) wydaje się być nadmierna szczegółowość przy ocenie stanu konstrukcji. Można mieć wątpliwości czy punkty w każdym przypadku dobrze opisują uszkodzenia (powiązanie przydzielonej wartości z rzeczywistym stanem konstrukcji). Z drugiej strony analiza warunków brzegowych wydaje się zbyt uproszczona. Nie jest przekonywujące, że tak skomplikowany problem można wyrazić za pomocą punktów karnych.

Inne metody oceny, wykazujące podobne podejście do zagadnienia, zaprezentowano w pracach: [9,70,78].

III. Model oceny stosowany przez MPWiK we Wrocławiu [81]

W modelu zapisuje się występujące w przewodzie uszkodzenia w odpowiedniej formie umożliwiającej automatyczne przydzielenie uszkodzeniu odpowiedniej liczby punktów karnych (od 0 do 10). Ponadto niektórym uszkodzeniom przydziela się odpowiednią klasę. Przydzielenie klasy jest elementem opisu uszkodzenia, służy również dokonaniu późniejszej oceny stanu przewodu. Klasa określa intensywność (wagę) konkretnego uszkodzenia - np.: klasa dla korzeni, inkrustacji, pęknięć. Ustalenie klasy nie jest związane z punktami karnymi. Przykładowo dla inkrustacji zajmującej określony procent powierzchni przekroju poprzecznego przyjmuje się:

- a) 0 - 10 % - 1 klasę,
- b) 10 - 30 % - 2 klasę,
- c) 30 - 100 % - 3 klasę.

Uszkodzenia obserwowane w przewodzie dzieli się na punktowe i liniowe. Dla uszkodzeń liniowych ilość przydzielanych punktów dotyczy jednego metra bieżącego. Uszkodzenia grupuje się ze względu na ich charakter i wpływ na stan kanału. Grupowanie to umożliwia późniejsze automatyczne wyszukiwanie podobnych zdarzeń np.: pęknięć. Przykład punktacji uszkodzeń przedstawiono na rysunku 4.4. Uszkodzenia opisane i ocenione w powyższy sposób nazywa się uszkodzeniami zasadniczymi.

KOD	NAZWA	Skr	
001			
002	pęknięcie podłużne 0-3 mm	KL1	2
003	pęknięcie poprzeczne 0-3 mm	KO1	2
004	pęknięcie promieniste 0-3 m	KP1	3
005	tworzenie skorup	KS	5
006	ubytek skorupy	KU	6
007	zawał	KZ	10
008	odnoga- zapiaszczenie	OA	
009	odnoga- inkrustacja 0- 10%	OI1	1
010	odnoga- inkrustacja 10- 30%	OI2	2
011	odnoga- inkrustacja 30-100%	OI3	3
012	odnoga- korzenie 0- 10%	OK1	1

Rys. 4.4. Przykładowa punktacja uszkodzeń [12]

Dla zwiększenia dokładności oceny stanu przewodu, każdemu uszkodzeniu zasadniczemu można przypisać jedno tzw. uszkodzenie towarzyszące. Można za nie uznać uszkodzenie wtórne lub zjawisko występujące razem z uszkodzeniem zasadniczym. Występowanie uszkodzenia towarzyszącego związane jest zazwyczaj ze zwiększoną uciążliwością uszkodzenia zasadniczego. Uszkodzeniu towarzyszącemu przypisuje się mnożnik korygujący punktację uszkodzenia zasadniczego. Mnożnik może przybierać następujące wartości:

- > 1 - uszkodzenie towarzyszące dodatkowo uciążliwe,
- 1 - uszkodzenie towarzyszące bez dodatkowego wpływu na ocenę uszkodzenia zasadniczego,
- < 1 - uszkodzenie zasadnicze mniej uciążliwe niż zazwyczaj,
- 0 - uszkodzenie zasadnicze bez znaczenia.

Wartość mnożnika może być określana według uznania prowadzącego inspekcję. Mnożnik można zastosować również przy nieistnieniu uszkodzenia towarzyszącego, np.: dla podkreślenia znaczenia uszkodzenia zasadniczego o nietypowym charakterze. Przykład uszkodzeń towarzyszących z mnożnikami przedstawia rysunek 4.5.

KOD	NAZWA	Mnozник
01		1.0
02	exfiltr.	1.5
03	infiltr.	1.2
04	inkrust.	1.1
05	nieważne	0.0

Rys. 4.5. Przykładowe uszkodzenia towarzyszące z mnożnikami [12]

W modelu ocenę przeprowadza się dla przewodu składającego się z tzw. przelotów - odcinków między studzienkami. Wylicza się następujące wartości:

- sumę punktów karnych dla całego przewodu - W1,
- ilość punktów karnych na 1 mb przewodu,
- średnią z ilości punktów karnych na 1 mb w poszczególnych przelotach - W2,
- średnią z procentowego udziału uszkodzeń liniowych w zbiorze wszystkich uszkodzeń przelotów - W3,
- średnią z klas dla uszkodzeń liniowych z poszczególnych przelotów - W3,
- ilość uszkodzonych złączy,
- średnią ilość uszkodzonych złączy na jeden przelot,
- średnią z procentu uszkodzonych złączy dla poszczególnych przelotów - W4,
- średnią z klas uszkodzonych złączy z poszczególnych przelotów - W4,
- ilość uszkodzonych trójników,
- średnią ilość uszkodzonych trójników na jeden przelot,
- średnią z procentu uszkodzonych trójników dla poszczególnych przelotów - W5,
- średnią z klas uszkodzonych trójników z poszczególnych przelotów - W5.

Wyliczana jest średnia ważona klasa uszkodzeń konstrukcji, złączy i trójników, określająca wagę uszkodzeń tego typu.

Wynikiem oceny przewodu jest zbiór wskaźników (rysunek 4.6), które np.: dla ustalenia listy priorytetów, są poddawane wraz z danymi ewidencyjnymi przewodu dalszej analizie przez specjalistów zakładowych.

ilość przelotów	7 szt.
łączna długość przelotów	329 mb.
suma W1 - punkty karne	180 pkt.
średnia punktów karnych na 1 mb.	0.55 pkt.
średnia W2 - punkty karne na 1 mb. z poszczególnych przelotów	0.51 pkt.
średnia W3 - udział liniowych uszk.mech. z poszczególnych przelotów	6 % 1.2 klasa
ilość uszkodzonych złączy	51 szt.
średnio uszkodzonych złączy na 1 przelot	7 szt.
średnia W4 - stopień uszkodzenia złączy z poszczególnych przelotów	14 % 2.3 klasa
ilość trójników	38 szt.
ilość uszkodzonych trójników	8 szt.
średnio uszkodzonych trójników na 1 przelot	1 szt.
średnia W5 - stopień uszkodzenia trójników z poszczególnych przelotów	12 % 1.7 klasa

Rys. 4.6. Zbiór wskaźników wyliczanych dla przewodu [12]

4.3.2. Wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych w ocenie stanu przewodu

4.3.2.1. Zbiory rozmyte w opisie obiektów technicznych

Definiując pojęcie zbioru w sposób tradycyjny, wyróżnia się elementy posiadające określone właściwości i należące do zbioru (nazwijmy go X) oraz elementy pozostałe, nie posiadające tych właściwości i nie należące do zbioru. Przy definiowaniu pojęcia zbioru rozmytego przyjmuje się istnienie trzech grup elementów - oprócz dwóch powyższych, wyróżnia się grupę elementów, o których nie wiadomo na pewno czy posiadają określone właściwości lub w trochę innym rozumieniu - posiadają rozpatrywane właściwości tylko częściowo. Elementy te stanowią grupę pośrednią między dwiema pierwszymi - nie można o nich powiedzieć, że na pewno należą do zbioru X , jak również, że na pewno do niego nie należą. Analizując poszczególne elementy rezygnuje się ze związanego z logiką dwuwartościową określania „należy do zbioru” lub „nie należy do zbioru”, wprowadzając pojęcie częściowej przynależności elementu do zbioru, określone za pomocą tzw. funkcji przynależności χ . Zbiór rozmyty A można więc przedstawić jako zbiór par [32]:

$$A = \{(\chi_A(x), x)\}, \quad (4.1)$$

gdzie: $\chi_A(x)$ jest funkcją przynależności.

Funkcja przynależności przyporządkowuje każdemu elementowi x stopień przynależności do zbioru rozmytego A : od nieprzynależności - $\chi_A = 0$, przez przynależność częściową - $0 < \chi_A < 1$, do całkowitej przynależności - $\chi_A = 1$.

Zbiór w pojęciu tradycyjnym jest więc szczególnym przypadkiem zbioru rozmytego, w którym elementom przypisane są stopnie przynależności o wartościach 0 lub 1.

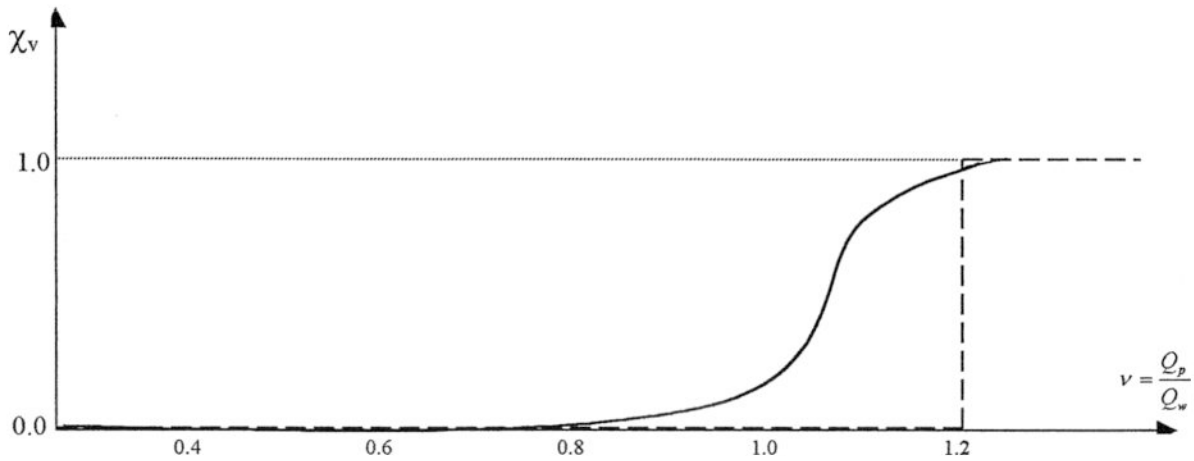
W teorii zbiorów rozmytych przejście od przynależności do nieprzynależności ma charakter stopniowy, a nie skokowy jak w teorii zbiorów konwencjonalnych. Ta cecha może mieć podstawowe znaczenia dla oceny stanu przewodu i jego uszkodzeń. W rozdziale 2.1 wykorzystano tę właściwość przy analizie cech niemierzalnych przewodu, dla ustalenia poziomu jego uszkodzenia.

Różnicę między podejściem korzystającym z logiki dwuwartościowej a ujęciem opartym na logice wielowartościowej przedstawiono na przykładzie przepustowości przewodu (opracowano na podstawie [3]). Przepustowość ν wyrażono przez stosunek rzeczywistej jego powierzchni - Q_p do powierzchni wymaganej ze względu na ilość

ścieków prowadzonych w warunkach (umownie) typowych - Q_w ; $\nu = \frac{Q_p}{Q_w}$. Wartości ν

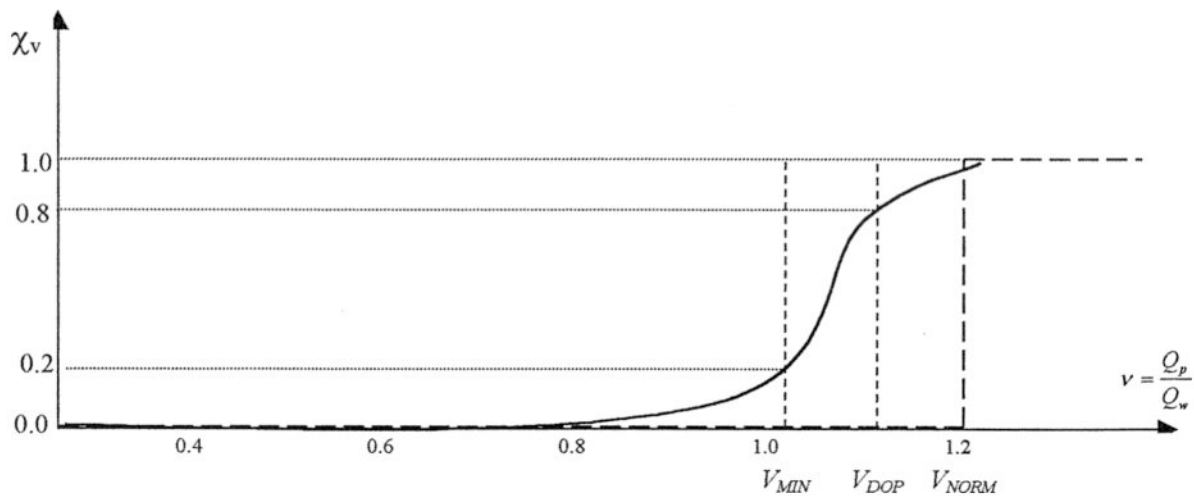
< 1 odpowiadają więc sytuacji gdy przewód w warunkach typowych pracuje pod ciśnieniem. Na rysunku 4.7, na osi odciętych podawane są wartości ν , a na osi rzędnych wartości funkcji przynależności. χ_ν (stopnie przynależności). Wartość $\chi_A = 1$ odpowiada sytuacji gdy przewód charakteryzuje się wymaganą przepustowością (wynikającą np.: z obliczeń normowych) - $\nu = 1.2$, natomiast wartość $\chi_A = 0$ oznacza całkowitą nieprzydatność przewodu dla odprowadzenia ścieków. Linia ciągła przedstawia proponowaną funkcję przynależności w ujęciu rozmytym, a przerywana w tradycyjnym. Ujęcie tradycyjne nie pozwala dokonać rozróżnienia między takimi wymiarami przewodu przy których przepustowość jest minimalnie mniejsza od wymaganej np.: $\nu = 1.18$, a takimi przy których różnica jest znaczna - np.: $\nu = 0.9$. Analiza w ujęciu tradycyjnym, w obu przypadkach stwierdziła by nieprawidłową przepustowość: $\nu_1 = 0.9 < 1.2$ oraz $\nu_2 = 1.18 < 1.2$, co może być nieodpowiednie dla

podejmowania racjonalnych decyzji. Wady tej nie ma podejście rozmyte, w którym każdej wartości rozpatrywanego parametru odpowiada inna wartość funkcji przynależności.



Rys.4.7. Ocena przepustowości przewodu w ujęciu tradycyjnym – linia przerywana, i rozmytym – linia ciągła

W praktyce często rozdziela się obiekty, które w różnym stopniu odbiegają od „idealnego” poziomu wymagań, ustalając przedziały zmienności cechy dla podejmowania odpowiednich działań. Można to wyrazić w ujęciu rozmytym, przyjmując przedziały rozpatrywanego parametru wraz z odpowiadającymi im wartościami funkcji przynależności (rysunek 4.8).



Rys.4.8. Ustalenie przedziałów zmienności cechy przewodu: V_{NORM} - przepustowość normowa, V_{DOP} - przepustowość dopuszczalna, V_{MIN} - przepustowość minimalna

Przepustowość dopuszczalna - v_{DOP} może być traktowana jako np.: najmniejsza, przy której nie ma potrzeby przeprowadzania działań remontowych przez zarządzającego siecią - przewód realizuje swoją funkcję stosunkowo poprawnie. Taka sytuacja reprezentowana jest przez stopień przynależności χ_v z przedziału (0.8, 1.0). Przepustowość minimalna - v_{MIN} może być np.: najniekorzystniejszą wartością parametru v przy którym przewód może być jeszcze eksploatowany, pod warunkiem wprowadzenia ograniczeń eksploatacyjnych. Tej sytuacji odpowiada stopień przynależności χ_v z przedziału (0.2, 0.8).

Innym przykładem wykorzystania podejścia rozmytego jest opis stanu konstrukcji budowli. Stan budowli można opisać za pomocą następujących wielkości:

σ_i - maksymalne naprężenia w budowlu,

ε_i - największe odkształcenie budowli,

n - nośność budowli,

porównując je z wielkościami dopuszczalnymi:

σ_{dop} - naprężenie dopuszczalne,

ε_{dop} - odkształcenie dopuszczalne,

n_p - nośność projektowana.

Jeżeli przykładowo:

$\sigma_i \ll \sigma_{dop}$ - naprężenie w elemencie jest „dużo” mniejsze od dopuszczalnego,

$\varepsilon_i < \varepsilon_{dop}$ - odkształcenie w elemencie jest mniejsze od dopuszczalnego,

$n \approx n_p$ - nośność obiektu jest „prawie” równa projektowanej,

to w zapisie rozmytym możemy wyrazić nieostre pojęcia, określone znakami: „ $\ll$ ”,

„ $<$ ”, „ $\approx$ ” w postaci liczb i ostatecznie stan obiektu zapisać w postaci zbioru rozmytego:

$$S_b = (0.7 / \sigma_i + 0.95 / \varepsilon_i + 1.0 / n), \quad (4.2)$$

gdzie: + - odpowiada wyrazowi „oraz”,

0.7, 0.95, 1.0 - stopnie przynależności wielkości σ_i , ε_i , n do zbioru wartości dopuszczalnych.

4.3.2.2. Metoda I

Wszystkie właściwości i funkcję realizowane przez przewód opisuje zbiór jego cech mierzalnych C_m i niemierzalnych C_n : $C = C_m \cup C_n = \{c_1, c_2, \dots\}$

Wyróżnia się następujące cechy przewodu [59]:

A) cechy mierzalne;

1. charakterystyki geometryczne przewodu:

- wymiary przekrojów poprzecznych i elementów konstrukcyjnych,
- długości i spadki podłużne przewodu,
- oraz wymiary określające jego położenie w planie i zagłębienie,

2. charakterystyki konstrukcyjno-wytrzymałościowe:

- parametry materiałów konstrukcyjnych,
- nośność elementów konstrukcyjnych,
- odkształcalność elementów konstrukcyjnych,
- osiadanie,

3. parametry hydrauliczne:

- przepustowość,
- prędkość przepływu,
- szorstkość,

4. szczelność,

5. wiek.

B) cechy niemierzalne:

1. odporność na korozję,
2. objawy technicznego i ekonomicznego starzenia,

3. trwałość,
4. przydatność użytkowa.

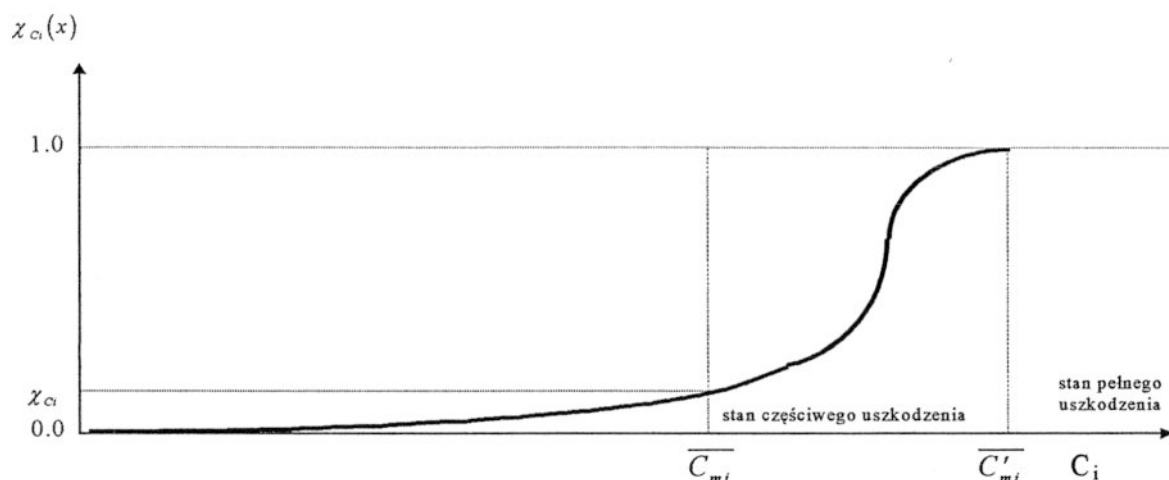
Pojęcia cech mierzalnych i niemierzalnych zdefiniowano w rozdziale 2.

Ocena stanu przewodu jest równoznaczna z oceną zbioru cech go opisujących. Ocena stanu może więc zostać dokonana przez podanie zbioru cech C i porównanie ich z odpowiednimi dopuszczalnymi granicami uwzględniającymi całkowitą lub częściową utratę zdolności przewodu do wykonywania pracy. Ustalone wartości dopuszczalne cech muszą być adekwatne do warunków wewnętrznych i zewnętrznych pracy przewodu. Uwzględnienie tych warunków jest podstawowym wymaganiem jakie należy postawić modelowi oceny stanu przewodu.

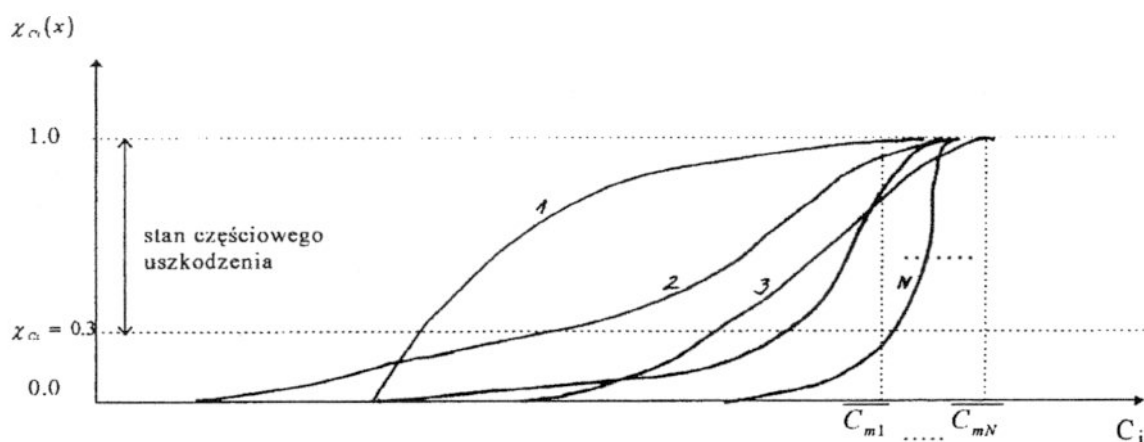
Punktem wyjścia do dalszej analizy będzie wyrażenie nieostre „uszkodzony przewód” oraz formalny zapis stanu uszkodzenia częściowego lub pełnego - wzory (2.3) i (2.4), rozdział 2.1. Dla każdej cechy przewodu można utworzyć zbiór rozmyty, określony na możliwych wartościach tej cechy. Stopnie przynależności przypisane wartościom cechy będą określały prawdziwość zdania „przewód jest uszkodzony”. Inaczej mówiąc, dla każdej cechy C_i przewodu zostanie zaproponowana funkcja przynależności $\chi_{C_i}(x)$ dla oceny jej wpływu na stan uszkodzenia przewodu.

Dla cech mierzalnych, dopuszczalna granica - $\underline{C}_{mi}$ lub $\overline{C}_{mi}$ będzie odpowiadała stopniowi przynależności równemu jeden - $\chi_{C_i}(\overline{C}_{mi}) = 1$ lub $\chi_{C_i}(\underline{C}_{mi}) = 1$, co oznacza pewność zaistnienia stanu uszkodzenia przewodu (rysunek 4.9). Wartość $\chi_{C_i}(x) = 0$, oznacza bezwzględnie prawidłową pracę przewodu ze względu na daną cechę. Dla określonej funkcji przynależności, umowna wartość graniczna $\underline{C}_{mi}$ lub $\overline{C}_{mi}$ (dla częściowego stanu uszkodzenia) ustala odpowiadający jej stopień przynależności. O ile więc stan pełnego uszkodzenia będzie dla wszystkich cech przewodu - mierzalnych i niemierzalnych, określony stopniem przynależności $\chi_{C_i} = 1$, to stanowi częściowego uszkodzenia ustalanego na podstawie $\underline{C}_{mi}$ lub $\overline{C}_{mi}$ będą odpowiadały różne wartości χ_{C_i} . Można więc zaproponować wartość stopnia przynależności np.: $\chi = 0.3$, który będzie odpowiadał granicy stanu częściowego uszkodzenia dla wszystkich cech przewodów (rysunek 4.10). Przyjęcie takiej ujednoliconej dla wszystkich cech wartości χ wydaje się być dopuszczalnym uproszczeniem, gdy weźmie się pod uwagę, że nawet wartości $\underline{C}_{mi}$ i $\overline{C}_{mi}$ są ustalonymi umownie granicami określającymi niedopuszczalnie niską jakość pracy przewodu. Taką graniczną wartość χ przyjmijmy również dla cech niemierzalnych przewodu.

Ponieważ stopnie przynależności χ_{C_i} odzwierciedlają wpływ cechy na stan przewodu stają się estymatorami oceny stanu. Ich „działanie” wynika z ustalonych przedziałów granicznych dla danej cechy przewodu, jednak ze względu na odejście od jednostek w jakich wyrażane są wartości cech, mają charakter bardziej ogólny.



Rys.4.9. Funkcja przynależności opisująca wpływ cechy przewodu C_i na stan jego uszkodzenia



Rys.4.10. Przedział $\chi = (0.3, 1.0)$ oznaczający stan częściowego uszkodzenia przewodu

Stan przewodu można opisać w postaci zbioru rozmytego, którego elementami są cechy przewodu C_i wraz z przypisanymi im stopniami przynależności:

$$S_p = (\chi_1/c_1 + \chi_2/c_2 + \dots + \chi_n/c_n), \quad (4.3)$$

gdzie: + - odpowiada wyrazowi „oraz”,

χ_1, χ_2, χ_n - stopnie przynależności cech $c_{1...n}$ określające ich wpływ na stan uszkodzenia przewodu.

W przewodzie wystąpił stan uszkodzenia całkowitego, jeżeli przynajmniej dla jednej cechy przewodu stopień przynależności χ jest większy od 1, co można zapisać formalnie:

$$\exists_i, c_i: \chi(c_i) \geq 1 \quad \text{dla } i=1, \dots, n. \quad (4.4)$$

Stan uszkodzenia częściowego zachodzi gdy przynajmniej dla jednej cechy ze zbioru, stopień przynależności przekracza umowną granicę $\chi = 0.3$:

$$\exists_i, c_i: \chi(c_i) \in (0.3, 1.0) \quad \text{dla } i=1, \dots, n. \quad (4.5)$$

Wzory (4.4) i (4.5) są odpowiednikami wzorów (2.3) i (2.4). Posługiwanie się stopniami przynależności wydaje się jednak ułatwiać interpretację wyników.

Istnieje możliwość ustalenia przedziałów zmienności stopni przynależności, którym zarządzający przewodem przypisuje konkretne działania.

Przykładowo przyjęto przedziały:

$$1. \chi > 0.8$$

2. $\chi \in (0.5, 0.8)$

3. $\chi \in (0.3, 0.5)$

Ad 1) Jeżeli w wyniku kontroli przewodu okazało się, że stopień przynależności dla którejkolwiek z cech przekroczył wartość 0.8, należy w trybie natychmiastowym dokonać odnowy przewodu, przynajmniej ze względu na tę cechę.

Ad 2) Jeżeli stopień przynależności dla którejkolwiek z cech znalazł się w przedziale $(0.5, 0.8)$, należy zwiększyć częstotliwość przeprowadzania kontroli przewodu odpowiednio do wartości $\chi > 0.5$ i zaplanować przeprowadzenie odnowy - pełnej lub ze względu na daną cechę.

Ad 3) Jeżeli stopień przynależności dla którejkolwiek z cech znalazł się w przedziale $(0.3, 0.5)$, należy dwukrotnie zwiększyć częstotliwość przeprowadzania kontroli przewodu.

Istnieje również możliwość porównywania stanu różnych przewodów:

a) dokładna, gdy porównuje się ze sobą stopnie przynależności dla wszystkich cech;

b) uproszczona, polegająca na obliczeniu „wskaźnika stanu”, będącego średnią ze stopni przynależności poszczególnych cech lub ich sumą. Należy podkreślić, że zaproponowany wskaźnik nie odzwierciedla stanu przewodu - pełni rolę porównującą dla dwóch lub więcej przewodów. Jednocześnie porównywanie przewodów z użyciem tego wskaźnika jest sensowne, o ile żaden ze stopni przynależności nie przekroczył wartości 1.

Uzasadnione wydaje się być porównywanie przewodów przy pomocy analizy ich wszystkich cech oraz wyliczanych dodatkowo, w sytuacjach wątpliwych, wskaźników.

Przedstawiona metoda wymaga sporządzenia wykresów funkcji przynależności dla poszczególnych cech. Wykresy te będą różne dla różnych przewodów. Na ich kształt decydujący wpływ będą miały warunki zewnętrzne i wewnętrzne pracy przewodu, które stanowią również podstawę dla ustalenia dopuszczalnych granic cech. Przyjęcie tych wykresów powoduje uwzględnienie w ocenie przewodów kryteriów ich prawidłowej pracy – kryterium wytrzymałości, kryterium ekologiczne (szczelności) i kryterium hydrauliczne. Biorąc pod uwagę rozległość sieci kanalizacyjnej konieczne by było stworzenie bazy zawierającej funkcje przynależności dla przewodów podzielonych na grupy charakteryzujące się dużym podobieństwem.

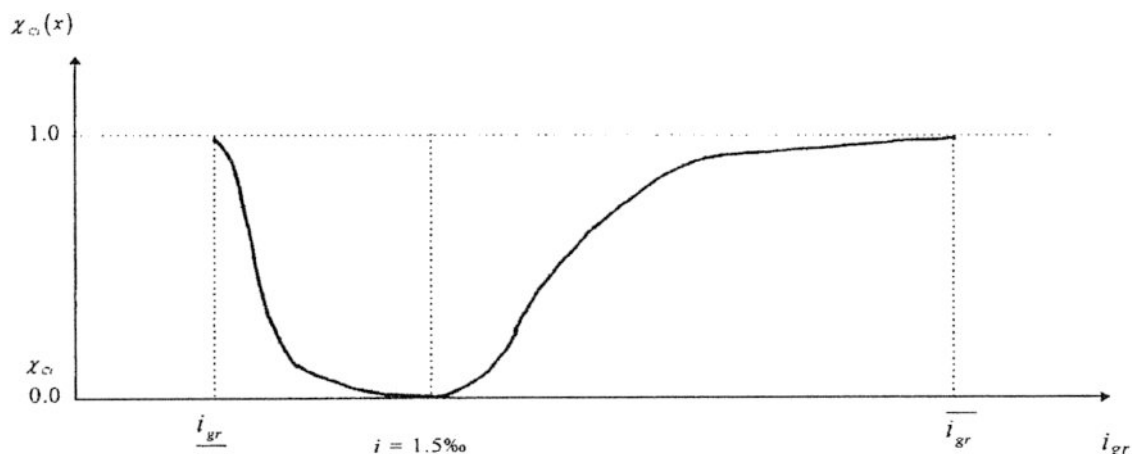
Jako przykład zaproponowano funkcje przynależności dla następujących cech przewodu:

- spadek podłużny przewodu „ i ” [‰] - dla przewodu o projektowanym spadku

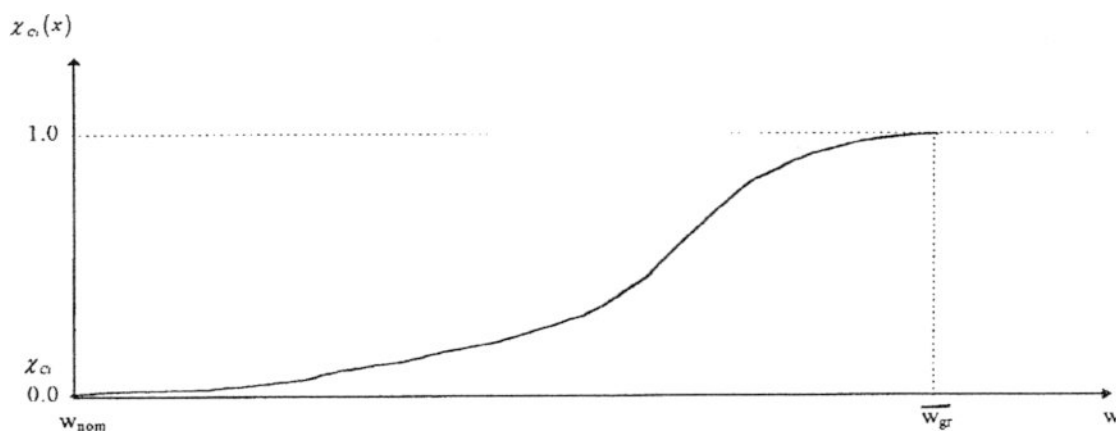
$i = 1,5$ ‰ oraz wartościach granicznych $i_{gr} = 3$ ‰ i $i_{gr} = -1,5$ ‰ - rysunek 4.11;

- nośność elementu konstrukcyjnego np.: wytrzymałość rury w [kN/m] - dla rury

kamionkowej $\phi 400$ w = 64 kN/m [5]; obliczone maksymalne obciążenie zewnętrzne działające na przewód - 50 kN/m zostało uznane za dopuszczalną granicę spadku nominalnej wytrzymałości rury - rysunek 4.12.



Rys.4.11. Funkcja przynależności spadku podłużnego przewodu: projektowany spadek $i = 1.5\text{‰}$, wartości graniczne: $\underline{i}_{gr} - 3\text{‰}$ i $\overline{i}_{gr} - 1.5\text{‰}$



Rys.4.12. Funkcja przynależności opisująca wytrzymałość rury kamionkowej o $w_{nom} = 64\text{ kN/m}$ i dopuszczalnej granicy $w_{gr} = 50\text{ kN/m}$

Mimo że cechy przewodu wymienione za [59], stanowią obiektywną miarę jego funkcji i właściwości, ustalenie dla nich dopuszczalnych granic zmienności - także tych które wskazują stan pełnego uszkodzenia, jest w rzeczywistych warunkach bardzo utrudnione, a przyjęty rezultat nie musi być w pełni obiektywny. Przykładowo rozpatrzmy tak jednoznaczną cechę jak spadek podłużny przewodu. Projektując przewód przyjęto, że optymalny w danych warunkach będzie spadek wynoszący 1.5‰ . Zakładamy, że z różnych przyczyn możliwa jest zmiana tego spadku, która będzie automatycznie powodowała negatywne skutki dla pracy przewodu. Należy przyjąć wartość graniczną dla której uznamy, że nastąpił stan pełnego uszkodzenia przewodu. W tym przypadku, zgodnie z uwagą zawartą w rozdziale 2.1 mamy do czynienia z granicą określającą niedopuszczalnie niską jakość pracy przewodu, powodującą powstawanie dużych strat. Przyjęcie wartości granicznej spadku podłużnego staje się więc mniej lub bardziej uzasadnioną umową. Można przyjąć, że wartością graniczną będzie np.: powstanie przeciwspadku powodującego pracę przewodu pod ciśnieniem.

Przedstawioną metodę charakteryzuje konieczność przeprowadzenia szczegółowych badań przewodu przed dokonaniem właściwej oceny. Pomiarów wymienionych za [59] cech wymagają dostępności przewodów i zastosowania specjalistycznego sprzętu. Należy przeprowadzić badania *in situ* i badania

laboratoryjne. Niezbędne jest więc wypracowanie odpowiedniej metodyki badań i zaangażowanie specjalistów.

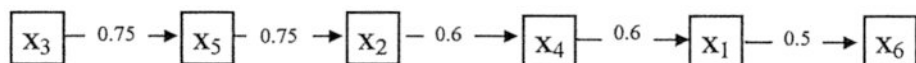
Metoda wymaga przeprowadzenia inwentaryzacji sieci (należy opracować kataster stanu) jak i budowy funkcji przynależności dla cech przewodów przypisanych „podobnym” kanałom. Przez kanały „podobne” należy rozumieć te, które przebiegają w zbliżonych warunkach, o charakterystykach (cechach) jednakowych w momencie uznanym za wyjściowy np.: w chwili oddania kanału do eksploatacji. Ze względu na rozległość sieci funkcje przynależności powinny być ujęte w komputerowej bazie danych. Złożoność badań jakie muszą być przeprowadzone, powoduje zawężenie możliwości stosowania zaproponowanej metody do sytuacji gdy dysponuje się odpowiednią ilością danych o przewodzie.

Należy stwierdzić, że dla przewodów nieprzelazowych, w warunkach ich eksploatacji, istnieje ograniczona możliwość praktycznego pomiaru cech, wynikająca z aktualnego poziomu rozwiązań technicznych stosowanych w przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych. Uwaga ta dotyczy prawie wszystkich cech, wymienionych według [59] i szczególnie aktualna jest w przypadku przewodów, które nie zostały dokładnie zinwentaryzowane i części informacji nie można odtworzyć - np.: ze względu na upływ czasu.

Zbiór analizowanych cech przewodu można zmodyfikować, dostosowując je do możliwości pomiarowych jakimi dysponuje przedsiębiorstwo lub wyspecjalizowana placówka badawcza. Jednocześnie rozwój metod pomiarowych stosowanych w kanalizacji może doprowadzić do zmiany tego stanu rzeczy (np.: próby wykorzystania metod geofizycznych do inspekcji sieci).

4.3.2.3. Metoda II

W tej metodzie, ocena stanu wynika z analizy typów uszkodzeń obserwowanych w przewodzie. Proponowany sposób opiera się na metodzie ustalenia kolejki uszkodzeń według wzrastającego poziomu stwarzanego przez nie zagrożenia. Punktem wyjścia jest uzyskany według schematu przedstawionego w rozdziale 2.5.3 graf kolejki rozmytej. Dla metody istotne jest najkrótsze ramię grafu, łączące uszkodzenie najbardziej niebezpieczne z najmniej niebezpiecznym. Ramię uzyskane dla rozwiązania przykładu I, (A) przedstawia rysunek 4.13.



Rys.4.13. Najkrótsze ramię grafu kolejki rozmytej łączące uszkodzenia x_3 z x_6 (przykład I, rozdział 2.5.3.3)

Wartości pomiędzy uszkodzeniami oznaczają ustaloną preferencję uszkodzenia x_i względem x_j , unormowaną do odcinka $[0,1]$. Przypominając: x_i jest niebezpieczniejsze od x_j dla wartości $\chi(x_i, x_j) > 0.5$, natomiast dla $\chi(x_i, x_j) = 0.5$ uważa się, że x_i i x_j są jednakowo niebezpieczne. Ustalane wartości preferencji są podstawą do przydzielenia uszkodzeniom odpowiedniej liczby punktów karnych.

Założmy, że znana jest punktacja uszkodzenia najbardziej niebezpiecznego x_1 (pierwszego w kolejce) i wynosi ona n_1 . Drugiemu uszkodzeniu w kolejce - x_2 , przydziela się liczbę punktów n_2 określoną wzorem: $n_2 = 1.5 \cdot n_1 - \chi(x_1, x_2) \cdot n_1$. Dla dowolnego uszkodzenia x_i w kolejce (cyfra przy x oznacza pozycję w kolejce - inaczej

niż na rysunku 4.13 gdzie oznaczały typ uszkodzenia), liczbę punktów karnych oblicza się według następującego wzoru:

$$n_i = 1.5 \cdot n_{i-1} - \chi(x_{i-1}, x_i) \cdot n_{i-1}, \quad (4.6)$$

gdzie: n_{i-1} - liczba punktów karnych obliczona dla uszkodzenia x_{i-1} ,

$\chi(x_{i-1}, x_i)$ - ustalona wartość preferencji uszkodzenia x_{i-1} względem x_i .

Przykład:

Jeżeli liczba punktów karnych dla uszkodzenia x_i wynosi $n_i = 10$, to zgodnie z przyjętą w rozdziale 2.5.3.2 skalą ocen, dla uszkodzenia następnego w kolejce - x_j obliczamy:

1. dla $\chi(x_i, x_j) = 1$ (x_i jest absolutnie niebezpieczniejsze od x_j) - $n_j = 5$,
2. dla $\chi(x_i, x_j) = 0.9$ (x_i jest zdecydowanie niebezpieczniejsze od x_j) - $n_j = 6$,
3. dla $\chi(x_i, x_j) = 0.75$ (x_i jest znacznie niebezpieczniejsze od x_j) - $n_j = 7.5$,
4. dla $\chi(x_i, x_j) = 0.6$ (x_i jest nieco niebezpieczniejsze od x_j) - $n_j = 9$,
5. dla $\chi(x_i, x_j) = 0.5$ (x_i i x_j są jednakowo niebezpieczne) - $n_j = 10$.

Im bardziej uszkodzenie x_i jest niebezpieczniejsze od x_j , tym większa jest różnica w uzyskanej przez x_j ilości punktów w stosunku do x_i . Oczywiście, jeżeli x_i i x_j są jednakowo niebezpieczne, odpowiada im jednakowa liczba punktów karnych.

Zgodnie z rozdziałem 2.5.3, uszkodzenia rejestrowane w przewodzie porządkuje się w postaci kolejki ze względu na mniej lub bardziej ściśle określone kryterium. Można więc dla danego zbioru uszkodzeń sporządzić grafy kolejek rozmytych według kryteriów przedstawionych w rozdziale 2.5.1. Ostatecznie otrzymuje się niezależne punktacje uszkodzeń przewodu dla różnych kryteriów, z których w danych warunkach wybiera się kryterium decydujące, lub traktując kryteria jako jednakowo ważne, wybiera się najniekorzystniejszą z uzyskanych sumarycznych punktacji.

Podstawowym problemem jest ustalenie liczby punktów dla uszkodzenia najbardziej niebezpiecznego. Liczba przyjętych punktów, odzwierciedlająca zagrożenie stwarzane przez uszkodzenie ze względu na kryterium dla którego ustalono kolejkę uszkodzeń, musi uwzględniać również warunki pracy i otoczenie przewodu. Wymaga więc dokonania przez eksperta niezależnej oceny. Proponuje się zakwalifikować uszkodzenie do jednej z klas, dla których przyjęto następujące liczby punktów :

klasa I - uszkodzenie w danych warunkach mało niebezpieczne	- 5 pkt.,
klasa II - uszkodzenie w danych warunkach niebezpieczne	- 10 pkt.,
klasa III - uszkodzenie w danych warunkach bardzo niebezpieczne	- 15 pkt.,
klasa IV - uszkodzenie w danych warunkach szczególnie niebezpieczne	- 20 pkt..

Dla wyznaczania liczby punktów uszkodzenia najniebezpieczniejszego, możliwe jest posługiwanie się inną metodą, ważne jest jednak, aby metoda ta stosowana była konsekwentnie, do oceny wszystkich przewodów które chcemy porównywać.

Zbiór uszkodzeń poddawanych ocenie może się składać wyłącznie z uszkodzeń różniących się od siebie, jak i powtarzalnych (uszkodzenia takie same lub bardzo podobne, występujące w przewodzie wielokrotnie). Zależy to od stanu przewodu, jak również od sposobu zapisu (formy rejestracji) uszkodzeń, ustalanych przez wytyczne lub katalogi uszkodzeń. Przykładowo, forma zapisu uszkodzeń przyjęta w wytycznych ATV [77], sprzyja przypadkowi pierwszemu.

Przedstawiony sposób postępowania umożliwia obliczenie punktów niezależnie od powtarzalności uszkodzeń - jest tym samym niezależny od formy rejestracji

uszkodzeń. Kolejka jest budowana tylko dla uszkodzeń różniących się od siebie. Wielokrotność punktacji uszkodzeń tego samego typu uwzględnia się w ocenie końcowej (suma).

Proponowany sposób oceny stanu przewodu łączy podejście rozmyte i metody punktowe. O dokładności uzyskanej punktacji decydują tu dwa punkty krytyczne. Pierwszym jest poprawność ustalenia preferencji dla każdej pary uszkodzeń przewodu, a drugim przydzielenie odpowiedniej liczby punktów karnych pierwszemu uszkodzeniu w kolejce. Oba elementy są zależne od doświadczenia eksperta przeprowadzającego ocenę. Przedstawiona metoda wymaga więc odpowiedniej wiedzy, co w niektórych sytuacjach może być traktowane jako wada.

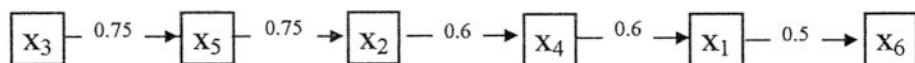
Uzyskane dla niezależnych kryteriów punktacje nie są oczywiście bezwzględnie wiarygodne, lecz ich dokładność wydaje się być odpowiednia dla metod oceny, bazujących na analizie zbiorów uszkodzeń pochodzących z inspekcji wzrokowych.

4.3.2.4. Przykład II

Postanowiono dokonać oceny stanu przewodu ogólnospławnego z rur betonowych ϕ 500, pod ulicą główną, w luźnej zabudowie terenu (osiedle domów jednorodzinnych), 2.0 m przekrycia, grunty niespoiste, powyżej poziomu wody gruntowej. W przewodzie stwierdzono występowanie uszkodzeń jak w przykładzie I (rozdział 2.5.3.3).

W przykładzie I ustalono kolejki uszkodzeń według:

A) kryterium wytrzymałości - porównano uszkodzenia ze względu na ich wpływ na nośność przewodu:

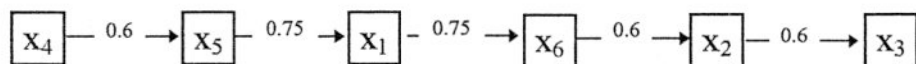


Uszkodzeniem najgroźniejszym okazało się x_3 - rysa podłużna w kluczu z towarzyszącą w kiniecie, maksymalna szerokość rysy w kluczu do 2 mm, w kiniecie nieznana, przez całą długość rury, widoczna wilgoć;

formalny zapis: RLFO 02 R

RLFU nn R

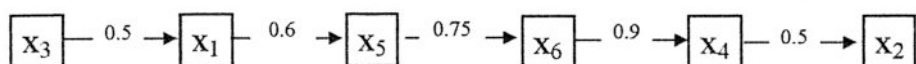
B) kryterium hydraulicznego - porównano uszkodzenia ze względu na ich wpływ na wydolność przewodu:



W tym przypadku uszkodzeniem najgroźniejszym jest x_4 - wystający króciec w prawym węzłowie, redukujący przekrój o ok. 10%;

formalny zapis uszkodzenia : SE - R 10 [%]

C) kryterium ekologicznego (szczelności) – porównano uszkodzenia ze względu na ich wpływ na eksfiltrację ścieków do gruntu:



Uszkodzeniem najgroźniejszym jest tak jak w przy kryterium wytrzymałości x_3 – rysa podłużna w kluczu z towarzyszącą w kinecie, maksymalna szerokość rysy w kluczu do 2 mm, w kinecie nieznana, przez całą długość rury, widoczna wilgoć.

Ad A) Biorąc pod uwagę konsekwencje utraty przez opisany przewód nośności, uszkodzenie x_3 zakwalifikowano do klasy III (uszkodzenie w danych warunkach bardzo niebezpieczne) i przydzielono mu 15 punktów karnych. Dla pozostałych uszkodzeń obliczono według wzoru 4.6 następujące liczby punktów:

x_5 - 11.2

x_2 - 8.4

x_4 - 7.6

x_1 - 6.8

x_6 - 6.8

Suma punktów karnych dla wszystkich uszkodzeń w przewodzie : 55.8

Ad B) Uszkodzenie najgroźniejsze - x_4 , zakwalifikowano do klasy II (uszkodzenie w danych warunkach niebezpieczne) - 10 punktów karnych. Dla pozostałych uszkodzeń obliczono następujące liczby punktów karnych:

x_5 - 9.0

x_1 - 6.7

x_6 - 5.1

x_2 - 3.0

x_3 - 2.7

Suma punktów karnych dla wszystkich uszkodzeń w przewodzie : 36.5

Ad C) Ze względu na możliwe konsekwencje eksfiltracji spowodowanej występowaniem uszkodzenia x_3 , zakwalifikowano je do klasy II – 10 punktów karnych. Dla pozostałych uszkodzeń obliczono następujące liczby punktów karnych:

x_1 - 10

x_5 - 9.0

x_6 - 6.7

x_4 - 4.0

x_2 - 4.0

Suma punktów karnych dla wszystkich uszkodzeń w przewodzie : 43.7

4.4. Wnioski

Pierwsza z zaproponowanych metod oceny stanu oparta jest na analizie zmian cech charakteryzujących przewód. Ponieważ cechy te jednoznacznie opisują właściwości i funkcje realizowane przez przewód, przedstawiona metoda oceny może zostać uznana za dokładną.

Przyjmując strategię kontroli przewodów, w której występowałyby kontrole o różnym poziomie szczegółowości, zakres badań koniecznych dla analizy cech przewodów mógłby być realizowany w ramach kontroli o wysokim poziomie szczegółowości np.: w ramach kontroli okresowej lub specjalnej. Proponowana, pierwsza metoda oceny, może być więc traktowana jako szczegółowa, związana z kontrolami okresowymi.

Przyjmując schemat procedur zmierzających do oceny stanu technicznego przewodu, przedstawiony na rysunku 4.1 (rozdział 4.1), metoda ta może służyć do uzyskania końcowej oceny stanu technicznego.

Wyniki oceny przeprowadzonej tą metodą pozwalają na jednoznaczne stwierdzenie zaistnienia stanu uszkodzenia przewodu (jeżeli dla przynajmniej jednej cechy przewodu jej stopień przynależności przekracza umowną granicę np.: $\chi_i > 0.3$). Możliwość stwierdzenia stanu uszkodzenia jest jednym z dwóch podstawowych warunków, jakie muszą być spełnione dla estymacji takich wskaźników niezawodności jak: T_p , $\omega = \lambda$, K_g , K_p .

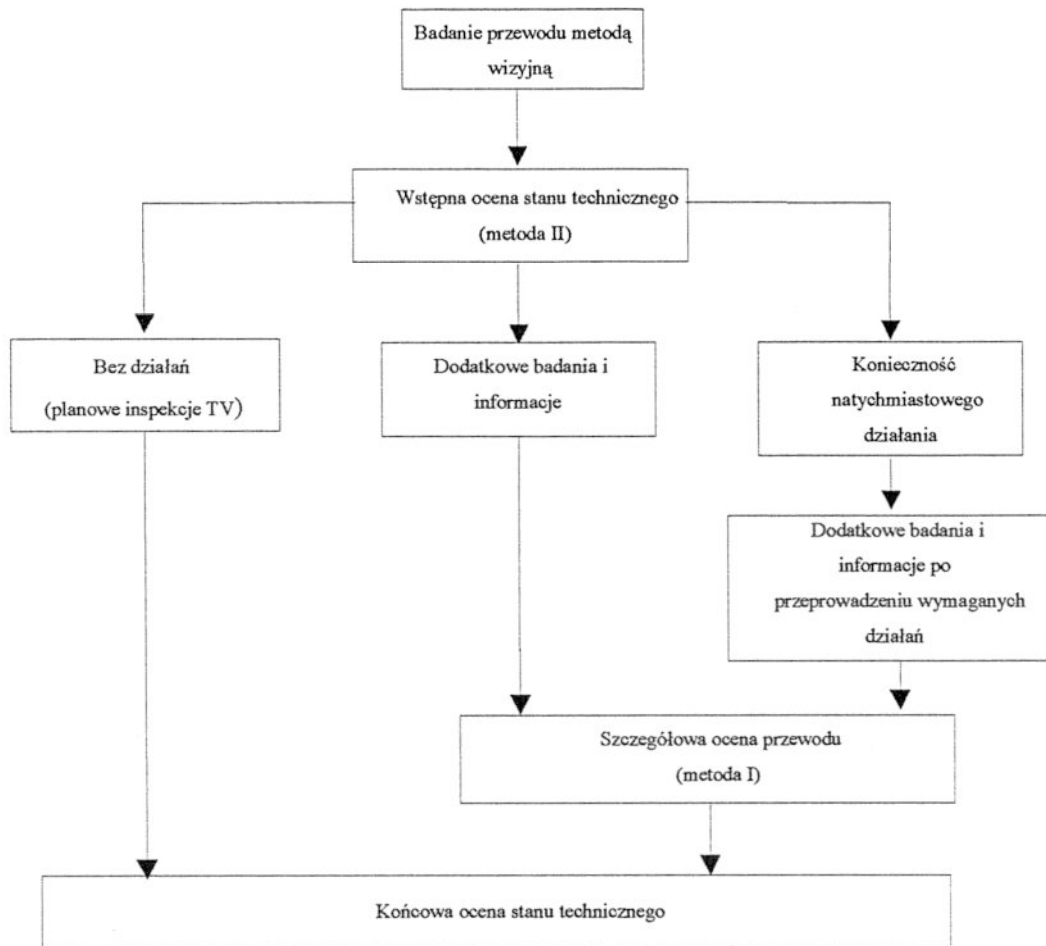
Druga z przedstawionych metod oparta jest na analizie uszkodzeń przewodu, których występowanie stwierdza się na podstawie badań metodą wizyjną. Wynik oceny wyrażony w postaci sumy punktów (dla różnych kryteriów porównywania uszkodzeń) nie pozwala na tak szeroką interpretację jak w przypadku metody pierwszej, gdzie analizuje się zmiany poszczególnych cech. Biorąc pod uwagę sposób punktacji oraz posługiwanie się zdaniami nieostryimi - subiektywnymi, drugą metodę oceny stanu można uznać za uproszczoną i powiązać z kontrolami bieżącymi - o niższym poziomie szczegółowości.

W schemacie procedur zmierzających do oceny stanu technicznego przewodu, metoda druga może służyć wstępnej ocenie stanu technicznego przewodu. W tym przypadku można przyjąć umowną liczbę punktów, określającą sytuację występowania stanu uszkodzenia, który nie pociąga konieczności wprowadzenia programu działań. Podobnie można przyjąć punktacje graniczne powodujące podjęcie natychmiastowych działań, albo przeprowadzenie dodatkowych badań dla uzyskania końcowej oceny stanu przewodu według metody pierwszej - dokonuje się wtedy przeglądu specjalnego. Identyczne działania mogą być podejmowane w sytuacji wystąpienia ustalonej, odpowiednio niekorzystnej, klasy uszkodzenia najgroźniejszego. Przykładowo:

- jeżeli obliczona liczba punktów karnych jest większa od B lub klasa najgroźniejszego uszkodzenia wynosi IV – konieczne jest przeprowadzenie natychmiastowej odnowy przewodu (stan pełnego uszkodzenia),
- jeżeli obliczona liczba punktów zawiera się między A i B, a klasa najgroźniejszego uszkodzenia wynosi II lub III – należy przeprowadzić szczegółową ocenę przewodu (stan częściowego uszkodzenia przewodu),
- jeżeli liczba punktów jest mniejsza lub równa A albo klasa najgroźniejszego uszkodzenia I – brak działań (zakłada się stan prawidłowej pracy przewodu).

Na rysunku 4.14 przedstawiono zmodyfikowany schemat procedur zmierzających do oceny stanu technicznego przewodu, uwzględniający wykorzystanie zaproponowanych metod.

Wartości graniczne A, B oraz klasy uszkodzeń najbardziej niebezpiecznych przyjęte dla metody drugiej, mogą być jednakowe dla wszystkich kryteriów, względem których dokonuje się oceny stanu przewodu. Kryteria spowodują uzyskanie różnych punktacji z oceny tego samego przewodu, ponieważ ekspert, w zależności od kryterium, może uznać różne uszkodzenia za najbardziej niebezpieczne lub uszkodzeniom jednakowym, w zależności od kryterium, przydzielić różną klasę.



Rys.4.14. Wykorzystanie metod o różnym poziomie dokładności w procedurze oceny stanu technicznego przewodu kanalizacyjnego

Stosując metodę II, przedsiębiorstwa zarządzające siecią mogą ustalić jakie uszkodzenia uważają w konkretnych warunkach za niebezpieczne. Analizując stan sieci, którą przedsiębiorstwo zarządza, oraz własne możliwości działań w sytuacjach krytycznych, przyjmowane będą własne wartości graniczne A, B i klasy. Spowoduje to różnice w jakości pracy sieci oraz nieprzystawanie do siebie wyników przeprowadzanych ocen, mimo wykorzystywania przez przedsiębiorstwa jednakowych metod oceny stanu. Ten sam problem dotyczy metody I, gdzie różnice mogą wynikać z przyjęcia różnych kształtów funkcji przynależności i przedziałów χ . Brak koordynacji między działaniami przedsiębiorstw spowoduje sytuację, w której wyniki kontroli będą miały znaczenie jedynie dla przedsiębiorstwa przeprowadzającego kontrolę.

Jeżeli miałyby być narzucone obligatoryjne standardy pracy sieci, w celu ich weryfikacji (w celu umożliwienia porównywania wyników z różnych Przedsiębiorstw), należałoby przyjąć jeden schemat procedur zmierzających do oceny stanu przewodów, wykorzystujący jednakowe metody oceny, z jednoznacznie zdefiniowanymi wartościami granicznymi, oraz jednolity system kontroli sieci. Ponadto, uwzględniając trudności w opisie uszkodzeń występujących w przewodzie, niezbędne byłoby opracowanie katalogu uszkodzeń dla ekspertów dokonujących oceny. Konieczne byłoby również przyjęcie jednolitego systemu szkoleń, w których musieli by oni uczestniczyć.

5. Kontrola przewodów kanalizacyjnych

5.1. Uwagi wstępne

Systematyczna kontrola przewodów kanalizacyjnych prowadzona jest w celu rozpoznania stanu przewodów oraz ich zanieczyszczenia w ramach przeglądu sieci, który zalicza się do robót konserwacyjnych [64]. Ponadto przegląd sieci obejmuje prowadzenie obchodów dla sprawdzenia stanu uzbrojenia naziemnego sieci oraz wykrycie ewentualnych zapadnięć na trasie kanałów. Oprócz kontroli systematycznych, wyróżnia się kontrole prowadzone w ramach prac odbiorowych, w sytuacjach awaryjnych, oraz kontrole specjalne podyktowane innymi względami (np. zaplanowanie odnowy przewodów). Kontroli kanałów przełączowych dokonuje się poprzez przejście odcinka kanału, kanały nieprzełączowe kontrolowane są poprzez ich prześwietlenie z wykorzystaniem luster, lub przy pomocy urządzenia telewizyjnego.

Jak podają [6,64], obchód sieci powinien odbywać się raz na miesiąc, natomiast kontrola, zarówno w przypadku kanałów przełączowych jak i nieprzełączowych, powinna być wykonywana raz w roku. Dodatkowo, kontrole kanałów, w których prowadzone są inne roboty konserwacyjne, prowadzi się w trakcie wykonywania tych robót. Wymienione pozycje literaturowe podają jeszcze pracochłonność tych przeglądów oraz liczebność grupy prowadzącej kontrole. Niektóre z przedstawionych informacje są zaczerpnięte z wydanego w 1966 roku zbioru instrukcji o eksploatacji urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych, który można uznać za zdezaktualizowany [94].

Na podstawie wyników ankiety przeprowadzonej przez autora pracy stwierdza się, że przedsiębiorstwa zarządzające siecią kanalizacyjną samodzielnie ustalają częstotliwość prowadzenia kontroli przewodów, dostosowując ją do własnych możliwości. Istnieją również przedsiębiorstwa, które nie prowadzą okresowych kontroli, co świadczy o braku obowiązujących ustaleń prawnych, wymuszających taką działalność. Nie przeprowadza się również okresowych prób szczelności przewodów w czasie ich eksploatacji (pozycje [6,64,94] przewidują dokonywanie prób szczelności jedynie w ramach badań poodbiorowych).

W Niemczech, sytuacja podobna do występującej aktualnie w Polsce, została uporządkowana rozwiązaniami prawnymi na początku lat 70.. Do tego czasu wymagania i warunki przeprowadzania kontroli przewodów (inspekcji) leżały w gestii zarządzającego siecią [37]. Aktualnie, konieczność przeprowadzania inspekcji i prób szczelności oraz ich częstotliwość regulują normy DIN (szczególnie DIN 1986), wytyczne ATV, jak również oparte na nich i różnych innych uwarunkowaniach prawnych (np.: kodeksie karnym - niem. Strafrecht § 324, przepisach komunalnych - niem. Wasserrecht § b WHG, krajowe prawo budowlane - Baurecht, itp.) rozporządzenia poszczególnych krajów związkowych [22]. Przykładem może być obowiązujące od 1996 r., krajowe (landowe) prawo budowlane Nadrenii Północnej - Westfalii, które między innymi nakłada na wszystkich właścicieli prywatnych przyłączy obowiązek przeprowadzenia badań ich szczelności do 2015 roku i następnie powtarzania ich cyklicznie w zależności od terenu w jakim przebiega przewód.

W instrukcji [77] wskazano częstości kontroli kanałów, wymagane dla rozpoznania stanu ich konstrukcji i realizacji zadań. Dla kanałów przełączowych przyjęto następujące częstości:

- a) przypadki typowe: 0.1-0.2/rok - w zależności od wieku, materiału, stanu konstrukcji,
- b) przypadki szczególne: 0.5/rok - np.:
 - dla przewodów przebiegających w różnych strefach ochrony wody pitnej, wód leczniczych, lub innych o ile nie jest to regulowane przez normy szczegółowe,
 - w przypadkach krzyżowania się z obiektami inżynieryjnymi, w zakresie regulowanym przez przepisy szczegółowe.

Przepisy szczegółowe lub odpowiednie ustalenia mogą narzucać inne częstotliwości przeprowadzania inspekcji.

Dla przewodów nieprzelazowych w typowych przypadkach przyjęto częstość kontroli 0.1/rok, a w przypadkach szczególnych 0.5/rok, z uwzględnieniem uwag jak dla przewodów przelazowych.

Wynikające z instrukcji okresy czasu między inspekcjami są bardzo wydłużone - raz do 5, raz do 10 lat, jednak uzupełniane są one kontrolami szczelności (w przewodach poniżej poziomu wody gruntowej) przeprowadzanymi w zależności od wyników inspekcji, oraz kontrolami wyposażenia np.: klap zwrotnych, płuczek, drzwi kanałowych przelewów burzowych itp..

W instrukcji brytyjskiej [93] ustalono okresy pomiędzy inspekcjami w zależności od stanu technicznego przewodu i znaczenia w sieci kanalizacyjnej - tabele 2.7 i 2.8, rozdział 4.3.1.

5.2. Metody kontroli przewodów kanalizacyjnych

Według wytycznych niemieckich, pod pojęciem inspekcji przewodów rozumie się zespół działań podejmowanych dla stwierdzenia i oceny aktualnego stanu przewodu (definicja według [77]). Tak zdefiniowana inspekcja jest zgodna z wiedzą autora na temat kontroli przewodów kanalizacyjnych. Można więc stwierdzić, że kontrola i inspekcja są to pojęcia o podobnym znaczeniu, które mogą być używane zamiennie.

W ramach kontroli przewodu może zostać przeprowadzone duże spektrum badań, dotyczących bezpośrednio samego przewodu, jak i jego bezpośredniego otoczenia. Można wymienić następujące grupy badań:

1. obserwacje wnętrza przewodu (inspekcje wzrokowe bezpośrednie i niebezpośrednie),
2. badania wytrzymałościowe metodami nieniszczącymi np.: sklerometryczne - z użyciem betonoskopu, młotka Schmidta (dla sprawdzenia wytrzymałości materiału i nośności konstrukcji),
3. badania wytrzymałościowe metodami niszczącymi np.: z użyciem aparatu Erichsena, metody typu *pull out* i *pull of*, badania pobranych próbek (dla sprawdzenia wytrzymałości materiału i nośności konstrukcji),
4. badania geotechniczne gruntu wokół kanału np.: sondowania, badania laboratoryjne lub wykorzystanie metod geofizycznych - (dla sprawdzenia rodzaju gruntu zasypowego oraz stopnia jego zagęszczenia, występowania pustek - niezbędne do ustalenia obciążeń działających na kanał oraz warunków posadowienia),
5. badania składu chemicznego ścieków i środowiska gruntowo-wodnego w otoczeniu przewodu np.: badania laboratoryjne na pobranych próbkach, badania „in situ”, z użyciem odpowiedniego sprzętu - (dla ustalenia korozyjności środowiska w którym pracuje przewód),

6. badania składu chemicznego poszczególnych części konstrukcji przewodu np.: analiza składu chemicznego pobranych próbek – laboratoryjnie lub „in situ”; próba fenoloftaleinowa, „Rainbow-Test” itp. - (dla ustalenia skali uszkodzeń i zagrożeń spowodowanych procesami korozyjnymi),
7. badania szczelności przewodu, w tym określenie ilości eksfiltrujących ścieków i infiltrujących wód gruntowych np.: tzw. „elektroniczne systemy lokalizacji”, tradycyjne określanie objętości eks- lub infiltrującej wody, metody ciśnieniowe,
8. pomiary odkształceń i przemieszczeń przewodu lub jego elementów np.: żyroskopowa kontrola linii ułożenia, kontrola geometrii rurociągu,
9. badania struktury i grubości ściany przewodu metodami nieniszczącymi np.: *impact echo*,
10. badania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w otoczeniu przewodu, wynikających z eksfiltracji ścieków.

Należy podkreślić, że mała dostępność przewodów oraz konieczność zapewnienia ciągłości ich pracy, powodują znaczne zwiększenie kosztów przeprowadzenia niektórych rodzajów badań, lub całkowicie je eliminują – problem ten dotyczy szczególnie przewodów nieprzelazowych (ograniczone możliwości przeprowadzenia badań wytrzymałościowych, pobierania próbek itp.).

5.2.1. Inspekcje wzrokowe

Z wyżej wymienionych grup badań podstawowe znaczenie dla rozpoznania stanu przewodów mają aktualnie inspekcje wzrokowe, w tym szczególnie inspekcje niebezpośrednie, wykorzystujące kamery (CCTV). Popularność tych inspekcji wynika przede wszystkim z możliwości kontroli przewodów nieprzelazowych, stanowiących ok. 80% długości sieci oraz możliwości płynnego przekazania informacji do komputerowych baz danych w celu dalszej ich analizy. Istotne jest, że przeprowadzenie inspekcji wzrokowej nie powoduje istotnych przerw w eksploatacji przewodu. Możliwość zestawów kamerowych powodują, że stosowane są również w przewodach przelazowych, w których możliwa jest bezpośrednia inspekcja wzrokowa. Rezygnuje się więc zupełnie z obecności inspektora w przewodzie (istnieją jednak graniczne wymiary przewodów w których mogą pracować wyłącznie zestawy kamerowe, wynikające ze względów technicznych), lub zaopatruje się go w sprzęt do kamerowania, powiązany z urządzeniami pracującymi na powierzchni terenu np.: w samochodzie do inspekcji [8]. Prowadzona w ten sposób kontrola łączy w sobie zasady kontroli bezpośredniej i niebezpośredniej..

Inspekcja wzrokowa polega na obserwacji wnętrza przewodu i inwentaryzacji zmian jego konstrukcji, wyposażenia oraz warunków przepływu ścieków, w stosunku do stanu wzorcowego, odpowiadającego pełnej zdolności przewodu do wykonywania pracy. W efekcie otrzymuje się całościowy obraz zmian w przewodzie, jednak wyniki przeglądu mają charakter jakościowy, wymagający odpowiedniej interpretacji. Dla prawidłowej interpretacji zaobserwowanych objawów uszkodzenia przewodu przeprowadza się niekiedy badania uzupełniające. Konieczność przeprowadzenia tych badań wynika przede wszystkim z wymaganego poziomu dokładności kontroli.

Zasady prowadzenia inspekcji telewizyjnych i wykorzystywany w nich sprzęt zostały opisane w licznych pracach [8,21,53,55,59,65].

Przedstawiony na rysunku 4.1 (rozdział 4.1.), schemat procedur zmierzających do oceny stanu technicznego przewodu kanalizacyjnego, podkreśla podstawową rolę inspekcji wzrokowej, będącej punktem wyjściowym dla działań wynikających z wstępnej oceny stanu technicznego przewodu. Wadą inspekcji wzrokowej jest niepełna obiektywność, wynikająca z jej charakteru poszlakowego - o charakterze i przyczynach uszkodzeń wnioskuje się na podstawie towarzyszących im objawów. Na dokładność wyników przeglądów z użyciem kamer wpływają dodatkowo:

- szybkość prowadzenia inspekcji (prawidłowo nie więcej niż 15 cm/sek.),
- staranność opisu uszkodzeń wynikająca z kwalifikacji i predyspozycji inspektora,
- dokładność czyszczenia przewodu przed inspekcją,
- ilość prowadzonych ścieków w czasie inspekcji (jeśli inspekcja prowadzona jest w trakcie pracy przewodu), lub ilości wody zalegającej w przewodzie po czyszczeniu.

Na problem subiektywizmu i ograniczoności danych uzyskiwanych w ramach inspekcji wzrokowych zwracali uwagę m.in. autorzy prac [22,24,25,67], wnioskując przeprowadzanie badań dodatkowych. Nie zanegowano jednocześnie znaczenia przeglądów dla oceny stanu przewodów. Przykładowo, według [25], dla wyczerpującego opisu stanu przewodu należy poza inspekcją wzrokową przeprowadzić następujące badania:

- badanie szczelności,
- kontrolę urządzeń sterujących i zamykających,
- analizę prowadzonych ścieków,
- sprawdzenie dostępności przewodu,
- analizę obciążenia hydraulicznego,
- ewentualne inne.

5.2.2. Tendencje rozwojowe w inspekcji przewodów kanalizacyjnych

Od początku lat 90-tych prowadzone są badania nad zastosowaniem metod geofizycznych, hydrogeologiczno-hydrochemicznych i hydraulicznych w badaniach kontrolnych przewodów kanalizacyjnych. Metody te miałyby charakter uzupełniający lub alternatywny w stosunku do przeglądów z użyciem kamer video. Próby zastosowania powyższych metod wynikały przede wszystkim z dużych trudności w rozpoznaniu metodami „tradycyjnymi”:

- a) rzeczywistej szczelności przewodów – w tym określeniu ilości eksfiltrujących ścieków i ich rozprzestrzeniania się wokół przewodu oraz wielkości infiltracji,
- b) struktury gruntu wokół przewodu, szczególnie dla wykrycia pustek i obszarów o różnym stopniu zagęszczenia,
- c) wewnętrznej struktury ścian przewodu – dotyczy to zarówno wad wewnętrznych, ale również ubytków i zarysowań od strony wewnętrznej i zewnętrznej ściany.

Innym ważnym zadaniem miało być umożliwienie lokalizacji przewodów i innych obiektów w ich otoczeniu.

W tabeli 5.1 przedstawiono przegląd najważniejszych metod (działów) geofizyki, których osiągnięcia mogą być zastosowane w kanalizacji [76].

Tabela 5.1. Przegląd najważniejszych metod geofizycznych [76]

Metody	Zastosowania	Wielkości fizyczne
grawimetria	- lokalizacja bliskich powierzchni terenu pustek w gruncie, - wykrycie rezerwuarów wody, - rozpoznanie starych obciążeń (ograniczenie brzegowe)	- gęstość [kg/m^3] - przyspieszenie grawitacyjne [m/s^2] - siła [N]
geomagnetyka	- lokalizacja rur, przewodów elektrycznych, - rozpoznanie starych obciążeń, - lokalizacja pustek w strukturze o właściwościach magnetycznych, - lokalizacja zakopanych materiałów metalowych,	- natężenie pola [A/m] - magnetyzacja [A/m] - indukcyjność - przenikalność magnetyczna
sejsmika (metody refrakcyjne/ refleksyjne)	- rozwiązywanie kwestii geologicznych lub hydrogeologicznych, - lokalizacja pustek w gruncie, - rozpoznanie spiętrzonych wód gruntowych,	- prędkość [m/s] - moduł sprężystości [Pa]
radiometria	- wykrycie dróg migracji w skałach, - rozpoznanie gęstości i wytrzymałości podłoża gruntowego	- promieniotwórczość [Bq] - dawka energii [Gy] - ekspozycja [C/kg]
geoelektryka	- detekcja warstw wodoprzepuszczalnych i poziomu wody gruntowej, - wykrycie granic składowisk, - lokalizacja przewodów, - lokalizacja pustek, - określenie grubości lodu	- opór [Ω] - przewodność [S/m] - stała dielektryczna

Przedstawione w tabeli metody można uzupełnić o geotermikę, zajmującą się m.in. badaniami temperatur różnych obiektów fizycznych za pomocą np.: pomiarów promieniami podczerwonymi.

Według aktualnego stanu wiedzy, uzyskanie informacji na temat szczelności przewodu umożliwiają metody hydrauliczne, hydrogeologiczno-hydrochemiczne oraz geofizyczne – w tym geoelektryczne, elektromagnetyczne, geotermiczne i radiometryczne [24,50,51,67,76]. Metody te pozwalają śledzić rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w gruncie przy eksfiltracji ścieków oraz wnioskować na temat jej intensywności. Do celów lokalizacji obiektów oraz rozpoznania struktury gruntu i ściany przewodu wykorzystuje się metody geofizyczne (geoelektryczne i akustyczne) [15,19,24,39,76].

Badania metodami geofizycznymi mogą być prowadzone z powierzchni terenu lub z wnętrza przewodu. Według [12], badania z powierzchni terenu umożliwiają:

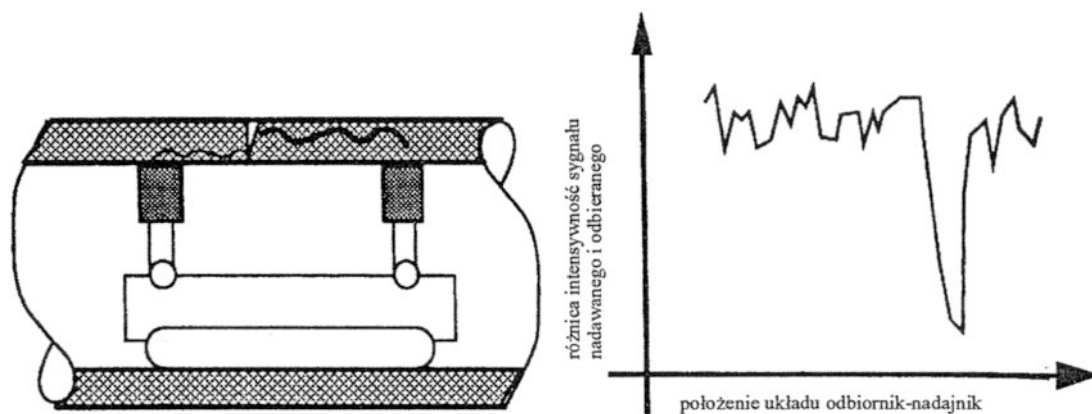
- lokalizację podziemnych przewodów,
- kontrolę zmian w ośrodku otaczającym przewód (skażenie środowiska, rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń),
- detekcję zewnętrznych nierówności ścian i miejsc eksfiltracji.

Badania przewodu z jego wnętrza umożliwiają:

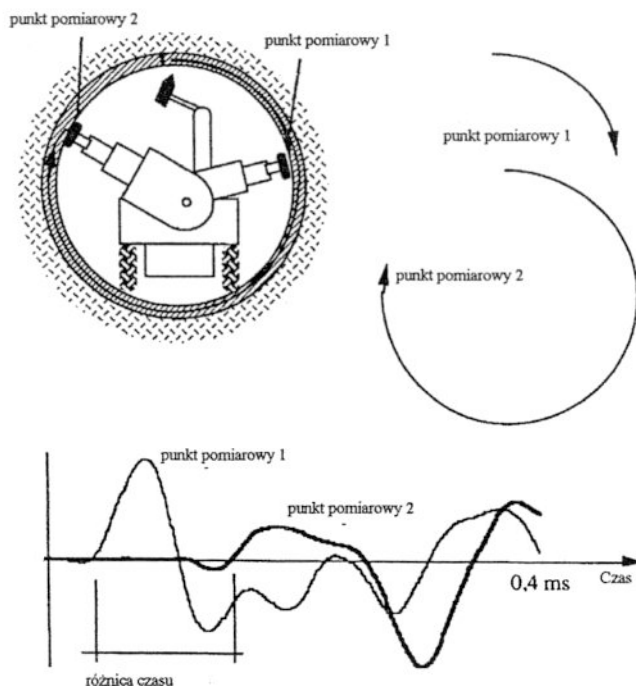
- rozpoznanie uszkodzeń ścian,
- określenie nieszczelności przewodu – lokalizacja miejsc eksfiltracji lub (w mniejszym stopniu) infiltracji,
- kontrolę gruntu w bezpośrednim otoczeniu przewodu – lokalizacja kawern, kontaminacji, gruntów o różnym stopniu zagęszczenia,
- stwierdzenie występowania wód gruntowych

W pracy [24] przedstawiono stan badań (1996 rok) nad zastosowaniem w kanalizacji metod akustycznych, geoelektrycznych i radiometrycznych.

Do metod akustycznych zalicza się metodę ultradźwiękową i metodę opartą na analizie odbitego dźwięku (Schallreflexion) [15,24,39]. Wyniki badań prowadzonych na rurach betonowych i kamionkowych z użyciem obu metod, potwierdzają możliwość stwierdzenia rys o różnych szerokościach rozwarcia, ubytków w ścianie rury – w tym powstających w wyniku tarcia, źle osadzonych króćców oraz występowania pustek lub gruntu niezagęszczonego w bezpośrednim sąsiedztwie ściany. Ponadto metoda ultradźwiękowa pozwala wnioskować o wewnętrznej korozji i wytrzymałości ściany przewodu. Na rysunkach 5.1 i 5.2 przedstawiono zasadę postępowania przy detekcji rys z wykorzystaniem obu metod.



Rys.5.1. Detekcja rys z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej [39]



Rys.5.2. Detekcja rys metodą odbitego dźwięku (Schallreflexion) [39]

Prace nad wykorzystaniem metod geoelektrycznych spowodowały rozwój systemu radarowego do wykrywania uszkodzeń w przewodzie i jego okolicy [19,24,76].

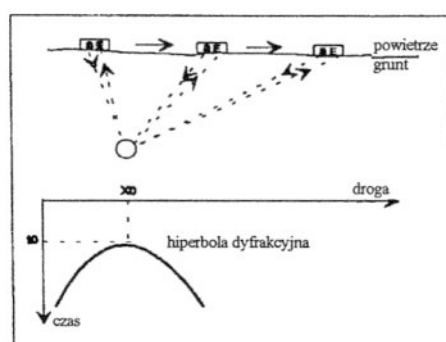
Badania z wykorzystaniem tzw. georadaru mogą być prowadzone z powierzchni terenu lub z wnętrza przewodu. W przypadku przewodów przelazowych georadar może poruszać się w ich wnętrzu na specjalnym wózku [76]. Odmianą georadaru dla przewodów małych średnic jest tzw. „Kanalmoloch” [24]. Zasada działania georadaru została przedstawiona na rysunku 5.3. Badania georadarem z powierzchni terenu umożliwiają:

- lokalizację przewodów i innych obiektów w gruncie,
- lokalizacją gruntów o naruszonej strukturze, niezagęszczonych i kawern.

Badania georadarem z wnętrza przewodu umożliwiają:

- rozpoznanie zmian w gruncie w otoczeniu przewodu,
- rozpoznanie zmian w strukturze ściany przewodu.

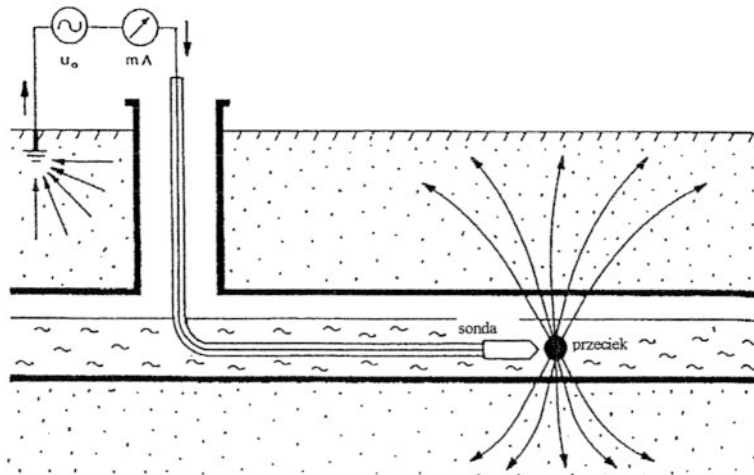
W pracy [24] podkreślono, że dla rozpoznania uszkodzeń w ścianie przewodu, badania georadarem powinny być powiązane z inspekcją video. Równocześnie, w zależności od rodzaju gruntu, w którym prowadzone są badania (ze względu na jego przepuszczalności i gęstości), inne przewody w otoczeniu badanego, jak również ze względu na występowaniu we wnętrzu przewodu osadów i inkrustacji, praca urządzenia może być zakłócana do stopnia uniemożliwiającego prowadzenie badań.



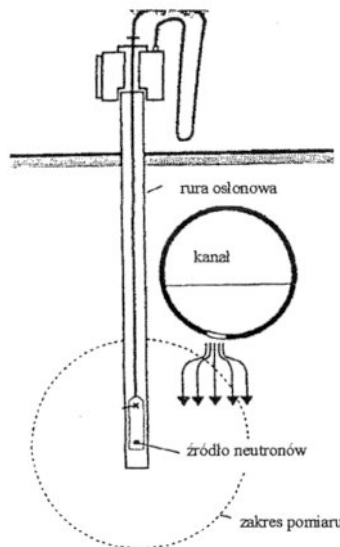
Rys.5.3. Zasada działania georadaru [19]

Do metod geoelektrycznych zalicza się również badania szczelności przewodu za pomocą systemu AMS-4 [21,24,51]. System umożliwia lokalizację miejsc eksfiltracji i infiltracji, oraz szacowanie ich wielkości. Metoda oparta jest na pomiarze natężenia prądu przepływającego w ośrodku gruntowym, emitowanego przez sondę przemieszczającą się wewnątrz przewodu, w kierunku prostopadłym do jej ruchu (rysunek 5.4). Natężenie prądu zmienia się, gdy sonda przemieszcza się w obszarze nieszczelności, w stopniu zależnym od wielkości eks lub infiltracji.

Zastosowanie metod radiometrycznych dla rozpoznania eksfiltracji ścieków w gruntach o różnej wilgotności, prowadzono dotychczas w warunkach laboratoryjnych, przy wykorzystaniu sond neutronowych umieszczonych w rurach osłonowych (aluminiowych, stalowych lub ze stali szlachetnych) poniżej przewodu kanalizacyjnego (rysunek 5.5). Aktualnie sondy neutronowe znajdują zastosowanie w hydrologii, gleboznawstwie oraz w budownictwie ziemnym do rozpoznawania wilgotności gruntów [67]. Według [24,67], potwierdzono możliwość praktycznego wykorzystania metody, warunkiem było jednak przeprowadzenia dodatkowych badań.



Rys. 5.4. Zasada działania systemu pomiarowego AMS-4 [51]



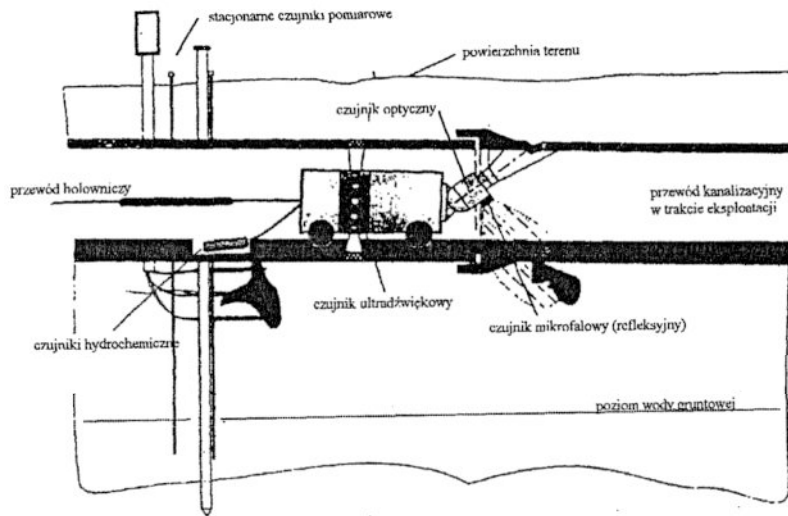
Rys. 5.5. Zasada pomiarów eksfiltracji z użyciem sondy neutronowej [67]

Należy podkreślić, że dla umożliwienia prawidłowej interpretacji wyników badań geofizycznych, mających za cel rozpoznanie uszkodzeń przewodu, autorzy wyżej wymienionych prac wskazują na potrzebę powiązania ich z inspekcjami video.

Ponadto dąży się do opracowania urządzeń umożliwiających badanie przewodu przy jednoczesnym wykorzystaniu kilku współdziałających metod geofizycznych i inspekcji wzrokowej. Celowe byłoby również umożliwienie pracy urządzenia w warunkach eksploatacji przewodu.

Na rysunku 5.6 przedstawiono propozycję inspekcyjnego robota kanałowego, który opracowywany jest w ramach dwuletniego projektu badawczego DFG (Niemiecka Wspólnota Naukowo-Badawcza), rozpoczętego w listopadzie 1997 r. [23]. Docelowo przewiduje się wyposażenie robota w czujnik mikrofalowy, ultradźwiękowy, sensory optyczne umożliwiające dokładne rozpoznanie kształtu i wymiarów odkształceń przewodu oraz czujniki hydrochemiczne. Powiązanie wyników z poszczególnych sensorów ma umożliwiać rozmyto-neuronowy system diagnostyczny.

Jednocześnie w ramach tego projektu prowadzone są badania nad urządzeniami do pomiarów stacjonarnych - systemy sensorowe hydrochemiczne, radioaktywne i geoelektryczne.



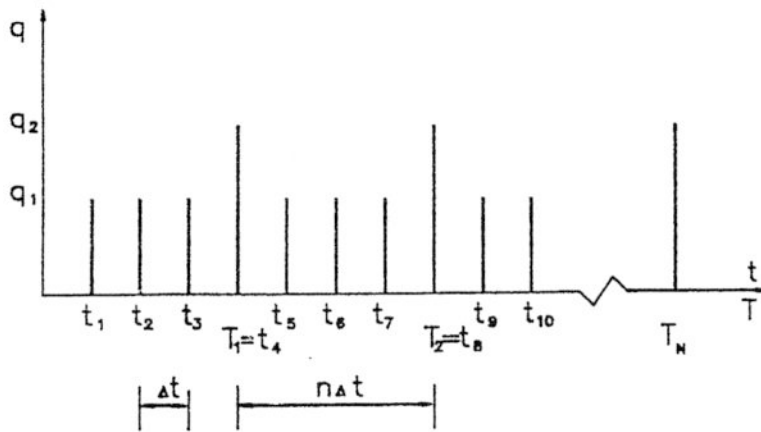
Rys. 5.6. Wieloczułnikowy robot kanałowy do diagnozowania uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych [23]

5.3. Program kontroli przewodów

Z punktu widzenia niezawodności przewodów, ich kontrola jest jedynym środkiem zmierzającym do stwierdzenia stanu uszkodzenia przewodu. Prowadzenie powtarzających się kontroli pozwala na przybliżone ustalenie chwili w której wystąpił stan uszkodzenia. Aby ustalenie chwili wystąpienia uszkodzenia było jak najdokładniejsze, jak również dla uzyskania w miarę ciągłego obrazu zmian zachodzących w sieci należy przyjąć odpowiedni program kontroli. Przyjmując program kontroli dla przewodu kanalizacyjnego można operować dokładnością kontroli (zakresem prowadzonych badań) oraz długością przedziałów czasu między kontrolami - aktualny poziom techniki stosowanej w kanalizacji nie pozwala na prowadzenie kontroli ciągłej.

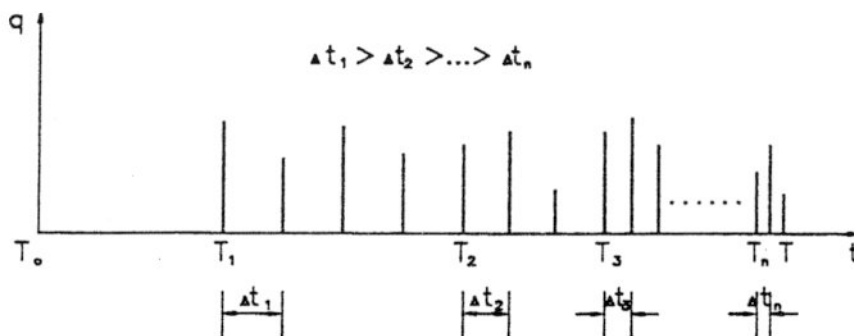
Na program kontroli wpływać będzie przede wszystkim wysokość kosztów przeprowadzenia kontroli, ograniczona możliwość prowadzenia badań, wynikająca z niedostępności przewodów, jak również konieczność zapewnienia ciągłej pracy przewodów. Niezbędne jest, aby program kontroli i ich szczegółowy zakres umożliwiał powiązanie wyników z metodą lub metodami oceny przewodów, oraz aby działania podejmowane przez przedsiębiorstwo na podstawie wyników oceny - np.: przeprowadzenie odnowy, mogły być uwzględniane w programie.

Na rysunku 5.7 przedstawiono program kontroli dwustopniowej, zaproponowany dla budowli mostowych [59]. W modelu tym przyjęto dwa poziomy dokładności kontroli oraz jednakowe odstępy czasu między kontrolami.



Rys.5.7. Program kontroli dwustopniowej [59]
 T - czas amortyzacji; q - współczynnik dokładności kontroli

Ponieważ stan obiektów technicznych z czasem ulega pogorszeniu, zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia i tym samym zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia remontu. W celu ograniczenia strat związanych z pracą uszkodzonego przewodu, należy ograniczyć długość przedziału czasu między wystąpieniem stanu uszkodzenia a momentem rozpoznania tego stanu. Z tego powodu zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia w przewodzie wymaga zwiększenia częstości jego kontroli. Na rysunku 5.8 przedstawiono program kontroli, przewidujący zwiększenie częstości kontroli ze względu na pogorszenie się stanu przewodu, przy zmiennym, dostosowanym do potrzeb współczynniku dokładności kontroli q [59].



Rys.5.8. Program kontroli o zmiennej częstości i współczynniku dokładności kontroli [59]
 T_i - remonty kapitalne; Δt_i - czas między kontrolami; q - współczynnik dokładności kontroli

Ze względu na aktualny poziom techniki, podstawową metodą kontroli przewodów nieprzełączalnych jest inspekcja wzrokowa wykorzystująca technikę telewizyjną (CCTV). Dla zapewnienia wiarygodności wyników tych kontroli, konieczne jest przestrzeganie określonych wymagań, dotyczących m.in.: prędkości obserwacji, czyszczenia przewodu, odpowiedniego zapisu uszkodzeń. Można stwierdzić, że przeglądy wykorzystujące technikę telewizyjną ustalają pewien konkretny poziom dokładności kontroli (współczynnik dokładności). Uzyskanie niższego poziomu dokładności jest niemożliwe, przy założeniu wiarygodności wyników, natomiast wyższy współczynnik dokładności kontroli nie może zostać

osiągnięty bez przeprowadzenia dodatkowych badań, które ze względu na niedostępność przewodów powodują zdecydowany wzrost kosztów kontroli.

Z powyższych uwag wynika, że przyjęcie dla przewodów nieprzełączalnych programu kontroli o zmiennym, wynikającym z chwilowych potrzeb współczynnika dokładności jest aktualnie nierealne.

Dla przewodów przełączalnych, gdzie można przeprowadzić bezpośrednie inspekcje wzrokowe, trudność uzyskania zmiennego poziomu dokładności wyników nie jest tak wyraźna jak w przewodach nieprzełączalnych. Ekipa prowadząca w przewodzie inspekcję może jednocześnie prowadzić inne badania.

W pewnym uproszczeniu można stwierdzić, że metody kontroli mające zastosowanie w kanałach nieprzełączalnych, mogą być wykorzystane w kanałach przełączalnych. Sytuacja odwrotna nie zachodzi. Możliwe jest opracowanie jednakowego programu kontroli dla obu grup przewodów, w którym wykorzystywano by techniki odpowiednie dla kanałów nieprzełączalnych.

W dalszych rozważaniach przyjęto program, w którym występują kontrole o dwóch poziomach dokładności, oraz zmienna w czasie, dostosowana do stanu przewodu ich częstość. Graficzny schemat programu kontroli przedstawiono na rysunku 5.9.



Rys.5.9. Program kontroli dwustopniowej o zmiennej częstości kontroli
 q - współczynnik dokładności kontroli; T - okres amortyzacji, Δt_i - okres między kontrolami

W programie przyjęto następujące założenia:

- kontrole odbywają się w stałych odstępach czasu Δt , o długościach dostosowanych do stanu przewodu,
- kontrole o poziomie dokładności q_2 występują po kolejnej, trzeciej kontroli o poziomie dokładności q_1 , za wyjątkiem przypadków, gdy nagłe wystąpienie stanu uszkodzenia wymusza potrzebę przeprowadzenia dodatkowych badań lub podjęcie natychmiastowej odnowy.

Jako kontrole o poziomie dokładności q_1 przyjęto inspekcje kamerami CCTV. Kontrole o współczynniku q_2 muszą się charakteryzować zakresem badań umożliwiającym opis i rozpoznanie zmian cech przewodu.

Ponieważ zmiana długości przedziału Δt między kontrolami zależy od stanu przewodu, kontrole muszą być powiązane z metodami oceny, dostosowanymi do ich poziomu dokładności. Metoda oceny powiązana z kontrolami o współczynniku dokładności q_2 powinna umożliwiać szczegółową ocenę stanu.

5.3.1. Uwzględnienie obchodu sieci w programie kontroli

Obok kontroli, obchód jest drugim z działań podejmowanych w ramach przeglądu sieci. Obchodu nie uznaje się za kontrolę, ponieważ w jego następstwie nie rozpoznaje się rzeczywistego stanu przewodu, lecz rejestruje się objawy na powierzchni terenu, będące przypuszczalnie spowodowane wystąpieniem w nim awarii. Kontrola przeprowadzona po obchodzie umożliwia mniej lub bardziej szczegółowe potwierdzenie tego przypuszczenia. Obchód nie jest również powiązany z konkretną metodą oceny stanu przewodu. Negatywne wyniki obchodu powinny stanowić podstawę do przeprowadzenia w trybie pilnym kontroli przewodu i ewentualnej odnowy.

Ze względu na związek programu kontroli z działaniami przedsiębiorstwa wynikającymi z aktualnej oceny stanu przewodów, korzystne wydaje się uwzględnienie obchodów sieci wraz z następstwami ich wyników w programie kontroli. Na rysunku 5.10 przedstawiono zmodyfikowany schemat programu kontroli, uwzględniającej obchody przewodów.



Rys.5.10. Program kontroli dwustopniowej o zmiennej częstotliwości kontroli

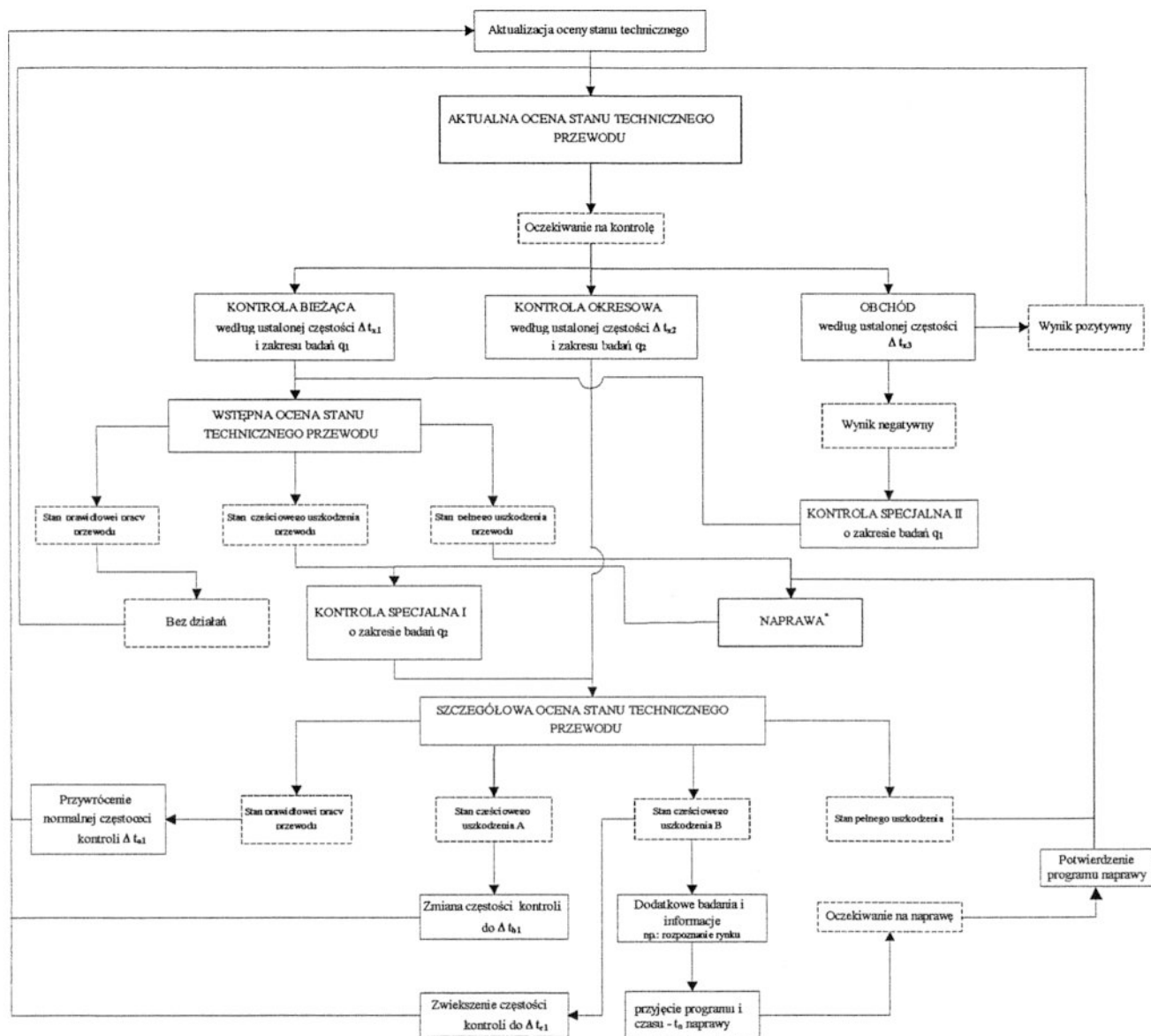
q - współczynnik dokładności kontroli; T - okres amortyzacji; Δt_{x1} - okres między kontrolami o współczynniku dokładności q_1 , Δt_{x2} - okres między kontrolami o współczynniku dokładności q_2 , Δt_{x3} - okres między obchodami; t_a - czas bezuszkodzeniowej pracy przewodu; t_b , t_c - czas pracy przewodu w stanie częściowego uszkodzenia; $\Delta t_{x2} = \Delta t_{x1} \cdot 4$; $\Delta t_{x1} = n \cdot \Delta t_{x3}$, $x = a, b, c \dots$

Ze względu na znacznie większą częstość obchodów w porównaniu z kontrolami, można założyć stałą lub zmienną długość okresów między nimi. W drugim wariancie częstość obchodów będzie się zmieniała proporcjonalnie do zmian częstości kontroli. Przykładowo, w dowolnym okresie x , $\Delta t_{x3} = \Delta t_{x1} / 12$, $\Delta t_{x1} = \Delta t_{x2} / 4$.

Przyjmując częstości prowadzenia kontroli i obchodów za [3], można przyjąć dla stanu bezuszkodzeniowej pracy przewodu np.: $\Delta t_{a2} = 4$ lata, $\Delta t_{a1} = 1$ rok $\Delta t_{a3} = 1$ miesiąc.

5.3.2. Powiązanie programu kontroli z oceną stanu przewodu

Nawiązując do metod oceny, przedstawionych w rozdziale 4.3.2., przyjęto trzy graniczne stany uszkodzenia wymagające podjęcia odpowiednich działań, w tym: zwiększenia częstotliwości kontroli, zaplanowanie odnowy, lub przeprowadzenie odnowy w trybie natychmiastowym. Ponieważ w przyjętym programie, zmiana częstości kontroli następuje po stwierdzeniu odpowiednio złego stanu przewodu, należy opracować schemat procedur wiążących przyjęte metody oceny z programem kontroli, dla umożliwienia realizacji wyżej wymienionych działań. Na rysunku 5.11 przedstawiono schemat realizujący powyższy cel. Zaproponowany system kontroli umożliwia jak najdokładniejsze uchwycenie chwili wystąpienia stanu uszkodzenia w przewodzie.



Rys.5.11. Schemat blokowy procedur zmierzających do oceny stanu przewodu, powiązanych z systemem kontroli sieci oraz uwzględniający przeprowadzenie naprawy* przewodu.

* - naprawa rozumiana jest tu jako składowa odnowy przewodu (rozdział 5.4.1)

W przedstawionym schemacie można wyróżnić następujące rodzaje kontroli:

1. kontrola bieżąca - o współczynniku dokładności q_1 ,
2. kontrola okresowa - o współczynniku dokładności q_2 ,
3. kontrola specjalna I - o współczynniku dokładności q_2 ,
4. kontrola specjalna II - o współczynniku dokładności q_1 ,

Kontrole o najwyższym poziomie dokładności są niezbędne do przeprowadzenia szczegółowej oceny stanu przewodu. Kontrole o współczynniku dokładności q_1 (przegląd z kamerami CCTV) związane są ze wstępną oceną przewodu.

Jeżeli w wyniku kontroli bieżącej stwierdzony zostanie w przewodzie stan częściowego uszkodzenia, przeprowadzana jest kontrola specjalna I, na podstawie której podejmowane są decyzje o zmianie częstości kontroli lub innych działaniach np.: zaplanowaniu naprawy lub przeprowadzeniu jej w trybie pilnym. Potrzeba

natychmiastowego przeprowadzenia naprawy może wynikać również z oceny wstępnej, jeżeli w wyniku kontroli bieżącej stwierdzono wystąpienie poważnych uszkodzeń.

Kontrola specjalna I dokonywana jest każdorazowo po zakończeniu naprawy, w ramach odbioru przewodu.

Zasadnicza ocena stanu przewodu wynika z rozpoznania jego stanu za pomocą szczegółowej metody oceny. Kontrole - okresowa i specjalna I pozwalają więc na systematyczne uaktualnianie informacji o stanie przewodów, natomiast kontrole bieżące wraz ze związaną z nimi wstępną oceną stanu, wskazują na konieczność uaktualnienia wiedzy o stanie przewodu.

Celem prowadzenia obchodów jest zminimalizowanie strat, jakie powstają po wystąpieniu awarii, której skutki są obserwowane na powierzchni terenu. W następstwie negatywnego wyniku obchodu - zaobserwowanie stanu wskazującego na wystąpienie awarii, przeprowadzana jest kontrola specjalna II, której zadaniem jest potwierdzenie związku między obserwacjami z obchodu a stanem przewodu. Współczynnik dokładności tej kontroli przyjęto jak dla kontroli bieżącej - q_1 (przeprowadza się w tym wypadku inspekcję kamerami). Zakres tej kontroli może być jednak ograniczony do obserwacji na długości przewodu, gdzie prawdopodobnie występuje uszkodzenie odpowiedzialne za zmiany na powierzchni.

Reasumując, można zestawzić cele poszczególnych kontroli i obchodu w przyjętym systemie:

1. kontrola okresowa:
 - a) szczegółowe rozpoznanie stanu uszkodzenia przewodu,
 - b) podjęcie decyzji o częstotliwości kontroli,
 - c) zaplanowanie naprawy,
 - d) systematyczna aktualizacja wiedzy o stanie przewodu,
2. kontrola bieżąca:
 - a) rozpoznanie wystąpienia stanu uszkodzenia częściowego lub pełnego,
 - b) podjęcie decyzji o kontroli specjalnej,
 - c) stwierdzenie konieczności pilnego przeprowadzenia naprawy,
3. kontrola specjalna I :
 - a) potwierdzenie i szczegółowe rozpoznanie stanu uszkodzenia przewodu,
 - b), c) - jak dla kontroli okresowej,
 - d) uaktualnienie wiedzy o stanie przewodu,
4. obchód:
 - a) podjęcie decyzji o przeprowadzeniu kontroli specjalnej II,
5. kontrola specjalna II :
 - a) potwierdzenie stanu pełnego uszkodzenia,
 - b) stwierdzenie konieczności pilnego przeprowadzenia naprawy.

W przypadku przewodów, których naprawy zostały zaplanowane z odpowiednim czasowym wyprzedzeniem, może zajść sytuacja, że zmiany ich stanu oraz różne uwarunkowania zewnętrzne powodują konieczność zaktualizowania przyjętego programu odnowy. W czasie możliwie bliskim muszą więc zostać zebrane informacje potwierdzające jego aktualność. W tym celu niezbędne jest przeprowadzenie przeglądu pozwalającego na porównanie istniejącego stanu uszkodzenia z tym, który posłużył dla zaplanowania naprawy. Można przyjąć, że przegląd ten - przegląd

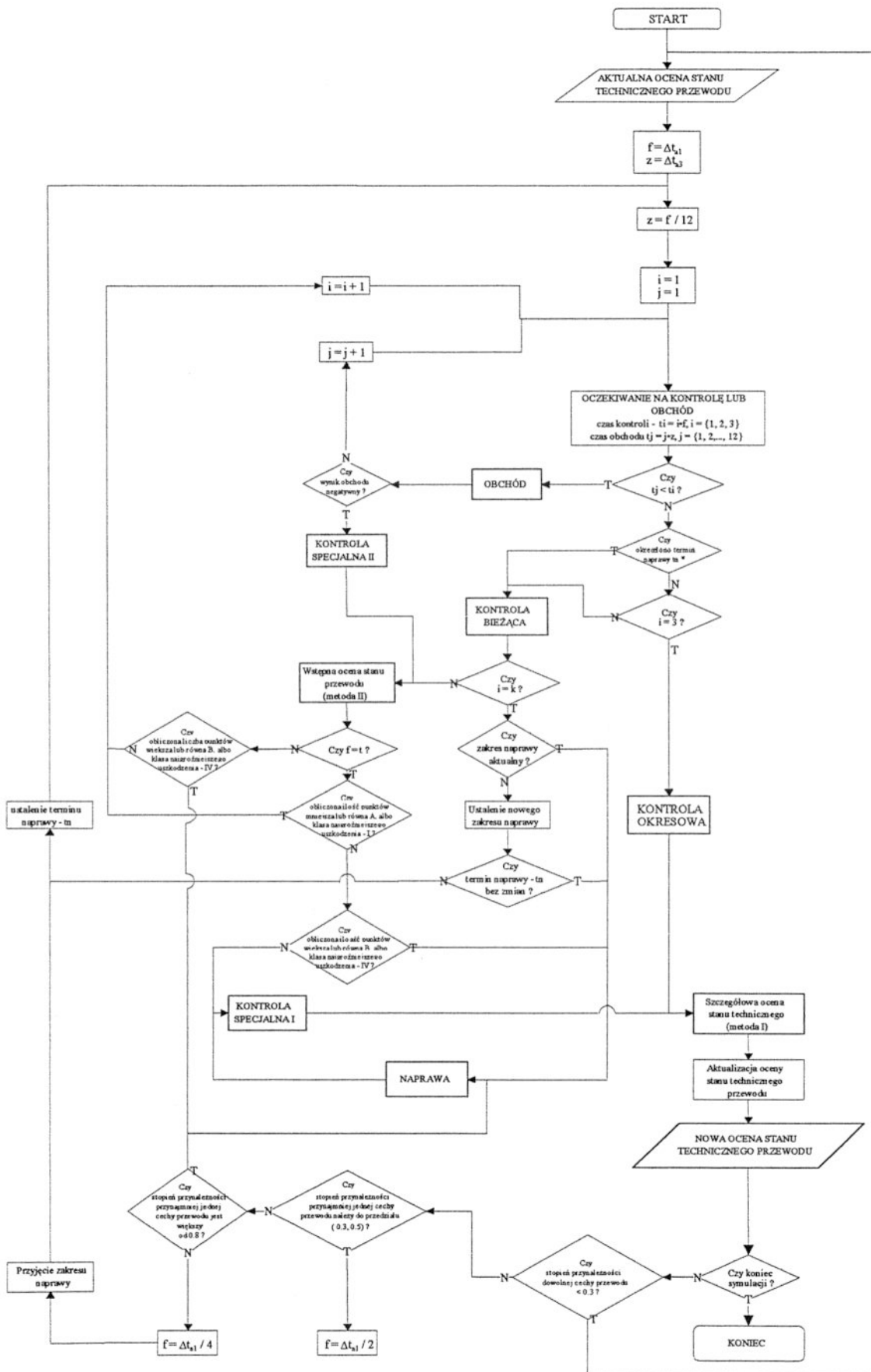
specjalny III, będzie odpowiadać poziomem dokładności i zakresem kontroli bieżącej. Ponieważ zaplanowany czas naprawy - t_n , jest liczony od kontroli specjalnej I lub kontroli okresowej, które wykazały stan uszkodzenia określony na schemacie (rysunek 5.11) jako stan częściowego uszkodzenia B, kontrole bieżące są prowadzone w tym okresie z największą częstością - Δt_{cl} . W celu uniknięcia powtarzania badań, które były przeprowadzone w krótkim odstępie czasu, można przyjąć, że planowane terminy rozpoczęcia napraw - czasy t_n , będą ustalone tak, aby pokrywały się z wynikającymi z częstości Δt_{cl} czasami kontroli bieżących t_i . Kontrola specjalna III będzie w tym przypadku kontrolą bieżącą, która dodatkowo pozwoli na potwierdzenie przyjętego wcześniej programu naprawy.

Zaproponowany system, łączący procedury zmierzające do oceny stanu przewodu z programem kontroli, przedstawiono w postaci algorytmu na rysunku 5.12. W schemacie uwzględniono powyższe uwagi oraz przyjęto metodę I (rozdział 4.3.2.2.) dla szczegółowej oceny stanu technicznego przewodu i metodę II (rozdział 4.3.2.3.) dla wstępnej oceny stanu technicznego przewodu.

Na etapie wdrażania przedstawionego rozwiązania, korzystne byłoby doprowadzenia do „współgrania” szczegółowej i wstępnej metody oceny stanu technicznego przewodu, tak aby przypadek, gdy stopień przynależności dowolnej cechy wynosi $\chi_i = 0.3$ (metoda I), odpowiadał sytuacji gdy obliczona w metodzie II ilość punktów wynosi A, lub klasa najgroźniejszego uszkodzenia w kolejce - I. Po dokonaniu takiego ustalenia, graniczna ilość punktów karnych A oznaczać będzie wystąpienie stanu częściowego uszkodzenia, uznawanego przy estymacji parametrów niezawodnościowych. Zaproponowany program kontroli, powiązany z metodami oceny stanu przewodu, umożliwia estymację parametru intensywności uszkodzeń λ na podstawie kontroli bieżących. Możliwe jest również zaadoptowanie dla potrzeb programu kontroli innych metod oceny, których wzajemne powiązanie pozwoli na estymację λ .

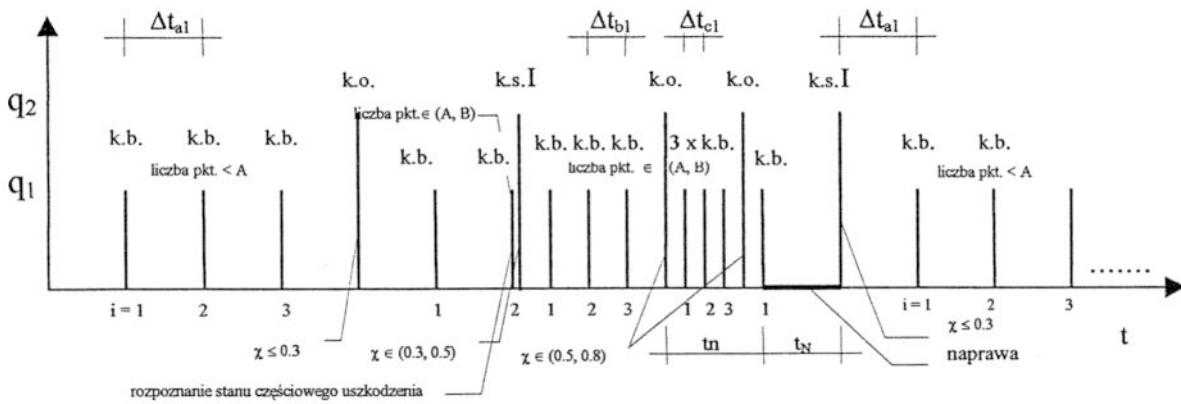
Na rysunkach 5.13 ÷ 5.17 przedstawiono przykładowe warianty prowadzenia kontroli przewodu przy uwzględnieniu naprawy, zgodne z algorytmem sterowania procesem kontroli. Na rysunkach 5.13, 5.14, 5.15 nie zaznaczono obchodów które prowadzone są między kontrolami bieżącymi.

W trakcie wdrażania programu kontroli pojawia się problem podjęcia decyzji, w których przewodach kontrola przeprowadzana będzie w pierwszej kolejności. Na rysunku 5.18 przedstawiono przykładowy sposób określenia priorytetów decydujących o kolejności kontroli w przewodach sanitarnych, prowadzących ścieki komunalne [71].

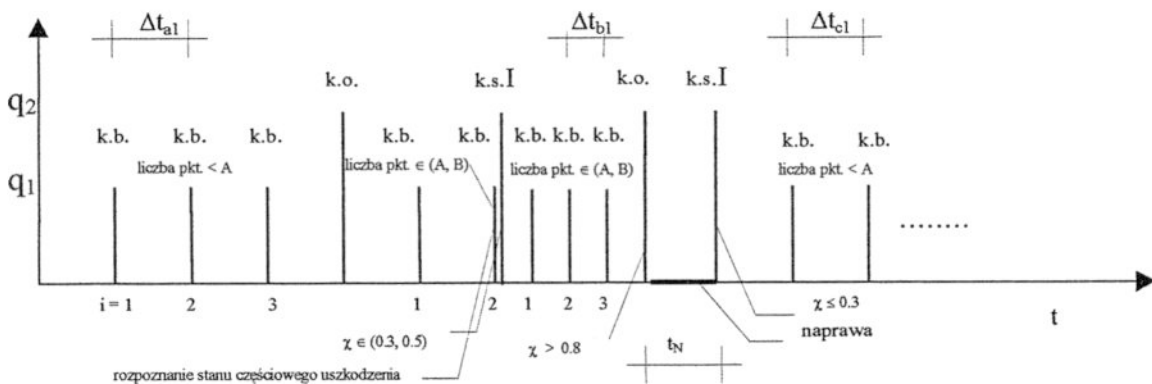


Rys.5.12. Ideowy schemat blokowy algorytmu sterowania procesem kontroli przewodu;

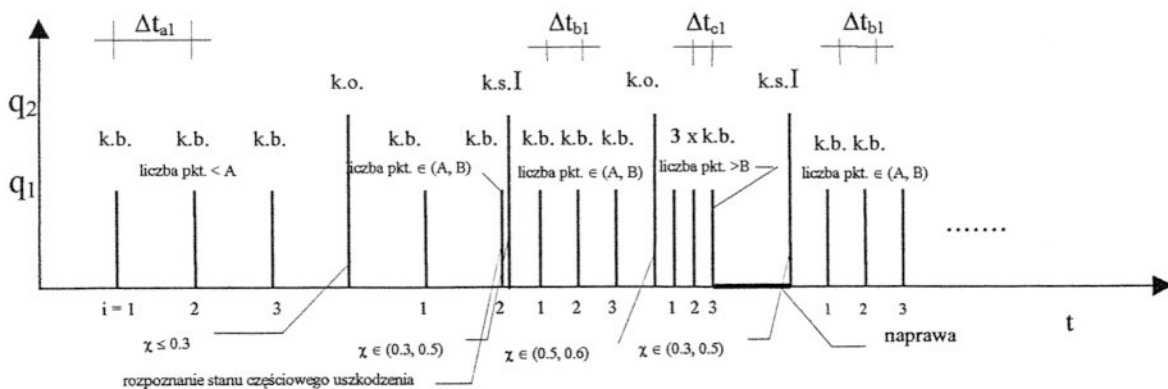
* - czas naprawy przewodu $t_n = x \cdot f + t_0 = x \cdot f + k \cdot f$, $x = \{1, 2, \dots, n\}$, $k = \{1, 2, 3\}$



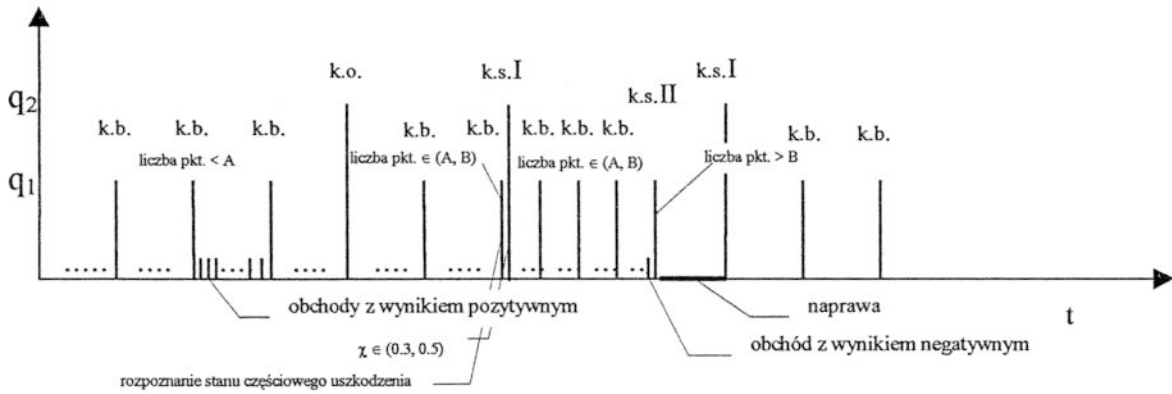
Rys.5.13. Schemat graficzny przykładowego procesu kontroli przewodu z uwzględnieniem wyników oceny i naprawy : przeprowadzenie naprawy w zaplanowanym terminie;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, k.b. - kontrola bieżąca, k.o. - kontrola okresowa, k.s.I. - kontrola specjalna I, Δt_{a1} , Δt_{b1} , Δt_{c1} - okresy między kontrolami bieżącymi w zależności od stanu przewodu, t_n - czas oczekiwania na przyjęty termin naprawy, t_N - czas trwania naprawy,
 Uwaga: na schemacie nie zaznaczono obchodów



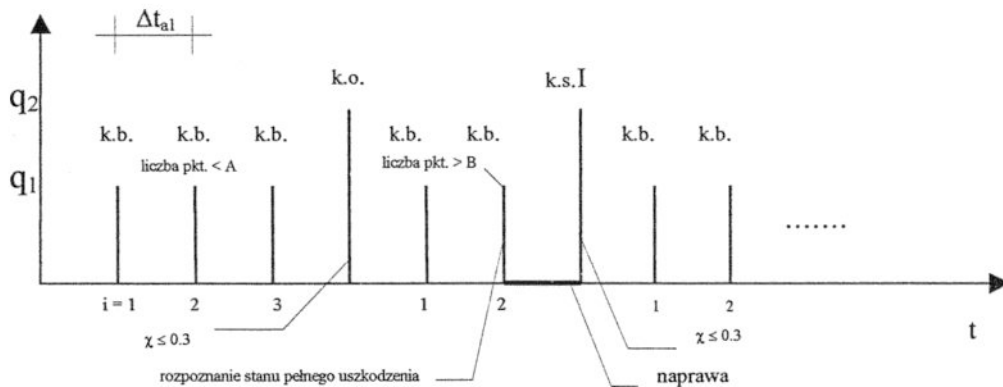
Rys.5.14. Schemat graficzny przykładowego procesu kontroli przewodu z uwzględnieniem wyników oceny i naprawy : naprawa przeprowadzana w trybie pilnym w po kontroli okresowej;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, k.b. - kontrola bieżąca, k.o. - kontrola okresowa, k.s.I. - kontrola specjalna I, Δt_{a1} , Δt_{b1} , Δt_{c1} - okresy między kontrolami bieżącymi w zależności od stanu przewodu, t_N - czas trwania naprawy,
 Uwaga: na schemacie nie zaznaczono obchodów



Rys.5.15. Schemat graficzny przykładowego procesu kontroli przewodu z uwzględnieniem wyników oceny i naprawy : naprawa doraźna przeprowadzana w trybie pilnym w po kontroli bieżącej;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, k.b. - kontrola bieżąca, k.o. - kontrola okresowa, k.s.I. - kontrola specjalna I, Δt_{a1} , Δt_{b1} , Δt_{c1} - okresy między kontrolami bieżącymi w zależności od stanu przewodu,
 Uwaga: na schemacie nie zaznaczono obchodów



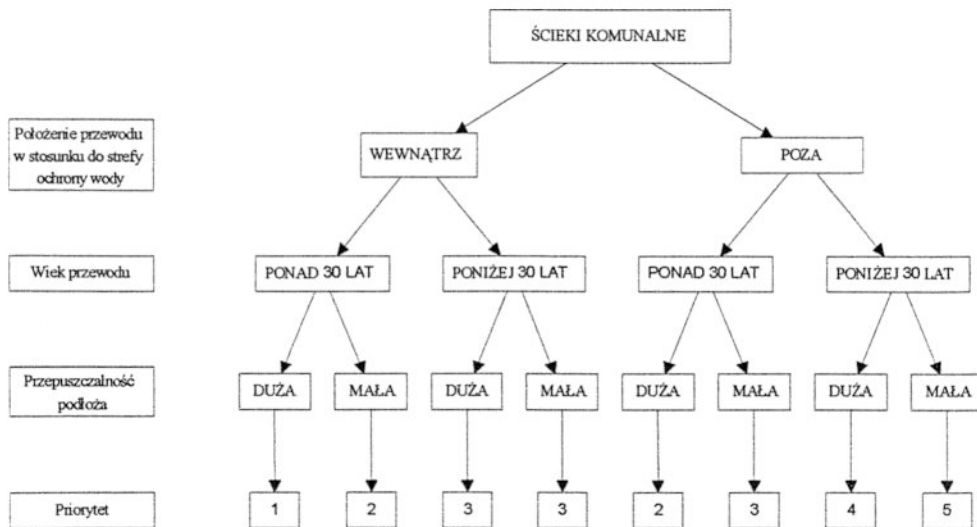
Rys.5.16. Schemat graficzny przykładowego procesu kontroli przewodu z uwzględnieniem wyników oceny i naprawy : przeprowadzenie naprawy w po awarii stwierdzonej w trakcie obchodu;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, k.b. - kontrola bieżąca, k.o. - kontrola okresowa, k.s.I. - kontrola specjalna I, k.s.II. - kontrola specjalna II,



Rys.5.17. Schemat graficzny przykładowego procesu kontroli przewodu z uwzględnieniem wyników oceny i naprawy : naprawa przeprowadzana w trybie pilnym w po kontroli bieżącej - nagle wystąpienie stanu pełnego uszkodzenia;

t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, k.b. - kontrola bieżąca, k.o. - kontrola okresowa, k.s.I. - kontrola specjalna I, Δt_{a1} , Δt_{b1} , Δt_{c1} - okresy między kontrolami bieżącymi w zależności od stanu przewodu,

Uwaga: na schemacie nie zaznaczono obchodów

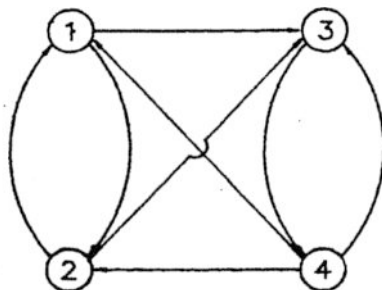


Rys.5.18. Ustalenie priorytetów kontroli różnych przewodów sieci [71]

5.4. Uszkodzalność przewodów i ich odnowa w programie kontroli

5.4.1. Składowe odnowy w programie kontroli

Analizując pojęcie odnowy, należy uwzględnić czterostanowy proces eksploatacji przewodu kanalizacyjnego, przedstawiony na rysunku 5.19.



Rys. 5.19. Czterostanowy graf procesu eksploatacji przewodu kanalizacyjnego :
1 - użytkowanie, 2 - postój, 3 - oczekiwanie na odnowę, 4 - odnowa

Według [59] przedstawione na rysunku stany odpowiadają:

- 1 - stanowi *użytkowanie* obejmującemu okres, w którym urządzenie realizuje przyporządkowane mu zadanie,
- 2 - stanowi *postój*, w którym urządzenie jest zdadne do realizacji przyporządkowanego mu zadania, lecz go nie realizuje ze względu na warunki zewnętrzne,
- 3 - stanowi *oczekiwanie na odnowę*, podczas którego urządzenie nie jest zdadne do realizacji przyporządkowanego mu zadania, gdyż jest uszkodzone,
- 4 - stanowi *odnowa*, podczas którego urządzenie jest odnawiane i nie wykonuje przyporządkowanego mu zadania.

Postój przewodu kanalizacyjnego, traktowanego jako odcinek między studzienkami, występuje w czasie jego kontroli, która zgodnie z zasadami [77], powinna być przeprowadzana po czasowym zablokowaniu przepływu ścieków. Należy podkreślić, że w czasie takiej czasowej blokady przepływu ścieków, kanał składający się z wielu przewodów realizuje swoje zadanie (w sieci kanalizacyjnej nie wyróżnia się stanu *postój* ze względu na ciągłość zrzutu ścieków oraz grawitacyjny system ich transportu, co powoduje, że proces eksploatacji sieci jest w rzeczywistości grafem trójstanowym [59]).

Z czterostanowym modelem procesu eksploatacji przewodu powiązany jest dwustanowy model niezawodności z wyróżnionymi stanami:

- a) *zdatności* - który odpowiada stanowi użytkowania i postoju,
- b) *niezdatności* - który obejmuje stany oczekiwania na odnowę i odnowę.

Zespół działań zmierzających do naprawy przewodu obejmuje trzy etapy:

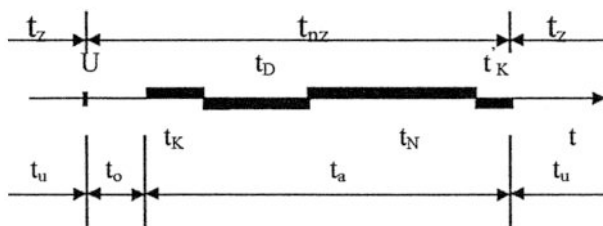
- a) kontrolę przewodu z wykorzystaniem technik omówionych w rozdziale 5.2, dla stwierdzenia występowania uszkodzeń i jednocześnie ich lokalizacji (o ile dana technika na to pozwala),
- b) ocenę jego stanu - stwierdzenie intensywności (wielkości) stanu uszkodzenia w danych warunkach, wraz z rozpoznaniem przyczyn tego stanu,
- c) przyjęcie programu naprawy – sprecyzowanie zakresu prac i terminu ich przeprowadzenia.

W pracy [59] zdefiniowano pojęcie odnowy przewodu kanalizacyjnego oraz podano składowe tego procesu. Czas odnowy określono jako czas mierzony od chwili wystąpienia (wykrycia) niezdatności przewodu, do jego ponownego uruchomienia.

W procesie odnowy wyróżniono następujące składowe:

- kontrola – t_K ,
- diagnostyka wraz z zaplanowaniem naprawy – t_D ,
- naprawa – t_N ,
- kontrola po naprawie – t'_K .

Na rysunku 5.20 przedstawiono składniki procesu odnowy oraz stany procesu eksploatacji.



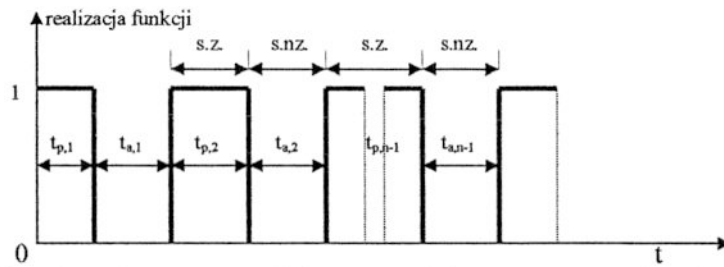
Rys.5.20. Umieszczenie składowych odnowy na osi czasu : t_K - kontrola, t_D - diagnostyka i zaplanowanie naprawy, t_N - naprawa, t'_K - kontrola po naprawie, t_a - odnowa, t_z - czas zdatości przewodu, t_{nz} - czas niezdatności przewodu, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_u - użytkowanie, U - uszkodzenie

Z punktu widzenia niezawodności, stan zdatości lub niezdatności przewodu związany jest z możliwością realizacji przez przewód przypisanych mu funkcji. Stan niezdatności przewodu rozpoczyna się więc w chwili wystąpienia w przewodzie uszkodzenia i trwa do momentu, w którym przewód zaczyna powtórnie prawidłowo realizować swoje zadanie. Moment ten następuje, gdy zostanie przeprowadzona kontrola po odnowie, potwierdzająca usunięcie uszkodzenia.

Powstanie uszkodzenia nie jest natychmiast zauważalne, jego istnienie stwierdzone zostaje w czasie kontroli. W konsekwencji wiedza na temat stanu zdatości przewodu jest niepełna, tworzy się obraz pracy przewodu o nadmiernie wydłużonym okresie zdatości i tym samym nadmiernie wydłużonym czasie stanu użytkowania.

W przypadku przedstawionym na rysunku 5.20 naprawa przewodu następuje natychmiast po przeprowadzeniu diagnostyki. W tej sytuacji stan oczekiwania na odnowę dotyczy okresu od chwili wystąpienia uszkodzenia do początku kontroli stwierdzającej to uszkodzenie. Stan oczekiwania na odnowę t_o pozostaje stanem ukrytym, w tym okresie, zgodnie z rysunkiem 5.21 [59], przewód nie realizuje swojej funkcji.

Gdy odnowy następują natychmiast po przeprowadzeniu diagnostyki i jednocześnie występuje proces pracy przewodu jak na rysunku 5.21, czasy zdatości i niezdatności mogą być aproksymowane odpowiednio: średnim czasem pracy $\bar{t}_p$ i średnim czasem odnowy $\bar{t}_a$. Należy podkreślić istnienie błędu tego oszacowania (średni czas pracy $\bar{t}_p$ jest zbyt długi), który może być zmniejszony, po przyjęciu odpowiedniego programu kontroli (zwiększenie jej częstotliwości).



Rys.5.21. Proces pracy obiektu naprawialnego : $t_{p,i}$, $t_{a,i}$ - odpowiednio chwilowe realizacje zmiennych losowych czasu pracy i czasu odnowy, s.n.z. - stan niezdatności, s.z. - stan zdatości [59]

Rozpatrując proces pracy przewodu należy uwzględnić możliwość powstania w nim stanu częściowego uszkodzenia i realizację przez przewód funkcji z obniżonym standardem. Przyjmijmy założenie, że stan niezdatności odpowiada sytuacji wystąpienia w przewodzie stanu uszkodzenia częściowego lub pełnego.

Niech uszkodzenie U , przedstawione na rysunku 5.20, oznacza powstanie stanu uszkodzenia częściowego, rozpoznanego dopiero po przeprowadzeniu kontroli.

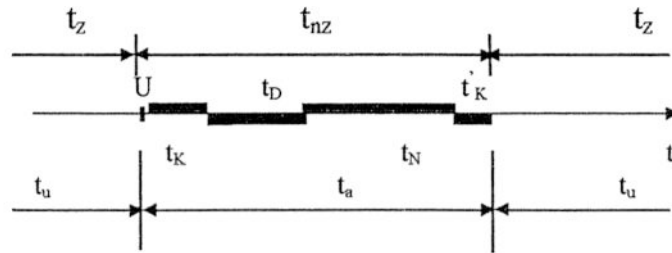
W czasie t_o - do chwili wykrycia uszkodzenia przewód pracuje z obniżonym standardem. W takiej sytuacji, przyjmując określenie stanu użytkowania podane za [59], należy uznać, że stan użytkowania odpowiadać może stanowi zdatości lub niezdatności przewodu.

Określenie *stanu oczekiwania na odnowę* musi zostać uściślone: podczas stanu oczekiwania na odnowę przewód nie jest zdalny do realizacji przyporządkowanego mu zadania, lub jest zdalny do realizacji przyporządkowanego mu zadania z obniżonym standardem, gdyż wystąpił stan uszkodzenia (pełnego lub częściowego). Stan oczekiwania na odnowę odpowiada wraz z odnową stanowi niezdatności przewodu. Przy założeniu, że U oznacza stan częściowego uszkodzenia, oczekiwanie na odnowę należy do stanu użytkowania i może, lecz nie musi być stanem ukrytym.

Powstanie stanu pełnego uszkodzenia w przewodzie powoduje przeprowadzenie naprawy natychmiast po jego wykryciu. W przypadku stanu częściowego uszkodzenia zarządzający podejmuje decyzję o przeprowadzeniu naprawy, przesuwając ją w czasie w stosunku do chwili wykrycia uszkodzenia. (może zostać ustalony konkretny termin). Zakłada się, że w okresie do naprawy przewód nie będzie realizował swojej funkcji na zadowalającym poziomie. Ten okres można uznać za jawny, ustalony za wiedzą użytkownika stan oczekiwania na odnowę i jednocześnie stan użytkowania.

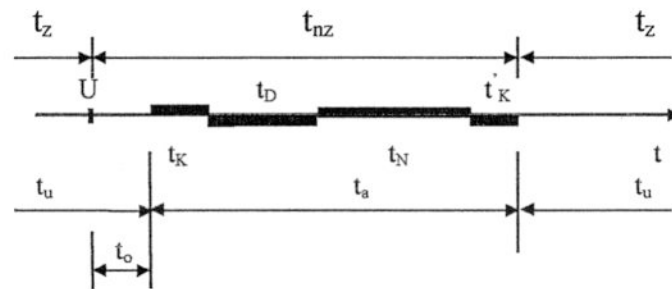
Ponieważ przed realizacją prac naprawczych, które zaplanowane zostały z wyprzedzeniem, przeprowadzić należy kontrolę potwierdzającą przyjęty zakres prac, w przypadku takiego potwierdzenia można przyjąć, że właśnie ta kontrola wraz z diagnostyką stanowi składową procesu odnowy. Uogólniając, przyjęto za składowe odnowy traktować tylko tę kontrolę i diagnostykę, które bezpośrednio poprzedzają przeprowadzenie naprawy.

Na rysunkach 5.22, 5.23 i 5.24 przedstawiono składowe odnowy i stany eksploatacyjne przewodu, umiejscowione na osi czasu, w przypadku wystąpienia stanu częściowego lub pełnego uszkodzenia.

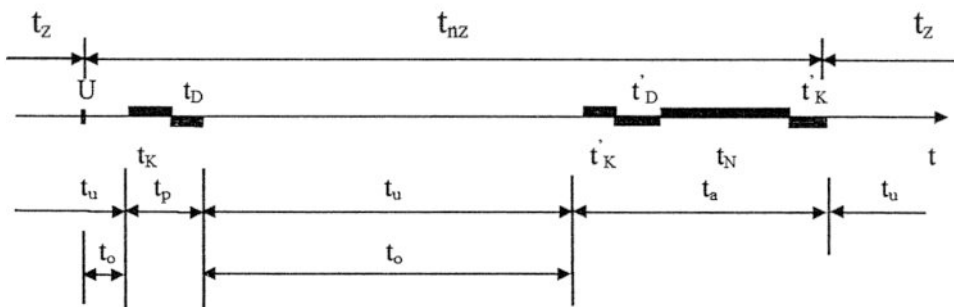


Rys.5.22. Umieszczenie składowych odnowy na osi czasu przy wystąpieniu stanu pełnego uszkodzenia : t_K - kontrola, t_D - diagnostyka, t_N - naprawa, t_K' - kontrola po naprawie, t_z - czas zdatności przewodu, t_{nz} - czas niezdatności przewodu, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_u - użytkowanie, U - stan uszkodzenia pełnego (awaria)

Ze względu na wyraźne zazwyczaj objawy awarii przewodu kanalizacyjnego (wystąpienie stanu pełnego uszkodzenia) długość okresu czasu między wystąpieniem uszkodzenia U a przeprowadzeniem odnowy jest minimalna. Po zgłoszeniu awarii przeprowadza się natychmiastową kontrolę, pozwalającą zaplanować natychmiastową naprawę. W tym przypadku czas oczekiwania na odnowę ma wartość bliską zeru (rysunek 5.24).



Rys.5.23. Umieszczenie składowych odnowy na osi czasu przy wystąpieniu stanu uszkodzenia częściowego i naprawie z natychmiastowym terminem realizacji : t_K - kontrola, t_D - diagnostyka, t_N - naprawa, t_K' - kontrola po naprawie, t_z - czas zdatności przewodu, t_{nz} - czas niezdatności przewodu, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_u - użytkowanie, a - odnowa, U - stan uszkodzenia częściowego



Rys.5.24. Umieszczenie składowych odnowy na osi czasu przy wystąpieniu stanu uszkodzenia częściowego i naprawie z przesuniętym terminem realizacji : t_K - kontrola, t_D - diagnostyka, t_K' - kontrola przed naprawą, t_D' - diagnostyka przed naprawą, t_N - naprawa, t_K'' - kontrola po naprawie, t_z - czas zdatności przewodu, t_{nz} - czas niezdatności przewodu, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_u - użytkowanie, t_p - postój, a - odnowa, U - stan uszkodzenia częściowego

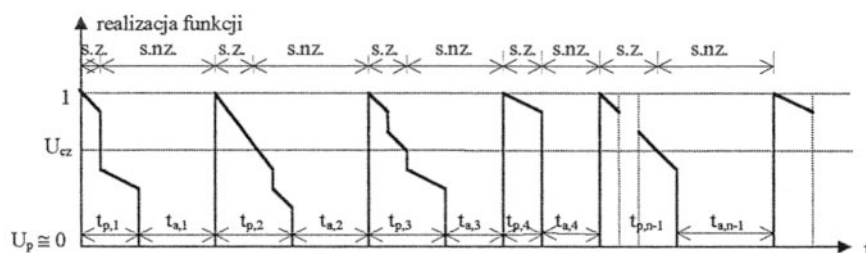
Należy podkreślić, że czas t_o jest w praktyce (poza uszkodzeniami katastroficznymi) niemożliwy do precyzyjnego określenia i w praktyce może być równy nawet czasowi odstępu między kolejnym uszkodzeniami. W przypadku prowadzenia okresowych

kontroli, czas faktycznej niezdatności t_{nz} jest czasem przybliżonym, lecz nie większym niż suma czasu odnowy - t_a i czasu pomiędzy ostatnią kontrolą która nie wykazała uszkodzenia a chwilą rozpoczęcia odnowy. Stąd też częstość kontroli decyduje o dokładności określenia czasu t_{nz} .

Biorąc pod uwagę, że czas postoju przewodu t_p jest pomijalnie krótki w porównaniu do czasu pracy przewodu, dla uproszczenia można traktować go jako czas użytkowania t_u .

W przypadku stanu uszkodzenia i odnowy jak na rysunku 5.24, czasy zdatności i niezdatności nie mogą być aproksymowane średnim czasem pracy $\bar{t}_p$ i średnim czasem odnowy $\bar{t}_a$.

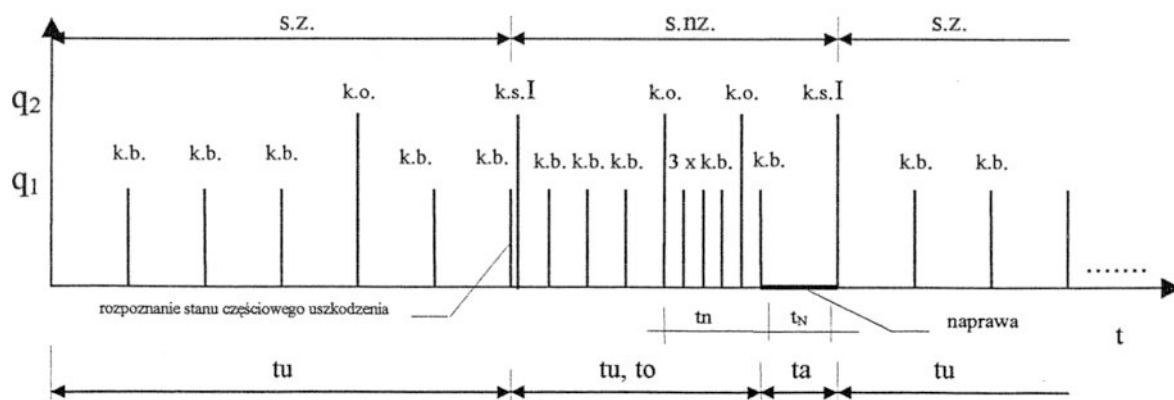
Na rysunku 5.25 przedstawiono model pracy przewodu kanalizacyjnego, uwzględniający częściową realizację jego funkcji. Założono, że przeprowadzane odnowy są odnowami pełnymi.



Rys.5.25. Proces pracy obiektu naprawialnego : $t_{p,i}$, $t_{a,i}$ - chwilowe realizacje zmiennych losowych czasu pracy i czasu odnowy,

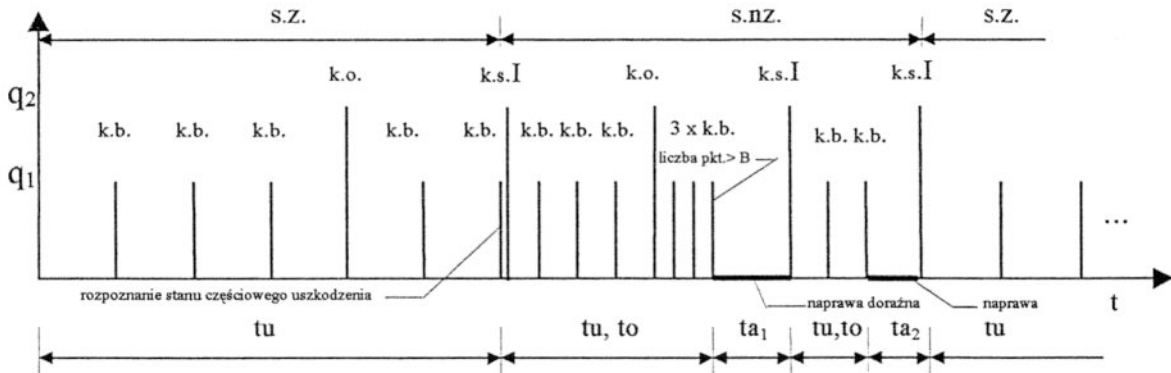
1 - pełna realizacja funkcji, U_{cz} - stan uszkodzenia częściowego, U_p - stan uszkodzenia pełnego, s.nz. - stan niezdatności zawierający pracę o obniżonym poziomie, s.z. - stan zdatności

Na rysunkach 5.26 – 5.29 umiejscowiono stany eksploatacyjne przewodu kanalizacyjnego w przedstawionych wcześniej (rysunki 5.13 – 5.17) przykładowych przebiegach procesu eksploatacji przewodu z kontrolą i naprawą. Ze względu na krótki czas trwania stanu *postój*, przyjęto zaliczać go do stanu *użytkowanie*.

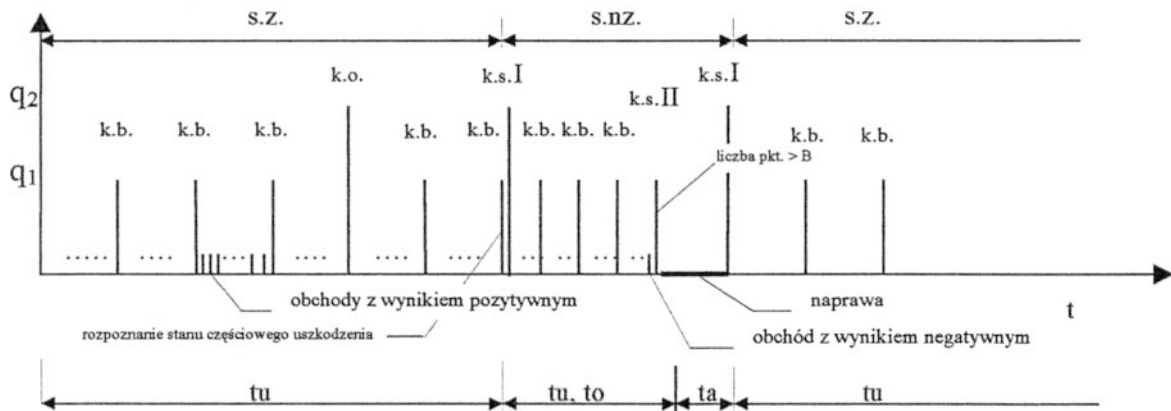


Rys.5.26. Stany eksploatacyjne i niezawodnościowe przewodu w przykładowym schemacie graficznym procesu kontroli : przeprowadzenie naprawy w zaplanowanym terminie;

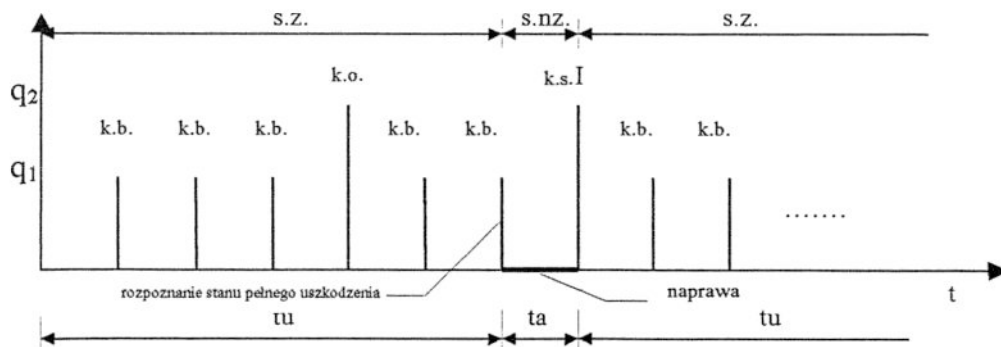
t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, k.b. - kontrola bieżąca, k.o. - kontrola okresowa, k.s.I. - kontrola specjalna I, t_n - czas oczekiwania na przyjęty termin naprawy, t_N - czas trwania naprawy, t_u - użytkowanie, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_a - odnowa, s.z. - stan zdatności przewodu, s.nz. - stan niezdatności przewodu



Rys.5.27. Stany eksploatacyjne i niezawodnościowe przewodu w przykładowym schemacie graficznym procesu kontroli: naprawa doraźna przeprowadzana w trybie pilnym po kontroli bieżącej;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, $k.b.$ - kontrola bieżąca, $k.o.$ - kontrola okresowa, $k.s.I.$ - kontrola specjalna I,
 t_u - użytkowanie, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_a - odnowa, $s.z.$ - stan zdatności przewodu, $s.n.z.$ - stan niezdatności przewodu



Rys.5.28. Stany eksploatacyjne i niezawodnościowe przewodu w przykładowym schemacie graficznym procesu kontroli: przeprowadzenie naprawy w po awarii stwierdzonej w trakcie obchodu;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, $k.b.$ - kontrola bieżąca, $k.o.$ - kontrola okresowa, $k.s.I.$ - kontrola specjalna I, $k.s.II.$ - kontrola specjalna II,
 t_u - użytkowanie, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_a - odnowa, $s.z.$ - stan zdatności przewodu, $s.n.z.$ - stan niezdatności przewodu



Rys.5.29. Stany eksploatacyjne i niezawodnościowe przewodu w przykładowym schemacie graficznym procesu kontroli: naprawa przeprowadzana w trybie pilnym w po kontroli bieżącej - nagle wystąpienie stanu pełnego uszkodzenia;
 t - czas, q_1 , q_2 - współczynnik dokładności kontroli, $k.b.$ - kontrola bieżąca, $k.o.$ - kontrola okresowa, $k.s.I.$ - kontrola specjalna I, t_u - użytkowanie, t_o - oczekiwanie na odnowę, t_a - odnowa, $s.z.$ - stan zdatności przewodu, $s.n.z.$ - stan niezdatności przewodu

W zaproponowanym programie kontroli składowymi odnowy są:

a) jako kontrola i diagnostyka przed naprawą:

- w przypadku wystąpienia stanu pełnego uszkodzenia - kontrola bieżąca, kontrola okresowa, kontrola specjalna I lub kontrola specjalna II wraz z diagnostyką wynikającą z odpowiednich metod oceny,
- w przypadku wystąpienia stanu częściowego uszkodzenia - kontrola bieżąca wraz z diagnostyką dla potwierdzenia przyjętego programu naprawy, kontrola okresowa lub kontrola specjalna I wraz z diagnostyką wynikającą z odpowiednich metod oceny,

b) naprawa według przyjętego programu,

c) jako kontrola i diagnostyka po naprawie: kontrola specjalna I z tą częścią oceny szczegółowej, która potwierdza możliwość włączenia przewodu do pracy.

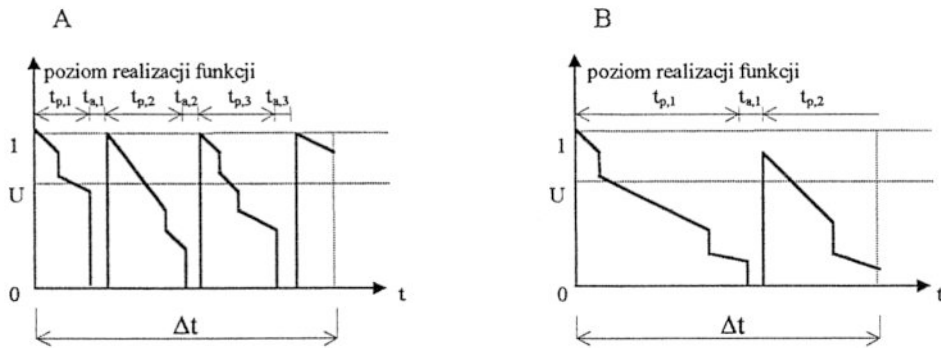
5.4.2. Rozpoznanie stanu uszkodzenia dla estymacji miar bezawaryjności przewodu

Dla estymacji miar bezawaryjności przewodu, niezbędna jest znajomość liczby uszkodzeń jakim uległ on w rozpatrywanym przedziale czasu. Prezentowane w pracy podejście przyjmuje do analizy niezawodności globalny stan uszkodzenia przewodu, wynikający z przeprowadzonej oceny, odchodząc tym samym od zliczania pojedynczych uszkodzeń, które w nim występują.

Według przyjętych założeń, wynik przeprowadzonej oceny ma odzwierciedlać poziom realizacji przez przewód funkcji. Przyjęto pewien umowny poziom U odzwierciedlający początek wystąpienia stanu częściowego uszkodzenia przewodu. Jest to jednocześnie granica między stanem zdatności a niezdatności przewodu. W zaproponowanych modelach oceny stanu przewodu, poziom ten reprezentowany jest przez odpowiednią liczbę punktów karnych - A , lub adekwatny stopień przynależności $\chi_i = 0.3$ (metody I i II, rozdział 4.3.2.).

Z upływem czasu, stan przewodu pogarsza się do chwili, gdy przestaje on pełnić swoją funkcję. Następuje stan pełnego uszkodzenia, czemu przykładowo odpowiada ilość punktów B lub wartość $\chi_i = 1.0$. Proces pogarszania się stanu przewodu może zostać przerwany przez odnowę, po przeprowadzeniu której zazwyczaj realizuje on swoją funkcję na poziomie sprzed wystąpienia stanu częściowego uszkodzenia U .

Ponieważ w procesie pracy z odnową niezerową strumień uszkodzeń jest niezależny od strumienia odnów oraz uwzględniając istnienie stanu częściowego uszkodzenia, który nie wymusza na zarządzającym siecią przeprowadzenia natychmiastowej odnowy, powstaje problem z jednoznacznym określeniem liczby stanów uszkodzeń dla miarodajnego obliczenia miar bezawaryjności przewodu. Istotę problemu przedstawiono wykorzystując schemat pracy przewodu, w którym, w rozpatrywanym przedziale czasu przeprowadzano odnowy, lub wariantowo nie były one przeprowadzone np.: ze względu na brak możliwości przedsięwzięcia - rysunek 5.30.



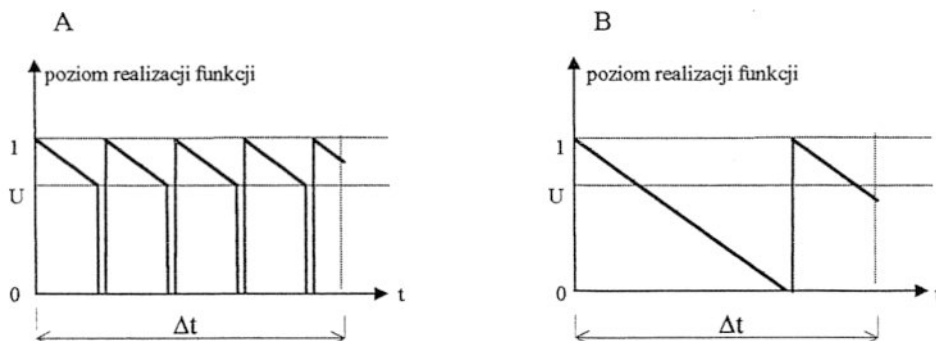
Rys.5.30. Przykładowe schematy pracy jednakowych przewodów o różnych częstościach odnowy:
 $t_{p,i}$, $t_{a,i}$ - chwilowe realizacje zmiennych losowych czasu pracy i czasu odnowy, Δt - czas obserwacji

W przypadku A, w czasie obserwacji Δt , stan częściowego uszkodzenia U wystąpił trzy razy. W przypadku B, w czasie Δt przeprowadzono tylko jedną odnowę, natomiast stan uszkodzenia U wystąpił dwa razy. Liczba obserwowanych stanów uszkodzenia U jest w tych przypadkach uzależniona od częstości odnowy, co jest niezgodne z faktem niezależności uszkodzeń w procesie pracy przewodu kanalizacyjnego. Wydaje się więc, że obliczanie wskaźników niezawodności przewodu tylko na podstawie liczby występujących w określonym przedziale czasu stanów granicznych U , wynikających z przeprowadzanej kontroli i oceny przewodu, może być błędne.

Założmy, że funkcja opisująca zdolność przewodu do realizacji funkcji zmienia się liniowo. W modelu pracy przewodu występują dwa skrajne przypadki:

1. odnowę przeprowadza się natychmiast po stwierdzeniu stanu uszkodzenia U (jest to przypadek zgodny z założonym niezawodnościowym modelem pracy przewodu) - rysunek 5.31 A,
2. Odnowę przeprowadza się dopiero po wystąpieniu stanu pełnego uszkodzenia (przypadek niedopuszczalny z punktu widzenia eksploatacji przewodu) - rysunek 5.31 B.

Proponowany sposób określania liczby stanów uszkodzeń powinien w przypadku B dawać taką ich liczbę jak w przypadku A.

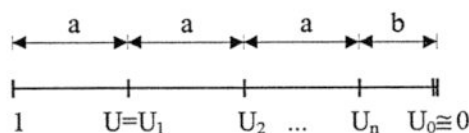


Rys.5.31. Schematy pracy przewodu :

- A - odnowa realizowana natychmiast po wystąpieniu stanu uszkodzenia U ,
 B - odnowa realizowana dopiero po wystąpieniu stanu pełnego uszkodzenia.

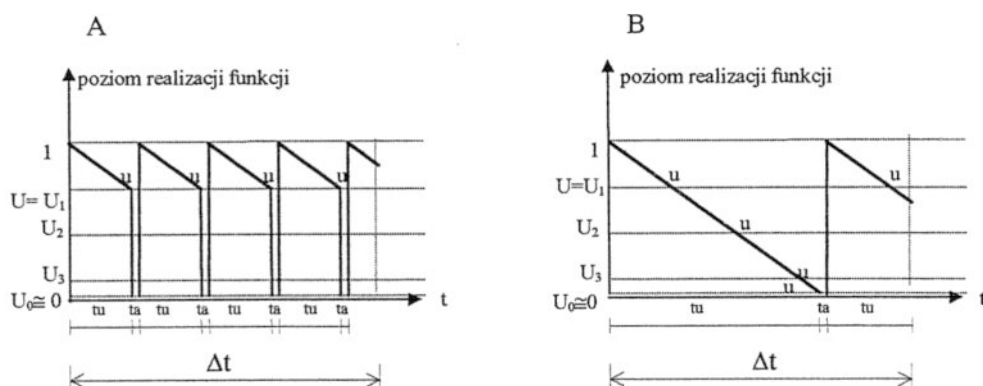
5.4.2.1. Metoda I

Między punktami 1 i 0 określającymi pełną realizację funkcji i brak realizacji funkcji, znajduje się skończona liczba przedziałów a o długości $|a| = |\overline{1U}|$ (odcinek między punktami 1 i U) - rysunek 5.32. Przedział a przedstawia różnicę między stanem prawidłowej pracy przewodu a stanem, w którym stwierdza się wystąpienie stanu częściowego uszkodzenia. Proponuje się aby przedziały o takiej długości określały poziomy (gradienty) pogorszenia się stanu przewodu U_i w czasie jego użytkowania - t_u



Rys.5.32. Poziomy realizacji funkcji wyrażone przez odcinki a o długości $|a| = |\overline{1U}|$

Do obliczeń miar bezawaryjności przewodu proponuje się więc przyjąć poziomy U_1 , ..., U_n , oraz poziom U_0 bliski stanowi pełnego uszkodzenia ($U_0 \cong 0$), jako stany uszkodzenia przewodu. Dla skrajnych przypadków prowadzenia odnowy, oblicza się wtedy liczbę uszkodzeń w przedziale czasu Δt (rysunek 5.33):



Rys.5.33. Stany uszkodzenia przewodów do obliczenia miar bezawaryjności
A - odnowa realizowana natychmiast po wystąpieniu stanu uszkodzenia U ,
B - odnowa realizowana dopiero po wystąpieniu stany pełnego uszkodzenia

- dla przypadku A, liczbę uszkodzeń które wystąpiły w czasie użytkowania $t_u - 4$,
- dla przypadku B, liczbę uszkodzeń które wystąpiły w czasie użytkowania $t_u - 5$.

Brak zbieżności wyników spowodowany jest różnicą łącznych długości czasów odnowy w przypadkach A i B - w przypadku A przeprowadzono 4 odnowy, w przypadku B jedną odnowę. Przypadki A i B są skrajne, w sytuacjach typowych różnica ta będzie miała pomijalne znaczenie.

Poziomy U_1 , ..., U_n , U_0 muszą zostać przedstawione w postaci odpowiadającej wynikom metod oceny przewodów. W zaproponowanych w rozdziale 4.3.2. metodach oceny przewodów, dla wyników kontroli bieżących jest to odpowiednia liczba punktów karnych z przedziału $\langle A, B \rangle$ lub klasa najgroźniejszego uszkodzenia. Dla kontroli o wyższym poziomie szczegółowości (kontrola specjalna, okresowa) poziomy

U_i reprezentowane będą przez wartości stopni przynależności χ_i określone dla cech przewodów i należące do przedziału $\langle 0.3, 1.0 \rangle$.

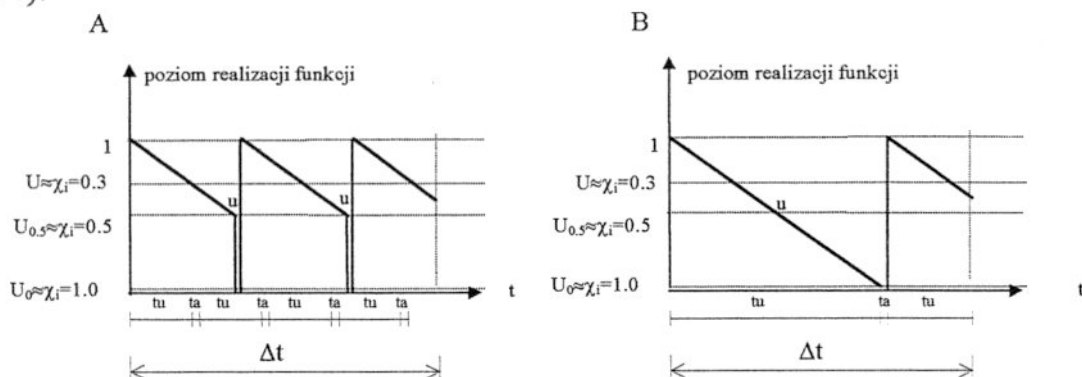
Wydaje się, że praktyczna liczba poziomów U_i będzie niewielka - trzy, cztery poziomy łącznie z U_1 i U_0 .

Należy podkreślić, że przyjęte rozwiązanie jest przybliżone. Ustalone dla poszczególnych metod oceny wartości graniczne określające poziom U są umowne, stąd długość odcinka a jest względna. Mogą również wystąpić trudności w uzyskaniu zgodności między przyjętymi wartościami granicznymi U_i dokładnej i przybliżonej metody oceny. Jednocześnie trudno jednoznacznie stwierdzić, jak bardzo rzeczywista nieliniowość funkcji opisującej poziom realizacji przez przewód zadania wpływa na dokładność określenia liczby uszkodzeń, wobec przyjętego we wstępie założenia ich liniowej zmienności.

5.4.2.2. Metoda II

Przyjęty dla dokładnej metody oceny stanu przewodu umowny poziom U wystąpienia stanu częściowego uszkodzenia, oznaczony przez $\chi_i = 0.3$, wskazuje jedynie na konieczność zwiększenia częstotliwości kontroli. Dopiero gdy $\chi_i = 0.5$ należy zaplanować odnowę. Praktycznie więc, odnowa może być przeprowadzona w dowolnej chwili, gdy stan uszkodzenia przewodu reprezentowany jest przez $\chi_i \in \langle 0.5, 1.0 \rangle$. Można zaproponować, że dla estymacji miar bezawaryjności przewodu przyjmowana będzie chwila wystąpienia stanu uszkodzenia częściowego, reprezentowanego przez $\chi_i = 0.5$, lub odpowiadająca mu liczba punktów karnych z przybliżonej metody oceny. Konkretna wartość χ_i może być inna niż 0.5, powinna jednak określać granicę, przy której uzasadnione jest przeprowadzenie odnowy. Przy tej wartości χ_i odnowa może zostać jednak przesunięta ze względu na obiektywne przyczyny.

Rozpatrując dwa skrajne przypadki, łatwo stwierdzić, że przyjmując $U_{0.5} \approx \chi_i = 0.5$, uzyskana liczba uszkodzeń w przypadku A jest dwukrotnie większa niż w B (rysunek 5.34).



Rys.5.34. Stany uszkodzenia przewodów do obliczenia miar bezawaryjności
A - odnowa realizowana natychmiast po wystąpieniu stanu uszkodzenia U ,
B - odnowa realizowana dopiero po wystąpieniu stanu pełnego uszkodzenia.

Estymacja miar bezawaryjności z wykorzystaniem „punktu środkowego” - to znaczy estymacja na podstawie liczby stanów $U_{0.5}$ w przedziale czasu Δt , będzie zawsze dokładniejsza w porównaniu z obliczeniami wykorzystującymi stan U (wynika to z zasad geometrii).

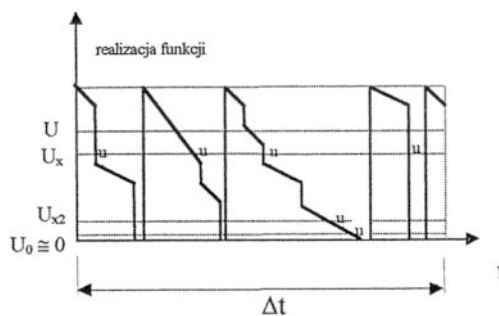
Uzasadnione wydaje się wzbogacenie metody „punktu środkowego” rozwiązaniem z metody pierwszej. W tej sytuacji liczba uszkodzeń określana będzie jako liczba stanów $U_{0.5}$ i U_0 , które wystąpiły w przedziale czasu Δt , w czasie użytkowania przewodu t_u . Dla przypadków skrajnych, przedstawionych na rysunku 5.34 liczba uszkodzeń wynosi: 2.

Uogólniając, gdy granica przy której uzasadnione jest przeprowadzenie odnowy określona jest przez $U_x \neq U_{0.5}$, jako uszkodzenie rejestruje się stany reprezentowane przez poziomy :

a) $U_x, U_{x2}, \dots, U_{xn}, U_0$ - gdy $|\overline{IU_x}| < |\overline{IU_{0.5}}|$;

b) U_x, U_0 - gdy $|\overline{IU_x}| > |\overline{IU_{0.5}}|$.

Na rysunku 5.35 przedstawiono liczbę uszkodzeń dla przykładowego procesu pracy przewodu - przypadek a.



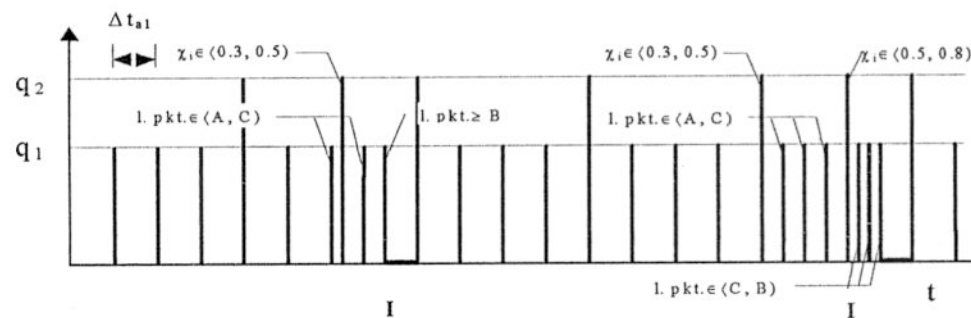
Rys.5.35. Liczba uszkodzeń w przykładowym procesie pracy przewodu - przypadek a) : $|\overline{IU_x}| < |\overline{IU_{0.5}}|$

Należy zdawać sobie sprawę z niedokładność zaproponowanych rozwiązań, które wynikają z nieostrości pojęcia „stan częściowego uszkodzenia przewodu” i trudności w jego opisie, jednocześnie przy dominującym jego znaczeniu w procesie pracy źle eksploatowanego przewodu kanalizacyjnego. Stosowanie metody II wydaje się być bardziej uzasadnione niż metody I, chociaż aktualne są tu te same uwagi.

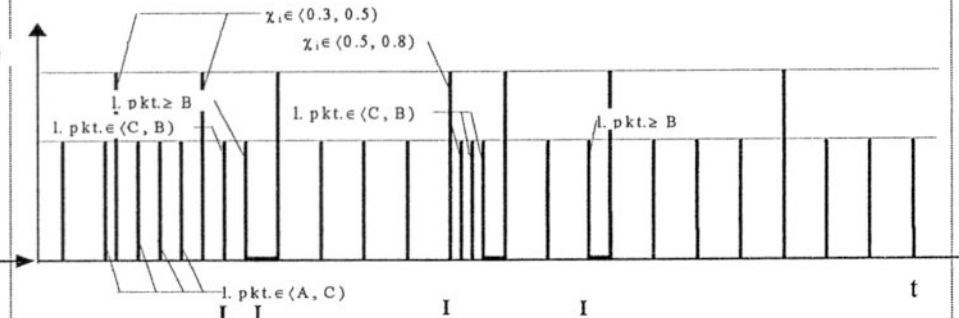
5.4.2.3. Przykład

W przykładzie postanowiono przeprowadzić obliczenia wskaźników niezawodności: intensywności uszkodzeń - λ oraz intensywności odnowy - μ , dla przedstawionego na rysunku 5.36 procesu pracy przewodów z przyjętym programem kontroli i odnowami wynikającymi z oceny stanu przewodu. Przy obliczeniach λ wykorzystano metodę II – poziom $U_x = U_{0.5}$ reprezentowany przez $\chi_i = 0.5$ w szczegółowej metodzie oceny stanu przewodu, lub ilość punktów karnych C w przybliżonej metodzie oceny, oraz poziom U_0 reprezentowany przez $\chi_i = 0.8$, lub ilość punktów karnych B. Obliczenia przeprowadzono dla sześciu przewodów, o jednakowych średnicach, z jednakowego materiału i długościach odpowiednio jak na rysunku. W okresach zdatności przewodu kontrole bieżące prowadzone były co 6 miesięcy (Δt_{al}). Obliczenia przeprowadzono dla dziesięcioletniego okresu badań: $\Delta t = 10$ lat. Obliczono średnie wartości wskaźników λ i μ dla tego okresu. Dla uzyskania wiarygodnych wartości współczynników, licznosc próbek powinna być większa, autor pragnął jednak przede wszystkim przedstawić ideę postępowania przy wykorzystaniu zaproponowanej w rozdziale 5.4.2.2. metody, w powiązaniu z przyjętym programem kontroli i metodami oceny stanu przewodu.

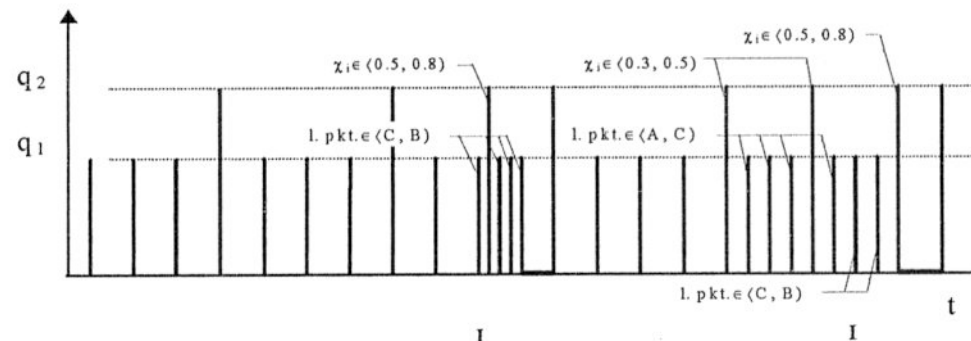
przewód 1, długość $L = 100$ m



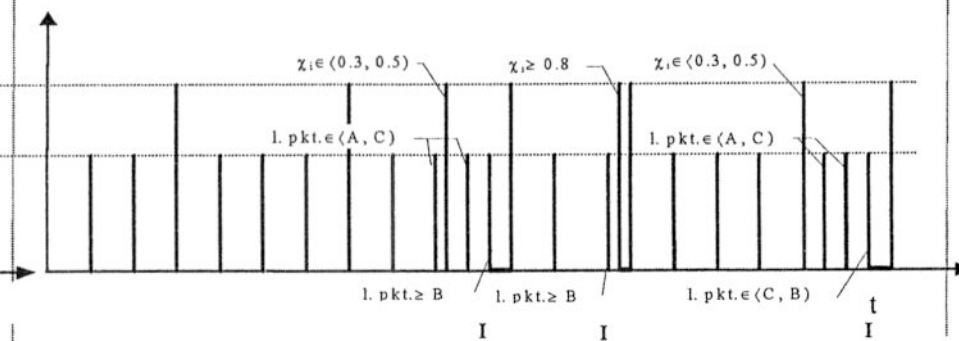
przewód 4, długość $L = 70$ m



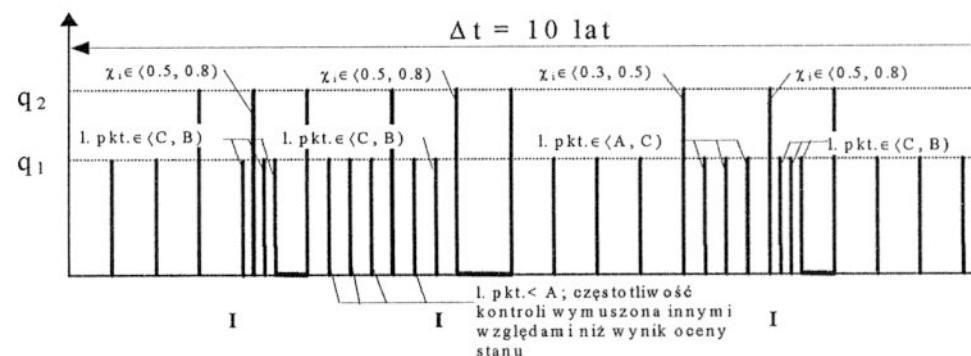
przewód 2, długość $L = 100$



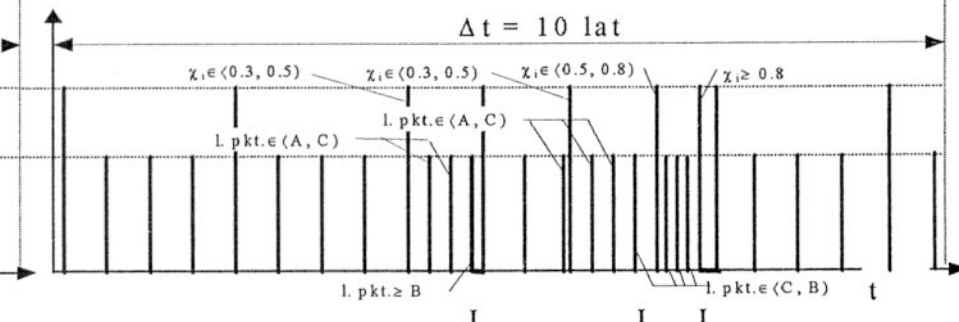
przewód 5, długość $L = 100$



przewód 3, długość $L = 70$ m



przewód 6, długość $L = 90$ m



Rys.5.36. Schematy graficzne procesów eksploatacji przewodów w okresie dziesięcioletnim - kontrole i naprawy.

I - oznacza wystąpienie stanu uszkodzenia przyjmowanego do estymacji λ .

W obliczeniach skorzystano ze wzorów estymacyjnych 3.20 i 3.27 - rozdział 3.4.2:

- estymator intensywności uszkodzeń: $\bar{\lambda} = \bar{\omega}(t) = \frac{m(t, t + \Delta t)}{L \cdot \Delta t}$
- estymator intensywności odnowy: $\mu = \frac{n_0}{t_0}$

Przyjęte we wzorach oznaczenia :

- estymator intensywności uszkodzeń:

$m(t, t + \Delta t)$ - liczba uszkodzeń wszystkich badanych przewodów w przedziale czasu Δt - $m = 17$,

L - całkowita długość badanych przewodów - $L = 520$ m,

Δt - długość przedziału czasu w jakim dokonuje się obserwacji - $\Delta t = 10$ lat;

- estymator intensywności odnowy:

n_0 - liczba odnów badanych obiektów - $n_0 = 15$,

t_0 - sumaryczny czas trwania niesprawności (odnów) badanych obiektów -

$t_0 = 3.83$ [a];

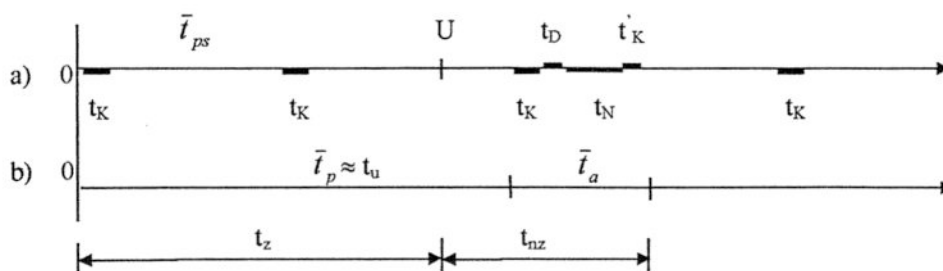
Po podstawieniu do wzorów obliczono: $\lambda = 3.27$ [$\text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$], $\mu = 3.91$ [a^{-1}].

5.5. Częstość prowadzenia kontroli

Po przyjęciu schematu programu kontroli i po uzgodnieniu technik ich prowadzenia, konieczne wydaje się ustalenie częstości prowadzenia kontroli (długości okresów Δt_{xi} między kontrolami) tak, aby zasoby przedsiębiorstwa były wykorzystane optymalnie, zapewniając wysoką niezawodność sieci. Częstość kontroli powinna być tak dobrana, aby zapewnić minimum strat jakie powstają od chwili wystąpienia uszkodzenia do ponownego włączenia przewodu do eksploatacji po przeprowadzonej odnowie. Zmniejszenie wysokości strat wynika ze skrócenia czasu między chwilą wystąpienia uszkodzenia a rozpoznaniem tego stanu, co pozwala na przyjęcie odpowiedniego programu działań. Skrócenie tego czasu można osiągnąć przez zwiększenie częstości kontroli. Ponieważ prowadzenie kontroli wymaga określonych nakładów, muszą być one uwzględnione w rachunku optymalizacyjnym.

Funkcja kryterium rachunku optymalizacyjnego będzie stanowić sumę kosztów kontroli K_K i kosztów zawodności przewodu K_{NS} . Należy rozpatrzyć minimum tej funkcji ze względu na liczbę (krotność) kontroli w czasie.

W pracy [59] przedstawiono przykład rachunku optymalizacyjnego dla systemu jednoelementowego z kontrolą okresową, o modelu pracy jak na rysunku 5.37.



Rys.5.37. Modele pracy systemu z kontrolą okresową : a) rzeczywisty, b) przyjęty;

t_K - czas kontroli, t_D - czas diagnostyki, t_N - czas naprawy, t_K - czas kontroli po naprawie,

$\bar{t}_{ps}$ - średni maksymalny czas pracy bez kontroli, $\bar{t}_p$ - średni czas poprawnej pracy, $\bar{t}_a$ - średni

czas odnowy, U - uszkodzenie, t_z - okres zdatności przewodu, t_{nz} - okres niezdatności przewodu

Zakładając, że U oznacza wystąpienie stanu uszkodzenia $U_{0.5}$, przy którym uzasadnione jest przeprowadzenie naprawy, powyższy schemat może służyć do określenia optymalnej krotności kontroli bieżących w przyjętym w rozdziale 4.3. programie kontroli. Otrzymany wynik będzie jednak przybliżony, gdyż nie uwzględnia zwiększonej częstości kontroli po wystąpieniu stanu uszkodzenia $U_{0.3}$ i strat powstających w okresie między stanem uszkodzenia $U_{0.3}$ a $U_{0.5}$. Dla uproszczenia przyjęto jednakowy średni czas trwania wszystkich kontroli t_K .

W rozdziale 5.4.1 przyjęto, że czas $i-1$ kontroli należy do stanu użytkowania przewodu, natomiast kontrola bezpośrednio poprzedzająca naprawę należy do czasu odnowy. Wtedy średni czas odnowy przewodu $\bar{t}_a$ jest sumą czasu kontroli t_K i czasu naprawy wraz z diagnostyką i kontrolą po naprawie - $T'_N = t_N + t_D + t'_K$ (oznaczenia jak na rys.4):

$$\bar{t}_a = t_K + T'_N. \quad (5.1)$$

Średni czas poprawnej pracy przewodu $\bar{t}_p$ wyraża się wzorem:

$$\bar{t}_p = it_{ps} + (i-1)t_K, \quad (5.2)$$

gdzie: t_{ps} – średni maksymalny czas pracy bez kontroli.

Przekształcając równanie (5.2) i wstawiając $\bar{t}_p = T_C - \bar{t}_a$ oraz (5.1), otrzymujemy:

$$\bar{t}_{ps} = \frac{T_C - \bar{t}_a}{i} - \frac{t_K(i-1)}{i} = \frac{T_C - (t_K + T'_N)}{i} - \frac{t_K(i-1)}{i} = \frac{T_C - T'_N}{i} - t_K. \quad (5.3)$$

W czasie $\bar{t}_{ps}$, z prawdopodobieństwem wynikającym z rozkładu niezawodności przewodu może pojawić się uszkodzenie, które będzie wykryte dopiero podczas następnej kontroli. Czas $\bar{t}_{ps}$ jest maksymalnym czasem pracy przewodu z „ukrytym” stanem uszkodzenia – zarządzający siecią nie wie o wystąpieniu w przewodzie tego stanu uszkodzenia; $t_{NS} = \bar{t}_{ps}$.

W czasie t_{NS} przewód pracuje powodując straty wynikające z jego zawodności.

Funkcję kryterium rachunku optymalizacyjnego, stanowiącą sumę kosztów kontroli K_K i kosztów zawodności przewodu K_{NS} można wyrazić równaniem [59]:

$$K_0 = K_K + K_{NS} = k_{OK}it_K + k_{ON}T'_N + k_{NS}\left(\frac{T_C - T'_N}{i} - t_K\right), \quad (5.4)$$

gdzie: k_{OK} - jednostkowy koszt kontroli,

k_{NS} - jednostkowy koszt niesprawnego działania przewodu między kontrolami, np. w przeliczeniu na koszt kontroli : $k_{NS} = a k_{OK}$; $a \geq 1$,

k_{ON} - jednostkowy koszt naprawy.

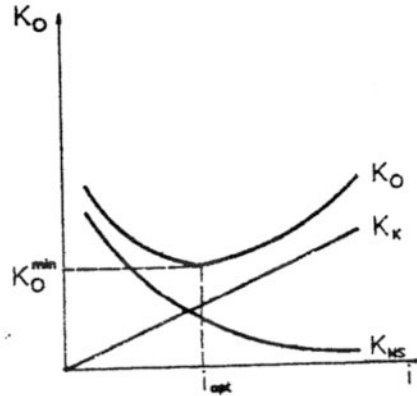
Przyjmując przebieg funkcji K_K i K_{NS} jak na rysunku 5.38, można obliczyć K_{min} i odpowiadającą im optymalną krotność kontroli i_{opt} , wyrażającą się wzorem:

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{T_C - T'_N}{t_K} * \frac{k_{NS}}{k_{OK}}}. \quad (5.5)$$

Ponieważ $Tc = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu}$, równanie przyjmuje postać:

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu} - T'_N}{t_K} \cdot \frac{k_{NS}}{k_{OK}}} \quad (5.6)$$

Rys.5.38. Zależność kosztów K_0 od jednostkowych kosztów kontroli K_K i jednostkowych kosztów niesprawnego działania przewodu K_{NS} ; i - krotność kontroli [59]



Należy podkreślić, że wzór (5.4) nie opisuje strat, które powstają, gdy uszkodzony przewód pracuje za wiedzą zarządzającego siecią, po przeprowadzeniu kontroli, która stwierdziła występowanie uszkodzenia $U_{0.5}$ (przypadek przedstawiony na rysunku 5.24, rozdział 5.4.1., gdzie $U = U_{0.5}$). Wielkość tych strat uzależniona jest od ustalonej długości czasu między kontrolą a terminem odnowy. Ponieważ czas ten nie jest zależny od przyjętego programu kontroli nie uwzględnia się go w tym rachunku optymalizacyjnym.

5.6. Wnioski

W rozdziale 5 przedstawiono wpływ kontroli prowadzonej według przyjętego programu na proces eksploatacji i niezawodność pracy przewodów kanalizacyjnych. Z przedstawionych rozważań można wyciągnąć następujące wnioski:

- kontrola pozwala stwierdzić czy przewód znajduje się w stanie zdatności czy niezdatności, a systematyczne jej prowadzenie (wdrożenie programu kontroli) umożliwia wyznaczenie chwili wystąpienia stanu uszkodzenia, a następnie śledzenie (do pewnego momentu oczywiście) procesu pogarszania się stanu przewodu.
- Przy odpowiednio długo prowadzonych badaniach, kontrola programowa pozwala uzyskać zbiór danych, stanowiących podstawę dla określenia parametrów niezawodnościowych przewodów i następnie sieci kanalizacyjnej. Sposób i częstość przeprowadzania kontroli jest regulatorem dokładności estymacji parametrów niezawodnościowych przewodu, co więcej, decyduje o wiarygodności takiej estymacji.
- Odpowiednio prowadzone kontrole powodują dobre poznanie zmian zachodzących w przewodzie i tym samym opóźniają starzenie się przewodu - uzyskiwany jest możliwie długi okres normalnej pracy ze stałą intensywnością uszkodzeń λ .
- Poprzez przyjęcie optymalnej strategii kontroli można minimalizować koszty zawadności wynikające z działania uszkodzonego przewodu.

6. Rdzeń systemu i kanały krytyczne w sieci kanalizacyjnej

6.1. Uwagi wstępne

Długość i powierzchnia zlewni typowej miejskiej sieci kanalizacyjnej jest ściśle związana z wielkością i obszarem miasta w którym sieć pracuje. Wynikająca z tego rozległość sieci powoduje, że przewody kanalizacyjne przebiegają przez tereny o odmiennych cechach - różniące się zarówno sposobem zagospodarowania, jak i warunkami gruntowo-wodnymi, naturalnymi lub przekształconymi przez człowieka. Biorąc pod uwagę różnorodność wymuszeń jakim podlegają przewody oraz zróżnicowanie ich funkcji, można dokonać podziału sieci dla ustalenia „ważności” poszczególnych przewodów w procesie eksploatacji. Dokonanie takiego podziału jest podstawą dla późniejszych prac w programie naprawczym sieci i tym samym zwiększenia niezawodność systemu.

Z doświadczeń Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Krakowie wynika, że większość nakładów związanych z wystąpieniami awarii koncentruje się na obszarze obejmującym około 20% zlewni, gdzie występuje 10% ogólnej liczby awarii [13]. Koszty związane z tymi awariami stanowią blisko 80% całości kosztów napraw przeprowadzanych przez przedsiębiorstwo. Powodującą tak wysokie straty część systemu kanalizacyjnego można określić mianem rdzenia systemu, a kanały wchodzące w jego skład - kanałami krytycznymi.

O zakwalifikowaniu przewodu do rdzenia systemu, powinno decydować ściśle określone kryterium. Zgodnie z założeniami przedstawionymi powyżej, kryterium takim będzie wysokość kosztów związanych z wystąpieniem awarii w analizowanym przewodzie. Koszty te wyrażać muszą wysokość nakładów ponoszonych na naprawę przewodu po wystąpieniu awarii - K_n , oraz wielkość strat jakie powstają do chwili rozpoczęcia naprawy, będących kosztami nieprawidłowego działania przewodu – (kosztami zawodności) K_z . Kanały, w których koszty wystąpienia awarii określone w postaci sumy $K_n + K_z$, są szczególnie wysokie, autor pracy proponuje uznać za kanały krytyczne.

6.2. Struktura kosztów naprawy przewodu - K_n

6.2.1. Podział kosztów

Aby oszacować wysokość kosztów naprawy przewodu - K_n , przyjęto hipotetyczną awarię, której usunięcie jest równoważne z wymianą kanału o jednostkowej długości (np.: 100 m), metodą odkrywkową. Wymiana kanału w warunkach miejskich powoduje powstanie dodatkowych kosztów, wśród których nie można pominąć tzw. kosztów społecznych i ekologicznych.

Na całkowity koszt naprawy przewodu K_n składają się wtedy:

- 1) koszty wymiany kanału na nowy - K_w ,
- 2) koszty wynikające ze specyfiki odkrywkowej wymiany kanałów w miastach z wyjątkiem kosztów społecznych i ekologicznych - K_m ,
- 3) koszty społeczne i ekologiczne nie uwzględniane w kosztach zawodności K_z - K_s

6.2.2. Charakterystyka kosztów

6.2.2.1. Koszty wymiany kanału na nowy - K_w

Koszt wymiany kanału - K_w jest sumą kosztów:

$$K_w = K_{rz} + K_{ro} + K_u + K_i, \quad (6.1)$$

gdzie: K_{rz} - koszty robót ziemnych,

K_{ro} - koszty robót odwodnieniowych,

K_u - koszty usunięcia zniszczonej konstrukcji,

K_i - koszty budowy nowej konstrukcji - koszt robót instalacyjnych.

- Koszty robót ziemnych i odwodnieniowych – K_{rz} i K_{ro}

Koszty robót ziemnych i odwodnieniowych uzależnione są od wymiarów układanego przewodu, jego zagłębienia, warunków gruntowo-wodnych i technologii wykonywania robót. Wymienione czynniki narzucają przyjęcie odpowiedniego sposobu zabezpieczania wykopu i prowadzenia robót odwodnieniowych. Jednocześnie, specyfika warunków miejskich może powodować pewne ograniczenia w zakresie stosowanych rozwiązań. Najczęściej wymuszona zostaje technologia prowadzenia robót ziemnych (np. konieczność ręcznego wybierania gruntu ze względu na niebezpieczeństwo uszkodzenia sąsiednich przewodów) oraz sposób zabezpieczenia i odwodnienia wykopu (np. konieczność wykopów o pionowych ścianach ze względu na brak miejsca, niemożność zabicia ścianek szczelnych ze względu na wywoływane wstrząsy; takie odwodnienie wykopu, aby nie nastąpiło uszkodzenie sąsiadujących budowli w wyniku osiadania).

Koszty robót ziemnych (bez kosztów odwodnienia) mogą w zależności od warunków lokalnych stanowić od 9 do 72 %, natomiast koszty odwodnienia mogą się wahać w przedziale od 6 do 75 % jednostkowego kosztu budowy sieci kanalizacyjnej [36].

- Koszty usunięcia zniszczonej konstrukcji i ułożenia nowej - K_u i K_i

Koszty wykonania nowej konstrukcji kanału (koszt robót instalacyjnych) uzależnione są od materiału z jakiego jest wykonana, jej rodzaju (monolityczna, prefabrykowana), jej wymiarów i kształtu, technologii wykonania, oraz w pewnym stopniu od technologii robót odwodnieniowych i ziemnych [54]. Według [36], w zależności od sytuacji, koszt robót instalacyjnych może wynosić od 8 do 81 % jednostkowego kosztu budowy sieci. Na koszt usunięcia zniszczonej konstrukcji wpływać będą jej wymiary, rodzaj konstrukcji, materiał, oraz technologia wykonania prac rozbiórkowych.

W pracy [54], za wiarygodne źródło oceny wielkości kosztów budowy sieci kanalizacyjnej uznano opracowanie wykonane przez MPWiK w Warszawie dla potrzeb Katedry Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Warszawskiej [57]. Koszty uzależniono tu od zagłębienia kanału, jego wymiarów, materiału i nawodnienia gruntu. Ustalono wskaźniki jednostkowych nakładów inwestycyjnych, dotyczące kanałów kołowych wykonywanych w wykopie otwartym, o zagłębieniu od 3.5 do 8.0 m, z rur kamionkowych o średnicach 0.20 - 0.60 m, z rur betonowych prefabrykowanych o średnicach 0.80 - 1.50, z rur żelbetowych o średnicach 1.80 - 3.20. Wskaźniki obejmują kanały wykonywane w gruncie suchym i nawodnionym.

6.2.2.2. Koszty związane ze specyfiką budowy kanałów w warunkach miejskich - K_m

W skład kosztów wynikających ze specyfiki odkrywkowej wymiany kanałów w miastach wchodzi [54] :

- a) koszty robót drogowych - K_{rd} ,
- b) koszty odwozu nadwyżki gruntu na stałe - K_{gs} ,
- c) koszty tymczasowego odwozu nadwyżki gruntu nie mieszczącej się w paśmie ulicy i powtórnego jej przywozu - K_{gu} ,
- d) inne koszty obejmujące:
 - koszty organizacji zmian ruchu (koszty wykonania nowych znaków drogowych, tablic informacyjnych itp.) - K_{on} ,
 - koszty związane z zapewnieniem bezpieczeństwa prowadzenia prac kanalizacyjnych (zabezpieczenie fundamentów sąsiadujących budowli - jeśli jest to konieczne, wykonanie kładek dla pieszych, koszty związane z zabezpieczeniem dojścia do hydrantów oraz koszty innych niezbędnych czynności organizacyjnych) - K_{bp} ,
 - koszty związane z zabezpieczeniem innych sieci w przypadku kolizji z wymienianym kanałem - K_{zs} ,
 - koszty przepompowywania ścieków - K_{ps} ,
 - koszty tymczasowych dojazdów do budynków - K_{td} ,
 - inne koszty nieprzewidziane (losowe) w przypadku gdy takowe wystąpią, które mogą być przyjmowane jako procentowy dodatek do pozostałych - K_{lo} .

W tych kosztach należy również uwzględnić opłaty z tytułu zajęcia części traktu komunikacyjnego.

Autor pracy [54] ustalił procedurę (KA-02) obliczania przedstawionych wyżej kosztów. Przeprowadzone symulacje wykazały, że koszty te stanowią często jedną z najistotniejszych składowych kosztów budowy kanału.

Przedstawione wyżej koszty ujmują najczęściej występujący przypadek wymiany kanału znajdującego się w liniach rozgraniczających ulicy. Wymiana kanału nie przebiegającego pod ulicą, lecz np. pod terenem zieleni miejskiej, spowoduje oczywiście zmianę zestawu kosztów, co powinno być uwzględnione w rachunku.

6.2.2.3. Koszty społeczne i ekologiczne - K_s

Analizuje się tu koszty społeczne i ekologiczne wynikające ze strat jakie mogą być spowodowane robotami przy wymianie przewodów kanalizacyjnych metodą odkrywkową. Pełne rozwiązanie zagadnienia jest bardzo utrudnione ze względu na niewymierność finansową niektórych strat np.: straty spowodowane zwiększoną liczbą wypadków, straty spowodowane hałasem. Z badań zagranicznych wynika, że koszt społeczny mierzony wyłącznie opóźnieniami w ruchu komercyjnym i prywatnym może być większy niż bezpośredni koszt budowy przewodów [74]. Do podobnych wniosków dochodzi autor pracy [54], w której przedstawił model (KA-05) obliczania kosztów związanych z objazdami na trasie przebudowywanego kanału. W tabeli 6.1 przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w Wielkiej Brytanii, z których wynika, że koszt społeczny jest niejednokrotnie większy niż koszty bezpośrednie prowadzenia robót [74].

Można wymienić następujące grupy kosztów społecznych i ekologicznych:

1. koszty związane z utrudnieniami w ruchu pojazdów - spowodowane koniecznością zapewnienia objazdów, lub obniżeniem poziomu swobody ruchu ulicznego -

występują w przypadku wymiany przewodów prowadzonych pod jezdnią lub w liniach rozgraniczających ulicy. Zalicza się do nich [54]:

- a) koszty związane ze zwiększeniem czasu podróży,
- b) zwiększenie kosztów eksploatacyjnych pojazdów,
- c) koszty spowodowane zwiększoną liczbą wypadków drogowych,
- d) koszty spowodowane zwiększeniem czasu przewozu ładunków,
- e) koszty spowodowane utrudnieniem dostaw do sklepów, dojazdów do domów, miejsc pracy, itp.
- f) koszty spowodowane wydłużeniem drogi pieszych i utrudnieniami w poruszaniu się (kładki dla pieszych).

Wymienione w punktach a, b, c, d koszty można obliczyć według [2,6]. Koszty wyróżnione w punktach e i f są znikome w porównaniu do pozostałych kosztów [53].

2. Koszty związane ze zwiększonym zanieczyszczeniem powietrza (spaliny samochodowe), hałasem i drganiami - pogorszenie warunków pracy i wypoczynku

3. Koszty związane z niszczeniem roślinności - zagrożenie drzew, których korzenie mogą ulec zniszczeniu w trakcie robót wykopowych.

4. „Straty biznesu” spowodowane utrudnionym dostępem i „niesprzyjającą atmosferą” (hałas, spaliny) powodującymi rezygnację klientów.

5. Koszty związane z obniżeniem „atrakcyjności” terenów wypoczynkowych - parków, placów zabaw, promenad spacerowych itp.

6. Koszty szczególne, związane ze zmianami w pobliżu obiektów o szczególnym znaczeniu - możliwość uszkodzenia pomników przyrody, obiektów historycznych, utrudnienia w dojazdach do szpitali, obiektów strategicznych itp.

Określenie sposobu szacowania tych kosztów jest zagadnieniem skomplikowanym, wymagającym niezależnego opracowania.

Tabela 6.1. Poziom kosztów bezpośrednich i społecznych przy budowie sieci uzbrojenia (dane z 1991 r.) [74]

Budowy	Technika budowy	Szacunkowy koszt budowy [£]	Szacowane koszty społeczne [£]	Rodzaj robót
Barnet Totteridge Lane	wykop otwarty	189 000	34 000	naprawa kolektora kanalizacyjnego
Broxbourne High Road	wykop otwarty	20 000	98 500	naprawa przewodu wodociagowego
Wood Green Westbury Avenue	wykop otwarty	39 000	22 500 (a)	naprawa przewodu kanalizacyjnego
Stoke Newington High Street	wykop otwarty	20 000	30 800 (a)	wymiana przewodu gazowego
East Barnet Station Road	wykop otwarty	2 000	2 100	naprawa przewodu gazowego
Harrow Stanmor Hill	wykop otwarty	20 000	14 000 (a)	wymiana studzienek
Harrow Brockley Hill	wykop otwarty	6 000	6 450 (a)	budowa komory cieplnej
Wandsworth Augustus Road		26 800	0	naprawa przewodu wodociagowego
Hertford A414		5 000	300	naprawa przewodu kanalizacyjnego
Cockfosters Road	wykop otwarty	30 000	110 000	wymiana przewodu wodociagowego
Uwagi:				
a) Koszty społeczne spowodowane opóźnieniami transportu obliczono przy założeniu kosztu jednostkowego w wysokości 5,40 £ na pojazd / godz.,				
b) Zastosowaną początkowo metodę bezwykopową zamieniono ze względu na trudności realizacyjne na wykop otwarty				

Podsumowując, globalny koszt naprawy przewodu K_n , równoznaczny z wymianą kanału o jednostkowej długości, w warunkach miejskich, można przedstawić w postaci sumy kosztów cząstkowych:

$$K_n = K_w + K_m + K_s, \quad (6.2)$$

gdzie : K_w - koszt wymiany sieci kanalizacyjnej jednostkowej długości,

K_m - koszty wynikające ze specyfiki warunków miejskich,

K_s - koszty społeczne i ekologiczne,

6.3. Określenie kosztów zawodności – K_z

Na koszt zawodności przewodu kanalizacyjnego K_z składają się [59]:

- straty zakładowe (użytkownika) – K_{zu} ,
- straty ogólnospołeczne- K_{zs} .

Straty użytkownika obejmują:

- utrata zysku K_u , jest konsekwencją strat związanych z niepobieraniem opłat za odprowadzanie ścieków spowodowane przerwą w pracy przewodu;
- koszty dodatkowe K_a , obejmują czynności związane z zabezpieczeniem miejsca awarii, wprowadzenia zmian w ruchu, przepompowywania ścieków.

Straty ogólnospołeczne K_{zs} spowodowane są przede wszystkim infiltracją wód gruntowych do przewodu i eksfiltracją ścieków do gruntu, a także wynikają z utrudnień komunikacyjnych i w zaspokajaniu potrzeb sanitarnych.

Uogólniając, koszty zawodności przewodów wynikają z konsekwencji nieprawidłowej ich pracy (konsekwencje te przedstawiono w rozdziale 2.5.2). Miarodajne określenie wysokości tych kosztów jest podobnie jak w przypadku kosztów społecznych i ekologicznych K_s zadaniem wymagającym oddzielnego opracowania.

Przewody miejskiej sieci kanalizacyjnej, dla których suma kosztów K_n i K_z jest szczególnie wysoka, zostaną uznane za kanały krytyczne tworzące rdzeń systemu. Biorąc pod uwagę rozległość sieci, znaczną ilość czynników wpływających na wysokość kosztów, oraz brak opracowanej metody szacowania kosztów K_s i K_z , należy uznać, że kwalifikacja przewodów bazująca na omówionym kryterium jest bardzo trudna w realizacji. W tej sytuacji, w celu identyfikacji kanałów krytycznych można posługiwać się metodami uproszczonymi.

Poniżej przedstawiono przykładową metodę wydzielenia rdzenia systemu według [92].

6.4. Identyfikacja kanałów krytycznych (przykład metody)

6.4.1. Założenia

W sieci wyszczególniono trzy kategorie kanałów - A, B, C, z których A i B są traktowane jako krytyczne. Zdefiniowano je następująco:

kategoria A - kanały, w których usunięcie skutków awarii jest szczególnie kosztowne.

W przypadku tych kanałów szacuje się, że niezbędne prace renowacyjne lub remontowe po awarii będą dwukrotnie droższe od planowanej wymiany oraz w typowym przypadku trzy lub cztery razy droższe od kosztów planowanej renowacji.

Kategoria B - kanały o mniejszym znaczeniu, w których awarie mogą mieć poważne skutki finansowe i znaczny zasięg zniszczenia.

W skład rdzenia systemu mogą wchodzić również niekrytyczne przewody kategorii C, łączące odcinki kategorii A lub B.

Jako kanały krytyczne, w pierwszym rzędzie należy klasyfikować kanały posiadające przynajmniej jedną z wymienionych niżej cech :

- kanały, w których koszty technicznego usunięcia awarii mogą być wysokie,
- kanały ułożone w drogach gdzie, koszty przerwy w ruchu spowodowane awarią są wysokie,
- kanały oceniane jako strategiczne.

W drugiej kolejności należy uwzględnić:

- kanały o głębokości posadowienia większej od średniej (w instrukcji przyjęto głębokość większą niż 3 m),
- kanały ułożone w gruntach niestabilnych,
- kanały o dużych gabarytach,
- kanały ułożone w drogach o dużym natężeniu ruchu,
- kanały trudno dostępne dla celów usunięcia awarii,
- kanały biegnące pod budynkami, torami tramwajowymi lub kolejowymi, rzekami, w głównych ulicach centrum handlowego, w drogach dojazdowych do dzielnic przemysłowych lub autostrad, kolektory główne.

6.4.2. Dane wyjściowe

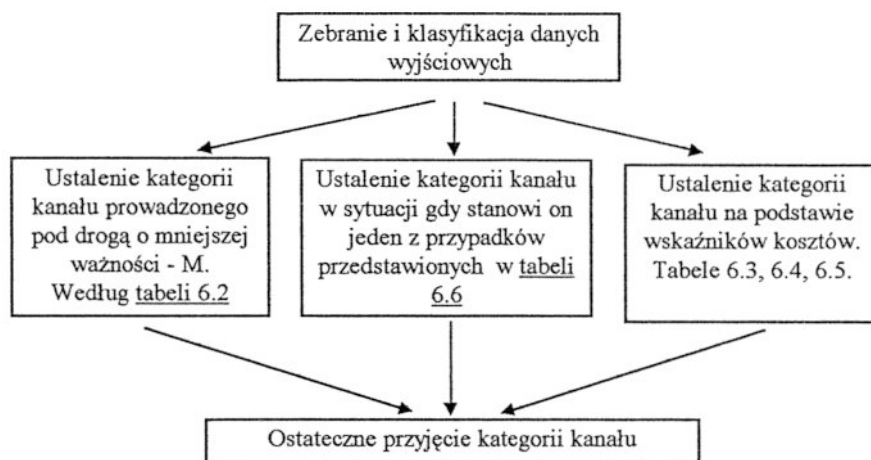
Dla ustalenia kategorii kanału analizuje się poszczególne przeloty - odcinki przewodów między studzienkami - stanowiące elementy składowe kanału. Minimalny zakres danych wyjściowych dla identyfikacji kanałów krytycznych obejmuje:

- oznaczenie i ponumerowanie studzienek kanalizacyjnych,
- określenie lokalizacji kanału,
- średniej głębokości posadowienia odcinka przewodu między studzienkami,
- wymiarów przewodu,
- materiału z którego wykonano przewód,
- funkcji przewodu,
- rodzaju gruntu i poziomu wód gruntowych,
- natężenia ruchu drogowego nad przewodem.

Niezbędne jest sprawdzenie czy przedsiębiorstwo zarządzające siecią dysponuje odpowiednią ilością danych dla dokonania podziału sieci i czy są one aktualne. Należy zwrócić uwagę, że rozwój miasta pociąga za sobą zmiany, powodujące konieczność dokonywania systematycznych korekt w opracowanej gradacji sieci.

6.4.3. Algorytm postępowania

Na rysunku 6.1 przedstawiono ideowy schemat postępowania prowadzący do przydzielenia odcinkowi przewodu kategorii A lub B.

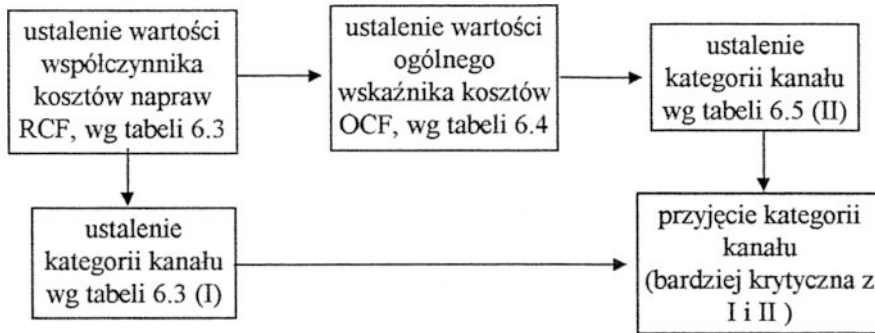


Rys.6.1. Ideowy schemat identyfikacji kategorii kanału wg tabel 6.2 ÷ 6.6

Klasyfikacja danych wyjściowych obejmuje:

1. podział gruntów w których prowadzony jest przewód na dobre lub złe. Według instrukcji jako złe traktuje się grunty wymagające odwodnienia lub stabilizacji. Wszystkie inne rodzaje gruntu mogą być uważane za dobre.
2. Uwzględnienie znaczenia drogi - w przypadku gdy przewód prowadzony jest pod jezdnią. Znaczenie drogi uwzględnia się m.in. przez natężenie panującego na niej ruchu (np.: średnioroczne dobowe natężenie ruchu). W instrukcji uwzględnia się drogi o natężeniu ruchu powyżej 5000 pojazdów na dobę. Zakłada się, że skutki przerw w ruchu są poważne dla ulic o takim natężeniu. Dodatkowo dokonuje się podziału dróg na dwie grupy:
 - bardzo ważne drogi (B) - drogi o ruchu jednokierunkowym w centrum miasta lub drogi, których wyłączenie z ruchu może spowodować powstawanie „korków” w innych częściach systemu drogowego,
 - mniej ważne drogi (M) – drogi, w których natężenie ruchu jest większe od 5000 pojazdów na dobę, jednak w przypadku konieczności zamknięcia ruchu spowodowanego awarią kanału możliwa jest łatwa organizacja objazdów. Klasyfikacja ważności dróg jest zadaniem trudnym, powinna więc być przeprowadzona przez specjalistów. Zakwalifikowanie drogi do grupy B powinno mieć rzeczywiste uzasadnienie.
3. Określenie lokalizacji przewodu - należy uwzględnić szereg czynników, w tym : sąsiedztwo obiektów o szczególnym znaczeniu - szpitali, obiektów wystawowych, historycznych itp.; przeznaczenie terenu np.: obszary ważne turystycznie; ułożenie przewodu w stosunku do innych elementów infrastruktury miejskiej np.: sąsiedztwo przewodów energetycznych, ułożenie pod torami kolejowymi, tramwajowymi, budynkami, itp. Związane jest to z ustaleniem kategorii kanału według tabeli 6.2, uwzględniającej przypadki szczególne.

Przydzielenie przewodowi kategorii A lub B polega na przeanalizowaniu trzech wariantów przedstawionych na schemacie (rysunek 6.1). Przewód uzyskuje kategorię A, gdy taki rezultat zostaje osiągnięty według przynajmniej jednego z wariantów. Przewody o parametrach nie uwzględnionych w żadnym z wariantów otrzymują kategorię C. Schemat ustalenia kategorii według wariantu opierającego się na wskaźnikach kosztów przedstawia rysunek 6.2.



Rys.6.2. Ustalenie kategorii kanału na podstawie wskaźników kosztów : OCF - *Overheads Costs Factor*, RCF - *Repaier Costs Factor*

Dane zawarte w przedstawionych poniżej tabelach - szczególnie dotyczące natężenia ruchu drogowego - powinny być dostosowane do warunków panujących w konkretnym mieście. Wydaje się, że modyfikacji można poddać również zakres przypadków szczególnych, przedstawionych w tabeli 6.3.

Tabela 6.2. [92]

	Głębokość posadowienia kanału 1.0 ÷ 1.99 m		Głębokość posadowienia kanału 2.0 ÷ 2.99 m	
	Grunt dobry	Grunt zły	Grunt dobry	Grunt zły
Natężenie ruchu [pojazdy/dobę]	Kategoria kanału krytycznego			
5000 – 7499	C	B		
7500 – 9999				
10000 – 12499				
12500 – 14999				
15000 – 17499				A
17500 – 19999	B			
20000 i więcej				

Tabela 6.3.[92]

Współczynnik kosztów napraw (RCF)						
Kanały o średnicy < 900 mm						
Głębokość posadowienia [m]	1.00 - 1.99	2.00 - 2.99	3.00 - 3.99	4.00 - 4.99	5.00 - 5.99	> 6.00
grunt dobry	1.0	2.0	3.0	4.0	5.5	7.0
grunt zły	1.5	2.5	3.5	5.0	6.5	8.5
kategoria kanału	C		B		A	
Kanały o średnicy > 900 mm						
Głębokość posadowienia [m]	1.00 - 1.99	2.00 - 2.99	3.00 - 3.99	4.00 - 4.99	5.00 - 5.99	> 6.00
grunt dobry	4.0	7.0	13.0	19.0	26.0	33.0
grunt zły	5.5	9.0	16.0	24.0	31.0	40.0
kategoria kanału	B		A			

Tabela 6.4.[92]

Natężenie ruchu [pojazdy/dobę]	Ogólny wskaźnik kosztów (OCF)	
	Bardzo ważne drogi „B”	Mniej ważne drogi „N”
5000 – 7499	4.8 RCF*	1.6 RCF
7500 – 9999	6.3 RCF	1.9 RCF
10000 – 12499	7.8 RCF	2.1 RCF
12500 – 14999	9.3 RCF	2.4 RCF
15000 – 17499	10.8 RCF	2.6 RCF
17500 – 19999	12.3 RCF	2.9 RCF
20000 i więcej	13.8 RCF	3.1 RCF

* - RCF otrzymany z tabeli 6.3

Tabela 6.5.[92]

Kategoria kanału ustalona na podstawie OCF			
uzyskana wartość OCF	0 -2.9	3.0 - 5.9	> 6
kategoria kanału	C	B	A

Tabela 6.6.[92]

Kanały krytyczne kategorii „A”	
Kanały murowane o głębokości posadowienia > 2 m	
Kanały rurowe ułożone w gruncie dobrym na głębokości > 6 m	
Kanały rurowe ułożone w złym gruncie na głębokości > 5m	
Kanały ogólnospławne o średnicy > 1500 mm	
Kanały sanitarne o średnicy > 600 mm	
Kanały w drogach bardzo ważnych z natężeniem ruchu > 7500 pojazdów/dobę	
Kanały w których awaria powoduje utrudnienia w dojazdach do szpitali	
Kanały ułożone pod torami kolejowymi, kanałami, rzekami, autostradami	
Kanały ułożone pod budynkami	
Kanały ułożone w głównych ulicach	
Kanały ułożone w drogach dojazdowych do dzielnic przemysłowych	
Kanały krytyczne kategorii „B”	
Kanały murowane o głębokości posadowienia < 1.9 m	
Kanały rurowe ułożone na głębokości > 3 m	
Kanały ogólnospławne o średnicy 600 - 1500 mm	
Kanały sanitarne o średnicy 450 - 600 mm	
Kanały w drogach bardzo ważnych z natężeniem ruchu > 5000 pojazdów/dobę	
Kanały o trudnym dostępie w przypadku wystąpienia awarii	
Kanały w promenadach i obszarach ważnych turystycznie	
Kanały w głównych dzielnicach przemysłowych	
Kanały prowadzone wzdłuż przewodów elektrycznych, gazowych itp.	
Kanały w obszarach w których awaria może spowodować zanieczyszczenie wód powierzchniowych klasy I lub II	
Wszystkie kanały krytyczne	
Kanały nadziemne na estakadach lub w galeriach	
Kanały w sąsiedztwie obiektów sportowych, wystawowych, itp.	

6.5. Wnioski

Wydzielenie w sieci kanalizacyjnej jej rdzenia jest uzasadnione wtedy, gdy stanowi podstawę dla działań zmierzających do poprawy niezawodności jej pracy. Wymienić tu należy działania związane z ustaleniem kolejności i częstotliwości kontroli przewodów, dla oceny ich stanu i zapobieżenia wystąpieniu sytuacji awaryjnych. Tym samym ustalenie kanałów krytycznych stanowi jeden z

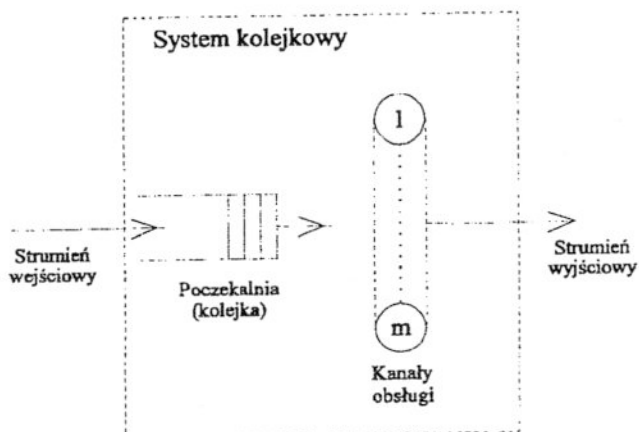
podstawowych elementów wprowadzenia przez przedsiębiorstwo zarządzające kanalizacją systemu optymalizacji wykorzystania załogi oraz opartego na określonej strategii monitoringu sieci.

Innym zagadnieniem jest wykorzystanie informacji o „ważności” poszczególnych kanałów dla podejmowania decyzji o kolejności i sposobach odnow w przypadku występowania w różnych rejonach miasta sytuacji bardziej lub mniej krytycznych, związanych ze złym stanem przewodów. Tabela 20 (rozdział 4.3.1) przedstawia przykładowe wykorzystanie klasyfikacji kanałów krytycznych dla ustalenia częstotliwości inspekcji, w zależności od określonego na podstawie uszkodzeń stanu kanału. W tabeli, stan kanału określony jest klasą od 1 do 5. Dla wyjaśnienia, w tabeli 4.8 zinterpretowano znaczenia poszczególnych klas.

7. Zastosowanie modeli masowej obsługi dla określenia optymalnej liczby konserwatorów obsługujących sieć przewodów

7.1. Uwagi wstępne

Modele masowej obsługi są od wielu lat wykorzystywane do rozwiązywania problemów technicznych, w których występują kolejki różnych typów. Kolejka oczekujących (zgłoszeń) jest bezpośrednio związana z urządzeniami służącymi do ich obsługi, wielkością poczekalni, w której zgłoszenia oczekują na obsługę oraz ilością zgłoszeń dopływających w jednostce czasu do poczekalni. Wymienione trzy elementy decydują o czasie oczekiwania zgłoszenia na obsługę. W ogólnej postaci każdy system kolejkowy (system masowej obsługi) można przedstawić za pomocą schematu blokowego przedstawionego na rysunku 7.1 [17].



Rys. 7.1. Schemat blokowy systemu kolejkowego [17]

Rozwiązanie zadań z zakresu teorii masowej obsługi wymaga znajomości podstawowych charakterystyk:

- wielkości strumienia wejściowego (strumienia zgłoszeń), opisywanego przez rozkład czasów wejścia zgłoszeń, tzn. rozkład przedziałów czasowych pomiędzy chwilami $t_1, \dots, t_n$, w których przybywają do systemu kolejne zgłoszenia $x_1, \dots, x_n$;
- rozkładu czasów wyjścia, tzn. rozkładu czasów wymaganych dla zapewnienia obsługi kolejnym klientom na stanowiskach obsługi, decydującego o wielkości strumienia wyjściowego;
- regulaminu (dyscypliny) kolejki – określającego metodę wybierania następnego zgłoszenia do obsługi w przypadku istnienia kolejki;
- liczba miejsc w poczekalni – L , określających maksymalną długość kolejki, gdy wszystkie stanowiska obsługi są zajęte;
- liczebności obsługiwanego populacji – R ;
- liczba kanałów obsługi – r .

Funkcjonowanie systemu masowej obsługi (SMO) ma charakter stochastyczny. Rozwiązanie wielu zadań inżynierskich możliwe jest przy posługiwaniu się procesami warunkowymi, w których prawdopodobieństwo stanu systemu w chwili $t+1$, gdzie t przyjmuje dyskretne wartości $0, 1, 2, \dots$, zależy wyłącznie od stanu systemu w chwili t , a nie zależy od przeszłości tego procesu tj.:

$$P\{X(t+1)/X(t), X(t-1), \dots, X(1), X(0)\} = P\{X(t+1)/X(t)\}. \quad (7.1)$$

Takie procesy warunkowe określa się mianem procesów Markowa [29].

Możliwe jest określenie warunkowych tzw. jednokrokowych prawdopodobieństw przejść systemu ze stanu i do stanu j w chwili t . Dla najczęściej rozpatrywanego przypadku stacjonarnego (stacjonarny charakter procesu można zakładać w systemach inżynierskich długiego działania, w tzw. normalnym okresie eksploatacji [29]) zapisuje się:

$$P\{X(t+1) = j / X(t) = i\} = P_{ij}, \quad (7.2)$$

gdzie P_{ij} jest niezależne od czasu w którym się realizuje.

W przypadku sieci kanalizacyjnej kolejkę mogą tworzyć uszkodzone przewody oczekujące na przeprowadzenie odnowy. Jako kanały (urządzenia) obsługi mogą być traktowane brygady remontowe obsługujące kolejkę – przeprowadzające odnowy.

W systemach masowej obsługi najczęściej zakłada się, że rozkłady prawdopodobieństw czasów między zgłoszeniami potrzeb obsługi oraz przebywania w obsłudze są wykładnicze. W rozważaniach dotyczących niezawodności przewodów kanalizacyjnych przyjmuje się wykładniczy rozkład występowania uszkodzeń przewodów. Również intensywność prowadzenia odnów charakteryzują się tym rozkładem.

Rozwiązując system masowy metodami analitycznymi można obliczyć (przyjęto oznaczenia według [29]):

- P_k - prawdopodobieństwo i -tego stanu procesu – prawdopodobieństwo, że w systemie znajduje się i zgłoszeń,
- $P_{k \geq r}$ - prawdopodobieństwo, że wszystkie aparaty obsługi są zajęte,
- $E(N)$ - średnią liczbę zgłoszeń w systemie,
- $E(U)$ - średnią liczbę zgłoszeń w kolejce,
- $E(Z_r)$ - średnią liczbę zgłoszeń w trakcie obsługi (średnia liczba zajętych aparatów obsługi),
- $E(T_w)$ - średni czas oczekiwania na rozpoczęcie obsługi,
- $E(T_z)$ - średni czas przebywania zgłoszenia w systemie,
- $E(T_v)$ - średni czas oczekiwania na obsługę, gdy wszystkie aparaty obsługi są zajęte (średni czas oczekiwania w kolejce),
- $E(O_r)$ - średnią liczbę wolnych aparatów obsługi.

7.2. System masowej obsługi przewodów kanalizacyjnych

W wyniku kontroli sieci kanalizacyjnej można uzyskać zbiór intensywności uszkodzeń $A = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i\}$ charakteryzujących jednorodne odcinki sieci (zbudowane z połączonych szeregowo przewodów – odcinków między studzienkami). Można przyjąć założenie, że zgłoszenia uszkodzeń poszczególnych elementów sieci docierają do zarządzającego niezależnie.

Do obsługi uszkodzonych elementów wykorzystuje się skończoną liczbę brygad remontowych (aparatów obsługi) – r . Dla uproszczenia założono stałą intensywność odnowy uszkodzonego elementu przez brygadę – μ . Ilość przewodów tworzących sieć jest skończona, lecz biorąc pod uwagę rozległość sieci i konieczność reagowania przez system na uszkodzenie dowolnego odcinka między studzienkami, można przyjąć że liczebność obsługiwanego systemu oraz liczba miejsc w poczekalni jest nieskończona. W takim przypadku mamy SMO typu $M(M)r:(\infty, \infty)$ – wg zapisu Kendalla [49].

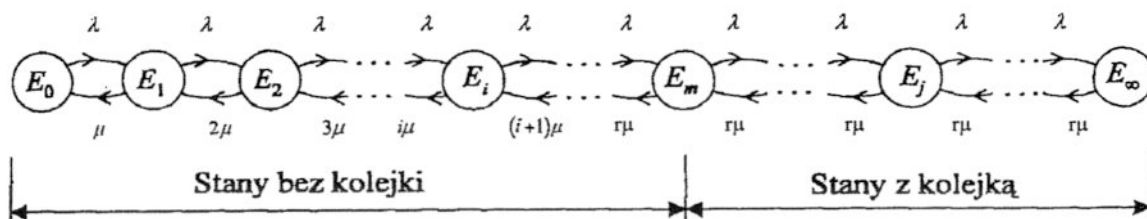
SMO tego typu przyjęto w [29] dla obsługi podsystemu dystrybucji wody, a w [14] dla podsystemu podłączeń wodociągowych. W [29], jako intensywność napływu zgłoszeń do systemu, przyjęto średnią ważoną intensywności uszkodzeń sieci λ_o (różne

średnice, długości, materiał), pomnożoną przez całkowitą długość sieci – $\lambda_s = L \cdot \lambda_o$. W niniejszej pracy, jako λ_o postanowiono przyjąć średnią ważoną λ_i po długości jednorodnych przewodów.

Prawdopodobieństwo wystąpienia stanu systemu $E_i(t)$ (w systemie, w chwili t występuje i uszkodzeń) jest w ogólnym przypadku uzależnione od $\lambda_i(t)$ oraz $\mu_i(t)$. W stanie stacjonarnym i dla przyjętego SMO $\lambda_i(t) = \lambda_i = \lambda = \lambda_s$, natomiast

$$\mu_i(t) = \mu_i = \begin{cases} r\mu & \text{dla } i < r \\ i\mu & \text{dla } i \geq r \end{cases} \quad (7.3)$$

Na rysunku 7.2 przedstawiono graf stanów SMO typu $M(M)r:(\infty, \infty)$ [17].



Rys.7.2. Graf stanów dla systemu $M(M)r:(\infty, \infty)$ [17]

Rozwiązując przedstawiony układ dla przypadku stacjonarnego uzyskuje się:

$$P_k = \begin{cases} \frac{\rho^k}{k!C} = \frac{\rho^k}{k!} P_o & \text{dla } k < r, \\ \frac{\rho^k}{r!r^{k-r} \cdot C} = \frac{\rho^k}{r!r^{k-r}} P_o & \text{dla } k \geq r, \end{cases} \quad (7.4)$$

gdzie:

$$C = P_o^{-1} = \frac{\rho^{r+1}}{r!(r-\rho)} + \sum_{k=0}^r \frac{\rho^k}{k!}, \quad (7.5)$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} - \text{współczynnik wykorzystania SMO}$$

- prawdopodobieństwo tego, że wszystkie aparaty obsługi są zajęte:

$$P_{k \geq r} = \sum_{k \geq r} P_k = \frac{\rho^r}{(r-1)!C(r-\rho)}, \quad (7.6)$$

- średnia liczba zgłoszeń w systemie $E(N)$ wynosi:

$$E(N) = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P_k = \frac{\rho}{C} \left[\sum_{k=0}^{\infty} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho(\rho \cdot r - \rho^2 + r)}{r!(r-\rho)^2} \right], \quad (7.7)$$

- średnia liczba zgłoszeń znajdujących się w kolejce $E(U)$ wynosi:

$$E(U) = \sum_{k=r+1}^{\infty} (k-r) \cdot P_k = \frac{\rho^{r+1}}{(r-1)!C(r-\rho)^2}, \quad (7.8)$$

- średnia liczba zajętych aparatów obsługi $E(Z_r)$:

$$E(Z_r) = E(N) - E(U) = \rho, \quad (7.9)$$

- średnia liczba wolnych aparatów obsługi $E(O_r)$:

$$E(O_r) = r - E(Z_r) = r - \rho, \quad (7.10)$$

- średni czas pobytu zgłoszenia w systemie :

$$E(T_z) = \frac{1}{\lambda} \cdot E(N), \quad (7.11)$$

- średni czas oczekiwania na rozpoczęcie obsługi:

$$E(T_w) = \frac{P_{k>r}}{\mu(r-\rho)}, \quad (7.12)$$

- średni czas oczekiwania na obsługę gdy wszystkie aparaty obsługi są zajęte:

$$E(T_v) = \frac{1}{r\mu - \lambda}, \quad (7.13)$$

Przedstawione rozwiązania są ważne pod warunkiem, że

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < r, \quad (7.14)$$

Niespełnienie tego warunku spowoduje monotoniczny wzrost kolejki (ilości zgłoszeń oczekujących na obsługę) – w systemie będą się tworzyły tzw. zatory.

7.3. Optymalizacja organizacji odnowy

Celem jest określenie optymalnej liczby brygad naprawczych, obsługujących sieć przewodów. W ogólnym przypadku należy dążyć do zminimalizowania czasu oczekiwania uszkodzonego przewodu na naprawę. Można to osiągnąć przez intensyfikację odnowy μ lub (i) przez zwiększenie liczby konserwatorów. Działania te nie powodują jednak optymalnej organizacji odnowy, bez uwzględnienia związanych z nią kosztów, które mogą spowodować, że koszt zatrudnienia i wyposażenia konserwatorów będzie przewyższał korzyści wynikające z niezawodnej pracy przewodów.

W przyjętym SMO podstawowym warunkiem jest niedopuszczenie do tworzenia się zatorów – z warunku (7.14) wynika więc minimalna liczba brygad remontowych r_{min} (przy założeniu stałego μ).

W pracy [29] zaproponowano metodę ustalenia optymalnej liczby konserwatorów obsługujących system zaopatrzenia w wodę na podstawie wymaganego poziomu niezawodności tego systemu. Podejście to można przyjąć dla systemu przewodów kanalizacyjnych.

Liczba brygad remontowych w SMO wynosi:

$$r = r_{min} + r_{dod} \quad (7.15)$$

gdzie: r_{dod} – liczba dodatkowych brygad remontowych, przyjmowanych z warunku zapewnienia SMO wymaganej niezawodności działania K_w .

Obowiązuje sprawdzenie warunku:

$$K_g(SMO) \geq K_w, \quad (7.16)$$

gdzie: $K_g(SMO)$ jest wskaźnikiem gotowości SMO,

K_w jest wymaganym wskaźnikiem gotowości sieci.

Dla SMO o progowej strukturze niezawodnościowej „ r_{min} z r ” wskaźnik ten oblicza się według wzoru:

$$K_g(SMO) = \sum_{i=r_{min}}^r \binom{r}{i} K^i (1-K)^{r-1}. \quad (7.17)$$

We wzorze (7.17) K jest wskaźnikiem gotowości jednego (i każdego) aparatu obsługi – brygady remontowej. K określa się na podstawie informacji statystycznych z próby losowej, jako stosunek czasu, w którym brygada była zdolna do realizacji zadań do całkowitego czasu, w jakim powinna realizować te zadania.

Poszukując najmniejszej możliwej do przyjęcia liczby brygad remontowych – r_o , dokonuje się wyboru pierwszej liczby spełniającej warunek (7.14) i (7.16):

$$r_o = \min \{r_{\min}, r_{\min} + 1, r_{\min} + 2, \dots | K_g(SMO) \geq K_w\}. \quad (7.18)$$

Podstawowym problemem związanym z przedstawioną metodą jest ustalenie wymaganego poziomu niezawodności sieci kanalizacyjnej K_w . Aktualnie problem ten nie jest rozwiązany. W pracy [30] zawarto szereg uwag dotyczących tego tematu w odniesieniu do systemu zaopatrzenia w wodę, które są również aktualne dla sieci kanalizacyjnej. Stwierdza się tu m.in., że wartości K_w podawane są w podręcznikach arbitralnie i w zależności od źródła występuje znaczny ich rozrzut.

Jednocześnie uważa się, że istnieją trzy drogi określania wymaganego poziomu niezawodności:

- poszukiwanie wymaganego poziomu niezawodności na drodze badań ekonomicznych, uwzględniających koszty zawodności, optymalizację z kryterium minimalizacji strat itp.,
- prowadzenie prac studialnych zmierzających do ustalenia wartości K_w dla wielu istniejących systemów i wyciągnięcie na tej drodze wniosków uogólniających dotyczących zbioru takich systemów,
- analizowanie zachowania się istniejących systemów (obserwacja skutków uszkodzeń w postaci strat, szkód na zdrowiu, obniżeniu warunków higienicznych itp.).

Poszukiwanie rozwiązań optymalnych wymaga prowadzenia ocen ekonomicznych uwzględniających koszt utrzymania brygad konserwatorskich oraz, co jest szczególnie trudne, wymiernego określenia strat zawodnego działania sieci.

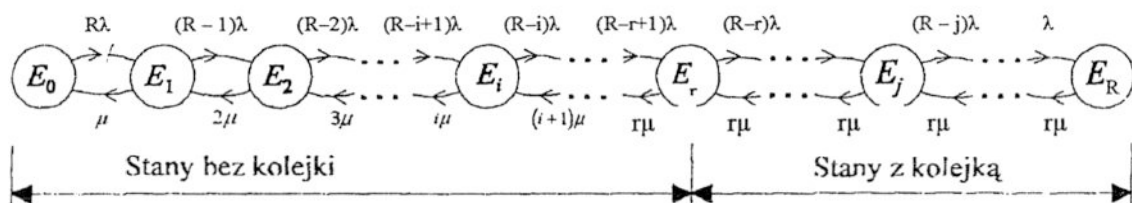
Ustalenie wartości K_w dla sieci kanalizacyjnych istniejących systemów wydaje się aktualnie niemożliwe ze względu na brak baz danych z pełnymi informacjami o uszkodzeniach sieci; z tego powodu trudne (lub niemożliwe) byłoby obliczenie wskaźników gotowości i średnich czasów napraw systemów.

Przedstawiona metoda optymalizacji pozwala praktycznie jedynie na ustalenie minimalnej liczby brygad remontowych (warunek 7.14). Proponuje się więc przyjęcie rozwiązania uproszczonego, stwarzającego możliwości realnego zastosowania. Punktem wyjścia jest dokonanie podziału sieci kanalizacyjnej na obszary w których konsekwencje wystąpienia awarii można uznać za podobne (pogrupowanie przewodów sieci). Autor wychodzi z założenia, że ustalenie przybliżonych kosztów zawodności dla kilku wybranych przewodów pozwoli na wyznaczenie wypadkowego jednostkowego kosztu zawodności dla całej grupy.

Proponuje się tu posługiwać podziałem przewodów sieci na tzw. kanały krytyczne – wydzielenie trzech grup przewodów (A, B, C) według rozdziału 6.4.

7.3.1. Ustalenie liczby brygad remontowych przewodów krytycznych

Liczba przewodów wchodzących w skład poszczególnych grup rdzenia sieci jest ograniczona (znacznie mniejsza od liczności całej sieci) i uzasadnione wydaje się przyjęcie w tym wypadku SMO typu $M(M)r:(R,L)$. Teoretyczne możliwe jest uszkodzenie wszystkich przewodów, pojemność kolejki wyniesie więc $L = R - r$. Graf stanów SMO typu $M(M)r:(R,L)$ przedstawiono na rysunku 7.3 [17].

Rys.7.3. Graf stanów systemu $M(M)r:(R,L)$ [17]

Rozwiązując przedstawiony układ dla przypadku stacjonarnego, wzory na prawdopodobieństwa stanów systemu i odpowiednie wartości oczekiwane w stanie stacjonarnym przyjmują postać [17]:

$$P_k = \begin{cases} P_i = \frac{R!}{i!(R-i)!} \rho^i P_0 & \text{dla } i = k \in \langle 1, r \rangle, \\ P_j = \frac{R!}{r! r^{j-r} (R-j)!} \rho^j P_0 & \text{dla } j = k \in \langle r+1, R \rangle, \end{cases} \quad (7.19)$$

gdzie:

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^r \frac{R!}{i!(R-i)!} \rho^i + \sum_{j=r+1}^R \frac{R!}{r! r^{j-r} (R-j)!} \rho^j \right]^{-1}, \quad (7.20)$$

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ - współczynnik wykorzystania SMO,

- średnia liczba zgłoszeń w systemie $E(N)$ wynosi:

$$E(N) = \sum_{k=0}^R k \cdot P_k = P_0 R! \left[\sum_{i=0}^r \frac{1}{i!(R-i)!} \rho^i + \sum_{j=r+1}^R \frac{1}{r! r^{j-r} (R-j)!} \rho^{r+n} \right], \quad (7.21)$$

gdzie: n - ilość elementów w kolejce: $n \geq 0$,

- średnia liczba zgłoszeń znajdujących się w kolejce $E(U)$ wynosi:

$$E(U) = \sum_{k=r+1}^R (k-r) \cdot P_k = \frac{R!}{r!} P_0 \sum_{n=0}^{R-r} \frac{n}{r^n (R-r-n)!} \rho^{r+n}, \quad (7.22)$$

- średnia liczba wolnych aparatów obsługi $E(O_r)$:

$$E(O_r) = r - \sum_{i=0}^{r-1} i P_i - r \left(1 - \sum_{i=0}^{r-1} P_i \right), \quad (7.23)$$

- średni czas pobytu zgłoszenia w systemie :

$$E(T_z) = \frac{E(N)}{\lambda [R - E(N)]}, \quad (7.24)$$

- średni czas oczekiwania na obsługę :

$$E(T_v) = E(T_z) - \frac{1}{\mu}. \quad (7.25)$$

Założenia odnośnie λ_s i μ pozostawiono bez zmian odnosząc je tylko do przewodów odpowiedniej kategorii. W SMO tego typu warunek (7.14) nie musi być spełniony – w skrajnym przypadku następuje uszkodzenie wszystkich elementów systemu i są one odnawiane z intensywnością $r\mu$. Ponadto przyjmuje się, że wszystkie elementy podlegają uszkodzeniom z taką samą intensywnością λ . Dla przewodów należy więc przyjąć średnią intensywność uszkodzeń $\lambda = \frac{\lambda_s}{R}$.

7.3.1.1. Metoda I

Dla ustalenia liczby brygad, jako kryterium optymalności przyjęto funkcję [49]:

$$f(r) = E(T_v), \quad (7.26)$$

gdzie $E(T_v)$ - średni czas oczekiwania na obsługę.

Jeżeli t_o będzie maksymalnym czasem oczekiwania na obsługę, to optymalizacja polegała będzie na ustaleniu najmniejszej liczby aparatów obsługi, dla których średni czas oczekiwania na obsługę jest mniejszy od t_o . Przyjmuje się wtedy zapis:

$$\min_{1 \leq r \leq N} \{E(T_v) < t_o\}. \quad (7.27)$$

Czas t_o można ustalić dla przewodów różnych kategorii obligatoryjnie. Można również przeprowadzić następujące rozumowanie prowadzące do przybliżonego określenia t_o :

Jeżeli wszystkie brygady remontowe są zajęte, wykryte uszkodzenie musi oczekiwać na przeprowadzenie odnowy powodując w tym czasie powstawanie strat, które można wyrazić jako koszty zawodności K_z . Aby uniknąć powstawania tych strat można zatrudnić nową brygadę remontową. Znając koszty zatrudnienia i wyposażenia brygady K_{b1} określa się czas t_a , w którym koszty zawodnej pracy przewodu K_z będą równe K_{b1} ; $K_z(t_a) = K_{b1}(t_a)$. Można przyjąć, że czas t_a jest poszukiwanym t_o .

7.3.1.2. Metoda II

Założmy, że znamy jednostkowy koszt zawodności przewodu K_{z1} i jednostkowy koszt zatrudnienia brygady K_{b2} .

Przyjmując liczbę brygad r oraz posługując się wzorami (7.22) i (7.23) obliczamy wysokość strat (koszty zawodności) spowodowanych oczekiwaniem uszkodzeń w kolejce – K_1 , oraz koszty wynikające z bezczynności aparatów obsługi w jednostce czasu – K_2 .

Przy założeniu stałego ρ , funkcja kryterium przyjmuje tu postać:

$$f(r) = K_1 + K_2 = K_{z1}E(U) + K_{b2}E(O_r), \quad (7.28)$$

gdzie: $E(U)$ - średnia liczba zgłoszeń znajdujących się w kolejce,

$E(O_r)$ - średnia liczba wolnych aparatów obsługi,

Funkcja $f(r)$ wyraża średnią stratę przypadającą na jednostkę czasu, wynikająca z działania w okresie stacjonarnym r aparatów obsługi, a optymalizacja polegać będzie na zminimalizowaniu tej funkcji ze względu na r .

7.3.1.3. Przykład IV

Wykorzystując metodę II postanowiono obliczyć optymalną liczbę brygad remontowych dla rdzenia sieci (przewodów krytyczne A) o całkowitej długości 16 km, w którym określono intensywności uszkodzeń λ_i dla przewodów uznanych za jednorodne:

- 1) przewody ceglane o średnicach $\varnothing$ 1000 – 1500 mm i łącznej długości 2 km:
 $\lambda_1 = 1.2$ 1/a·km
- 2) przewody kamionkowe o średnicach $\varnothing$ 200 – 500 mm i łącznej długości 3 km:
 $\lambda_2 = 2.3$ 1/a·km
- 3) przewody betonowe o średnicach $\varnothing$ 200 – 500 i łącznej długości 5 km:
 $\lambda_3 = 3.4$ 1/a·km
- 4) przewody betonowe o średnicach $\varnothing$ 500 – 1000 i łącznej długości 6 km:
 $\lambda_4 = 2.8$ 1/a·km

Dla SMO obliczono $\lambda_s = \lambda_1 \cdot l_1 + \lambda_2 \cdot l_2 + \lambda_3 \cdot l_3 + \lambda_4 \cdot l_4 = 43.1 \text{ 1/a} = 0.12 \text{ 1/d}$.

Odcinki przewodów między studzienkami stanowią elementy obsługiwanej populacji – liczebność populacji $R = 160$,

$$\lambda = \frac{0.12}{160} = 0.00075 \text{ 1/d},$$

Intensywność obsługi μ określono na podstawie danych przedsiębiorstwa dotyczących średniego czasu zajętości brygady remontowej (z obiektywnych lub nieobiektywnych przyczyn) [29]:

$$\mu = \frac{1}{T_{nbr}}, \quad (7.29)$$

$$T_{nbr} = T_{br} + T_d, \quad (7.30)$$

gdzie: T_{br} - średni czas naprawy brutto, obejmujący oprócz właściwych czynności naprawczych również przerwy w pracy (np. przerwa nocna), ale bez przerw na czas niewykorzystany wskutek złej organizacji pracy itp.,
 T_d - czas niewykorzystany, związany z czynnościami nieprzewidzianymi (np. niesprawny sprzęt lub środki komunikacji, brak materiałów, nieobecność pracowników itp.)

Czas T_{nbr} odniesiony jest do odcinka przewodu między studzienkami.

W przykładzie przyjęto $\mu = 0.05 \text{ 1/d}$.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.015$$

Funkcja kryterium przyjmuje postać:

$$f(r) = K_{z1}E(U) + K_{b2}E(O_r) = K_{z1} \cdot \frac{R!}{r!} P_0 \sum_{n=0}^{R-r} \frac{n}{r^n (R-r-n)!} \rho^{r+n} + K_{b2} \cdot \left(r - \sum_{i=0}^{r-1} i P_i - r \left(1 - \sum_{i=0}^{r-1} P_i \right) \right), \quad (7.31)$$

Liczbę brygad obliczono dla przyjętych kosztów K_{z1} i K_{b2} :

$K_{z1} = 1000 \text{ zł/d}$, $K_{b2} = 1500 \text{ zł/d}$.

Obliczenia dla ustalenia optymalnej liczby brygad r przedstawiono w tabeli 7.1.

Tabela 7.1.

$K_{z1} \text{ [zł/d]}$	$K_{b2} \text{ [zł/d]}$	r	$f(r)/10^3 \text{ [zł/d]}$
1000	1500	1	92.33
		2	25.06
		3	2.89
		4	<u>2.83</u>
		5	4.04
		6	5.48

Funkcja $f(r)$ przyjmuje minimum dla liczby brygad remontowych $r = 4$.

Autor przeprowadził badanie funkcji $f(r)$ w zależności od zmian kosztów K_{z1} i K_{b2} . Zmieniając stopniowo koszty określał optymalną liczbę brygad. Wyniki przedstawiono w tabeli 7.2. Dla określenia liczby brygad istotny jest stosunek kosztów a nie bezwzględne wartości.

Tabela 7.2.

K_{z1} [zł/d]	K_{b2} [zł/d]	K_{z1}/K_{b2}	r_{opt}
$K_{z1} < K_{b2}$			
100	1000	0.1	3
650	1000	0.65	4
$K_{z1} = K_{b2}$			
1000	1000	1	4
$K_{z1} > K_{b2}$			
3500	1000	3.5	4
3600	1000	3.6	5
15000	1000	15	6
59000	1000	59	7
244000	1000	244	8

Wyniki wskazują, że dla przyjętej intensywności uszkodzeń i odnowy sieci, liczba brygad r wynosi 3 lub 4 dla jednostkowych kosztów zawodności mniejszych lub równych kosztom zatrudnienia brygady. Jeżeli koszty zatrudnienia brygady są mniejsze od kosztów zawodności, optymalna liczba brygad wzrasta stopniowo od 4, z tym że przyjęcie kolejnej brygady jest uzasadnione przy znacznym wzroście kosztów zawodności (stosunku K_{z1}/K_{b2}).

7.3.1.4. Przykład V

Powstaje pytanie czy uzasadnione jest założenie traktujące jako elementy SMO odcinków przewodu między studzienkami. Jako elementy można przyjąć jednorodne odcinki przewodów (średnica, materiał) stanowiące rdzeń systemu. Dodatkowo należy ograniczyć maksymalną długość elementu. Długość ta będzie podyktowana ograniczeniami techniczno-ekonomicznymi związanymi z przepompowywaniem ścieków na wyłączonym odcinku. Przyjmijmy maksymalną długość elementu 500 m.

Liczba elementów SMO zostanie w ten sposób ograniczona.

Postanowiono obliczyć optymalną liczbę brygad remontowych dla rdzenia sieci jak w przykładzie I, wyróżniając następujące elementy (przyjęto maksymalną długość elementu 500 m):

- 1) przewody ceglane o średnicach $\varnothing$ 1000 – 1 przewód,
- 2) przewody ceglane o średnicach $\varnothing$ 1500 – 3 przewody,
- 3) przewody kamionkowe o średnicach $\varnothing$ 200 – 4 przewody,
- 4) przewody kamionkowe o średnicach $\varnothing$ 400 – 5 przewodów,
- 5) przewody betonowe o średnicach $\varnothing$ 300 – 5 przewodów,
- 6) przewody betonowe o średnicach $\varnothing$ 500 – 6 przewodów,
- 7) przewody betonowe o średnicach $\varnothing$ 1000 – 15 przewodów.

Łączna liczba elementów systemu $R = 39$

Intensywność uszkodzeń λ_s i intensywność odnowy μ przyjęto jak w przykładzie I:

$$\lambda_s = 0.12 \text{ 1/d}, \quad \lambda = \frac{0.12}{39} = 0.003 \text{ 1/d}; \quad \mu = 0.05 \text{ 1/d},$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.06.$$

Dla $K_{z1} = 1000$ zł/d, $K_{b2} = 1500$ zł/d obliczono liczbę brygad (tabela 7.3):

Tabela 7.3.

K_{z1} [zł/d]	K_{b2} [zł/d]	r	$f(r)/10^3$ [zł/d]
1000	1500	1	21.33
		2	5.67
		3	<u>2.22</u>
		4	2.91
		5	4.24
		6	5.70

Funkcja $f(r)$ przyjmuje minimum dla liczby brygad remontowych $r = 3$.

Podobnie jak w przykładzie I przeprowadzono badanie funkcji $f(r)$ w zależności od zmian kosztów K_{z1} i K_{b2} dla określenia optymalnej liczby brygad. Wyniki przedstawiono w tabeli 7.4.

Tabela 7.4.

K_{z1} [zł/d]	K_{b2} [zł/d]	K_{z1}/K_{b2}	r_{opt}
$K_{z1} < K_{b2}$			
100	1000	0.1	2
200	1000	0.2	3
$K_{z1} = K_{b2}$			
1000	1000	1	3
$K_{z1} > K_{b2}$			
1200	1000	1.2	3
1300	1000	1.3	4
6200	1000	6.2	5
27000	1000	27	6
115500	1000	115.5	7
549500	1000	549.5	8

Porównanie tabel 7.4 i 7.2 uwidacznia różnice spowodowane przyjęciem do obliczeń różnej liczności systemów. Zgodnie z przewidywaniem, przy takim samym stosunku K_{z1}/K_{b2} , dla systemu o $R = 160$ elementów optymalna liczba brygad jest większa niż w przypadku systemu o $R = 39$ elementów.

8. Podsumowanie

W pracy prowadzono rozważania nad działaniami należącymi do procesu eksploatacji przewodów kanalizacyjnych, których wprowadzenie może doprowadzić do udoskonalenia organizacji odnowy przewodów, a tym samym do poprawy ich niezawodności.

Wprowadzenie do procesu eksploatacji przewodów strategii ich programowej odnowy, a szczególnie strategii z optymalnym okresem odnowy, wymaga znajomości charakterystyk niezawodnościowych przewodów, z których szczególnego znaczenia nabierają miary awaryjności, naprawialności i gotowości. Umożliwienie estymacji tych miar, przy uwzględnieniu specyfiki eksploatacji przewodów kanalizacyjnych, w tym występowania częściowego stanu uszkodzenia, było jednym z zadań naukowych rozwiązanych przez autora pracy. Wykorzystując teorię niezawodności, zaproponowano metodykę pozwalającą na miarodajne obliczenie liczby uszkodzeń przewodu w kilkuletnim okresie obserwacji jego pracy.

Prowadzenie takich obserwacji związane jest z wprowadzeniem przez przedsiębiorstwo zarządzające siecią systematycznych kontroli przewodów, a tym samym z przyjęciem tzw. strategii odnowy z kontrolą. Podstawową cechą takiej strategii jest realizacja odnowy przewodów w wyniku identyfikacji i oceny ich uszkodzeń. Przedsiębiorstwo musi więc dysponować programem kontroli, który umożliwia bieżące śledzenie zmian zachodzących w przewodach, oraz umiejętnością analizy tych zmian. Znaczenia nabiera możliwość dokonania oceny stanu przewodów, szczególnie gdy wyniki oceny stanowią podstawę dla decyzji o przeprowadzeniu odnowy i wpływają na proces kontroli. Oryginalnym rozwiązaniem w pracy jest propozycja szczegółowego programu kontroli, ze zmiennymi, dostosowanymi do wyników oceny przewodu, przedziałami czasu między kontrolami i odpowiednimi poziomami dokładności kontroli. Program ten pozwala również na możliwie dokładne rozpoznanie chwili wystąpienia stanu uszkodzenia w przewodzie, co umożliwia zmniejszenie konsekwencji pracy przewodu w stanie częściowego uszkodzenia.

Z opisanym programem kontroli związane są dwie autorskie metody oceny stanu: metoda I – szczegółowa i metoda II – przybliżona. Dostosowane są one do kontroli o odpowiednio wysokim i niskim poziomie szczegółowości. Ważną cechą obu metod jest możliwość uwzględnienia warunków zewnętrznych w jakich pracują przewody, co wyraża się we włączeniu w ocenę analizy wpływu stanu przewodu na jego otoczenie. Należało przy tym dokonać modyfikacji definicji stanu uszkodzenia zaproponowanej w [59], tak aby uwzględniała ona realizację przez przewód funkcji z obniżonym standardem. Modyfikacja ta okazała się również niezbędna dla estymacji parametrów niezawodności przewodów.

Z procesem organizacji odnowy przewodów związany jest również problem długości czasu ich oczekiwania na odnowę. Zdaniem autora, obok programu kontroli, przyjęcie odpowiedniej liczby brygad remontowych jest niezbędnym warunkiem rzeczywistego udoskonalenia procesu organizacji odnowy. Optymalizacja liczby brygad, przy minimum kosztów jako kryterium optymalizacyjnym, jest możliwa przy znajomości wskaźników niezawodności λ i μ . Należy więc podkreślić, że ze względu na zmiany dokonujące się w sieci przewodów i wpływ przyjętych rozwiązań (liczby brygad) na niezawodnościowe miary naprawialności, proces udoskonalania organizacji odnowy ma charakter stopniowy.

Wydaje się, że podjęcie przez przedsiębiorstwa wymienionych wyżej działań, tj.: przyjęcie programu kontroli powiązanego z metodami oceny przewodu i umożliwiającego zaplanowanie odnowy na podstawie stanu przewodu, jak również dokonanie oszacowania niezawodnościowych miar przewodów i ustalenie dzięki temu optymalnej liczby brygad remontowych, wpłynie pozytywnie na realizację przez przewody przypisanych im funkcji, co jest zgodne z pierwszą tezą pracy.

Jednocześnie zwraca się uwagę, że przy założeniu prawidłowej organizacji pracy przedsiębiorstwa zarządzającego siecią kanalizacyjną, polepszenie poziomu eksploatacji i niezawodności przewodów może nastąpić pod warunkiem zastosowania naukowych metod analizy poszczególnych zagadnień procesu eksploatacji. Autor wykorzystał teorię masowej obsługi oraz teorię niezawodności dla obliczenia optymalnej liczby brygad remontowych. Dla przeprowadzenia oceny przewodów, w celu uwzględnienia wielkości niemierzalnych i sformułowań nieostrych związanych z wystąpieniem stanu częściowego uszkodzenia oraz dla analizy konsekwencji uszkodzeń, niezbędne stało się zastosowanie teorii zbiorów rozmytych. Tym samym można stwierdzić zasadność drugiej z postawionych tez.

Wiele zagadnień zawartych w pracy ma charakter techniczny. Autor chciał tym samym przedstawić techniki kontroli przewodów oraz sposoby wykorzystania informacji uzyskanych w trakcie kontroli do oceny stanu przewodów. Zamierzeniem było również ukazanie znaczenia kontroli i oceny przewodów w procesie ich eksploatacji. Przedstawienie praktycznych metod oceny i rejestracji wyników kontroli miało uświadomić różnice i podobieństwa w podejściu do tego zagadnienia. Praca podkreśla znaczenie technik komputerowych dla wspomagania procesu eksploatacji, szczególnie w zakresie gromadzenia i obróbki danych. Zdaniem autora wydaje się to być bezspornym faktem, pojawia się natomiast problem optymalnego wykorzystania tych technik w przedsiębiorstwie.

Zamierzeniem autora było, aby przedstawione rozwiązania mogły mieć praktyczne zastosowanie. Temu celowi służą gotowe algorytmy programu kontroli i porównywania uszkodzeń wg poziomu stwarzanego zagrożenia. Możliwość praktycznego zastosowania miały również potwierdzić przedstawione w pracy przykłady.

Wdrożenie opracowanych metod wymaga dostosowania ich do warunków rzeczywistych, gdyż oparto je na liczbach ogólnych. Zaproponowane metody muszą zostać powiązane z konkretnym katalogiem uszkodzeń jakim dysponuje, lub jaki musi zostać opracowany (przyjęty) przez przedsiębiorstwo dokonujące wdrożenia. Autor celowo nie podawał ostatecznych rozwiązań, gdyż ze względu na różny poziom techniczny przedsiębiorstw, mogło by to w niektórych przypadkach spowodować ich automatyczne odrzucenie.

Zaproponowane rozwiązania są elastyczne, można je dostosować do warunków panujących w danym przedsiębiorstwie i do specyficznych doświadczeń jego specjalistów. Jednak aby obliczone wg zaproponowanej metodyki parametry niezawodnościowe przewodów i wyniki ich oceny mogły być porównywalne dla różnych przedsiębiorstw niezbędne byłoby narzucenie jednakowego rozwiązania.

Jednym z podstawowych problemów z jakimi zetknął się autor pracy i którego rozwiązanie wydaje się, zdaniem autora, decydujące dla dalszego postępu w organizacji odnowy, jest ograniczona możliwość uwzględniania kosztów zawodności funkcjonowania uszkodzonych przewodów w analizach techniczno-ekonomicznych.

W pracy, brak kosztów zawodności najwyraźniej zaznacza się w metodzie obliczania optymalnej liczby brygad remontowych. Wysokość tych kosztów musi być aktualnie oszacowana w sposób uproszczony, lub jak np.: w przypadku kanałów krytycznych, odchodzi się od wyznaczenia wysokości tych kosztów przyjmując rozwiązanie intuicyjne.

LITERATURA

Monografie, artykuły:

- [1] Angstmann R.P., *Instandhaltung von Abwasserleitungen als Systemaufgabe*, awt - abwassertechnik, 1994, 5, 45-47.
- [2] Bień J., Rewiński S., *Funkcja badań doświadczalnych w komputerowym systemie gospodarki mostowej*, Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Trwałość i przydatność użytkowa konstrukcji mostowych, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria Konferencje 55/18, Wrocław, 1989, 11-16.
- [3] Bień J., *Metodyka numerycznego opisu obiektów mostowych. Część 2. Ocena przydatności użytkowej i numeryczny opis konstrukcji*, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR14/89.
- [4] Bień J., Głabisz J., Gładysz W., Machelski Cz., *Metodyka numerycznego opisu obiektów mostowych*, Instytut Inżynierii Politechniki Wrocławskiej, Raport serii SPR 10/88.
- [5] Błaszczyk P., *Opory przepływów ścieków w zamkniętych kanałach kołowych*, Nowa Technika w Inżynierii Sanitarnej 3, Wodociągi i Kanalizacja, Warszawa, Arkady, 1973.
- [6] Błaszczyk P., Błaszczyk W., Stamatello H., *Kanalizacja, sieci i pompownie*, Tom I, Warszawa, Arkady, 1983.
- [7] Bölke K.P., *Kanalinspektion - billig oder preiswert ?*, awt - abwassertechnik, 1997, 1, 25-26.
- [8] Bölke K.P., *Kanalinspektion. Schäden erkennen und dokumentieren*, Berlin, Springer-Verlag, 1996.
- [9] Bütow E., Lühr H.P., *Entwicklung von Kriterien zur Erfassung und Beurteilung der Schäden in Kanalisationen und Erarbeitung eines Modells zur Abschätzung des von defekten Kanälen ausgehenden Gefährdungspotentials*, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994, 477-493.
- [10] Chrostowska H., *Efektywność nakładów na drogi*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 1987.
- [11] Chudzik J., Tabernacki J., *Eksploatacja systemów wodociagowych i kanalizacyjnych ze szczególnym uwzględnieniem pompowni wodociagowych – terminologia i pojęcia eksploatacyjne*, , Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1997, 5, 178-182.
- [12] Cieślak W., Kolesnik J., Wójcik J., *Monitoring sieci wodociagowo-kanalizacyjnej i przyłączy w Miejskim Przedsiębiorstwie Wodociągów i Kanalizacji we Wrocławiu*, VI Konferencja naukowo-techniczna pt. Infrastruktura podziemna miast , Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria Konferencje 46/17, Wrocław, 1996, 44-52.
- [13] Czapliński T., *Kanalizacja - kwalifikacja kanałów do remontów*, opracowanie własne MPWiK S.A. Kraków, 1996.
- [14] Denczew S., *Zastosowanie zasad niezawodności w procesie eksploatacji podsystemu podłączeń wodociagowych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1998, 9, 378-382.
- [15] Drescher D., *Entwicklung akustischer Meßverfahren zur Detektion des Kanalzustandes mit Hilfe von Ultraschallmessung und Schallreflexionanalyse*, awt – abwassertechnik, 1994, 4, 28.
- [16] Dzenis L., Orzechowska M., *Analiza awaryjności sieci wodociagowej w Białymstoku z zastosowaniem teorii niezawodności*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1985, 4, 75-78.
- [17] Filipowicz B., *Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych, analiza i synteza systemów obsługi i sieci kolejkowych*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, 1996.
- [18] Frigger M., Wunsch S., *Betrieb eines Kanalnetzes mit EDV-Unterstützung*, awt – abwassertechnik, 1997, 5, 21-24.
- [19] Fritzsche M., *Einsatz von Georadar zur Ortung vergrabener Leitungen im Untergrund*, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994, 541-545,
- [20] Gleim H., *Aufbau der IBIS – Sieldatenbank der Stadt Hamburg*, awt – abwassertechnik, 1993, 4, 6-8.
- [21] Gładki P., Grzesikowska I., *Bezwykopowe metody budowy rurociągów*, Seminarium pt. Nowoczesne techniki i technologie bezwykopowe, Kraków, 1998.
- [22] GSTT – Schwerpunkt, *Verfahren zur Reinigung, Inspektion, Dichtheitsprüfung und grabenlosen Schadenbehebung in Anschlußkanälen und Grundleitungen*, 1998, 2, 23 - 29.
- [23] GSTT – Schwerpunkt, *Multisensorischer Kanalroboter zur Schadensdiagnose in Abwasserkanälen und Leitungen*, 1998, 2, 46-47.
- [24] Hagendorf U., *Forschungsergebnisse zur Bewertung der Dichtheit von Kanälen*, awt-abwassertechnik, 1996, 6, 11-16.
- [25] Haußman R., *Betrieb von Entwässerungsnetzen*, awt - abwassertechnik, 1995, 1, 12 – 13.
- [26] Hotłoś H., Mielcarzewicz E.Wł., *Uszkodzalność sieci wodociagowej i kanalizacyjnej w warunkach eksploatacji górniczej*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1995, 12, 429-433.
- [27] Hotłoś H., Mielcarzewicz E.Wł., *Intensywność uszkodzeń i koszty napraw przewodów sieci wodociagowych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1996, 1, 25-28.

- [28] Iwanejko R., Rak J., Wieczysty A., *Analiza wstępna badań niezawodnościowych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1994, 12, 395-398.
- [29] Iwanejko R., Wieczysty A., Lubowiecka T., Rak J., *Określenie liczby brygad remontowych w podsystemie dystrybucji wody przy zastosowaniu modeli masowej obsługi*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1990, 7, 136-138.
- [30] Iwanejko R., Wieczysty A., *Wyznaczenie wymaganego poziomu niezawodności obiektów systemu zaopatrzenia w wodę*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1996, 2, 54-58.
- [31] Jamska H., *Wstępna ocena parametrów niezawodności sieci wodociągowej i kanalizacyjnej w Krakowie*, XII Seminarium Projektantów Wodociągów, Zakopane, Wydawnictwo PZiTS, 1983.
- [32] Kacprzyk J., *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*, Warszawa, PWN, 1986.
- [33] Kammerer R., *Schadensbehebungsplanung und Instandsetzung von Abwasserkanälen*, awt - abwassertechnik, 1996, 6, 41-44.
- [34] Karangwa A., Madryas C., *Uszkodzenia i naprawa przelazowych kolektorów kanalizacyjnych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1997, 12, 469-472.
- [35] Karous M., *Geofyzikální metody při inspekci stavu kanalizací a vodovodů*, 4. Konferencje o Bezvýkopových Technologiích, Sborník Přednášek, Jeseník, 1998, 62-65.
- [36] Kasterka B., Suligowski Z., *Struktura jednostkowego kosztu budowy sieci wodociągowej i kanalizacyjnej na terenie woj. gdańskiego*, cz. I i II, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1974, 6 i 7, 190-193, 236-238.
- [37] Kendig M., Witte H., *Beispiel zur Erstellung eines Kanalkatasters*, awt - abwassertechnik, 1992, 6, 44 - 48.
- [38] Kendig M., *Zustandsbewertung nach ATV M 149. Selbstüberwachung. Stand der Entwicklung*, awt - abwassertechnik, 1998, 1, 41-44.
- [39] Klingmüller O., Schmitt R., *Entwicklung akustischer Meßverfahren zur Detektion des Kanalzustandes*, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994, 559-576.
- [40] Kloss H., Roman M., *Zagadnienie wyboru wskaźników niezawodności systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, cz. I i II, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1975, 10 i 11, 305-307, 337-339.
- [41] Kloss-Trębaczewicz H., Kwietniewski M., Roman M., *Eksplatacyjne wskaźniki niezawodności działania przewodów tranzytowych i sieci przewodów rozdzielczych w wiejskich systemach wodociągowych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1990, 12, 244-247.
- [42] Kloss-Trębaczewicz H., Kwietniewski M., Roman M., *Eksplatacyjne wskaźniki niezawodności działania ujęć wód podziemnych w wodociągach wiejskich*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1991, 1, 9-12.
- [43] Kloss-Trębaczewicz H., Kwietniewski M., Roman M., *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*, Warszawa, Arkady, 1993.
- [44] Koczkodaj W.W., Trochymiak W., *Zastosowanie analizy zgodności ocen w metodzie porównywania parametrów do oszacowania autostradowych kryteriów przetargowych*, Inżynieria i Budownictwo, 1996, 9, 543-547.
- [45] Kolonko A., Przybyła B., *Wpływ jakości wykonawstwa i projektowania na stan techniczny kolektora ODRA we Wrocławiu*, VI Konferencja naukowo-techniczna pt. Infrastruktura podziemna miast, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria Konferencje 46/17, Wrocław, 1996, 103-112.
- [46] Kołodziejczyk W., *Przechodnie relacje rozmyte i ich zastosowania*, Prace Naukowe Instytutu Organizacji i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej, Seria Monografie 59/23, Wrocław, 1990.
- [47] König A., Lücke-Brunk G., Ostermeier G., Schirmacher M., *Optische Inspektion von Anschlußkanälen am Beispiel der Landeshauptstadt Düsseldorf*, awt - abwassertechnik, 1997, 5, 18-20.
- [48] Kowalska W., Prystaj A., *Symulacja nieustalonego odpływu wód opadowych systemem kanalizacji deszczowej*, Seria Inżynieria Sanitarna i Wodna, Monografia 206, Politechnika Krakowska, Kraków, 1996.
- [49] Koźniewska I., Włodarczyk M., *Modele odnowy niezawodności i masowej obsługi*, Warszawa, PWN, 1978.
- [50] Kramp J., Merkler G., *Leckagen Detektion in Kanälen und Kanalnetzen im Bereich schwankender Grundwasserstände*, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994, 547-552.
- [51] Kreutzer M., *Entwicklung eines Verfahrens zur Festlegung von Ort und Ausmaß von ex- und infiltrierenden Leckstellen in Abwasserkanälen unter Verwendung von direkt an das Erdreich oder Abwasser angekoppelten elektrischen Strömen*, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994, 529-540.
- [52] Kuliczowski A., *Katastrofy kanalizacyjne*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 1995, 2, 58-61.
- [53] Kuliczowski A., *Problemy bezodkrywkowej odnowy przewodów kanalizacyjnych*, seria: Monografia, Studia, Rozprawy nr 13, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 1998.
- [54] Kuliczowski A., *Możliwości optymalizacji przebudowy magistralnej sieci kanalizacyjnej na przykładzie kanalizacji lewobrzeżnego Wrocławia*, praca doktorska, Komunikat nr 12/78, Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1978.
- [55] Kuliczowski A., Pluta R., *Stan techniczny przewodów kanalizacyjnych i jego ocena techniką video*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Budownictwo nr 33, Kielce, 1995.
- [56] Kwietniewski M., *Metodyka kompleksowej oceny niezawodności obiektów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1990, 10, 199-205.
- [57] Lipiński F., *Wskaźniki kosztów budowy sieci kanalizacyjnych*, MPWiK, Warszawa, 1970.

- [58] Möllers K., Kipp B., *Zustandsbewertung von Abwasserkanälen und -leitungen*, Korrespondenz - Abwasser, 1991, 5, 596 – 613.
- [59] Madryas C., *Odnowa przewodów kanalizacyjnych*, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria Monografie, Wrocław, 1993.
- [60] Madryas C., Przybyła B., *Inspection of as an Element of Operating Municipal Sewerage Networks*, Tunnelling and Underground Space Technology, 1998, Vol. 13, No. 1, 57-64.
- [61] Nelißen A., *Datenverarbeitung und -analyse als Mittel zur Sicherstellung guter Reinigungsergebnisse*, awt – abwassertechnik, 1995, 5, 10-13.
- [62] Ostasiewicz W., *Zastosowanie zbiorów rozmytych w ekonomii*, Warszawa, PWN, 1986.
- [63] Praca zbiorowa pod kierunkiem J.Biliszcuka, *Podręcznik inspektora mostowego*, Wrocław [b.w.], 1995.
- [64] Praca zbiorowa pod kierunkiem M.Romana, *Wodociągi i kanalizacja. Podstawy projektowania i eksploatacji* - Poradnik, Warszawa, Arkady, 1991.
- [65] Przybyła B., *Analiza stany sieci kanalizacyjnej za pomocą techniki video*, Konferencja pt. Eksploatacja wodociągów i kanalizacji; modernizacja komunalnych wodociągów i kanalizacji – aspekty finansowe, organizacyjne i techniczne, Warszawa, 1996, 143-154.
- [66] Przybyła B., *Klasyfikacja uszkodzeń w kolektorze żelbetowym z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych*, Infrastruktura podziemna miast, VI Konferencja naukowo-techniczna pt. Infrastruktura podziemna miast, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria Konferencje 46/17, Wrocław, 1996, 190-199.
- [67] Rott U., Zacher B., *Wassergefährdung durch undichte Kanäle – Erfassung und Bewertung*, 4. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 1994, 459-476.
- [68] Sawatzki J., Schwerte J., *Schadensverteilung an Steinzeug- und Betonrohren in TV-untersuchten Abwasserkanälen*, Teil 1, Korrespondenz Abwasser, 1995, 3.
- [69] Sawatzki J., Schwerte J., *Schadensverteilung an Steinzeug- und Betonrohren in TV-untersuchten Abwasserkanälen*, Teil 2, Korrespondenz Abwasser, 1996, 3.
- [70] Sawatzki J., Schwerte J., *Verfahrensmodell zur Klassifizierung von Entwässerungskanälen*, Korrespondenz - Abwasser, 1991, 12, 1632 – 1640.
- [71] Schaaf O., *Neue Landesbauordnung fordert Kontrolle der Grundstücksentwässerungsleitungen*, Kommunalwirtschaft, 1997, 9, 468 – 474.
- [72] Stein D., Kaufmann O., *Schadenanalyse an Abwasserkanälen aus Beton- und Steinzeugrohren der Bundesrepublik Deutschland-West*, Korrespondenz Abwasser, 1993, 2, 168-179.
- [73] Stępień J., *Analiza strat wody w sieci wodociągowej i kanalizacyjnej dwóch miast wojewódzkich oraz racjonalne sposoby ich zmniejszenia*. Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków, 1995.
- [74] Śliwowska M., *Kryteria wyboru metod budowy i utrzymania sieci podziemnego uzbrojenia technicznego*, XLIII Konferencja Naukowa „Krynica '97”, Inżynieria i gospodarka komunalna, Tom II, Poznań, 1997, 73-79.
- [75] Wieczysty A., *Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych*, Tom I,II, skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków, 1990.
- [76] Zinnecker J., *Geophysikalische Untersuchung eines Abwasserkanals*, awt-abwassertechnik, 1994, 5, 10-14.

Normy, wytyczne, materiały instruktażowe :

- [77] ATV M 143: *Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen*, Teil 1,2,3, Regelwerk Abwasser-Abfall, Abwassertechnische Vereinigung e.V., 1989.
- [78] ATV A 149: *Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung von Abwasserkanälen und -leitungen* (Entwurf), Regelwerk Abwasser-Abfall, Abwassertechnische Vereinigung e.V., 1994.
- [79] ATV A 147, *Betriebsaufwand für die Kanalisation, Teil 1: Betriebsaufgaben und Intervalle*, Regelwerk Abwasser-Abfall, Abwassertechnische Vereinigung e.V., 1993.
- [80] ATV A 145, *Aufbau und Anwendung einer Kanaldatenbank*, Regelwerk Abwasser-Abfall, Abwassertechnische Vereinigung e.V., 1994.
- [81] *Badanie, ocena stanu technicznego i ewidencja kanałów*, Instrukcja obsługi programu, Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Sp. z o.o. we Wrocławiu, 1996.
- [82] Bień J., Król D., Rawa P., Rewiński S., *Komputerowa ewidencja obiektów inżynierskich*, System Zarządzania Mostami Kolejowymi SMOK, Dyrekcja Generalna PKP, Warszawa, 1997.
- [83] BS 8005: Part 0, *Sewerage: Introduction and Guide to Data Sources and Documentation*
- [84] *Inspekcja przewodów kanalizacyjnych przy użyciu telewizji przemysłowej*, cz. 2: Podstawowe definicje i podręcznik fotograficzny, Per Aarsleff S.A., 1989.

- [85] *Inspekcja przewodów kanalizacyjnych przy użyciu telewizji przemysłowej. Podstawowe definicje i podręcznik fotograficzny*, Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Sp. z o.o. we Wrocławiu, 1995.
- [86] ISBN 87-7756-103-1: *TV-inspektion af afløbsledninger: Saerlige betingelser og beskrivelse for udførelse*, 1987
- [87] Manuel de recommandations techniques pour l'inspection télévisée des réseaux d'assainissement (AGHTM)
- [88] Polska Norma. PN-80/N-04000: *Niezawodność w technice. Terminologia*.
- [89] Polska Norma. PN-77/N-04005: *Niezawodność w technice. Wskaźniki niezawodności, nazwy, określenia, symbole*.
- [90] Polska Norma. PN-79/N-04031: *Niezawodność w technice. Estymacja wskaźników niezawodności*.
- [91] Regelblatt 2: *Kanalkataster*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, 1989
- [92] WAA/WRC, *Sewerage Rehabilitation Manual*, Second Edition, 1990
- [93] UK Water Industry-Engineering And Operations Committee, *Manual of Sewer Condition Classification*, Third Edition, 1993.
- [94] *Zbiór instrukcji o eksploatacji, konserwacji i planowo-zapobiegawczych remontach urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych*, MGK, Departament Wodociągów i Kanalizacji, Warszawa, Arkady, 1966.

Słowniki:

- [95] Słownik Wyrazów Obcych, PWN, Warszawa, 1971.

Materiały reklamowe:

- [96] *Rohrleitungsfernsehanlagen RADLAX + HAF*, Materiały reklamowe firmy IBAK.
- [97] *Kanalbestandsinformation KIS-PROCART*, Materiały reklamowe firm CONDATA GmbH (Bayern) i Aqua Soft GbR (Nordrhein-Westfalen)
- [98] *Rury kamionkowe EuroCeramic*, Grupa Hepworth.

OCENA I KSZTAŁTOWANIE KONSTRUKCJI PRZEWODÓW KANALIZACYJNYCH W UJĘCIU TEORII NIEZAWODNOŚCI

Streszczenie

W rozdziale pierwszym, przedstawiono uzasadnienie podjęcia tematu. Przeanalizowano aktualny poziom prowadzenia kontroli i oceny przewodów w kraju, przytaczając wyniki ankiety przeprowadzonej przez autora pracy. Problem prowadzenia systematycznej kontroli przewodów odniesiono do sytuacji panującej poza granicami kraju, powołując się na dane literaturowe. Sformułowano również cel i tezy pracy oraz jej zakres.

W rozdziale drugim zawarto szeroką analizę uszkodzeń przewodów kanalizacyjnych. Zdefiniowano pojęcie pełnego i częściowego stanu uszkodzenia przewodu z odniesieniem tych stanów do rezultatów inspekcji TV. Przedstawiono klasyfikację uszkodzeń przewodu, zwracając szczególną uwagę na konsekwencje wynikające z ich wystąpienia. Zaproponowano metodę pozwalającą na wzajemne porównywanie uszkodzeń ze względu na stwarzane przez nie zagrożenia, według ustalonych kryteriów. W przykładzie dokonano porównania uszkodzeń przewodu dla kryteriów: wytrzymałości, szczelności i hydraulicznego.

W rozdziale trzecim przedstawiono ogólnie uznany, niezawodnościowy opis przewodów kanalizacyjnych. Zestawiono wskaźniki niezawodności istotne dla analizy tych przewodów. Przedstawiono również podstawowe przyczyny, które zdaniem autora powodują trudności w praktycznej estymacji wskaźników, w szczególności miar awaryjności.

W rozdziale czwartym rozważono problem oceny stanu przewodu. Przedstawiono podejście do tego problemu poza granicami kraju, oraz podano przykłady praktycznych metod oceny. Zaproponowano również dwie autorskie metody, o różnym poziomie szczegółowości oceny, oparte na teorii zbiorów rozmytych. Metody te pozwalają na uwzględnienie w ocenie konsekwencji uszkodzeń związanych z warunkami lokalnymi. Rozdział zakończono przykładem oceny uszkodzonego przewodu, przy wykorzystaniu metody II.

W rozdziale piątym szczegółowo omówiono inspekcję (kontrolę) przewodów kanalizacyjnych. Przedstawiono wymagania, zalety i wady inspekcji CCTV, jak również spektrum innych technik badań przewodów. Szerzej potraktowano wprowadzane od kilku lat metody geotechniczne kontroli. Zaproponowano szczegółowy program kontroli przewodów, powiązany z metodami oceny i uwzględniający przeprowadzenie odnowy. W rozdziale tym poddano analizie składowe odnowy wynikające z uwzględnienia stanu częściowego i pełnego uszkodzenia. Zaproponowano metodę umożliwiającą rozpoznanie stanu uszkodzenia przewodu, istotnego dla estymacji miar awaryjności. Metoda ta, w powiązaniu z prowadzeniem kontroli według ustalonego programu, umożliwia praktyczną estymację wskaźników niezawodności przewodu, co potwierdzono przykładem.

W rozdziale szóstym wprowadzono pojęcia rdzenia systemu i kanałów krytycznych sieci. Przyjęto kryterium kosztów dla wydzielenia kanałów krytycznych, jednak ze

względu na trudność ustalenia wysokości kosztów zawodności, przedstawiono praktyczną (brytyjską) metodę określania przewodów krytycznych sieci.

W rozdziale siódmym podjęto próbę określenia optymalnej liczby brygad remontowych obsługujących sieć przewodów. Zadanie rozwiązano wykorzystując modele masowej obsługi. Zaproponowano dwie proste metody optymalizacji odnoszące się do przewodów zakwalifikowanych do określonej grupy kanałów krytycznych. Rozwiązano dwa przykłady dla przyjętych parametrów systemu masowej obsługi typu $M(M)r:(R,L)$ i przy symulowanej zmiennej wysokości jednostkowych kosztów zatrudnienia brygady i kosztów zawodności przewodów.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie pracy, z omówieniem możliwości praktycznego zastosowania proponowanych rozwiązań.

SEWER DESIGN EVALUATION AND SHAPING BASED ON RELIABILITY THEORY

Summary

Chapter 1 sets forth reasons for undertaking the research. The current state of sewer inspection and assessment in Poland is analyzed taking into account the results of a survey carried out by the author. The problem of monitoring the condition of sewers is considered with reference to the situation in this respect in other countries as described in the literature on the subject. The goal, the theses and the scope of the work are stated.

Chapter 2 contains a broad analysis of kinds of damage to sewers. The terms: *a state of complete sewer damage* and *a state of partial sewer damage* are defined in relation to results of TV inspections. A classification of kinds of sewer damage, including the consequences, is presented. A method enabling the comparison, according to established criteria, of kinds of damage as regards the hazard they pose is proposed. As an example, a comparison of kinds of sewer damage is made according to the strength, tightness and hydraulic criteria.

Chapter 3 presents the generally recognized sewer reliability description. Reliability indices needed for the analysis of such conduits have been tabulated. The basic factors which, in the author's opinion, make it difficult to estimate in practice these indices, particularly reliability measures, are specified.

In Chapter 4 the problem of sewer condition assessment is considered. The approach to this problem used in other countries is presented and examples of practical assessment methods are given. Two own methods, based on the fuzzy set theory, offering different levels of detail are proposed. The methods make it possible to include the consequences of damage associated with local conditions in the assessment. Finally, an exemplary assessment of a damaged sewer using method II is made.

Chapter 5 describes in detail the inspection of sewers. The requirements, advantages and disadvantages of the CCTV inspection and a range of other sewer inspection techniques are presented. Geotechnical inspection methods introduced several years ago are given much space. A detailed sewer inspection program, combined with assessment methods and including rehabilitation, is proposed. The components of rehabilitation for partial and complete damage are analyzed. A method enabling the identification of a state of sewer damage needed for the estimation of failure frequency measures is proposed. This method, combined with inspection conducted according to a fixed program, enables the practical estimation of sewer reliability indices. This is illustrated with an example.

Chapter 6 introduces the concepts of *a system core* and *network critical channels*. The cost criterion was adopted to find critical costs but because of difficulties in determining the level of unreliability costs, a practical (British) method of determining network critical channels is presented.

In Chapter 7 the optimum number of repair gangs for the servicing of a sewer network is calculated using mass service models. Two simple optimization methods applicable to sewers classified as belonging to a class of critical channels are proposed. Two

exemplary problems are solved for the assumed parameters of mass service system $M(M)r:\{R,L\}$ and for a simulated variable level of unit costs of employing a repair gang and costs of sewer unreliability.

Chapter 8 recapitulates this doctoral dissertation and indicates the possibilities of the practical application of the proposed solutions.



Zespół Badawczy:
Mgr inż. Bogdan Przybyła

Zakład Inżynierii Miejskiej
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Tel.(71) 320-28-95, 320-37-55
Fax:.(71) 3281889

Raport wpłynął do Redakcji I-14 w czerwcu 1999 roku



Odbiorcy:

Dyrekcja Instytutu Inżynierii Lądowej	1 egz.
Biblioteka Główna PWr.	1 egz.
Biblioteka i OINT I-14	1 egz.
Promotor	2 egz.
Recenzenci	2 egz.
Autor	1 egz.

Razem: 8 egz.