



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska Geodezji i Energetyki
Odnawialnej

Kierunek studiów:
Inżynieria środowiska

Justyna Lisowska, Robert Kowalik

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

METODY BADAŃ RUROCIĄGÓW

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025





1. Wprowadzenie	5
2. Budowa i materiały stosowane do budowy rurociągów	11
2.1. Klasyfikacja materiałów stosowanych w systemach infrastruktury podziemnej...	11
2.1.1. Materiały metalowe	11
2.1.2. Materiały ceramiczne i betonowe	11
2.1.3. Materiały polimerowe	12
2.1.4. Materiały kompozytowe i inne	12
2.2. Porównanie właściwości materiałów	12
2.3. Kryteria doboru materiałów konstrukcyjnych przewodów	13
2.4. Przykłady zastosowań materiałów	13
3. Awarie rurociągów i ich przyczyny	14
3.1. Wprowadzenie	14
3.2. Klasyfikacja uszkodzeń rurociągów	14
3.2.1. Uszkodzenia mechaniczne	14
3.2.2. Uszkodzenia chemiczne i biologiczne	15
3.2.3. Uszkodzenia eksploatacyjne i materiałowe	15
3.2.4. Uszkodzenia wywołane czynnikami zewnętrznymi	15
3.3. Skutki awarii rurociągów	16
3.4. Częstotliwość występowania awarii	16
3.5. Przykłady awarii i ich analiza	16
3.6. Znaczenie profilaktyki i monitoringu	18
3.6.1. Rola systematycznej diagnostyki	18
3.6.2. Narzędzia i techniki monitoringu	19
3.6.3. Organizacja działań prewencyjnych	19
3.6.4. Korzyści z wdrożenia systemowego monitoringu	19
3.6.5. Bezpieczeństwo i higiena pracy w zbiornikach, kanałach wewnętrzach urządzeń i budowli technicznych	20
4. Metody diagnostyczne	21
4.1. Wprowadzenie	21



4.2. Klasyfikacja metod diagnostycznych	22
4.3. Inspekcje CCTV	23
4.3.1. Zasada działania i podział systemów CCTV	24
4.3.2. Zakres pozyskiwanych informacji	24
4.3.3. Zalety inspekcji CCTV	25
4.3.4. Ograniczenia i warunki zastosowania	25
4.4. Próby szczelności.....	25
4.4.1. Cel i zastosowanie	25
4.4.2. Rodzaje prób szczelności	25
4.4.3. Wymagania normatywne	26
4.4.4. Przebieg badania szczelności	26
4.4.5. Czynniki wpływające na wynik badania	26
4.4.6. Zastosowanie w praktyce	26
4.5. Pomiary geodezyjne i laserowe	26
4.5.1. Zakres zastosowań	27
4.5.2. Metody i technologie.....	27
4.5.3. Integracja z innymi danymi	27
4.5.4. Znaczenie dla eksploatacji	27
4.6. Badania materiałowe	28
4.6.1. Zakres badań	28
4.6.2. Metody badawcze	28
4.6.3. Zastosowanie w praktyce	29
4.7. Metody specjalistyczne.....	29
4.7.1. Georadar (GPR – Ground Penetrating Radar).....	29
4.7.2. Termografia w podczerwieni	29
4.7.3. Czujniki włókien optycznych (DTS, DAS).....	29
4.7.4. Akustyczna lokalizacja wycieków.....	29
4.8. Zintegrowane podejście do diagnostyki	30
4.8.1. Idea podejścia zintegrowanego	30
4.8.2. Narzędzia wspomagające integrację danych	30
4.8.3. Praktyczne przykłady zastosowań	30



5. Badania przyczepności według PN-EN 1542	31
5.1. Wprowadzenie	31
5.2. Zakres i cel badań	31
5.3. Opis metodyki badań	32
5.3.1. Przygotowanie podłoża	32
5.3.2. Klejenie krążków testowych	32
5.3.3. Pomiar siły odrywania	32
5.4. Interpretacja wyników	32
5.5. Wymagania sprzętowe	33
5.6. Przykład – badanie kanału betonowego	33
5.6.1. Przykładowe wyniki badań przyczepności – analiza i interpretacja	33
5.7. Zalety i ograniczenia metody	34
5.8. Znaczenie w zarządzaniu infrastrukturą	35
5.9. Podsumowanie	35
6. Inspekcja CCTV i klasyfikacja uszkodzeń kanalizacji- Przykład	35
6.1. Wprowadzenie	35
6.2. Oprogramowanie	35
6.3. Procedura inspekcji TV	36
6.4. Klasyfikacja uszkodzeń według PN-EN 13508-2	36
6.4.1. Kategorie defektów (uszkodzeń) :	36
6.5. Ocena stanu technicznego	37
6.6. Przykład raportu inspekcji: raport z inspekcji odcinka kanalizacji DN400	37
6.7. Znaczenie dla zarządzania infrastrukturą	39
7. Analiza wyników badań wybranych metod diagnostycznych	39
7.1. Wprowadzenie	39
7.2. Ocena danych z inspekcji CCTV	40
7.3. Interpretacja wyników prób szczelności	40
7.4. Ocena przyczepności materiałów wg PN-EN 1542	41
7.5. Zintegrowana analiza danych diagnostycznych	42
8. Badania wytrzymałościowe materiałów rurociągów	43
8.1. Wprowadzenie	43



8.2. Klasyfikacja metod badań wytrzymałościowych	43
8.3. Rury betonowe i żelbetowe (PN-EN 1916)	44
8.4. Rury kamionkowe (PN-EN 295).....	44
8.5. Rury z tworzyw sztucznych (PVC, PE, PP).....	45
8.6. Inne materiały: żeliwo sferoidalne i stal	45
8.7. Znaczenie badań wytrzymałościowych w praktyce	46
9. Technologie napraw i renowacji rurociągów	47
9.1. Klasyfikacja metod renowacyjnych	47
9.2. Technologie bezwykopowe – wybrane metody.....	47
9.2.1. CIPP (Cured in Place Pipe)	47
9.2.2. Relining	48
9.2.3. Naprawy punktowe (shortliner)	48
9.2.4. Mikrotunelowanie i przewiert sterowane (HDD)	49
9.3. Naprawy lokalne i uszczelnienia	49
9.4. Kryteria doboru technologii naprawczej	50
9.5. Dokumentacja powykonawcza i odbiór robót.....	50
10. Podsumowanie i wnioski	51
11. Zestawienie literatury:	53



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Wprowadzenie

Znaczenie diagnostyki rurociągów

Podstawowymi elementami systemów infrastruktury podziemnej są przewody połączone w tzw. rurociągi, uzbrojenie (armatura) oraz budowle specjalne. Wszystkie te elementy systemów odpowiadają za transport np.: wody, ścieków, gazu czy innych mediów a ich bezawaryjne funkcjonowanie ma bezpośredni wpływ na jakość życia mieszkańców, zapewnia bezpieczeństwo sanitarne, stabilność ekonomiczną jednostek samorządu terytorialnego, oraz chroni środowisko. W związku z tym diagnostyka rurociągów staje się nieodzownym elementem zarządzania infrastrukturą techniczną – zarówno w kontekście prewencji (zapobiegania awariom), utrzymania sieci w dobrym stanie technicznym (eksploatacja) jak i planowania napraw, remontów czy modernizacji sieci. Niesprawne systemy stanowią zagrożenie dla środowiska powodując niejednokrotnie skażenie gruntu, wód gruntowych, zalewanie ulic, placów i budynków, natomiast niemodernizowane stają się przyczyną awarii, a w konsekwencji katastrof budowlanych.

Cele diagnostyki rurociągów

Podstawowe cele badań diagnostycznych rurociągów to:

- ocena aktualnego stanu technicznego elementów infrastruktury,
- identyfikacja uszkodzeń oraz ustalenie przyczyn ich powstawania,
- ocena szczelności i funkcjonalności rurociągów,
- wyznaczenie priorytetów remontowych i inwestycyjnych,
- optymalizacja kosztów eksploatacji i modernizacji,
- zapewnienie zgodności z obowiązującymi normami technicznymi i środowiskowymi.

Podstawowe elementy budowy systemów infrastruktury podziemnej

Każdy system infrastruktury podziemnej składa się z zespołu współpracujących ze sobą elementów, których głównym celem jest bezpieczny i ekonomiczny transport medium. Do podstawowych elementów systemów należą:

- **Rury (przewody)** – główny element konstrukcyjny systemów, przez które odbywa się przepływ medium zgodnie z założeniami charakterystycznymi dla poszczególnych systemów. W odniesieniu do materiałów konstrukcyjnych



występują w różnych długościach L [m] i średnicach D [mm], układane są z odpowiednim spadkiem i [%] lub [‰] oraz na odpowiedniej głębokości h [m] w gruncie.

- **Złącza rur** – zapewniają szczelność systemu i elastyczność połączeń między poszczególnymi odcinkami przewodów, kompensując przemieszczenia oraz drgania. Znacząco różnią się w zależności od materiału konstrukcyjnego (kamionka, beton, stal czy tworzywa sztuczne)
- **Armatura** – zawory, zasuwy, hydranty, zwężki, zmiany kierunku, filtry, odpowietrzniki itp., umożliwiające regulację i sterowanie przepływem medium, pomiary przepływu, odpowietrzanie oraz zabezpieczanie systemu przed zjawiskiem cofania się medium, zapobieganie uderzeniom hydraulicznym itp.
- **Uzbrojenie** – elementy dostępu do sieci umożliwiające kontrolę, czyszczenie, odwodnienie, odpowietrzenie i diagnostykę rurociągów.
- **Elementy dodatkowe** – podpory, obejmy, konstrukcje wsporcze zapewniające stabilność rurociągu, zwłaszcza w instalacjach nadziemnych i przemysłowych.

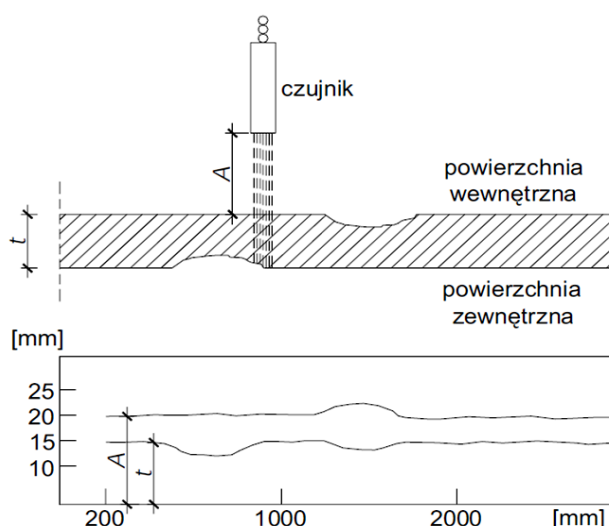
Przykłady wybranych metod diagnostycznych – schematy podstawowe

Diagnostyka stosowana do badania przewodów infrastruktury podziemnej oparta jest na zestawie różnorodnych metod i narzędzi diagnostycznych – od prostych inspekcji wizualnych przez badania szczelności, ocenę złączy przewodów, aż po zaawansowane techniki wykorzystujące kamery i roboty CCTV, fale ultradźwiękowe czy analizy statyczno-wytrzymałościowe.

Na rysunkach 1.1. przedstawiono przykładowy schemat pomiaru grubości przewodu a na rys 1.2. schemat pomiaru detekcji rys na powierzchni przewodu z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej.

[Tekst alternatywny. Rysunek przedstawia schemat pomiaru grubości ścianki rury z wykorzystaniem czujnika. W górnej części rysunku widoczny jest przekrój poprzeczny ścianki rury – powierzchnia wewnętrzna znajduje się u góry, a powierzchnia zewnętrzna na dole. Czujnik przykładany jest od strony wewnętrznej i mierzy grubość ścianki (oznaczoną jako t). Na przekroju pokazano lokalne ubytki materiału – nieregularne zwężenia ścianki. Oznaczenie A wskazuje miejsce zmierzonego ubytku grubości.

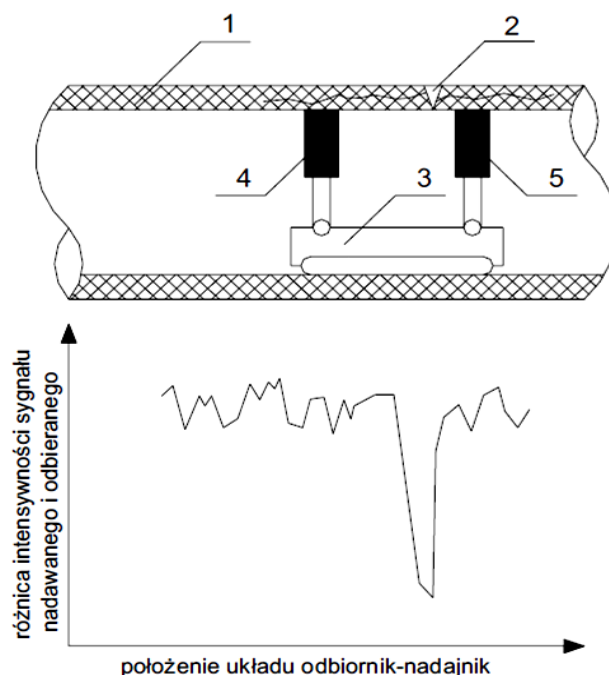
W dolnej części rysunku znajduje się wykres przebiegu zmian grubości ścianki wzdłuż długości rury (oś pozioma w milimetrach, od 200 do ponad 2000 mm). Oś pionowa wykresu przedstawia grubość ścianki w milimetrach, w zakresie od 10 do 25 mm. Linia górna odpowiada powierzchni zewnętrznej, a linia dolna powierzchni wewnętrznej. Na wykresie widoczne są lokalne zmiany grubości – w tym charakterystyczne pogrubienie i ubytek, odpowiadające pokazanym w przekroju schematycznym.]



Rys. 1.1. Schemat pomiaru grubości przewodu przy użyciu miernika (czujnika ultradźwiękowego) gdzie: A- odległość czujnika od powłoki wewnętrznej przewodu, t- grubość ściany przewodu

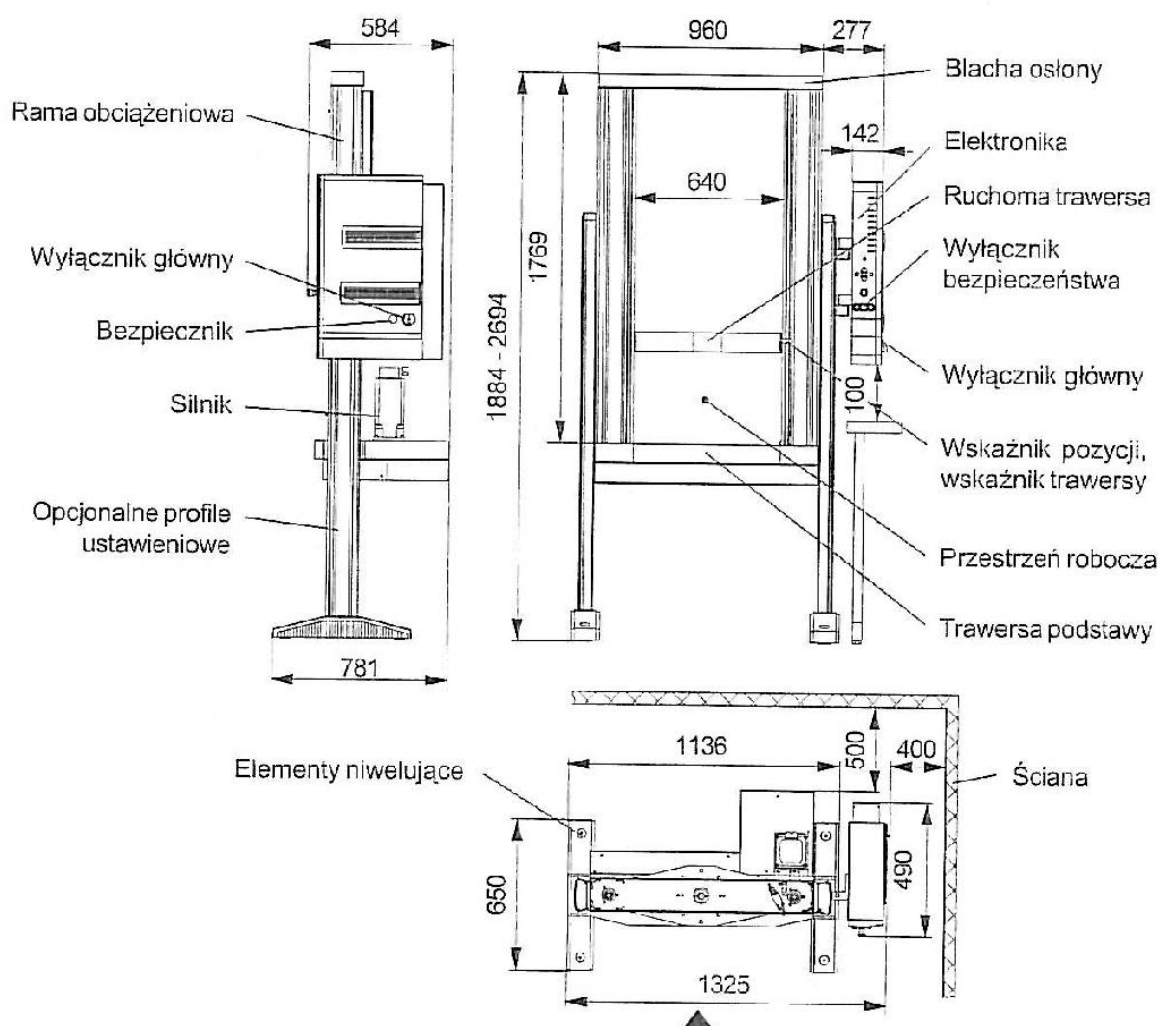
[Tekst alternatywny. Schemat przedstawia metodę diagnostyki rurociągu z wykorzystaniem układu nadajnika i odbiornika fal. W górnej części rysunku widoczny jest przekrój przez ścianę rury z zaznaczonymi elementami: 1 – ścianka rury, 2 – ubytek materiału (defekt), 3 – układ nadajnika i odbiornika, 4 – nadajnik, 5 – odbiornik. Nadajnik i odbiornik umieszczone są po zewnętrznej stronie rury naprzeciwko defektu.

W dolnej części rysunku znajduje się wykres, którego oś pozioma przedstawia położenie układu odbiornik–nadajnik, a oś pionowa różnicę intensywności sygnału nadawanego i odbieranego. Na wykresie widoczny jest nagły spadek intensywności w miejscu odpowiadającym lokalizacji ubytku w ścianie rury.]



Rys.1.2. Detekcja rys z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej gdzie: 1- przewód, 2- pęknięcie w ścianie przewodu, 3- urządzenie pomiarowe, 4- nadajnik sygnału, 5- odbiornik sygnału

[Tekst alternatywny. Rysunek techniczny przedstawia wymiary i budowę urządzenia badawczego z ruchomą ramą obciążeniową i przestrzenią roboczą. Schemat składa się z widoku z przodu, z boku oraz z góry. Na rysunku opisano główne elementy: Rama obciążeniowa, Wyłącznik główny i bezpiecznik, Silnik, Opcjonalne profile ustawieniowe, Blacha osłony, Elektronika, Ruchoma trawersa, Wyłącznik bezpieczeństwa, Wskaźnik pozycji (wskaźnik trawersy), Przestrzeń robocza, Trawersa podstawy, Elementy niwelujące. Podano szczegółowe wymiary urządzenia: wysokość regulowaną w zakresie 1884–2694 mm, szerokość 960 mm, głębokość 781–1325 mm, szerokość przestrzeni roboczej 640 mm, wysokość przestrzeni roboczej 1769 mm. Na widoku z góry zaznaczono wymagane odstępy od ścian: 500 mm z lewej strony, 400 mm z prawej oraz 490 mm z tyłu. Urządzenie wyposażone jest w osłony i elementy bezpieczeństwa, a całość posadowiona jest na regulowanych stopach niwelujących.]



Rys.1.3 Podstawowy schemat budowy maszyny wytrzymałościowej

Pomiar ugięcia . Ugięcie dla rur bezciśnieniowych jest uwarunkowane przez zewnętrzne obciążenie, sztywność rury, stopień zagęszczenia gruntu wokół rury oraz rodzaj zastosowanej metody ułożenia rurociągu.

Praktycznie wielkość ugięcia ograniczona jest dwoma podstawowymi warunkami:

- zachowaniem szczelności podczas całego okresu użytkowania
- możliwie minimalnym ograniczeniem przepustowości.

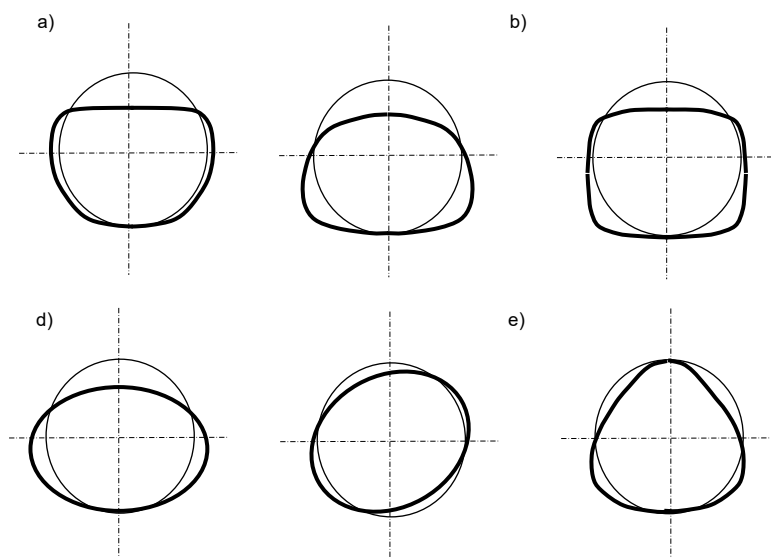
W zależności od rodzaju gruntu, sposobu i jakości zagęszczenia oraz sztywności konstrukcji przewodu, pod wpływem obciążenia pionowego rura będzie dążyć do

uzyskania określonego kształtu deformacji. Na rys. 1.4. zaprezentowano przykładowe przekroje odkształconych przewodów.

[Tekst alternatywny. Rysunek przedstawia schematyczne przekroje poprzeczne odkształconych przewodów. Pokazano sześć typowych kształtów deformacji:

- a) przekrój w kształcie serca,
- b) przekrój w kształcie dzwonu (odwrócone serce),
- c) przekrój czworokątny,
- d) przekrój eliptyczny – symetryczny,
- e) przekrój eliptyczny – niesymetryczny,
- f) przekrój trójkątny.

Każdy wariant przedstawiony jest w formie uproszczonego, czarnego konturu, ilustrującego możliwe odkształcenia geometryczne przewodów w przekroju poprzecznym.]



Rys.1.4. Przekroje odkształconych przewodów gdzie: a) kształt serca, b) kształt dzwonu (odwrócone serce); c) czworokątny; d) eliptyczny – symetryczny; e) eliptyczny –niesymetryczny; f) trójkątny



2. Budowa i materiały stosowane do budowy rurociągów

2.1. Klasyfikacja materiałów stosowanych w systemach infrastruktury podziemnej

Materiały podstawowe wykorzystywane do produkcji przewodów i ich elementów można podzielić na kilka grup:

2.1.1. Materiały metalowe

- **Stal** – wykorzystywana w sieciach gazowych, wodociągowych i przemysłowych. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, ale wymaga ochrony antykorozyjnej (np. cynkowanie, powłoki epoksydowe i inne).
- **Żeliwo sferoidalne** – stosowane głównie w sieciach wodociągowych. Dzięki kulistej strukturze grafitu łączy wysoką wytrzymałość z odpornością na kruche pękanie. Najczęściej rury pokrywa się od wewnątrz zaprawą cementową lub termoplastyczną a z zewnątrz powłokami cynkowymi (Zn) cynkowo-aluminiowymi (ZnAl), powłoką cementową czy bitumicznymi zgodnie z normą np. PN-EN 545.
- **Żeliwo szare** – starszy typ materiału, obecnie stopniowo wycofywany z eksploatacji ze względu na niską odporność na obciążenia dynamiczne.

2.1.2. Materiały ceramiczne i betonowe

- **Kamionka** – stosowana głównie w kanalizacji sanitarnej i deszczowej. Charakteryzuje się wysoką odpornością chemiczną i wysoką odpornością na ścieranie, minusem jednak jest duża masa i kruchość.
- **Beton i żelbet** – wykorzystywane przy budowie systemów grawitacyjnych stosowany w dużych średnicach (kolektory główne) oraz studniach połączeniowych czy rewizyjnych. Beton może być dodatkowo wzmacniany włóknami lub zbrojeniem stalowym. Wymaga ochrony przed korozją siarczanową.



2.1.3. Materiały polimerowe

- **PVC (polichlorek winylu)** – materiał o niskiej masie własnej, łatwy w montażu, odporny na działanie wielu związków chemicznych. Wykorzystywany głównie w kanalizacji grawitacyjnej.
- **PE (polietylen)** – elastyczny i odporny na uszkodzenia mechaniczne. Dzięki możliwości zgrzewania zapewnia wysoką szczelność systemów.
- **PP (polipropylen)** – materiał o dobrej odporności cieplnej i chemicznej. Stosowany w systemach kanalizacji wewnętrznej i przemysłowej.

2.1.4. Materiały kompozytowe i inne

- **GRP (rury z tworzyw wzmocnionych włóknem szklanym)** – lekkie, wytrzymałe, odporne na korozję. Znajdują zastosowanie w kolektorach i kanalizacji deszczowej.
- **Stal emaliowana, szkło, ceramika techniczna** – specjalistyczne zastosowania w przemyśle chemicznym i spożywczym.

2.2. Porównanie właściwości materiałów

Każdy z materiałów ma swoje zalety i ograniczenia. Poniżej w tabeli 1. 2 zestawiono podstawowe cechy wpływające na wybór konkretnego materiału konstrukcyjnego przewodów.

Tabela 1.2. Zestawienie podstawowych cech materiałów stosowanych do budowy sieci infrastruktury podziemnej

Właściwość	Stal	Żeliwo	Beton	Kamionka	PVC	PE	GRP
Wytrzymałość mechaniczna	wysoka	wysoka	średnia	średnia	średnia	dobra	dobra
Odporność chemiczna	średnia	dobra	średnia	bardzo dobra	dobra	bardzo dobra	bardzo dobra



Odporność na korozję	niska	dobra	niska	bardzo dobra	bardzo dobra	bardzo dobra	bardzo dobra
Masa	duża	duża	Bardzo duża	duża	mała	mała	mała
Trwałość eksploatacyjna	wysoka	wysoka	wysoka	wysoka	średnia	wysoka	wysoka

2.3. Kryteria doboru materiałów konstrukcyjnych przewodów

Dobór materiału oparty na analizie warunków technicznych i środowiskowych powinien uwzględniać :

- charakter i rodzaj medium (np. ścieki agresywne, woda pitna, substancje chemiczne),
- temperaturę i ciśnienie pracy systemu,
- warunki gruntowo-wodne (np. obecność siarczanów, agresywność gruntu),
- dostępność i łatwość montażu,
- wymagana trwałość systemu,
- możliwość inspekcji i renowacji,
- koszt inwestycyjny i eksploatacyjny.

2.4. Przykłady zastosowań materiałów

Współczesne technologie umożliwiają stosowanie szerokiego spektrum materiałów – od klasycznych (beton, stal, kamionka) po nowoczesne kompozyty i tworzywa sztuczne. Znajomość ich właściwości i zasad stosowania jest niezbędna zarówno dla projektantów, jak i diagnostów oraz osób zarządzających infrastrukturą.

Przykładowe zastosowanie materiałów w systemach infrastruktury podziemnej:

- Kanalizacja grawitacyjna: PVC, PP, kamionka, beton,



- Kanalizacja ciśnieniowa: PE, żeliwo sferoidalne,
- Wodociągi: PE, żeliwo sferoidalne, stal,
- Przemysł chemiczny: PE-HD, stal nierdzewna, GRP, ceramika techniczna.

3. Awarie rurociągów i ich przyczyny

3.1. Wprowadzenie

Systemy rurociągowy, mimo coraz wyższej jakości stosowanych materiałów i technologii montażu, narażone są na różnego rodzaju awarie. Ich przyczyny mogą wynikać z czynników zewnętrznych (środowiskowych, eksploatacyjnych) lub wewnętrznych (wady projektowe, materiałowe). Skutkiem awarii mogą być m.in. wycieki, zapadnięcia nawierzchni, zanieczyszczenie środowiska, przerwy w dostawie wody lub odprowadzaniu ścieków, a także znaczne koszty napraw.

Zrozumienie mechanizmów powstawania uszkodzeń i ich typologii stanowi podstawę skutecznej diagnostyki i prewencji. Awary mogą być incydentalne lub systematyczne, mogą dotyczyć pojedynczych elementów instalacji lub mieć charakter rozległy, zagrażający ciągłości funkcjonowania całych sieci.

3.2. Klasyfikacja uszkodzeń rurociągów

Uszkodzenia rurociągów można podzielić na kilka głównych kategorii:

3.2.1. Uszkodzenia mechaniczne

- **Pęknięcia i złamania rur** – najczęściej wynikają z przeciążeń konstrukcyjnych, osiadania gruntu, działania sił zewnętrznych lub drgań komunikacyjnych. Pęknięcia mogą mieć postać podłużną lub poprzeczną, co wpływa na sposób ich naprawy.
- **Deformacje** – w szczególności spłaszczenia rur z tworzyw sztucznych pod wpływem obciążeń ziemnych lub niedostatecznego zagęszczenia gruntu. Deformacje mogą powodować zmniejszenie przekroju hydraulicznego i pogorszenie warunków przepływu.
- **Ścieranie ścianek** – występuje w instalacjach przesyłających media zawierające piasek, żwir lub inne cząstki stałe. Prowadzi do lokalnego osłabienia grubości ścianki i może skutkować perforacją.



3.2.2. Uszkodzenia chemiczne i biologiczne

- **Korozja** – proces chemiczny lub elektrochemiczny powodujący degradację metali. Występuje najczęściej w rurach stalowych i żeliwnych nieposiadających odpowiedniej ochrony antykorozyjnej.
- **Korozja siarczanowa betonu** – zachodzi w środowisku o wysokim stężeniu siarkowodoru (H_2S), który w obecności wody i tlenu tworzy kwas siarkowy. Powoduje łuszczenie się betonu, jego spękania i osłabienie strukturalne.
- **Biokorozja** – działalność mikroorganizmów (bakterie tlenowe i beztlenowe) prowadząca do rozkładu materiałów organicznych (np. uszczelek gumowych) oraz wzmożonego procesu korozji.

3.2.3. Uszkodzenia eksploatacyjne i materiałowe

- **Zmęczenie materiału** – wynik wielokrotnego cyklicznego obciążania (np. zmiany ciśnienia, drgania), prowadzącego do rozwoju mikropęknięć i w konsekwencji do pęknięcia całkowitego.
- **Wady materiałowe** – mogą wynikać z procesu produkcji rur (np. niejednorodność, pęcherze powietrza, zanieczyszczenia), co prowadzi do lokalnych osłabień struktury.
- **Wady montażowe** – niewłaściwe wykonanie połączeń, brak kompensacji wydłużeń cieplnych, niewystarczająca głębokość posadowienia lub źle zagęszczone podsypki mogą powodować przedwczesne awarie.

3.2.4. Uszkodzenia wywołane czynnikami zewnętrznymi

- **Wpływ transportu drogowego** – intensywny ruch pojazdów ciężarowych nad rurociągami, szczególnie przy płytkim ich posadowieniu, prowadzi do przeciążeń i osiadania.
- **Działanie korzeni roślin** – korzenie drzew i krzewów mogą wnikać w nieszczelności złączy i prowadzić do ich dalszego rozszczelnienia lub nawet uszkodzenia całej rury.
- **Ruchy gruntu** – naturalne (erozja, przemarzanie, osiadanie) lub wywołane działalnością człowieka (np. roboty ziemne, budowa) mogą spowodować deformacje, pęknięcia, a nawet przemieszczenia odcinków rurociągu.

Inna opisana w literaturze [Kulickowska E: *Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzełazowych przewodów kanalizacyjnych*, wydawnictwo PŚk. Kielce 2007] klasyfikacja awarii wg. normy PN-EN 13508-1 Stan kanalizacyjnego systemu zewnętrznego – część 2: System kodowania w ocenie wizualnej, podaje literowy



system oznaczania uszkodzeń kanałowych w postaci trzech liter, odnotowywane są ilościowe parametry charakteryzujące określone uszkodzenia i rejestrowana jest lokalizacja miejsc występowania uszkodzeń w systemie zegarowym.

3.3. Skutki awarii rurociągów

Awarie mogą prowadzić do:

- **Wycieków medium** – woda pitna, ścieki sanitarne, substancje chemiczne mogą przedostać się do gruntu lub środowiska wodnego.
- **Zanieczyszczenia środowiska** – skażenie gleby, wód gruntowych i powierzchniowych może mieć poważne konsekwencje zdrowotne i ekologiczne.
- **Zapadnięcia nawierzchni** – szczególnie przy awariach kanalizacji grawitacyjnej z wypłukiwaniem gruntu. Tworzą się pustki i kawerny.
- **Przerw w dostawach lub odprowadzaniu ścieków** – może skutkować koniecznością wprowadzenia objazdów, ewakuacji, przerw w pracy zakładów przemysłowych.
- **Strat ekonomicznych i prawnych** – związanych z kosztami napraw, odszkodowaniami dla mieszkańców lub podmiotów gospodarczych, karami administracyjnymi.

3.4. Częstotliwość występowania awarii

Statystyki awaryjności rurociągów różnią się w zależności od materiału, wieku instalacji, poziomu utrzymania i środowiska eksploatacji. Z analiz wielu miast wynika, że:

- Najczęściej uszkodzeniom ulegają stare rurociągi wykonane z żeliwa szarego i betonu,
- Instalacje z PVC są bardziej podatne na deformacje, ale mniej na korozję,
- Awaryjność wzrasta zimą (przemarzanie gruntu) oraz po intensywnych opadach (erozja podłoża),
- Duża liczba awarii dotyczy połączeń i złączy, a nie samych rur.

3.5. Przykłady awarii i ich analiza

W celu lepszego zrozumienia mechanizmów powstawania awarii rurociągów, poniżej przedstawiono szczegółową analizę trzech rzeczywistych przypadków uszkodzeń, które miały miejsce w różnych warunkach eksploatacyjnych.



Przypadek 1:

Uszkodzenie rury betonowej w wyniku korozji siarczanowej

Analiza przypadku :

Sieć kanalizacji grawitacyjnej zbudowana z rur betonowych o średnicy 800 mm, eksploatowana od ponad 25 lat, wykazywała objawy spadku drożności oraz nieprzyjemnego zapachu wydobywającego się ze studzienek rewizyjnych. Przeprowadzona inspekcja TV wykazała silnie rozwiniętą korozję powierzchniową wnętrza rury, z widocznym łuszczeniem się betonu i obecnością osadów siarczanowych.

Przebieg badania:

Pobrano rdzeń betonu w celu wykonania analizy laboratoryjnej. Badania wykazały znaczne obniżenie wytrzymałości mechanicznej (o około 40%) oraz zawartość produktów reakcji kwasu siarkowego z cementem, głównie gipsu i ettringitu. Zidentyfikowano źródło siarkowodoru jako wynik beztlenowych procesów rozkładu ścieków w kolektorze o niewystarczającej wentylacji.

Zalecenia i wnioski:

Zastosowano naprawę poprzez wprowadzenie rękawa renowacyjnego z żywic epoksydowych odpornego na działanie H_2S oraz wykonano system aktywnej wentylacji odcinka kolektora.

Przypadek 2:

Wyciek z rury PE wskutek nieprawidłowego zgrzewu

Analiza przypadku :

W nowo wybudowanej sieci wodociągowej z rur PE100 SDR17 o średnicy 160 mm po kilku tygodniach eksploatacji odnotowano spadek ciśnienia w jednym z odcinków.

Przebieg badania:

Przeprowadzone badania ciśnieniowe oraz inspekcja wykazały wyciek w miejscu zgrzewu doczołowego.

Po odkryciu złącza stwierdzono niejednorodną strukturę materiału w strefie zgrzewu. Analiza termiczna wykazała, że podczas procesu zgrzewania zastosowano zbyt wysoką temperaturę i zbyt krótki czas chłodzenia, co doprowadziło do wewnętrznych naprężeń i osłabienia struktury.

Zalecenia i wnioski:



Złącze zostało wymienione, a personel ponownie przeszkolony w zakresie procedur zgrzewania. Wprowadzono dodatkowe kontrole jakości podczas wykonywania połączeń.

Przypadek 3: Awaria kolektora w wyniku działania korzeni drzew

Analiza przypadku :

W miejskim odcinku kanalizacji sanitarnej z rur kamionkowych DN 300 z lat 70. XX w. zgłoszono wielokrotne zatory.

Przebieg badania:

Badanie kamerą inspekcyjną wykazało, że przez nieszczelne złącza przerastają korzenie drzew znajdujących się w pasie drogowym.

Korzenie powodowały rozszczelnienie połączeń kielichowych, a ich obecność prowadziła do zatorów i infiltracji wód gruntowych do wnętrza rurociągu. Skutkowało to przeciążeniem hydraulicznym i obniżeniem efektywności oczyszczania ścieków.

Zalecenia i wnioski:

Przeprowadzono mechaniczne usunięcie korzeni, a następnie wykonano uszczelnienie złączy metodą iniekcji żywic poliuretanowych. W ramach prewencji zaplanowano stopniową wymianę odcinków kamionkowych na rury z PEHD o zgrzewanych połączeniach oraz wprowadzono stały monitoring inspekcyjny w tej części sieci.

3.6. Znaczenie profilaktyki i monitoringu

Zapobieganie awariom poprzez odpowiednie działania profilaktyczne i monitoring techniczny jest kluczowym elementem nowoczesnego zarządzania infrastrukturą podziemną. Dobrze zorganizowana diagnostyka umożliwia nie tylko obniżenie kosztów eksploatacyjnych, ale przede wszystkim zwiększa niezawodność i bezpieczeństwo systemów przesyłowych.

3.6.1. Rola systematycznej diagnostyki

Regularna diagnostyka pozwala na:

- **Identyfikację wczesnych oznak zużycia** materiałów lub połączeń,
- **Wykrycie nieszczelności i deformacji**, zanim przekształcą się w poważne awarie,
- **Określenie stref ryzyka** w oparciu o historię eksploatacji, rodzaj gruntu, głębokość posadowienia czy bliskość infrastruktury drogowej,



- **Planowanie modernizacji** i remontów w oparciu o rzeczywiste potrzeby techniczne, a nie wyłącznie cykl życia materiałów.

3.6.2. Narzędzia i techniki monitoringu

W nowoczesnych systemach wykorzystuje się różnorodne narzędzia i metody:

- **Inspekcje CCTV** – wizyjna ocena stanu wewnętrznego rur, połączeń rur oraz studni przy użyciu różnego typu kamer : wpuszczanych do studni, samojezdnych, pchanych lub obrotowych,
- **Badania ciśnieniowe i próby szczelności** – stosowane do wykrywania mikro-wycieków w sieciach wodociągowych i kanalizacyjnych,
- **Pomiary geodezyjne i skaning laserowy** – do wykrywania przemieszczeń i deformacji osiowych rurociągów,
- **Systemy telemetryczne** – monitoring ciśnienia, przepływu i temperatury w czasie rzeczywistym,
- **Czujniki osadów i zatorów** – instalowane w sieciach kanalizacyjnych, pozwalają na szybkie wykrycie spowolnionego przepływu lub zalegania osadów,
- **GIS i cyfrowe modele sieci** – integracja danych diagnostycznych z systemami informacji przestrzennej ułatwia podejmowanie decyzji.

3.6.3. Organizacja działań prewencyjnych

Skuteczna profilaktyka wymaga nie tylko technologii, ale i organizacji:

- Tworzenie **harmonogramów przeglądów i inspekcji**,
- Prowadzenie **bazy danych o awariach i naprawach**,
- Okresowa **ocena ryzyka** i klasyfikacja stanu technicznego odcinków sieci,
- **Szkolenia dla personelu technicznego** w zakresie obsługi sprzętu diagnostycznego, interpretacji wyników i procedur bezpieczeństwa,
- **Współpraca z laboratoriami i jednostkami badawczymi**, które mogą wykonywać analizy materiałowe lub modele numeryczne.

3.6.4. Korzyści z wdrożenia systemowego monitoringu

- Zmniejszenie liczby awarii nagłych i kosztów interwencji awaryjnych,
- Przedłużenie żywotności sieci poprzez konserwację planową,
- Większa przewidywalność kosztów eksploatacyjnych,



- Poprawa jakości usług świadczonych odbiorcom (np. ciągłość dostaw wody, brak zalewania posesji),
- Lepsze planowanie inwestycji i budżetowanie środków na odnowę infrastruktury.

3.6.5. Bezpieczeństwo i higiena pracy w zbiornikach, kanałach wnętrzach urządzeń i budowli technicznych

Wszelkie prace prowadzone w zbiornikach, kanałach i wnętrzach urządzeń i budowli technicznych traktowane są jako prace niebezpieczne i podlegają obostrzeniom prawnym.

Pierwszym jest rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (tekst jedn.: Dz. U. z 2003 r. Nr 169, poz. 1650 z późn. zm.), gdzie podstawowe wymagania bezpieczeństwa zostały ujęte w rozdziale 6 „Prace szczególnie niebezpieczne”.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych (Dz. U. Nr 47, poz. 401) odnosi się do warunków bezpiecznego wykonywania prac w pomieszczeniach zamkniętych, tunelach, zbiornikach, studniach, kanałach i podobnych urządzeniach technicznych.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 marca 2013 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach energetycznych (Dz. U. z 2013 r. poz. 492) do prac wykonywanych przy urządzeniach i instalacjach energetycznych w warunkach szczególnego zagrożenia dla zdrowia i życia ludzkiego zalicza m.in. prace:

- wewnątrz komór paleniskowych kotłów, kanałów spalin, elektrofiltrów, walczków kotła, zasobników, kanałów i lejów zsypowych oraz w zbiornikach paliw płynnych i gazowych;
- wewnątrz zasobników węgla, pyłu węglowego, żużla i popiołu oraz innych zbiorników i pomieszczeń, w których mogą znajdować się gazy lub ciecze trujące, żrące, duszące, palne lub wybuchowe;
- w obiegach przygotowywania pyłu węglowego, wewnątrz młynów węglowych, przy wentylatorach młynowych, cyklonach i separatorach.

Podjęcie i prowadzenie pracy w zbiornikach, kanałach, studniach, studzienkach kanalizacyjnych, wnętrzach urządzeń technicznych oraz innych zamkniętych przestrzeniach, do których wejście odbywa się przez włazy lub otwory o niewielkich



rozmiarach lub jest w inny sposób utrudnione może nastąpić jedynie na podstawie pisemnego pozwolenia wydanego w trybie ustalonym przez pracodawcę.

Do prac tego rodzaju pracodawca powinien wyznaczyć stały i kompetentny nadzór. Osoba wydająca polecenie wykonania takiej pracy powinna sprawdzić, czy przygotowanie organizacyjne i techniczne zapewni bezpieczeństwo pracownikom podczas wykonywania zaplanowanych prac.

Aby zapewnić pracownikowi wykonującemu prace wewnątrz budowli, możliwość udzielenia natychmiastowej pierwszej pomocy w razie nagłej potrzeby lub wypadku, należy zaplanować asekurację przez co najmniej jedną osobę znajdującą się na zewnątrz (na poziomie terenu).

Osoba asekurująca powinna być w stałym kontakcie z pracownikami znajdującymi się wewnątrz zbiornika oraz mieć możliwość niezwłocznego powiadomienia innych osób, mogących w razie potrzeby niezwłocznie udzielić pomocy. Wyposażenie w środki ochrony indywidualnej osoby asekurującej powinno być takie, jak wyposażenie pracowników wchodzących do wnętrza zbiornika.

Pracownik wchodzący do wnętrza zbiornika powinien być wyposażony w szelki bezpieczeństwa z linką umocowaną do odpowiednio wytrzymałego elementu konstrukcji zewnętrznej, hełm ochronny i odzież ochronną oraz sprzęt ochronny izolujący układ oddechowy.

Pomieszczenia zamknięte, tunele, zbiorniki, studnie, urządzenia techniczne, kanały przed rozpoczęciem prac powinny być przewietrzone i w razie potrzeby wyposażone w wentylację mechaniczną. Wyróbiska i pomieszczenia podziemne z dostępem dla ludzi powinny być przewietrzane w taki sposób, aby zawartość tlenu w powietrzu nie była mniejsza niż 19%. W przypadku gdy zawartość tlenu jest mniejsza, osoby znajdujące się w tych pomieszczeniach należy niezwłocznie ewakuować w bezpieczne miejsce.

Zgodnie z Dz.U.1993.96.437 - Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 1 października 1993 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy eksploatacji, remontach i konserwacji sieci kanalizacyjnych

4. Metody diagnostyczne

4.1. Wprowadzenie

Diagnostyka rurociągów obejmuje zespół działań technicznych i organizacyjnych, których celem jest ocena ich stanu technicznego oraz identyfikacja uszkodzeń lub



potencjalnych zagrożeń. Stosowane metody różnią się zakresem, precyzją i kosztem, dlatego dobór odpowiedniej techniki powinien być uzależniony od celu badania, rodzaju rurociągu, jego wieku, materiału i warunków pracy.

4.2. Klasyfikacja metod diagnostycznych

Metody diagnostyczne stosowane w ocenie stanu technicznego rurociągów można sklasyfikować według kilku kryteriów: ingerencji w strukturę rurociągu, rodzaju pozyskiwanych informacji oraz zastosowanej technologii. Odpowiedni dobór metody zależy od celu badania, typu rurociągu (grawitacyjny/ciśnieniowy), rodzaju transportowanego medium, materiału, wieku oraz warunków lokalnych.

▪ Metody nieniszczące (NDT – Non-Destructive Testing)

Badania wg. norm : Norma PN-B-06261:1974 „Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie”. PN-EN 12504-2:2002 „Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.”

Metody te stosowane są do oceny stanu technicznego przewodów bez ingerencji w ich strukturę. Są to:

- Inspekcje wizyjne (CCTV),
- Badania ultradźwiękowe (grubość ścianki, defekty),
- Badanie georadarem (lokalizacja pustek i przeszkód),
- Termografia (lokalizacja przecieków i strat ciepła),
- Akustyczna lokalizacja wycieków,
- Pomiar siły przyczepności materiałów (np. zgodnie z PN-EN 1542).

Zalety:

- Brak ingerencji w rurociąg,
- Możliwość częstego powtarzania badań,
- Wysoka dokładność lokalna.

Ograniczenia:

- Wymagana interpretacja przez wykwalifikowany personel,



- Ograniczony zasięg lub dostępność (np. w małych średnicach lub trudno dostępnych lokalizacjach).

▪ **Metody niszczące (DT – Destructive Testing)**

- Pobieranie próbek materiałowych z istniejących instalacji (rdzeniowanie betonu, wycinki rur),
- Próby wytrzymałościowe (zgniatanie, rozciąganie, ścieranie),
- Badania struktury i składu chemicznego materiałów z laboratoryjną analizą.

Wady:

- Wymagają odtworzenia konstrukcji po badaniu,
- Ograniczona możliwość stosowania w czynnych sieciach.

▪ **Metody obserwacyjne i eksploatacyjne**

- Przeglądy wizualne studzienek i armatury,
- Analiza danych eksploatacyjnych: ciśnienie, przepływ, awaryjność,
- Obserwacja zmian geodezyjnych (niwelacja, tachimetria),
- Lokalna analiza osiadań lub zapadnięć nawierzchni.

Metody zintegrowane i zaawansowane

- Monitoring rozproszony (światłowodowy),
- Systemy telemetryczne SCADA,
- BIM + GIS,
- Analiza predykcyjna z użyciem sztucznej inteligencji i algorytmów uczenia maszynowego (np. prognozowanie ryzyka awarii).

4.3. Inspekcje CCTV

Inspekcja telewizyjna wnętrza rurociągu (CCTV) jest jedną z podstawowych metod oceny stanu technicznego rurociągów grawitacyjnych. Pozwala na wykrycie uszkodzeń i nieprawidłowości, które nie są widoczne z zewnątrz. Stosowana w przypadku odbiorów technicznych ale również w przypadku oceny awaryjności przewodów eksploatowanych.



4.3.1. Zasada działania i podział systemów CCTV

Kamera inspekcyjna umieszczona na wózku lub pchana przewodem rejestruje obraz wnętrza rury. Inspekcja CCTV może być łączona z innymi metodami (np. profilowaniem laserowym, pomiarem deformacji), co czyni ją nieodzownym narzędziem w zarządzaniu infrastrukturą kanalizacyjną.

Rozróżniamy podstawowe typy zestawów inspekcyjnych (CCTV) :

- **Kamery przenośne tzw. lekkie** – w zakresie średnic od 25 mm do 600 mm, stosowane w krótkich odcinkach (do 60 m), zwykle przewodach o małej średnicy,
- **Kamery samobieżne w obudowie modułowej** – montowane na mobilnym wózku, wyposażone w oświetlenie LED, czujnik spadku, miernik odległości. W zależności od wymagań użytkownika system przenośny modułowy może być wyposażony w kamerę prostopatrzącą a także w kamerę z obrotową głowicą.
- **Systemy inspekcyjne zabudowane w specjalistycznych pojazdach**
Systemy te przystosowane są przede wszystkim do badań długotrwałych. Ze względu na umieszczenie panelu sterującego wewnątrz pojazdu badawczego badania mogą być wykonywane w każdych warunkach atmosferycznych, a profesjonalne wyposażenie pozwala na natychmiastowe sporządzanie raportów z badań.
- **Systemy kombinowane** są również zabudowane na pojazdach specjalistycznych i mają takie same możliwości jak systemy zabudowane na stałe. Różnica tych systemów polega na tym, że oprócz zestawu badawczego mają one także zestaw np. do ciśnieniowego czyszczenia kanałów lub pomiarów szczelności.

4.3.2. Zakres pozyskiwanych informacji

- Lokalizacja i rodzaj uszkodzeń (pęknięcia, przemieszczenia, ubytki),
- Stan złączy i połączeń kielichowych,
- Deformacje i owalizacja przekroju,
- Obecność korzeni, osadów, ciał obcych,
- Ślady infiltracji lub eksfiltracji,
- Stopień zużycia powierzchni wewnętrznej (np. korozja siarczanowa).



4.3.3. Zalety inspekcji CCTV

- Brak konieczności odkopywania rurociągu,
- Precyzyjna lokalizacja uszkodzeń,
- Możliwość oceny odcinków trudno dostępnych,
- Archiwizacja materiału wideo do dalszej analizy,
- Standaryzacja opisu uszkodzeń wg normy PN-EN 13508-2 (system kodów).

4.3.4. Ograniczenia i warunki zastosowania

- Konieczność dostępu do studzienek rewizyjnych,
- Wymagane częściowe lub całkowite odwodnienie rurociągu,
- Ograniczona widoczność przy dużej ilości osadów lub zabrudzeń,
- Konieczność interpretacji przez wykwalifikowanego operatora.

Inspekcja CCTV może być łączona z innymi metodami (np. profilowaniem laserowym, pomiarem deformacji), co czyni ją nieodzownym narzędziem w zarządzaniu infrastrukturą kanalizacyjną. Inspekcje CCTV (kamera TV)

4.4. Próby szczelności

Próby szczelności służą do oceny integralności układów rurociągowych. Są niezbędnym elementem odbioru nowo budowanych instalacji, a także ważnym narzędziem diagnostycznym w przypadku podejrzeń o nieszczelność istniejącej sieci.

4.4.1. Cel i zastosowanie

- Weryfikacja, czy rurociąg nie wykazuje przecieków,
- Ocena jakości wykonania połączeń i materiałów,
- Określenie poziomu strat medium,
- Spełnienie wymogów norm i przepisów technicznych.

4.4.2. Rodzaje prób szczelności

- **Próba wodna (hydrostatyczna)** – polega na napełnieniu odcinka rurociągu wodą i pomiarze spadku ciśnienia w określonym czasie. Stosowana głównie w rurociągach wodociągowych i przemysłowych.
- **Próba powietrzna** – wykorzystuje sprężone powietrze lub azot do oceny szczelności. Wyróżnia się dwie główne metody:
 - Metoda nadciśnieniowa – podanie ciśnienia i obserwacja jego spadku,



- Metoda podciśnieniowa – obniżenie ciśnienia (depresja) i pomiar przyrostu ciśnienia.

- **Próba szczelności kanalizacji grawitacyjnej** – zgodna z PN-EN 1610. Dopuszczalne są straty medium w określonym czasie i objętości.

4.4.3. Wymagania normatywne

- **PN-EN 1610** – Budowa i odbiór systemów kanalizacji zewnętrznej (2002)
- **PN-EN 805** – Zasady projektowania i budowy sieci wodociągowych (2002)
- Dodatkowe wymagania mogą wynikać z przepisów lokalnych, warunków technicznych odbiorów oraz wytycznych producentów.

4.4.4. Przebieg badania szczelności

1. Zatkanie końców rurociągu specjalnymi korkami,
2. Wypełnienie rurociągu wodą lub sprężonym powietrzem,
3. Stabilizacja ciśnienia przez określony czas,
4. Pomiar spadku ciśnienia lub objętości przecieków,
5. Porównanie wyników z dopuszczalnymi normami.

4.4.5. Czynniki wpływające na wynik badania

- Temperatura medium i otoczenia,
- Dokładność urządzeń pomiarowych,
- Długość i średnica badanego odcinka,
- Sposób przygotowania (czystość wnętrza, stan złączy),
- Rodzaj uszczelnień tymczasowych (korki, opaski).

4.4.6. Zastosowanie w praktyce

Próby szczelności są wykorzystywane zarówno na etapie budowy, jak i w eksploatacji. Służą także jako weryfikacja skuteczności przeprowadzonych napraw lub renowacji (np. po instalacji rękawa CIPP lub uszczelnianiu iniekcyjnym).

4.5. Pomiary geodezyjne i laserowe

Pomiary geodezyjne i laserowe służą do oceny geometrycznych właściwości rurociągów, ich ułożenia w terenie, przemieszczeń oraz deformacji. Są nieocenionym narzędziem szczególnie w długich kolektorach kanalizacyjnych i wodociągach posadowionych w niestabilnym gruncie.



4.5.1. Zakres zastosowań

- Pomiar osiadań, przemieszczeń bocznych i pionowych,
- Weryfikacja spadków rurociągów grawitacyjnych,
- Ocena deformacji przekroju poprzecznego,
- Detekcja zapadnięć, pustek i nieciągłości podparcia.

4.5.2. Metody i technologie

- **Tachimetria** – precyzyjne pomiary punktów charakterystycznych (np. dna studzienek, rurociągów, zabudowy). Wykorzystywana głównie do okresowych pomiarów przemieszczeń.
- **Niwelacja precyzyjna** – służy do wykrywania pionowych przemieszczeń terenu i elementów konstrukcyjnych. Znajduje zastosowanie w analizie osiadań i deformacji spowodowanych np. erozją lub ruchem gruntu.
- **Skaning laserowy 3D** – technologia umożliwiająca tworzenie przestrzennych modeli geometrii rurociągów, studzienek oraz ich otoczenia. Umożliwia analizę ovalizacji rur, lokalizację przeszkód i porównań stanu na przestrzeni czasu.
- **Profilowanie laserowe z wnętrza rurociągu** – stosowane łącznie z inspekcją CCTV. Pozwala na precyzyjne odwzorowanie geometrii rury z dokładnością do milimetrów.

4.5.3. Integracja z innymi danymi

Pomiary geodezyjne i laserowe mogą być integrowane z:

- Systemami GIS – umożliwiającymi tworzenie map infrastruktury i analiz przestrzennych,
- Danymi z inspekcji TV – umożliwiającymi powiązanie defektów z dokładną lokalizacją,
- Modelem numerycznym BIM – pozwalającym na trójwymiarową symulację odkształceń i zagrożeń.

4.5.4. Znaczenie dla eksploatacji

Regularne pomiary deformacji i przemieszczeń pozwalają na:

- Wczesne wykrywanie zagrożeń konstrukcyjnych,
- Zapobieganie awariom wynikającym z osiadań i ugięć,
- Dokumentowanie zmian geometrii sieci w czasie,



- Analizę skutków działań zewnętrznych (np. budowy, wibracji, ruchu drogowego). Pomiary geodezyjne i laserowe

Wspierają diagnostykę poprzez wykrywanie przemieszczeń, odkształceń i deformacji osiowych.

- **Tachimetria, niwelacja, skaning 3D** – umożliwiają analizę ugięć, przemieszczeń w czasie, zapadnięć.
- **Zastosowanie:** długie kolektory, sieci narażone na ruchy gruntu.

4.6. Badania materiałowe

Badania materiałowe stanowią istotny element diagnostyki rurociągów, szczególnie w przypadkach uszkodzeń, renowacji lub weryfikacji przydatności danej technologii naprawczej. Wykonywane są zarówno w terenie, jak i w laboratoriach materiałowych.

4.6.1. Zakres badań

- Ocena właściwości mechanicznych materiałów (wytrzymałość, ścieralność, elastyczność),
- Analiza składu chemicznego i mineralogicznego materiału (beton, kamionka, tworzywa sztuczne),
- Ocena stopnia degradacji (korozja, karbonatyzacja, łuszczenie),
- Sprawdzenie przyczepności warstw naprawczych (zgodnie z PN-EN 1542),
- Badania struktury mikroskopowej (mikropęknięcia, pory, defekty).

4.6.2. Metody badawcze

- **Próby zgniatania i rozciągania** – określają odporność materiału na obciążenia osiowe; stosowane głównie dla betonu, tworzyw i metali,
- **Test przyczepności (pull-off)** – pomiar siły odrywania materiału naprawczego od podłoża zgodnie z PN-EN 1542; ważny w ocenie skuteczności powłok i zapraw naprawczych,
- **Analiza chemiczna (np. XRF, XRD)** – umożliwia identyfikację związków powodujących korozję (chlorki, siarczany, kwasy),
- **Mikroskopia optyczna i SEM** – pozwala na analizę struktury i defektów materiałów na poziomie mikro,
- **Penetracja wody i nasiąkliwość** – określają odporność na działanie wilgoci i migrację substancji.



4.6.3. Zastosowanie w praktyce

- Diagnostyka awarii rurociągów betonowych i kamionkowych,
- Ocena materiałów po renowacjach (np. rękawy CIPP, powłoki chemiczne),
- Badania porównawcze materiałów nowych i zdemontowanych,
- Dokumentacja techniczna przy odbiorze inwestycji i napraw.

4.7. Metody specjalistyczne

W diagnostyce infrastruktury podziemnej coraz częściej wykorzystywane są zaawansowane metody specjalistyczne, które umożliwiają ocenę niedostępną tradycyjnymi metodami. Stosowane są w trudnych warunkach terenowych, przy wysokim ryzyku awarii lub do analiz predykcyjnych.

4.7.1. Georadar (GPR – Ground Penetrating Radar)

- Umożliwia nieniszczącą analizę warunków gruntowych i wykrywanie pustek, kawern, kolizji z inną infrastrukturą,
- Wysyła fale elektromagnetyczne, które odbijają się od struktur podziemnych,
- Stosowany do lokalizacji przemieszczeń, pustych przestrzeni, zawaleń pod rurociągami.

4.7.2. Termografia w podczerwieni

- Rejestruje różnice temperatur powierzchni w celu lokalizacji przecieków, utraty ciepła lub infiltracji,
- Szczególnie przydatna w sieciach ciepłych, rurociągach z ciepłą wodą, kanałach technologicznych,
- Umożliwia prowadzenie inspekcji z poziomu terenu, bez ingerencji w rurociąg.

4.7.3. Czujniki włókien optycznych (DTS, DAS)

- Pomiar rozciągłości, ciśnienia, temperatury i drgań na całej długości kabla światłowodowego,
- Umożliwiają ciągły, zdalny monitoring dużych odcinków sieci,
- Reagują na deformacje lub zmiany warunków eksploatacyjnych,
- Stosowane głównie w strategicznych magistralach, sieciach gazowych i wodociągowych.

4.7.4. Akustyczna lokalizacja wycieków

- Rejestruje fale akustyczne emitowane przez wpływające medium,



- Pozwala na lokalizację niewidocznych wycieków w rurociągach ciśnieniowych,
- Może być wykonywana z powierzchni lub wewnątrz rurociągu (np. za pomocą sond).

4.8. Zintegrowane podejście do diagnostyki

Efektywna diagnostyka rurociągów opiera się na połączeniu różnych metod i technologii, które wzajemnie się uzupełniają i umożliwiają kompleksową ocenę stanu technicznego.

4.8.1. Idea podejścia zintegrowanego

- Połączenie danych z inspekcji wizyjnych, pomiarów geometrycznych, analiz materiałowych i obserwacji terenowych,
- Umożliwienie oceny stanu technicznego w kontekście eksploatacji, warunków gruntowych i historii awaryjności,
- Tworzenie kompletnej dokumentacji cyfrowej sieci z pełnym profilem stanu technicznego.

4.8.2. Narzędzia wspomagające integrację danych

- **Systemy GIS** – przestrzenna wizualizacja danych diagnostycznych, ułatwienie analizy ryzyka i planowania napraw,
- **Modele BIM (Building Information Modeling)** – trójwymiarowa wizualizacja obiektów i integracja z danymi eksploatacyjnymi,
- **Systemy zarządzania majątkiem technicznym (AMS)** – wspierają harmonogramowanie przeglądów i planowanie inwestycji,
- **Algorytmy predykcyjne** – analiza danych z wielu lat w celu prognozowania awarii i oceny trwałości.

4.8.3. Praktyczne przykłady zastosowań

- Tworzenie map stanu technicznego sieci kanalizacyjnej w oparciu o inspekcje CCTV i georadar,
- Ocena ryzyka awarii kolektorów burzowych na podstawie danych z pomiarów osiadań i badań materiałowych,
- Planowanie etapów renowacji systemu wodociągowego z uwzględnieniem danych GIS i czujników ciśnienia.



Zintegrowane podejście stanowi fundament nowoczesnego zarządzania infrastrukturą podziemną i pozwala podejmować trafne decyzje inwestycyjne i eksploatacyjne. Podsumowanie

Dobór metody diagnostycznej powinien być wynikiem analizy technicznej, ekonomicznej i organizacyjnej. Kombinacja metod TV, prób szczelności i pomiarów materiałowych pozwala uzyskać kompleksowy obraz stanu sieci i podejmować świadome decyzje dotyczące jej eksploatacji, remontu lub modernizacji.

5. Badania przyczepności według PN-EN 1542

5.1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych aspektów oceny jakości robót naprawczych oraz trwałości renowowanych elementów infrastruktury rurociągowej jest przyczepność materiałów naprawczych do istniejącego podłoża. W szczególności dotyczy to zapraw naprawczych, powłok ochronnych, iniekcji oraz innych systemów stosowanych w odnowie konstrukcji betonowych i żelbetowych. Norma **PN-EN 1542:2000** opisuje szczegółową metodę pomiaru przyczepności za pomocą próby odrywania („pull-off”) i stanowi punkt odniesienia dla projektantów, wykonawców oraz inspektorów technicznych.

Przyczepność odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu szczelności, trwałości i odporności chemicznej naprawionej powierzchni. Niewystarczająca adhezja może prowadzić do wtórnego odspajania się warstw, rozwoju korozji wtórnej oraz skrócenia okresu eksploatacji naprawionej instalacji.

5.2. Zakres i cel badań

Badania przyczepności według PN-EN 1542 mają zastosowanie do:

- oceny skuteczności zapraw reprofilacyjnych i mostków szepnych,
- odbiorów robót naprawczych w kanałach betonowych i komorach kanalizacyjnych,
- diagnostyki istniejących powłok ochronnych,
- kwalifikacji technologii przed rozpoczęciem renowacji (badania wstępne),
- analizy przyczyn uszkodzeń istniejących warstw ochronnych lub iniekcji.

Wyniki badań stanowią podstawę do kwalifikacji rozwiązań naprawczych, zatwierdzania materiałów oraz weryfikacji jakości wykonania.



5.3. Opis metodyki badań

5.3.1. Przygotowanie podłoża

Podłoże betonowe musi być odpowiednio przygotowane – usunięcie luźnych fragmentów, oczyszczenie powierzchni (np. przez piaskowanie, frezowanie, hydromonitoring). Powierzchnia powinna być sucha, jednolita i pozbawiona zanieczyszczeń.

5.3.2. Klejenie krążków testowych

Do badanej powierzchni przykleja się stalowe grzybki o średnicy 50 mm za pomocą odpowiedniego kleju epoksydowego. Po utwardzeniu kleju (min. 24 godziny), wzdłuż obwodu grzybka wykonuje się nacięcie pierścieniowe do głębokości warstwy podkładowej (najczęściej przy użyciu piły diamentowej), co minimalizuje wpływ sił rozciągających poza strefą badania.

5.3.3. Pomiar siły odrywania

Za pomocą specjalnego urządzenia (ręcznego lub hydraulicznego) wywierana jest kontrolowana siła ciągnąca prostopadle do powierzchni betonu. Moment oderwania grzybka rejestrowany jest jako maksymalne naprężenie niszczące (w MPa). Pomiar może być prowadzony manualnie lub automatycznie – w zależności od zastosowanego urządzenia.

5.4. Interpretacja wyników

Wynik badania to maksymalne naprężenie przy odrywaniu, przeliczone na jednostki MPa (N/mm²). Wyniki interpretuje się zgodnie z następującymi kryteriami:

- **Wysoka przyczepność:** $\geq 2,0$ MPa – doskonała adhezja,
- **Zadowalająca przyczepność:** 1,5 – 2,0 MPa – akceptowalna w większości zastosowań kanalizacyjnych,
- **Minimalna przyczepność:** 1,0 – 1,5 MPa – dopuszczalna w warunkach umiarkowanego obciążenia,
- **Niewystarczająca przyczepność:** $< 1,0$ MPa – ryzyko odspojenia, konieczność poprawy technologii.

Dodatkowo analizuje się miejsce zniszczenia:

Tabela 5.1. Zestawienie symbolu i rodzaju zniszczenia w badaniu przyczepności na urządzeniu typu pull-off

Symbol	Rodzaj zniszczenia
1	2
X/Z	W podłożu betonowym



Y/Z	W zaprawie naprawczej
Z/Z	Na granicy faz
A/A	W warstwie kleju

5.5. Wymagania sprzętowe

Do przeprowadzenia badania niezbędne są:

- Grzybki stalowe (50 mm),
- Żywica epoksydowa klasy przemysłowej,
- Urządzenie typu pull-off (z certyfikatem kalibracji),
- Piła do nacinania (z tarczą diamentową),
- Termometr i wilgotnościomierz – do kontroli warunków otoczenia.

5.6. Przykład – badanie kanału betonowego

W trakcie odbioru inwestycji polegającej na renowacji kolektora o średnicy 1200 mm, nałożono warstwę zaprawy mineralnej o grubości 25 mm. Na losowo wybranych odcinkach wykonano 12 prób pull-off. Wyniki:

- Średnia przyczepność: 1,85 MPa,
- 9 wyników powyżej 1,6 MPa,
- 3 wyniki w granicach 1,3–1,5 MPa,
- Typowe zniszczenie: X/Z (beton), sporadycznie Z/Z.

Wnioski: technologia została uznana za skuteczną, a robota przyjęta. Zalecono dodatkowe zabezpieczenie stref z niższą przyczepnością.

5.6.1. Przykładowe wyniki badań przyczepności – analiza i interpretacja

W celu oceny jakości warstwy naprawczej w kolektorze betonowym DN1200 przeprowadzono 12 punktowych badań przyczepności metodą odrywania zgodnie z PN-EN 1542. Dla każdego punktu zarejestrowano wartość naprężenia niszczącego, typ zniszczenia oraz wizualne cechy oderwania. Analiza tych danych umożliwia nie tylko ocenę jakości wiązania zaprawy z podłożem, ale również identyfikację lokalnych defektów technologicznych i potencjalnych punktów krytycznych.

W tabeli poniżej przedstawiono szczegółowe wyniki pomiarów oraz ich interpretację techniczną.



Tabela 5.1. Wyniki badań przyczepności na odcinku kanału betonowego DN1200

Nr prób y	Napężenie odrywania (MPa)	Rodzaj zniszczenia	Opis uszkodzenia	Interpretacja wyniku
1	2	3	4	5
1	2,10	X/Z	Oderwanie w betonie podłożowym	Bardzo dobra przyczepność
2	1,85	X/Z	Zniszczenie betonu	Akceptowalna przyczepność
3	1,40	Z/Z	Odspojenie na granicy zaprawy	Przyczepność na granicy – do poprawy
4	1,60	X/Z	Pęknięcie betonu pod warstwą	Dobre związanie
5	0,95	A/A	Oderwanie w kleju	Wadliwe przygotowanie – powtórzyć próbę
6	1,75	X/Z	Pełne zniszczenie betonu	Wysoka jakość wiązania
7	1,50	Y/Z	Zerwanie w zaprawie	Średnia wytrzymałość zaprawy
8	2,00	X/Z	Rozpad betonu pod zaprawą	Optymalna przyczepność
9	1,35	Z/Z	Odspojenie na styku faz	Graniczna wartość, lokalne osłabienie
10	1,65	X/Z	Pęknięcie strukturalne betonu	Solidna przyczepność
11	1,90	X/Z	Uszkodzenie betonu, brak kawern	Wysoka jakość powierzchni
12	1,20	Y/Z	Rozwarstwienie w zaprawie	Ryzyko niskiej trwałości – zalecana poprawa

5.7. Zalety i ograniczenia metody

Zalety:

- zgodność z europejskimi normami (EN 1504),
- bezpośredni pomiar mechaniczny,
- możliwość zastosowania zarówno w warunkach terenowych, jak i laboratoryjnych,
- jednoznaczna interpretacja jakości napraw.

Ograniczenia:

- konieczność wykonywania licznych pomiarów na większych powierzchniach,
- wynik zależy od jakości przygotowania próbki,
- wrażliwość na warunki środowiskowe (temperatura, wilgotność),
- czasochłonność – zwłaszcza przy wielu stanowiskach badawczych.



5.8. Znaczenie w zarządzaniu infrastrukturą

Badania przyczepności stanowią nieodzowny element nowoczesnego zarządzania infrastrukturą rurociągową. Umożliwiają:

- Weryfikację jakości materiałów i robót naprawczych,
- Kontrolę technologii renowacyjnych (CIPP, natryski, torkret),
- Podejmowanie świadomych decyzji o odbiorze robót,
- Porównanie skuteczności różnych typów zapraw,
- Dokumentację techniczną robót i materiałów.

5.9. Podsumowanie

Badanie przyczepności metodą odrywania, zgodnie z PN-EN 1542, jest skuteczną i szeroko uznaną metodą oceny jakości robót naprawczych i renowacyjnych. Dzięki standaryzowanej procedurze pozwala uzyskać obiektywne i porównywalne wyniki, które są niezbędne do zapewnienia trwałości i bezpieczeństwa eksploatacyjnego rurociągów kanalizacyjnych i wodociągowych.

6. Inspekcja CCTV i klasyfikacja uszkodzeń kanalizacji- Przykład

6.1. Wprowadzenie

Inspekcja telewizyjna (CCTV – ClosedCircuitTelevision) stanowi podstawową i powszechnie stosowaną metodę diagnostyczną w inwentaryzacji i ocenie stanu technicznego kanalizacji grawitacyjnej. Umożliwia ona bezinwazyjną ocenę stanu wnętrza przewodów kanalizacyjnych, pozwalając na wykrycie defektów konstrukcyjnych, zatorów, deformacji, korzeni oraz miejsc infiltracji czy eksfiltracji. Dzięki zastosowaniu specjalistycznych kamer możliwa jest rejestracja obrazu oraz pomiar parametrów geometrycznych kanału, takich jak owalizacja czy przemieszczenia złączy.

CCTV stanowi dziś fundament nowoczesnego zarządzania majątkiem kanalizacyjnym. W połączeniu z systemami GIS i bazami danych inspekcje te pozwalają na tworzenie map stanu technicznego, ocenę ryzyka awarii, planowanie remontów oraz optymalizację budżetów inwestycyjnych.

6.2. Oprogramowanie

Nowoczesne systemy CCTV są zintegrowane z:

- oprogramowaniem do rejestracji obrazu i danych (prędkość przesuwu, odległość, spadek),



- bazami danych GIS (lokalizacja geograficzna uszkodzeń),
- systemami kodowania uszkodzeń wg PN-EN 13508-2,
- algorytmami wspomagającymi analizę defektów i generowanie raportów.

6.3. Procedura inspekcji TV

1. **Czyszczenie kanału** – niezbędne do uzyskania czytelnego obrazu. Stosuje się metody hydrodynamiczne (płukanie) lub mechaniczne (wymiatacze).
2. **Przygotowanie sprzętu** – kalibracja, weryfikacja zasięgu, sprawdzenie źródeł światła.
3. **Inspekcja od studni do studni** – rejestracja obrazu, tworzenie raportów badania (zgodnie z normami).
4. **Dokumentacja** – zapis wideo, opis defektów, kodowanie usterek zgodnie z PN-EN 13508-2.
5. **Raportowanie** – wygenerowanie arkusza wyników, ocena stanu technicznego, propozycje działań.

W zależności od typu sieci (kanalizacja sanitarna, deszczowa, ogólnospławna), inspekcja może być wykonywana cyklicznie (np. co 5 lat) lub w trybie interwencyjnym.

6.4. Klasyfikacja uszkodzeń według PN-EN 13508-2

Norma wprowadza ujednolicony sposób kodowania usterek kanalizacji, co pozwala na porównywanie danych niezależnie od operatora czy lokalizacji. Każdy defekt otrzymuje kod, np. J03 (przemieszczenie złącza), G04 (owalizacja), R01 (penetracja korzeni).

6.4.1. Kategorie defektów (uszkodzeń) :

- **S** – uszkodzenia strukturalne (pęknięcia, rozwarstwienia),
- **J** – uszkodzenia złączy (rozwarcia, przemieszczenia),
- **G** – geometryczne deformacje (owalizacja, zapadnięcia),
- **I** – infiltracje (przesiákanie wody gruntowej),
- **R** – korzenie (penetracja, deformacja przewodu),
- **D** – zanieczyszczenia (osady, śmieci),
- **B** – przeszkody (kamienie, złoży),



- **Z** – inne obserwacje (np. brak danych, wady konstrukcyjne).

6.5. Ocena stanu technicznego

Na podstawie zidentyfikowanych uszkodzeń możliwa jest klasyfikacja stanu technicznego rurociągu, najczęściej wg 5-stopniowej skali:

[tekst alternatywny: w tabeli 6.5 w kolumnie „Klasa” zestawiono pięć kolejnych klas uszkodzeń przewodów dla których w kolejnych kolumnach 2 i kolumnie 3 podano odpowiadający stan techniczny przewodu i jego charakterystykę. Np. jeśli badany kanał nie wykazuje żadnych nieprawidłowości, jest drożny i funkcjonuje poprawnie jego stan oceniamy jako bardzo dobry i przypisujemy mu klasę „0” (kolumna1)]

Tabela 6.1. Klasyfikacja uszkodzeń według PN-EN 13508-2

Klasa	Opis stanu	Charakterystyka
1	2	3
0	Bardzo dobry	Brak uszkodzeń, pełna drożność
1	Dobry	Drobne defekty, nie wpływają na eksploatację
2	Umiarkowany	Usterki wymagające monitorowania
3	Zły	Znaczne uszkodzenia, zalecana renowacja
4	Bardzo zły	Awarie krytyczne, ryzyko awarii, konieczna wymiana

Ocena może być przeprowadzona manualnie lub wspomagana programami klasyfikującymi (np. WinCan, SewerCad).

6.6. Przykład raportu inspekcji: raport z inspekcji odcinka kanalizacji DN400

Odcinek inspekcyjny:

Studzienka początkowa: S12

Studzienka końcowa: S13

Długość odcinka: 48,3 m

Rodzaj kanału: grawitacyjny, DN400, materiał: beton B45

Data inspekcji: 14.05.2025 r.

Operator: MPWiK Diagnostyka Sp. z o.o.

Warunki inspekcji:

- Pełne odwodnienie kanału przy użyciu pompy zatapialnej ($Q = 15 \text{ l/s}$),
- Wstępne płukanie hydrodynamiczne (ciśnienie robocze 120 bar),
- Temperatura: $+12^\circ\text{C}$, pogoda sucha, brak napływów bocznych,
- Wykorzystana kamera: samojezdna, obrotowa z laserem profilującym,



- Kierunek inspekcji: S13 → S12 (pod prąd spływu).

Tabela 6.2. Zestawienie wyników inspekcji CCTV odcinka kanalizacji DN 400
materiał: beton B45

Nr	Lokalizacja (m)	Kod wg PN- EN 13508-2	Opis defektu	Uwagi techniczne
1	2	3	4	5
1	7,2	G04	Owalizacja>20%	Ryzyko deformacji statycznej, niestabilność
2	9,8	R01	Penetracja korzeni przez złącze	Aktywne zarastanie, spowolnienie przepływu
3	22,0–34,5	D02	Osadydenne>30% przekroju	Utrudniony przepływ, przyspieszona korozja
4	26,4	J03	Przemieszczenie kielicha (2 cm mimośrodowo)	Ryzyko infiltracji i utraty szczelności
5	28,5	R01	Kolejny punkt penetracji korzeni	Zwiększone ryzyko niedrożności

Ocena stanu technicznego odcinka

Na podstawie liczby i rodzaju defektów oraz ich wpływu na funkcjonowanie przewodu, oceniono odcinek jako:

Klasa 3 – Zły stan techniczny

- Kilka defektów strukturalnych i eksploatacyjnych o charakterze średnim do poważnego,
- Znaczne pogorszenie hydrauliki przepływu,
- Potencjalne ryzyko lokalnych przecieków, zapadnięć i degradacji strukturalnej w przyszłości.

Zalecenia eksploatacyjne i remontowe

- Mechaniczne usunięcie korzeni w punktach 9,8 m i 28,5 m (frezowanie lub cięcie strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem),



- Punktowa renowacja kielicha w pozycji 26,4 m (np. przy użyciu pakera z rękawem epoksydowym),
- Czyszczenie odcinka 22,0–34,5 m – usunięcie osadów denne z użyciem dysz rotacyjnych,
- Monitoring owalizacji – ponowna inspekcja za 6 miesięcy, ewentualne wzmocnienie odcinka z owalizacją powyżej 20%.

6.7. Znaczenie dla zarządzania infrastrukturą

Inspekcje TV są niezbędnym narzędziem wspierającym racjonalne zarządzanie infrastrukturą kanalizacyjną. Umożliwiają:

- Tworzenie cyfrowych map stanu technicznego,
- Planowanie remontów i renowacji,
- Wczesne wykrycie zagrożeń strukturalnych,
- Optymalizację kosztów eksploatacyjnych,
- Analizy porównawcze i predykcyjne (w połączeniu z AI i GIS).

Powtarzalność inspekcji co kilka lat pozwala na ocenę tempa degradacji i skuteczności działań naprawczych. Dane z CCTV powinny być zintegrowane z bazami danych GIS i służyć jako podstawa dla programów modernizacji sieci.

7. Analiza wyników badań wybranych metod diagnostycznych

7.1. Wprowadzenie

Analiza wyników badań diagnostycznych rurociągów stanowi kluczowy etap w procesie oceny ich stanu technicznego, planowania remontów oraz zarządzania infrastrukturą miast czy wsi. Właściwa interpretacja danych uzyskanych z badań diagnostycznych (inspekcji CCTV, prób szczelności, badań materiałowych i pomiarów przyczepności itp.) umożliwia identyfikację stref ryzyka, ocenę przyczyn uszkodzeń oraz dobór optymalnych technologii naprawczych. Celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie zasad analizy wyników diagnostycznych z różnych źródeł oraz ich integracji w ramach całościowej oceny technicznej.

Analiza wyników powinna być prowadzona nie tylko w aspekcie zgodności z wymaganiami normowymi, ale również z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań



eksploatacyjnych, historii awaryjności danego odcinka oraz rodzaju transportowanego medium. Tylko kompleksowe podejście pozwala na trafna interpretacje i sformułowanie rekomendacji.

7.2. Ocena danych z inspekcji CCTV

Inspekcje telewizyjne (CCTV) dostarczają szczegółowych informacji o stanie wewnętrznym przewodów kanalizacyjnych. Na podstawie zarejestrowanego obrazu oraz klasyfikacji uszkodzeń zgodnie z normą PN-EN 13508-2, możliwa jest obiektywna ocena defektów i ich wpływu na funkcjonowanie sieci.

Typowe dane podlegające analizie:

- rodzaj i liczba uszkodzeń (np. rysy, pęknięcia, opalizacja kształtu, przesunięcie w osi rurociągu, penetracja korzeni),
- lokalizacja uszkodzeń (odległość od studzienki początkowej),
- stopień zaburzenia hydrauliki (np. osady denne >30% przekroju),
- stan złączy kielichowych i połączeń przewodów,
- zmiany przekroju geometrycznego (owalizacja, zapadnięcia),
- występowanie infiltracji lub eksfiltracji.

Na podstawie tych danych klasyfikuje się odcinki sieci w 5-stopniowej skali (0 – bardzo dobry, 5 – bardzo zły), co pozwala ustalać priorytety remontowe oraz planować renowacje. Dodatkowo możliwa jest identyfikacja trendów degradacji, szczególnie przy powtarzaniu inspekcji w kolejnych latach.

Ważnym aspektem analizy danych z CCTV jest także porównanie wyników z mapami sieci GIS oraz integracja z innymi danymi, np. z historii awarii, prób szczelności lub badań geodezyjnych.

7.3. Interpretacja wyników prób szczelności

Próby szczelności są stosowane w celu weryfikacji integralności rurociągów i poprawności wykonania połączeń. Wyniki interpretowane są w oparciu o dopuszczalne wartości strat medium określone w normach PN-EN 1610 (dla kanalizacji) i PN-EN 805 (dla wodociągów).

Analizie podlegają:

- wartość spadku ciśnienia w czasie,
- objętość przecieków,



- ewentualne nieszczelności na złączach lub uszczelkach,
- warunki środowiskowe (temperatura, długość odcinka, materiał),
- czas stabilizacji ciśnienia,
- szczelność po naprawach lub renowacjach.

Wynik pozytywny próby oznacza spełnienie wymagań normowych, zaś wynik negatywny wskazuje na konieczność lokalizacji i usunięcia defektów (nieprawidłowości), a następnie powtórzenia badania. Szczególną uwagę zwraca się na szczelność po renowacjach (np. rękaw CIPP), przed odbiorem nowej instalacji oraz po naprawach awaryjnych.

Interpretacja wyników powinna uwzględniać także porównanie do danych z poprzednich badań, aby ocenić tempo pogarszania się szczelności i wskazać najbardziej zagrożone odcinki sieci.

7.4. Ocena przyczepności materiałów wg PN-EN 1542

Badania przyczepności metoda odrywania (pull-off), zgodnie z PN-EN 1542, służą ocenie jakości warstw naprawczych, powłok i zapraw stosowanych w kanałach betonowych i komorach inspekcyjnych. Podstawą analizy są:

- wartości naprężenia niszczącego (w MPa),
- lokalizacja zniszczenia (w betonie, zaprawie, na granicy faz),
- rozkład wyników na różnych odcinkach rurociągu,
- porównanie do progów technicznych:
 - $\geq 2,0$ MPa – bardzo dobra przyczepność,
 - 1,5–2,0 MPa – zadowalająca,
 - 1,0–1,5 MPa – graniczna,
 - $< 1,0$ MPa – niedostateczna.

Interpretacja wyników pozwala ocenić skuteczność technologii naprawczych i zdecydować o dopuszczeniu robót do odbioru. Analiza typów zniszczeń umożliwia identyfikację błędów wykonawczych (np. niewłaściwe przygotowanie podłoża, zły klej, brak równomiernego nałożenia zaprawy).

W praktyce zaleca się wykonanie badań przyczepności na etapie odbioru inwestycji oraz w ramach oceny skuteczności napraw eksploatacyjnych. Dane z tych badań powinny być przechowywane w bazie danych sieci.



7.5. Zintegrowana analiza danych diagnostycznych

Największa wartość poznawcza uzyskuje się poprzez połączenie danych z różnych metod diagnostycznych. Przypadki integracji wyników mogą obejmować:

- połączenie danych z CCTV i prób szczelności – np. uszkodzone złącze wykryte wizualnie i potwierdzone przeciekiem,
- korelacja badań przyczepności z analiza uszkodzeń powłok ochronnych – wykrycie stref niskiej adhezji,
- integracja z danymi GIS i georadaru w celu wykrycia pustek i deformacji,
- tworzenie map ryzyka i profili technicznych rurociągów,
- wspomaganie decyzji remontowych na podstawie algorytmów punktacji technicznej.

Zintegrowana analiza umożliwia:

- prognozowanie degradacji i planowanie działań prewencyjnych,
- optymalizację budżetów inwestycyjnych,
- obniżenie ryzyka awarii krytycznych i przestojów,
- wskazanie technologii naprawczych adekwatnych do typu i rozmiaru uszkodzenia,
- kompleksowe zarządzanie cyklem życia infrastruktury.

W systemach zarządzania majątkiem technicznym (AMS) można wprowadzić macierze decyzyjne, które na podstawie danych z różnych badań przypisują status techniczny oraz sugerują plan działania (np. inspekcja ponowna, renowacja punktowa, wymiana całkowita).

Analiza wyników badań diagnostycznych jest niezbędnym narzędziem skutecznego zarządzania infrastrukturą. Umożliwia wczesne wykrywanie defektów, ocenę jakości robot naprawczych oraz podejmowanie świadomych decyzji inwestycyjnych. Zastosowanie spójnych kryteriów oceny i integracja danych z różnych źródeł zwiększają trafność diagnozy technicznej oraz skuteczność działań remontowych.

Kompleksowe podejście analityczne powinno stanowić standard praktyki inżynierskiej w gospodarce wodno-ściekowej, zapewniając bezpieczeństwo sanitarne, ciągłość usług oraz racjonalne wykorzystanie środków finansowych.



8. Badania wytrzymałościowe materiałów rurociągów

8.1. Wprowadzenie

Badania wytrzymałościowe materiałów są kluczowym elementem oceny przydatności i trwałości elementów rurociągowych, zarówno na etapie projektowania, jak i eksploatacji czy diagnostyki. Celem tych badań jest określenie odporności materiału na obciążenia mechaniczne, czynniki chemiczne, wpływ środowiska gruntowego oraz długotrwałe działanie warunków eksploatacyjnych. Prawidłowo przeprowadzone badania pozwalają na weryfikację jakości dostarczonych materiałów, identyfikację przyczyn awarii oraz określenie stanu technicznego istniejącej infrastruktury.

W niniejszym rozdziale przedstawiono podstawowe metody badań wytrzymałościowych stosowane dla rur betonowych, kamionkowych, z tworzyw sztucznych oraz żeliwnych i stalowych, ze szczególnym uwzględnieniem obowiązujących norm (m.in. PN-EN 1916, PN-EN 295) i kryteriów oceny. Omówiono również znaczenie tych badań w kontekście doboru technologii naprawczych i planowania renowacji.

8.2. Klasyfikacja metod badań wytrzymałościowych

W zależności od rodzaju materiału i przeznaczenia rurociągu, stosuje się różnorodne metody badań wytrzymałościowych. Do najczęściej stosowanych należą:

- **Próba zgniatania** – ocena odporności rury na obciążenie osiowe lub poprzeczne; stosowana głównie dla rur betonowych, kamionkowych i żeliwnych,
- **Próba ścieralności** – badanie odporności wewnętrznej powierzchni rury na zużycie spowodowane przepływem zawiesin,
- **Badania nasiąkliwości i penetracji wody** – określenie porowatości materiału i jego zdolności do absorpcji wilgoci,
- **Badania odporności chemicznej** – sprawdzanie reakcji materiału na działanie agresywnych substancji chemicznych,
- **Badania mikroskopowe (SEM, optyczne)** – analiza mikrostruktur, pęknięć, porów i defektów wewnętrznych,
- **Badania dynamiczne** – odporność na uderzenia, drgania, cykliczne obciążenia i zmęczenie materiału,



- **Próby starzeniowe** – ocena trwałości materiałów pod wpływem czynników środowiskowych (promieniowanie UV, temperatura, wilgotność).

Wybór metody zależy od rodzaju materiału, warunków eksploatacji, oczekiwanej trwałości oraz rodzaju wykrytego lub spodziewanego uszkodzenia.

8.3. Rury betonowe i żelbetowe (PN-EN 1916)

Dla rur betonowych i żelbetowych podstawowym badaniem wytrzymałościowym jest **próba zgniatania**, przeprowadzana zgodnie z PN-EN 1916. Próba polega na umieszczeniu rury w stanowisku badawczym i stopniowym przykładaniu siły pionowej aż do zniszczenia struktury.

Parametry oceniane:

- Maksymalna siła niszcząca (w kN),
- Klasa wytrzymałości (np. 135, 160, 200),
- Rodzaj uszkodzenia (zarysowanie, pęknięcie, rozwarstwienie),
- Odchyłki geometryczne,
- Jakość powierzchni i krawędzi.

Dodatkowo wykonuje się:

- **Badania nasiąkliwości** – określenie zdolności do pochłaniania wody,
- **Badania mrozoodporności** – ocena zachowania materiału w warunkach cyklicznego zamarzania i odmarzania,
- **Odporność na korozję siarczanową** – szczególnie istotna w sieciach kanalizacji sanitarnej z obecnością H_2S .

Wyniki badań służą do weryfikacji zgodności produktu z dokumentacją projektową i normatywną oraz do oceny przydatności rur do renowacji rękawem, impregnacji lub wymiany.

8.4. Rury kamionkowe (PN-EN 295)

Rury z kamionki, ze względu na swoją trwałość, odporność chemiczną i ścieralność, znajdują zastosowanie głównie w kanalizacji grawitacyjnej. Norma PN-EN 295 określa metody badań, które obejmują:

- **Próby wytrzymałości na zginanie i zgniatanie** – określenie nośności przy typowych warunkach eksploatacyjnych,



- **Badania nasiąkliwości** – maksymalny dopuszczalny poziom nasiąkliwości to zwykle $< 6\%$,
- **Testy ścieralności** – z wykorzystaniem ściernych zawieszin,
- **Odporność na szok termiczny** – nagłe zmiany temperatury,
- **Odporność na działanie ścieków agresywnych** – np. zawierających kwasy, sole i zasady.

Dzięki tym badaniom możliwa jest ocena trwałości systemu kamionkowego nawet przy długotrwałym kontakcie z agresywnym środowiskiem ściekowym.

8.5. Rury z tworzyw sztucznych (PVC, PE, PP)

Nowoczesne systemy kanalizacyjne i wodociągowe często wykorzystują rury z tworzyw sztucznych, które charakteryzują się lekkością, odpornością chemiczną i łatwością montażu. Badania wytrzymałościowe obejmują:

- **Próby rozciągania** – określenie granicy plastyczności, modułu sprężystości, wydłużenia przy zerwaniu,
- **Próby udarności** – test Charpy'ego (w temperaturze otoczenia i obniżonej),
- **Splaszczanie** – odporność na deformację pod obciążeniem gruntu,
- **Badania starzeniowe** – ocena stabilności wymiarowej i właściwości mechanicznych po długotrwałym działaniu UV, temperatury,
- **Odporność chemiczna** – kontakt z roztworami kwasów, zasad i olejów,
- **Testy szczelności złączy** – szczególnie ważne dla rur PEHD i zgrzewanych połączeń.

Ocena wyników pozwala na kwalifikację rur do zastosowania w kanalizacji ciśnieniowej, grawitacyjnej, technologicznej lub przemysłowej.

8.6. Inne materiały: żeliwo sferoidalne i stal

Rury z żeliwa sferoidalnego i stali stosowane są głównie w sieciach wodociągowych i przemysłowych. Badania obejmują:

- **Wytrzymałość na rozciąganie i zgniatanie,**
- **Twardość powierzchniową (Brinella, Rockwella, Vickersa),**
- **Analizę mikrostruktury,**



- **Badania grubości i ciągłości powłok ochronnych** (bitumicznych, epoksydowych, cynkowych),
- **Odporność na korozję elektrochemiczną** (np. w obecności prądów błędzących),
- **Jakość połączeń spawanych** – w przypadku stalowych przewodów technologicznych.

Żeliwo sferoidalne cechuje się wysoką nośnością i elastycznością, dzięki czemu jest odporne na pęknięcia kruche. Stal natomiast, ze względu na wyższą podatność na korozję, wymaga precyzyjnej ochrony antykorozyjnej.

8.7. Znaczenie badań wytrzymałościowych w praktyce

Badania wytrzymałościowe mają zasadnicze znaczenie dla:

- Oceny zgodności materiału z dokumentacją projektową i obowiązującymi normami,
- Kwalifikacji i zatwierdzania materiałów do stosowania w projektach inwestycyjnych,
- Weryfikacji przyczyn awarii (pęknięcia, deformacje, osłabienia materiału),
- Oceny skuteczności i trwałości technologii naprawczych,
- Planowania strategii modernizacji, renowacji i wymiany sieci,
- Tworzenia dokumentacji technicznej dla zarządców infrastruktury i wykonawców.

Współczesna diagnostyka rurociągów nie może funkcjonować bez kompleksowych badań wytrzymałościowych. Stanowią one nie tylko element kontroli jakości, ale przede wszystkim źródło danych o realnej trwałości, niezawodności i odporności systemów rurociągowych eksploatowanych w złożonych warunkach środowiskowych.

Zaleca się, aby wyniki badań były archiwizowane w bazach danych systemów zarządzania majątkiem sieciowym (np. GIS, AMS), a także regularnie aktualizowane w ramach strategii utrzymania infrastruktury w dobrym stanie technicznym.



9. Technologie napraw i renowacji rurociągów

9.1. Klasyfikacja metod renowacyjnych

Współczesne podejście do utrzymania i modernizacji sieci wodociągowych i kanalizacyjnych opiera się na coraz powszechniejszym stosowaniu metod renowacyjnych, które umożliwiają przywrócenie sprawności technicznej rurociągów bez konieczności ich całkowitej wymiany.

Znaczenie tych metod rośnie w obliczu starzejącej się infrastruktury miejskiej, ograniczonego dostępu do środków finansowych oraz rosnących wymagań środowiskowych.

Z punktu widzenia technologicznego, metody napraw i renowacji dzieli się na:

- **Metody bezwykopowe** (ang. trenchlesstechnologies) – realizowane bez prowadzenia wykopów liniowych na całej długości rurociągu, z minimalną ingerencją w infrastrukturę powierzchniową,
- **Metody wykopowe** – tradycyjne podejście polegające na całkowitym odkryciu i wymianie uszkodzonego odcinka sieci,
- **Metody hybrydowe** – łączące elementy technologii bezwykopowych z koniecznością wykonania punktowych wykopów inspekcyjnych lub dostępowych.

Dobór metody zależy od szeregu czynników, takich jak: lokalizacja sieci, rodzaj i zakres uszkodzeń, średnica i materiał przewodu, dostępność punktów rewizyjnych, uwarunkowania środowiskowe oraz budżet inwestycyjny.

9.2. Technologie bezwykopowe – wybrane metody

9.2.1. CIPP (Cured in Place Pipe)

CIPP to jedna z najczęściej stosowanych technologii bezwykopowych. Polega ona na wprowadzeniu do wnętrza istniejącego przewodu elastycznego rękawa nasączonego żywicą syntetyczną. Rękaw układa się w przewodzie przy pomocy ciśnienia wody lub powietrza, a następnie utwardza się go termicznie (gorąca woda, para) lub promieniowaniem UV.

Zalety technologii CIPP:

- Brak konieczności prowadzenia wykopów liniowych,
- Możliwość renowacji przewodów o znacznych deformacjach (np. owalizacja),



- Stosowana w przewodach o różnych średnicach (od DN150 do DN1200 i większych),
- Szybkość wykonania i ograniczenie czasu wyłączenia sieci.

Ograniczenia:

- Konieczność dokładnego przygotowania odcinka (czyszczenie, inspekcja, zabezpieczenie dopływów),
- Ograniczenia w przypadku ostrych załamania i zmian kierunku,
- Wysoki koszt materiałów żywicznych i urządzeń do utwardzania.

9.2.2. Relining

Metoda ta polega na wprowadzeniu do istniejącego przewodu nowej rury o mniejszej średnicy, zwykle wykonanej z PE-HD, PP lub PVC. Rura może być wciągana lub przeciągana na całej długości odcinka, a następnie uszczelniana w studzienkach rewizyjnych.

Zalety:

- Trwałe i odporne chemicznie wkłady rurowe,
- Stosunkowo prosty montaż przy zachowanej drożności istniejącego przewodu,
- Możliwość stosowania w przewodach ciśnieniowych i grawitacyjnych.

Ograniczenia:

- Zmniejszenie średnicy hydraulicznej,
- Wymagana prostoliniowość odcinka,
- Ograniczenia przy dużych deformacjach strukturalnych.

9.2.3. Naprawy punktowe (shortliner)

Technologia ta znajduje zastosowanie przy lokalnych defektach, takich jak pęknięcia, przecieki, infiltracje korzeni czy nieszczelności złączy. Wykorzystuje się krótki odcinek rękawa nasączonego żywicą, który jest pozycjonowany i rozprężany w miejscu uszkodzenia za pomocą packera.

Zalety:

- Szybka interwencja bez konieczności całkowitego wyłączenia sieci,
- Możliwość wykonywania wielu napraw w ciągu jednego dnia,



- Niskie koszty sprzętowe i materiałowe.

Ograniczenia:

- Ograniczona długość naprawianego odcinka (zwykle do 1,5 m),
- Niska skuteczność przy rozległych uszkodzeniach lub deformacjach strukturalnych.

9.2.4. Mikrotunelowanie i przewiertu sterowane (HDD)

Zaawansowane metody pozwalające na budowę nowych odcinków sieci lub omijanie zniszczonych fragmentów bez konieczności odkrywania terenu. Mikrotunelowanie odbywa się przy pomocy specjalnych głowic sterowanych geodezyjnie, natomiast HDD (Horizontal Directional Drilling) pozwala na prowadzenie instalacji pod przeszkodami terenowymi (np. drogami, rzekami).

Zalety:

- Precyzyjne prowadzenie trasy,
- Brak konieczności ingerencji w infrastrukturę powierzchniową,
- Możliwość pracy w trudnych warunkach geotechnicznych.

Ograniczenia:

- Wysokie koszty wykonania i sprzętu,
- Konieczność szczegółowej dokumentacji geotechnicznej,
- Wysokie wymagania w zakresie nadzoru technicznego.

9.3. Naprawy lokalne i uszczelnienia

Poza kompleksowymi technologiami renowacyjnymi, często stosuje się doraźne metody uszczelniania i napraw lokalnych, które pozwalają na utrzymanie ciągłości eksploatacyjnej sieci do momentu planowanej modernizacji.

Stosowane rozwiązania obejmują:

- **Wypełnianie pęknięć i rys** przy użyciu żywic epoksydowych, poliuretanowych lub silikonowych,
- **Zatamowanie infiltracji i przecieków** za pomocą iniekcji ciśnieniowych,
- **Naprawa uszkodzonych złączy** przez montaż opasek gumowych lub stalowych,



- **Zastosowanie zapraw mineralnych (PCC)** do odbudowy ubytków ścian i dna przewodów,
- **Naprawy od wewnątrz** z wykorzystaniem mas bitumicznych, cementowych i polimerowych.

Metody te są szczególnie przydatne przy czasowym zabezpieczeniu sieci lub jako działania komplementarne do technologii CIPP i reliningu.

9.4. Kryteria doboru technologii naprawczej

Dobór właściwej metody naprawy wymaga przeprowadzenia kompleksowej oceny stanu technicznego rurociągu, z uwzględnieniem:

- Typu i skali uszkodzenia (np. spękania, owalizacja, przecieki, deformacje),
- Materiału konstrukcyjnego (np. beton, kamionka, tworzywa sztuczne, żeliwo),
- Średnicy przewodu i długości odcinka naprawy,
- Dostępności studni rewizyjnych i komór roboczych,
- Warunków lokalnych (np. gęstość zabudowy, układ komunikacyjny),
- Wymagań eksploatacyjnych (np. ciśnienie robocze, obciążenie ściekami agresywnymi),
- Budżetu i harmonogramu inwestycji,
- Uwarunkowań prawnych i środowiskowych.

Przed wyborem metody zaleca się wykonanie inspekcji TV, badań strukturalnych (np. próby wytrzymałościowe, przyczepności wg PN-EN 1542) oraz klasyfikacji odcinka według skali stanu technicznego (np. WRc, PN-EN 13508-2).

9.5. Dokumentacja powykonawcza i odbiór robót

Każda renowacja powinna zakończyć się przygotowaniem dokumentacji powykonawczej, która potwierdza zgodność wykonanych prac z wymaganiami projektowymi, normami i obowiązującymi przepisami.

Elementy dokumentacji:

- Protokoły z prób szczelności i przyczepności (PN-EN 1610, PN-EN 1542),
- Raporty z inspekcji CCTV wykonanej po zakończeniu prac,
- Certyfikaty i karty techniczne użytych materiałów,
- Plan sytuacyjny z naniesionymi miejscami napraw,



- Opis technologii oraz kolejności wykonania prac,
- Zalecenia eksploatacyjne i harmonogram przeglądów okresowych,
- Dokumentacja fotograficzna i wideo.

W przypadku dużych systemów infrastrukturalnych dane te powinny być wprowadzone do cyfrowych systemów zarządzania majątkiem technicznym (np. GIS, CMMS), co pozwala na bieżący monitoring stanu sieci i planowanie działań konserwacyjnych.

Zastosowanie odpowiednio dobranych technologii napraw i renowacji jest niezbędne dla zapewnienia długoterminowej niezawodności systemów rurociągowych. W połączeniu z dokładną diagnostyką oraz rzetelną dokumentacją powykonawczą stanowi to fundament nowoczesnego zarządzania infrastrukturą podziemną.

10. Podsumowanie i wnioski

W niniejszym opracowaniu przedstawiono kompleksowe zagadnienia związane z diagnostyką techniczną rurociągów kanalizacyjnych i wodociągowych. Omówiono podstawy teoretyczne dotyczące uszkodzeń i starzenia się materiałów rurociągowych, znaczenie systematycznej diagnostyki oraz normy i procedury obowiązujące w zakresie oceny stanu technicznego.

Szczególną uwagę poświęcono metodom badawczym, takim jak inspekcja CCTV, badania przyczepności wg PN-EN 1542, próby szczelności wg PN-EN 1610 oraz analiza wizualna i klasyfikacja uszkodzeń wg PN-EN 13508-2. W dalszej części dokumentu przedstawiono analizę i interpretację wyników diagnostycznych, w tym kryteria oceny stanu technicznego i prognozy eksploatacyjne.

Na koniec omówiono nowoczesne technologie renowacji i napraw rurociągów, z uwzględnieniem metod bezwykopowych (CIPP, relining, naprawy punktowe), jak również zasady dokumentacji powykonawczej i odbioru robót.

Wnioski praktyczne

1. Diagnostyka rurociągów jest kluczowym narzędziem zarządzania infrastrukturą podziemną. Pozwala na wczesne wykrywanie uszkodzeń, planowanie remontów i minimalizację kosztów awaryjnych.
2. Regularne stosowanie inspekcji TV i badań wytrzymałościowych zgodnych z odpowiednimi normami technicznymi pozwala na obiektywną ocenę stanu technicznego i planowanie inwestycji odtworzeniowych.



3. Dobór technologii naprawczej powinien wynikać z analizy wyników badań, warunków lokalnych i prognozy dalszej eksploatacji. Nie istnieje metoda uniwersalna – każdy przypadek wymaga indywidualnego podejścia.
4. Dokumentacja powykonawcza jest niezbędnym elementem renowacji i powinna być zintegrowana z cyfrowymi systemami zarządzania siecią (GIS, AM, CMMS), co usprawnia nadzór techniczny i planowanie konserwacji.
5. Kierunki rozwoju diagnostyki rurociągów obejmują automatyzację inspekcji, analizę obrazów z wykorzystaniem AI oraz zintegrowane systemy predykcji stanu technicznego.

Omawiane zagadnienia są istotnym elementem wykształcenia przyszłych inżynierów branży sanitarnej i komunalnej. Znajomość metod diagnostycznych, procedur normowych oraz zasad planowania remontów stanowi nieodzowny element kompetencji projektanta, inspektora nadzoru oraz operatora sieci.

Zarówno podczas projektowania nowych inwestycji, jak i przy eksploatacji systemów istniejących, inżynier powinien kierować się danymi technicznymi, wynikami badań oraz dostępnymi technologiami renowacyjnymi.

Zwieńczeniem niniejszego opracowania jest praktyczne przygotowanie do rozpoznawania problemów infrastruktury rurociągowej oraz podejmowania decyzji naprawczych w oparciu o obiektywne dane i standardy inżynierskie.



11. Zestawienie literatury:

1. Dz.U.2003.169.1650 t.j. - Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy Stan prawny aktualny na dzień: 10.08.2025
2. Dz.U.1993.96.437 - Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 1 października 1993 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy eksploatacji, remontach i konserwacji sieci kanalizacyjnych
3. Kuliczowska E (2007) Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzelazowych przewodów kanalizacyjnych, Wydawnictwo PŚk. Kielce
4. Małolepszy J (2000) Technologia betonu - metody badań. AGH, Kraków,
5. Raganowicz A (2015) , Kryteria i metodyka oceny stanu technicznego sieci kanalizacyjnej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej,
6. Suligowski Z (2014) Warunki techniczne wykonania i odbioru sieci i instalacji wod.-kan. : Poradnik kierownika budowy i inspektora nadzoru, Monografia, Verlag Dashöfer
7. Wysocki L., Przybyła B., Madryas C (2010) Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych,

Publikacje :

8. Kuliczowski A, Lisowska J (2024) Badania przewodów kanalizacyjnych zróżnicowane zakresem uzyskiwanej oceny ich stanu technicznego Czasopismo: INSTAL Tom: 468, Zeszyt: 12, Strony: 23-27
9. Lisowska J Parka A (2023) Wymagania stawiane powłokom żywicznym typu CIPP i WHL do zastosowań ciśnieniowych w świetle wytycznych amerykańskich i normy PN EN ISO 11298-4 oraz ich wpływ na zakres obliczeń statycznie – wytrzymałościowych Czasopismo: Instal Tom: 466, Zeszyt: 12, Strony: 49-56
10. Kuliczowski A, Kuliczowska E, Lisowska J (2022) Efekty naukowe 30-letnich badań przewodów kanalizacyjnych techniką CCTV Czasopismo: Instal Zeszyt: 5, Strony: 43-47
11. Kuliczowski A, Lisowska J (2002) Pomiary szczelności przewodów kanalizacyjnych, Instal. Teoria i praktyka w instalacjach, Tom: 6, Strony: 46-49
12. Kuliczowski A, Kuliczowska E, (2023) Uszkodzenia i awarie rur i powłok z tworzyw sztucznych w bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych w czasopismo: INSTAL Tom: 455, Zeszyt: 10, Strony: 21-26,
13. Bogdan Przybyła (2024) Rehabilitacja a renowacja rurociągów jako pojęcia podstawowe. Inżynieria Bezwykopowa = Trenchless Engineering. vol. 96, nr 4, s. 48-49.



14. Andrzej Kolonko, Florian Piechurski, Paweł Popielski, Bogdan Przybyła, Adam Wysokowski, Dariusz Zwierzchowski (2024) .Badania odbiorowe wykładzin CIPP instalowanych w rurociągach sieci i instalacji zewnętrznych : wytyczne : wersja 2.0. Kraków: Wydawnictwo Inżynieria,. 45 s.

Normy i akty prawne:

- 15.Norma PN-B-06261:1974 „Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu na ściskanie”.
- 16.PN-EN 12504-2:2002 „Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badanie nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia.”
- 17.PN-B-02865:1997/Ap1:1999 Wodociągi i kanalizacja. Urządzenia i sieć zewnętrzna. Oznaczenia graficzne
- 18.PN-B-10702:1999 Wodociągi i kanalizacja. Zbiorniki. Wymagania i badania
- 19.PN-B-10725:1997 Wodociągi. Przewody zewnętrzne. Wymagania i badania
- 20.PN-B-10726:1999 Wodociągi. Przewody zewnętrzne z rur stalowych i żeliwnych na terenach górniczych. Wymagania i badanie przy odbiorze
- 21.PN-B-10736:1999 Roboty ziemne. Wykopy otwarte dla przewodów wodociągowych i kanalizacyjnych. Warunki techniczne wykonania Urządzenia, elementy (wyroby)
- 22.PN-EN 295-7:2013-07 Wersja angielska Systemy rur kamionkowych w sieci drenażowej i kanalizacyjnej — Część 7: Wymagania dotyczące rur i połączeń stosowanych do przeciskania
- 23.PN-EN 476:2012 Wymagania ogólne dotyczące elementów stosowanych w systemach kanalizacji deszczowej i sanitarnej
24. PN-EN 295-10:2007 Rury i kształtki kamionkowe i ich połączenia w sieci drenażowej i kanalizacyjnej. Część 10: Wymagania użytkowe
- 25.PN-EN 476:2011 Wymagania ogólne dotyczące komponentów stosowanych w systemach kanalizacji grawitacyjnej (oryg.)
- 26.PN-EN 545:2010 Rury, kształtki i wyposażenie z żeliwa sferoidalnego oraz ich złącza do rurociągów wodnych. Wymagania i metody badań (oryg.)
- 27.PN-EN 805:2002/Ap1:2006 Zaopatrzenie w wodę. Wymagania dotyczące systemów zewnętrznych i ich części składowych



- 28.PN-EN 1074-1:2002 Armatura wodociągowa. Wymagania użytkowe i badania sprawdzające. Część 1: Wymagania ogólne
- 29.PN-EN 1074-2:2002 Armatura wodociągowa. Wymagania użytkowe i badania sprawdzające. Część 2: Armatura zaporowa
- 30.PN-EN 1074-2:2002/A1:2005 Armatura wodociągowa. Wymagania użytkowe i badania sprawdzające. Część 2: Armatura zaporowa (oryg.)
- 31.PN-EN 1074-3:2002 Armatura wodociągowa. Wymagania użytkowe i badania sprawdzające. Część 3: Armatura zwrotna
- 32.PN-EN 1074-4:2002 Armatura wodociągowa. Wymagania użytkowe i badania sprawdzające. Część 4: Zawory napowietrzająco-odpowietrzające
- 33.PN-EN 1074-5:2002 Armatura wodociągowa. Wymagania użytkowe i badania sprawdzające. Część 5: Armatura regulująca
- 34.PN-EN ISO 11296-1:2018-04 – wersja angielska Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do renowacji podziemnych bezciśnieniowych sieci kanalizacji deszczowej i sanitarnej — Część 1: Postanowienia ogólne
- 35. PN-EN ISO 11297-1:2018-05 – wersja angielska Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do renowacji podziemnych ciśnieniowych sieci kanalizacji deszczowej i sanitarnej — Część 1: Postanowienia ogólne
- 36. PN-EN ISO 11298-1:2018-05 – wersja angielska Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do renowacji podziemnych sieci wodociągowych — Część 1: Postanowienia ogólne
- 37.PN-EN 1329-1+A1:2018-05– wersja angielska Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do odprowadzania nieczystości i ścieków (o niskiej i wysokiej temperaturze) wewnątrz konstrukcji budynków — Nieplastyfikowany poli(chlorek winylu) (PVC-U) — Część 1: Specyfikacje rur, kształtek i systemu
- 38.PN-ENV 1329-2:2002 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do odprowadzania nieczystości i ścieków (o niskiej i wysokiej temperaturze) wewnątrz konstrukcji budowli. Nieplastyfikowany poli(chlorek winylu) (PVC-U). Część 2: Zalecenia dotyczące oceny zgodności (oryg.)
- 39.PN-74/B-06262 „Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotka Schmidta typu N”
- 40.PN-EN 13508-1 Stan kanalizacyjnego systemu zewnętrznego – część 2: System kodowania w ocenie wizualnej, s. 156.