

**Bogdan PRZYBYŁA**

*Politechnika Wrocławska  
Instytut Inżynierii Lądowej  
Wrocław*

## **DIAGNOSTYKA EKSPLOATOWANYCH PRZEWODÓW KANALIZACYJNYCH JAKO CZYNNIK OGRANICZAJĄCY SKAŻENIE WÓD GRUNTOWYCH**

### **OPERATED SEWERS DIAGNOSTIC AS FACTOR FOR REDUCTION OF POLLUTION IN UNDERGROUND WATER**

*Possibility of contamination of underground water by sewage from sewers and resulting danger for drinking water sources and water transported in water-supply system has been presented in this paper. Individual diagnostic methods, that offer possibility for appearances statement and/or determining of exfiltration quantity in operated sewers has been described.*

## **1. Wprowadzenie**

Zaopatrzenie ludności w wodę pitną o odpowiedniej jakości jest zadaniem wielkiej wagi. Podejmowane są więc liczne działania, wśród których istotne znaczenie ma ochrona źródeł wody oraz ograniczenie możliwości wtórnego jej skażenia w trakcie transportu do odbiorców. Jednym z czynników wpływających na oba zagadnienia wydaje się być stan sieci kanalizacyjnych, odprowadzających ścieki różnego pochodzenia i składu chemicznego.

Sieć kanalizacyjna stanowi istotny element podziemnej infrastruktury technicznej jednostek osadniczych. Ma długość liczoną w dziesiątkach lub setkach kilometrów i prowadzi ścieki w ilości adekwatnej do ilości wody wprowadzonej do sieci wodociągowej.

Jedną z jej cech charakterystycznych jest prowadzenie medium nie stanowiącego wartości samej w sobie, będącego pewnym efektem ubocznym, do którego pozbycia się dąży. Ponadto – w zdecydowanej większości przypadków – medium prowadzone jest grawitacyjnie. Powoduje to, że nawet w sytuacji istotnych uszkodzeń konstrukcji przewodów, skutki tych uszkodzeń nie są bezpośrednio rozpoznawalne (jak np.: przy pęknięciu przewodu wodociągowego). W efekcie, nadzór nad stanem technicznym przewodów prowadzących ścieki nie był w przeszłości traktowany z należytą starannością.

Również obecnie duże fragmenty sieci kanalizacyjnych pracują w stanie permanentnego uszkodzenia, z licznymi konsekwencjami tego stanu. Na nieodpowiedni stan sieci kanalizacyjnych wskazują chociażby wyniki badań ankietowych prowadzonych np.: w Niemczech [1], gdzie sytuacja pod tym względem jest lepsza niż w Polsce. Skutki złego stanu sieci są zazwyczaj przesunięte w czasie w stosunku do okresu, w którym ten stan wystąpił.

Planujący rehabilitację techniczną uszkodzonego przewodu kanalizacyjnego wykorzystuje wyniki oceny dokonanej po przeprowadzeniu określonego spektrum badań. Zgodnie ze schematem blokowym modernizacji systemów kanalizacyjnych, zawartym w normie [2], ocena stanu przewodu prowadzona jest pod kątem: identyfikacji problemów hydraulicznych, identyfikacji niedopuszczalnych oddziaływań środowiskowych i identyfikacji problemów strukturalnych. Odpowiada do kryteriów oceny w ujęciu klasycznym – kryterium hydraulicznemu, szczelności (ekologicznemu) i kryterium nośności (wytrzymałości). W odniesieniu do tematu niniejszego opracowania istotne jest więc kryterium szczelności i powiązane z nim metody diagnostyczne.

Utrata szczelności przewodów kanalizacyjnych związana jest z wystąpieniem charakterystycznych uszkodzeń<sup>1</sup>. Są to:

- rury o różnym charakterze i skali – poprzeczne, podłużne, tworzące siatkę spękań, wychodzące z jednego punktu;
- brakujące fragmenty ścian przewodu;
- uszkodzenia w połączeniach poszczególnych rur: nieszczelne uszczelki, deformacje rur podatnych rozszczelniające złącze, wzajemne przesunięcia podłużne i poprzeczne poszczególnych rur, brak liniowości (zmiana kąta kinety w połączeniu);
- nieprawidłowo osadzone lub uszkodzone połączenia ze studzienkami, przyłączami itp.;
- porowatość/przepuszczalność struktury materiału;
- inne specyficzne np.: przebicia innymi przewodami w poprzek istniejącego kolektora;

Utrata szczelności skutkuje dobrze znanymi zjawiskami infiltracji wód gruntowych do przewodu lub/i eksfiltracji ścieków do otaczającej przestrzeni gruntowej. Wymienione uszkodzenia wpływają w różnym stopniu na intensywność tych zjawisk. Uzależnione jest to skalą samych uszkodzeń (np.: cechami geometrycznymi je opisującymi). Istotnym czynnikiem są warunki gruntowo-wodne w jakich przebiega przewód.

Biorąc pod uwagę możliwości skażenia źródeł wody pitnej rozważa się przede wszystkim zjawisko eksfiltracji. Powstaje pytanie o skalę tego zagrożenia. Wydaje się być ono duże szczególnie w sytuacji, gdy przewody kanalizacyjne prowadzone są w strefach ochronnych źródeł wody. Innym zagadnieniem jest skażenie płytkich wód gruntowych w aglomeracjach miejskich, skąd część zanieczyszczeń stopniowo może przenikać do głębszych poziomów wodonośnych. Należy tu przypomnieć, że dla ujęć komunalnych granica strefy ochrony chemicznej powinna sięgać odległości, jaką woda może pod ziemią przepłynąć w ciągu 20 lat, a w dużych ośrodkach miejskich kanalizacja nierzadko miewa ponad sto lat.

Problemy mogą stwarzać źródła uliczne – czynne lub nie, których orurowanie przechodząc przez warstwy nieprzepuszczalne sięga warstw wodonośnych. Jest to naturalna

<sup>1</sup> nie klasyfikuje się tu wymienionych zmian, używając pojęcia *uszkodzenie* jako pewnego rodzaju uogólnienie

droga migracji zanieczyszczeń, która nie ulega zamknięciu przy nieumiejętnej likwidacji źródła (wypełnieniu przewodów).

Ponadto na świecie coraz częściej budowane są z użyciem metod bezwykopowych przewody kanalizacyjne tranzytowe na głębokościach przekraczających 30 m p.p.t., których utrata szczelności również musi być brana pod uwagę.

Problem wtórnego zanieczyszczenia wody, związanego z eksfiltracją ścieków do gruntu wynika ze zjawiska tzw. iniekcji. Jeśli w przewodzie wodociągowym, np.: w czasie szczytu poboru znacznie woda płynie szybciej, następuje zasysanie zanieczyszczonej ściekami wody z otoczenia do jego wnętrza, przez nieszczelności którymi woda wodociągowa uprzednio wypływała. Jest to istotne w sytuacji bliskiego sąsiedztwa przewodów układanych w liniach rozgraniczających ulic. Co prawda minimalne odległości między przewodami są precyzyjnie określone przez odpowiednie akty prawne lub wytyczne, zasadniczo nie uwzględniają jednak one możliwości migracji mediów w gruncie ponieważ wynikają z ustalonych szerokości pasów roboczych, niezbędnych dla uniknięcia kolizji i uszkodzeń przewodów w trakcie prowadzenia robót budowlanych. W praktyce spotyka się również sytuacje nadmiernego zagęszczenia przewodów, nie spełniających wymagań prawnych w kwestii wzajemnych odległości.

## 2. Wielkość eksfiltracji i rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń

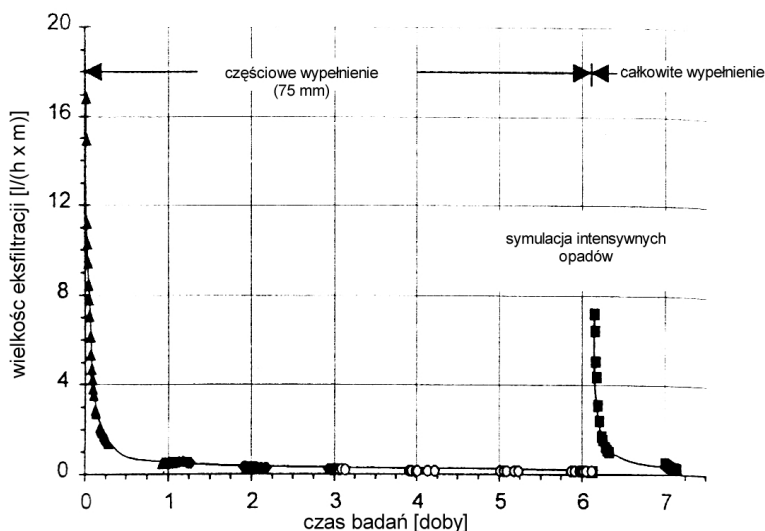
Pragnąc ocenić stopień zagrożenia stwarzanego przez nieszczelne przewody, należy określić ilość ścieków mogących przedostać się do gruntu oraz rozpoznać drogi rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Na wielkość eksfiltracji wpływa wiele czynników. Jak wspomniano wyżej istotna jest skala występujących uszkodzeń – zarówno w odniesieniu do częstości ich występowania jak i ich cech geometrycznych. Kolejnym czynnikiem jest stopień wypełnienia przewodu ściekami jak i zmienność tego wypełnienia w czasie, z okresami pracy przewodu pod ciśnieniem włącznie (szczególnie dla sieci ogólnospławnej). Również właściwości przewodzących ścieków, choć w mniejszym stopniu, wpływają na intensywność ich eksfiltracji, bardziej istotne jest to przy uwzględnieniu zjawiska samouszczelniania się przewodów.

Nie do pominięcia jest oczywiście wpływ warunków gruntowo-wodnych w jakich przebiega przewód. Należy uwzględnić, że obecnie liczne odcinki przewodów wykonywane są metodami bezwykopowymi, stąd ich konstrukcje mają bezpośredni kontakt z gruntem rodzimym, a nie tylko z określonymi gruntami wykorzystywanymi do zasypywania wykopów. Występowanie gruntów spoistych zdecydowanie ogranicza wielkość eksfiltracji, która największa jest w gruntach gruboziarnistych.

Łączne działanie wymienionych trzech grup czynników powoduje, że dokładne określenie ilości eksfiltrującej cieczy jest trudne. Wspomniane zjawisko samouszczelniania się stref uszkodzeń powoduje (dla danego uszkodzenia) zmniejszenie się intensywności eksfiltracji - prowadząc nawet do jej zaniknięcia (samouszczelnianie wynika z osadzania niesionego materiału w samych uszkodzeniach i w gruncie za uszkodzeniami, ponadto z gromadzenia się produktów działalności mikroorganizmów rozkładających związki zawarte w ściekach w strefie uszkodzenia). Niestety, zmienność poziomu wód gruntowych, okresy pracy przewodu pod ciśnieniem oraz okresowe ciśnieniowe czyszczenie przewodów powodują zaburzenie powstałego stanu równowagi i powrót do intensywniej

eksfiltracji ścieków. Proces ten dobrze uwidaczniają wyniki badań laboratoryjnych prowadzonych w pierwszej połowie lat 90. XX w. w RWTH Aachen [3]. Na rysunku 1 przedstawiono zmienność czasową infiltracji dla modelu przewodu betonowego DN 300 z sztucznie wykształconym w kiniecie uszkodzeniem (rysa podłużna).



Rys. 1. Przebieg czasowy wielkości infiltracji w czasie, dla rury podłużnej o szerokości 4 mm w kiniecie rury betonowej DN 300, przy wypełnieniu 75 i 280 mm i posadowieniu na podsypce piaskowej [3]

Na podstawie wyników badań prowadzonych na różnych próbkach (różne uszkodzenia, poziomy wypełnień, różne podsypki), przy uwzględnieniu danych statystycznych na temat rzeczywistych sieci kanalizacyjnych (podział, długości, stan techniczny, wypełnienia), próbowano oszacować wielkość eksfiltracji dla wybranych landów (dla których istniały odpowiednie zbiory danych). Ze względu na brak danych nie można było uwzględnić zmieniających się warunków gruntowych w sąsiedztwie przewodów. Oszacowano maksymalne i minimalne wielkości dla przewodów ogólnospławnych i sanitarnych systemu rozdzielczego, z których średnie kształtowały się następująco [3]:

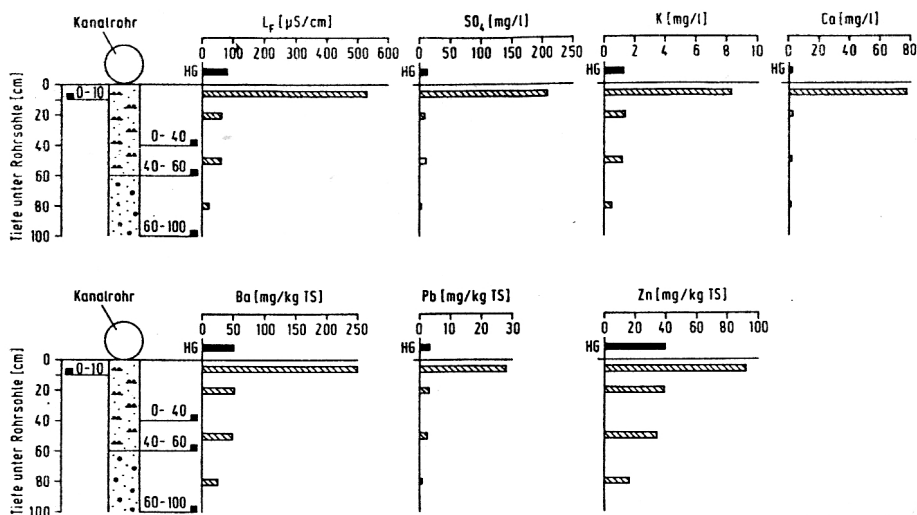
- udział ścieków eksfiltrujących w całkowitej ilości prowadzonych dla okresów bezdeszczowych: maksymalne oszacowanie – 23 %, minimalne oszacowanie – 6 %
- udział ścieków eksfiltrujących w okresach z opadami atmosferycznymi w całkowitej ilości prowadzonych dla okresów bezdeszczowych: maksymalne oszacowanie – 89 %, minimalne oszacowanie – 58 % (okres z opadami przyjęto jako 10 % godzin w roku).

Ostatecznie przyjęto całkowite ilości eksfiltrujących ścieków dla landów zachodnich: 33 423 850 m<sup>3</sup>/a (dolne oszacowanie) i 440 823 832 m<sup>3</sup>/a (górne oszacowanie). Przedstawione wartości są dużym przybliżeniem, jednoznacznie wskazują jednak na wagę istniejącego problemu.

Innym zagadnieniem są możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w gruncie. Należy tu oczywiście uwzględnić możliwości ich zobojętniania (wiązań) w tej przestrzeni gruntowej. Eksfiltrujące przez uszkodzenie ścieki przemieszczają się w kierunku pionowym i poziomym w stosunku do przewodu, obserwacje pozwalają jednak stwierdzić, że dominujący jest przepływ poziomy, odbywający się w strefie ułożenia przewodu.

W sytuacji przedostawania się zanieczyszczeń do wód gruntowych, powstają w nich strefy samoczyszczania, dzielone na strefę redukcyjną, przejściową i utleniającą. W strefach redukcyjnej i przejściowej, w obecności dużej ilości bakterii (wytworzenie biofilmu) następuje zneutralizowanie związków organicznych. W strefie utleniającej już one nie występują, obecne są tam jedynie formy jonowe zanieczyszczeń  $CL$ ,  $NO_3$ ,  $HCO_3$ ,  $CO_3$ ,  $Na$  [4]. Podobne strefy pojawiają się w obszarze eksfiltrujących ścieków. Ciekawe są wyniki badań zawarte w [5]. Analizowano tu szczegółowo skład chemiczny próbek rdzeniowych pobieranych poniżej poziomu posadowienia nieszczelnych przewodów kanalizacyjnych. Skład chemiczny próbek badano w nawiązaniu do składu prowadzonych w przewodzie ścieków, pragnąc rozpoznać strefy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Stwierdzono, że już w strefie 10 cm poniżej poziomu posadowienia następuje istotna redukcja ładunku zanieczyszczeń - spadek z 90% do 10%. Dobrze obrazuje to rysunek 2, dla którego wyniki pochodzą z badań odcinka przewodu kamionkowego DN 350 o długości 5 m, pochodzącego z 1910 r. i splekanego podłużnie i poprzecznie w strefie kinety (uszkodzenia klasy 0 i 1 wg. systemu oceny ATV A 149.



Rys. 2. Zawartość związków pochodzących z eksfiltrujących ścieków w rozkładzie pionowym dla odcinka przewodu kamionkowego DN 350 z 1910 r. [5]

W przypadku ścieków bytowych, pod przewodami tworzy się stosunkowo cienka – do 10 cm grubości, warstwa ciemnego koloru, o wysokiej zawartości części organicznych – strefa infiltracyjna, biofilm. Stwierdzono, że w próbkach z głębokości 20 - 100

cm większe stężenia mierzonych wartości w odcieku lub próbkach stałych były spotykane sporadycznie. Ponadto stężenia wielkości pomiarowych istotne ze względów środowiskowych występowały jedynie w bezpośrednim otoczeniu uszkodzeń.

Takie wyniki uzasadniają postawienie pytania, czy rzeczywiste zagrożenie powodowane eksfiltracją jest tak duże, jak wynikało by to z ilości ścieków trafiających do gruntu ?. Wszak jednym ze sposobów zagospodarowania ścieków bytowych było ich rozprowadzanie na pola irygacyjne – we Wrocławiu był to podstawowy sposób oczyszczania ścieków do końca lat 80. XX w. Wydaje się jednak, że ryzyko jest duże, a potencjał zagrożenia wielostronny. Potwierdzają to opinie prelegentów konferencji „Undichte Kanäle – (K)ein Risiko ?” zorganizowanej w październiku 2006 r. przez DWA<sup>2</sup> i DECHEMA<sup>3</sup> we Frankfurcie nad Menem (sprawozdanie w [6]).

Jako podstawową sytuację sprzyjającą rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń przyjmuje się występowanie w otoczeniu przewodu gruntu dobrze przepuszczalnego i o słabych właściwościach sorpcyjnych, przy poziomie wody gruntowej oddalonym o mniej niż 100 cm od poziomu posadowienia kanału. Zmienny poziom wody gruntowej, szczególnie gdy okresowo przekraczający poziom posadowienia kanału, zdecydowanie zwiększa prawdopodobieństwo dalekiego rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

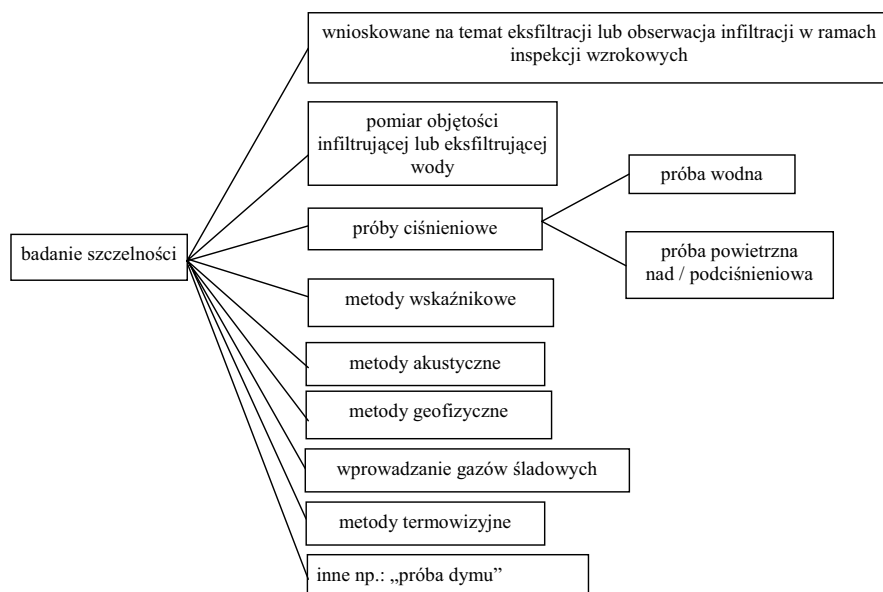
### 3. Badania eksfiltracji w przewodach eksploatowanych

Należy stwierdzić, że liczba metod i narzędzi służących badaniom eksfiltracji jest ograniczona, a uzyskiwane wyniki częstokroć mają charakter jakościowy. Stanowią one część metod diagnostycznych służących ocenie szczelności przewodów. Przy występowaniu wody gruntowej poniżej poziomu posadowienia przewodu i stwierdzeniu nieszczelności można wnioskować o występowaniu mniej lub bardziej intensywnej eksfiltracji. Biorąc jednak pod uwagę opisywaną wcześniej dynamikę zjawiska, wyciągane wnioski mogą być obarczone znacznym błędem. Na rysunku 3 przedstawiono podział metod umożliwiających rozpoznanie szczelności przewodu i tym samym wnioskowanie o zachodzącej eksfiltracji.

Z przedstawionych na rysunku, podstawowe znaczenie w ocenie szczelności eksploatowanych przewodów mają próby ciśnieniowe oraz inspekcja wzrokowa. Inspekcje wzrokowe (z wykorzystaniem kamer CCTV) stanowią obecnie główną metodę diagnostyczną przewodów kanalizacyjnych. Uzyskiwane tą drogą wyniki mają charakter jakościowy, nieszczelność przewodu stwierdza się na podstawie bezpośredniej obserwacji infiltrującej do wnętrza kanału wody (wielkość infiltracji nawet próbuje się na tej podstawie oceniać np.: [7]). Wariantowo zakłada się jej wstępowanie - w powiązaniu z eksfiltracją - na podstawie obserwowanych charakterystycznych uszkodzeń. Ważną zaletą inspekcji wzrokowych jest w tym względzie szybkość kontroli długich odcinków sieci, umożliwiającą wskazanie miejsc przeznaczonych do badań o wyższym poziomie szczegółowości.

<sup>2</sup> DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

<sup>3</sup> DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.



Rys.3. Podział metod umożliwiających ocenę szczelności przewodu

Próby ciśnieniowe – próba wodna i próba powietrzna (pod– i nadciśnieniowa). W obu uzyskuje się wynik ilościowy - zmianę objętości czynnika kontrolnego (woda, gaz) w jednostce czasu. Jednak tylko dla próby wodnej można ten wynik bezpośrednio odnieść do ilości eksfiltrującej wody, przy uwzględnieniu jednak faktu, że próba dotyczy przypadku pracy przewodu pod ciśnieniem (związane z omawianym wcześniej zaburzeniem stanu równowagi). Próba powietrzna pozwala zasadniczo stwierdzić fakt wystąpienia nieszczelności i stwarza możliwość względnego porównania wielkości tej nieszczelności (i tym samym skali ucieczki ścieków) dla różnych odcinków poddanych próbie. Ze względu na problemy wykonawcze i długi czas trwania, próby wodne są wykorzystywane (i to coraz rzadziej) w badaniach przewodów nowo oddawanych do eksploatacji. Dominują próby ciśnieniowe. Kontrolę poddaje się odcinki przewodów między studzienkami lub połączenia poszczególnych rur (dla przewodów o średnicy większej niż 1000 mm jest to kontrola zastępcza). Sposób prowadzenia kontroli dla przewodów oddawanych do eksploatacji – nowych lub po przeprowadzonej rehabilitacji technicznej, podaje norma EN 1610, natomiast dla przewodów realizowanych metodą bezwykopową EN 12889. Przy kontroli szczelności przewodów kanalizacyjnych w strefach ochrony ujęć wody można bazować na ostrzejszych wymaganiach podanych w wytycznej ATV A 142: *Abwasserkanäle und -leitungen in Wassergewinnungsgebieten*. Dla przewodów będących w eksploatacji nie opracowano odpowiednich norm kontroli ciśnieniowych (wodnych i powietrznych). W tym przypadku można również korzystać z wytycznej DWA z 1998 r. - ATV-M 143. Teil 6: *Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck*. Ponieważ eksfiltracja z przewodu wody pod ciśnieniem kontrolnym może prowadzić do intensywnego wypłukiwania podsypki i zmiany warunków posadowienia przewodu, w

wytycznej ATV-M 143. Teil 6, dla próby wodnej, przyjęto mniejsze wartości ciśnienia kontrolnego w porównaniu z normą EN 1610. Czas kontroli został również skrócony w celu minimalizacji okresu wyłączenia przewodu z pracy. Dla próby powietrznej, zasady kontroli w sytuacji poziomu wody gruntowej poniżej posadowienia przewodu są jak w EN 1610, zaś w przypadku, gdy poziom wody gruntowej leży powyżej sklepienia przewodu, ciśnienie kontrolne musi zostać odniesione do tego poziomu i wywieranego tym samym dodatkowego ciśnienia. Ciśnieniowe próby powietrzne są wykorzystywane również w kontroli szczelności tzw. rur podwójnych (rura transportująca ścieki w osłonie rury zewnętrznej, z kontrolną przestrzenią powietrzną między nimi). Rozwiązanie to stosowane jest w przypadku prowadzenia agresywnego medium w strefach szczególnego zagrożenia np.: stref ochrony ujęć wody, również przy układaniu przewodów na dnie zbiorników wodnych.

Wracając do podziału z rysunku 3, zwrócić należy uwagę na bezpośrednie pomiary objętości eksfiltrujących ścieków z wykorzystaniem przelewów prostokątnych lub trójkątnych. Ta prosta w założeniach metoda pozwala na dokładniejsze określenie wielkości rozważanego zjawiska, choć podobnie jak ciśnieniowa próba wodna jest kłopotliwa w wykonaniu. W ogólności polega na umieszczeniu na początku i na końcu badanego odcinka przelewów oraz pomiarów natężeń przepływów w tych punktach. Z różnicy można obliczyć objętość traconej cieczy.

Najmniej dokładną, lecz jednocześnie najprostszą w stosowaniu i najtańszą jest tzw.: „próba dymu” w której obserwowana jest sztuczna mgła wydobywająca się z poprzez nieszczelności w rurze i szczeliny w gruncie na powierzchnię terenu. Jej zaawansowaną i dającą zdecydowanie lepsze wyniki wersją jest grupa metod w których wprowadzane są do przewodów gazy śladowe - np: wodór (dokładniej - wprowadza się roztwór wodoru w azocie) i śledzi się następnie ich rozprzestrzenianie się w otoczeniu – przechwytyjąc na powierzchni terenu z użyciem odpowiednich sensorów.

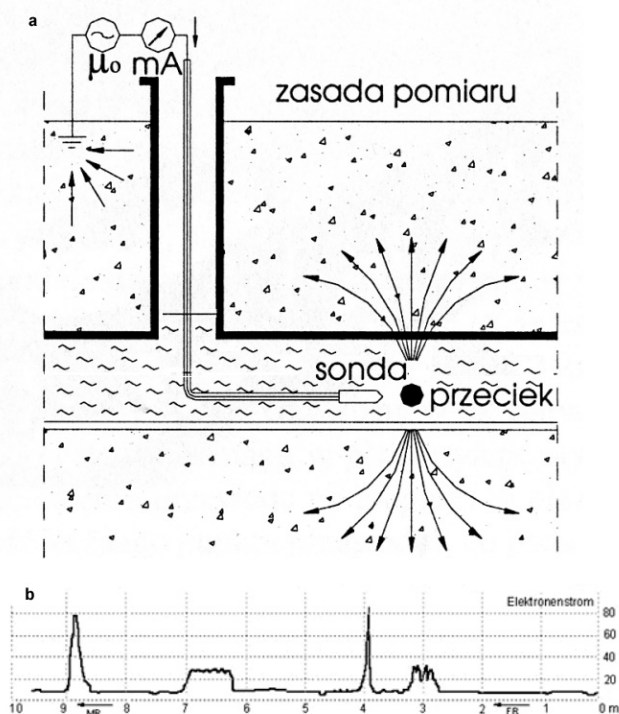
Coraz większe znaczenie zyskują zaawansowane technologicznie metody geofizyczne. W badaniu eksfiltracji zastosowanie praktyczne znajdują:

- metody geoelektryczne (systemy pomiaru zmian oporności gruntu wywołane zmianami wilgotności – „profilowanie elektrooporowe”),
- zastosowanie fal elektromagnetycznych (wykorzystanie georadarów (GPR) emitujących pulsacyjne fale elektromagnetyczne dla rozpoznawania obszarów nawodnionego gruntu),
- metody radiograficzne (zastosowanie czujników emitujących promieniowanie gamma i neutronowe, wchodzące w interakcję z otaczającym ośrodkiem gruntowym i przejmowane następnie przez detektor zliczający ilość rozproszonego promieniowania, dla rozpoznania zawilgoconego gruntu).

Zastosowanie sensorów geoelektrycznych do wykrywania emisji ścieków z nieszczelnych przewodów zostało zweryfikowane w praktyce i zaowocowało dostępnym na rynku sprzętem np: sonda AMS – 4 [9]. Umożliwia ona badanie kanałów DN 150 – 1500 z materiałów nie przewodzących prądu, z szybkością ok. 9 m/min. Zalecane jest podtopienie na czas kontroli badanych przewodów ściekami lub wodą (co jest wadą metody). Metoda umożliwia stwierdzenie występowania wycieków wraz ze szczegółową ich lokalizacją, jak również względną ocenę ich skali na podstawie wielkości rejestrowanego impulsu przepływającego prądu – rysunek 4. Warto tu przypomnieć o tzw. systemach aktywnej kontroli szczelności przewodów jak np.: system 3l/sla firmy Egeplast [10], w którym stosuje się trójwarstwową rurę przewodową – środkowa warstwa z folii aluminiowej. Wykrywanie nieszczelności w czasie pracy przewodu odbywa się na podobnej



zasadzie jak działanie sondy prądowej – przy połączeniu folii z jednostką kontrolną i sondą na powierzchni terenu.

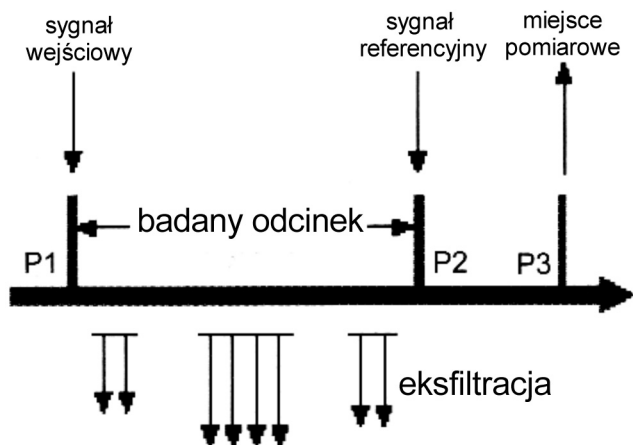


Rys.4. Sonda prądowa (current probe) przy badaniu eksfiltracji: a) zasada działania, b) rejestrowane zmiany natężenia prądu w miejscach nieszczelności

Wśród metod akustycznych wyróżnić warto podgrupę bazującą na zastosowaniu hydrofonów o wysokiej czułości. Stosuje się je w zasadzie w przewodach pracujących pod ciśnieniem. Ich zastosowanie w kanalizacji związane jest z koniecznością spiętrzenia na czas badań ścieków w przewodzie (podobnie jak dla sondy AMS). Przez przewód przeprowadzany jest następnie hydrofon. Uzyskuje się lokalizacje wycieków i pośrednio informację o ich intensywności.

Na zainteresowanie zasługują kamery termowizyjne ze względu na obiecujące wyniki przeprowadzonych badań w praktyce, szczególnie dla przewodów tranzytowych przebiegających poza strefami gęstego ułożenia infrastruktury sieciowej (lecz nie tylko) [8]. W tym przypadku bazuje się na wykonywaniu zdjęć w zakresie fal podczerwonych. W sytuacji, gdy temperatura powierzchni gruntu ulega zmianie na wskutek nasycenia ją wypływającymi ściekami, zdjęcia wykonane przy użyciu kamer pozwalają ujawnić powstające różnice. Uzyskiwane wyniki dają przybliżony obraz sytuacji i mogą być zakłócone przez oddziaływania zewnętrzne, jednak podstawową zaletą metody jest prostota i szybkość jej prowadzenia, przy możliwości montowania kamer na samochodach lub nawet samolotach.

Na szczególną uwagę w badaniach eksfiltracji zasługują metody wskaźnikowe (określenie: *metoda wskaźników izotopowych* jest w tym wypadku zbyt zawężające, wykorzystuje się substancje charakterystyczne różnych typów - tzw. tracery). Metody te bazują na analizie zmian koncentracji wybranych składników ścieków lub innych celowo dodawanych substancji, w trakcie ich przemieszczania się w przewodzie. Zmiany koncentracji wynikają w rozważanych metodach z ucieczki części ścieków z tymi związkami przez nieszczelności. Założenia jednej metod przedstawia rysunek 5 [11]. Znana masa  $M_1$  substancji kontrolnej wprowadzana jest do przewodu w punkcie P1 (sygnał wejściowy - wskaźnikowy) a jej strata mierzona jest w P3. Określona masa  $M_2$  tej samej substancji (sygnał referencyjny) jest dodawana niedaleko przez miejscem pomiarowym, w P2. Wychodząc z założenia, że na odcinku P2 – P3 nie występuje eksfiltracja, jej wielkość na odcinku P1 – P2 może zostać określona na podstawie pomiaru w P3 i bilansu mas substancji kontrolnej. Eksfiltracja jest proporcjonalna do ilości substancji utraconej na odcinku P1 – P2. Jako substancja kontrolna najczęściej wykorzystywana jest sól kuchenna (NaCl) ze względu na niską cenę i łatwość jej wykrycia w ściekach. Alternatywnie korzysta się z rodaminy.



Rys.5. Zasada pomiaru eksfiltracji wg [11]

Inna metoda bazuje na ciągłym dodawaniu substancji kontrolnej i referencyjnej (dwie różne substancje), charakteryzuje się większą dokładnością lecz bardziej skomplikowanym zestawem badawczym i większym nakładem pracy. Przyjmuje się, że metody wskaźnikowe są najbardziej perspektywiczne w szczegółowych badaniach wielkości eksfiltracji. Więcej szczegółów na temat tych metod można znaleźć w [12]. Opracowanie to podsumowuje osiągnięcia europejskiego programu badawczego APPUS („Badania i ocena eks- i infiltracji w nieszczelnych przewodach kanalizacyjnych”) realizowanego w latach 2001 – 2004, w ramach V. Programu Ramowego EU. Uczestniczyli w nim przedstawiciele uczelni i przedsiębiorstw komunalnych z 7 krajów europejskich, a głównymi obszarami badawczymi były:

- rozwój nowym metod pomiarowych eks- i infiltracji przewodów kanalizacyjnych;

- rozwój modeli i oprogramowania wiążącego wyniki pomiarów i wspomagającego działania przedsiębiorstw zarządzających sieciami kanalizacyjnymi;
- wzajemne powiązanie zagadnień ekonomicznych i eksploatacyjnych dla prowadzenia działań – strategii inwestycyjnych i rehabilitacyjnych sieci przewodów.

Wyniki są ogólnie dostępne na stronie: [www.insa-lyon.fr/Laboratoire/URGC-HU/apuss](http://www.insa-lyon.fr/Laboratoire/URGC-HU/apuss).

## 4. Podsumowanie

Przedstawione rozważania wskazują na trudności występujące przy analizie zjawiska eksfiltracji ścieków z eksploatowanych przewodów kanalizacyjnych. Problematiczne jest ściśle określenie czy nawet oszacowanie objętości ścieków migrujących do gruntu, jak również rozpoznanie rzeczywistego zagrożenia wynikającego ze skażenia przestrzeni gruntowej. Istnieje słuszne przeświadczenie, że zagrożenie to jest duże, stąd podejmowane są różne działania zmierzające do jego określenia np.: programy badawcze jak APUSS. Zarządzający sieciami kanalizacyjnymi planują działania rehabilitacyjne zmierzające do poprawy ich szczelności. Dla strategicznego planowania rehabilitacji istotne są te techniki diagnostyczne, które pozwalają na rozpoznanie dużych fragmentów sieci w krótkim czasie. Stąd istotne są również techniki dające informację o dużym stopniu ogólności np.: inspekcja video, metody geoelektryczne, termowizyjne. Po drugie stronie stoją narzędzia i metody badawcze pozwalające na dokładne określenie wielkości eksfiltracji. Są to pomiary objętości traconej wody lub rozwojowe metody wskaźnikowe (nie umiejscawiają one jednak nieszczelności na długości badanego odcinka). Istnieją więc propozycje łączenia różnych metod diagnostycznych dla osiągnięcia rezultatów pośrednich.

## Bibliografia

- [1] Berger, C., and Lohaus, J. Zustand der Kanalisation – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004, *KA Abwasser Abfall*, 2005, (5) 528-540
- [2] PN-EN 752-5:2001, *Zewnętrzne systemy kanalizacyjne – Modernizacja*
- [3] Decker, J., and Menzenbach B. Belastung von Boden, Grund- und Oberflächewasser durch undichte Kanäle, *awt-abwassertechnik*, 1995, (4) 46-54
- [4] Łyp, B. Wybrane problemy wodociągów i kanalizacji w przestrzennym planowaniu zagospodarowania miast, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa, 1992
- [5] Hagendorf, U. Forschungsergebnisse zur Bewertung der Dichtheit von Kanälen, *awt-abwassertechnik*, 1996, (6) 11-16
- [6] Schneider, C. Undichte Kanäle – (K)ein Risiko, Gemeinschaftstagung von DWA i DACHEMA, *KA Abwasser Abfall*, 2007, (1) 16-18

- [7] Kuliczkowski, A., and Lisowska, J. Propozycje klasyfikacji zjawiska infiltracji wody gruntowej do wnętrza przewodów kanalizacyjnych, *Instal*, 2004, (12) 50 – 54
- [8] Stein, D. Instandhaltung von Kanalisationen, Ernst & Sohn, Berlin 1998
- [9] Korkemeyer, K., Schulte, J., and Stein, D. Feststellung und Ortung Undichtigkeiten in Kanalisationen mit der Kanalsonde AMS-4, *KA Abwasser Abfall*, 2004, (5) 254-260
- [10] strona internetowa firmy [www.egeplast.de](http://www.egeplast.de)
- [11] Gujer, W., and Rieckermann, J. Quantifying exfiltration from leaky sewers with artificial tracers. *Proceedings International Conference "SOM 2002 Sewer Operation and Maintenance"*, Bradford, Wielka Brytania, 26. – 28. 11. 2002
- [12] Untersuchung und Bewertung von In- und Exfiltration undichter Abwasserkanäle, Das EU-Forschungsprojekt APUSS, *KA Abwasser Abfall*, 2007, (4) 353-361

**OCHRONA WÓD**

**WATER PROTECTION**

