

Konrad MERC¹
Ewa OCIEPA²

Usunięto: 5

Usunięto: 7

NOWOCZESNE METODY I URZĄDZENIA DO LOKALIZACJI PRZECIEKÓW WODY W SYSTEMACH DYSTRYBUCJI³

W artykule przedstawiono przyczyny najczęściej występujących uszkodzeń sieci wodociągowych i związanych z tym strat wody. Przyczynami uszkodzeń są błędy na etapie projektowania, wykonania, jak i eksploatacji systemów wodociągowych. Szczegółowa analiza wartości intensywności uszkodzeń sieci wodociągowych przedstawiona w licznych pracach wskazuje, że intensywność uszkodzeń przewodów zależy przede wszystkim od wysokości i wahań ciśnienia wody w sieciach, uderzeń hydraulicznych, materiału i średnicy przewodów, czasu eksploatacji i okresu budowy przewodów, ich ułożenia oraz pory roku. W wielu wypadkach przyczyny nakładają się na siebie jak np. wady materiału i wysokie ciśnienie w sieci wodociągowej.

Usunięto:

Usunięto:

Usunięto:

Usunięto:

W dalszej części pracy scharakteryzowano metody poszukiwania przecieków przewodów związane z obserwacją terenu wzdłuż trasy sieci, oparte na pomiarach ciśnienia i przepływów oraz metody akustyczne. Podkreślono, że prawidłowe wykonanie bilansu wody wprowadzonej do sieci i sprzedanej oraz obliczenie wskaźników strat wody są podstawą do podjęcia decyzji o konieczności poszukiwań przecieków. Wstępna lokalizacja wycieku może nastąpić na podstawie pomiarów przepływu i ciśnienia w sieci. Nagły i intensywny przeciek sprawia, że pobór wody rośnie, a ciśnienie wody natychmiastowo spada. Metody akustyczne wykorzystujące takie urządzenia jak loggery, korelatory czy geofony pozwalają precyzyjnie wskazać miejsce wycieku. Przedstawione metody wykorzystywane są w nowoczesnym zarządzaniu siecią wodociągową.

Słowa kluczowe: awarie wodociągowe, starty wody, bilans wody, zarządzanie wodociągami, efektywność.

1. WSTĘP

W każdym nawet bardzo poprawnie działającym systemie wodociągowym pewna ilość wody wtłoczonej do systemu wodociągowego jest tracona i zakłady wodociągowe mimo poniesionych nakładów nie uzyskują przychodów z jej sprzedaży. Szczególnie trudne do wykrycia są niewielkie ubytki wody, sączenie się wody do gruntu poprzez przecieki ze złączy rur i armatury. Badania wskazują że największe problemy stwarzają przede wszystkim stare systemy wodociągowe wykonane z tradycyjnych materiałów,

¹ Mgr inż. Konrad Merc, Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, e-mail: k.merc@is.pcz.pl

² Dr hab. inż. Ewa Ociepa, prof. PCz, Politechnika Częstochowska, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, e-mail: eociepa@is.pcz.czyst.pl

³ Praca została wykonana w ramach BS/MN-401-304/16.

Usunięto: .

Usunięto:

Usunięto: .

takich jak żeliwo szare i stal, które stanowią około 50% długości przewodów wodociągowych w Polsce⁴. Awaryjność rurociągów jest skutkiem wad materiałowych, montażowych, projektowych lub eksploatacyjnych, a także incydentalnie, wynikiem działania innych czynników jak np. roboty prowadzone w sąsiedztwie bez podjęcia należytych środków zabezpieczających, nadmierne obciążenia od ruchu kołowego itp. Z uwagi na fakt iż woda stracona stanowi często wysoki procent wody włączanej do sieci wodociągowej istotnym dla kondycji i oceny ekonomicznej przedsiębiorstw jest działanie na rzecz ograniczania strat wody⁵. Dlatego też zakłady eksploatujące systemy dystrybucji wody w Polsce, Niemczech, Szwajcarii, Austrii, Wielkiej Brytanii, Danii czy Hiszpanii, jak i w innych krajach europejskich dążą do optymalizacji sposobu zarządzania i ograniczenia kosztów eksploatacji oraz do zwiększenia niezawodności działania systemów dystrybucji wody.

W licznych krajach już od kilkunastu lat bardzo dokładnie analizuje się wskaźniki techniczne i ekonomiczne pracy systemów wodociągowych. Poważną rolę w tym zakresie spełnia International Water Association (IWA)⁶.

Celem pracy jest przedstawienie, na podstawie przeglądu literatury i doświadczeń autorów, przyczyn strat wody oraz wskazanie innowacyjnych metod i urządzeń do wykrywania i lokalizacji przecieków w systemach dystrybucji. Wskazanie wielokierunkowych działań, jakie powinny podejmować zakłady eksploatujące sieci wodociągowe, prowadzących do ograniczenia strat.

2. GŁÓWNE PRZYCZYNY STRAT WODY

Całkowite straty wody definiowane są jako różnica pomiędzy zmierzoną objętością wody wprowadzonej do systemu, a zmierzoną, zafakturowaną objętością wody doprowadzonej do odbiorcy. W ich skład wchodzi straty pozorne oraz rzeczywiste.

Straty pozorne wynikają z niedokładności i niejednoczesności pomiaru zużycia wody. Teoretyczny błąd pomiaru powinien wynosić maksymalnie 10% – w praktyce trudno określić błąd pomiaru używanego przepływomierza. Według Siwoń i in.⁷ straty pozorne mogą wynosić ok. 5% w zależności od instalacji i warunków pomiarowych. Wielkość

⁴ M. Kwietniewski, M. Tłoczek, L. Wysocki (red.), *Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych*, Bydgoszcz 2011.

⁵ M. Kwietniewski, *Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych*, „Ochrona Środowiska” 2013, nr 35(4), s. 9–16; E. Ociepa, W. Kędzia, *Analiza strat wody w wybranych wodociągach województwa śląskiego*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2015, nr 18 (3), s. 277–288; F. Piechurski, *Działania zmierzające do ograniczania strat wody w systemach jej dystrybucji*, „Napędy i Sterowanie” 2014, nr 1, s. 81–86.

⁶ M. Clarke, P. Boden, A. McDonald, *DEBTOR: debt evaluation, bench-marking and track-ing-a water debt management tool to address UK water debt*, “Water and Environment Journal” 2012, Vol. 26, 2012, pp. 292–300; O. Hug, A. Rödiger, R. Schaffert, S. Tippmann, *Prozess-Benchmarking „Rohrnetz betreiben“ und Kundenorientierung: Modernisierungspotenziale aufdecken und erschließen*, “Energie Wasser Praxis” 2008, Vol. 7, No. 8, pp. 2–7; J.A. Zambrano, M. Gil-Martinez, M. Garcia-Sanz, I. Irizar, *Benchmarking of control strategies for ATAD technology: a first approach to the automatic control of sludge treatment systems*, “Water Science and Technology” 2009, Vol. 60, No. 2, pp. 409–419.

⁷ Z. Siwoń, J. Cieżak, W. Cieżak, *Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych*, „Ochrona Środowiska” 2004, nr 4, s. 25–30.

Usunięto:

Usunięto:

Usunięto: ,

tych strat można zredukować przede wszystkim poprzez dokładną i systematyczną kontrolę i kalibrację urządzeń pomiarowych oraz likwidację rozliczania ryczałtowego za wodę.

Straty rzeczywiste spowodowane są wyciekami w czasie awarii, czy poprzez nieszczelności sieci, jak również kradzieżami. Według badań niemieckich wycieki stanowią 80–100% rzeczywistych strat wody oraz 60–80% strat rzeczywistych i pozornych⁸. Dlatego też kluczowym problemem eksploatacyjnym jest poznawanie przyczyn uszkodzeń sieci i ich lokalizacja.

Najczęściej uszkodzenia sieci wodociągowych i związane z tym straty wody powstają w wyniku⁹:

- wad zamontowanych materiałów dot. rur, armatury, złączy;
- nieprawidłowego wykonawstwa przewodów, np. niewłaściwe uszczelnienie połączeń kielichowych, nieprawidłowe ułożenie przewodu;
- nadmiernego ciśnienia w sieci i gwałtownych zmian ciśnienia (uderzenia hydrauliczne);
- korozyjności wód gruntowych, a także wody płynącej wewnątrz przewodów;
- przemarzania gruntu w otoczeniu przewodów wodociągowych;
- nadmiernego obciążenia gruntu nad sieciami wodociągowymi, szczególnie dynamicznego, osiadania gruntu, ruchów tektonicznych itp.;
- prądów błądzących, na obszarach miast czy zakładów posiadających trącję elektryczną;
- wieloletniej eksploatacji i naturalnego zużycia materiałów wodociągowych;
- nieodpowiedniej strategii remontowej i konserwacyjnej.

Badania przeprowadzone w wielu miastach europejskich potwierdzają podobne przyczyny i rodzaje uszkodzeń przewodów wodociągowych. Najczęściej stwierdzane awarie wynikają z pęknięcia rur, uszkodzenia połączeń, uszkodzeń korozyjnych, uszkodzeń związanych z robotami ziemnymi¹⁰. Jako typowe przyczyny uszkodzeń podaje błędy na etapie projektowania i wykonania, wady materiałowe, niestabilność gruntu, korozję, zmiany temperatury gruntu, prace ziemne itp.

Należy nadmienić, że straty wody powstają nie tylko w wyniku uszkodzenia, pęknięcia przewodów wodociągowych, wycieków na połączeniach oraz przez drobne nieszczelności rur przesyłowych, ale również w wyniku przelewania się wody ze zbiorników magazynujących wodę lub ich nieszczelności¹¹.

⁸ H. Hotłoś, *Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych*, Monografia 49, Wrocław 2007.

⁹ A. Lambert, R. McKenzie, *Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index*, Paper to IWA Conference Leakage Management – A Practical Approach, Cyprus November 2002, pp. 320–338; E. Ogiolda, B. Dębicki, *Straty wody w systemie wodociągowym w Nowej Soli*, Uniwersytet Zielonogórski, Zeszyty Naukowe nr 144, „Inżynieria Środowiska” 2011, nr 24, s. 92–102.

¹⁰ S. Speruda, *Optymalny poziom strat z wycieków w sieci wodociągowej*, Warszawa 2011; E. Szymura, I. Zimoch, *Kwantyfikacja stref systemu dystrybucji wody w ujęciu wskaźników strat wody i awaryjności sieci* [w:] *Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody*, red. I. Zimoch, W. Sawiniak, Gliwice 2013.

¹¹ M. Kwietniewski, *Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych*, Mat. XXV konf. Nauk. Tech, Awaryje Budowlane 2011, t. 1, Międzyzdroje 2011, s. 127–140.

Usunięto: ÷

Szczegółowa analiza wartości intensywności uszkodzeń sieci wodociągowych przedstawiona w licznych pracach wskazuje, że intensywność uszkodzeń przewodów zależy przede wszystkim od wysokości i wahań ciśnienia wody w sieciach, materiału i średnicy przewodów, czasu eksploatacji i okresu budowy przewodów, ich ułożenia oraz pory roku¹².

Znaczący wpływ na stopień awaryjności sieci wodociągowej mają warunki ciśnieniowe tzn. nadmierna wartość ciśnienia, w stosunku do ciśnienia wymaganego¹³. Za wysokie ciśnienie może doprowadzić do uszkodzeń złączy, pęknięć przewodów, awarii zasuw i hydrantów. Badania wskazują, że obniżenie ciśnienia w sieci o ok. 0,2 MPa obniżyło 2-krotnie pęknięcia sieci oraz prawie 1,5-krotnie uszkodzenia złączy. Prawidłowość tę zaobserwowano niezależnie od wieku i średnicy przewodów, np. obniżenie ciśnienia w sieci wodociągowej w zachodnich osiedlach Wrocławia o ok. 40% spowodowało zmniejszenie intensywności uszkodzeń o ok. 41%¹⁴. Należy zaznaczyć, że długoletnia eksploatacja głównie przewodów wykonanych ze stali i z żeliwa powoduje wzrost oporności hydraulicznej na skutek procesów fizykochemicznych, w wyniku których następuje odkładanie się związków chemicznych na wewnętrznych ścianach rury. Dla zapewnienia ciągłości dostawy wody o odpowiednich parametrach podwyższa się ciśnienie w danej strefie, aby pokonać występujący opór hydrauliczny, co przekłada się na większą liczbę awarii. Dla zobrazowania problemu w tabeli 1 podano natężenia wypływu wody z otworów o określonych średnicach przy różnych ciśnieniach w sieci.

Tabela 1. Natężenie wypływu wody z otworów zależne od średnicy otworu i ciśnienia w sieci – szacunkowe straty wody w wyniku awarii

Przekrój	litry/min	litry/godz.	m ³ /dzień	m ³ /miesiąc	m ³ /rok
6,0 barów					
2 mm	5.00	300.00	7.00	216.00	2.592.00
4 mm	18.40	1.104.00	26.40	792.00	9.504.00
6 mm	40.00	2.400.00	57.60	1728.00	20.736.00
8 mm	70.20	4.212.00	100.80	3.024.00	36.288.00
3,0 bary					
2 mm	3.20	192.00	4.60	138.00	1.656.00
4 mm	12.00	720.00	17.20	516.00	6.192.00
6 mm	27.00	1.620.00	38.80	1.164.00	13.968.00
8 mm	48.00	2.880.00	69.12	2.073.00	24.876.00

Źródło: F. Piechurski, *Awarie w systemie dystrybucji wody – cz. I*, „Inżynier Budownictwa” 2014, nr 1.

Na podstawie tabeli 1 można obliczyć orientacyjnie ilość wody straconej w czasie awarii. Przykładowo podczas pięciogodzinnego usuwania awarii przewodu wodociągo-

¹² H. Hotłoś, *Reliability level of municipal water-pipe network*, “Environment Protection Engineering” 2003, Vol. 2, pp. 141–151.

¹³ M. Kusak, M. Kwietniewski, M. Sudoł, *Wpływ różnych czynników na uszkodzalność przewodów sieci wodociągowych w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2002, nr 10, s. 366–371.

¹⁴ H. Hotłoś, *Ilościowa ocena wpływu...*

Usunięto: .

Usunięto: v

wego o średnicy uszkodzenia 8 milimetrów, przy ciśnieniu wynoszącym 6 barów strata wynosi ponad 21 tys. litrów wody, zaś przy ciśnieniu 3 barów ok. 14 tys. litrów. Dlatego też utrzymywanie w sieci niższego ciśnienia, jak i szybkie usuwanie wycieków jest dla zakładów wodociągowych opłacalne i daje wymierne efekty ekonomiczne. Usunięcie wycieku każdego metra sześciennego wody to zysk szacunkowo ok. 1,0–1,5 kWh energii potrzebnej do wyprodukowania i transportu wody w systemie dystrybucji¹⁵.

Następnym z czynników wpływających na awaryjność sieci są uderzenia hydrauliczne. Występują w wyniku nagłej zmiany prędkości przepływu wody silnie oddziałującej na wewnętrzne ścianki rury wodociągowej i jej połączenia. Może to doprowadzić nawet do pęknięcia korpusu rury. Najbardziej odpornym materiałem na skutki oddziaływania uderzeń hydraulicznych jest polietylen, posiadający zdolność do sprężystego odkształcania w warunkach działania nadmiernego ciśnienia.

Na podstawie badań prowadzonych w kraju, jak i za granicą można stwierdzić, że awaryjność przewodów wodociągowych w dużej mierze zależy od materiału, z którego są wykonane. Materiały różnią się między sobą m.in. odpornością na pęknięcia czy korozję, dlatego też dobór materiału musi uwzględniać przyszłe warunki pracy¹⁶. I tak np. w warunkach niemieckich i austriackich trwałość najdłużej i najczęściej stosowanych rur z żeliwa szarego i stali określono na 60–120 lat dla rur z żeliwa szarego i 60–100 lat dla rur ze stali. Okresy trwałości technicznej przyjmowane w naszym kraju szacowane są dla przewodów stalowych 50–70 lat, przewodów z żeliwa szarego 75–80 lat, PE-PCV 60 lat i żeliwo sferoidalne z ochroną antykorozyjną 120 lat¹⁷.

O awaryjności przewodów wodociągowych w dużej mierze decydują również złącza. Są one najsłabszym ogniwem sieci wodociągowych. Według badań Kwietniewskiego intensywność uszkodzeń połączeń kielichowych rur z żeliwa szarego czy z PCV była kilka razy wyższa od intensywności uszkodzeń rur¹⁸. Powodem licznych awarii jest również przemarzanie gruntu w otoczeniu przewodów wodociągowych.

Z przeprowadzonych przez Kwietniewskiego i in.¹⁹ badań wynika, że temperatura wody w sieci wodociągowej może się wahać w zakresie od 0 do 25°C. Wzrost uszkodzeń, dotyczy głównie przewodów stalowych oraz z żeliwa, które mają dużo większą przewodność cieplną niż rury z tworzyw sztucznych.

3. METODY I URZĄDZENIA STOSOWANE DO LOKALIZACJI PRZECIEKÓW

Przecieki lokalizowane mogą być za pomocą następujących metod²⁰:

- metody związane z obserwacją terenu wzdłuż trasy sieci;
- metody oparte na pomiarach ciśnienia;
- metody oparte na pomiarach przepływów;

¹⁵ Tamże.

¹⁶ T. Bergel, J. Pawelek, *Straty wody w systemach wodociągowych-charakterystyka, wielkość, wykrywanie i ograniczanie*, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Błękitny San” Dubiecko, 21–22 kwietnia 2006, s. 125–137.

¹⁷ P. Dohnalik, A. Jędrzejewski, *Efektywna eksploatacja wodociągów*, Kraków 2004.

¹⁸ M. Kwietniewski, *Awaryjność infrastruktury...*, s. 127–140.

¹⁹ M. Kwietniewski, K. Miszta-Kruk, A. Piotrowska, *Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploracyjnych badań niezawodności*, „Czasopismo Techniczne Środowisko”, Wyd. Politechniki Krakowskiej, t. 108, z. 1-Ś, 2011, s. 113–127.

²⁰ M. Berger, M. Ways, *Poszukiwania przecieków sieci wodociągowych*, Warszawa 2003.

Usunięto: -

Usunięto: ,

- metody akustyczne.

Wiele przecieków sieci wodociągowej można wykryć i wstępnie zlokalizować przez obserwację powierzchni terenu. Gdy wypływ wody jest duży, ziemia wokół uszkodzonego miejsca zostaje wymyta. Pomocne jest także prowadzenie obserwacji instalacji i budowli podziemnych znajdujących się w pobliżu tras wodociągu, ponieważ woda może nie ujawnić się na powierzchni, ale znaleźć ujście do sieci i budowli podziemnych. Również badanie poziomu wody gruntowej wzdłuż tras wodociągu może potwierdzić istnienie przecieku i pomóc w jego zlokalizowaniu. Do metod obserwacji tras wodociągowych należy zaliczyć metodę wykopu lub odwiertu próbnego, które potwierdzają lokalizację przecieku. Niestety, w przypadku mniejszych wycieków wody, w gruncie przepuszczalnym, woda często nie pojawia się na powierzchni.

Pomiary wielkości ciśnienia pozwalają stwierdzić, czy nastąpiło uszkodzenie sieci wodociągowej. Nagły i intensywny przeciek sprawia, że pobór wody rośnie, a ciśnienie natychmiastowo spada. Badania szczelności przewodów polegają na zainstalowaniu manometru na rurociągu lub przyłączy wodociągowym albo na hydrancie, zamknięciu odcinka i zbadaniu szybkości spadku ciśnienia. Powolny spadek ciśnienia w przewodzie zamkniętym oznacza, że odcinek jest szczelny.

Również pomiary wielkości przepływu pozwalają w określonych przypadkach stwierdzić, czy nastąpiło uszkodzenie sieci wodociągowej. Realizowane są one w oparciu o następujące procedury badawcze:

- obserwację gwałtownego wzrostu rozbioru wody w sieci;
- kontrolowanie i analizę chwilowych godzinowych rozborów wody i porównywanie ich między sobą;
- badanie godzinowych współczynników nierównomierności rozbioru wody;
- bilansowanie wody pobranej i wtłoczonej.

Należy brać pod uwagę, że nagły wzrost poboru wody może być również związany z poborem wody do gaszenia pożarów czy nagłym intensywnym poborem wody przez dużego odbiorcę dla celów własnych.

Najistotniejszy problem stanowią tzw. przecieki „kropelkowe”, to znaczy ubytki wody przedostające się w głąb gruntu niedające oznak na powierzchni terenu. Ze względu na niewielki wypływ taki przeciek bardzo trudno jest wykryć, a jeszcze trudniej zlokalizować. W takich przypadkach przydatne jest łączenie różnych metod z włączeniem metod akustycznych umożliwiających wykrywanie nawet niewielkich przecieków. Realizowane są one w oparciu o następujące procedury badawcze:

- badanie natężenia szumów rozchodzących się w sieci wodociągowej za pomocą przyrządów rejestrujących,
- osłuchiwanie sieci wodociągowej za pomocą stetofonu wyposażonego w mikrofon prętowy i geofon,
- analizę korelacji szmeru przecieku za pomocą korelatora.

Najprostszym przyrządem do poszukiwania przecieków jest laska nasłuchowa. Choć jest to proste i łatwe w obsłudze urządzenie, to posługiwanie się nim wymaga dużego doświadczenia z uwagi na dość trudną selekcję dźwięków pochodzących z nieszczelności w niektórych warunkach. Nowoczesne rejestratory szumów są na ogół cyfrowymi urządzeniami zbierającymi wartości natężenia szumów występujących w sieci wodociągowej. Szmerzy mają charakterystyczne brzmienia i zakresy częstotliwościowe, dzięki czemu możliwy jest ich opis matematyczny i zastosowanie urządzeń elektroakustycznych. Zakres częstotliwościowy przenoszonych przez rurociąg szmerów zależy od wielkości

i geometrii szczelności, rodzaju podłoża, ale istotny jest także materiał przewodu²¹. Za pomocą tych urządzeń wyznacza się odcinki sieci na których występują przecieki. Aby uzyskać rzetelne wyniki konieczne jest spełnienie dwóch podstawowych warunków, tj.:

- prowadzenie nasłuchu sieci w porach nocnych, co pozwoli na zminimalizowanie zakłóceń wydawanych przez ruch uliczny itp.;
- utrzymanie wysokiego ciśnienia w sieci pozwalającego na intensywny wypływ, a tym głośniejszy szum wody.

Pomiary prowadzone są w nocy, ponieważ wtedy ciśnienie w sieci jest zwykle najwyższe i stałe, tak więc przecieki charakteryzują się największym natężeniem wypływu – największym natężeniem szmeru²². Aby wstępnie ustalić miejsce wystąpienia przecieku, należy w otoczeniu miejsca podejrzanego o przeciek rozmieścić loggery szumów i zebrać pomiary. Instaluje się je w grupach po 6 lub więcej sztuk i rozstawia się je na hydrantach podziemnych. Umieszcawia się je co 200–400 metrów. Większe rozstawy stosuje się dla rur metalicznych, a mniejsze dla rur z tworzyw sztucznych. Osluchanie armatury pozwala zlokalizować odcinek sieci, podejrzewany o wyciek wody²³. Zastosowanie loggerów umożliwia jednak wyłącznie lokalizację odcinka, na którym występują wycieki; w celu dokładniejszej lokalizacji konieczne jest zastosowanie korelatorów szumów pozwalających na precyzyjną lokalizację miejsca wycieku. Korelator jest elektronicznym urządzeniem, które porównuje prędkości rozchodzenia się dźwięku powstałego na skutek wycieku wody. Przydatny jest zwłaszcza do przewodów żeliwnych i stalowych, chociaż daje dobre wyniki przy lokalizacji szczelności w nowych sieciach z tworzyw sztucznych. W skład zestawu korelacyjnego wchodzi:

- dwa stacjonarne mikrofony oraz hydrofony;
- dwa nadajniki wraz ze wzmacniaczami i wstępnymi filtrami;
- cyfrowe lub analogowe urządzenie obliczeniowe.

Metoda korelacji przecieku opiera się na ocenie rozchodzenia się szumu przez wybrany odcinek rury. Sygnał szumu, biegnąc od przecieku, dociera do czujników umieszczonych na końcach rury w różnych chwilach. Korelując oba odebrane sygnały, można dokładnie określić różnice w czasie docierania sygnałów do obu czujników, a dzięki temu wskazać miejsce wypływu wody²⁴. Do wykonania korelacji sieci potrzebne jest duże doświadczenie oraz znajomość takich parametrów jak: długość odcinka, średnica i materiał, ponieważ prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej jest zależna od materiału przewodu. Niestety, metoda korelacji narażona jest na błędy wywołane m.in. przez ruch uliczny, istniejącą infrastrukturę podziemną, błędne wprowadzenie danych do urządzenia, wynikające z niewiedzy lub braku rzetelnych informacji dotyczących badanego odcinka²⁵.

W celu doprecyzowania miejsca wycieku często metodę korelacji łączy się z metodą osłuchiwanie przewodu stetofonem wyposażonym w geofon. Dlatego też ostatnim etapem

²¹ ~~Tamże.~~

²² T. Borkowski, D. Gajuk-Kaczor, *Detekcja wycieków w sieci wodociągowej w MPKG Sp. z o.o. w Chelmie*, *Technologia Wody* 2011, nr 6, s. 53–54.

²³ I. Okeya, Z. Kapelan, C. Hutton, D. Naga, *Online Burst Detection in a Water Distribution System Using the Kalman Filter and Hydraulic Modelling*, „*Procedia Engineering*” 2014, *Np.* 89, pp. 418–427.

²⁴ T. Borkowski, D. Gajuk-Kaczor, *Detekcja wycieków...*, s. 53–54.

²⁵ G. Ye, R. Fenner, *Weighted Least Squares with Expectation-Maximization Algorithm for Burst Detection in U.K. Water Distribution Systems*, „*Journal of Water Resources Planning and Management*” 2014, *Np.* 140, pp. 417–424.

Usunięto: ,

Usunięto: M. Berger, M. Ways, *Poszukiwania przecieków sieci wodociągowej*, Warszawa, 2003.

Kod pola został zmieniony

Usunięto: n

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Usunięto: n

pracy ekipy diagnostycznej potwierdzającym miejsce wycieku są nasłuchy geofonem. Geofon jest elektronicznym urządzeniem nasłuchowym. Dźwięki docierające do mikrofonu są odpowiednio wzmacniane i filtrowane w celu uwydatnienia szumów pochodzących z nieszczelności. Badana jest cała długość podejrzanego odcinka w odstępach maksymalnie 1,5 m, a wzmocnienie i ustawienia filtrów są przy tym regulowane. Osluchanie powierzchni ziemi w małych odstępach umożliwia skuteczną lokalizację wycieku. Geofon jest łatwy w obsłudze, a zastosowanie odpowiednich przedziałów częstotliwości skutecznie przyczynia się do zlokalizowania miejsca wycieku. Geofon wyposażony dodatkowo w sondę gruntową jest nowoczesnym, skutecznym urządzeniem do lokalizacji pęknięć przewodów w gruntach spoistych, np. glinach.

Na rys. 1 i 2 przedstawiono używaną do wykrywania nieszczelności aparaturę: loggery szumów oraz korelator cyfrowy wraz z oprzyrządowaniem.



Rys. 1. Loggery szumów (kpl. 15 loggerów, oprogramowanie na PC, interfejs LogRI do komunikacji między laptopem i loggerami, konsola patrolująca)

Źródło: www.testometr.pl (dostęp: kwiecień 2016 r.).



Rys. 2. Korelator cyfrowy, dwa nadajniki sygnału, dwa czujniki magnetyczne, słuchawki, drążki

Usunięto: unkach

Sformatowano: Czcionka: 16 pt

Sformatowano: Wyrównany do środka

Sformatowano: Z prawej: 0 cm

Usunięto:

Sformatowano: Odstęp Po: 15 pt

Sformatowano: Wyrównany do środka

Sformatowano: Z prawej: 0 cm

Źródło: Źródło: www.testometr.pl (dostęp: kwiecień 2016 r.).

Skuteczne wykrywanie szczególnie niewielkich przecieków wymaga łączenia różnych metod. Zakłady wodociągowe w zależności od charakteru sieci wodociągowej, rodzaju wycieku czy posiadanych urządzeń opracowują własny sposób postępowania (tabela 2).

Tabela 2. Przykładowe postępowanie przy lokalizacji wycieków

Etap	Czynność	Sposób	Urządzenie
lokalizacja wstępna	określenie obszaru, w którym wystąpił wyciek	bilans strat wody w poszczególnych rejonach	-
		analiza wykresów nocnego przepływu wody	rejestratory przepływu
	określenie odcinka wodociągu, na którym wystąpiła nieszczelność	obserwacja terenu	-
		osłuch uzbrojenia sieci wodociągowej	rejestratory i korelatory sygnałów szumów
		rejestracja i analiza szumu	rejestratory szumu
lokalizacja precyzyjna	określenie i potwierdzenie miejsca nieszczelności	osłuch danego odcinka wodociągu	korelatory szumów, stetofon wyposażony w geofon
kontrola końcowa	kontrola po usuniętej awarii	ponowna analiza nocnego przepływu wody	rejestratory przepływu wody

Źródło: opracowanie własne na podstawie: T. Borkowski, D. Gajuk-Kaczor, *Detekcja wycieków...*, s. 53–54; G. Ye, R. Fenner, *Weighted Least Squares...*, pp. 417–424.

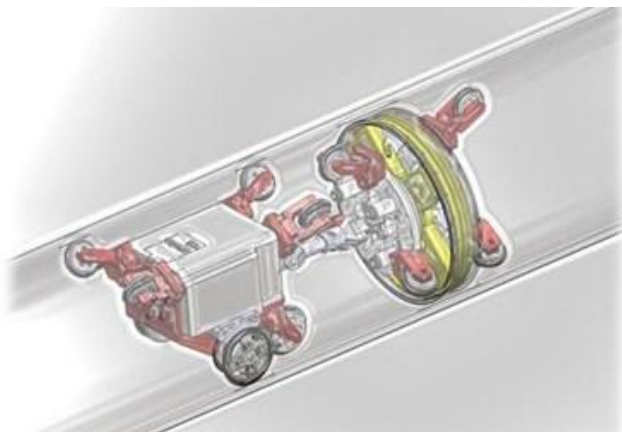
Należy podkreślić, że opracowuje się coraz doskonalsze metody i urządzenia do akustycznego wykrywania wycieków. Innowacyjnym rozwiązaniem jest Two-Way AMI system, który pozwala na skuteczne wykrywanie przecieków wody z systemu dystrybucji. Dzięki zastosowaniu sieci czujników akustycznych montowanych na istniejącej armaturze oraz zastosowaniu automatycznego opomiarowania zużywanej wody (pomiar z przesyłem informacji do bazy danych), a także odpowiedniego algorytmu obliczeniowego możliwa jest skuteczna kontrola całej sieci wodociągowej. Dane pozyskiwane przez bardzo czułe czujniki akustyczne przesyłane są na serwer sieci AMI, wyświetlając na bieżąco informacje na temat wartości zużycia wody. Podwyższone wartości zużycia świadczą mogą o wystąpieniu awarii lub przecieku na danym odcinku. Szacuje się, że zastosowanie systemu AMI pozwala na 40-proc. ograniczenie strat wody w systemie dystrybucji. Wadą tej metody jest fakt że wykrywanie nieszczelności w przewodach wykonanych z tworzyw sztucznych nie jest tak skuteczne jak w przewodach stalowych i żeliwnych ze względu na szybszy zanik fali dźwiękowej²⁶.

²⁶ D. Kang, K. Lansey, *Novel Approach to Detecting Pipe Bursts in Water Distribution Networks*, "Journal of Water Resources Planning and Management" 2014, No. 140(1), pp. 121–127.

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Innym bardzo ciekawym urządzeniem badającym stan sieci wodociągowej, wykonanym przez Uniwersytet w Arabii Saudyjskiej, jest robot wykrywający nieszczelności przewodów (rys. 3). Specjalnie skonstruowany robot służy do wskazywania miejsc wycieków na zasadzie wykrycia różnicy ciśnień²⁷. Wykrycie różnicy ciśnienia w sieci odbywa się przy użyciu jedynie dwóch czujników. Robot przemieszczając się w przewodzie z prędkością 1,5 m/s przesyła dane do oprogramowania komputerowego nanosząc na model graficzny miejsca, w których wykryta została różnica ciśnień wskazująca na przecieki wody. Metoda ta jest dokładniejsza i dużo mniej wrażliwa na czynniki zewnętrzne aniżeli urządzenia nasłuchowe montowane na sieciach wodociągowych²⁸. Podobnie jednak jak w przypadku metody akustycznej konieczna jest znajomość długości oraz średnicy przewodu wodociągowego, materiał przewodu nie jest już wymagany. Dokładne położenie robota w przewodzie odwzorowywane jest na modelu, na który nanoszone są miejsca wykrycia nieszczelności z bardzo dużą dokładnością²⁹.



Rys. 3. Robot wykrywający nieszczelności

Źródło: www.wateronline.com/doc/mit-develops-innovative-leak-detection-robot-0001 (dostęp: kwiecień 2016 r.).

4. PODSUMOWANIE

Straty wody w sieciach i instalacjach wodociągowych stanowią często bardzo wysoki procent wody włączanej do sieci. Wystąpienie przecieków w sieci wodociągowej wpływa

²⁷ T. Matt, M. Bracken, *Looking for leaks: Innovations to help water utilities address to water-energy nexus*, Water World, <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-29/issue-10/editorial.html> (dostęp: kwiecień 2016 r.).

²⁸ www.wateronline.com/doc/mit-develops-innovative-leak-detection-robot-0001 (dostęp: kwiecień 2016 r.).

²⁹ H. Mutikanga, S. Sharma, K. Vairavamoorthy, *Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems*, "Journal of Water Resources Planning and Management" 2012, No. 139(2), pp. 166–174.

Sformatowano: Wyrównany do środka

Sformatowano: Czcionka: 6 pt

Sformatowano: Czcionka: 8 pt

Sformatowano: Z prawej: -0,1 cm

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

na kondycję finansową zakładów eksploatujących systemy wodociągowe wodę, stwarza możliwość zanieczyszczenia wody wodociągowej jak również brak ciągłości dostawy wody. Ponadto wywołuje skutki pośrednie jak zapadnięcia się terenu, zagrożenie bezpieczeństwa ruchu, podmywanie fundamentów budynków czy przedostanie się wody do obiektów podziemnych. Dlatego też bilansowanie produkcji i sprzedaży wody, szybkie wykrywanie i usuwanie wycieków stanowi podstawę prawidłowej eksploatacji systemu wodociągowego.

Awaryjność rurociągów jest skutkiem zużywania się materiałów, wad materiałowych, błędów montażowych, projektowych lub eksploatacyjnych, a także incydentalnie, wynikiem działania innych czynników, jak np. roboty prowadzone w sąsiedztwie sieci wodociągowych, nadmierne obciążenia od ruchu kołowego, ruchy sejsmiczne itp. Często trudno jest jednoznacznie ustalić przyczyny powstawania wycieków. W wielu wypadkach przyczyny nakładają się na siebie, jak np. niekorzystne warunki gruntowe i wysokie ciśnienie w sieci. Najtrudniejsze do wykrycia i lokalizacji są niewielkie ubytki wody przedostające się w głąb gruntu niedające oznak na powierzchni terenu.

Dlatego też podstawą wczesnego wykrywania nawet drobnych uszkodzeń sieci wodociągowej jest stosowanie nowoczesnych metod i urządzeń do lokalizacji przecieków. Do podstawowych działań należy zaliczyć systematyczne sporządzanie bilansu strat wody i obliczanie wskaźników strat. Wczesne wykrywanie przecieków można realizować różnymi metodami zasygnalizowanymi w pracy. Często w celu precyzyjnej lokalizacji wycieków konieczne jest łączenie kilku metod i stosowanie różnych urządzeń do wykrywania przecieku. Bardzo istotne są pomiary i analiza wielkości ciśnienia oraz przepływu w sieciach. Priorytetem powinno być wyposażenie zakładów w urządzenia umożliwiające wykrywanie wycieków specjalistycznym sprzętem nasłuchowym jak: loggery geofony, stetofony czy korelatory.

LITERATURA

- [1] Bergel T., Pawelek J., *Straty wody w systemach wodociągowych-charakterystyka, wielkość, wykrywanie i ograniczanie*, III Konferencja Naukowo-Techniczna „Błękitny San”, Dubiecko, 21–22 kwietnia 2006, s. 125–137.
- [2] Berger M., Ways M., *Poszukiwania przecieków sieci wodociągowych*, Wyd. Seidel-Przywecki, Warszawa 2003.
- [3] Borkowski T., Gajuk-Kaczor D., *Detekcja wycieków w sieci wodociągowej w MPGK Sp. z o.o. w Chelmie*, „Technologia Wody” 2011, nr 6, s. 53–54.
- [4] Clarke M., Boden P., Mcdonald A., *DEBTOR: debt evaluation, bench-marking and tracking – a water debt management tool to address UK water debt*, “Water and Environment Journal” 2012, Vpl. 26, pp. 292–300.
- [5] Dohnalik P., Jędrzejewski A., *Efektywna eksploatacja wodociągów*, Wyd. LEMtech Konsulting Sp. z o.o., Kraków 2004.
- [6] Hotłoś H., *Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacji sieci wodociągowych*, Monografia 49, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [7] Hotłoś H. *Reliability level of municipal water-pipe network*, “Environment Protection Engineering” 2003, Vpl. 2, pp. 141–151.
- [8] Hug O., Rödiger A., Schaffert R., Tippmann S., *Prozess -Benchmarking Rohrnetz betreiben und Kundenorientierung: Modernisierungspotenziale aufdecken und erschließen*, “Energie Wasser Praxis” 2002, Vpl. 7/8, pp. 2–7.

Usunięto: v

Usunięto: v

Sformatowano: Bez podkreślenia,
Kolor czcionki: Automatyczny,
Niemiecki (Niemcy)

Usunięto: v

Sformatowano: Niemiecki (Niemcy)

- [9] Kang D., Lansley K., *Novel approach to detecting pipe bursts in water distribution networks*, "J Water Resour Plan Manag" 2014, 140(1), pp. 121–127.
- [10] Kusak M., Kwietniewski M., Sudoł M., *Wpływ różnych czynników na uszkodzalność przewodów sieci wodociągowych w świetle eksploatacyjnych badań niezawodności*, „Gaz, Woda i Technika Sanitarna” 2002, nr 10, s. 366–371.
- [11] Kwietniewski M., *Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych*, Mat. XXV Konf. Nauk. Tech. Awaryjne Budowlane 2011, t. 1, Międzyzdroje 2011, s. 127–140.
- [12] Kwietniewski M., Miszta-Kruk K., Piotrowska A., *Wpływ temperatury wody w sieci wodociągowej na jej awaryjność w świetle eksploracyjnych badań niezawodności*, „Czasopismo Techniczne Środowisko” 2011, t. 108, z. 1-Ś, s. 113–127.
- [13] Kwietniewski M., Tłoczek M., Wysocki L. (red.), *Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych*, Wyd. Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, Bydgoszcz 2011.
- [14] Kwietniewski M., *Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych*, „Ochrona Środowiska” 2013, nr 35(4), s. 9–16.
- [15] Lambert A., McKenzie R., *Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index*, Paper to IWA Conference Leakage Management – A Practical Approach, Cyprus November 2002, pp. 320–338.
- [16] Matt T., Bracken M., *Looking for leaks: Innovations to help water utilities address to water-energy nexus*, Water World, <http://www.waterworld.com/articles/print/volume-29/issue-10/editorial.html> (dostęp: kwiecień 2016 r.).
- [17] Mutikanga H., Sharma S., Vairavamoorthy K., *Methods and Tools for Managing Losses in Water Distribution Systems*, "Journal of Water Resources Planning and Management" 2012, 139(2), pp. 166–174.
- [18] Ociepa E., Kędzia W., *Analiza strat wody w wybranych wodociągach województwa śląskiego*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2015, nr 18 (3), s. 277–288.
- [19] Ogiółda E., Dębicki B., *Straty wody w systemie wodociągowym w Nowej Soli*, Uniwersytet Zielonogórski, Zeszyty Naukowe nr 144, „Inżynieria Środowiska” 2011, nr 24, s. 92–102.
- [20] Okeya I., Kapelan Z., Hutton C., Naga D., *Online Burst Detection in a Water Distribution System Using the Kalman Filter and Hydraulic Modelling*, "Procedia Engineering" 2014, No. 89, pp. 418–427.
- [21] Piechurski F., *Awaryje w systemie dystrybucji wody*, cz. I, „Inżynier Budownictwa” 2014, nr 1, s. 81–86.
- [22] Piechurski F., *Działania zmierzające do ograniczania strat wody w systemach jej dystrybucji*, „Napędy i Sterowanie” 2014, nr 1, s. 68–79.
- [23] Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W., *Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych*, „Ochrona Środowiska” 2004, nr 4, s. 25–30.
- [24] Speruda S., *Optymalny poziom strat z wycieków w sieci wodociągowej*, Akademia Strat Wody WaterKEY, Warszawa 2011.
- [25] Szymura E., Zimoch I., *Kwantyfikacja stref systemu dystrybucji wody w ujęciu wskaźników strat wody i awaryjności sieci* [w:] *Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody*, red. I. Zimoch, W. Sawiniak, Zakład Graficzny Błękitne Studio, Gliwice 2013.
- [26] www.testometr.pl (dostęp: kwiecień 2016 r.).
- [27] www.wateronline.com/doc/mit-develops-innovative-leak-detection-robot-0001 (dostęp: kwiecień 2016 r.).

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Usunięto: , 2011

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Usunięto: n

Usunięto: -

- [28] Ye G., Fenner R., *Weighted Least Squares with Expectation-Maximization Algorithm for Burst Detection in U.K. Water Distribution Systems*, "Journal of Water Resources Planning and Management" 2014, no. 140, pp. 417–424.
- [29] Zambrano J.A., Gil-Martinez M., Garcia-Sanz M., Irizar I., *Benchmarking of control strategies for ATAD technology: a first approach to the automatic control of sludge treatment systems*, "Water Science and Technology" 2009, Vol. 60, No. 2, pp. 409–417.

MODERN METHODS AND TOLLS FOR LOCALISATION OF WATHER LEAKS IN DISTRIBUTION SYSTEMS

The article presents the most common causes of damage to water supply systems and the related water loss. The causes of damage are errors at the design, construction and exploitation stages of water supply systems development. The detailed analysis of the damage intensity values of water supply systems, shown in numerous studies, indicates that the frequency of pipe defects depends primarily on the amount and pressure of fluctuations in water networks, water hammer, material and diameter of the ducts, exploitation time and the period of construction of their arrangement and the time of the year. In many cases, the causes, e.g. material defects, high pressure in the network, overlap.

The further part of the work defines the searching methods for pipe leaks associated with the observation of the terrain along the network route, based on pressure and flow measurements, and acoustic methods. It was emphasized that the proper execution of the balance of the water introduced into the network and sold, and the calculation of the water loss indicators are the basis for the decision about the need for leakage search. The initial location of the leak may be based on the measurements of flow and pressure in the network. A sudden and intense leak makes the water consumption increase, and the pressure immediately drops. Acoustic methods, using devices such as loggers, correlators or geophones, allow to precisely point out the leak. The presented methods are used in the modern management of the water supply network.

Keywords: failure of water supply, water loss, water balance, water supply management, efficiency.

DOI: [10.7862/rz.2017.mmr.7](https://doi.org/10.7862/rz.2017.mmr.7)

Tekst złożono w redakcji: listopad 2016 r.

Przyjęto do druku: marzec 2017 r.

Kod pola został zmieniony

Kod pola został zmieniony

Usunięto: v

Usunięto: n

Sformatowano: Czcionka:
Pogrubienie, Bez podkreślenia, Kolor
czcionki: Automatyczny

Sformatowano: Czcionka:
Pogrubienie

Sformatowano: Polski (Polska)