Sławomir SPERUDA

www.waterkey.pl

EXTREMALNIE WYDAJNY SPOSÓB WALKI ZE STRATAMI WODY Z WYCIEKÓW - SZYBKOŚĆ DETEKCJI WYCIEKÓW (ELEMENT SZYBKOŚCI NAPRAW)

Zgodnie z metodologią polecaną przez International Water Association optymalizowanie pracy sieci wodociągowej opiera się na czterech opcjach:

- Aktywnej Kontroli Wycieków,
- Szybkości Napraw (elementem tej opcji jest omawiana tu Szybkość Detekcji Wycieków),
- Kontroli i Regulacji Ciśnienia,
- Rehabilitacji Przewodów.

Celem tych działań jest osiągnięcie przez przedsiębiorstwo wodociągowe najniższych kosztów dostawy wody oraz zapewnienie jej właściwej jakości odbioru u klienta.

Szybkim i aktywnym podejściem do strat z wycieków są Aktywna Kontrola Wycieków i Szybkość Napraw. Opierają się one na detekcji wycieków i kontroli wielkości strat [1]. Opcje te bazują głównie na wydatkach eksploatacyjnych i są łatwe do rozwinięcia na obszarach o dotąd nierozpoznanym ekonomicznie statusie strat.

Szybkość Napraw dzieli się na:

- Szybkość Detekcji wycieków,
- Jakość i Organizację Napraw.

W niniejszym artykule zwrócimy uwagę na element szybkiej detekcji i usuwania wycieków – nazwany tutaj – Szybkością Detekcji Wycieków.

Aktywna Kontrola Wycieków (AKW) umożliwia skrócenie czasu trwania pojedynczego wycieku do 40-50 dni i związana jest z częstotliwością dokonywanych przeglądów sieci. Im częściej tego dokonujemy tym bardziej skracamy czas trwania wycieków na jej obszarze. Straty wody oceniane są tutaj na podstawie tradycyjnego bilansu wody a podstawową jednostką pracy na sieci jest strefa – wydzielony z niej podobszar, na którym organizuje się proces detekcji wycieków.

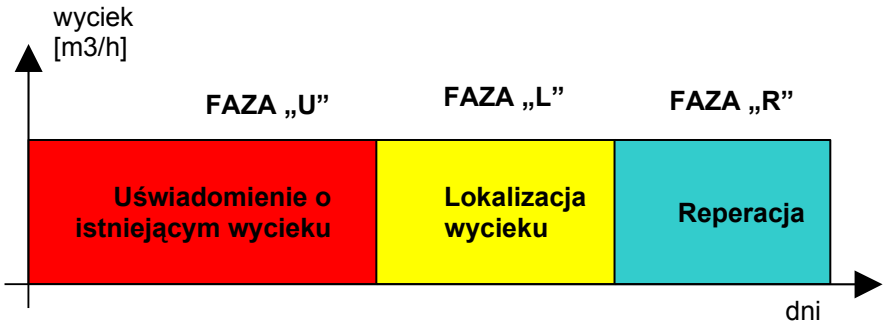
Szybkość Detekcji Wycieków (SDW) umożliwia skrócenie trwania wycieku nawet do kilku lub kilkunastu dni. Sama nazwa tej opcji jest w odniesieniu do rodzimych warunków krajowych nieco myląca. Otóż niektórzy polscy eksploatatorzy twierdzą, że wyciek trwa zaledwie kilka godzin do chwili podjęcia wiadomości o jego istnieniu. Taka sytuacja jednak bardzo rzadko ma miejsce - głównie w przypadku gruntów nie wchłaniających wody, dużych średnic przewodów itd. Również obserwacje on-line strat z wycieków potwierdzają dużo wcześniejsze formowanie się wycieku, zanim nastąpi stabili-

zacja wielkości jego wydatku oraz następnie uświadomienie sobie o jego istnieniu przez eksploatatora.

Badania wykonane na forum międzynarodowym potwierdzają fakt, że moment powstania wycieku daleko (średnio sto kilkadziesiąt dni) wyprzedza chwilę, w której dowiadujemy się o jego istnieniu z wycieku wody na powierzchni gruntu itd.

W tym kontekście Szybkość Detekcji Wycieków polega na zmniejszeniu czasu trwania wycieku od chwili jego powstania, a nie na szybkim dokonaniu naprawy sieci, która w przeciętnych warunkach trwa kilka godzin nie licząc odtworzenia nawierzchni itd. Na rysunku nr 1 pokazano schematycznie czas i fazy trwania wycieku.

Rys. 1. Fazy trwania wycieku



Jeśli weźmiemy pod uwagę różne możliwości procesów AKW i SDW to w różnym stopniu na różnych etapach umożliwiają one skrócenie czasu trwania wycieku.

W tabeli nr 1 pokazano różnice pomiędzy pasywnym podejściem do kontroli wycieków, a aktywnymi metodami skracania długości ich trwania.

Tabela 1. Porównanie możliwość skrócenia różnych faz wycieku za pomocą różnych technologii

Fazy trwania wycieku	**„U”** **Uświadomienie o istniejącym wycieku**	**„L”** **Lokalizacja wycieku**	**„R”** **Reperacja**
Pasywna kontrola wycieków (reperuje się wycieki, które się same ujawnią)	Średnio powyżej 100 dni	Nie dokonuje się lokalizacji wycieków, wycieki same „wychodzą” na powierzchnię gruntu itp.	Kilka godzin
Aktywna Kontrola Wycieków	Do kilkudziesięciu dni	Do kilkunastu dni	Kilka godzin
Szybkość Detekcji Wycieków	Kilka, kilkanaście dni	Do kilku dni lub jednej doby	Kilka godzin

Straty wody w procesie SDW określa się na podstawie minimalnego nocnego przepływu, a podstawą jednostką pracy na sieci jest podobszar strefy – tzw. DMA (ang. district metered area). Detekcji wycieków nie dokonuje się tutaj w oparciu o ekonomiczną częstotliwość przeglądów, ale na bazie sygnału o wielkości wycieku z wykresów nocnego przepływu wody. Jeśli poziom strat wody z wycieków jest większy od tak zwanego poziomu wejścia (P_{WE}) dla strefy wówczas:

- testuje się strefę w celu wyłonienia obszaru DMA zawierającego konkretny poszukiwany wyciek (testowanie stopniowe obszarów DMA),
- dokonuje się kontroli wyłonionego obszaru DMA i lokalizuje na nim wyciek.

Testowania stopniowe strefy różni się od testowania krokowego sieci. Testowanie stopniowe to wartościowanie strat wody z wycieków w poszczególnych DMA. Poprzez odcinanie do nich napływającej wody w okresie ściśle nocnym, możemy określić poziom strat z wycieków i szybko obliczyć, czy dalsze działania (od kontroli sieci, aż po naprawę wycieku) będą opłacalne pod względem finansowym.

Przyjrzyjmy się różnicom pomiędzy Szybkością Detekcji Wycieków a Aktywną Kontrolą Wycieków w zakresie stosowanego podejścia i narzędzi. Przedstawia to Tabela nr 2.

Tabela 2. Różnice pomiędzy Szybkością Detekcji Wycieków a Aktywną Kontrolą Wycieków, w zakresie stosowanego podejścia i narzędzi

PROCES	AKW	SDW
1. Wiedza o poziomie strat z wycieków w sieci uzyskiwana poprzez	Bilans tradycyjny obarczony bardzo wysokim poziomem strat pozornych. (Częstotliwość wykonywania bilansu decyduje o dokładnym oznaczeniu wielkości strat. Z praktycznych racji bilans taki ma szansę być dokładnym w cyklu kwartalnym.)	Bilans minimalnego nocnego przepływu stosowany dla strefy i dla obszarów DMA po wykonaniu testowania stopniowego. (Częstotliwość dokonywania bilansu – raz na dzień, a bilansu DMA – po przeprowadzeniu testowania stopniowego.)
2.Dotarczenie danych do kierującego procesem	a) Kwartalnie, po wykonaniu bilansu, b)W zaawansowanej AKW przykładowo ręczny odczyt danych z logerów (zlokalizowanych przy przepływomierzach) laptopem	a) przesył danych on-line lub jednorazowo po zakończeniu okresu ściśle nocnego b) Przy testowaniu stopniowym – odczyty bieżące wskazań przepływomierza strefowego c)konieczna komputerowa ekonomiczna obróbka poziomu wejścia i wyjścia ze strefy d) komputerowe ustawianie hierarchii przeglądów wyłonionych ze stratami -DMA
3. Określenie wielkości obszaru przeznaczonego do detekcji wycieków	Najmniejszym obszarem podlegającym szacowaniu efektywności kontroli wycieków jest strefa, jeśli nie cała sieć w przypadku	Dokładne wyznaczenie małego podobszaru sieci (DMA), wchodzącego w skład strefy i zawierającego wyciek, poprzez

	mniejszych miast.	testowanie stopniowe.
4. Określenie sposobu lokalizacji wycieków	Rzadko wskazanie na wielkość wycieku i sposób kontroli sieci (nie wiadomo czy dokonywać przeglądu ogólnego czy szczegółowego)	Częstsze wskazanie na wielkość wycieku, typ przeglądu (szczegółowy lub ogólny)
5. Wskazanie wycieku	Potwierdzona korelacja	Jak w AKW lecz na bazie dedykowanego (optymalizowanego) sposobu przeglądu sieci.
6. Naprawa wycieku	Standardowo	Jak obok z odnotowaniem wielkości wycieku i czasu trwania wycieku od sygnału jego powstania, dodatkowo uwzględniane elementy jakości napraw

Z przedstawionej charakterystyki procesów SDW i AKW wynika:

a) w zakresie oceny wielkości strat wody i kierowania procesem , że:
- w przypadku AKW wiedza o poziomie strat (przykładowo 12±5%) jest obarczona zbyt wysokim błędem pozornym wynikającym z przyjętej metodologii oceny strat wody (uwaga: przy AKW oraz SDW powoli odchodzimy od tradycyjnego bilansowania wody na rzecz bilansu minimalnego nocnego przepływu); stąd niemożliwa jest szybka i adekwatna reakcja na wielkość strat wody oparta na bilansie tradycyjnym; parametr sterujący procesem AKW (tj. wielkość strat wody) - obarczony tak wysokim błędem pozornym -nie może służyć do sterowania szybką technologią ograniczania strat z wycieków, a jedynie do okresowej ich kontroli,
- w SDW poziom strat z wycieków określa się z błędem wynikającym prawie jedynie z błędu posiadanego urządzenia mierzącego przepływ nocny, jeśli wielkość tego przepływu wzrasta w związku z wyciekami – umożliwia to podjęcie natychmiastowych działań na sieci,
- w SDW otrzymujemy o rząd wielkości szybszy sygnał o wielkości strat wody oraz obarczony o wiele mniejszym błędem niż w AKW; faza „U”- uświadomienia o istnieniu pojedynczego wycieku może wynieść w skrajnych przypadkach nawet kilka godzin,

b) w zakresie skrócenia czasu lokalizacji wycieku, że:
- w AKW nie testujemy obszarów testem stopniowym w jednakowych warunkach pojedynczego okresu ściśle nocnego; nie pozwala to na ograniczenie obszaru kontrolowanej sieci i na zawężenie go przykładowo do jednego DMA; ma to wpływ na koszt kontroli sieci, który jest większy w AKW niż w SDW przynajmniej kilkakrotnie.
- w SDW dokonujemy bilansu nocnego przepływu dla DMA i określamy wielkość wycieków w pojedynczym DMA; umożliwia to nam zoptymalizowanie wyszukiwania wycieków na poziomie DMA (jeśli wycieki są większe od P_{WE} wówczas podejmujemy interwencję); sytuacja ta umożliwia w systemach posiadających setki DMA na ustawienie kolejki priorytetowej przeglądów sieci, czego nie możemy dokonać w AKW nawet odnośnie stref z uwagi bardzo wysoki błąd dotyczący strat pozornych,

c) w zakresie optymalizacji samego wyszukiwania wycieków, że:

- w SDW, w przeciwieństwie do AKW, możemy skierować ekipy kontroli sieci na przegląd ogólny (około 2 razy tańszy od szczegółowego) - jeżeli poszukiwany przez nas wyciek w fazie formowania się jego wielkości oraz osiągniętego wydatku wskazuje na takie rozwiązanie; tym oto sposobem obniżamy po raz wtóry koszty detekcji wycieków w stosunku do AKW;
- w zaawansowanym AKW (nawet przy nasyceniu sieci logerami i przepływomierzami) nie dysponujemy oprogramowaniem dynamicznie oceniającym ekonomikę działania na obszarach DMA, nawet jeśli znamy poziom strat wody z wycieków– intuicyjną decyzję o podjęciu kontroli strefy pozostawiamy jej zarządcy,

Wyjaśniając w ten sposób różnice pomiędzy AKW a SDW autor nie deprecjonuje w żaden sposób procesu AKW.

W każdej większej i dobrze zarządzanej sieci istnieją jednocześnie trzy typy stref (z powodów ekonomicznych), strefy poddawane pasywnej kontroli strat , AKW i SDW.

AKW stosowano dotąd w sieciach o taniej wodzie i z łatwą do opanowania wielkością strat wody z wycieków. Natomiast w sieciach o odmiennych warunkach (na przykład tereny szkód górniczych) zmniejszanie strat wody za pomocą AKW nie przynosi większych praktycznych rezultatów w zakresie obniżenia trendu strat wody. Podobna sytuacja występuje w sieciach wodociągowych, gdzie wyszukiwanie wycieków jest utrudnione z uwagi na materiał rur – przewody plastikowe itd. Stąd niejednokrotnie w warunkach krajowych w celu skutecznego ograniczenia strat wody z wycieków następuje konieczność wykonania monitoringu strat w postaci on-line.
Monitoring sieci on-line jest podstawą procesu Szybkości Detekcji Wycieków oraz uwzględniany jest w ocenie efektywności całego przedsięwzięcia. Przedstawia to poniższe równanie (w przypadku SDW pożądanym jest, aby wszystkie koszty wydatkowane na ograniczenie strat z wycieków wraz z kosztem strat wody osiągały minimum).

$$KD_{SDW} + KM_{SDW} + KS_{SDW} = \min$$

gdzie:
KD_{SDW} - koszt detekcji w SDW
KM_{SDW} - koszt monitoringu SDW
KS_{SDW} – koszt strat wody w SDW

Z kolei w przypadku AKW pożądanym jest, aby koszt detekcji wycieków i koszt strat wody osiągały minimum.

$$KD_{AKW} + KS_{AKW} = \min$$

gdzie:
KD_{AKW} - koszt detekcji w AKW
KS_{AKW} - koszt strat wody w AKW

W równaniu dla AKW nie wykazano kosztów monitoringu, gdyż wielkość strat z wycieków może być oceniana na bazie tradycyjnego bilansu okresowego.

Zwróćmy uwagę na następujące zależności:

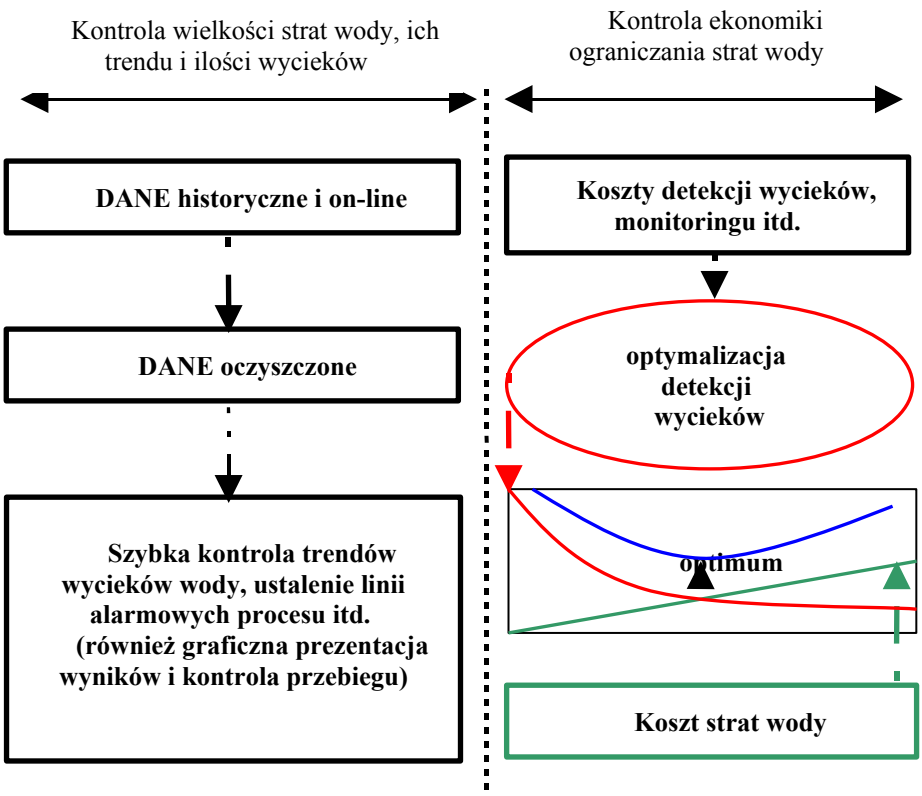
$$KD_{AKW} > KD_{SDW}$$
$$KS_{AKW} > KS_{SDW}$$

Koszt detekcji dla SDW jest mniejszy niż dla AKW z kilu omówionych wcześniej powodów. Koszt strat wody również w SDW jest mniejszy z powodu znacznego skrócenia czasu trwania wycieku.

Realizacja procesu SDW

Proces SDW realizowany jest dwutorowo (rysunek nr 2). Z jedne strony następuje obróbka i analiza danych oraz trendów strat wody, z drugiej – optymalizacja kosztów detekcji wycieków.

Rys. 2. Dwutorowa realizacja procesu SDW

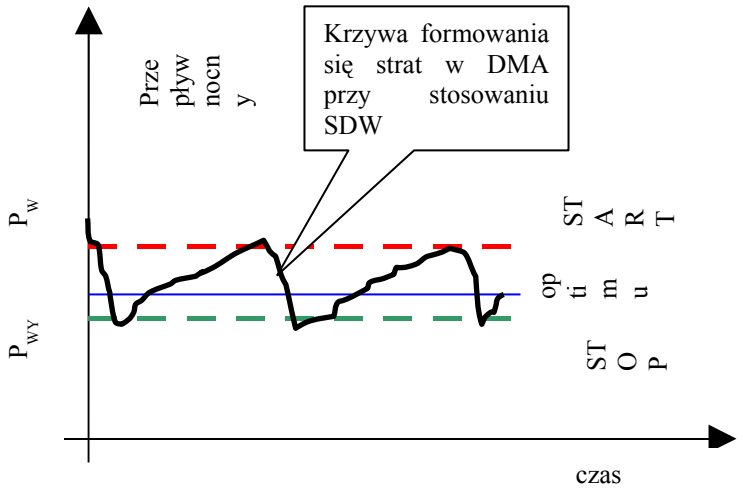


Pojęcie „dane oczyszczone" oznacza, że z danych historycznych zostały usunięte wszystkie odchyłki i zakłócenia, które miałyby wpływ na ocenę przebiegu procesu SDW.

Przykładem korekt – mających na celu oczyszczenie danych - jest „wycięcie" przepływów mierzonych w okresie nocnym i przeznaczonych na płukanie sieci. Niektóre z takich odchyłek od normalnej pracy sieci powodują również sami odbiorcy wody poprzez odbiegające od średnich – pobory wody.

W wyniku stosowania SDW straty zmuszane są w obszarze DMA do oscylacji wokół poziomu optymalnego. Patrz rysunek nr 3.

Rys.3. Oscylacja strat wody z wycieków w DMA



Momenty rozpoczęcia i powstrzymania detekcji wycieków na obszarze DMA opisują poziomy P_{WE} i P_{WY}.

P_{WE} - odpowiada ekonomicznemu poziomowi wejścia w celu sprawdzenie DMA. Jest to poziom natężenia wycieków lub wycieku, przy którym w warunkach danego DMA opłaca się dokonać przeglądu sieci.

P_{WY} - odpowiada ekonomicznemu poziomowi wyjścia ekip detekcji wycieków z DMA. Przy tym natężeniu strumienia wycieków nie opłaca się dalej kontynuować sprawdzania DMA pod kątem istniejących na nim wycieków.

W procesie SDW istnieją dwie linie (kierownice) determinujące proces ograniczania wycieków i jednocześnie wielkość samych strat wody dla każdego DMA. Pomiędzy obydwoma liniami znajduje się optimum. W procesie AKW, z powodu regulowania wielkości strat przez częstość przeglądów sieci, wskazuje się tylko optimum, do którego należy dążyć – tak zwany ekonomiczny poziom wycieków (EPW).

Wymagania sprzętowa

Jak wspomniano wcześniej proces SDW wymaga monitoringu on-line stanu sieci wodociągowej. Sieć monitorowana jest w następujących punktach:
- przepływ i ciśnienie na zasilaniu strefy,
- ciśnienie w punkcie średniego ciśnienia operacyjnego strefy.

Obszary DMA monitoruje się jedynie w trakcie przeprowadzania testowania stopniowego – zamykając i otwierając zasilająca ich zasuwę lub zasuwy (w oparciu o wskazania przepływomierza strefowego). Jeszcze obecnie, niektóre z przedsiębiorstw wodociągowych używają specjalistycznych samochodów do pomiaru przepływu na sieci. Jest to przydatne rozwiązanie w warunkach wodociągowych, lecz na dłuższą metę

bez specjalistycznego oprogramowania skazane jednak na dość intuicyjne traktowanie strat z wycieków.

Dla potrzeb SDW wymagane są naprawdę dobre przepływomierze:
- o szerokiej zakresowości np.: 1:1500,
- o minimalnej rejestrowanej prędkości cieczy równej przynajmniej - 1 cm/s,
- o dobrej dokładności,
- dużej częstotliwości impulsowania (z uwagi na potrzeby testowania stopniowego w nocy).

Przykładem takich urządzeń są choćby urządzenia ABB.

Wymagania dotyczące oprogramowania

Optymalizując na bieżąco pracę z wyciekami napotykamy szereg trudności w zakresie oceny aktualnego stanu sieci. Przy zarejestrowaniu obecności wycieku pożądana jest niezwłoczna decyzja. Stąd bieżąca analiza procesu SDW, kierowanie nim oraz sprawdzanie jego efektywności możliwe jest do opanowania jedynie przy udziale dedykowanego oprogramowania.

Intuicyjnie sądzimy, że uda nam się określić poziom interwencji na DMA po uzyskaniu wiedzy o przepływie nocnym albo, że przepływ nocny na DMA, które nie posiada wycieku powinien być zerowy. Nic bardziej błędnego.
W zależności od ilości przyłączy, długości sieci, czasu eksploatacji, ilości odbiorców itd. wody musimy najpierw obliczyć minimalny nocny przepływ oraz ewentualny możliwy błąd wynikający z metodyki obliczeń przypadający na te wymienione elementy sieci (straty do gruntu + pobór wody przez odbiorców). Następnie odejmujemy go od zarejestrowanego w trakcie testowania obszarów DMA. Uzyskujemy w ten sposób wydatek związany z wyciekami. W kolejnym kroku określamy pracochłonność procesu detekcji wycieków, która jest inna dla każdego DMA i nie może zostać przyjęta wskaźnikowo np. 200 zł/km dla wszystkich DMA. Różne rodzaje przewodów, w różnym gruncie i przy różnej ilości punktów dostępu oraz rodzaj przeglądu komplikują na tyle ten element, że niezbędna jest matematyczna obróbka każdego DMA pod kątem pracochłonności detekcji wycieków. Jeśli w końcu uzyskamy koszt wycieku oraz koszt przy pomocy, którego możemy usunąć wyciek, dzięki narzędziom ekonometrycznym dopiero może nastąpić obliczenie poziomu interwencji (P_{WE} oraz P_{WY}). Poziom ten może być zaimplementowany do każdej SCAD-y poprzez pliki współpracujące z nią, np. typu DLL.
Oprogramowania sterujące procesem SDW musi również ułatwiać podejmowanie decyzji ustawiając priorytetową kolejkę przeglądów sieci (w zależności od opłacalności usunięcia wycieku na każdym wskazanym do przeglądu DMA). Przykładem oprogramowań do sterowania ekonomika i inżynierią działań na sieci są:
- polskie: WaterKEY,
- angielskie: APLE.

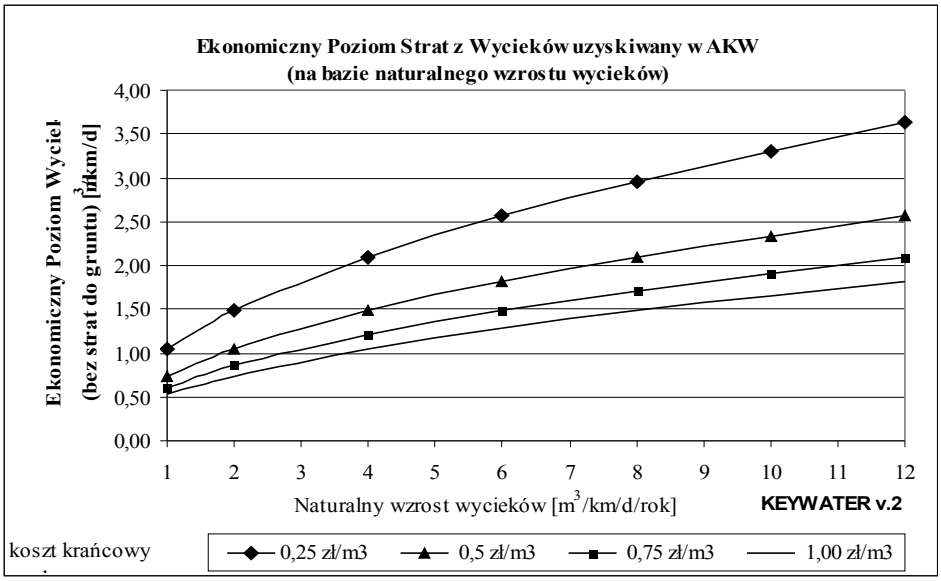
Sytuacja krajowych sieci wodociągowych

Na bazie doświadczeń międzynarodowych przeciętny wyciek wody na sieci wodociągowej przynosi straty przez około 100 do 120 dni zanim zostanie usunięty przez eksploatatora! Być może stąd pochodzi przyczyna katastrofalnego (osobistym zdaniem autora) zaniedbania stanu polskich sieci wodociągowych w zakresie kontroli wycieków.

Można przyjąć, że w chwili obecnej straty na nich wynoszą średnio około 18,56% [2]. Jeśli porównamy wskaźniki procentowe strat z innymi krajami wówczas nie otrzymamy specjalnie niepokojących sygnałów. Jeśli natomiast odniesiemy wolumetryczną wielkość tychże strat do sieci rozdzielczej (z wyłączeniem przyłączy, tak jak to raportują przedsiębiorstwa zagraniczne) wówczas otrzymamy straty na poziomie około 20 m3/km/d! Dla przykładu w sieciach wodociągowych Wielkiej Brytanii straty te wynoszą średnio 11 m3/km/d. Różnica widoczna jest gołym okiem. Potwierdza ją zresztą , większa aż o rząd wielkości awaryjność sieci w stosunku do zachodnich. Sytuacja krajowa nie oznacza jednak, że posiadamy w przybliżeniu dwa razy gorszy stan szczelności sieci. Równoprawnym składnikiem strat są, oprócz strat z wycieków, również straty do gruntu. Stąd zdaniem autora, co roku raportujemy kilkukrotnie (jeśli nie bardziej) gorszy stan polskich sieci w stosunku do dobrze utrzymanych w innych krajach[3]. W tym świetle nie bez znaczenia jest rozwinięcie profesjonalnego podejścia do ograniczania ilości przecieków.

Stosując uproszczone wzory (używane przy metodzie naturalnego wzrostu wycieków), w przypadku stosowania AKW możemy otrzymać –pokazane na rysunku nr 4 - efekty ograniczenia strat - ekonomiczne poziomy wycieków (bez strat do gruntu oraz w przeliczeniu na sieć rozdzielczą bez przyłączy). Wykres sporządzono dla kosztów przeglądu sieci na poziomie 200 zł/km.

Rys.4. Ekonomiczny Poziom Wycieków na bazie AKW



Jeśli odniesiemy zasymulowane tu warunki pracy sieci wodociągowej do procesu Szybkości Detekcji Wycieków to jesteśmy w stanie w przeciętnych warunkach uzyskać:

- nawet pięciokrotne zmniejszenie czasu trwania wycieku w stosunku do AKW, a tym samym strat wody z wycieków,
- kilkukrotne zmniejszenie kosztów detekcji wycieku (gdyż zajmujemy się pod-obszarem strefy, a nie całą strefą),

Stąd AKW realizowana jest przy wskaźniku korzyści do kosztów na poziomie 2-ch do 3. W tych samych warunkach proces SDW jest w stanie wygenerować kilkukrotnie lepszy wskaźnik korzyści do kosztów.

Podsumowanie

Proces Szybkości Detekcji Wycieków (element Szybkości Napraw) posiada wiele cech stawiających go na czele wszystkich technologii zmniejszających straty z wycieków. Diametralne skrócenie czasu trwania wycieku umożliwia często na tym polu sfinansowanie monitoringu on-line sieci. Z doświadczeń autora wynika, że w krajowych sieciach wodociągowych posiadających trudne warunki wyszukiwania wycieków już przy krańcowych kosztach krótkoterminowych na poziomie dwudziestu kilku groszy na metr sześcienny sfinansowanie monitoringu sieci i specjalistycznego oprogramowania dla potrzeb SDW staje się opłacalne ekonomicznie. Proces SDW wymaga dopasowania do indywidualnych cech systemu wodociągowego w większym stopniu niż Aktywna Kontrola Wycieków.

Przy podejściu do szybkich metod ograniczania strat z wycieków ważna jest również zmiana mentalności. Nie wystarczy już operowanie bilansem tradycyjnym strat wody, a wykonanie strefowania sieci jest podstawą do dalszych na niej działań.

W artykule podniesiono argumenty inżynierskie i ekonomiczne przemawiające za procesem Szybkości Detekcji Wycieków. Lecz nie bez znaczenia dla wszystkich użytkowników wodociągu powinna być dodatkowo szczelność przewodów często sąsiadujących z przewodami kanalizacji sanitarnej oraz związane z tym nieuniknione konsekwencje (udowodnione na wszystkich systemach wodo ciągowych- przenikanie zanieczyszczeń z kanalizacji do światła przewodów wodociągowych).

Bibliografia

[1] S.Speruda, R.Radecki Ekonomiczny Poziom Wycieków, Warszawa: TRANSLATOR 2003,

[2] P.Dohnalik Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych, Bydgoszcz: PFOZW 2000

[3] Report C: „Setting economic leakage targets”, WRC 1994