



dr inż. Tomasz BERGEL  
prof. dr hab. inż. Jan PAWEŁEK

AKADEMIA ROLNICZA IM. HUGONA KOŁŁĄTAJA  
W KRAKOWIE

## STRATY WODY W SYSTEMACH WODOCIĄGOWYCH - CHARAKTERYSTYKA, WIELKOŚĆ, WYKRYWANIE I OGRANICZANIE

### Abstrakt

*Jednym z najważniejszych problemów eksploatacyjnych wodociągów na całym świecie są obecnie straty wody, stanowiące niekiedy bardzo wysoki procent wody włączanej do sieci wodociągowej. Analiza strat wody wchodzi w zakres szeroko rozumianej eksploatacji systemu wodociągowego i powinna być podstawą do podejmowania działań modernizacyjnych i naprawczych, a tym samym zmniejszenia kosztów związanych z produkcją wody i jej dystrybucją.*

*Artykuł stanowi przegląd wiedzy nt. strat wody, ze szczególnym uwzględnieniem polskiego dorobku w tej dziedzinie. Przedstawiono w nim charakterystykę strat wody w systemach wodociągowych, przede wszystkim strat w sieciach zewnętrznych, a także wskazano możliwości ich wykrywania i ograniczania. Ze względu na niewielką ilość publikacji dotyczących tego problemu w odniesieniu do wodociągów wiejskich przeprowadzono analizę rocznej produkcji i wielkości zużycia wody w trzech wodociągach położonych w Małopolsce. Obliczone straty wody stanowiły od 19,6 do 35,2% objętości wody włączanej do sieci wodociągowej.*

### 1. Wstęp

Problem strat wody występuje praktycznie we wszystkich wodociągach na świecie. Stanowią one niekiedy bardzo wysoki procent wody włączanej do sieci wodociągowej. W Polsce skala tego problemu uwiarydociwiła się bardziej dopiero w okresie gospodarki rynkowej. Przez ostatnie dziesięciolecia, na skutek niskiej ceny wody, mieliśmy do czynienia z niewłaściwym gospodarowaniem wodą, co przyczyniło się z kolei do ogromnego jej marnotrawstwa i nie przywiązywania wagi do powstających w ten sposób strat. Obserwowany w ostatnich latach spadek zużycia wody przy równoczesnej tendencji do rejestrowania strat wody wymusił na

przedsiębiorstwach wodociągowych podejmowanie działań zmierzających do ograniczenia nadmiernych strat wody.

Całkowite straty wody definiowane są jako różnica pomiędzy zmierzoną objętością wody wprowadzoną do sieci wodociągowej a zafakturowaną objętością wody dostarczoną odbiorcom. Na tę wielkość składają się rzeczywiste oraz pozorne straty wody. Ten drugi rodzaj strat jest trudny do ilościowego wyznaczenia, gdyż nie stanowi faktycznych ubytków wody z nieszczelnego systemu sieciowego, lecz wynika z niedokładności pomiaru zużycia wody oraz ze zużycia wody nieobjętego pomiarami, przede wszystkim na potrzeby własne zakładu wodociągowego (płukanie sieci, zbiorników i filtrów, przygotowywanie roztworów do procesów uzdatniania wody, potrzeby gospodarcze przedsiębiorstwa). Objętość wody na potrzeby własne zakładu wodociągowego z reguły nie jest dokładnie mierzona i w związku z tym jest często zawyżana dla zmniejszenia obliczeniowego procentowego wskaźnika strat wody.

Straty wody są jednym z podstawowych elementów oceny stanu technicznego systemu wodociągowego. Nic więc dziwnego, że wielkość tych strat często jest świadomie ukrywana lub zaniżana. Przykładem niech będzie tu ankietowanie przeprowadzone w ramach Forum Wodociągów Małopolskich. Na rozesłane ankiety odpowiedziało tylko 5 spośród 21 przedsiębiorstw wodociągowych. Analiza strat wody wchodzi w zakres szeroko rozumianej eksploatacji systemu wodociągowego i powinna być podstawą do podejmowania działań modernizacyjnych i naprawczych, a tym samym zmniejszenia kosztów związanych z produkcją wody i jej dystrybucją.

Problem strat wody w wodociągach wiejskich nie znalazł obecnie jeszcze takiego zainteresowania jak w wodociągach miejskich. Stąd celem niniejszego referatu jest przybliżenie problematyki strat wody w systemach wodociągowych, przede wszystkim strat w sieciach zewnętrznych, a także wskazanie możliwości ich wykrywania i ograniczania. Artykuł stanowi przegląd wiedzy nt. strat wody, ze szczególnym uwzględnieniem polskiego dorobku w tej dziedzinie. Ze względu na niewielką ilość publikacji dotyczących tego problemu w odniesieniu do wodociągów wiejskich, autorzy referatu dokonali analizy rocznej produkcji i wielkości zużycia wody w trzech wodociągach wiejskich.

## **2. Charakterystyka strat wody**

Straty wody występują na drodze od ujęcia do miejsca jej zużycia. Na całkowite straty wody składają się zatem straty, które powstają:

- w stacjach pomp,
- w urządzeniach do uzdatniania wody,
- w zbiornikach wody,
- w sieciach wodociągowych wraz z uzbrojeniem,
- w wewnętrznych instalacjach wodociągowych.

Większość strat wody powstaje wskutek nieszczelności powodowanych złym stanem technicznym systemu wodociągowego. Dla przedsiębiorstw wodociągowych ważniejsze są pierwsze cztery z wymienionych strat, a szczególnie straty w sieciach wodociągowych, jako najbardziej znaczące. Bowiem woda tracona w ten sposób nie jest sprzedana (nie pomierzona przez wodomierze domowe), a zatem zakład wodociągowy za tak traconą wodę nie otrzymuje zapłaty. Jak podaje Hotłóš [2003], badania niemieckie dowiodły, że przecieki wody z zewnętrznej sieci wodociągowej do gruntu stanowią 80 – 100% rzeczywistych strat wody. Najczęstszą przyczyną strat wody w sieciach wodociągowych zewnętrznych są:

- przecieki wody z nieszczelnych przewodów i uzbrojenia sieci wodociągowej,
- awarie przewodów wodociągowych,
- „ucieczki” wody przez hydranty,
- wady materiału i wadliwe ułożenie rurociągów,
- nieprawidłowa eksploatacja,
- kradzieże wody.

Siwoń i in. [2004] uważają, że o objętości przecieków decydują:

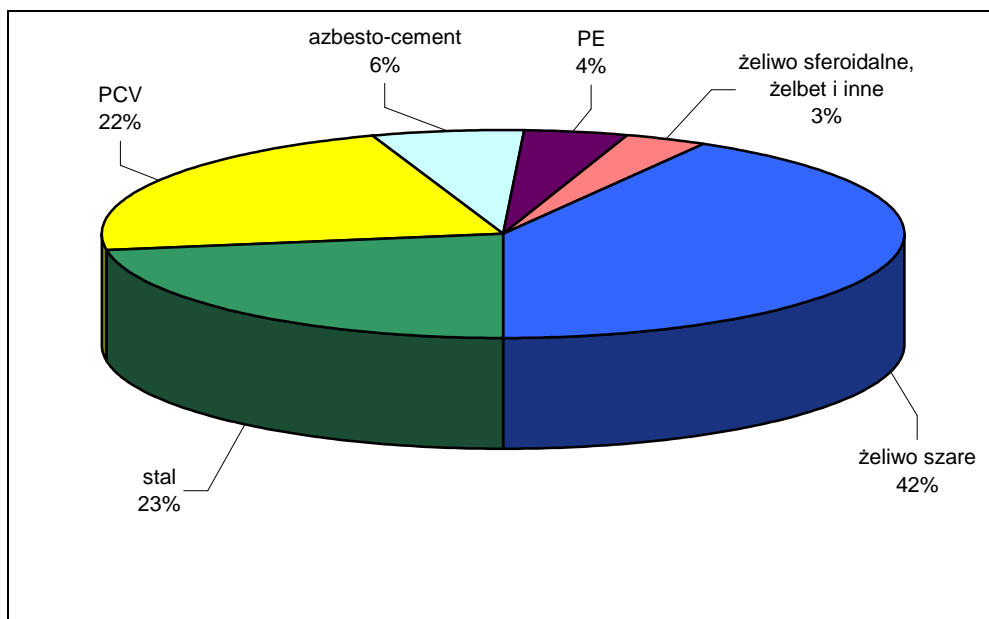
- stan techniczny przewodów i armatury,
- średnica i wiek przewodów,
- materiał, z którego zostały wykonane przewody,
- gęstość przyłączy wodociągowych,
- gęstość przewodów sieci,
- warunki gruntowe,
- ciśnienie wody w sieci i jego zmiany w cyklu dobowym.

Podstawowymi przyczynami przecieków wody z sieci wodociągowej jest niewłaściwy stan techniczny oraz nadmierne ciśnienia panujące w sieci. Miernikiem

stanu technicznego sieci w tym względzie jest jej awaryjność wyrażona liczbą uszkodzeń na rok i km. Zgodnie z zachodnimi kryteriami wartość tego współczynnika nie powinna przekraczać  $0,2 \text{ uszk}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . W Polsce przeciętna jego wysokość dla zbioru danych za rok 1998 wynosiła  $1,06 \text{ uszk}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  [Dohnalik 2000], natomiast w Warszawie dla lat 1992 – 96  $0,62 \text{ uszk}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  [Pawełek i Wojdyna 2001]. Awaryjność przewodów sieci wodociągowych w Polsce jest więc bardzo duża i może być przyczyną wysokiego poziomu strat rzeczywistych wody. Badania przeprowadzone przez Nurowskiego [1993] wykazały, że w ogólnej liczbie dni z awarią aż 69,4% stanowią awarie sieci wodociągowej.

Innym czynnikiem wpływającym na wielkość strat wody jest ciśnienie panujące w sieci. Przykładowo, wzrost wysokości ciśnienia od 0,25 MPa do 0,45 MPa prowadzi w przeciętnych warunkach do zwiększenia wskaźnika średniego dobowego zużycia wody o ok. 45%, a poboru maksymalnego dobowego o ok. 58% [Praca...1992]. Na wzrost rozbioru wody, spowodowanego nadwyżką ciśnienia ponad wartość wystarczającą do sprawnego działania armatury czerpalnej, składa się zarówno zwiększona ilość wody pobieranej przez jej odbiorców, jak i powiększone straty wody wskutek przecieków. Ciśnienie i jego zmiany w cyklu dobowym wpływają zarówno na stopień awaryjności, jak i na natężenie wypływu wody z uszkodzonych elementów sieci. Wg Hotłoś [2003], natężenie wypływu wody przez otwór o określonej średnicy przy ciśnieniu 0,6 MPa jest o ok. 70% większe niż przy ciśnieniu 0,2 MPa.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wielkość strat wody jest wiek przewodów i materiał z jakiego zostały one wykonane. Strukturę materiałową sieci wodociągowej przedstawiono na rysunku 1. Jak nietrudno zauważyć, eksploatowane obecnie w Polsce sieci wodociągowe wykonane są w 65% z żeliwa szarego i stali. Charakteryzuje je wysoka awaryjność ( $0,2 - 1,0 \text{ uszk}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ), wynikająca nie tylko z kilkudziesięcioletniej eksploatacji (nawet 60 – 100 lat), ale również z ograniczeń technologicznych, podatności na pęknięcia i korozję, wad materiałowych rur i nieodpowiedniej jakości wykonawstwa przewodów w latach 70. i 80. XX wieku [Hotłoś 2003]. Korozja materiału rurociągów może być przyczyną znacznych strat wody, gdy przewody ułożone są w gruntach naturalnych, wykazujących własności korozyjne, do których należą grunty rodzime organiczne (humus, torf, namuły) i grunty nasypowe.



Rys. 1. Struktura materiałowa sieci wodociągowej w Polsce w 2000 r. [Kwietniewski 2004]

Siwoń i in. [2004] uważają, że ważnym czynnikiem mającym znaczny wpływ na straty wody – w Polsce wyraźnie niedocenianym i pomijanym we wszystkich statystykach i analizach – są warunki gruntowe. W gruncie piaszczystym woda z wycieku podnosi się szybko do powierzchni terenu, natomiast w utworach skalistych i gruboziarnistych wnika w grunt, na skutek czego wycieki są trudne do wykrycia, zatem trwają dłużej powodując znaczne straty wody. Również przecieki z przewodów ułożonych w gruntach spoistych mogą być bardzo trudne do wykrycia. Ponadto grunt spoisty ma przy zmiennym nasyceniu wodą większą skłonność do ruchów. Również agresywność składników gruntu w stosunku do materiału rurociągu jest wyższa w gruntach spoistych, niż w sypkich.

Widoczny w ostatnich latach spadek zużycia wody wywołany m.in. urynkowaniem cen wody i ścieków, a także wprowadzeniem indywidualnego opomiarowania zużycia wody spowodował, że wśród wielu czynników powodujących straty wody w systemach wodociągowych, coraz większego znaczenia nabierają kradzieże wody wynikające z zewnętrznej ingerencji w wodomierz lub instalację. Tuz i Królikowski [2005] podają następujące, spotykane w praktyce przykłady ingerencji:

- częściowe zamknięcie zaworu kulowego przed wodomierzem (zachwianie profilu prędkości przepływu wody),

- cofanie wodomierza poprzez zdjęcie obejmę plastikowej łączącej mosiężny korpus z plastikową osłoną liczydła wodomierza,
- używanie silnego magnesu neodymowego w celu zatrzymania wodomierza,
- okresowy montaż wodomierza niezgodnie ze strzałką na korpusie wodomierza wskazującą kierunek przepływu,
- zdejmowanie sitek w wodomierzu i mechaniczne zatrzymywanie wirnika,
- budowa bypassów omijających wodomierz,
- przewiercanie skrzydełek wodomierza,
- kryzowanie instalacji za wodomierzem.

Nierzadko, szczególnie w okresie wiosenno–letnim, spotkać również można próby kradzieży z hydrantów, z których woda wykorzystywana jest do prac budowlanych lub podlewania upraw.

### **3. Wielkość strat wody na przykładzie wybranych wodociągów**

Przy projektowaniu systemu wodociągowego obliczane jest zapotrzebowanie wody uwzględniające poszczególne potrzeby, które mają zostać zaspokojone przez wodociąg. W obliczeniach uwzględnia się także straty wody. Ich wielkość w sieci należy przyjmować w wysokości do 10% średniego dobowego zapotrzebowania wody, w zależności od rodzaju stosowanych rur, uszczelnienia i narażenia sieci wodociągowej na działanie sił mechanicznych. Przy wodociągach grupowych należy dodatkowo uwzględnić straty na przewodach tranzytowych w wysokości 2 – 5% ogólnego średniego zapotrzebowania [Zarządzenie....1966].

Straty wody w wielu wodociągach w Polsce i na świecie są duże i znacznie przekraczają dopuszczalne (uzasadnione) wartości. Jak już wcześniej wspomniano, na całkowite straty wody w systemie wodociągowym składają się rzeczywiste oraz pozorne straty wody. Wielkość strat rzeczywistych waha się w bardzo szerokim zakresie. Statystyki podają, że np. w Wielkiej Brytanii wynoszą one 18%, we Francji 30%, w Hiszpanii i Czechach 20 – 34%, w Chorwacji 30 – 60%, a w skrajnych warunkach jak ma to miejsce w Albanii – 75%. Natomiast Polska, wśród zestawionych państw na podstawie badań za rok 1998 [Dohnalik 2000], ze swą średnią dla 195 miast w wysokości 18,6% plasuje się na całkiem przyzwoitej pozycji.

Zróznicowanie strat w Polsce jest jednak ogromne, np. w woj. zachodniopomorskim 80% miast wyróżnia się stratami wody powyżej 15%, podczas

gdą w woj. śląskim ponad 75% miast wykazuje straty na poziomie powyżej 25% (w skrajnych przypadkach nawet 60% [Dohnalik i Zapiór 1996]). Straty pozorne natomiast mogą wynosić ok. 3,5 – 4% [Roman i in. 2000], a wg Siwonia i in. [2004] – ok. 5% w zależności od jakości instalacji i warunków pomiarowych.

Również w wodociągach wiejskich straty wody stanowią poważny problem eksploatacyjny. Dla potwierdzenia tego faktu, poddano analizie 3 wodociągi grupowe (A, B i C) zlokalizowane w Małopolsce, z których korzystało odpowiednio 2670, 6500 i 1200 odbiorców. W analizie wykorzystano zestawienia zużycia wody obejmujące jeden rok kalendarzowy. Znając objętość wody wypompowanej na ujęciu oraz pobranej przez odbiorców obliczono wielkość strat wody w sieci zewnętrznej. Straty te przedstawiono dla całego wodociągu w odniesieniu do czasu jak i długości sieci.

Przeprowadzona analiza produkcji wody i jej rzeczywistego zużycia przez odbiorców w badanych wodociągach, potwierdziła obserwowane przez innych autorów, występujące w warunkach polskich duże straty wody w zewnętrznych sieciach wodociągowych [tab. 1]. W rozpatrywanych wodociągach wynosiły one bowiem od 19,6 do 35,2% wody wtłoczonej do sieci wodociągowej. Opomiarowanie zużycia wody u wszystkich odbiorców wody w systemie wodociągowym pozwala na wykonanie przedstawionych obliczeń i ocenę wielkości strat wody. Zatem jest to jeden z ważnych czynników przemawiających za stosowaniem wodomierzy domowych w przeciwieństwie do pobierania opłat w oparciu o zastosowanie ryczałtu.

Tabela 1. Produkcja wody i jej straty w wybranych wodociągach wiejskich

Wyszczególnienie	Jednostka	Wodociąg A	Wodociąg B	Wodociąg C
Woda pobrana z ujęcia	$m^3 \cdot rok^{-1}$	134370,0	136000,0	36200,0
	$M^3 \cdot d^{-1}$	368,1	372,6	99,2
Woda zużyta przez Odbiorców	$m^3 \cdot rok^{-1}$	87043,6	109000,0	29100,0
	$M^3 \cdot d^{-1}$	238,5	298,6	79,7
Straty wody	$m^3 \cdot rok^{-1}$	47326,4	27000,0	7100,0
	$m^3 \cdot d^{-1}$	129,7	74,0	19,5
	%	35,2	19,9	19,6
	$m^3 \cdot km^{-1} \cdot rok^{-1}$	2066,7	129,2	b.d.
	$m^3 \cdot km^{-1} \cdot d^{-1}$	5,66	0,35	b.d.

Biorąc pod uwagę cenę  $\text{m}^3$  wody, należy stwierdzić, że strata finansowa w analizowanych wodociągach wynosiła od kilkunastu do kilkudziesięciu tysięcy złotych. Taki rząd wielkości powinien zmusić eksploatatora do poszukiwania przyczyn strat i ich likwidacji, a tym samym lepszego gospodarowania zasobami wód i ograniczania marnotrawstwa wody w przyszłości.

Straty wody w systemie wodociągowym mają wpływ na wysokość wskaźników zużycia wody. W celu określenia tego wpływu obliczono średnie dobowe zużycie wody w odniesieniu do tzw. przeliczeniowego mieszkańca, uwzględniające straty i bez strat. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnie dobowe zużycie wody w odniesieniu do przeliczeniowego mieszkańca

Zużycie wody	Jednostka	Wodociąg A	Wodociąg B	Wodociąg C
bez uwzględnienia strat	$\text{dm}^3 \cdot \text{PM}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	89,3	45,9	66,4
z uwzględnieniem strat	$\text{dm}^3 \cdot \text{PM}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	137,9	57,3	82,7

Uzyskane rezultaty wskazują na duże zróżnicowanie zużycia wody w przeliczeniu na mieszkańca, a także na jego wzrost wskutek strat wody, np. w przypadku wodociągu A z 89,3 do 137,9  $\text{dm}^3 \cdot \text{PM}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ .

#### 4. Wykrywanie i ograniczanie strat wody w zewnętrznej sieci wodociągowej

Jak już wcześniej wspomniano, najczęstszą przyczyną strat wody w zewnętrznych sieciach wodociągowych są przecieki. Stosowane są różne metody ich wykrywania. Według Romana i Osuch-Pajdzińskiej [1988] do najczęściej stosowanych należą:

- przeglądy sieci wodociągowej połączone z obserwacją stanu nawierzchni,
- przeglądy sieci połączone z nasłuchiwaniami aparatami akustycznymi (szumomierze, korelatory akustyczne, przenośne radary gruntowe, hydrofony),
- pomiary ciśnień w wybranych węzłach sieci wodociągowej z ciągłą rejestracją wyników,



- lokalizacja przecieków wody (wyłącznie w wypadku wypływu wody na powierzchnię).

Bardzo popularną metodą są również pomiary poboru wody w godzinach nocnych (1.00 – 4.00) tj. w czasie minimalnych poborów wody przez odbiorców. Z kolei Głód i Bajer [2000] podają przykłady rozwiązań stosowanych w Wielkiej Brytanii, z których część z pewnością można by przenieść na grunt krajowy. Są to:

- wprowadzanie do przewodów pustych lub będących pod ciśnieniem gazów śladowych (roztwór wodoru w azocie) wydostających się na zewnątrz przewodów przez nieszczelności i wykrywanych następnie przez detektory gazu,
- wykorzystywanie zdjęć wykonywanych w zakresie fal podczerwonych (zastosowanie tej metody jest możliwe w przypadku, gdy temperatura powierzchni gruntu może ulegać zmianie w wyniku nasycenia jej wodą pochodzącą z wycieku),
- zastosowanie systemów pozwalających na dokonywanie okresowych bilansów wody wprowadzonej do układu i odebranej przez odbiorców, np. wprowadzony w Wielkiej Brytanii program „Perform”,
- wykorzystywanie w systemach monitorowania i zarządzania sieciami wodociągowymi sieci neuronowych, które w połączeniu ze statystycznymi modelami komputerowymi, będą miały możliwość automatycznego monitorowania sieci, będą również posiadały zdolność wykrywania oraz badania przyczyn występowania uszkodzeń sieci, a także zdolność przewidywania miejsca wystąpienia możliwych pęknięć rurociągów oraz ich finansowych konsekwencji, jak również dokonywania analizy korzyści ekonomicznych płynących z wcześniejszej wymiany wskazanego przewodu.

Ograniczanie strat wody powinno stanowić jedno z najważniejszych działań zakładów wodociągowych, gdyż umożliwia obniżenie kosztów sprzedawanej wody i równocześnie powiększa możliwości ilościowe sprzedaży wody. Kasprzak i Lemański [1988] oceniają, że likwidując stratę każdego m<sup>3</sup> wody wodociągowej likwiduje się także niepotrzebne zużycie 1,0 – 1,5 kWh energii, która musi być wykorzystana po to, aby 1 m<sup>3</sup> wody mógł być uzdatniony, doprowadzony do użytkownika i następnie w postaci odpowiednio oczyszczonych ścieków odprowadzony do odbiornika. Autorzy ci wymieniają straty wody w sieci, marnotrawstwo i brak

opomiarowania zużycia wody, jako jedne z głównych przyczyn sprzyjających powstawaniu deficytów wody, z którymi boryka się wiele krajów na całym świecie.

Przy obniżaniu wielkości strat wody należy jednak zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny. Stwierdzono, że bardzo łatwo osiągnąć efekty przy obniżaniu strat wody do kilkunastu procent. Znacznie trudniejsze i bardziej kosztowne jest dalej idące ich obniżanie. W związku z tym, poziom strat rzędu 8 – 10% można uznać za całkowicie zadawalający i ekonomicznie uzasadniony. Uważa się też, że w obecnym wieku docelowy poziom strat wody mógłby osiągnąć poziom 5 – 6% [Roman i in. 2000]. Aby tego dokonać niezbędne jest prowadzenie systematycznych działań, do których przede wszystkim należy zaliczyć:

- montaż odpowiedniej wielkości i jakości wodomierzy, zgodnie z zasadami montażu, stosowanie zaworów zwrotnych oraz kontrola wskazań wodomierzy i kontrola ich stanu technicznego u poszczególnych odbiorców wody,
- realizacja programu renowacji przewodów wodociągowych (jako miarodajny wskaźnik poziomu strat wody, należałoby stosować wielkość strat odniesioną do długości przewodu; wartość tego wskaźnika powinna być stopniowo obniżana do poziomu poniżej  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ ),
- kontrola i racjonalizacja ciśnień w sieci wodociągowej, a tym samym minimalizacja kosztów związanych z jej poborem i dystrybucją do odbiorców (przeprowadzone badania dowiodły, że ograniczenie maksymalnego ciśnienia o ok. 10 – 40% i jego wahań dobowych wpłynęło na zmniejszenie uszkodzalności przewodów magistralnych i rozdzielczych o ok. 30 – 60%, a tym samym na znaczne ograniczenie strat wody i kosztów napraw uszkodzeń),
- renowacja zdekapitalizowanych sieci wodociągowych z wykorzystaniem tworzyw termoplastycznych (PCV, PE), które z powodzeniem zastępują materiały tradycyjne (pod względem niezawodności, wyróżniają się tu szczególnie przewody z PE, gdyż charakteryzują się najniższą intensywnością uszkodzeń zawierającą się w granicach od 0,006 do  $0,03 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ),
- wprowadzenie do stałej praktyki eksploatacyjnej, programów intensywnego poszukiwania przecieków między innymi przez wprowadzenie strefowych pomiarów kontrolnych w wydzielonych strefach zaopatrzenia,
- propagowanie idei likwidacji strat wody poprzez upowszechnianie wyników badań i analiz,

- prowadzenie systematycznych szkoleń w zakresie metod i techniki badawczej dla przedsiębiorstw wodociągowych.

## **5. Podsumowanie**

Należy stwierdzić, że niekorzystne zjawisko jakim są straty wody w wiejskich systemach wodociągowych jest obecnie mało rozpoznane. Ocena ich wysokości i ograniczenie, winno być priorytetowym działaniem służb eksploatacyjnych. Po rozpoznaniu wysokości strat wody, należy prowadzić systematycznie wielokierunkowe działania w celu ich lokalizacji i obniżania do poziomu kilkunastu procent.

## **Literatura**

1. Dohnalik P. 2000. *Straty wody w miejskich sieciach wodociągowych*. Wyd. PFOZW, Bydgoszcz.
2. Dohnalik P., Zapiór T. 1996. *Rzeczywiste straty wody w systemach wodociągowych regionu południowego Polski*. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, Poznań, s. 509 – 534.
3. Głód K., Bajer J. 2000. *Nowoczesne metody wykrywania nieszczelności sieci wodociągowych rozwijane w Wielkiej Brytanii*. GWITS 6/2000, s. 224 – 228.
4. Hotłoś H. 2003. *Analiza strat wody w systemach wodociągowych*. Ochrona Środowiska 1/2003, Wrocław, s. 17 – 23.
5. Kasprzak K., Lemański J. 1988. *Deficyty wody w miastach i sposoby ich ograniczania*. III Zjazd Wodociągowców Polskich „Polwod `88” nt. *Problemy zaopatrzenia w wodę miast i osiedli wiejskich*, Łódź, s. 16 – 25.
6. Kwietniewski M. 2004. *Rurociągi polietylenowe w wodociągach i kanalizacji – rozwój rynku w Polsce i niezawodność funkcjonowania*. GWITS 3/2004, s. 78 – 82.
7. Link R. 2006. *Przyczyny „strat” wody w przedsiębiorstwie wodociągowym*. Mat. Konf. „Eksploatacja wodociągów i kanalizacji” 8/2006. PZITS Warszawa, s. 1 – 10 (wkładka).

8. Nurowski Z. 1993. *Koszty pozyskiwania wody w typowych wodociągach wiejskich*. WMiŁ 2/1993, s. 243 – 247.
9. Pawełek J. 2004. *Oszczędne użytkowanie wody wodociągowej przez ludność na cele bytowe. Termomodernizacja budynków*. Biblioteka Fundacji Poszanowania Energii. Gliwice, s. 399 – 415.
10. Pawełek J., Bergel T. 2001. *Ograniczenie strat wody w wiejskich systemach wodociągowych jako istotny czynnik racjonalnego gospodarowania wodą*. Inżynieria Rolnicza 8/2001, PAN, s. 181 – 190.
11. Pawełek J., Wojdyna M. 2001. *Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociągowym*. GWiTS 2, s. 49 – 54.
12. Praca zbiorowa, 1992. *Studia nad racjonalną modernizacją i rozbudową systemu zaopatrzenia w wodę J Z M. Etap I – Badania rozkładu ciśnień w sieci wodociągowej i hydraulicznej sprawności czynnych przewodów wodociągowych*, Wrocław.
13. Roman M., Kłoss–Trębaczekiewicz H., Osuch–Pajdzińska E. 2000. *Oszczędzanie wody – możliwości i granice*. IX Krajowa, II Międzynarodowa Konf. Nauk.–Techniczna „Ochrona jakości i zasobów wód – kultura społeczeństwa a życiodajna woda”, Zakopane – Kościelisko, s. 199 – 209.
14. Roman M., Osuch–Pajdzińska E. 1988. *Straty wody w zewnętrznej sieci wodociągowej i metody przeciwdziałania im stosowane w Polsce*. III Zjazd Wodociągowców Polskich „Polwod `88” nt. *Problemy zaopatrzenia w wodę miast i osiedli wiejskich*, Łódź, s. 160 – 170.
15. Siwoń Z., Cieżak J., Cieżak W. 2004. *Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych*. Ochrona Środowiska 4/2004, Wrocław, s. 25 – 30.
16. Sosnowski S., Tabernacki J., Chudzicki J. 2000. *Instalacje wodociągowe i kanalizacyjne*, rozdz. 4.3. *Straty wody oraz racjonalizacja jej zużycia*, Warszawa, s. 65 – 70.
17. Szajnicka M. 2005. *Straty wody na przykładzie wybranych wodociągów woj. małopolskiego*. AR w Krakowie, maszynopis.
18. Tuz P. K., Królikowski A. 2005. *Wskazania wodomierzy domowych i mieszkaniowych – przyczyny rozbieżności i metody ich bilansowania*. GWiTS 2/2005, s. 9 – 17.

19. Zarządzenie nr 1 Ministra Rolnictwa z dnia 5 stycznia 1966 roku (Dz. Bud. nr 3 z 11.05.1967) w sprawie wytycznych do obliczeń zapotrzebowania na wodę w wiejskich jednostkach osadniczych.
20. Dohnalik P. 2001. Zarządzanie i techniki strat wody. GWITS 7/2001, s. 237 – 241.