

Zbigniew Siwoń, Jan Cieżak, Wojciech Cieżak

Praktyczne aspekty badań strat wody w sieciach wodociągowych

Analiza strat wody wskutek przecieków mieści się w zakresie szeroko pojętych badań eksploatacyjnych sieci wodociągowej. Są one jednym z elementów oceny stanu technicznego systemu dystrybucji wody. Rozmiar strat wody oraz gromadzenie i odpowiednie przetwarzanie danych o uszkodzeniach sieci i zakłóceniach w jej funkcjonowaniu mogą być podstawą do sformułowania programu działań modernizacyjnych i usprawniających proces eksploatacji wodociągu, w tym zmniejszenia nadmiernych strat wody, a tym samym kosztów związanych z jej produkcją i dystrybucją.

W praktyce objętość całkowitych strat wody jest obecnie określana jako różnica między ilością wody wtłaczanej do sieci wodociągowej a ilością wody sprzedanej (i zafakturowanej) konsumentom w określonym czasie. Różnica ta obejmuje straty rzeczywiste, których przyczynami są przecieki z nieszczelnych przewodów i armatury sieci wodociągowej, przecieki wody w instalacjach nie zmierzone przez wodomierze (poniżej progu rozruchu wodomierzy), przelewy ze zbiorników oraz nielegalne przyłącza wodociągowe (kradzieże wody). Istotne znaczenie mają również straty wody spowodowane przeciekami z nieszczelnych instalacji odbiorców (poza wodomierzem domowym), które są rejestrowane jako zużycie wody, zatem nie przynoszą w bezpośredni sposób strat finansowych przedsiębiorstwu wodociągowemu, straty pozorne spowodowane błędami pomiarów lub oszacowań objętości wody zużytej przez jej odbiorców oraz dostarczanej do sieci wodociągowej, a także niejednoczesnością odczytów wskaźników przyrządów pomiarowych, jak również objętość wody dostarczonej do sieci wodociągowej i zużytej na potrzeby własne wodociągu (głównie do płukania sieci wodociągowej i kanalizacyjnej).

Rzeczywista objętość pozornych strat wody w konkretnym systemie dystrybucji może być w praktyce określona jedynie w przybliżeniu, w zależności od założonego stopnia dokładności pomiarów. Przyjmując, że u odbiorców wody zainstalowane są wodomierze domowe spełniające warunki określone w zarządzeniu prezesa Głównego Urzędu Miar nr 102 z 28 sierpnia 1995 r. (Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 19, poz. 101), to w ich użytkowaniu można się liczyć z błędami w podstawowym zakresie pomiarowym w granicach 5%, zależnie od jakości instalacji i warunków pomiarowych. Dokładność pomiarów objętości wody dostarczanej do

sieci wodociągowej jest zależna od rodzaju zastosowanych urządzeń pomiarowych. Dla przepływomierzy elektromagnetycznych i ultradźwiękowych graniczne dopuszczalne wartości błędów pomiarów są najczęściej określone na poziomie 0,5%. Objętość wycieków wody z nieszczelnych przewodów (w tym przyłączy domowych) i armatury sieci wodociągowej, stanowiąca podstawowy element strat rzeczywistych, jest zależna od stanu technicznego przewodów, ich średnicy, wieku i materiału, z którego zostały wykonane, stanu technicznego armatury, gęstości poborów wody (przyłączy wodociągowych), gęstości przewodów sieci oraz od warunków gruntowych, a także – w bardzo istotnej mierze – od ciśnienia wody w sieci i jego zmian w cyklu dobowym. Ważnym czynnikiem mającym znaczący wpływ na intensywność uszkodzeń przewodów, a tym samym na straty wody wskutek przecieków – w Polsce wyraźnie niedocenianym i pomijanym we wszystkich statystykach i analizach – są warunki gruntowe. Według badań niemieckich, ich wpływ może być niekiedy nawet większy, niż wpływ pozostałych czynników [1]. W gruncie piaszczystym woda z wycieków 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, co powoduje znaczne straty wody. Przecieki z przewodów ułożonych w gruntach skalistych mogą być bardzo trudne do wykrycia. Ponadto grunt spoisty ma przy zmiennym nasyceniu wodą większą skłonność do ruchów. W praktyce również agresywność składników gruntu w stosunku do materiału rurociągu jest wyższa w gruntach spoistych, niż w sypkich. Ilustracją znaczenia warunków gruntowych na straty wody spowodowane przeciekami są wytyczne podane przez Niemieckie Stowarzyszenie Specjalistów ds. Wody i Gazu (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches – DVGW), wg których graniczne wartości dobowych objętości strat wody mieszczą się w zakresie od 3,6 m³/d·km w gruntach piaszczystych do 14,4 m³/d·km w żwirach i skałach, zaś wartości dopuszczalne odpowiednio w granicach od 1,4 m³/d·km do 4,8 m³/d·km. Podobnie określone są wartości rzeczywistych strat wody, w zależności od intensywności obciążenia sieci liczonego w m³ rocznie na km sieci.

Straty wody w wielu miastach polskich są duże i znacznie przekraczają dopuszczalne (uzasadnione) wartości. W ostatnich latach przedsiębiorstwa wodociągowe coraz częściej starają się ograniczać nadmierne straty wody ze względu na stale rosnące koszty związane z jej produkcją i dystrybucją, np. w Gdańsku straty ogólne kształtowały się na poziomie 28,9 m³/d·km w 1995 r. i 12,5 m³/d·km w 2001 r., a straty nadmierne (bez zużycia wody na cele technologiczne sieci) wyniosły odpowiednio 26,8 m³/d·km i 10,9 m³/d·km [2].

Najczęściej straty wody wahają się znacznie w ciągu całego roku, przy czym ich wzrost obserwuje się najczęściej późną jesienią oraz na przełomie zimy i wiosny. Jest to spowodowane ruchami gruntu na skutek jego zamarzania i odmrażania [3].

Straty wody nie powinny być liczone jako odsetek ilości dostarczonej wody, który nie jest miarodajny do oceny stanu technicznego systemu dystrybucji wody, lecz należy je odnosić do 1 km długości sieci i podawać w $\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ lub w $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{km}$, w nawiązaniu do intensywności obciążenia sieci oraz do rzeczywistych warunków ciśnieniowych panujących w sieci.

Ocena i analiza przyczyn strat wody w sieci wodociągowej oraz program działań umożliwiających ich zmniejszenie, są ważnymi elementami modernizacji systemu dystrybucji wody. Straty wody wskutek przecieków z nieszczelnych przewodów i armatury są praktycznie nieuniknione, jednakże powinny być minimalizowane i utrzymywane w dopuszczalnych granicach. Duże straty wody, oprócz aspektów ekonomicznych związanych z koniecznością utrzymywania zwiększonej wydajności zakładów wodociągowych, mogą prowadzić do niedoboru ciśnienia i efektu tzw. wąskiego gardła, a także mają negatywny wpływ na jakość wody.

Ilustracją problemu identyfikacji i minimalizacji strat wody w sieciach wodociągowych są zaprezentowane w niniejszym artykule wyniki prac zrealizowanych w systemie wodociągowym miasta na Dolnym Śląsku o liczbie mieszkańców około 7 tys.

Identyfikacja strat wody w systemie wodociągowym

Trójstrefowy system wodociągowy, będący przedmiotem analizy, jest zasilany z siedmiu źródeł zewnętrznych (rys. 1):

- ujęcie wód podziemnych nr 1, składające się z dwóch studni wierconych; woda z nich czerpana jest i tłoczona do sieci wodociągowej oraz do terenowego zbiornika nr 1 o pojemności 780 m^3 ,
- ujęcie wód powierzchniowych nr 2 z potoku górskiego (piętrzonego na jazie), z którego woda przepływa grawitacyjnie do sieci wodociągowej,
- ujęcie drenażowe wód podziemnych nr 3, z którego woda ujmowana w studniach kopanych i drenażem spływa do zbiornika terenowego nr 1, a następnie do sieci wodociągowej,
- studnia wiercona oznaczona symbolem BS1 z pompą głębinową tłoczącą do sieci wodociągowej wody artezyjskie o dobrej jakości,
- ujęcie przy pompowni nr 1, obejmujące dwie studnie drenażowe kopane oraz ujęcie wód źródłanych; ujmowane wody spływają do zbiornika o pojemności 190 m^3 , a następnie są tłoczone przez pompownię hydroforową nr 1 do sieci wodociągowej,
- ujęcie wód podziemnych przy pompowni nr 2, składające się z jednej studni kopanej oraz trzech studni wierconych; ujmowane w nich wody artezyjskie są tłoczone do sieci przez pompy głębinowe zainstalowane w studniach wierconych oraz przez pompownię hydroforową nr 2,
- ujęcie wód podziemnych za pomocą trzech studni kopanych, zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika nr 3, o niewielkiej wydajności.

Ze względu na duże różnice wysokościowe terenu miasta oraz konieczność ograniczenia nadmiernych ciśnień w sieci wodociągowej, jest ona eksploatowana w układzie 3-strefowym. Z siecią współpracują terenowe zbiorniki wyrównawcze:

- w strefie pierwszej: zbiornik nr 1 (poj. 780 m^3) i zbiornik nr 3 (poj. 690 m^3),
- w strefie drugiej: zbiornik nr 2 (poj. 880 m^3),
- w strefie trzeciej: niewielki podziemny zbiornik stalowy „Chrystus Rex”, o kształcie cylindrycznym, średnicy $2,18 \text{ m}$ i długości $5,6 \text{ m}$ oraz całkowitej pojemności ok. $19,9 \text{ m}^3$.

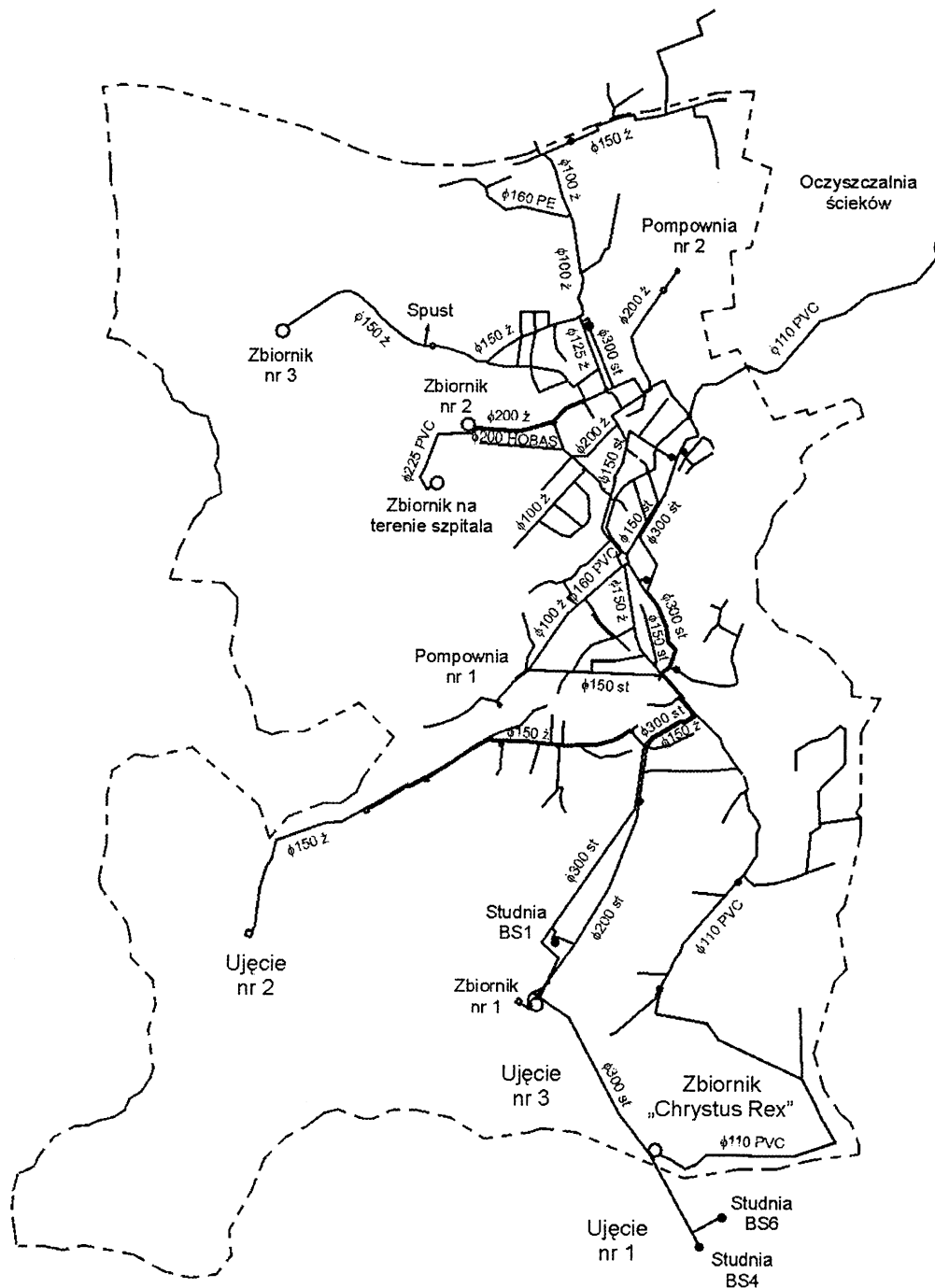
Miejski zakład komunalny dysponuje skalibrowanym komputerowym modelem przepływów w systemie dystrybucji wody z wytarowanymi parametrami, opracowanym przez autorów w 1997 r. [4]. W opisie topologii sieci wodociągowej zostały ujęte wszystkie przewody o średnicach od 80 mm do 300 mm , a także wszystkie zasuwy na sieci. Łączna długość przewodów wynosiła $50\,619 \text{ m}$, w tym $20\,495 \text{ m}$ rurociągów żeliwnych i $17\,024 \text{ m}$ przewodów stalowych, podlegających procesowi hydraulicznego starzenia się (tj. wzrostu oporności hydraulicznej) w czasie ich eksploatacji. W rezultacie kalibracji (tarowania parametrów) modelu, dokonanej wg metodyki opisanej w pracach [5–7], w oparciu między innymi o wyniki 7-dobowych ciągłych pomiarów terenowych wykonanych na czynnej sieci wodociągowej, zostały oszacowane rzeczywiste wartości umownych (odniesionych do wewnętrznej średnicy przewodu nowego) zastępczych chropowatości piaskowych (k_{to}) ścianek wszystkich przewodów z rur żeliwnych i stalowych.

Do oceny strat wody w sieci wodociągowej (łącznie z przyłączami wodociągowymi i armaturą) wykorzystano:

- wykazy produkcji i sprzedaży wody poszczególnym jej odbiorcom w okresie od lipca 2000 r. do lutego 2001 r., uzyskane w miejskim zakładzie komunalnym i odpowiednio przetworzone,
- wyniki pomiarów terenowych wykonanych 6 i 7 lipca 2001 r.,
- rezultaty komputerowej symulacji działania systemu dystrybucji wody, w tym w czterech wytypowanych godzinach nocnych, oddzielnie dla odpowiednio wydzielonych rejonów sieci wodociągowej, z uwzględnieniem wyników terenowych pomiarów ciśnień w wytypowanych węzłach sieci i wydajności poszczególnych źródeł zasilania systemu.

Łączny zmierzony pobór wody przez wszystkich jej odbiorców wyniósł w okresie od lipca 2000 r. do lutego 2001 r. średnio w skali doby $1695 \text{ m}^3/\text{d}$. Zakładając, że u odbiorców wody są zainstalowane wodomierze domowe spełniające warunki określone w zarządzeniu Prezesa GUM nr 102 z 28 sierpnia 1995 r., to w ich użytkowaniu należy się liczyć z błędami w podstawowym zakresie pomiarowym w granicach 5%. W tych warunkach zmierzony całkowity średni dobowy pobór wody może się mieścić w zakresie od $1610 \text{ m}^3/\text{d}$ do $1780 \text{ m}^3/\text{d}$. Łączna zmierzona średnia wydajność wszystkich źródeł zasilania systemu dystrybucji wody może – przy uwzględnieniu błędów pomiarowych – zawierać się w analizowanym okresie w przedziale od $3752 \text{ m}^3/\text{d}$ do $4146 \text{ m}^3/\text{d}$ (średnio w skali doby $3949 \text{ m}^3/\text{d}$).

Oceniając objętość nadmiernych strat wody w systemie dystrybucji uwzględniono również natężenie stałego wypływu wody przez przelew ze zbiornika sieciowego nr 3, określone na podstawie własnych pomiarów na ok. $518 \text{ m}^3/\text{d}$.



Rys. 1. Schemat systemu dystrybucji wody na terenie miasta

Na podstawie informacji uzyskanych w miejskim zakładzie komunalnym średnie zużycie wody do płukania sieci wodociągowej oraz jej straty w czasie między wykryciem awarii a ich zlikwidowaniem oceniono w przybliżeniu na ok. 3% jej całkowitego zużycia, tj. ok. 51 m³/d. Reasumując można uznać, że straty wody, oceniane na podstawie wyników pomiarów wodomierzowych, mogą się kształtować następująco:

- wartość maksymalna: 1960 m³/d, tj. 22,7 dm³/s (ok. 49,6% objętości wody dostarczonej do sieci wodociągowej i 116% objętości wody sprzedanej),
- wartość minimalna: 1410 m³/d, tj. 16,3 dm³/s (35,7% objętości wody dostarczonej do sieci wodociągowej i 83% objętości wody sprzedanej),

– wartość średnia 1685 m³/d, tj. 19,5 dm³/s (ok. 42,7% objętości wody dostarczonej do sieci wodociągowej i 99,4 % objętości wody sprzedanej).

Całkowita długość przewodów sieci wodociągowej wynosiła 50 619 m. Wartości jednostkowego wskaźnika nadmiernych strat wody wskutek przecieków mogą się zatem mieścić w zakresie od 27,9 m³/d·km do 38,7 m³/d·km.

Do bardziej szczegółowej analizy strat wody w sieci wodociągowej wykorzystano rezultaty pomiarów terenowych i komputerowych analiz symulacyjnych wykonanych 6 i 7 lipca 2001 r., a w szczególności w czterech wybranych sytuacjach eksploatacyjnych, które pojawiły się w godzinach nocnych, tj. 6 lipca o godz. 1.45 i 3.45 oraz 7 lipca o godz. 1.45 i 3.45.

W czasie realizacji pomiarów sieć wodociągowa została podzielona w godzinach nocnych na dwa oddzielne rejonu i wyłączone z eksploatacji zbiornik nr 3.

Natężenia wypływu i dopływu wody do sieci wodociągowej ze zbiorników nr 1 i nr 2 określono na podstawie pomiarów zmian stanów wody w tych zbiornikach. Łączna zmierzona dobowo wydajność wszystkich źródeł zasilania 6 lipca 2001 r. wyniosła $3517 \pm 176 \text{ m}^3/\text{d}$, w tym objętość przelewu wody ze zbiornika nr 3 (w czasie 19 godz.) ok. $410 \text{ m}^3/\text{d}$. Łączne zmierzone chwilowe wydajności czynnych źródeł zasilania sieci wodociągowej (studnie BS 1 i BS 6, zbiorniki nr 1 i nr 2 oraz pompownia nr 2) wyniosły w poszczególnych godzinach nocnych od $23,45 \text{ dm}^3/\text{s}$ do $25,91 \text{ dm}^3/\text{s}$. Łączne zużycie wody przez wszystkich jej odbiorców (bez strat w sieci wodociągowej) 6 lipca 2001 r. określono na ok. $1535 \text{ m}^3/\text{d}$, tj. $17,8 \text{ dm}^3/\text{s}$. Objętość całkowitych strat wody w sieci wodociągowej, wyznaczona jako różnica między chwilowymi wartościami produkcji i poboru wody przez jej odbiorców, podzielono na straty dopuszczalne (nieuniknione, wg wytycznych International Water Association – Unavoidable Real Losses), których zmniejszenie ze względów finansowych i technicznych jest niecelowe, oraz na straty nadmierne. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Oszacowanie natężenia całkowitych i nadmiernych strat wody w sieci wodociągowej na podstawie wyników pomiarów terenowych w godzinach nocnych

Data, godzina	Natężenie strat wody, dm^3/s	
	straty całkowite	straty nadmierne
06-07-2001, 1.45	21,70	19,92
06-07-2001, 3.45	21,71	19,93
07-07-2001, 1.45	19,78	18,00
07-07-2001, 3.45	22,24	20,46

Wartości jednostkowego wskaźnika całkowitych strat wody wskutek przecieków (bez objętości przelewu wody w zbiorniku nr 3) wyniosły od $33,8 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ do $38,0 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$, natomiast strat nadmiernych od $30,7 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$ do $34,9 \text{ m}^3/\text{d}\cdot\text{km}$. Wyniki obliczeń zestawione w tabeli 1 korespondują z wcześniej podanymi wynikami analiz produkcji i sprzedaży wody w okresie od lipca 2000 r. do lutego 2001 r. Średnie dobowe objętości strat wody w sieci wodociągowej wyniosły:

– wg analiz produkcji i sprzedaży wody: od $1410 \text{ m}^3/\text{d}$ do $1960 \text{ m}^3/\text{d}$, tj. od $16,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ do $22,7 \text{ dm}^3/\text{s}$,

– wg danych zestawionych w tabeli 1: od $19,78 \text{ dm}^3/\text{s}$ do $22,24 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Jedną z przyczyn różnic między objętościami strat oszacowanymi na podstawie wyników pomiarów terenowych w stosunku do wartości oszacowanych na podstawie zestawień produkcji i sprzedaży wody są odmienne warunki ciśnieniowe panujące w sieci wodociągowej w godzinach dziennych i nocnych (natężenie wycieku z uszkodzonego przewodu jest zależne od ciśnienia wody w przewodzie wg ogólnej zależności $q_p = p^N$).

Do dalszych analiz symulacyjnych, których celem było zlokalizowanie odcinków sieci o zwiększonym rozbiórze wody spowodowanym przeciekami, przyjęto, że natężenie nadmiernych strat wody w przewodach sieci wodociągowej wynosi $19,6 \text{ dm}^3/\text{s}$ (średnia z wartości zestawionych w ostatniej kolumnie tabeli 1).

Lokalizacja miejsc przecieków

Odcinki sieci o zwiększonym rozbiórze wody spowodowanym przeciekami zlokalizowano na podstawie wyników pomiarów terenowych oraz analiz symulacyjnych działania systemu dystrybucji wody. Badania terenowe przeprowadzono od 6 do 8 lipca 2001 r. Objęto nimi:

- pomiary ciśnień w wybranych węzłach sieci wodociągowej z ciągłą rejestracją wyników,
- pomiary wydajności wszystkich czynnych źródeł zasilania systemu dystrybucji wody,
- pomiary poboru wody przez dwie rozlewnie wód mineralnych, wykonane w wytypowanych godzinach.

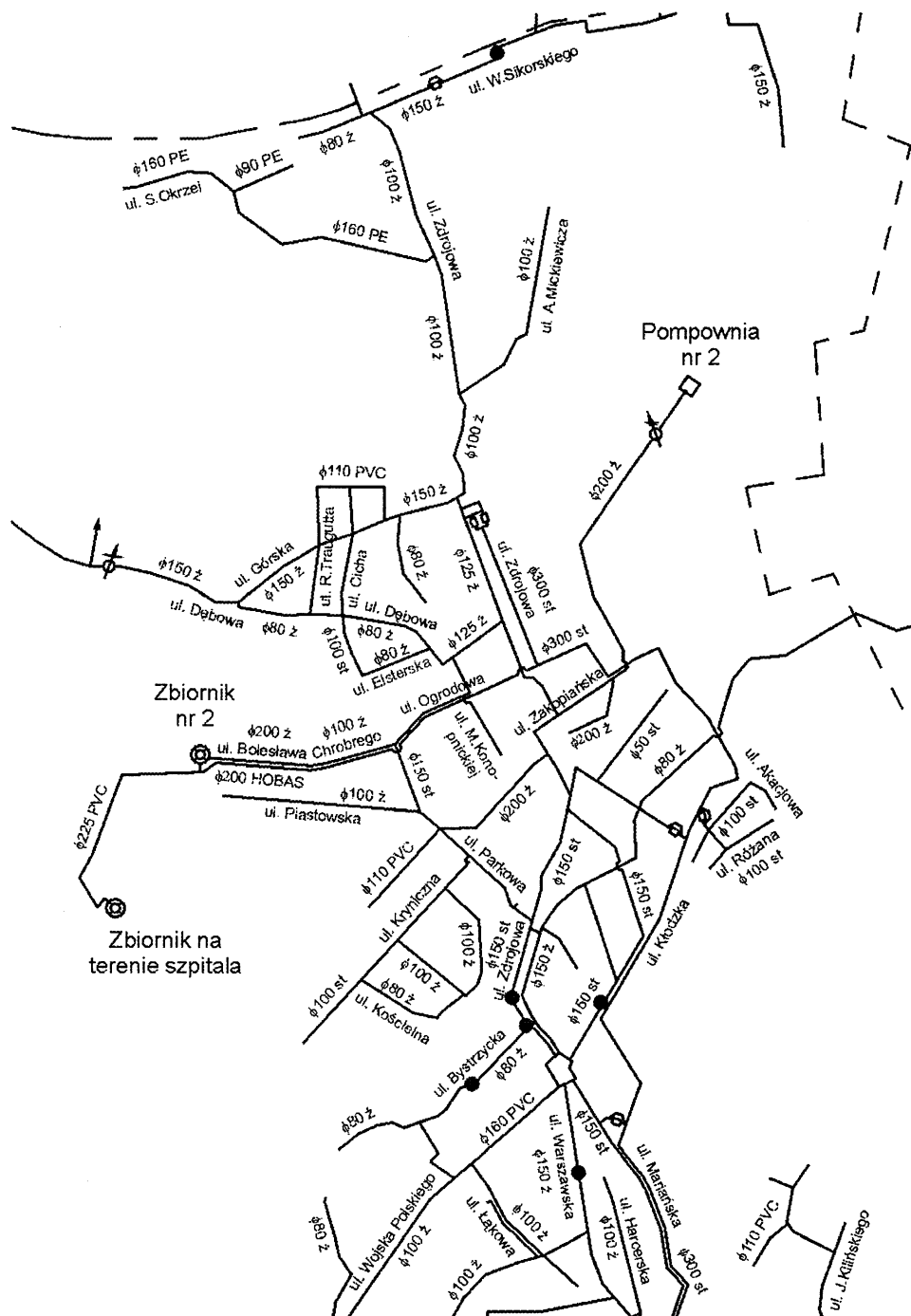
Do oceny objętości strat wody w sieci wodociągowej najbardziej miarodajne są wyniki pomiarów wykonanych w godzinach nocnych (1.00–4.00), tj. w czasie minimalnych poborów wody przez jej odbiorców. Z tego względu szczegółowej analizie poddano wyniki badań przeprowadzonych 6 lipca o godz. 1.45 i 3.45 oraz 7 lipca o godz. 1.45. Po wyłączeniu trzech źródeł zasilania i zamknięciu niektórych zasuw sieć wodociągowa na terenie miasta została podzielona w godzinach nocnych na dwa oddzielne rejonu:

- rejon zasilany w wodę ze zbiornika nr 2 i z pompowni nr 2,
- pozostała część sieci zasilana ze studni BS 1 i BS 6 oraz z ujęcia i zbiornika nr 1.

W godzinach dziennych były eksploatowane wszystkie źródła zasilania, z wyjątkiem pompowni nr 1. Natężenie nadmiernych strat wody w godzinach nocnych zostało poprzednio określone na około $19,6 \text{ dm}^3/\text{s}$. Lokalizację odcinków sieci, w których te straty występują, określono poprzez komputerową symulację działania systemu dystrybucji wody, oddzielnie dla każdego z obu wydzielonych rejonów sieci wodociągowej, przy uwzględnieniu wyników terenowych pomiarów ciśnień w wytypowanych jej węzłach i natężeń przepływu w wybranych punktach sieci. Opracowany przez autorów model [4] został skalibrowany i dobrze odwzorowuje pracę systemu dystrybucji wody. Dzięki symulacji pracy systemu wodociągowego można było ustalić dodatkowe rozbiory wody reprezentujące jej straty spowodowane przeciekami nie tylko w wytypowanym rejonie, ale na konkretnym odcinku sieci. Znaczne straty wystąpiły na trzech przewodach stalowych o średnicy 150 mm, trzech przewodach żeliwnych o średnicy 150 mm i na żeliwnym przewodzie o średnicy 80 mm.

Potwierdzeniem prawidłowości zastosowanej metodyki okazały się wyniki pomiarów wykonanych przy użyciu korelatora (Caltronic), które pozwoliły na szczegółową lokalizację miejsc przecieków (z praktyczną dokładnością 1,0 m) na wskazanych odcinkach sieci wodociągowej. Miejsca przecieków zaznaczono na schemacie sieci wodociągowej pokazanym na rysunku 2.

Przeanalizowano także koszty związane z dużymi nadmiernymi stratami wody. W analizie wydatków ponoszonych na eksploatację ujęcia i systemu dystrybucji wody zostały ujęte wyłącznie koszty zmienne, tj. zależne od ilości wody wtłaczanej do sieci wodociągowej. W wypadku analizowanego systemu były to opłaty za energię elektryczną zużytą na pompowanie wody ze studni oraz przez pompownię nr 1 i nr 2 (w 2001 r. 164 608 zł), a także udział w opłatach za korzystanie ze źródła naturalnego (pobór wody ze źródeł naturalnych) w wysokości 11 769 zł (woda była tłoczona bez uzdatniania do sieci wodociągowej). Były to zatem koszty ściśle związane



Rys. 2. Lokalizacja miejsc przecieków (czarne punkty) z przewodów sieci wodociągowej

z ilością wody ujmowanej i tłoczonej do sieci wodociągowej, które mogą być ograniczone wskutek redukcji strat nadmiernych.

Według informacji uzyskanych w miejskim przedsiębiorstwie komunalnym, zmierzony pobór wody przez konsumentów w roku rozliczeniowym 2001 wyniósł 483 396 m³, a wskaźnik kosztów zmiennych – 0,1355 zł/m³. Obliczone wcześniej nadmierne straty wody wyniosły średnio 1685 m³/d, tj. 615 025 m³/rok, zatem koszty zmienne, związane z ujęciem i wtłoczeniem do sieci wodociągowej dodatkowej ilości wody odpowiadającej nadmiernym jej stratom, wyniosły 83 336 zł/rok. Pełne koszty bezpośrednie związane z dostawą wody do jej odbiorców wyniosły w 2001 r. 644 886 zł. Całkowite wyeliminowanie

nadmiernych strat wody skutkowałoby zatem 12,9% zmniejszeniem kosztów bezpośrednich.

Podsumowanie

Rezultaty dokonanych analiz i pomiarów wskazują, że w warunkach, gdy przewody sieci wodociągowej są ułożone w gruntach skalistych i gruboziarnistych przecieki spowodowane uszkodzeniami i związane z nimi straty wody są trudne do wykrycia. Woda wnika bowiem w grunt i miejsca awarii są praktycznie niewidoczne. Szczególnie w małych systemach wodociągowych straty wody spowodowane przeciekami z przewodów mogą stanowić znaczący udział w jej produkcji i sprzedaży, np.

w systemie wodociągowym analizowanego miasta kształtowały się one na poziomie od 83% do 116% objętości wody sprzedanej, tj. od 33,8 m³/d·km do 38,0 m³/d·km.

Do wstępnej oceny objętości całkowitych strat wody powinny być wykorzystywane analizy zestawień ilości wody wtłoczonej do sieci wodociągowej oraz ilości wody sprzedanej, zarówno w odniesieniu do całej sieci, jak i odpowiednio wydzielonych jej rejonów. Lokalizacja odcinków sieci o zwiększonym rozbiorze wody, spowodowanym przeciekami, może być często dokonana w oparciu o analizy symulacyjne działania systemu dystrybucji wody i jego wydzielonych rejonów, wykonane przy użyciu komputerowego modelu przepływów (pod warunkiem właściwej kalibracji modelu) oraz przy uwzględnieniu wyników pomiarów terenowych. Jeśli ciśnienia i przepływy w sieci wodociągowej, w tym wydajności źródeł zasilania wydzielonych jej rejonów, nie są stale monitorowane, wskazane jest przeprowadzenie ich pomiarów w wytypowanych godzinach nocnych.

Kontrola i racjonalizacja ciśnień w sieci wodociągowej jest jednym z najważniejszych zabiegów mających na celu minimalizację strat wody, a tym samym minimalizację kosztów związanych z jej poborem i dystrybucją do odbiorców. W pracy wykazano, że zmniejszenie nadmiernych strat wody w analizowanym systemie dystrybucji wody mogłoby skutkować nawet kilkunastoprocentowym (w 2001 r. 12,9%) zmniejszeniem kosztów bezpośrednich produkcji i dystrybucji wody.

LITERATURA

1. H. BERGER, U. ROTH, D. SAMMET: Struktur und Entwicklung des Wasserverbrauchs in Wiesbaden. GWF Wasser-Abwasser, 1998, Nr. 9, S. 566–574.
2. A. OSIŃSKI, M. LEWANDOWSKI: Ocena działań podjętych w Gdańsku dla ograniczenia strat wody w sieci wodociągowej. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań–Gdańsk 2002, ss. 929–947.
3. S. SPERUDA, R. RADECKI, G. WOLIŃSKA: Metodyka wdrażania ekonomicznej redukcji strat wody w przedsiębiorstwach wodociągowych na przykładzie aktywnej kontroli wycieków. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Poznań 2004, ss. 671–682.
4. Z. SIWOŃ, J. CIEŻAK: Model przepływów w systemie dystrybucji wody na terenie Polanicy Zdroju. Ochrona Środowiska, 1998, nr 2, ss. 7–10.
5. Z. SIWOŃ: Problems of calibrating water supply network models. Proc. International Water Services Association Conference "Master Plans for Water Utilities", Prague 1998, pp. 229–234.
6. Z. SIWOŃ: Tarowanie parametrów modeli przepływów w systemach dystrybucji wody. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1999, nr 2, ss. 42–46.
7. Z. SIWOŃ: Problemy modelowania i eksploatacji systemów dystrybucji wody. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, PZITS, Kraków–Poznań 2000, ss. 735–754.

Siwoń, Z., Cieżak, J., Cieżak, W. Practical Aspects of Analyzing Water Losses in Water Supply Systems. *Ochrona Środowiska* 2004, Vol. 26, No. 4, pp. 25–30.

Abstract: Analysis and field measurements were carried out to identify the volume of water losses in the water-supply system of a Lower-Silesian town with a population of about 7,000. The findings of the study are as follows. When the pipes are laid in rocky or coarse-grained soils, leaks due to damage, as well as the resulting water loss, are very difficult to identify because the water soaks into the soil and the breakdown spots become practically invisible. Water losses due to leaks are of crucial importance to a small-sized water-supply system, where they may substantially contribute to the overall water production and sale. In the water-supply system being analyzed, water losses accounted for 83% to 116% of the total volume of the water sold (*i.e.* 33.8 to 38.0 m³/d·km). When establishing preliminary assessments of the overall water loss, it is necessary to include

into analysis the volume of the pumped-in water and the volume of water sold, with respect to both the entire water network and separate segments. A precise location of the segments with increased partition due to leaks can be obtained by simulating the operation of the water distribution system. The simulation can be carried out with a computer model of flow, provided that its parameters have been adjusted appropriately (the model has been calibrated accordingly). In some instances (especially when the pressure in the pipes is not monitored continuously), it is advisable to perform pressure measurements during arbitrarily chosen night hours. Control and optimization of pipe pressure is a crucial requisite for minimizing water loss and consequently the cost of water intake and water distribution to the users. The estimated reduction in the direct cost of water production and distribution as a result of reducing excessive losses of pressure amounted to 12.9% in 2001.

Keywords: Water-supply system, water loss.