

Tomasz HERCZYK, Ryszarda IWANEJKO

*Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A.
Częstochowa
Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Politechnika Krakowska*

ANALIZA PRACY SIECI DYSTRUBUCJI WODY W OKRĘGU CZĘSTOCHOWSKIM

ANALYSIS OF OPERATION OF THE CZĘSTOCHOWA DISTRICT'S WATER DISTRIBUTION SYSTEM

The Water and Sewage Works at Częstochowa has been continuing its tradition as one of the oldest water works in Poland. Currently, it supplies water to over 330 thousand consumers in the region. A water distribution network is the last and very important element of the system. It should provide the consumers with a continuous supply of water of the required volume, pressure and quality, at any time. The network has its specific character and therefore like many other engineering facilities is troubled with random failures and successive aging as well as undergoes modernizations and expansions, according to the local needs. Based on the set of data gathered by the Water and Sewage Works over a period of 10 years (over 40 thousand bits of information) the network operation, its water losses and a network's failure rate have been analyzed. In a failures rate analysis both types of failures and a network structure (its function, construction material and age) were included. A broad data base of the Water and Sewage Works enables to develop interesting relationships and conclusions. The paper indicates also some possible ways of reduction of water losses occurring within the network.

1. Wprowadzenie - charakterystyka obszaru

Region częstochowski jest ubogi w czyste wody powierzchniowe. Jedyne źródło zaopatrzenia aglomeracji częstochowskiej stanowią wody podziemne. Eksploatowane są trzy piętra wodonośne: jurajskie, czwartorzędowe i triasowe. Zasadnicze znaczenie odgrywa poziom górnojurajski, stanowiący jeden z najzasobniejszych w kraju rezerwuarów wód podziemnych. W tym rejonie znajduje się GZWP-326 i ten obszar podlega najwyższej ochronie. Jednak ze względu na słaby stopień izolacji warstw wodonośnych, zasoby są zagrożone degradacją jakości wód [2]. Przeprowadzone dotychczas prace badawcze wykazały, że głównymi przyczynami zanieczyszczeń wód podziemnych w regionie częstochowskim były i są nadal m.in. infiltracja wód z terenów zanieczyszczono-

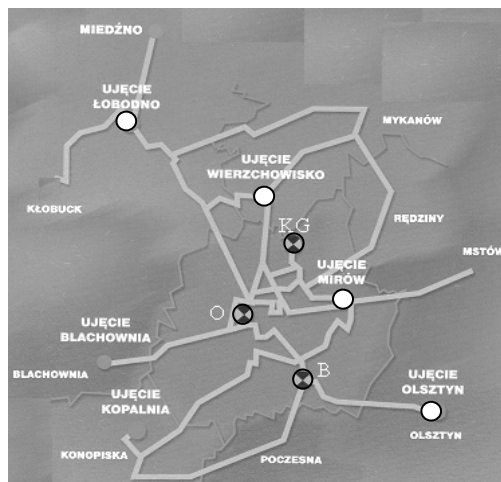
nych przez przemysł (instalacje przemysłowe, hałdy odpadów poprodukcyjnych), wypłukiwanie zanieczyszczeń z nielegalnych wysypisk śmieci, infiltracja z silnie zanieczyszczonej rzeki Warty, infiltracja wód zanieczyszczonych nawozami i środkami ochrony roślin oraz infiltracja zanieczyszczonych opadów atmosferycznych. Głównymi ogniskami skażeń wód w regionie Częstochowy są m.in. Huta „Częstochowa”, Centralna Oczyszczalnia Ścieków, Zakłady Tworzyw Sztucznych „Nitron - Erg” – Aniołów, Zakłady Chemiczne „Rudniki”, niektóre stacje benzynowe i drobne zakłady wytwórcze (w szczególności galwanizernie, masarnie i fermy hodowli zwierząt). Obecnie stwierdza się lokalne przekroczenia stężenia azotu amonowego, obecność cyjanków, fenoli i chromianów. Jednak zdecydowana większość ujęć posiada dobrą wodę, niewymagającą uzdatnienia przed podaniem do sieci. Przedsiębiorstwo stosując właściwe sterowanie eksploatacją poszczególnych studni doprowadza ujmowaną wodę, do stanu w pełni odpowiadającego wymogom norm fizykochemicznych. W niedalekiej przyszłości Wodociągi Częstochowskie zamierzają wdrożyć na zagrożonych azotanami i chromianami ujęciach wody, nowatorskie w kraju pod względem wydajności, bardzo wysoko zaawansowane techniczne i kosztowne instalacje uzdatniania wody. Poszukuje się także najwłaściwszych koncepcji włączenia nowych obszarów wodonośnych. Mimo, że pewne studnie zostaną wyłączone z eksploatacji, to jednak niektóre z nich będą musiały pracować nadal jako bariery depresyjne, co będzie miało na celu ochronę określonego rejonu eksploatacji przed przenikaniem zanieczyszczeń.

Pierwsze informacje o eksploatacji wód podziemnych z dzisiejszego rejonu Częstochowy pochodzą z końca XIV wieku, kolejne z wieków XVI i XVIII. W latach 20-tych XX wieku nastąpił rozwój demograficzny Częstochowy, a władze miasta podjęły decyzję o budowie sieci wodociągowej i kanalizacyjnej. Z tego okresu pochodzi m.in. ujęcie „Wierchowisko” (wówczas 8 tys. m³/d) i sieć wodociągowa (62720 m, 71 podłączeń). Efektem badań hydrogeologicznych prowadzonych w latach 1954-1970 było udokumentowanie znacznych zasobów wód podziemnych, co wpłynęło na dalszy rozwój wodociągu. Obecnie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręg Częstochowa S.A. obejmuje swym zasięgiem działania powierzchnię ok. 1000km² (obszar całkowicie zwodociągowany), zaopatruje w wodę ponad 330 tys mieszkańców i ok. 400 zakładów przemysłowych. Eksploatuje 56 studni głębinowych zgrupowanych w 4 podstawowe i 10 pomocniczych ujęć wody. Te ujęcia, sieć wodociągowa (2225 km) wraz z 9 zbiornikami wyrównawczymi (zgrupowane w 3 zespoły, łączna pojemność 56 tys. m³), kilkoma hydroformiami i przepompowniami sieciowymi tworzą niepodzielny wodociąg centralny (rys.1), w którym umownie wydzielono 3 rejonu: Częstochowa, Kłobuck i Olsztyn. Zdolność produkcyjna wszystkich ujęć wody wynosi obecnie 122.2 tys m³/d. Ponad 80% zdolności produkcyjnej zapewniają 4 ujęcia podstawowe [2]:

- „Mirów” – 22 studni głębinowych (w tym 12 w obrębie miasta),
- „Wierchowisko” - 5 studni głębinowych i jedno naturalne źródło,
- „Olsztyn” – 9 studni głębinowych,
- „Łobodno” - 5 studni głębinowych.

Dwa pierwsze ujęcia podstawowe znajdują się w rejonie Częstochowa. Wszystkie ujęcia podstawowe są zasilane wodami jurajskimi (GZWP-326). Spośród 10 ujęć pomocniczych 3 są zlokalizowane na terenie miasta, odgrywają znaczną rolę przy zasilaniu stref wzmoczonych rozbiorów. Pozostałe ujęcia pomocnicze zasilają głównie peryferia miasta. Z ujęć leżących poza miastem woda jest przesyłana magistralami o długościach od 15 do 30 km. Woda pobierana z ujęć „Mirów” i „Wierchowisko” jest poddawana ozonowa-

niu, woda z ujęć „Olsztyn” i „Łobodno” i z ujęć pomocniczych jest dezynfekowana podchlorynem sodu [2]. Obecnie rzeczywisty pobór wody z wszystkich ujęć nie przekracza 50% możliwości produkcyjnych.



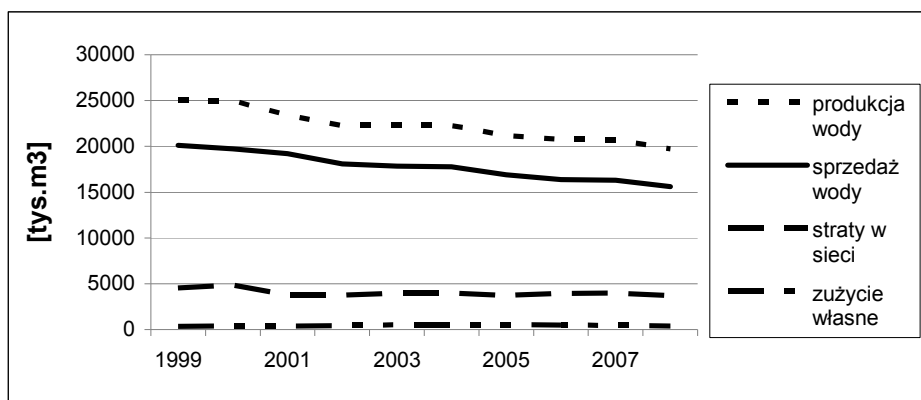
Rys. 1. Uproszczony schemat sieci wodociągowej wraz z grupami zbiorników i z podstawowymi ujęciami wody

Fig. 1. A simplified layout of the water supply network including reservoirs and main water intakes

2. Gospodarka wodna

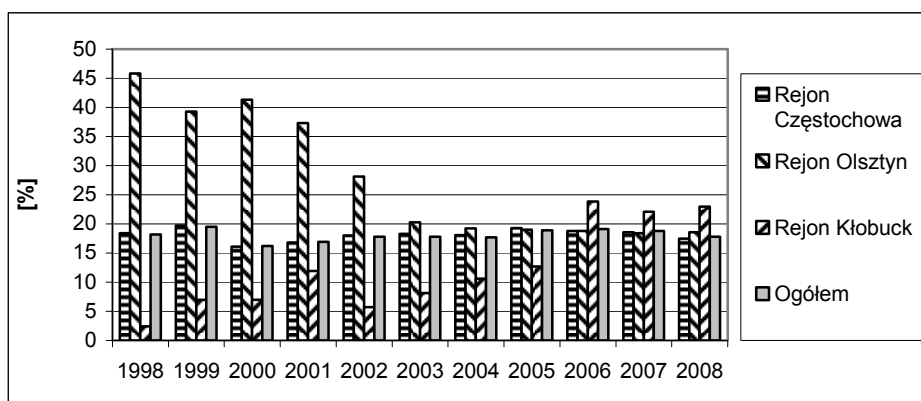
W analizowanym okresie czasu wielkości uwzględniane w bilansie wody i charakteryzujące wodociąg okręgu częstochowskiego uległy zmianie. Od 1999 roku ilość ujmowanej i sprzedawanej wody spadła o ok. 24% (rys. 2), co wynikało ze wzrostu cen wody, upadku różnych zakładów przemysłowych i zmniejszenia liczby odbiorców wody. Równocześnie zmalała (o ok. 26%) wielkość straty wody w sieci wodociągowej. Na straty wody składają się tzw. straty rzeczywiste (przecieki z przewodów i uzbrojenia, przelewy ze zbiorników, kradzieże wody) oraz straty pozorne (wynikające z niejednocześnieści i niedokładności odczytów).

Na obszarze działania PWiK wielkość procentowych strat wody w sieci utrzymuje się na podobnym poziomie (ok. 18% ilości wody wtłoczonej do sieci). Jednak w wydzielonych rejonach wielkości te wykazują odmienne tendencje (rys. 3). W obszarze Częstochowy procentowe straty wody w ciągu analizowanego okresu czasu ulegały niewielkim wahaniom (w zakresie od 16,2% do 19,5%), w rejonie Olsztyn istotnie zmalały (z 45,8% do 17,5%), natomiast w rejonie Kłobuck znacznie wzrosły (z 2,4% do 23%).



Rys.2. Produkcja, sprzedaż i straty wody w sieci centralnego wodociągu częstochowskiego

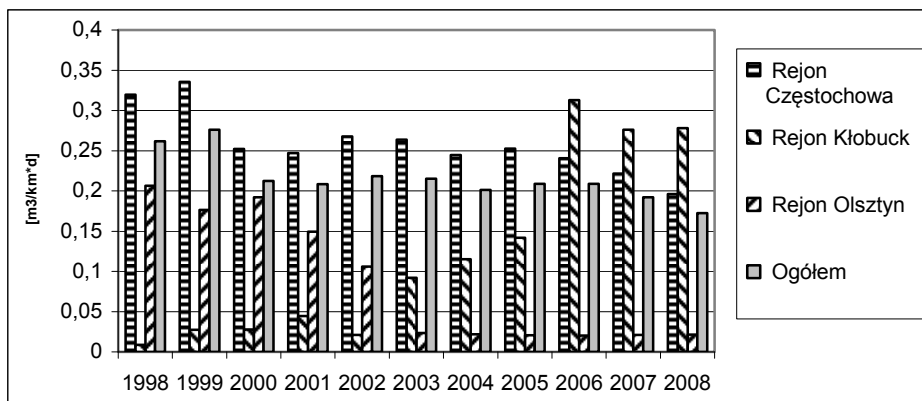
Fig.2. Water production, sale and losses in the central water supply system at Częstochowa



Rys.3. Procentowe straty wody w sieci z uwzględnieniem rejonów

Fig.3. Water losses in the particular regions of the network

Wskaźniki jednostkowych strat wody w trzech rejonach również wykazują inne trendy. W rejonie Częstochowa jednostkowe straty wody wykazują niewielką tendencję spadkową, w rejonie Olsztyn zmalały, natomiast w rejonie Kłobuck wzrosły. Dla całego wodociągu wykazują tendencję spadkową (z $0,26 \text{ m}^3/\text{km}\cdot\text{d}$ w roku 1998 do $0,17 \text{ m}^3/\text{km}\cdot\text{d}$ w roku 2008, tj. o ok. 8%).



Rys.4. Jednostkowe straty wody

Fig 4. Unit water losses

Ostatnią wielkością uwzględnianą w bilansie wody jest tzw. zużycie własne czyli objętość wody przeznaczona m.in. na płukanie sieci, zbiorników i inne cele PWiK. Dla okręgu częstochowskiego to zużycie własne jest stosunkowo niewielkie; w latach 1998-2008 wahało się od 1,5 do 2,5% całkowitej produkcji wody.

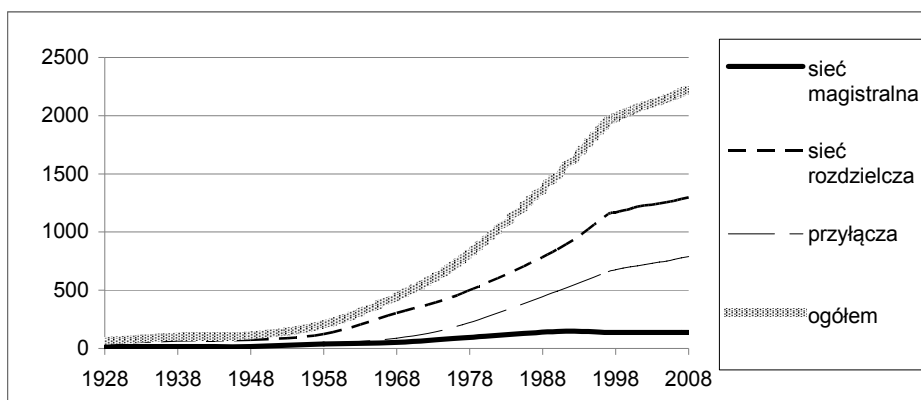
W analizowanym okresie czasu zmianie uległy również inne wielkości charakteryzujące wodociąg. Zmniejszyło się jednostkowe zużycie wody (ze 160 [dm³/mk·d] do 125 [dm³/mk·d]). Od wielu lat największy udział w rozborze wody mają gospodarstwa domowe (ok. 82% całkowitego rozboru), znacznie mniejszy przemysł (ok. 7,5%), jednostki użyteczności publicznej (ok. 6%) i inni odbiorcy (ok. 4,5%). Struktura zużycia wody jest zbliżona we wszystkich rejonach [2]. W największym centralnym rejonie Częstochowa znajduje się ponad 90% odbiorców wody, a jednostkowe zużycie wody jest większe niż w rejonach peryferyjnych (średnio o ok. 20%).

3. Charakterystyka sieci dystrybucji wody

Sieć wodociągowa PWiK okręgu częstochowskiego jest eksploatowana od ponad 80 lat i wraz z rozwojem miasta jest rozbudowywana i modernizowana (rys.5). Obecnie długość całej sieci wynosi 2225 km, z czego [2]:

- 138 km to przewody magistralne (najwięcej o średnicach 250 mm),
- 1297 km to przewody rozdzielcze (najwięcej o średnicach 100 mm),
- 789 km to podłączenia wodociągowe (najwięcej o średnicach 32 i 40 mm, ponad 50 tys. podłączeń).

Prawie 78,6% tej sieci pokrywa rejon Częstochowy, 16,1% rejon Kłobucka a 5,3 % rejon Olsztyna. W analizowanym okresie czasu rocznie przybywało średnio 25 km przewodów.



Rys.5. Długość sieci wodociągowej

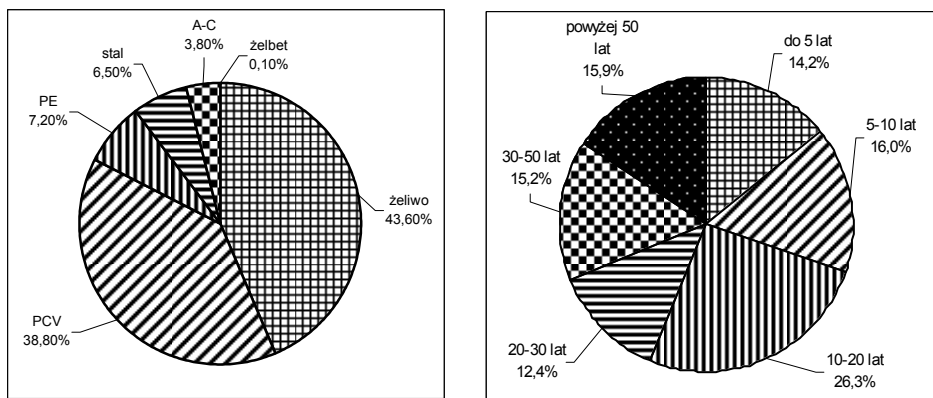
Fig.5. Length of the water supply network

Dla całej sieci, oraz osobno dla przewodów magistralnych i rozdzielczych, wyznaczono tzw. wskaźnik intensywności obciążenia hydraulicznego sieci jako [1]:

$$q = \frac{Q_d}{L} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{km} \cdot \text{d}} \right]$$

gdzie Q_d – dobową objętość wody wtłoczonej do sieci, L – długość sieci. Wartości wskaźnika informują o średniej wielkości przepływu wody w ciągu doby przez sieć na jednostkowym odcinku 1 km. Wskaźnik ten, oprócz interpretacji hydraulicznej można również wykorzystać do szacowania strat wody w przypadku awarii i niekontrolowanego wypływu wody całym przekrojem przewodu. Obciążenie sieci od roku 1998 do roku 2008 malało równomiernie. Obciążenie całej sieci zmalało o ok. 33% (z 36,4 [m³/km·d] w roku 1998 do 23,2 [m³/km·d] w roku 2008). Obciążenie przewodów magistralnych zmalało o ok. 25% (z 500,7 [m³/km·d] w roku 1998 do 373,4 [m³/km·d] w roku 2008.) Natomiast obciążenie przewodów rozdzielczych zmalało o ok. 32% (z 58,6 [m³/km·d] w roku 1998 do 39,7 [m³/km·d] w roku 2008). Na takie zmniejszenie obciążenia sieci wpłynęło zmniejszenie sprzedaży wody (mniejsza ilość wody wtłaczanej do sieci) oraz równoczesny wzrost długości sieci.

Prowadzona od lat ewidencja pozwoliła na określenie struktury materiałowej i wiekowej sieci (rys.6), co z kolei w powiązaniu z informacjami o awariach sieci, pozwala na strategiczne i długofalowe zarządzanie remontami kapitalnymi sieci [2]. Prawie 44% całej sieci jest wykonana z żeliwa, z czego zdecydowana większość to żeliwo szare. Udział żeliwa sferoidalnego jest znikomy (nie przekracza 2%). Drugim najczęściej stosowanym materiałem było PCW. Przewody z innych materiałów łącznie nie przekraczają 18% długości całej sieci. Choć ok. 30% sieci można uznać za młodą (do 10 lat), to równocześnie dla znacznej części przewodów wiek eksploatacji jest bardzo długi (prawie 16% sieci liczy powyżej 50 lat). Ten fakt zmusza do stopniowego wdrażania polityki kapitalnych remontów sieci.



Rys. 6. Struktura materiałowa i wiekowa sieci

Fig. 6. Network age and construction material structure

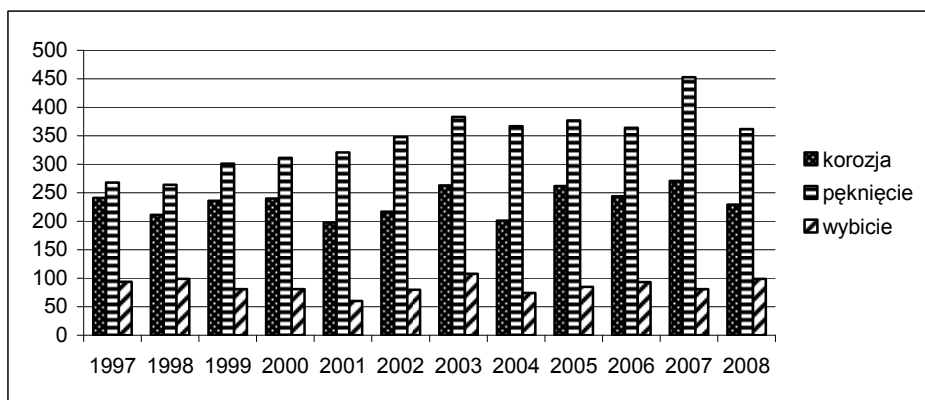
4. Awarie sieci wodociągowej

Awaryje sieci wodociągowej to uszkodzenia lub niesprawności przewodów wodociagowych lub uzbrojenia skutkujące utratą ich wymaganych własności, a więc w konsekwencji zakłóceniami prawidłowej dostawy wody do odbiorców. Awaryje mogą występować na skutek jednorazowych zdarzeń losowych, ale najczęściej są wynikiem połączonych działania czasu, nadmiernych naprężeń i lokalnych niekorzystnych warunków środowiskowych. Awaryje mogą dotyczyć: korpusu rury, złączy lub kompensatorów, uzbrojenia (zasuwa, zawór zwrotny, reduktor, zawór bezpieczeństwa, hydrant uliczny, źródło uliczne, odpowietrznik, spust). Dane zbierane przez pracowników PWiK umożliwiają przeprowadzenia analiz pod różnymi kątami. W latach 1997-2008 występowało rocznie od 600 do 805 awarii (średnio 724). Najwięcej awarii wystąpiło na sieci rozdzielczej (ok. 51,27%) i na podłączeniach (ok. 45,02%) najmniej na przewodach magistralnych (ok. 3,7%) (tab.1). Najczęściej uszkodzeniom ulegały przewody rozdzielcze o średnicy 100 mm (ok. 34,2% wszystkich awarii) i podłączenia 32 mm i 40 mm (ok. 38,5% wszystkich awarii). W grupie podłączeń najczęściej awarii ulegały przewody stalowe (ok. 70% uszkodzeń podłączeń), w grupie przewodów rozdzielczych i magistralnych przewody żeliwne (odpowiednio ok. 61% i 73% uszkodzeń przewodów danego typu). Przyczyny awarii zależały od materiału, z którego były wykonane przewody. Najczęstszą przyczyną wszystkich uszkodzeń były pęknięcia (ok. 52%), korozja (ok. 35%) i wybite uszczelnienia (ok. 13%). Najwięcej awarii wystąpiło na przewodach żeliwnych i stalowych (po ok. 36%), co przy stosunkowo niewielkiej długości przewodów stalowych (ok. 6,5% długości sieci) świadczy o złym stanie przewodów stalowych. W porównaniu z latami ubiegłymi, ostatnio odnotowuje się niewielki wzrost liczby pęknięć (rys. 7) [2].

Tab. 1. Procentowa struktura uszkodzeń poszczególnych typów przewodów i przyczyn uszkodzenia w zależności od materiału, z którego wykonano przewody

Tab. 1. Structure of failures (as percentage) of particular pipes and causes of failures, depending on the type of material

		Materiał					Razem
		żeliwo	PVC	PE	stal	A-C	
Rodzaj przewodu	magistralne	2,72%	0,18%	0,01%	0,79%	0%	3,7%
	rozdzielcze	31,32%	10,93%	3,02%	3,84%	2,16%	51,27%
	podłączenia	2,22%	0,13	10,95%	31,72%	0,01%	45,02%
	razem	36,26%	11,23%	13,98%	36,35%	2,17%	100%
Przyczyna	korozja	0,14%	0,01		35,1%	0,1%	35%
	pęknięcie	23,42%	25,1%		1,1%	2%	52%
	wybiecie uszczelnienia	12,69%	0,04%		0,1%	0,1%	13%
	razem	36,25%	25,15%		36,4%	2,2%	100%



Rys.7. Liczba uszkodzeń sieci wodociągowej w zależności od przyczyny

Fig.7. Number of water supply network failures; ranked according to the causes

5. Awaryjność przewodów wodociągowych

Jednostkowa intensywność uszkodzeń przewodów, nazywana również ich awaryjnością lub uszkadzalnością jest wskaźnikiem wyznaczanym z wzoru [3,4]:

$$\lambda_0 = \frac{A}{L \cdot T} \left[\frac{\text{uszk}}{\text{km} \cdot \text{rok}} \right]$$

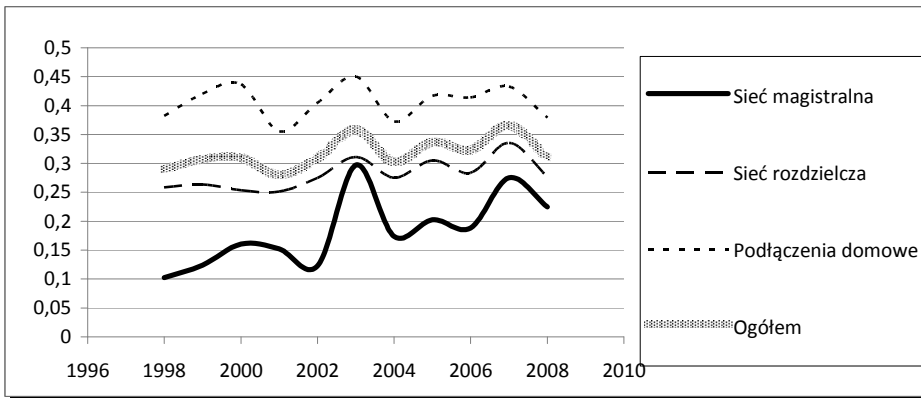
gdzie: A- liczba awarii przewodów o długości L w czasie T.

Posiadane dane pozwoliły na wyznaczenie wartości awaryjności przewodów dla różnych rodzajów sieci (rys.8), dla różnych materiałów (rys.9) oraz dla każdego z rejonów (rys.10) [2].

Dla całego wodociągu wartości awaryjności przewodów λ_0 wahały się od 0,280 do 0,365 [1/km-rok] i wyniosły średnio 0,32 [1/km-rok]. Przyjmowały różne wartości dla różnych rodzajów sieci. Uśrednione w czasie awaryjności wyniosły: dla przewodów magistralnych 0,18 [1/km-rok], dla rozdzielczych 0,28 [1/km-rok] a dla podłączeń 0,41[1/km-rok]. Jak widać, (rys.8), wartości awaryjności dla różnych grup przewodów nie przekraczają wartości proponowanych jako graniczne [3]:

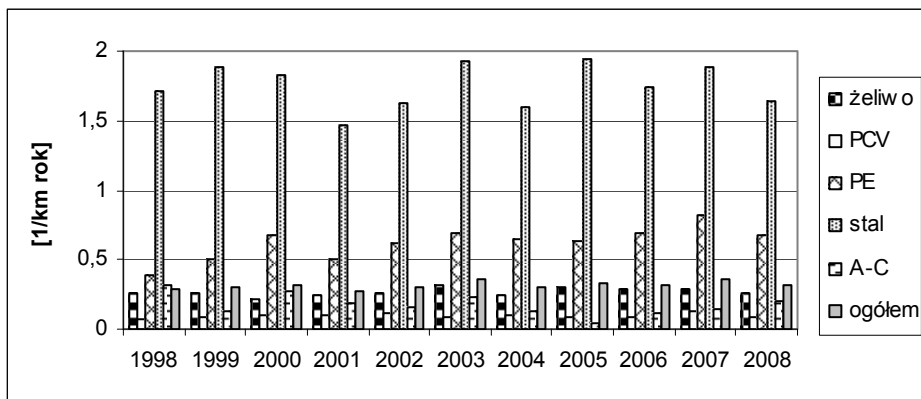
- dla sieci magistralnej 0,3 [1/km-rok],
- dla sieci rozdzielczej 0,5 [1/km-rok],
- dla podłączeń wodociągowych 1,0 [1/km-rok].

Dokonano również porównania awaryjności przewodów wodociągu częstochowskiego z awaryjnością przewodów innych wodociągów w Polsce. Na podstawie analiz zamieszczonych w pracy [3], uzyskano, że dla grupy miast o liczbie mieszkańców od 250 tys. do 500 tys., średnie awaryjności dla całej sieci wynoszą 0,83 [1/km-rok], przy czym dla sieci magistralnej wynoszą 0,23 [1/km-rok], dla sieci rozdzielczej 0,8 [1/km-rok] a dla podłączeń wodociągowych 1,29 [1/km-rok]. Wodociąg częstochowski charakteryzuje się znacznie niższą awaryjnością dla wszystkich typów przewodów.



Rys.8. Awaryjność sieci wodociągowej w zależności od rodzaju przewodów

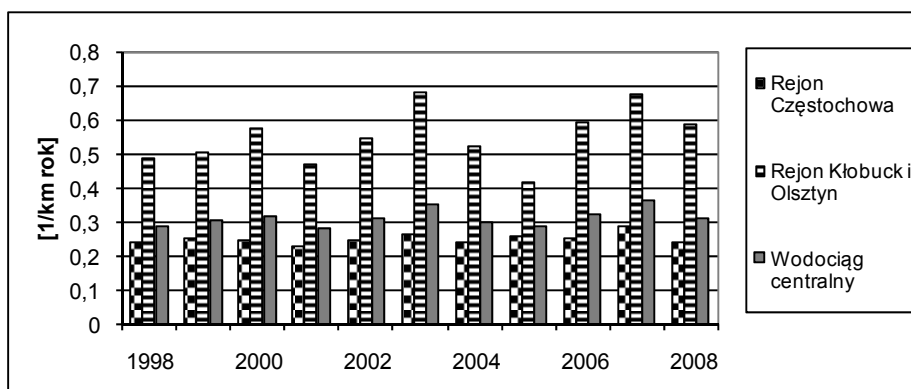
Fig.8. Failures of the water supply system as a function of a pipe type



Rys.9. Awaryjność sieci wodociągowej w zależności od rodzaju materiału

Fig.9. Failures of the water supply system as a function of a construction material

W okręgu częstochowskim najwyższą awaryjność (rys.9) mają przewody stalowe, co wynika z ich podatności na korozję. Natomiast wysoka awaryjność przewodów wykonanych z PE wynika z braku doświadczenia i niskiej fachowości ekip montujących przewody w latach 90-tych [2]. Dla rejonu Częstochowa corocznie notowano najniższe wartości λ_0 z zakresu 0,228-282 $[1/\text{km-rok}]$, a dla rejonów Kłobuck i Olsztyn notowano wyższe wartości z zakresu 0,416-0,677 $[1/\text{km-rok}]$.



Rys.10. Awaryjność uszkodzeń w zależności od rejonu

Fig.10. Failures of the water supply system in different regions

6. Podsumowanie

Okręg częstochowski wykorzystuje zasoby wód podziemnych. Od 1997 roku eksploatację tych wód oraz dostarczanie ich odbiorcom realizuje Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. kontynuujące tradycje jednego z najstarszych w Polsce zakładów wodociągowych. Obsługiwany przez PWiK obszar jest całkowicie zwodociągowany. Na użytek PWiK wydzielono trzy rejonu pokrywające centrum (rejon Częstochowa) i peryferia (rejon Kłobuck i Olsztyn). Rejonu te, z racji swego położenia, różnią się pod wieloma względami. W największym centralnym rejonie Częstochowa znajduje się ponad 90% odbiorców wody i położono prawie 79% całej sieci wodociągowej.

Pomimo rozbudowy sieci w całym obszarze (średnio o 25 km rocznie, co w stosunku do roku 1998 daje przyrost o ok. 12% długości), od 1998 roku ilość sprzedawanej wody zmalała (o ok. 24%). Zmalało również obciążenie sieci, a wraz z nim straty wody w sieci.

W ciągu wielu lat eksploatacji zauważono niewielki wzrost awaryjności przewodów. Równocześnie straty wody w sieci zmalały. Te fakty świadczą zarówno o powolnym starzeniu się sieci (ponad 30% przewodów liczy więcej niż 30 lat, prawie 16% ponad 50 lat), jak i o skutecznym zarządzaniu stratami wody (wykrywanie przecieków, szybkie usuwanie awarii). Wartości awaryjności są najwyższe dla przewodów stalowych, stanowiących ok. 6,5% całej sieci, należałoby albo je wymienić albo przeprowadzić ich renowację. Stan tych przewodów wpływa bowiem nie tylko na zwiększenie strat wody w sieci, ale również na wtórne zanieczyszczenie wody w sieci (korozja). Podobnie wskazana byłaby wymiana przewodów azbestocementowych, które często ulegają pęknięciom. Dotyczy to zwłaszcza rejonu Kłobuck, dla którego jednostkowe straty wody są największe. Te operacje wpłynęłyby znacząco na dalszą redukcję strat wody w sieci. O wielkości strat wody, oprócz wskaźnika awaryjności, świadczy czas usuwania awarii. Ocenia się, że ok. 9% awarii zostaje usuniętych w czasie do 4 godzin, 90% w czasie 4-8 godzin a jedynie 1% w czasie powyżej 8 godzin.

Dążąc do poprawy funkcjonowania sieci wodociągowej oraz zmniejszenia poziomu strat z wycieków, w 2007 roku w Przedsiębiorstwie został zakupiony pojazd wyposażony w specjalistyczny sprzęt diagnostyczny (min. korelator, logery, geofon, laska nasłuchowa, traser przewodów). Funkcjonowanie większości wymienionych urządzeń oparte jest o akustyczną detekcję szumów wywołanych przez wyciek wody z rurociągu. Ideą pracy na wskazanym sprzęcie jest stopniowe wyznaczanie awaryjnych fragmentów sieci, tak aby w końcowym etapie badań określić z dokładnością kilkunastu centymetrów miejsce wycieku.

Działania z wykorzystaniem specjalistycznych urządzeń, zaowocowały w latach 2007/2008 sprawdzeniem blisko 640 km sieci wodociągowej. W wyniku wykonanej pracy wykryto 435 nieszczelności. Niemalże połowę wspomnianej liczby stanowiły wycieki nieujawniające się na powierzchni gruntu, więc jednocześnie najcenniejsze z punktu widzenia skracania okresu istnienia awarii, a w konsekwencji rzutujące na redukcję poziomu strat wody w Przedsiębiorstwie.

Obecnie w Przedsiębiorstwie wykorzystywany jest system GIS, w którym prowadzona jest ewidencja sieci wraz z uzbrojeniem oraz występującymi awariami. Każda brygada wyjeżdżająca do awarii ma możliwość podglądu uzbrojenia terenu w miejscu awarii (m.in. informacje o kablach energetycznych, telekomunikacyjnych, sieciach ciepłowniczych) na podstawie mapy, z którą wyrusza w teren. Są to niezwykle cenne informacje poprawiające bezpieczeństwo i komfort pracy brygad.

Bibliografia

- [1] Dohnalik P., Jędrzejewski Z., Efektywna eksploatacja wodociągów. LemTech, Kraków 2004.
- [2] Herczyk T., Analiza pracy i uszkodzalności sieci wodociągowej w regionie Częstochowy. Praca dyplomowa magisterska na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, Kraków 2009.
- [3] Rak J., Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol.28, Lublin 2005.
- [4] Wieczysty A. (red), Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk*, vol.2, Kraków 2001.