

**Urszula KĘPA, Ewa STAŃCZYK-MAZANEK, Longina STĘPNIAK,
Artur HADAŚ***

*Instytut Inżynierii Środowiska
Politechnika Częstochowska*

**Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji
Okręgu Częstochowskiego Spółka Akcyjna*

ANALIZA USZKODZEŃ PRZEWODÓW SIECI WODOCIĄGOWEJ NA OBSZARZE MIASTA CZĘSTOCHOWY

ANALYSIS OF PIPE DAMAGES IN THE WATER SUPPLY NETWORK ON THE AREA OF CZESTOCHOWA CITY AND PROVINCE

The overall goal of the presented work was to investigate the operating water distribution system for pipe damages in the water supply network. This paper was based on the data provided by the water supply and sewerage system company Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S.A which manages one of the two longest water supply networks in Poland.

The paper presents the data on the number of water supply network failures in the investigated period for the city and province of Częstochowa. Special attention was paid to the effects of seasonal changes on the type and frequency of pipe damages. The analysis focused on the number of failures in function of time reported for transport networks, distributive networks and water supply connections. Also, the paper gives an overview of the most common reasons for water pipe failures due to the type of material used for constructing water supply networks. With the reference to the available data the failure coefficients were calculated for selected water pipes constructed from various materials. With view to the conducted analysis the paper presents the solution for minimizing the failure frequency of water supply networks which in turn will allow to prevent from water losses.

1. Wprowadzenie

Zmiana sytuacji społeczno gospodarczej Polski od początku lat dziewięćdziesiątych spowodowała bardzo istotny spadek zużycia wody. Zmniejszeniu uległo jednostkowe zapotrzebowanie na wodę zarówno w gospodarstwach domowych jak i w przemyśle. Jednocześnie wzrosły straty wody oraz zużycie wody na cele technologiczne w sieciach wodociągowo-kanalizacyjnych. Sytuacja ekonomiczna większości polskich przedsiębiorstw wodociągowych w obecnym momencie ogranicza finansowanie modernizacji i

rozwoju infrastruktury wodociągowej, co powoduje pogarszanie się stanu technicznego wodociągów a w konsekwencji prowadzi do wzrostu kosztów eksploatacyjnych. Główną przyczyną powstawania strat wody są awarie sieci wodociągowych. Jest to zjawisko nieodłącznie związane z eksploatacją sieci. Awarie powodujące niewielkie wycieki wody są trudne do zlokalizowania i przez długi czas mogą powodować ucieczkę wody z sieci a tym samym generować duże straty finansowe. Z kolei wyciek wody na skutek dużego uszkodzenia przewodu powoduje zazwyczaj wymywanie ziemi wokół rurociągu i utratę stabilności gruntu. Awaria w krótkim czasie od zaistnienia jest łatwa do zlokalizowania (ujawnia się na powierzchni terenu), ale może powodować znaczne straty pośrednie, jak na przykład zapadnięcie gruntu i uszkodzenie istniejących nawierzchni, podmycie fundamentów budowli, zarwanie skarp budowlanych czy przedostawanie się wody do budowli. W przypadku każdej awarii istnieje również ryzyko zakażenia bakteriologicznego wody wodociągowej.

Przyczyny powstania uszkodzeń mogą mieć charakter zarówno fizyczny jak i chemiczny. Wśród przyczyn fizycznych wyróżniamy uszkodzenia pochodzenia geologicznego (podmycie podparć przewodów przez wody gruntowe, osiadanie gruntu), pochodzenia konstrukcyjno-eksploatacyjnego (wady materiałowe i konstrukcyjne przewodów oraz armatury, obciążenie dynamiczne przewodów, przeciążenie wieloletnią eksploatacją), pochodzenia żywiołowego (ruchy ziemi, gwałtowne zmiany warunków atmosferycznych). Do przyczyn chemicznych zaliczamy korozję wywołaną obecnością wody gruntowej lub korozję pochodzenia elektrochemicznego (tzw. prądy błędzące). Natomiast do przyczyn występujących na etapie projektowania, budowy i eksploatacji sieci możemy zaliczyć: błędy podczas projektowania sieci (błędy w obliczeniach statycznych i dynamicznych, błędy w obliczeniach hydraulicznych, błędy w obliczeniach termicznych), błędy podczas budowy sieci (nieprawidłowe ułożenie przewodów, brak zabezpieczeń oporowych, wadliwe wykonanie złączy, brak izolacji rur, niewłaściwe wykonanie kompensacji), błędy podczas eksploatacji sieci (nieprawidłowa konserwacja armatury, nieodpowiedni nadzór pracy sieci, wadliwe wykonanie naprawy) [1].

2. Charakterystyka badanego systemu wodociągowego

Analizie pod kątem awaryjności poddana została sieć wodociągowa eksploatowana przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego S. A. z siedzibą przy ul. Jaskrowskiej 14/20 w Częstochowie. Przedsiębiorstwo zaopatruje w wodę obszar o powierzchni około 1000 km² i pod względem długości sieci zajmuje drugie miejsce w kraju. Łączna długość sieci na dzień 31.12.2007 roku wynosiła 2201,80 km, w tym:

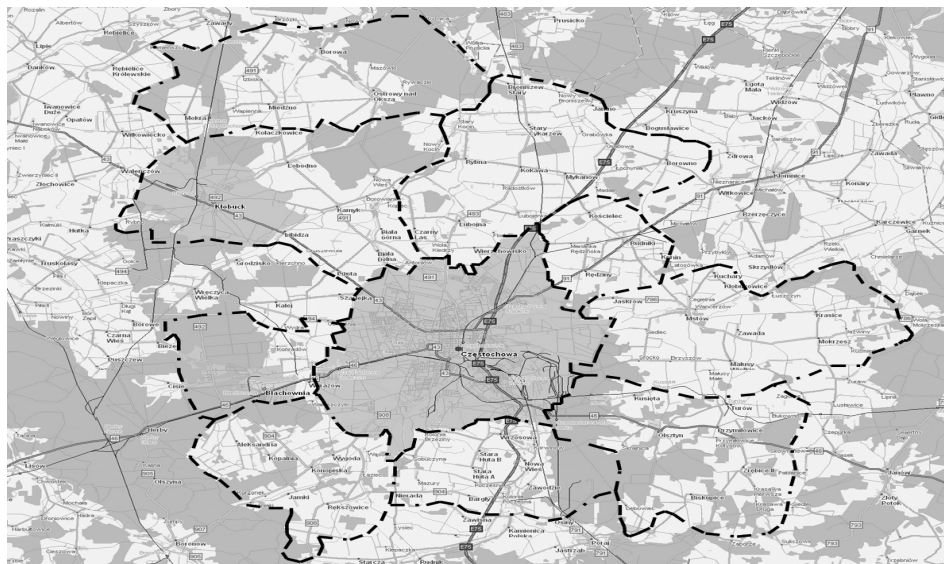
- | | | |
|-------------------------|------------|---------------|
| - sieć magistralna | 138,60 km | |
| - sieć rozdzielcza | 1285,59 km | |
| - przyłącza wodociągowe | 777,61 km | (39 921 szt.) |

Woda pozyskiwana jest za pomocą 51 studni głębinowych, zgrupowanych w 4 podstawowe ujęcia oraz dodatkowo 9 ujęć pomocniczych. Na sieci znajduje się 10 zbiorników wyrównawczych i 15 przepompowni wody. Woda dostarczana jest mieszkańcom 9 gmin (rys. 1). Sieć wodociągowa pod względem eksploatacyjnym podzielona została na trzy obszary:

- Rejon Częstochowa - miasta Częstochowa i Blachownia, gminy: Konopiska, Poczesna, Blachownia, Rędziny, Mykanów,

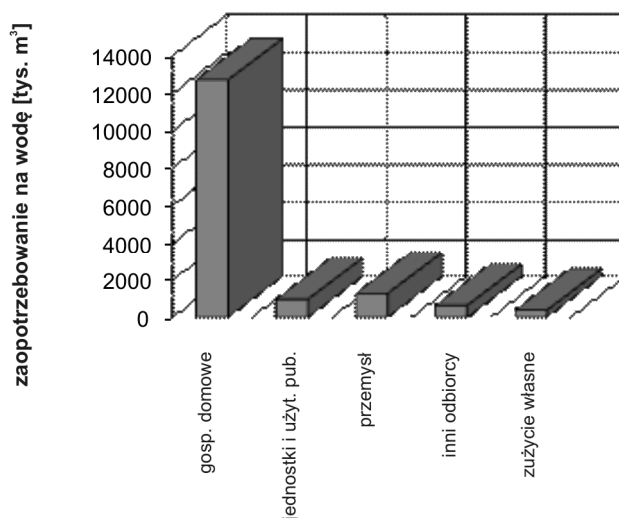
Rejon Kłobuck - Gmina Kłobuck i Miedźno – Oddział Eksploatacji nr 1,
Rejon Olsztyn - Gmina Olsztyn – Oddział Eksploatacji nr 2.

Analiza przedstawiona w pracy odnosi się do rejonu Częstochowa, który swoim zasięgiem obejmuje 90,1% całości sieci. Z usług Przedsiębiorstwa korzysta około 333 360 odbiorców (dane na dzień 31.12.2007 roku), w tym w Rejonie Częstochowa 301 770 odbiorców.



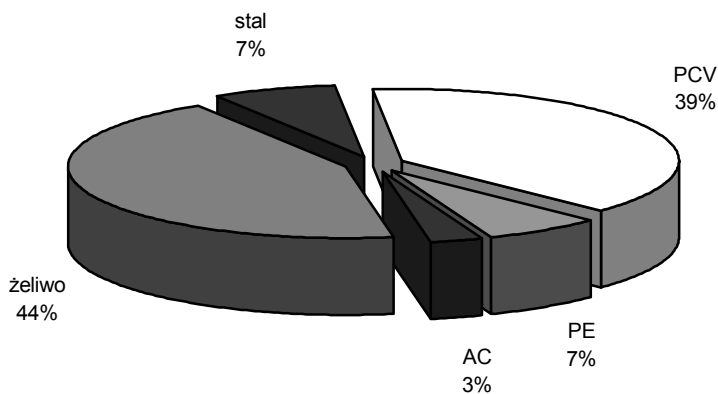
Rys. 1. Obszar działalności Przedsiębiorstwa

Na rysunku 2 przedstawiono udział poszczególnych grup odbiorców w całkowitej konsumpcji wody produkowanej przez Przedsiębiorstwo. Zapotrzebowanie na wodę na obszarze obsługiwanym przez Przedsiębiorstwo, zgodnie z ogólnokrajową tendencją, charakteryzuje się stopniowym spadkiem. Dotyczy to w głównej mierze odbiorców indywidualnych, którzy stanowią większość konsumentów a także przemysłu. Na przestrzeni lat 1998 - 2007 odnotowano spadek ilości pobieranej wody z 23 504,60 tys. m³/rok do 18 072,30 tys. m³/rok, czyli o ponad 23%. Wynika to z jednej strony z oszczędniejszego zużycia wody przez indywidualnych odbiorców, co jest wynikiem racjonalizacji cen wody i powiązania opłat z rzeczywistym zużyciem. Z drugiej strony jest za to odpowiedzialne ograniczenie produkcji przemysłowej czy wprowadzanie technologii mniej wodochłonnych. Z powyższego powodu zdolności produkcyjne ujęć podstawowych i pomocniczych nie są w pełni wykorzystywane. Przykładowo w roku 2007 maksymalne dobowe zapotrzebowanie na wodę wynosiło 42 815 m³/d przy możliwościach produkcji wody w ilości 119 280 m³/d. Wynika z tego, że zdolności produkcyjne przedsiębiorstwa były wykorzystywane maksymalnie w 36 procentach.



Rys. 2. Struktura zapotrzebowania na wodę w Przedsiębiorstwie w 2007 roku.

Sieć wodociągowa eksploatowana przez PWiKOCz S.A. posiada podobną strukturę materiałową jak sieci w innych miastach naszego kraju (rys. 3). Istniejącą sieć wodociągową stanowią przede wszystkim przewody żeliwne – 44%. Drugim przeważającym materiałem jest PCV – 39%, udział stali i PE wynosi po około 7%. W porównaniu do innych przedsiębiorstw wodociągowych stosunkowo duży jest udział przewodów z tworzyw sztucznych [2]. Trudna do oszacowania jest struktura wiekowa poszczególnych materiałów. Rocznie przebudowie poddaje się około 10 km sieci wodociągowej. Pomimo prowadzonych prac wciąż 3% stanowią przewody azbestocementowe (rys. 3). Sieć wodociągowa rozdzielcza i magistralna wykonana jest z rur mieszczących się w zakresie średnic od DN 80 do DN 1000. Na badanej sieci wodociągowej można wyróżnić 8 stref podwyższonego ciśnienia.



Rys. 3. Struktura materiałowa sieci wodociągowej na obszarze Częstochowy.

3. Wyniki przeprowadzonej analizy awaryjności sieci wodociągowej

Dla potrzeb niniejszego artykułu przeprowadzono analizę materiałów dotyczących awarii powstałych w okresie od 1998 do 2007 roku na sieci wodociągowej eksploatowanej przez PWiK O.Cz. S.A. Obszar sieci objęty analizą podzielono na dwa rejony:

- miasto – tereny zurbanizowane charakteryzujące się dużą gęstością zaludnienia,
- powiat – pozostały obszar o bardziej rozproszonej zabudowie, charakterystycznej dla rejonów podmiejskich i wiejskich.

W analizie posłużono się wartością obliczonego wskaźnika intensywności uszkodzeń. W przypadku przewodów wodociągowych wskaźnik ten określa średnią częstość uszkodzeń w odniesieniu do całkowitej długości badanych elementów. W celu określenia wskaźnika intensywności uszkodzeń λ wykorzystano wzór [3.1, 4.1]:

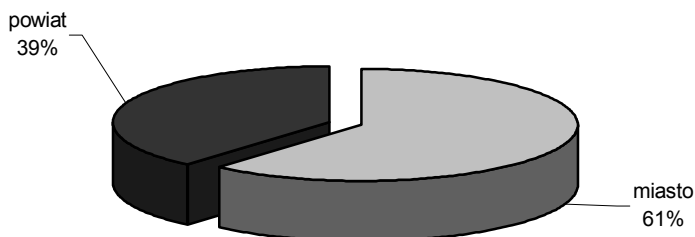
$$\lambda = n(\Delta t) / (L\Delta t) \quad [\text{uszk/km} \cdot \text{a}]$$

gdzie: n – liczba uszkodzeń rurociągów w przedziale czasu obserwacji Δt , [szt.]

L – długość sieci poddawanej obserwacji, [km]

Δt – czas obserwacji, [a]

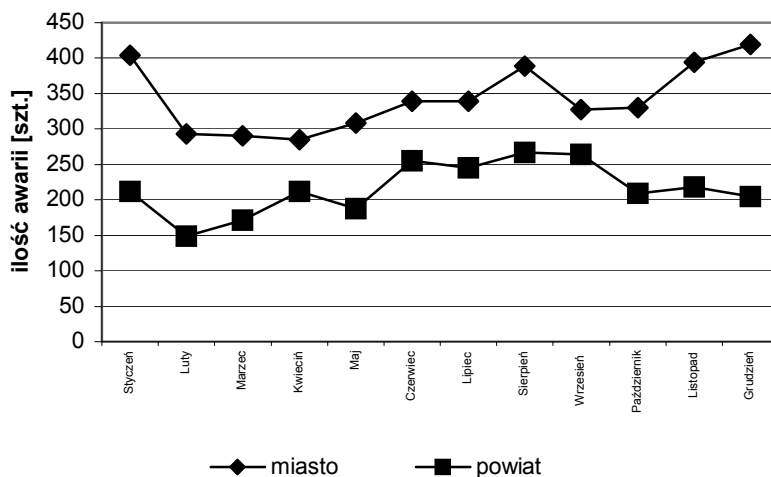
Na rysunku nr 4 przedstawiono ilość awarii przypadających na obszar miasta i powiatu powstałych w okresie ostatnich 10 lat. Na obszarze miasta odnotowano większą ilość awarii (4117,) w stosunku do obszaru powiatu (2595). Stanowi to odpowiednio 61% i 39% powstałych uszkodzeń. Jednak odnosząc ilość uszkodzeń do długości sieci na analizowanych obszarach, intensywność uszkodzeń jest porównywalna i wynosi 0,46 uszk/km rok dla obszaru powiatu i jedynie nieznacznie więcej dla obszaru miasta - 0,48 uszk/km rok.



Rys. 4 Procentowy rozkład awarii dla obszaru miasta i powiatu w analizowanym okresie.

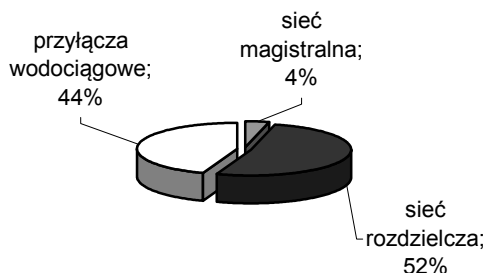
Na rys. 5 przedstawiono rozkład powstających awarii w zależności od miesiąca zaistnienia dla terenu miasta i powiatu. Na obszarze miasta można zaobserwować podwyższoną awaryjność sieci od listopada do stycznia (394–419 szt.) oraz w miesiącach letnich (339–389 szt.) Również inni autorzy podają wzrost częstości uszkodzeń sieci w miesiącach jesienno-zimowych [3,4]. Z kolei na obszarze powiatu zanotowano wzrost ilości występujących awarii w miesiącach letnich, od czerwca do września (245–267 szt.) oraz wyższą niezawodność pracy w pozostałych miesiącach. Większa częstość uszkodzeń jest

w tym przypadku najprawdopodobniej wynikiem zwiększonego zapotrzebowania na wodę, szczególnie na terenach podmiejskich, gdzie woda zużywana jest na potrzeby utrzymania zieleni.



Rys. 5 Rozkład częstości występowania awarii w poszczególnych miesiącach na obu analizowanych obszarach

W kolejnym etapie analizy danych określono awaryjność przewodów rozdzielczych, magistralnych i przyłączy wodociągowych. Rysunek nr 6 przedstawia ilość awarii powstałych na sieci rozdzielczej, magistralnej i przyłączach wodociągowych w analizowanym okresie. Łączna liczba zanotowanych uszkodzeń wynosi 6752 szt. Zaobserwowano, że największa ilość awarii występuje na sieci rozdzielczej - 52%, a najmniej awaryjna jest sieć magistralna - 4%.



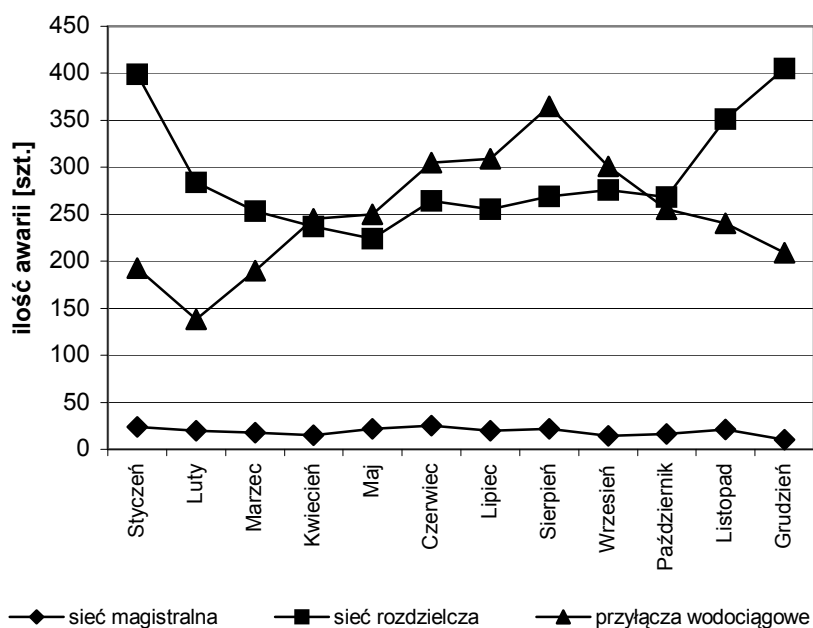
Rys. 6 Ilość awarii na sieci rozdzielczej, magistralnej i na przyłączach wody.

W tabeli nr 1 przedstawiono obliczone wskaźniki intensywności uszkodzeń dla poszczególnych rodzajów przewodów. Zaobserwowano, że najwyższe wskaźniki intensywności uszkodzeń występują dla przyłączy wodociągowych i wahają się w granicach – 0,42-0,51 uszk/km rok. Niższe wartości odnotowano dla sieci magistralnej, od 0,09 – 0,41 uszk/km rok. Dane te są zgodne z literaturą przedmiotu, w której najwyższą szkodliwość z reguły odznaczają się przewody podłączeń domowych. Porównując otrzymane wartości ze wskaźnikami odnotowanymi w literaturze [5,6,7], można stwierdzić, że awaryjność sieci wodociągowej na obszarze Częstochowy jest niższa niż uzyskana dla sieci w innych miastach Polski.

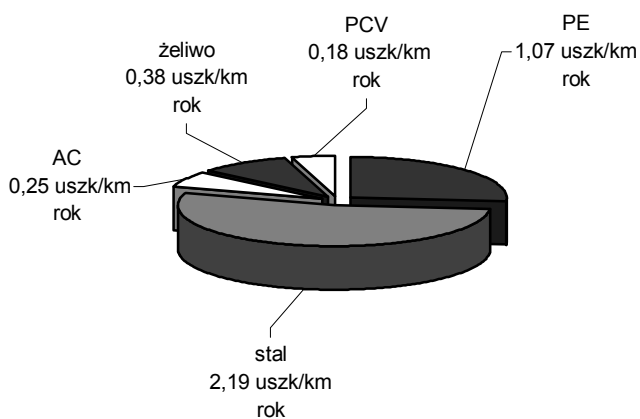
Tab. 1. Wskaźniki intensywności uszkodzeń.

Rok	Sieć magistralna	Sieć rozdzielcza	Przyłącza wodociągowe	Średnia
1998	0,09	0,35	0,45	0,37
1999	0,15	0,35	0,49	0,38
2000	0,23	0,34	0,51	0,39
2001	0,25	0,31	0,43	0,35
2002	0,19	0,35	0,46	0,33
2003	0,41	0,4	0,53	0,45
2004	0,28	0,34	0,42	0,35
2005	0,30	0,39	0,49	0,42
2006	0,28	0,34	0,48	0,39
2007	0,34	0,42	0,48	0,43
Wartość średnia	0,25	0,36	0,47	0,38

Rysunek 7 przedstawia rozkład awarii w zależności od miesiąca zaistnienia zdarzenia i rodzaju przewodu. Na wykresie przedstawiono sumaryczną ilość uszkodzeń, zaobserwowaną w ciągu całego rozpatrywanego okresu. Można zaobserwować wzrost ilości awarii na sieci rozdzielczej w okresie zimowym: listopad – styczeń, powyżej 350 szt. W pozostałym okresie roku ilość uszkodzeń utrzymuje się na niższym poziomie. Dla przyłączy wodociągowych wzrost ilości awarii występuje w okresie wzmożonego zapotrzebowania na wodę: czerwiec-wrzesień - powyżej 300 szt. Ilość awarii na sieci magistralnej utrzymuje się przez cały rok na podobnym poziomie. W przypadku tych przewodów nie obserwuje się zależności pomiędzy ilością występujących uszkodzeń a analizowanym miesiącem roku.

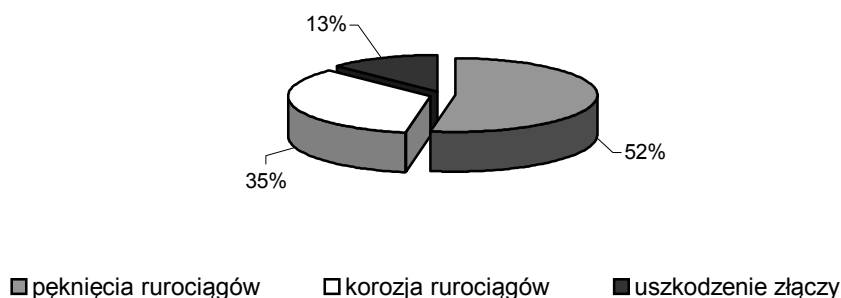


Rys. 7 Ilość awarii na sieci magistralnej, rozdzielczej i przyłączach w poszczególnych miesiącach.



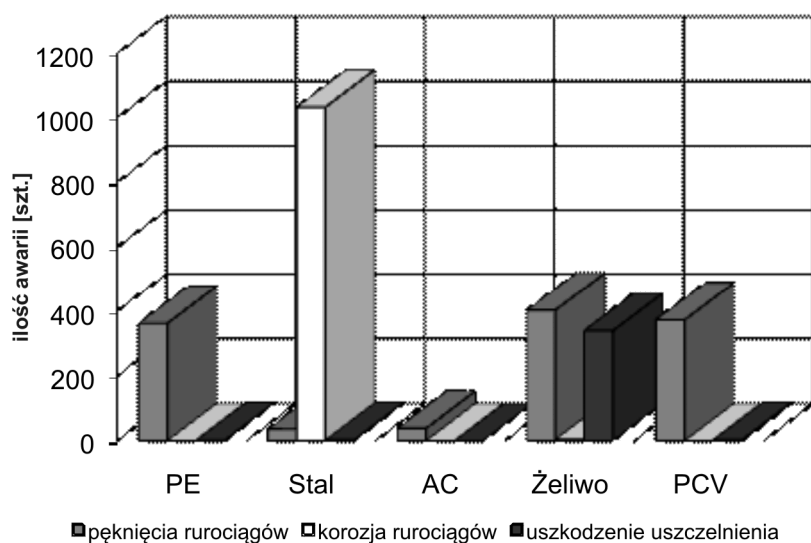
Rys. 8 Wskaźniki intensywności uszkodzeń dla przewodów wykonanych z poszczególnych materiałów.

Następnie obliczono wskaźniki intensywności uszkodzeń dla przewodów wykonanych z różnych materiałów (rys. 8). Najwyższą awaryjnością charakteryzowały się rurociągi stalowe, dla których ilość uszkodzeń wyniosła 2,29 na km sieci w ciągu roku. Stosunkowo wysoką awaryjność wykazywały przewody z PE. Należy tutaj podkreślić, że uszkodzeniom ulegały przewody wykonane z polietylenu niskiej gęstości, które były układane w początkowym okresie wykorzystania tego materiału do budowy sieci wodociągowej. Polietylen LDPE charakteryzuje się gorszymi parametrami wytrzymałościowymi w porównaniu z obecnie stosowanym PE 100 wysokiej gęstości. Wskaźniki dla przewodów żeliwnych, PCV i AC nie odbiegają od wartości uzyskiwanych przez innych autorów [6,8,9], przy czym najbardziej niezawodnym materiałem okazało się PVC.

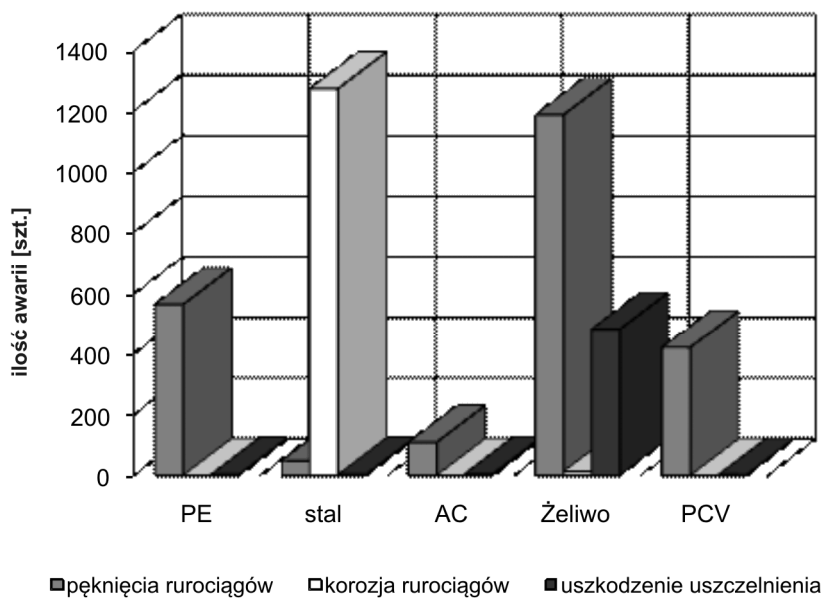


Rys. 9 Rozkład procentowy przyczyn uszkodzeń sieci.

W kolejnym etapie sprawdzono jakie były najczęstsze powody awarii sieci. Na rysunku 9 przedstawiono procentowy rozkład przyczyn uszkodzeń rurociągów. Zaobserwowano, że największa ilość awarii powstaje na skutek pęknięć rurociągów – 52%, kolejną przyczyną jest korozja przewodów – 35%. Określono również ogólne tendencje w odniesieniu do awarii występujących na przewodach wodociągowych wykonanych z różnych materiałów (rys. 10 i rys. 11). W przypadku przewodów stalowych awarie spowodowane były najczęściej uszkodzeniami przewodów w wyniku korozji. Znacznie rzadziej występowały pęknięcia i inne uszkodzenia korpusu rury, których przyczyną nie była korozja materiału a najczęściej przekroczenie dopuszczalnego obciążenia. W przypadku rurociągów żeliwnych najczęściej dochodziło do uszkodzenia korpusu przewodu, szczególnie na obszarze miasta, gdzie obserwujemy częstsze przekroczenia dopuszczalnych obciążeń przewodów zarówno od ruchu pojazdów jak i gruntu. Również często uszkodzeniu ulegało uszczelnienie przewodów, przy czym w przypadku tego materiału głównie odnosiło się to do uszczelnień starego typu, czyli uszczelnienie wykonane za pomocą sznura konopnego i ołowiu. Nowoczesne uszczelnienie za pomocą specjalnych uszczelnień dla rur żeliwnych w zasadzie nie ulegały uszkodzeniom. Przewody te były również odporne na uszkodzenia powodowane korozją. W odniesieniu do rur z tworzyw sztucznych najczęstszą przyczyną awarii były zbyt duże obciążenia i naciski punktowe powodujące pęknięcia rurociągów. Jedynie sporadycznie występowały awarie wywołane nieszczelnością złączy.



Rys. 10 Przyczyny awarii zależności od materiału przewodu dla obszaru miasta.



Rys. 11 Przyczyny awarii w zależności od materiału przewodu dla obszaru powiatu.

4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza materiałów eksploatacyjnych dotyczących awarii na sieci wodociągowej na terenie Częstochowy w latach 1998-2007 pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Biorąc pod uwagę funkcje pełnione przez przewód w systemie wodociągowym można zauważyć, że najbardziej zawodną grupę rurociągów stanowią przyłącza wody. Przyłącza wodociągowe najczęściej ulegają awariom w miesiącach letnich, przy największych rozbiorach i wysokich wahanach dobowych ciśnienia wody w sieci. Przewody magistralne znacznie rzadziej ulegają uszkodzeniom. Obliczone wskaźniki intensywności uszkodzeń dla wszystkich typów przewodów spełniają jednak standardy europejskie. Na obszarze miasta większa ilość uszkodzeń występuje także od listopada do stycznia.
2. Do najczęściej występujących przyczyn awarii na sieci wodociągowej należą uszkodzenia mechaniczne (pęknięcia) przewodów.
3. Dla każdego typu materiału występują określone rodzaje uszkodzeń, będące następstwem właściwości tego materiału. Najwyższą niezawodnością charakteryzują się rurociągi PVC. Aby zminimalizować ryzyko wystąpienia awarii bardzo istotne jest przestrzeganie wszystkich zaleceń odnośnie projektowania i warunków budowy rurociągów. W przypadku przewodów z tworzyw sztucznych istotne jest właściwe wykonanie podsypki i obsypki rurociągu, tak, aby wyeliminować naciski punktowe powodujące po pewnym czasie uszkodzenie rury. Należy unikać stosowania rur stalowych, a w przypadku wystąpienia takiej konieczności należy stosować przewody zabezpieczone przed korozją. Istotne jest również bardzo staranne wykonanie połączeń poszczególnych odcinków rur, zarówno w przypadku połączeń kielichowych jak i zgrzewanych.

Praca została wykonana w ramach BS 401/301/04R.

Bibliografia

- [1] Wodociągi i kanalizacja. Projektowanie, montaż, eksploatacja, modernizacja., pod red. W. Żuchowickiego, Verlag Daschofer, Warszawa, 2001
- [2] Wodociągi i kanalizacja w Polsce, tradycja i współczesność, pod red. Z. Dymaczewski, M. M. Sozański, Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz, 2002.
- [3] Kwietniewski M., Metody badań eksploatacyjnych sieci wodociągowych pod kątem niezawodności dostawy wody do odbiorców, prace Naukowe Inżynierii Środowiska, zeszyt 28, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [4] Wieczysty A i inni, Metody podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę, KIS PAN, vol 2., Kraków 2001.
- [5] Speruda S., Straty wody w Polskich sieciach wodociągowych, Akademia strat wody WaterKey, 2006,

- [6] Hotłoś H. Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007.
- [7] Budziło B., Bajer J. , Kraus K. Analiza zaopatrzenia w wodę miasta Krynica. Mat. konf. „Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Białowieża 2005. Monografii Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Nr 30, str.35-50.
- [8] Pawełek J., Wojdyna M., Analiza uszkodzeń przewodów rozdzielczych w dużym systemie wodociagowym, GwiTS, 2001, nr 2, str. 49-54.
- [9] Zimoch I., Jamer M., Binda B., Eksploatacja systemu dystrybucji wody we Wrocławiu w aspekcie awaryjności sieci wodociagowej, Ochrona Środowiska, nr 3, 2005, str. 65-68.