

Teresa Mądry

Problem starzenia się sieci wodociągowej

Problemy Rozwoju Miast 3/1-4, 98-108

2006

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

PROBLEMY STARZENIA SIĘ SIECI WODOCIĄGOWEJ

Abstrakt. Z problemami związanymi ze starzeniem się sieci wodociągowej oraz jej awaryjnością od wielu lat zmagają się przedsiębiorstwa zajmujące się eksploatacją. Niekorzystny wpływ na stan techniczny sieci mają różne zjawiska. W artykule przedstawiono na podstawie danych ankiety główne przyczyny, jak korozja i uszkodzenia mechaniczne złączy, które destrukcyjnie wpływają na sieć wodociągową w czasie jej eksploatacji, zwiększając jej awaryjność. Badania wykazały, że problemem nie są sieci wodociągowe bardzo stare, lecz te, które zbudowano w 60.-80. latach ubiegłego wieku.

Słowa kluczowe: sieć wodociągowa, żywotność sieci, awaryjność sieci, wskaźnik awaryjności sieci

W artykule omówiono wyniki pracy badawczej pt. „Procesy starzenia się infrastruktury wodociągowo-kanalizacyjnej w eksploatacji miast. Sieci wodociągowe”, wykonanej w ramach działalności statutowej Instytutu Rozwoju Miast.

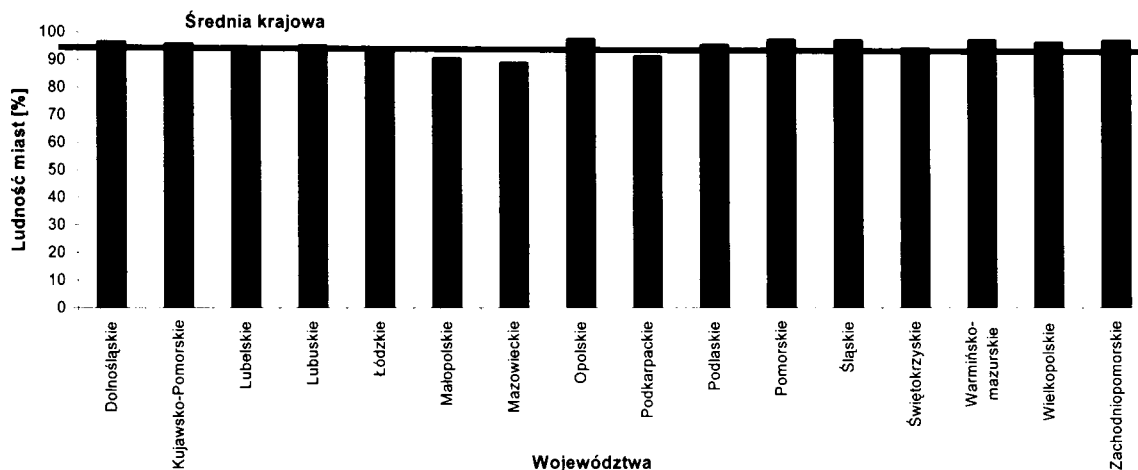
Wielkość sieci wodociągowych polskich miast

Według Rocznika statystycznego w 2004 r. w Polsce przez systemy wodociągowe były obsługiwane 883 miasta, co odpowiadało około 22,17 mln mieszkańców, którzy korzystali z sieci wodociągowych. Stanowiło to średnio 94,4% ludności tych miast.

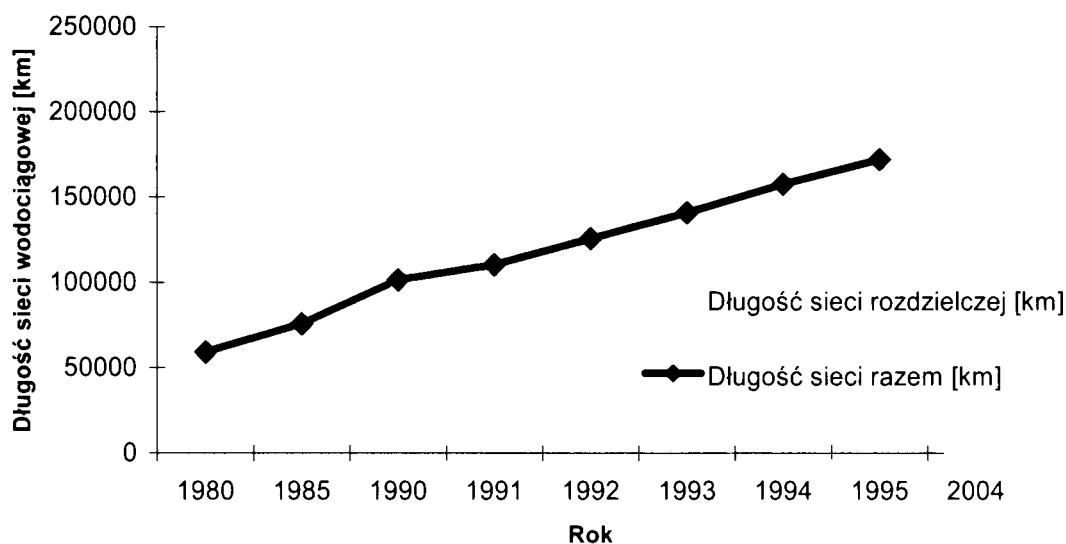
W poszczególnych województwach odsetek ludności korzystającej z sieci wodociągowej był różny i wynosił od 88,9% (mazowieckie!) do 97,0% (opolskie).

Rozwój sieci wodociągowej przebiegał przez wiele lat, często nawet ponad 100. Rozwój sieci wodociągowych w kraju łącznie dla miast i wsi w latach 1980-2004 przedstawiono na wykresie (ryc. 2). Wykazuje on ciągły przyrost długości sieci rozdzielczej i sumarycznej długości sieci. Na przyrost sieci rozdzielczej największy wpływ miały rozbudowa i budowa sieci wodociągowych na wsiach.

Przyrost długości sieci w miastach przebiegał znacznie wolniej, szczególnie w ostatnim dziesięcioleciu w porównaniu z latami 80. i 90. Przeciętny przyrost długości sieci rozdzielczej w latach 2003-2004 wynosił w zależności od województwa 2-3%.

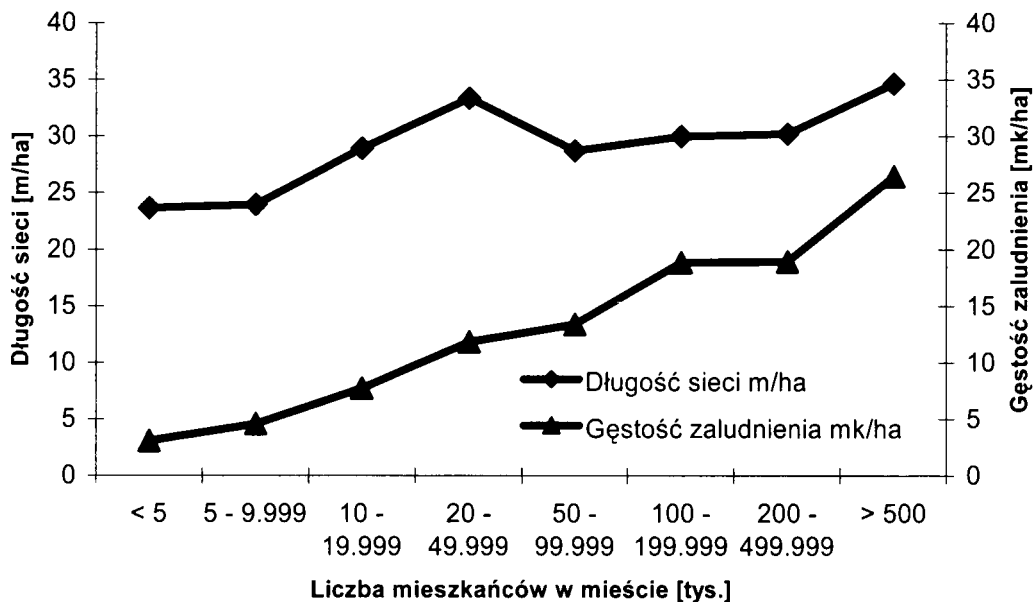


Ryc. 1. Ludność miast korzystająca z sieci wodociągowej w roku 2004 (wg rocznika statystycznego)



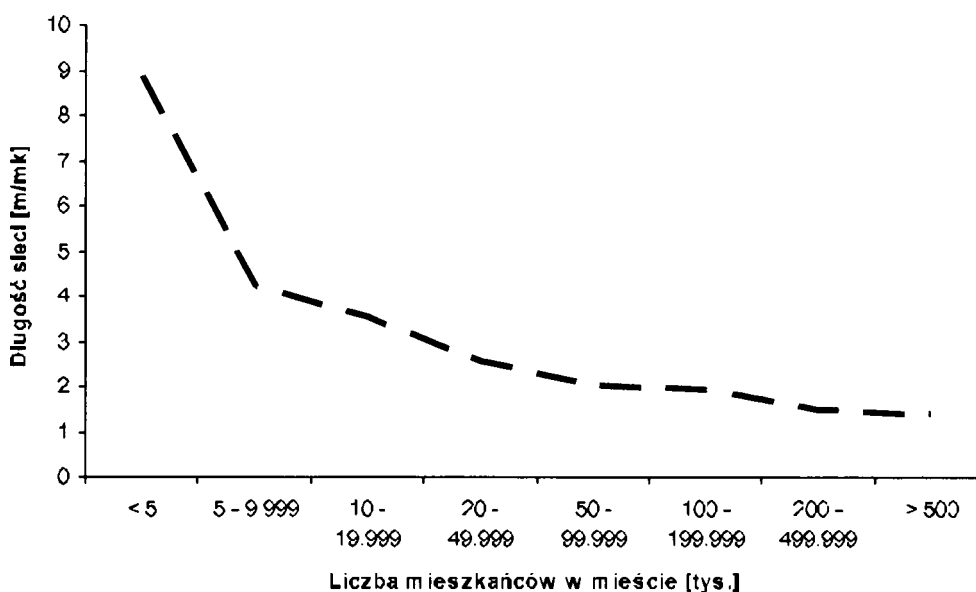
Ryc. 2. Przyrost sieci wodociągowej w Polsce od 1980 do 2004 r.
 Uwaga: dla długości sieci razem od roku 1995 brak wiarygodnych danych
 Źródło: K. Słysz, T. Mądry [5]

Wielkością generalnie obrazującą przyrost sieci jest wskaźnik długości sieci wodociągowej na jednego mieszkańca. Często spotyka się też wskaźnik charakteryzujący gęstość sieci i jej długość w przeliczeniu na powierzchnię obsługiwaną (w ha). Oba wskaźniki będą jednak bardziej wiarygodne, jeżeli równocześnie porównamy je z gęstością zaludnienia na obsługiwanym obszarze (mk/ha) (ryc. 3).



Ryc. 3. Wskaźnik długości sieci dla miast różnej wielkości (m/ha) oraz gęstości zaludnienia (mk/ha)
Źródło: patrz ryc. 2

Interesująca jest także zależność między wielkością miasta a wskaźnikiem długości sieci na mieszkańca. Generalnie, im miasto większe, tym krótszy odcinek sieci wodociągowej przypadający na jednego mieszkańca (ryc. 4).



Ryc. 4. Wskaźniki długości sieci na 1 mieszkańca
Źródło: patrz ryc. 2.

Żywotność sieci wodociągowej

Często uważa się, że stan techniczny sieci wodociągowych zależy od ich wieku oraz lub okresu, w którym te sieci zostały zbudowane. Przedsiębiorstwa wodociągowe eksploatują najczęściej przewodów dwudziestoletnich i trzydziestoletnich. Są jednak także sieci ponad pięćdziesięcioletnie. W pierwszym przypadku są to przewody układane w latach 70. i 80. ubiegłego wieku, kiedy uzbrajano nowe osiedla mieszkaniowe w dużym pośpiechu, nie zawsze rurami wysokiej jakości. Ponad pięćdziesięcioletnie rury mają często i 100 lat, a więc osiągnęły kres swoich możliwości eksploatacyjnych.

Literatura dotycząca żywotności sieci wodociągowych różnicuje okresy ich żywotności w zależności od rodzaju materiału, z którego są one budowane. Jest to oczywiste, ponieważ różna jest odporność materiałów na korozję wewnętrzną od wody, korozję zewnętrzną od gruntu, wytrzymałość mechaniczna od obciążeń statycznych i dynamicznych, odporność na uszkodzenie oraz starzenie się złączy rur.

Najogólniejszą miarą żywotności sieci wodociągowej jest jej stan techniczny i związana z tym awaryjność. Są dwa kryteria określające stan techniczny odcinka przewodu bądź fragmentu sieci:

- kryterium narastającej częstotliwości awarii na skutek pogarszającego się stanu technicznego, zmęczenia materiału przewodów i połączeń oraz korozji przewodów,
- kryterium utraty funkcjonalności na skutek zmniejszenia przepustowości przewodów.

Dla wodociągów żeliwnych maksymalna awaryjność występuje po 75-80 latach, a utrata funkcjonalności po 70 latach, dla wodociągów stalowych maksymalna awaryjność przypada na około 50 lat i utrata funkcjonalności na 70 lat [2].

Jedna z pozycji literatury [1] podaje dane z Zakładów Technicznych w Stuttgarcie, gdzie określono rozkład statystyczny trwałości technicznej rur dla 25 miast Austrii i Niemiec. Wynika z niego, że trwałość poszczególnych materiałów jest następująca:

- żeliwo (szare) – 60-120 lat,
- żeliwo sferoidalne ze zwyczajną ochroną przeciwkorozyjną – 40-100 lat,
- żeliwo sferoidalne z ochroną przeciwkorozyjną wysokiej jakości – 100-140 lat,
- stal – 60-100 lat,
- polietylen – 40-80 lat.

Na awaryjność sieci wodociągowych wpływa wiek sieci, warunki ich eksploatacji, w tym jakość przesyłanej wody, jakość wykonania, szczególnie złączy, oraz rodzaj zastosowanych materiałów.

Awaryjność sieci może być także bezpośrednio lub pośrednio związana z okresem jej budowy. W większej mierze na awaryjność sieci wpływają warunki, w jakich są one eksploatowane. Na zwiększoną awaryjność narażone są szczególnie sieci na terenach działalności górniczej (Śląsk). Tapnięcia i ruchy górotworów, powodujące obniżenie terenu na po-

wierzchni, są przyczynami uszkodzeń sieci wodociągowej w postaci pęknięć, rozszczelnień, rozłączeń na połączeniach kielichowych.

Awarie sieci to między innymi uszkodzenia na złączach, spowodowane np. złym materiałem złączy (tzw. materiały zastępcze), lub często złe wykonanie.

Korozja przewodów wodociągowych, także częsta przyczyna awarii, jest wywołana zmianami jakości uzdatnionej wody przesyłanej w sieci. Korozję wywołują także zła jakość materiału rur (rodzaj stali), zła izolacja (źle dobrane materiały izolacyjne, złe wykonanie izolacji lub złe ich zastosowanie) oraz oczywiście wiek sieci. Uszkodzenia uzbrojenia są także w znacznym procencie źródłem awarii.

Wśród przyczyn awaryjności sieci wodociągowych często wymienia się zanieczyszczenie osadami (np. zażelazione sieci). Oczywiście w miarę upływu czasu eksploatacji zwiększa się zanieczyszczenie osadami, ale powodem raczej nie jest wiek przewodu, lecz zła eksploatacja sieci (brak okresowego czyszczenia) lub nieodpowiedni dobór średnicy przewodu (za małe prędkości przepływu).

Miarą awaryjności sieci jest wskaźnik awaryjności liczony liczbą uszkodzeń na jeden kilometr w ciągu roku (uszk./km·rok). Wskaźnik ten dla polskich miast bardzo dużych wynosi 0,63-1,73 uszk./km·rok, a dla miast dużych 0,26-4,00 uszk./km·rok. Od tej wielkości znacznie odbiegają wyniki niektórych miast śląskich, wynoszą one 2,0-5,0 uszk./km·rok (szkody górnicze) [2].

W wyniku jednej z ankiet, dotyczącej 72 polskich miast [3], uzyskano następujące wskaźniki uszkodzeń dla sieci wodociągowych wykonanych z różnych materiałów:

- | | |
|---------------------------|--|
| – dla przewodów żeliwnych | – 0,76 uszk./km·rok w przeciętnych warunkach,
– 0,82 uszk./km·rok dla Górnego Śląska, |
| – dla przewodów stalowych | – 0,71 uszk./km·rok,
– 2,58 uszk./km·rok dla Górnego Śląska, |
| – dla przewodów z PE | – 0,39 uszk./km·rok,
– 0,77 uszk./km·rok dla Górnego Śląska, |
| – dla przewodów PCV | – 0,14 uszk./km·rok,
– 0,43 uszk./km·rok dla Górnego Śląska. |

Jak wynika z powyższych zestawień wskaźniki awaryjności mogą się znacznie różnić, ponieważ, jak już wspomniano, zależą one od wielu czynników.

Badania ankietowe

W celu poznania problemu starzenia się sieci wodociągowej, a w konsekwencji jej awaryjności przeprowadzono badania ankietowe w kilku przedsiębiorstwach wodociągowych miast liczących od 8 tys. do 460 tys. mieszkańców.

Na podstawie danych ankiety stwierdzono, że w strukturze materiałowej sieci wodociągowej ankietowanych miast przeważało żeliwo i stal, szczególnie w sieciach starszych, a więc powyżej trzydziestoletnich. Dla średnic dużych, czyli powyżej 500 mm, przeważała stal lub żeliwo, dla mniejszych od 200-500 mm – żeliwo, a dla średnic poniżej 200 mm – żeliwo lub tworzywa. Przewody z PCV i PE dopiero w ostatnich trzydziestu latach zwiększają swój udział w sieci i obecnie stanowią 20-30% jej długości. Materiały te nabierają istotnego znaczenia dla średnic 200 mm i mniejszych.

Z literatury [4] dotyczącej struktury materiałowej przewodów wodociągowych w kraju wynika, że najwięcej starszych przewodów wodociągowych jest wykonanych z żeliwa i stali. Współcześnie wzrosło zastosowanie tworzyw termoplastycznych, głównie PVC i PE. Żeliwo było i jest wykorzystywane w całym zakresie średnic. Żelbet i stal znajdują zastosowanie do budowy przewodów o większych średnicach.

Ankieta wyraźnie wskazała priorytety w doborze materiałów przy budowie sieci wodociągowych w poszczególnych przedziałach wieku. W okresie przedwojennym podstawowe znaczenie w budowie sieci wodociągowych miało żeliwo lub stal dla dużych średnic. W okresie powojennym, do lat 70. zbudowano znaczne długości sieci w azbestocemencie, ale w dalszym ciągu podstawowym materiałem było żeliwo, czasami stal. Zaczęto też budować sieci z rur z tworzyw sztucznych, lecz ich udział był jeszcze nieznaczny.

Wyniki ankiety pozwoliły przeanalizować również liczbę awarii sieci wykonanej z różnych materiałów. Jak wynika z analizy, stara sieć stalowa mimo długiego okresu eksploatacji nie ulega znacznym awariom mimo prawdopodobnego działania procesów korozji. Wy tłumaczyć to można albo dobrą jakością samych rur, albo ich dobrą izolacją.

Najgorzej z punktu widzenia awaryjności wypadły rury stalowe z lat powojennych. Prawdopodobnie jest to wynikiem złej jakości samego materiału rur lub też źle wykonanej izolacji. Potwierdzają to wyniki z trzech lat obserwacji, a więc nie jest to przypadek lecz prawidłowość.

Przy cyklu eksploatacji powyżej 30 lat zły materiał rur i – lub ich złe wykonanie powoduje, że procesy destrukcyjne działające na sieć dają o sobie znać zwiększoną awaryjnością. Zbyt długa eksploatacja sieci przy równoczesnych wadach materiału i zwiększonej korozyjności środowiska wody i gruntu mają generalnie istotny wpływ na zwiększoną awaryjność sieci.

Z ankiety wynikało, że liczba awarii sieci wodociągowej zależy od wielu czynników. Jednym z istotnych, oprócz wieku, są warunki eksploatacji, rodzaj materiału, a także tempo wymian i renowacji sieci, jeżeli są one wykonywane intensywnie, mogą spowodować zmniejszenie się liczby awarii w okresach statystycznych, np. w kolejnych latach.

Porównanie intensywności awarii i ich przyczyn dla poszczególnych wodociągów wskazuje, że najczęściej awarie powodują procesy korozji. Przykładem są wyniki analizy dla jednego z miast liczących 38 tys. mieszkańców, w którym:

- wady materiału i korozja były powodem 54% wszystkich stwierdzonych awarii,
- wiek sieci – 33%,
- wadliwe wykonanie – 10%,
- uszkodzenia mechaniczne – 2%.

Z porównania awaryjności podstawowej sieci dosyłowej i rozdzielczej z awaryjnością przyłączy wynika, że w niektórych sieciach awaryjność przyłączy jest kilkakrotnie większa od awaryjności sieci rozdzielczej. Np. dla sieci wodociągowej jednego z miast o liczbie mieszkańców około 460 tys. w latach 2001-2003 wskaźniki awaryjności (uszk./km·rok) wynosiły odpowiednio:

dla średnicy	powyżej 500 mm	– 0,04-0,18 uszk./km·rok
	200-500 mm	– 0,38-0,41 uszk./km·rok
	poniżej 200 mm	– 0,43-0,45 uszk./km·rok.

W innych ankietowanych sieciach wodociągowych relacje są podobne.

Awaryjność uzbrojenia są natomiast czynnikiem o mniejszym znaczeniu, w niektórych miastach – najmniejszym.

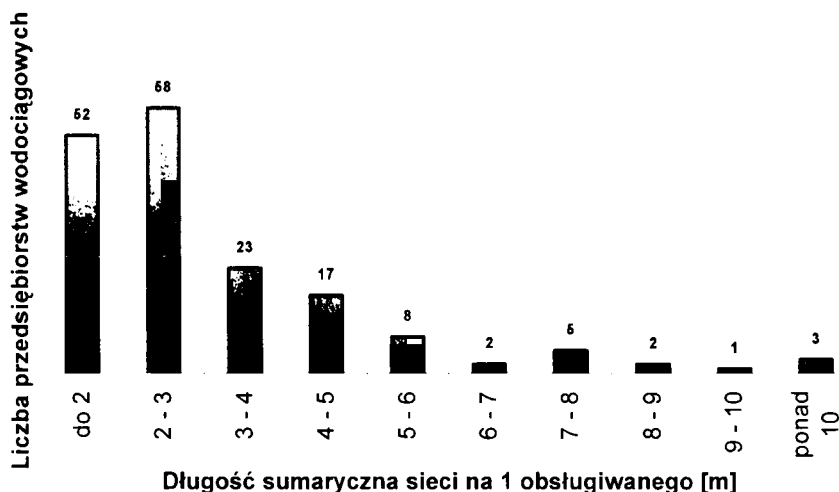
W wyniku przeprowadzonych prac uzyskano odpowiedzi na istotne pytania.

Czy udział bardzo starych sieci w bilansie sieci wodociągowych w miastach jest znaczny?

Przyjęto, że bardzo stare sieci wodociągowe to te, które zostały wybudowane przed 1939 r., w czasie okupacji lub zaraz po wojnie, czyli przed ponad 50 laty. Przeanalizowano te miasta, w których udział takich sieci jest znaczny, a więc stanowią one co najmniej 20% całej długości sieci danego miasta.

Odpowiedź na to pytanie była istotna, jeśli przyjąć, że bardzo stare sieci mogą mieć znaczny wpływ na awaryjność sieci wodociągowej, a więc na problemy eksploatacyjne.

Zgodnie z cytowaną za literaturą ryc. 5 zawierającą dane o przedsiębiorstwach eksploatujących przewody ponad pięćdziesięcioletnie, z sumy 136 przedsiębiorstw 14 ma 20-30% takiej sieci, 10 ma 30-40%, a 6 przedsiębiorstw ma powyżej 40% starej sieci. Wynika z tego, że ponad 20% ankietowanych przedsiębiorstw ma ponad 20% sieci starych, to jest eksploatowanych ponad 50 lat.

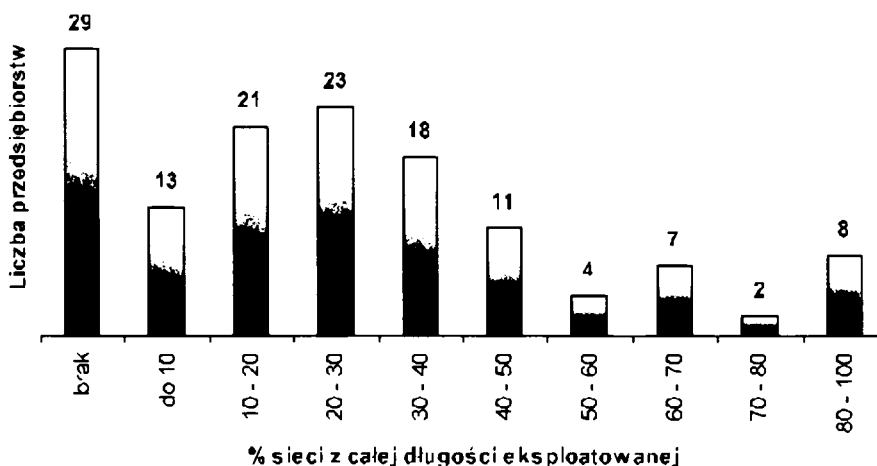


Ryc. 5. Rozkład liczby przedsiębiorstw z dana wartością długości sieci magistralnej i rozdzielczej na 1 obsługiwane

Źródło: K. Słysz, T. Mądry [5]

Czy znaczny jest udział sieci budowanych w latach 70.?

Okres ten charakteryzował się nie najwyższej jakości materiałami na sieci wodociągowe, a równocześnie poziomem wykonawstwa często nie spełniającym wymagań technicznych. Przyczyny są powszechnie znane.



Ryc. 6. Rozkład liczby przedsiębiorstw eksploatujących przewody 30-letnie

Z ryc. 6 wynika, że na 136 przedsiębiorstw 23 mają ponad 20% sieci trzydziestoletniej, 18 ma ponad 30% takich sieci, a 32 – ponad 40%.

W tym przypadku można już sądzić, że tak duży udział sieci z lat 70. przy znacznej ich awaryjności jest istotny dla problemu eksploatacji sieci wodociągowych w miastach. Nie jest to jednak regułą w przypadku wszystkich sieci wodociągowych.

Które czynniki mają największy wpływ na awaryjność sieci?

Podstawowymi czynnikami mającymi największy wpływ na awaryjność sieci jest korozja oraz uszkodzenia złączy rur (ponad 70% przyczyn uszkodzeń). Z punktu widzenia materiału, z którego wykonano sieci, największe wskaźniki uszkodzeń wykazują przewody żeliwne ($0,76 \div 0,82$ uszk./km·rok), następnie przewody ze stali, dalej z azbestocementu, natomiast awaryjność sieci z tworzyw sztucznych jest wielokrotnie mniejsza.

Według opinii eksploatorów sieci żeliwo jest wprawdzie materiałem odpornym na korozję, ale mało odpornym na uderzenia i zginanie. Najczęstszymi uszkodzeniami są rozszczelnienia występujące na złączach oraz pęknięcia powstające na skutek dużego nacisku na powierzchnię przewodów.

Dlaczego złącza rur są przyczyną znacznej awaryjności sieci wodociągowych?

Każde złącze to przerwana ciągłość materiału przewodu. Przerwana ciągłość materiału przewodu to wprowadzenie materiału innego niż materiał przewodu, o innych cechach fizycznych i mechanicznych, innej odporności na korozję, innej wytrzymałości na ściskanie, rozciąganie, zginanie, skręcanie.

Generalnie złącza w sieci wodociągowej poddawane są szczególnym naprężeniom spowodowanym statyką przewodu.

Wnioski

Reasumując wyniki analizy danych z przeprowadzonej ankiety oraz z ankiet prowadzonych wcześniej przez innych badaczy, a także z oficjalnych danych statystycznych i literatury, można sformułować następujące wnioski:

- podstawowymi czynnikami wywierającymi największy wpływ na awaryjność sieci są korozja oraz uszkodzenia złączy rur,
- wśród materiałów, z których wykonane są rury, największy wskaźnik uszkodzeń wykazują przewody żeliwne z powodu nieszczelności złączy kielichowych,
- jeżeli w ogóle można wnioskować o relacji między średnicą przewodów wodociągowych a ich awaryjnością, dane z ankiet wskazują, że najbardziej awaryjne są przyłącza wodociągowe, a następnie sieci rozdzielcze, najmniej awaryjne są sieci dosyłowe dużych średnic, co może wynikać między innymi ze zwiększonego nadzoru nad ich ówczesną budową,
- wiek sieci wodociągowej nie zawsze jest podstawowym czynnikiem jej awaryjności,
- czas realizacji danej sieci może być decydujący dla jej awaryjności, a w większości analizowanych sieci są to lata 60.-80. ubiegłego wieku,

- o procesach starzenia się sieci wodociągowej wykonanej z tradycyjnych materiałów, jakimi są stal i żeliwo, można wnioskować z pewnymi zastrzeżeniami, wynikającymi z faktu, że zjawisko starzenia analizuje się pośrednio poprzez analizy awaryjności, a te są wynikiem wielu czynników,
- o procesach starzenia się sieci wodociągowej z tworzyw sztucznych będzie można mówić co najmniej za 20+30 lat, natomiast literatura przedmiotu wskazuje, że przewody z tworzyw mogą ulegać procesom starzenia już po około 40 latach,
- miast polskich mających dużo sieci wodociągowych z początku XX w., a nawet z przełomu XIX i XX w. statystycznie jest niewiele (około 20%), dlatego problem starych sieci wodociągowych w miastach w skali kraju może nie być decydujący,
- problemów w eksploatacji mogą nastęrczać sieci wodociągowe budowane w latach 1960-1980, na co wskazują dane statystyczne dot. liczby awarii tych sieci w porównaniu z sieciami starszymi i młodszymi, a ponadto mają one największy udział procentowy w wielu polskich miastach.

Literatura

1. Herwig H., *Technical and Economic Criteria Determining the Rehabilitation and for Renewal of Drinking Water Pipelines*, IWSA Zurich 1994.
2. Dohnalik P., *Systemy oceny stanu przewodów wodociągowych*, 1999, materiały niepublikowane.
3. Jurczyk B., Kuś K., Piechurski F., *Wpływ rodzaju materiału sieci wodociągowej na jej awaryjność*. IV Międzynarodowa Konferencja „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, Kraków-Poznań 2000.
4. *Wodociągi i kanalizacja w Polsce. Tradycja i współczesność*, Red. naukowa Marek M. Sozański, PFOZW, Poznań-Bydgoszcz 2002.
5. Słysz K., Mądry T., *Procesy starzenia się infrastruktury wodociągowo-kanalizacyjnej w eksploatacji miast. Sieci wodociągowe*, Kraków 2005, maszynopis IRM.

Streszczenie

Obecnie w miastach polskich około 95% ludności korzysta z miejskiego systemu wodociągowego. Ważne jest, aby wszyscy odbiorcy otrzymywali wodę dobrej jakości, w wymaganej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem. Wszystkie te wymagania są spełnione, jeśli sieć wodociągowa jest w dobrym stanie technicznym, a ten zależy od jej wieku lub czasu, w którym powstała. W Polsce najwięcej jest sieci dwudziestoletnich i trzydziestoletnich, ale są też sieci pięćdziesięcioletnie i starsze, nawet ponad stuletnie. Miarą żywotności sieci wodociągowej jest jej stan techniczny i związana z tym awaryjność. Na żywotność sieci mają wpływ różne czynniki, w tym rodzaj materiału, z jakiego były wykonane przewody. Dla wodociągów żeliwnych za okres maksymalnej awaryjności uważa się 75-80 lat, natomiast dla przewodów stalowych 50 lat.

Z pojęciem żywotności sieci wodociągowych związane jest pojęcie awaryjności. Awaryjność jest mierzona tzw. wskaźnikiem awaryjności, który jest liczony jako liczba uszkodzeń na kilometr w roku [uszk./km-rok], dla polskich miast wartość wskaźnika wynosi 0,26-4,00.

Głównymi przyczynami awarii przewodów wodociągowych jest ich wiek, warunki eksploatacji oraz jakość przesyłanej wody a także jakość wykonania, szczególnie złączy, oraz rodzaj materiału, z jakiego zostały one wykonane.

Problemy związane ze starzeniem się sieci wodociągowej w Polsce i ich wpływ na eksploatację sieci wodociągowej od wielu lat są przedmiotem badań naukowych. Również w Instytucie Rozwoju Miast wykonano pracę badawczą w celu poznania tych problemów. Przeprowadzono badania ankietowe w kilku przedsiębiorstwach wodociągowych zajmujących się eksploatacją sieci. Na tej podstawie stwierdzono, że w strukturze materiałowej sieci w wieku powyżej trzydziestu lat (która przypuszczalnie może charakteryzować się zwiększoną awaryjnością) przeważa żeliwo i stal. Z danych ankiety wynika, iż wiek sieci nie zawsze jest podstawowym czynnikiem jej awaryjności, podstawowymi czynnikami są korozja oraz uszkodzenia złączy rur. Wśród materiałów największy wskaźnik uszkodzeń mają przewody żeliwne z powodu nieszczelności złączy kielichowych. Czas budowy sieci wodociągowej może być istotny, jeżeli była ona wykonana w latach 60.-80. ubiegłego wieku.

O procesach starzenia się sieci wodociągowych z tworzyw sztucznych i ich zwiększonej awaryjności będzie można mówić co najmniej za 20-30 lat.

WATER PIPELINE AGEING PROBLEMS

Abstract. The utility companies are always struggling with the problems related to the water pipeline ageing and failures. Various types of phenomena affect the technical condition of pipelines. The article presents, based on a survey, such main defect causes as corrosion and mechanical damage of joints that affect the pipeline operation. The related research indicates that the majority of the technical problems develop rather in the pipelines constructed from the 1960's to the 1980's.

Key Words: water pipeline network, network life, network failure frequency, mean time between failures

Mgr inż. Teresa Mądry
Instytut Rozwoju Miast, Kraków