



**STAN TECHNICZNY SIECI WODOCIĄGOWYCH
W MAŁYCH WODOCIĄGACH WOJEWÓDZTWA
MAŁOPOLSKIEGO I PODKARPACKIEGO**

Tomasz Bergel, Grzegorz Kaczor, Piotr Bugajski
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollątaja w Krakowie

***TECHNICAL CONDITIONS OF WATER SUPPLY NETWORKS
IN SMALL WATERWORKS OF THE MAŁOPOLSKA AND
PODKARPACKIE VOIVODESHIPS***

Streszczenie

W pracy dokonano oceny stanu technicznego 70 sieci wodociągowych zlokalizowanych na terenach gmin wiejskich i miejsko-wiejskich w województwie małopolskim i podkarpackim. Z uwagi na duże zróżnicowanie wodociągów pod względem wielkości, podzielono je na pięć grup w zależności od liczby mieszkańców obsługiwanych przez wodociąg. Na podstawie danych na koniec 2009 r., pochodzących z dokumentacji eksploatacyjnych poszczególnych wodociągów, dokonano charakterystyki wieku i struktury materiałowej sieci wodociągowych, a następnie oceny ich stanu technicznego. W analizie poszczególnych wskaźników sieci wodociągowych, uwzględniono ich podział strukturalny tzn. analizowano przewody tranzytowe i magistralne, przewody rozdzielcze oraz przyłącza wodociągowe. Dodatkowym elementem analizy było zbadanie struktury uszkodzeń przewodów. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, iż w strukturze wiekowej sieci wodociągowych dominowały przewody w wieku do 25 lat, co po uwzględnieniu materiału z którego zostały wykonane pozwala stwierdzić, że w większości przypadków znajdowały się one na półmetku okresu trwałości technicznej. Analizowane sieci wodociągowe w zdecydowanej większości wybudowano z tworzyw termoplastycznych oraz w znacznie mniejszym procencie ze stali. W strukturze materiałowej przewodów, z kilkuprocentowym udziałem występowało również żeliwo i azbestocement. Intensywność

uszkodzeń przewodów wodociągowych w woj. podkarpackim, w większości przypadków była nieco niższa niż w woj. małopolskim, co świadczy o lepszym ich stanie technicznym. Średnia intensywność uszkodzeń poszczególnych rodzajów przewodów wodociągowych w woj. podkarpackim, w przeciwieństwie do woj. małopolskiego, kształtowała się na podobnym poziomie jak obliczona dla małych wodociągów średnia krajowa. Awaryjność analizowanych przewodów (z wyjątkiem tranzytowych i magistralnych w woj. małopolskim), spełniała wymagania standardów europejskich. Występuje ścisła zależność pomiędzy rodzajem uszkodzeń przewodów a ich strukturą materiałową. Przewody tranzytowe, magistralne i rozdzielcze zbudowane głównie z tworzyw termoplastycznych najbardziej podatne były na pęknięcia i złamania, natomiast przyłącza wodociągowe (w dużym procencie stalowe) na uszkodzenia korozyjne.

Słowa kluczowe: małe wodociągi, struktura wiekowa i materiałowa, stan techniczny

Summary

The paper evaluates the technical condition of 70 water supply networks situated in rural and urban-rural communes in Lesser Poland and Subcarpathian voivodeships. Because of large variation of the considered waterworks in terms of their size, they were divided into five groups according to the number of residents served by the waterworks. The age and material structure of the water supply system was characterized, followed by the evaluation of their technical condition based on data from the end of 2009, derived from the operational records of individual waterworks. The analysis of each water supply indicator included their structural division, i.e. the transit, main and distribution pipes as well as water supply connections were analyzed. Another aspect of the analysis was to examine the structure of damage to the pipes. The conducted analysis revealed that the pipes at the age of 25 years dominated in the age structure of the water supply networks, which, given the material they were made of, shows that in most cases they were halfway through their technical timeline. The vast majority of the analyzed water supply networks was constructed of thermoplastic materials and to a much lesser extent – of steel. Cast iron and asbestos cement constituted a few percent share of the material structure of pipes. The damage intensity to water pipes in the Subcarpathian voivodeship was in most cases somewhat lower than in the Lesser Poland voivodeship, reflecting their better technical condition. Unlike in the Lesser Poland voivodeship, the average failure

rate of various types of water pipes in the Subcarpathian voivodeship, was at similar level as the national average calculated for small waterworks. Failure rate of the analyzed pipes (with the exception of transit and main pipes in the Lesser Poland voivodeship), meets the requirements of the European standards. There is a close correlation between the type of damage to the pipes and their material structure. Transit, main and distribution pipes, predominantly built of thermoplastic materials were the most susceptible to cracks and fractures, while water supply connections (largely made of steel) were the most susceptible to corrosion damage.

Key words: *small waterworks, age and material structure, technical condition*

WPROWADZENIE

Zadaniem podsystemu dystrybucji wody jest zaspokajanie potrzeb wodnych wszystkich odbiorców korzystających z sieci wodociągowej na danym terenie. Jest to możliwe poprzez dostarczenie wody o odpowiedniej ilości, jakości i pożądanym ciśnieniu. Szczególny nacisk kładziony jest również na ciągłość dostawy wody, a zatem na niezawodność działania całego podsystemu. Zapewnienie tych wymagań jest możliwe między innymi poprzez właściwy wybór materiałów i prawidłową eksploatację sieci, obejmującą przeglądy, konserwacje oraz remonty sieci.

W trakcie eksploatacji sieci pojawiają się różnego typu niekorzystne czynniki, które przyczyniają się do obniżenia niezawodności działania podsystemu. Dlatego też, prowadzenie analiz stanu technicznego sieci wodociągowych jest bardzo ważnym działaniem, które umożliwia zminimalizowanie ich wpływu na sieć wodociągową. Dzięki takim analizom, można przewidywać i wykrywać słabe punkty układu wodociągowego oraz podejmować czynności techniczne w celu jego ulepszenia. Tego typu analizy, służą określeniu głównych przyczyn awarii oraz czynników wpływających na intensywność ich występowania. Dzięki nim, jesteśmy w stanie wskazać czynności techniczne zmniejszające prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia. W efekcie, podejmowane działania wpływają na zmniejszenie wielkości strat wody wodociągowej, a co za tym idzie – bardziej racjonalne korzystanie z niewielkich zasobów wodnych naszego kraju oraz zmniejszenie kosztów produkcji i dystrybucji wody.

Celem niniejszego artykułu jest ocena stanu technicznego sieci wodociągowych zlokalizowanych w gminach wiejskich oraz miejsko-wiejskich województwa małopolskiego i podkarpackiego.

OBIEKTY I METODYKA BADAŃ

W niniejszej pracy analizie poddano wodociągi zlokalizowane w 38 gminach wiejskich i miejsko-wiejskich woj. małopolskiego i w 32 woj. podkarpackiego. W związku z takim charakterem gmin, analizowane wodociągi nazwano „małymi”. Jednak z uwagi na duże ich zróżnicowanie pod względem wielkości, podzielono je na pięć grup w zależności od liczby mieszkańców obsługiwanych przez wodociąg.

Na podstawie danych na koniec 2009 r., pochodzących z dokumentacji eksploatacyjnych poszczególnych wodociągów, dokonano charakterystyki wieku i struktury materiałowej sieci wodociągowych, a następnie oceny ich stanu technicznego. Posłużono się w tym celu jednostkową intensywnością uszkodzeń przewodów, wyznaczoną na podstawie wzoru podanego przez Kwietniewskiego i Raka [2010]:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t}$$

gdzie:

$\lambda(\Delta t)$ – jednostkowa intensywność uszkodzeń; [$\text{uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$],

$n(\Delta t)$ – liczba uszkodzeń w przedziale czasu Δt ;

L – długość badanych przewodów w przedziale czasu Δt (średnia długość w tym przedziale), km;

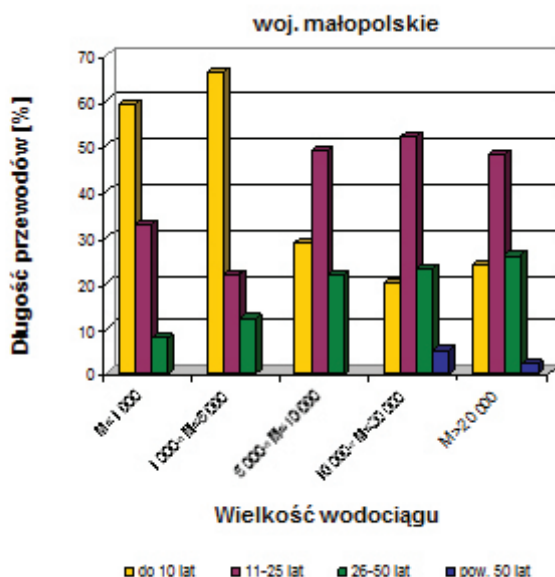
Δt – rozpatrywany przedział czasu, rok.

W analizie poszczególnych wskaźników sieci wodociągowych (z wyjątkiem struktury wiekowej) uwzględniono ich podział strukturalny tzn. analizowano przewody tranzytowe i magistralne, przewody rozdzielcze oraz przyłącza wodociągowe. Dodatkowym elementem analizy było zbadanie struktury uszkodzeń przewodów. Dla każdego z wcześniej wymienionych rodzajów przewodów, przyjęto następującą klasyfikację uszkodzeń: pęknięcia i złamania, na złączach oraz korozyjne.

ANALIZA I DYSKUSJA WYNIKÓW

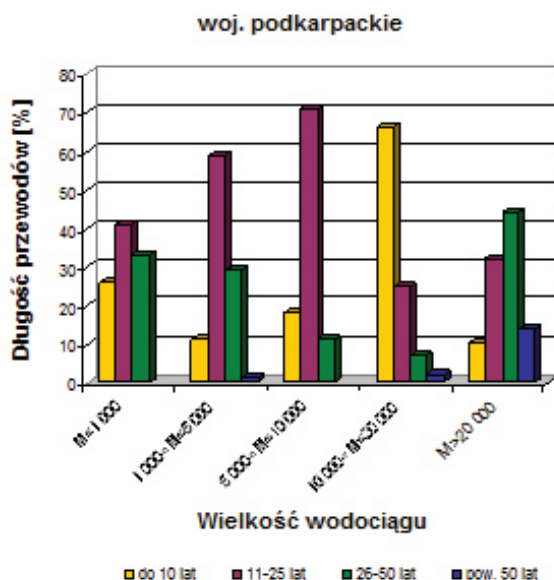
Struktura wiekowa

Wpływ wieku przewodów na stan techniczny sieci wodociągowej jest czynnikiem powszechnie znanym. Z dotychczas prowadzonych badań [Zimoch i in. 2005, Bergel, Pawełek 2008] jednoznacznie wynika, że wiek przewodów wywiera wpływ na intensywność uszkodzeń. Długi okres eksploatacji przewodów wpływa na nadmierne zużycie materiału, spowodowane ciągłym oddziaływaniem czynników fizycznych i chemicznych, a także wewnętrznych i zewnętrznych, zwiększając ryzyko awarii sieci wodociągowej [Tchórzewska-Cieślak 2010]. W celu zmniejszenia awaryjności, sieci wodociągowe powinny być poddawane renowacjom, a najstarsze odcinki sukcesywnie wymieniane na nowe.



Rysunek.1. Struktura wiekowa sieci wodociągowych w województwie małopolskim
Figure 1. Age structure of water supply networks in the Lesser Poland voivodeship

Analizując strukturę wiekową sieci wodociągowych w poszczególnych grupach w województwie małopolskim (rys. 1) zauważono, że najmłodsza sieć występowała w grupie pierwszej (poniżej 1 tys. odbiorców) i drugiej (1÷5 tys. odbiorców), stanowiąc ponad 60% łącznej długości sieci w tych grupach. W trzech ostatnich grupach struktura wiekowa była zbliżona do siebie. Ok. 50% łącznej długości sieci w tych grupach, stanowiły przewody w wieku od 11 do 25 lat. Jedynie w grupie 10÷20 tys. odbiorców występowały przewody w wieku powyżej 50 lat (5,5% łącznej długości sieci w analizowanej grupie).



Rysunek .2. Struktura wiekowa sieci wodociągowych w województwie podkarpackim
Figure 2. Age structure of water supply networks in the Subcarpathian voivodeship

Struktura wiekowa sieci wodociągowych województwa podkarpackiego była nieco bardziej zróżnicowana (rys. 2). Najmłodsza była sieć wodociągowa w grupie 10÷20 tys. mieszkańców, ponieważ przewody w wieku do 10 lat stanowiły aż 66%. Najgorzej sytuacja przedstawiała się w ostatniej grupie wodociągów, gdzie przewody ponad 50-cio letnie stanowiły 14%, a te w wieku od 26 do 50 lat – 44%. W pierwszych trzech grupach odbiorców dominowały przewody w wieku 10-25 lat, stanowiąc średnio 57% łącznej długości sieci wodociągowej.

Struktura materiałowa

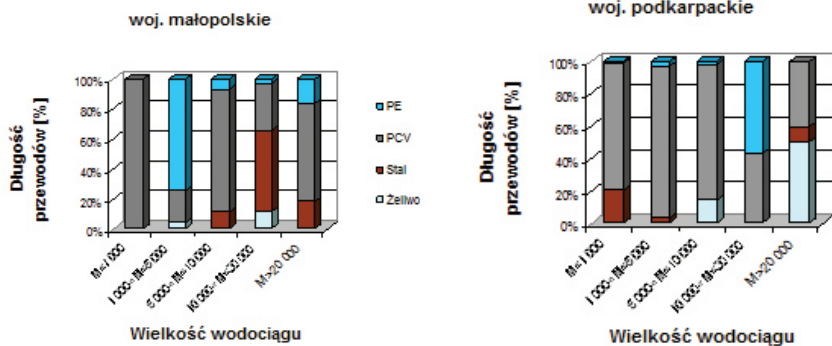
Z wiekiem przewodów nierozzerwalnie związana jest ich struktura materiałowa [Bergel 2012a]. Różnorodność materiałów wykorzystywanych do budowy sieci wodociągowych w Polsce, przez wiele lat wynikała bowiem przede wszystkim z ich dostępności na rynku, co związane było z okresem budowy wodociągów. Kwietniewski [2004] wyróżnia trzy okresy w zakresie stosowania rur z różnych materiałów do budowy sieci wodociągowych w Polsce. Pierwszy, związany z poprzednim systemem gospodarczo-społecznym, trwający do 1989 r. Drugi (lata 1990-1994) – to okres wzrostu liczby inwestycji wodociągowych i kanalizacyjnych, związany z rozwojem gospodarki rynkowej w Polsce. W tym okresie odnotowano intensywne przechodzenie z tradycyjnych do nowoczesnych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych, z bardzo znaczącym udziałem tworzyw termoplastycznych, szczególnie PVC i PE. Ostatni okres trwający do chwili obecnej – to okres porządkowania rynku produkcji rur i innych wyrobów stosowanych do budowy wodociągów.

Przytoczony podział czasowy i wynikające z niego tendencje stosowania poszczególnych materiałów do budowy sieci wodociągowych, potwierdzają również wyniki badań struktury materiałowej analizowanych małych wodociągów. Szczególnie dobitnie zależność tą pokazuje struktura materiałowa przewodów tranzytowych i magistralnych w woj. małopolskim. Sieci najmłodsze (do 5 tys. mieszkańców) zbudowane były w 98% z tworzyw termoplastycznych. W kolejnych grupach wodociągów, które odznaczają się starszym wiekiem, miejsce tworzyw zajmują z coraz większym udziałem stal i żeliwo. Jest to widoczne szczególnie w grupie wodociągów od 10 do 20 tys. odbiorców, które są najstarsze spośród wszystkich analizowanych.

W woj. podkarpackim tendencje stosowania materiałów wynikające z roku budowy wodociągów nie są już tak widoczne. Jedynie zależność tą można zauważyć w grupie największych a równocześnie najstarszych wodociągów, które w 50% zbudowane były z żeliwa i w 10% ze stali. Pozostałe wodociągi w większości wykonane były z PVC, tylko w grupie 10÷20 tys. dominowało PE (57%).

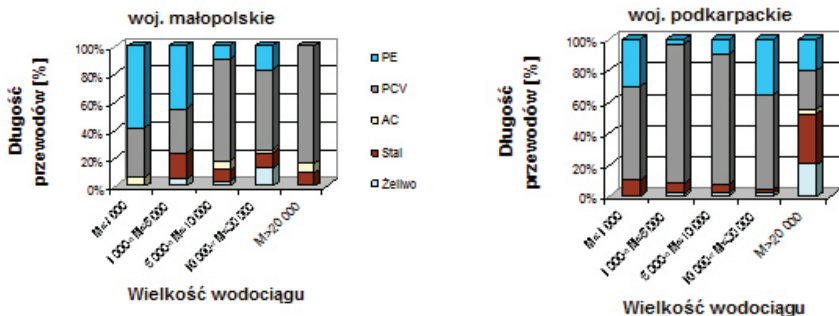
Struktura materiałowa przewodów rozdzielczych analizowanych sieci wodociągowych charakteryzowała się większym zróżnicowaniem niż przewodów tranzytowych i magistralnych (rys. 4). Chociaż w woj. małopolskim największy udział miały w dalszym ciągu przewody wykonane z tworzyw sztucznych (81% łącznej długości przewodów rozdzielczych), to w wodociągach zaopatrujących

od 1 do 20 tys. mieszkańców, przewody zbudowane ze stali i żeliwa stanowiąły od 11 do 24%. Z kilku procentowym udziałem w strukturze materiałowej tych przewodów znalazł się również azbestocement.



Rysunek 3. Struktura materiałowa przewodów tranzytowych i magistralnych w województwie małopolskim i podkarpackim

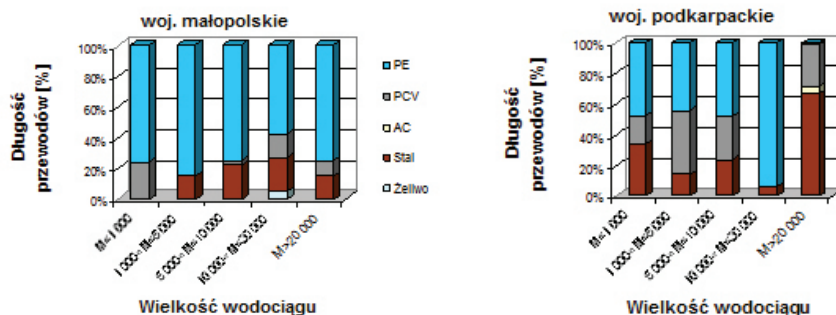
Figure 3. Material composition of transit and main pipes in the Lesser Poland and Subcarpathian voivodeships



Rysunek 4. Struktura materiałowa przewodów rozdzielczych w województwie małopolskim i podkarpackim

Figure 4. Material composition of distribution pipes in the Lesser Poland and Subcarpathian voivodeships

Bardziej jednorodną strukturą materiałową, charakteryzowały się przewody rozdzielcze sieci wodociągowych w woj. podkarpackim. Cztery pierwsze grupy wodociągów zbudowane były w zdecydowanej większości (średnio ok. 92%) z PCV i PE, a tylko w niewielkiej części ze stali i żeliwa. Jedynie grupa największych wodociągów, podobnie jak w przypadku przewodów tranzytowych i magistralnych była w 53% zbudowana z przewodów stalowych i żeliwnych. W grupie tej można było również spotkać przewody z azbestocementu.



Rysunek 5. Struktura materiałowa przyłączy wodociągowych w województwie małopolskim i podkarpackim

Figure 5. Material composition of water supply connections in the Lesser Poland and Subcarpathian voivodeships

W przypadku przyłączy wodociągowych w sieciach wodociągowych województwa małopolskiego (rys. 5), w każdej analizowanej grupie, przeważały przewody zbudowane z PE (71% łącznej długości przyłączy). Z wyjątkiem grupy pierwszej, gdzie pozostała część przewodów wykonana była z PCV, przewody wykonane były głównie ze stali (19% łącznej długości przyłączy).

W strukturze materiałowej przyłączy wodociągowych województwa podkarpackiego, w grupie mieszkańców 5÷10 tys., ponad 94% łącznej długości przyłączy stanowiły przewody wykonane z PE. W ostatniej grupie wodociągów, największy udział w strukturze materiałowej stanowiła stal (67% łącznej długości przyłączy), 5% stanowiły przewody z azbestocementu i była to jedyna grupa, w której pojawiły się przewody wykonane z tego materiału. W pierwszych

trzech grupach, struktura materiałowa przedstawiała się stosunkowo podobnie. Największy był udział przyłączy wykonanych z PE, następnie dominował PVC, a na końcu stal.

Intensywność uszkodzeń przewodów

Awaryjność przewodów sieci wodociągowej jest jednym z najistotniejszych wskaźników oceny stanu technicznego sieci i niezawodności podsystemu zaopatrzenia w wodę. Zalecane wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń wg kryteriów europejskich wynoszą [PN-IEC 60300-3-4:2001]:

- przewody magistralne – $\lambda_M \leq 0,3$ uszk·km⁻¹·a⁻¹,
- przewody rozdzielcze – $\lambda_R \leq 0,5$ uszk·km⁻¹·a⁻¹,
- przyłącza wodociągowe – $\lambda_{pW} \leq 1,0$ uszk·km⁻¹·a⁻¹.

Jak pokazują badania Bergela [2012b] przeprowadzone w 376 małych wodociągach w Polsce, średnia intensywność uszkodzeń przewodów wynosiła:

- przewody tranzytowe i magistralne – $\lambda_{T+M} = 0,26$ uszk·km⁻¹·a⁻¹,
- przewody rozdzielcze – $\lambda_R = 0,17$ uszk·km⁻¹·a⁻¹,
- przyłącza wodociągowe – $\lambda_{pW} = 0,49$ uszk·km⁻¹·a⁻¹,
- przewody ogółem – $\lambda_p = 0,27$ uszk·km⁻¹·a⁻¹.

Tabela 1. Wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych
Table 1. Values of the damage intensity rate to the water supply pipes

Liczba mieszkańców	Wskaźnik intensywności uszkodzeń λ [uszk·km ⁻¹ ·a ⁻¹]					
	przewody tranzytowe i magistralne		przewody rozdzielcze		przyłącza wodociągowe	
	małopolskie	podkarpackie	małopolskie	podkarpackie	małopolskie	podkarpackie
$M \leq 1\ 000$	0,07	0,12	0,21	0,30	0,29	0,49
$1\ 000 < M \leq 5\ 000$	0,57	0,27	0,16	0,12	0,88	0,21
$5\ 000 < M \leq 10\ 000$	0,69	0,29	0,30	0,24	0,47	0,65
$10\ 000 < M \leq 20\ 000$	1,22	0,63	0,82	0,13	0,86	0,32
$M > 20\ 000$	0,98	0,12	0,27	0,20	0,43	0,42
średnia	0,87	0,31	0,35	0,19	0,59	0,47

W województwie małopolskim największy wskaźnik intensywności uszkodzeń odnotowano dla przewodów tranzytowych i magistralnych ($1,21 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) w grupie o liczbie odbiorców $10 \div 20$ tys. (tab. 1), gdzie przekroczył on dopuszczalną wartość aż 4-krotnie. W przypadku tych przewodów, również w pozostałych grupach (z wyjątkiem pierwszej), została przekroczona dopuszczalna wartość. Poniżej dopuszczalnej wartości ($1,0 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) w każdej analizowanej grupie były przyłącza wodociągowe, a ich średnia intensywność uszkodzeń wyniosła ok. $0,57 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$. Średnia intensywność uszkodzeń przewodów rozdzielczych jedynie w jednej grupie (liczba odbiorców $10 \div 20$ tys.) przekroczyła wartość dopuszczalną wynosząc $0,82 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$.

W województwie podkarpackim, większość obliczonych wartości wskaźnika λ dla poszczególnych rodzajów przewodów, było na nieco niższym poziomie niż w województwie małopolskim, co świadczy o ich lepszym stanie technicznym. Największą wartość ($0,65 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) odnotowano dla przyłączy wodociągowych w grupie od $5 \div 10$ tys. mieszkańców, co świadczy jednocześnie o tym, że w żadnej grupie wodociągów intensywność uszkodzeń przyłączy wodociągowych nie przekroczyła dopuszczalnych wartości. Przekroczeniu uległ jedynie (podobnie jak w woj. małopolskim) wskaźnik λ przewodów tranzytowych i magistralnych w grupie $10 \div 20$ tys., gdzie wyniósł on $0,63 \text{ uszk} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$.

Struktura uszkodzeń przewodów

Dla obiektywnej oceny stanu technicznego przewodów, charakteryzowanego ich intensywnością uszkodzeń, nieodzownym staje się prowadzenie statystyki uszkodzeń, ich przyczyn i rodzajów. Prowadzenie ścisłej ewidencji zasadniczych rodzajów uszkodzeń, z obserwowaniem trendów zmian na przestrzeni lat, jest niezbędne dla planowania napraw bieżących sieci, remontów kapitalnych przewodów oraz prognozowania liczby awarii.

Analizując wartości zamieszczone w tabeli 2 widać ścisłą zależność pomiędzy rodzajem uszkodzeń przewodów, a ich strukturą materiałową. Przewody tranzytowe, magistralne i rozdzielcze, najbardziej podatne były na pęknięcia i złamanie, co jest charakterystyczną cechą głównie przewodów zbudowanych z tworzyw termoplastycznych.

Tabela 2. Struktura uszkodzeń poszczególnych rodzajów przewodów wodociągowych
Table 2. Damage structure to various types of water supply pipes

Rodzaj uszkodzenia	Struktura uszkodzeń, [%]					
	przewody tranzytowe i magistralne		przewody rozdzielcze		przyłącza wodociągowe	
	małopolskie	podkarpackie	małopolskie	podkarpackie	małopolskie	podkarpackie
pęknięcia i złamania	65	66	47	58	31	29
na złączach	21	29	27	34	23	15
korozyjne	23	5	26	8	46	56

Uszkodzenia złączy dotyczą przede wszystkim przewodów zbudowanych z żeliwa i azbestocementu, ale mogą dotyczyć również przewodów stalowych czy wykonanych z PCV. Udział tych uszkodzeń w obu analizowanych województwach, był na podobnym poziomie i wynosił średnio ok. 25% w odniesieniu do wszystkich analizowanych rodzajów przewodów.

Uszkodzenia korozyjne dotyczyły przede wszystkim przyłączy wodociągowych, które spośród analizowanych przewodów w największym stopniu zbudowane były ze stali. Większy w woj. małopolskim niż w podkarpackim udział stali w strukturze materiałowej przewodów tranzytowych, magistralnych i rozdzielczych, był prawdopodobnie przyczyną, 3-krotnie większej w tym pierwszym, częstotliwości uszkodzeń korozyjnych.

WNIOSKI

Na podstawie badań sieci wodociągowych przeprowadzonych w 70 gminach wiejskich i miejsko-wiejskich województwa małopolskiego i podkarpackiego sformułowano następujące wnioski szczegółowe:

- w strukturze wiekowej sieci wodociągowych dominują przewody w wieku do 25 lat, co po uwzględnieniu materiału z którego zostały wykonane pozwala stwierdzić, że w większości przypadków znajdują się one na półmetku okresu trwałości technicznej.
- analizowane sieci wodociągowe w zdecydowanej większości wybudowano z tworzyw termoplastycznych oraz w znacznie mniejszym

procencie ze stali. W strukturze materiałowej przewodów z kilkuprocentowym udziałem występuje również żeliwo i azbestocement.

- intensywność uszkodzeń przewodów wodociągowych w woj. podkarpackim w większości przypadków była nieco niższa niż w woj. małopolskim, co świadczy o lepszym ich stanie technicznym.
- średnia intensywność uszkodzeń poszczególnych rodzajów przewodów wodociągowych w woj. podkarpackim w przeciwieństwie do woj. małopolskiego, kształtowała się na podobnym poziomie jak obliczona dla małych wodociągów średnia krajowa.
- awaryjność analizowanych przewodów (z wyjątkiem tranzytowych i magistralnych w woj. małopolskim), spełnia wymagania standardów europejskich.
- występuje ścisła zależność pomiędzy rodzajem uszkodzeń przewodów a ich strukturą materiałową. Przewody tranzytowe, magistralne i rozdzielcze zbudowane głównie z tworzyw termoplastycznych, najbardziej podatne były na pęknięcia i złamania, natomiast przyłącza wodociągowe (w dużym procencie stalowe) na uszkodzenia korozyjne.

BIBLIOGRAFIA

- Bergel T. (2012a). Struktura wiekowa i materiałowa małych wodociągów grupowych w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 10, 416-418.
- Bergel T. (2012b). Awaryjność sieci wodociągowych małych wodociągów grupowych w Polsce. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 12, 536-538.
- Bergel T., Pawełek J. (2008). Awaryjność wiejskich sieci wodociągowych. *Instal*, 10, 92-94.
- Kwietniewski M. (2004). Rurociągi polietylenowe w wodociągach i kanalizacji – rozwój rynku w Polsce i niezawodność funkcjonowania. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 3, 78-82.
- Kwietniewski M., Rak J. (2010). Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce. PAN, Komitet Inżynierii Wodnej i Łądowej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa.
- PN-IEC 60300-3-4:2001. Zarządzanie niezawodnością. Poradnik zastosowań. Warunki badań nieuszkodzalności, zasady badań statystycznych.
- Tchórzewska-Cieślak B. (2010). Ryzyko awarii sieci wodociągowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 3, 38-41.
- Zimoch I., Jamer M., Binda B. (2005). Eksploatacja systemu dystrybucji wody we Wrocławiu w aspekcie awaryjności sieci wodociągowej. *Ochrona Środowiska*, 3, 65-68.

dr hab. inż. Tomasz Bergel,
dr hab. inż. Grzegorz Kaczor
dr hab. inż. Piotr Bugajski
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja, ,
Al. Mickiewicza 24/28
30-059 Kraków
e-mail: t.bergel@ur.krakow.pl