

**Barbara BUDZIŁO, Agnieszka KUBATY**

*Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska  
Politechniki Krakowskiej  
Kraków*

## **ANALIZA PRODUKCJI, SPRZEDAŻY WODY I AWARII PODSYSTEMU DYSTRYBUCJI WODY WODOCIĄGU W BRZESKU**

### **ANALYSIS OF WATER PRODUCTION AND SALE, AND FAILURES OF THE WATER DISTRIBUTION SUBSYSTEM OF THE BRZESKO WATER SUPPLY SYSTEM**

*The objective of this work is the operation assessment of the water supply system of Brzesko (a small town in southern Poland) water supply system. In this work the brief characterization of the water line which draws water from the Dunajec river is presented. Material from the last 11 years concerning water production and sale talking into considerations particular purposes and failure frequency of the water distribution subsystem in the period of seven years is collected. On the basis of materials obtained graphs are plotted. The water sale for particular purposes is as follows: the most amount of water is drawn by households (ca 66%) by industrial plants (ca 21 %) and by others (13%) . In the period under investigation (years 1995-2005) the distribution network was being developed and in comparison with 1995 the main network increased by ea 13%, distribution network increased by 53% and water line connections by ca 74%. From the analysis of material structure applied to the Brzesko water line network follows that the most percentage of conduits are made of PVC (ca 73%) cast iron (ca 22%) steel (ca 3,7%) and acetylene (ca 0,1%). On the basis of material collected the failure frequency coefficient of the water line network and cast iron and steel conduits is determined. Results of calculations show the necessity of the further repairs of the distribution network and water line connections.*

## **1. Wprowadzenie**

Prace z zakresu analizy funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę (SZW) opracowane są na podstawie danych udostępnianych przez eksploatorów. Przedstawione w nich [1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12] są problemy dotyczące zapotrzebowania, produkcji, sprzedaży, strat wody oraz awarii w podsystemie dystrybucji wody. Stopień dokładności tych analiz zależy od danych udostępnionych przez Przedsiębiorstwa, co umożliwia wyznaczenie szeregu wskaźników charakteryzujących funkcjonowanie

badanych wodociągów. Dane te dla dużych systemów są w większości przypadków pełne i dokładne, jednak w odniesieniu do małych wodociągów nie zawsze jest możliwe uzyskania takich materiałów. Istnieją stosunkowo obszerne dane o wodociągach [12] w Polsce, które jednak nie objęły wszystkich Przedsiębiorstw i dlatego powinno się dalej uzupełniać tę bazę. W związku z tym podjęto badania, których celem była ocena funkcjonowania wodociągu miasta Brzesko i jego okolic. Podstawę analizy stanowią tutaj dane uzyskane od Regionalnego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Brzesku dotyczące okresu od roku 1995- 2005 [6]. W systemach zaopatrzenia w wodę widoczne są tendencje spadku zapotrzebowania na wodę z równoczesnym jak najoszczędniejszym jej gospodarowaniem. Zmniejszenie zapotrzebowania daje możliwość poprawy jakości wody podawanej do sieci. Istnieje jednak niebezpieczeństwo wystąpienia przewymiarowania sieci i związane z tym pogorszenie jakości dostarczonej wody odbiorcom. Informacje na temat wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych pozwalają użytkownikowi na właściwe przeprowadzenie ich renowacji. Zmniejszenie wycieków wody ma także aspekt ekonomiczny i dlatego tak ważna jest konserwacja istniejącej sieci, a co za tym idzie zmniejszanie jej awaryjności.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę miasta Brzesko i jego okolic.

## 2. Ogólna charakterystyka systemu zaopatrzenia w wodę

Wodociągi brzeskie zaopatrują w wodę ok. 45 tys. mieszkańców Brzeska i okolicznych miejscowości leżących na trasie magistrali wodociągowej. Woda ujmowana z rzeki Dunajec i uzdatniana na Stacji Uzdatniania Wody w Łukanowicach pobierana jest do celów pitnych i gospodarczych przez wodociągi komunalne miasta i gmin: Brzesko, Wojnicz oraz Dębno w maksymalnej ilości 10 000 m<sup>3</sup>/dobę. Dobowa zdolność produkcyjna ujęcia wody w Łukanowicach wynosi 11 200 m<sup>3</sup>/dobę, a produkcja w obecnej chwili średnio na dobę wynosi 6500 m<sup>3</sup>/dobę.

Cały system zaopatrzenia w wodę ma 22 strefy zasilania. Miejscowości położone w pierwszej strefie pobierają około 10% ogólnej ilości wody a miejscowości z drugiej strefy około 75% wody. Resztę, czyli około 15% pobierają miejscowości pozostałych stref zasilania.

W skład systemu zaopatrywania w wodę wodociągu grupowego Łukanowice - Brzesko wchodzi:

- Brzegowe ujęcie wody na rzece Dunajec oraz Stacja Uzdatniania Wody w Łukanowicach,
- Sieć magistralna 2 x Ø400 mm (żeliwo) z przepompownią wody w Sufczyźnie i zbiornikami końcowymi Okocim Garbatka o pojemności 2 x 2000 m<sup>3</sup>,
- Sieć rozdzielcza z 22 przepompowniami i 4 zbiornikami wody każdy o pojemności 100 m<sup>3</sup>.

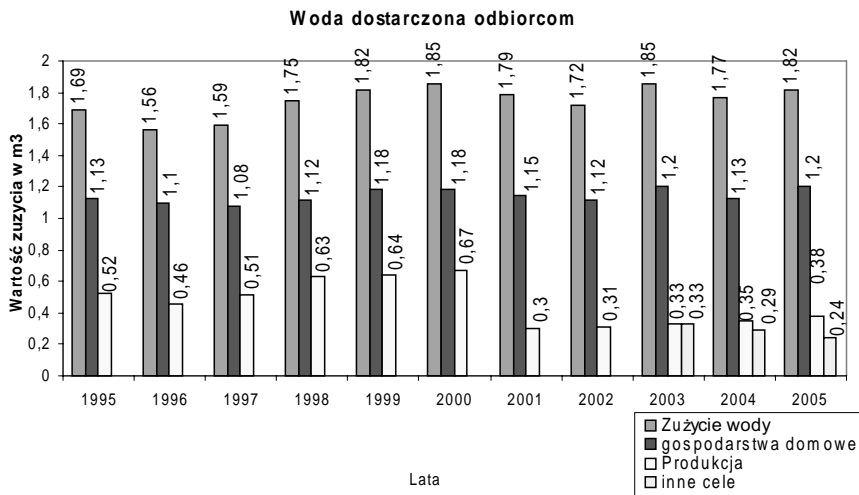
Zbiorniki wody zlokalizowane są w miejscowościach: Okocim Górny, Jasień, Jadowniki i Łysa Góra. Do zasilania wodociągu grupowego Łukanowice – Brzesko służą także dwa zbiorniki końcowe Okocim Garbatka, które wyrównują średnie dobowe wahania w rozbiórce wody.

Łączna długość sieci wodociągowej wynosi 667,5km. W tym sieć magistralna 41,2 km, sieć rozdzielcza 339,4 km, oraz podłączenia wodociągowe 286,9 km. Wobec częstych awarii na rurociągu magistralnym spowodowanych pękaniem rur oraz wypłu-

kiwaniem uszczelnień zaszła konieczność budowy drugiej nitki magistrali. Budowę drugiej nitki magistrali zakończono w 1997r. Obie magistrale o średnicy  $\varnothing$  400mm bieżą koło siebie, równolegle do Drogi Krajowej A4 zasilając po drodze sieć rozdzielczą miasta i gmin: Brzesko, Wojnicz oraz Dębno.

### 3. Produkcja i straty wody w wodociągu brzeskim

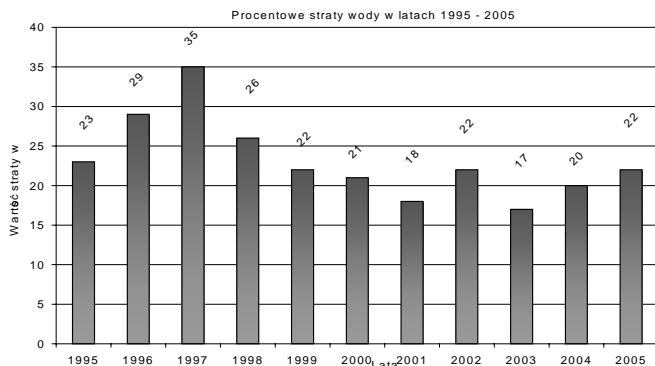
Bilans wody dostarczonej odbiorcom i jej zużycie na poszczególne cele obrazuje rys.1. Ogółem w badanym okresie w latach 1995-2005 zużycie wody wzrosło o 7%. Najwięcej wody dostarczanej jest na cele gospodarcze i stanowi ona 66% ogólnej ilości produkowanej wody. Woda na cele produkcyjne w okresie badanym zmniejszyła się o ok. 31%. Woda na „inne cele” obejmuje: cele usługowe oraz cele ogólnie komunalne.



Rys.2. Wykres zużycia wody przez odbiorców w  $ml\ m^3/rok$  na poszczególne cele

Fig. 2. Water consumption  $ml\ m^3/years$  for particular purposes.

W całkowitym zużyciu wody występuje woda niesprzedana stanowiąca różnicę pomiędzy ilością wody włożonej do sieci a ilością wody sprzedanej odbiorcom. Na wielkość wody niesprzedanej składają się głównie wycieki wody z sieci w czasie awarii, płukanie sieci i zbiorników, pobory nie rejestrowane przez przewymiarowane wodomierze oraz kradzieże wody z hydrantów czy gaszenia pożarów [4,5,8].



Rys.2. *Straty wody łącznie z wodą użytą na cele technologiczne*

Fig. 2. *Water losses including water used for technical purposes*

Analizując straty wody na tle ilości wody pobranej z ujęcia w Łukanowicach na przestrzeni ostatnich lat wyraźnie widać, że straty wody 1997 – 2005 ulegają wyraźnemu obniżeniu (Rys.2). Począwszy od 1999 roku straty wody stabilizują się na około 22%. Przyczyną może być nadal niezadowolający stan techniczny sieci wodociągowej.

#### 4. Podsystem dystrybucji wody rozwój, awaryjność

Sieć wodociągowa wykonana jest z różnych materiałów tj. PCV (73%) z żeliwa szarego (20%), z rur stalowych (3,7%), żeliwa sferoidalnego (2,0 %), PE (1,2%) i rur azbestocementowych (0,1%). Magistrala została wybudowana w latach 1970/71 a nową rozbudowano w latach 1994/97. Przyrost długości sieci wodociągowej w badanym okresie od 1995 – 2005 roku wynosi dla :

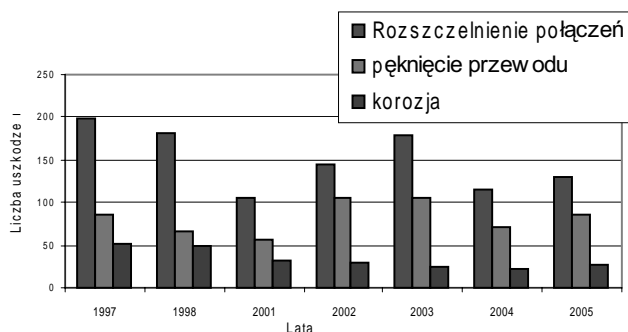
- sieci magistralnej: 12%,
- sieci rozdzielczej: 35%,
- połączeń : 43%.

Ten znaczny przyrost długości sieci rozdzielczej na przestrzeni lat, można tłumaczyć rozbudową aglomeracji miejskiej i powstającymi nowymi osiedlami.

Wraz ze wzrostem kilometrażu sieci rozdzielczej wzrasta także długość przyłączy wodociągowych

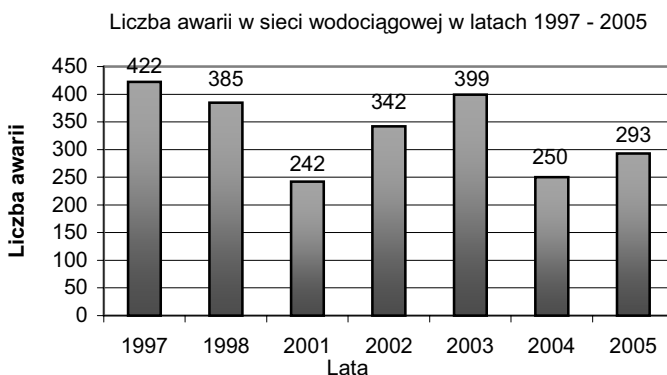
Analizując liczbę awarii w poszczególnych latach (rys.3), które wystąpiły w sieci wodociągowej można z łatwością zauważyć, że największą liczbę awarii stanowią punktowe nieszczelności związane zazwyczaj z połączeniami rurociągów jak też pęknięcia przewodów.

W badanym okresie ( rys.4) ogólna liczba awarii ma tendencje spadkowe zmniejszyła się o ok. 31% w stosunku do roku 1997. Jednakże w roku 2003 nastąpiło gwałtowne zwiększenie się liczby awarii w sieci wodociągowej.



Rys. 3. Wykres liczby poszczególnych rodzajów awarii w latach 1997 – 2005

Fig. 3. Numbers of particular kinds of failures in the years 1997-2005



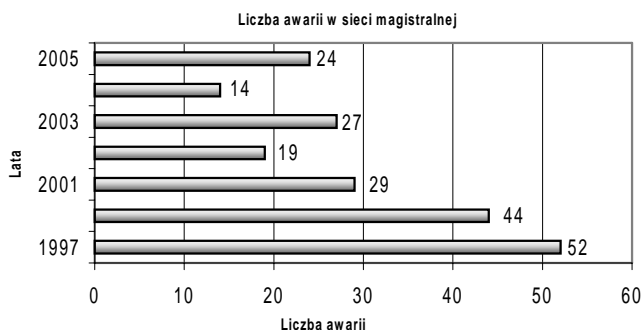
Rys. 4. Ogólna liczba awarii sieci wodociągowej (magistralnej, rozdzielczej, przyłączy)

Fig. 4. Total number of failures of the water-pipe network( main one, distribution one, connections)

Najwyższa awaryjność sieci magistralnej (rys. 5) miała miejsce siedem lat temu, a w roku 2005 zauważyć można spadek o ok. 60%. Najczęstszą przyczyną tych awarii były nieszczelności na połączeniach żeliwnych. Zazwyczaj wymieniano uszczelnienie na mufach lub tylko dobijano ołowiem. Nie jest to jak się okazuje najlepszą metodą, w kolejnych latach zaczęto wymieniać już odcinki rurociągu magistralnego na nowe przewody. Zastosowanie nowych materiałów w budowie sieci wodociągowej wyeliminowało awarie związane z korozją przewodów, ale jednocześnie wpłynęło na awaryj-

ność innego rodzaju, gdyż przewody z PCV i PE wykazują się dużą kruchością i łatwo ulegają pęknięciom.

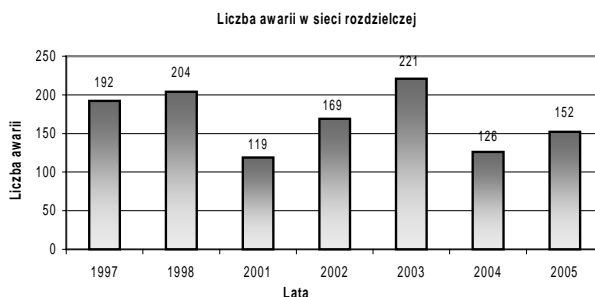
Liczba awarii na sieci rozdzielczej w badanym okresie maleje (rys.6), jednak nadal stanowiła istotny problem. Ze względu na dużą kruchość, przewody wykonane z PCV często ulegają uszkodzeniom mechanicznym. Ma to związek z pracami budowlanymi, czy też z sytuacjami nadzwyczajnymi, na przykład z osuwiskami.



Rys.5. Liczba awarii w sieci magistralnej w latach 1997 – 2005

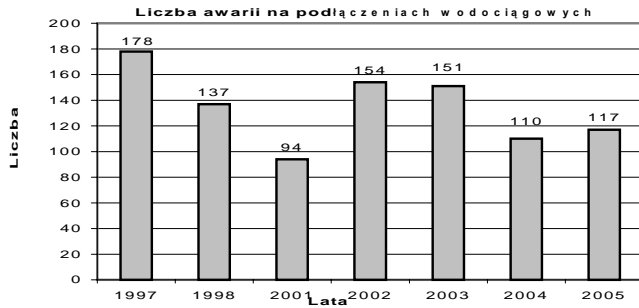
Fig. 5. Number of failures in the main network in the years 1997-2005

Liczba awarii na podłączeniach wodociągowych (rys 7) w badanym okresie ulega stopniowemu zmniejszeniu o ok.34%. Obecnie stare, awaryjne odcinki połączeń wodociągowych wykonanych ze stali i azbestocementu są wymieniane na nowe, z PE.



Rys. 6. Liczba awarii w sieci rozdzielczej w latach 1997 – 2005

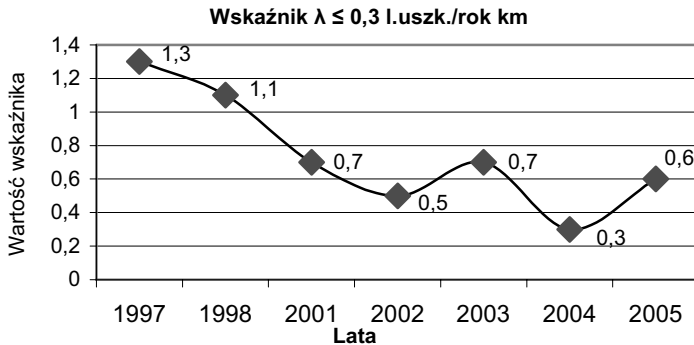
Fig. 6. Number of failures in the distribution net work in the years 1997-2005



Rys. 7. Liczba awarii na podłączeniach wodociągowych

Fig. 7. Number of failures in the water-pipe network connections

Zebrane materiały pozwoliły na wyznaczenie wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej  $\lambda$ . Wskaźnik ten został obliczony dla sieci: magistralnej, rozdzielczej i podłączeń wodociągowych. Równocześnie oszacowano wskaźniki intensywności uszkodzeń z uwzględnieniem struktury materiałowej.



Rys. 8. Wskaźnik intensywności uszkodzeń dla sieci magistralnej

Fig. 8. Intensity index of damages for the main network

Wskaźnik intensywności uszkodzeń wyznacza liczbę awarii w kilometrze sieci wodociągowej w ciągu roku, oblicza się go wg wzoru :

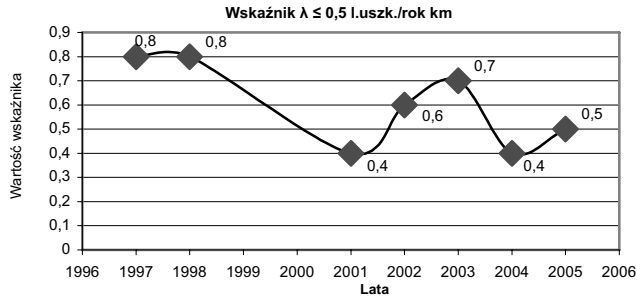
$$\lambda = \frac{N}{L \Delta t} \quad [\text{a}^{-1} \text{km}^{-1}] \quad [1]$$

gdzie:

N - liczba awarii, L –sumaryczna długość przewodów sieci wodociągowej,

$\Delta t$  - jednostka czasu (rok)

Jak wynika z obliczeń (Rys. 8) wartość wskaźnika wyraźnie uległa zmniejszeniu w analizowanym okresie, ale nadal jeszcze nie osiągnęła dopuszczalnego poziomu ( $\leq 0,3$ ), co świadczy o konieczności dalszej renowacji.

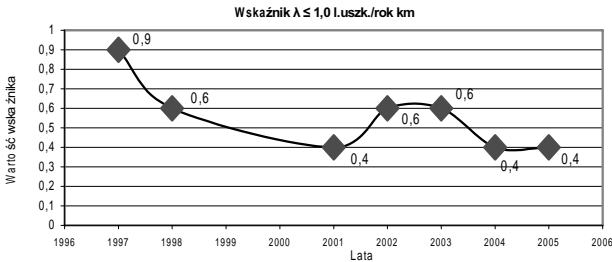


Rys. 9. Wskaźnik intensywności uszkodzeń dla sieci rozdzielczej

Fig. 9. Intensity index of damages for the distribution network

Wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci rozdzielczej (rys.9) w badanym okresie waha się od 0,8 do 0,4 [N/L km] i w ostatnich latach mieści się w granicach dopuszczalnych ( $\leq 0,5$ ) [ 11,12 ].

Także wskaźnik intensywności uszkodzeń połączeń wodociągowych mieści się w tych granicach ( $\leq 1,0$ ) [ 11,12 ].

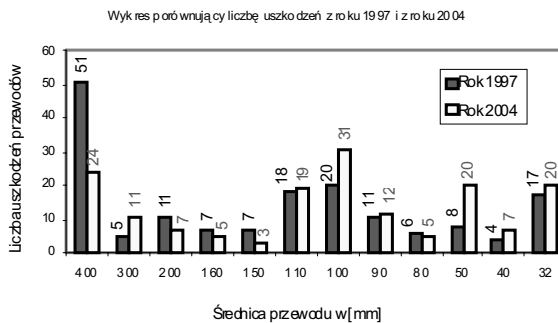


Rys.10. Wskaźnik intensywności uszkodzeń na połączeniach wodociągowych

Fig. 10. Index of damage intensity in the water pipe connections

Przeprowadzono analizę w okresie badanym liczby uszkodzeń przewodów wodociągowych w zależności od ich średnicy.



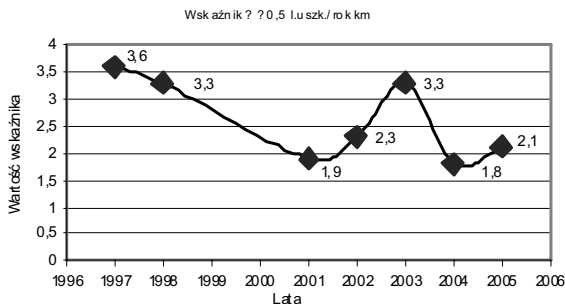


Rys. 11. Liczba awarii w zależności od średnic przewodów wodociągowych

Fig. 11. Number of failures depending on diameters of water-line conduits

Stwierdzono, że największą liczbę awarii w roku 1997 odnotowano na przewodach o średnicy  $\varnothing 400$ ,  $\varnothing 100$ ,  $\varnothing 110$  oraz  $\varnothing 32$  i  $\varnothing 50$ . Spowodowane jest to największym udziałem procentowym tych średnic w sieci wodociągowej. Średnica  $\varnothing 400$  zastosowana została na przewodach magistralnych. Średnice  $\varnothing 100$ ,  $\varnothing 110$  posiadają rury stalowe i żeliwne tworzące sieć rozdzielczą. Przewody  $\varnothing 32$  i  $\varnothing 50$  stosowane są na podłączeniach wodociągowych.

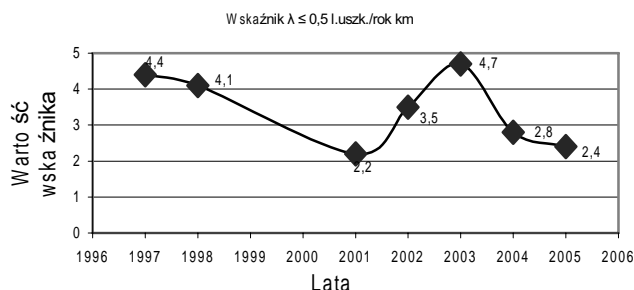
W roku 2004 można stwierdzić wyraźny spadek uszkodzalności przewodów magistrali  $\varnothing 400$ . Wyraźnemu zwiększeniu awarii w tym roku uległy przewody o średnicy  $\varnothing 100$  mm. Średnicę tę posiadają rury stalowe i żeliwne, które wraz z upływem lat zaczynają charakteryzować się wysoką uszkodzalnością. Ta sama przyczyna dotyczy rur azbestocementowych, które w sieci najczęściej występują o średnicy  $\varnothing 50$  mm. Ich liczba uszkodzeń w stosunku do roku 1997 wzrosła o 12 zdarzeń.



Rys. 12. Wykres wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów żeliwnych

Fig. 12. Index of damage intensity of steel conduits

Wskaźnik intensywności uszkodzeń przewodów żeliwnych (Rys. 12) w analizowanym okresie kształtował się w granicach 3,6 do 1,8 [N/L km]. Wartości te nie tylko nie mieszczą się w wartościach dopuszczalnych, ale poważnie ją przekraczają. Świadczy to o bardzo złym stanie żeliwnych przewodów wodociągowych, tym bardziej, że żeliwa w całej sieci wodociągowej jest zaledwie 22%. Podobnie w przypadku przewodów stalowych wartości wskaźnika uszkodzeń są bardzo wysokie (Rys. 13). Udział stali w opisywanej sieci wodociągowej wynosi 4%, z czego połowa przypada na podłączenia wodociągowe. Wartość wskaźnika uległa pewnemu obniżeniu, ale kształtuje się bardzo różnie, a średnia wartość z ostatnich pięciu lat wynosi 3,1 [N/L km] i nie mieści się w dopuszczalnych wartościach.



Rys. 13. Wykres wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów stalowych

Fig. 13. Index of damage intensity of steel conduits

Udział stali w opisywanej sieci wodociągowej wynosi 4%, z czego połowa przypada na podłączenia wodociągowe.

## 5. Podsumowanie i wnioski

System zaopatruje w wodę około 45 tys. mieszkańców Brzeska i okolicznych miejscowości leżących na trasie wodociągu grupowego Łukanowice – Brzesko. Dobowa zdolność produkcyjna ujęcia wody powierzchniowej w Łukanowicach wynosi 11 200 m<sup>3</sup>/d, a maksymalne dobowe zapotrzebowanie 9500 m<sup>3</sup> i średnie dobowe zapotrzebowania na wodę 6500 m<sup>3</sup>. Obecnie zapotrzebowanie na wodę jest niższe w stosunku do lat ubiegłych o około 30% pomimo podłączenia nowych odbiorców. Planowane jest wybudowanie 12 km magistrali o średnicy Ø 250 mm. Planuje się także budowę wodociągu w miejscowości Poręba Spytkowska. Można prognozować, że po przekazaniu do eksploatacji odcinków powyższych sieci sprzedaż wody wzrośnie.

Z wywiadu przeprowadzonego w RPWiK w Brzesku, oraz analizy zebranych materiałów wyciągnięto następujące wnioski:

1. Największy udział procentowy w materiałach zastosowanych do budowy sieci wodociągowej ma PCV, którego jest 73% i PE ok. 1,2%. Z pośród starych materiałów największy udział procentowy ma żeliwo ok. 22,0 % , stali i azbestocementu jest zaledwie ok. 3,8 %.
2. Długość przewodów sieci wynosi: magistrali 41,2 km, rozdzielczej 339,4 km i podłączeń 286,9 km.
3. Najwięcej wody pobieranej jest przez gospodarstwa domowe 68%, a pozostałe 32% wody podanej odbiorcom to woda zużyta do produkcji i innych celów.
4. Wysokość strat wody w badanym okresie (od 1995 do 2005) waha się w granicy 22%.
5. W oparciu o uzyskany materiał awaryjności sieci wodociągowej stwierdzono, że najczęstszymi awariami były uszkodzenia połączeń rur kielichowych, pęknięcia, mechaniczne uszkodzenia i korozja rur.
6. Największa liczba awarii występuje w sieci dla średnic: Ø 100, Ø400, Ø 110, Ø50 i Ø 32 .
7. Wskaźnik intensywności uszkodzeń  $\lambda$  w badanym okresie (1997 – 2005) dla sieci kształtował się następująco:
  - magistralnej: od 1,3 do 0,3 (dopuszczalny  $\leq 0,3$ ),
  - rozdzielczej: od 0,8 do 0,4 (dopuszczalny  $\leq 0,5$ ),
  - podłączeń: od 0,9 do 0,4 (dopuszczalny  $\leq 1,0$ ),
8. Największą uszkadzalnością charakteryzują się przewody żeliwne. W analizowanym okresie wskaźnik intensywności uszkodzeń waha się w granicach 3,6 do 1,8 [N/L km]. Materiał ten zastosowany jest w przewodach magistralnych.
9. Wartość średniego wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów stalowych w ostatnich latach wynosi 3,1 [N/L km] i przekracza dopuszczalny. Materiał ten jest zastosowany w podłączeniach wodociągowych.
10. Wskaźnik intensywności uszkodzeń z uwzględnieniem struktury materiałowej świadczy, że przewody żeliwne i stalowe należy w pierwszym rzędzie remontować lub wymienić.

## Bibliografia

- [1] Bajer B. i in. „Analiza Awaryjności sieci wodociągowej miasta i gminy Wadowice”, Materiały z IX Międzynarodowej Konferencji nt. Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska (jakość niezawodność –bezpieczeństwo) Rzeszów 3-4 wrzesień. 2004, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z.37.
- [2] Budziło B., Filipek A. „Charakterystyka wodociągu tamowskiego” Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Czasopismo Techniczne , 2004 z.8-Ś,13-22, ISBN 0011-4561.
- [3] Budziło B., Holibożek M. „Analiza produkcji, sprzedaży wody i awarii podsystemu dystrybucji wody wodociągu w Skawinie”. VII Międzynarodowa Konferencja . XVIII Krajowa Konferencja, Zaopatrzenia w wodę i ochrona wód, Water Supply and Water Quality, Zakopane 2006. s.

- [4] Dohnalik P. „Straty wody w miejskich sieciach wodociagowych” Wydawca Polski Fundusz Ochrony Zasobów Wodnych, Bydgoszcz 2000 ISBN 914323.
- [5] Dochnalik P., Jędrzejewski Z. „Efektywna eksploatacja wodociągów” Wyd. Lemtech Konsulting, Kraków 2004, ISBN 83-015249-5-7.
- [6] Materiały i sprawozdania z Regionalnego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Brzesku (maszynopis).
- [7] Kłos - Trębaczewicz H, Osuch – Pajdzinska E., Roman M. „Przyczyny spadku zużycia wody w miastach polskich i jego granice” Czasopismo Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr10 /2000.
- [8] Kotowski A., Hotłoś H. „Ocena wielkości strat wody w sieciach wodociagowych wybranych miast”, Czasopismo Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 10/2003.
- [9] Piechurski F., Kotulski L.; 1997 „Analiza pracy sieci wodociagowej w Chrzanowie”, Czasopismo Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr5 /1997.
- [10] Rak J., Tchórzewska - Cieślak B. „Intensywność uszkodzeń sieci wodociagowych w miastach podkarpackich, Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Nauki techniczne Inżynieria Środowiska, Zeszyt nr 16, Białystok 2003.
- [11] Rak J.; 2005, „Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę.” Monografia. Komitetu Inżynierii Środowiska, PAN vol.28, Lublin 2005.
- [12] Praca Zbiorowa „Wodociągi i kanalizacja w Polsce – tradycja i współczesność” Polska Fundacja Ochrony Zasobów Wodnych, Poznań-Bydgoszcz 2002 ISBM 914323.