

Analiza wielkości strat wody w dwóch wodociągach wiejskich

Analysis of water losses in two rural networks

Aleksandra Flis, Weronika Gęca, Małgorzata Iwanek, Dariusz Kowalski*

Słowa kluczowe: straty wody, metoda IWA, metoda wskaźnikowa, wodociągi wiejskie

Streszczenie

Jednym z czynników warunkujących efektywność techniczną i ekonomiczną pracy wodociągów jest wielkość strat wody w systemie jej dystrybucji. Stosunkowo rzadko ocenę taką prowadzi się w sposób systematyczny w odniesieniu do wodociągów wiejskich. Wynika to zarówno z obiektywnych trudności technicznych, jak i częstego przeświadczenia, że straty te są nieistotne. W artykule przedstawiono wyniki oceny wielkości strat wody w dwóch wybranych wodociągach wiejskich, zarządzanych przez to samo przedsiębiorstwo wodociągowe. Do sporządzenia oceny wykorzystano metodę IWA (International Water Association) oraz metodę wskaźnikową. Ocenę uzupełniono o aspekt niezawodnościowy, wykorzystując obliczony wskaźnik intensywności uszkodzeń. Przeprowadzone badania wykazały znaczne różnice wielkości strat wody w obu analizowanych wodociągach, pomimo zbliżonych warunków eksploatacyjnych.

Keywords: water losses, IWA method, indicator method, rural water networks

Abstract

One of the factors determining the technical and economic efficiency of water supply systems is the amount of water losses in the distribution system. Systematic assessment of water losses is relatively rarely carried out in rural water supply systems. This is due to both objective technical difficulties and often the conviction that these losses are insignificant. The article presents the results of the assessment of water losses in two selected rural waterworks, managed by the same waterworks company. The IWA (International Water Association) method and the index method were used to prepare the assessment. The assessment was supplemented with the reliability aspect, using the calculated failure rate indicator. The conducted research showed significant differences in the amount of water losses in both analyzed water supply systems, despite similar operating conditions.

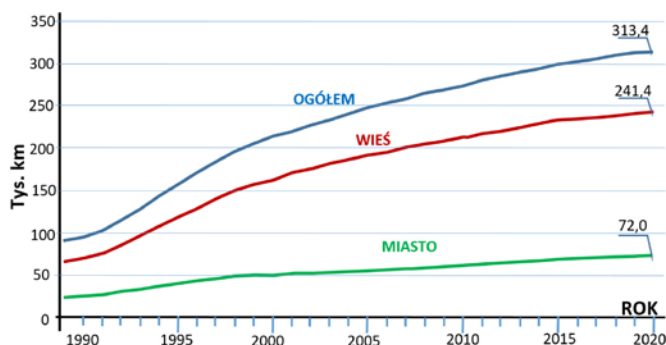
1. Wstęp

Jednym z czynników warunkujących efektywność techniczną i ekonomiczną pracy wodociągów jest wielkość strat wody w systemie jej dystrybucji [8]. Każda analiza efektywności wodociągów zaczyna się od oceny wielkości strat wody [10]. Powiązanie wielkości tych strat z analizą awaryjności sieci pozwala dodatkowo, choć w sposób pośredni, ocenić stan techniczny rurociągów, skuteczność i czas wykrywania awarii czy prawidłowość procesu zarządzania ciśnieniem [12,29]. Sprzyja temu także możliwość porównania uzyskanych rezultatów analiz z danymi literaturowymi [7,15]. Z punktu widzenia efektywności funkcjonowania przedsiębiorstw wodociągowych graniczną wielkością strat wody jest tzw. ekonomiczny poziom wycieków [24]. Okazuje się jednak, że wraz z postępującymi zmianami klimatycznymi, przy przedłużających się okresach suszy powiązanych z wysoką temperaturą powietrza, znacząco rośnie zużycie wody, przekraczające często wydajność eksploatacyjną jej ujęć. Zmniejszenie strat wody, nawet poniżej granicy ekonomiczności, może warunkować zaspokojenie potrzeb jej odbiorców [28].

Analizy strat wody prowadzone są z powodzeniem od lat w dużych i średnich przedsiębiorstwach wodociągowych naszego kraju. Przedsiębiorstwa te dysponują odpowiednio wykwalifikowanymi kadrami oraz odpowiednio prowadzonym monitoringiem. Wprowadzenie systemu zdalnego odczytu wodomierzy, w powiązaniu z opomiarowaniem wydzielanych stref DMA (*District Meter Area*), umożliwia już nie tylko ocenę wielkości strat wody w ujęciu rocznym, ale także miesięcznym, a nawet dobowym czy godzinowym [14]. Zupełnie inaczej problem ten wygląda w małych, głównie wiejskich, systemach wodociągowych. Eksploatujące je służby nie dysponują odpowiednimi narzędziami monitoringu. Często, z racji redukcji kosztów zatrudnienia, brakuje im także pracowników, którzy mogliby się zająć taką analizą. Problemem jest również nieregularność odczytów wodomierzy, które nie są wyposażone w system zdalnego odczytu. W efekcie analizy strat wody albo nie są realizowane w ogóle, albo są realizowane w ujęciu rocznym [5,6]. W wielu wypadkach straty wody w wiejskich systemach jej dystrybucji są ignorowane lub traktowane jako nieistotne. Spojrzenie na wykres obrazujący długość przewodów sieci wodociągowych w Polsce (rys. 1)

* Aleksandra Flis, mgr inż., absolwentka Politechniki Lubelskiej, Wydział Inżynierii Środowiska, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin; Weronika Gęca, mgr inż., absolwentka Politechniki Lubelskiej, Wydział Inżynierii Środowiska, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin; Małgorzata Iwanek, dr hab. inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, m.iwanek@pollub.pl; Dariusz Kowalski, dr hab. inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, d.kowalski@pollub.pl

pozwała jednak stwierdzić, że straty te są potencjalnie większe na wsi niż w miastach i nie powinny być niedoceniane.



Rys. 1. Długość przewodów sieci wodociągowych w Polsce w latach 1989-2020 [22]
Fig. 1. Length of water supply network lines in Poland in 1989-2020 [22]

Celem artykułu jest prezentacja wyników oceny strat wody w sieciach wodociągowych dwóch wsi, zlokalizowanych w województwie lubelskim. Ocenę przeprowadzono z wykorzystaniem metod IWA oraz wskaźnikowej. Analizę uzupełniono o obliczenie wskaźników intensywności uszkodzeń obu wodociągów.

2. Obiekt badań

Ocenę wielkości strat wody przeprowadzono na przykładzie dwóch sieci zaopatrujących wsie „C” oraz „J”, zlokalizowane w województwie lubelskim. W obu miejscowościach za pobór wody odpowiadają głównie gospodarstwa domowe. Na ich terenie funkcjonują nieliczne, drobne zakłady usługowe. Podstawowa działalność gospodarza związana jest z rolnictwem. Eksploatację obu sieci prowadzi ten sam lokalny Zakład Komunalny. Obie sieci pracują niezależnie, wykorzystując własne, pojedyncze ujęcia wody podziemnej. W tab. 1 zestawiono wielkości charakteryzujące obie sieci.

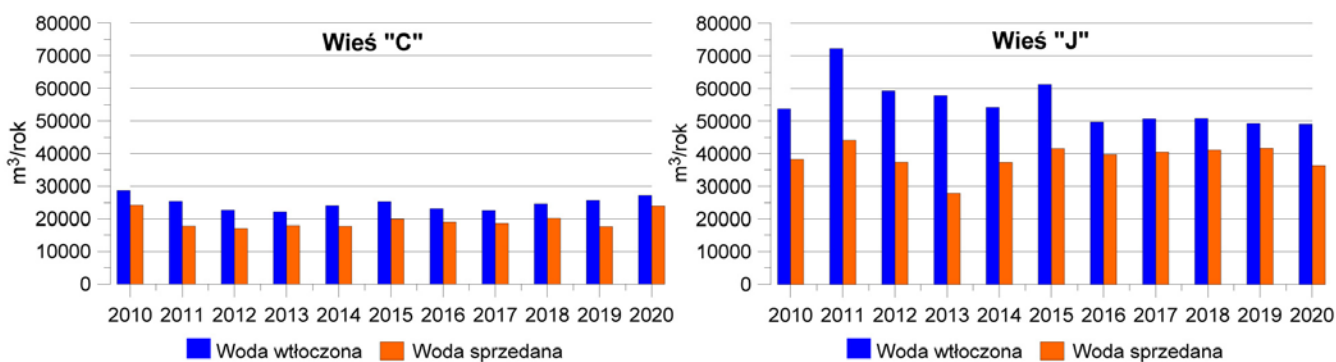
Tabela 1. Liczbowa charakterystyka analizowanych sieci wodociągowych
Table 1. Quantitative characteristics of the analyzed water supply networks

Parametr	Sieć wodociągowa we wsi	
	„C”	„J”
Liczba mieszkańców	780	1490
Rok budowy wodociągu	1995	1975 AC 1993 PVC
Długość przewodów sieciowych, km	11,6	23,7
Długość przewodów przyłączy, km	8,4	16,9
Typ sieci	Rozgałęzieniowy	
Średnie ciśnienie w sieci, MPa	0,36	0,38
Materiał przewodów	PVC	PVC 76% AC 24%

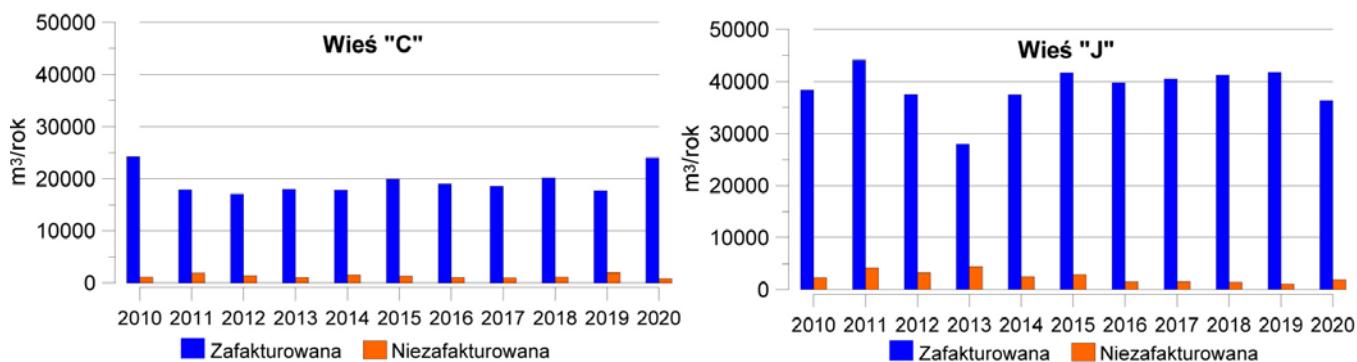
Odczyty wodomierzy odbiorców wody w obu miejscowościach realizowane są nieregularnie przez inkasentów. Pomiar ilości wody tłoczonej do sieci odbywa się za pomocą wodomierzy głównych znajdujących się na wyjściu z pompowni II stopnia. W obu sieciach nie wydzielono stref ciśnienia czy DMA. Przedsiębiorstwo eksploatujące obie sieci prowadzi bilans produkcji i poboru wody w ujęciu rocznym. Ilość wody włączonyj do sieci oraz sprzedanej w latach 2010-2020 przedstawiono na rys. 2.

Średnia roczna produkcja wody wyniosła 24626 m³/rok (67 m³/d) we wsi „C” oraz 55296 m³/rok (151 m³/d) we wsi „J”. Sprzedaż wody kształtowała się na niższym poziomie i wynosiła średnio 19446 m³/rok (53 m³/d) oraz 38776 m³/rok (106 m³/d) odpowiednio we wsiach „C” i „J”.

Autoryzowana konsumpcja wyniosła w latach 2010-2020 średnio 20927 m³/rok dla wodociągu we wsi „C” i 38775 m³/rok dla wodociągu we wsi „J”. Wielkość autoryzowanej konsumpcji w poszczególnych latach analizowanego okresu, z podziałem na konsumpcję zafakturowaną i niezafakturowaną przedstawiono na rys. 3.

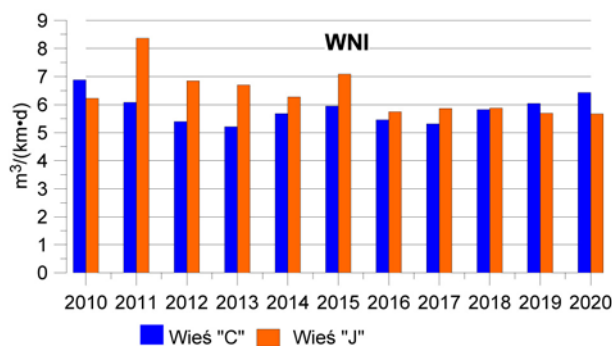


Rys. 2. Ilość wody wyprodukowanej i sprzedanej we wsi „C” (po lewej) i „J” (po prawej), w latach 2010-2020
Fig. 2. Amount of water produced and sold in the villages "C" (left) and "J" (right) in 2010-2020



Rys. 3. Zafakturowana i niezafakturowana autoryzowana konsumpcja dla wodociągów w miejscowościach „C” i „J”, w latach 2010-2020
Fig. 3. Billed and unbilled authorized consumption for waterworks in the villages "C" and "J", in 2010-2020

Obie analizowane sieci wodociągowe charakteryzują się zbliżonym obciążeniem hydraulicznym (rys. 4). Średnia wartość współczynnika intensywności obciążenia (WNI) w latach 2010-2021 wyniosła 5,88 m³/(km·d) oraz 6,39 m³/(km·d) odpowiednio w miejscowości „C” i „J”.



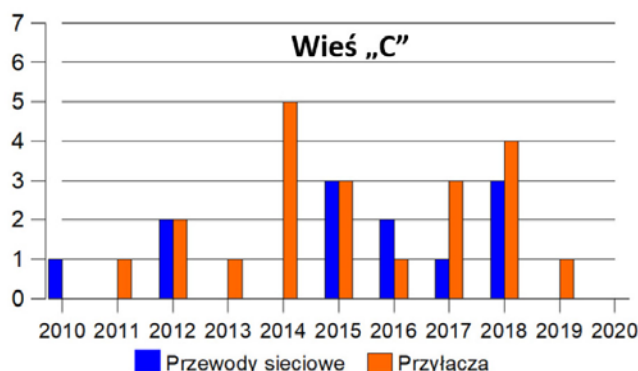
Rys. 4. Wskaźnik intensywności obciążenia sieci wodociągowych w miejscowościach „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 4. Water intensity indicator values of the water supply network in the villages "C" and "J", in the years 2010-2020

Liczba zarejestrowanych awarii w obu wodociągach nie była wysoka. Na rys. 5 zestawiono liczbę zarejestrowanych awarii przewodów sieciowych i przyłączy w obu badanych sieciach, w latach 2010-2020. Średnia roczna liczba awarii przewodów sieciowych wyniosła 1,09 we wsi „C” oraz 1,36 we wsi „J”. Nieco częściej występowały awarie przyłączy. Średnio w roku było ich 1,91 we wsi „C” oraz 2,36 we wsi „J”.

3. Metodyka badań

Badaniami objęto lata od roku 2010 do 2020. Do oceny strat wody zastosowano standardową metodę wskaźnikową opartą o bilans wody według International Water Association (IWA), według którego objętość wody wprowadzonej do systemu wodociągowego (*SIV*) dzieli się na autoryzowaną konsumpcję (*AC*) i straty wody (*WL*). Autoryzowana konsumpcja może być zafakturowana (*BAC*) lub niezafakturowana (*UAC*). Z kolei straty wody dzielą się na rzeczywiste (*RL*) i pozorne (*AL*), wynikające z błędów lub niedokładności odczytu wodomierzy oraz nieautoryzowanej konsumpcji (kradzieże wody). Autoryzowana konsumpcja stanowi objętość wody przynoszącej dochód (*RW*), natomiast straty wody (*WL*) i niezafakturowana autoryzowana konsumpcja (*UAC*) wchodzi w skład objętości wody nieprzynoszącej dochodu (*NRW*) (rys. 6).



Rys. 5. Zarejestrowana liczba awarii przewodów sieciowych i przyłączy we wsiach „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 5. Registered number of failures of mains and connections in the villages "C" and "J", in the years 2010-2020

Objętość wody wprowadzonej do systemu (<i>SIV</i>)	Autoryzowana konsumpcja (<i>AC</i>)	Zafakturowana autoryzowana konsumpcja (<i>BAC</i>)	Zafakturowana zmierzona konsumpcja	Woda przynosząca dochód (<i>RW</i>)	
		Niezafakturowana autoryzowana konsumpcja (<i>UAC</i>)	Zafakturowana niezamierzona konsumpcja		
	Straty wody (<i>WL</i>)	Straty pozorne (<i>AL</i>)	Nieautoryzowana konsumpcja	Niezafakturowana zmierzona konsumpcja	Woda nieprzynosząca dochodu (<i>NRW</i>)
			Niedokładności odczytu wodomierzy	Niezafakturowana niezamierzona konsumpcja	
Straty rzeczywiste (<i>RL</i>)		Wycieki z przewodów magistralnych i rozdzielczych	Straty wody ze zbiorników	Wycieki z przyłączy	

Rys. 6. Bilans wody wg IWA [16,18]

Fig. 6. Water balance according to IWA [16,18]

W artykule wykorzystano także tradycyjnie stosowaną w Polsce metodę wskaźnikową: procentowy wskaźnik strat wody (*PWS*), jednostkowy wskaźnik strat wody przypadających na jednego mieszkańca (*OVS*), jednostkowy wskaźnik strat wody przypadających na kilometr długości sieci (*LWS*), jak również wskaźniki zalecane przez IWA: wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych (*RLB*), także wskaźnik objętości wody niedochodowej w postaci procentowej (*NRW%*) oraz w odniesieniu do długości sieci (*NRW(L)*). Ponieważ w obu miejscowościach na 1 km sieci przypada mniej niż 20 przyłączy, zgodnie z wytycznymi IWA wskaźnik *RLB* odniesiony został do długości sieci magistralnej i rozdzielczej [19]. Wskaźniki obliczono według następujących wzorów [1,2,15,19,26]:

- procentowy wskaźnik strat wody *PWS*:

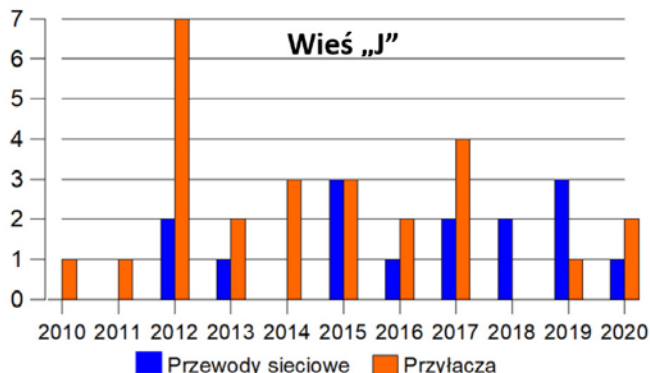
$$PWS = \frac{SIV - V_w - BAC}{SIV} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: V_w – ilość wody zużytej na potrzeby własne wodociągu, m³/rok, pozostałe oznaczenia jak w opisie składników bilansu (rys. 6);

- jednostkowy wskaźnik strat wody przypadających na jednego mieszkańca (*OVS*), dm³/(M·d):

$$OVS = \frac{SIV - V_w - BAC}{365 \cdot M} \quad (2)$$

gdzie: M – liczba mieszkańców;



jednostkowy wskaźnik strat wody przypadających na kilometr długości sieci (LWS), $dm^3/(h \cdot km)$:

$$PWS = \frac{SIV - V_w - BAC}{365 \cdot 24 \cdot L_{M+R}} \quad (3)$$

gdzie: L_{M+R} – długość sieci magistralnej i rozdzielczej, km;

- wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych (przy mniej niż 20 przyłączach przypadających na 1 km sieci), $dm^3/(d \cdot km)$

$$RLB = \frac{1000 \cdot RL}{365 \cdot L_{M+R}} \quad (4)$$

- wskaźniki objętości wody niedochodowej, %, $m^3/(km \cdot rok)$:

$$NRW\% = \frac{SIV - BAC}{SIV} \cdot 100\% \quad (5)$$

$$NRW(L) = \frac{SIV - BAC}{L_{M+R}} \quad (6)$$

W analizie nie wykorzystano powszechnie stosowanego, rekomendowanego przez IWA wskaźnika U_{ARL} , odpowiadającego rocznej objętości nieuniknionych strat rzeczywistych, oraz wyznaczanego na jego podstawie infrastrukturalnego indeksu wycieków ILI . Wskaźniki te uważane są za miarodajne, jeżeli spełniony jest warunek, zgodnie z którym suma liczby przyłączy (N_c) i liczby odpowiadającej 20-krotności długości sieci (L) wyrażonej w kilometrach przekracza 3000 [19]. Żadna z analizowanych sieci nie spełnia tego warunku – dla wsi „C” suma $N_c + 20 L$ jest mniejsza niż 500, a dla wsi „J” mniejsza niż 900.

W prezentowanym artykule analizę strat wody uzupełniono o ocenę awaryjności. W tym celu obliczono współczynniki intensywności uszkodzeń przewodów magistralnych i rozdzielczych (λ_{M+R}) oraz przyłączy (λ_p) według wzoru:

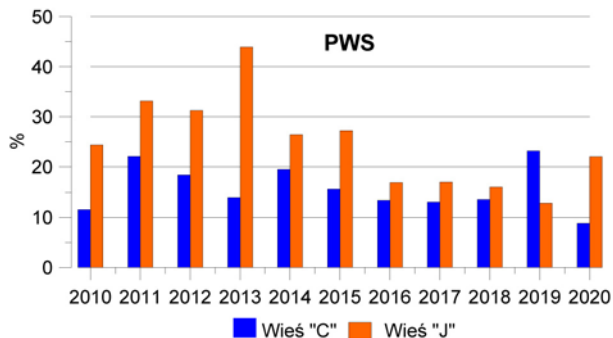
$$\lambda = \frac{\text{Liczba uszkodzeń}}{L \cdot \text{rok}} \quad (7)$$

gdzie: $\lambda = \lambda_{M+R}$, uszk./ $(km \cdot rok)$, jeśli L oznacza długość przewodów magistralnych i rozdzielczych oraz $\lambda = \lambda_p$, uszk./ $(km \cdot rok)$, jeśli L oznacza długość przyłączy.

Wszystkie dane niezbędne do sporządzenia bilansu wody, obliczenia wskaźników strat oraz oceny awaryjności sieci uzyskano od przedsiębiorstwa zarządzającego obiema sieciami wodociągowymi.

4. Wyniki i dyskusja

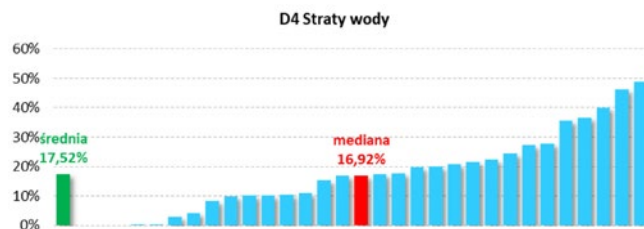
Jako pierwszy przeanalizowany został procentowy wskaźnik strat wody (PWS). Wyniki obliczeń przedstawiających zmiany wartości tego wskaźnika przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Procentowy wskaźnik strat wody (PWS) w wodociągach wsi „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 7. Percentage indicator of water losses (PWS) in the water networks of the villages „C” and „J”, in the years 2010-2020

Procentowy wskaźnik strat wody okazał się znacząco wyższy w wodociągu wsi „J” niż „C”. Jego średnie wartości w badanym okresie wyniosły 15,30% w wodociągu wsi „C” oraz 24,67% w wodociągu wsi „J”. Obliczona wartość mediany wskaźnika PWS wyniosła 13,96% w wodociągu wsi „C” oraz 24,37% „J”. Zgodnie z danymi opublikowanymi w roku 2019 przez Izbę Gospodarczą „Wodociągi Polskie” [4], bazującymi na badaniu ankietowym 35 małych przedsiębiorstw wodociągowych, średnia wartość wskaźnika PWS wyniosła 17,62%, zaś mediana 16,92% (rys. 8). W raporcie tym nie wydzielono wodociągów wiejskich.

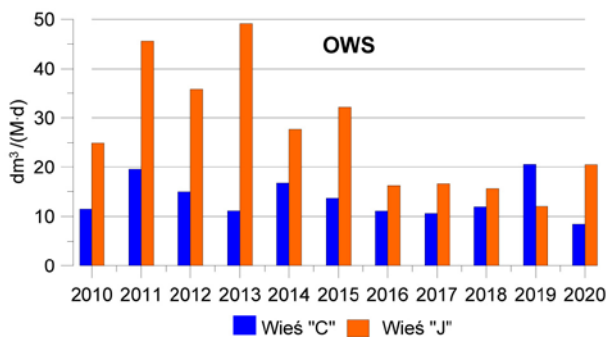


Rys. 8. Wielkość procentowych strat wody w małych przedsiębiorstwach wodociągowych [4]

Fig. 8. Percentage of water losses in small water supply companies [4]

Obliczone średnie wartości procentowego wskaźnika wody okazały się niższe od średnich podanych przez Izbę Gospodarczą Wodociągi Polskie [4] w przypadku wodociągu wsi „C” i wyższe w przypadku wsi „J”. Wyniki te można odnieść do roku i rodzaju materiału przewodów użytych do budowy obu rozpatrywanych wodociągów. Wodociąg w miejscowości „C” jest młodszy i w całości zbudowany z rur PVC. W wodociągu w miejscowości „J” około 1/4 przewodów wykonano z rur AC. Ich budowę ukończono ok. 25 lat wcześniej niż wodociągu „C”. Warto dodatkowo zwrócić uwagę na malejący trend procentowych strat wody w obu analizowanych wodociągach w badanym okresie.

Jeszcze bardziej widoczne różnice można zaobserwować odnosząc straty wody do liczby mieszkańców – wskaźnik OWS (rys. 9).



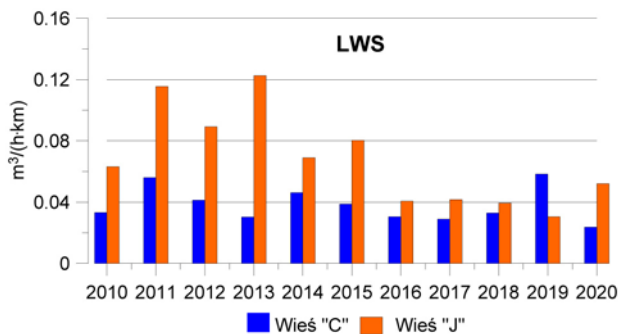
Rys. 9. Wskaźnik strat wody w odniesieniu do liczby mieszkańców (OWS) we wsiach „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 9. Water loss indicator in relation to the number of consumers (OWS) in the villages „C” and „J”, in the years 2010-2020

Obliczone dla lat 2010-2020 wartości wskaźnika OWS wyniosły średnio w wodociągu miejscowości „C” 13,90 $dm^3/(M \cdot d)$, zaś „J” 26,93 $dm^3/(M \cdot d)$. Potwierdza to wcześniejszą sugestię o gorszym stanie technicznym sieci w miejscowości „J” niż w „C”. W tym przypadku widoczny jest trend malejący wartości tego wskaźnika w przypadku wodociągu wsi „J”. W przypadku miejscowości „C” brak tak wyraźnego trendu.

Ocenę stanu technicznego sieci ułatwia porównanie wartości wskaźnika strat odniesionych do długości sieci (LWS) – rys. 10.

Podobnie, jak w przypadku poprzednio analizowanego wskaźnika, wyraźnie widoczny jest na rys 10, trend spadkowy wielkości strat



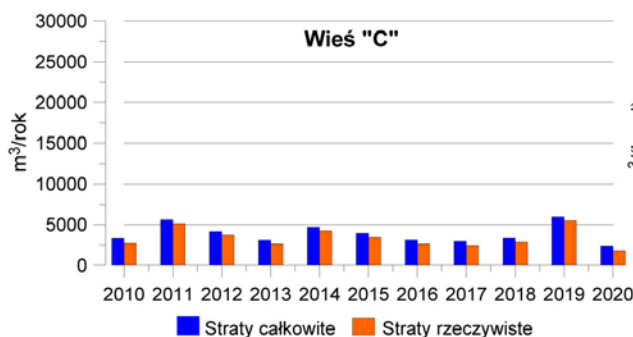
Rys. 10. Wskaźnik strat wody w odniesieniu do długości przewodów sieci wodociągowej (LWS) we wsiach „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 10. Water loss indicator in relation to the length of the water supply network (LWS) in the villages of "C" and "J", in the years 2010-2020

wody odniesionych do długości sieci w przypadku miejscowości „J”, przy braku wyraźnego trendu w miejscowości „C”. Uzyskane wartości średnie wskaźnika *LWS* wyniosły 0,039 dm³/(h·km) dla wodociągu w miejscowości „C” oraz 0,067 dm³/(h·km) w miejscowości „J”.

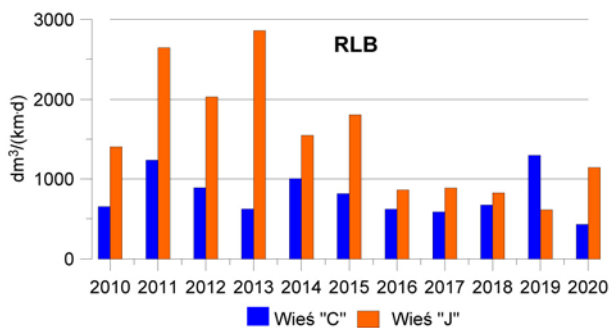
Podstawowa analiza wskaźnikowa nie daje możliwości oceny rzeczywistych strat wody i objętości wody nie przynoszącej dochodu, dlatego w dalszej części pracy poddano ocenie wartości wskaźników rekomendowanych przez IWA. Wyznaczone na podstawie rocznych bilansów rzeczywiste straty wody (rys. 11) są znacznie mniejsze w przypadku wodociągu w miejscowości „C” (straty rzeczywiste średnio 3850 m³/rok) niż w miejscowości „J” (straty rzeczywiste średnio 14043 m³/rok) we wszystkich latach rozpatrywanego okresu, w wyjątkiem roku 2019, w którym straty rzeczywiste były nieco większe (o 204,73 m³/rok) w miejscowości „C”. Ze względu na długość obu sieci, ta niewielka różnica rocznej objętości strat rzeczywistych przełożyła się na wyraźną różnicę wartości wskaźnika *RLB*: w 2019 roku wskaźnik *RLB* dla wodociągu we wsi „C” był ponad 2-krotnie większy niż dla wodociągu we wsi „J” (rys. 12). Dla wszystkich pozostałych lat wskaźnik *RLB* przyjmuje wyraźnie większe wartości dla wodociągu we wsi „J”. Ponadto podobnie jak w przypadku omawianych wcześniej wskaźników oceniających straty całkowite, zachowany jest trend spadkowy wskaźnika *RLB* dla wodociągu we wsi „J” przy braku wyraźnego trendu we wsi „C”.

Średnie wartości wskaźnika *RLB* w analizowanym okresie wynoszą 801,43 dm³/(km·d) i 1511,31 dm³/(km·d) odpowiednio dla wodociągów w miejscowościach „C” i „J”, co po przeliczeniu jednostek daje wartości 0,03 m³/(km·h) i 0,06 m³/(km·h). Odnosząc uzyskane wartości do wytycznych niemieckich (tab. 2) [20], można uznać, że wodociąg we wsi „C” charakteryzuje się niskim poziomem strat rzeczywistych, interpretowanym jako porównywalny ze stratami nieuniknionymi. Z kolei wodociąg we wsi „J” charakteryzuje się średnim poziomem strat, uznawanym za dopuszczalny, niewymagający podejmowania specjalnych działań w celu ograniczenia strat.



Rys. 11. Straty całkowite i straty rzeczywiste w wodociągach wsi „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 11. Total losses and real losses in the water networks of the villages "C" and "J", in the years 2010-2020



Rys. 12. Wskaźnik jednostkowych strat rzeczywistych (RLB) w wodociągach wsi „C” i „J”, w latach 2010-2020

Fig. 12. Real losses (RLB) in the water networks of the villages "C" and "J", in the years 2010-2020

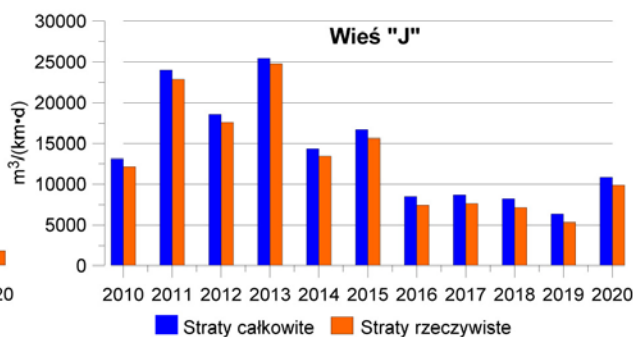
Tabela 2. Klasyfikacja poziomów rzeczywistych strat wody [20]

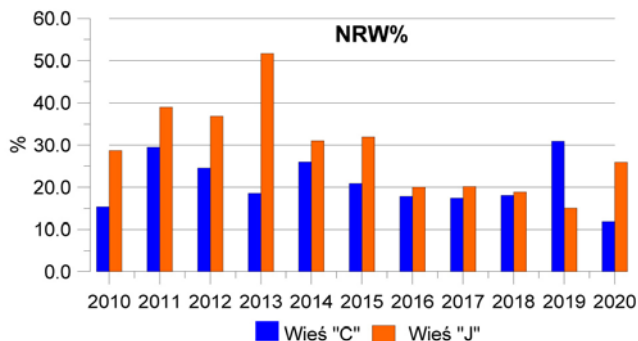
Table 2. Classification of actual water loss levels [20]

Poziom strat rzeczywistych, m ³ /(km·h)	Struktura sieciowa		
	Obszar 1 (miasta i duże miasta)	Obszar 2 (miasta)	Obszar 3 (wsie)
Niski	< 0,10	< 0,07	< 0,05
Średni	0,10-0,20	0,07-0,15	0,05-0,10
Wysoki	0,20	> 0,15	> 0,10

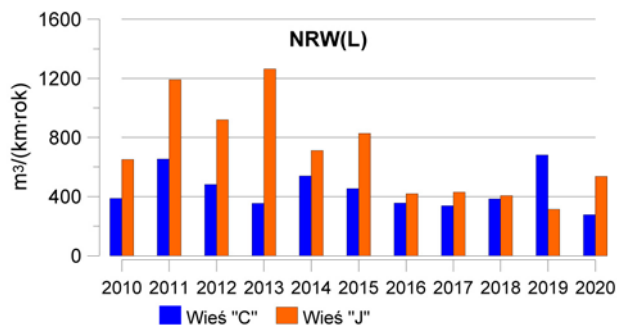
Do oceny ilości wody nie przynoszącej dochodu posłużono się wskaźnikami *NRW* według wzorów (5) i (6). Wskaźnik *NRW* wyrażony jako procent objętości wody wtłoczonej do sieci (*NRW*%), wprowadzony przez IWA na przełomie XX i XXI wieku do grupy rekomendowanych wskaźników [2], z perspektywy czasu okazał się niemiarodajny [17,21]. Mimo to wskaźnik ten wciąż jest powszechnie stosowany (np. [3, 27,31]), również w Polsce [13, 23, 25, 32]. Wartości *NRW*% dla wsi „C” i „J” przedstawia Rys. 13. Wyraźnie większe wartości tego wskaźnika, zwłaszcza w pierwszej połowie rozpatrywanego okresu, charakteryzują wodociąg we wsi „J”. Średnie wartości wskaźnika wyniosły odpowiednio 21,07% oraz 29,03% w wodociągach wsi „C” i „J”. Największa różnica wystąpiła w roku 2013 – wartość *NRW*% dla wodociągu w miejscowości „J” była 2,8 razy większa niż dla „C”. Podobnie jak w przypadku pozostałych wskaźników wyjątkiem jest rok 2019 – wówczas wartość *NRW*% dla wodociągu „C” 2-krotnie przewyższyła wartość *NRW*% dla wodociągu „J”.

Przeprowadzone na podstawie danych z różnych krajów analizy wykazały, że istnieje szereg czynników powodujących brak mia-



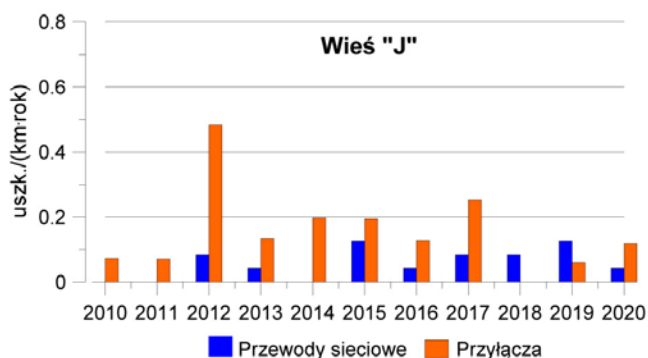
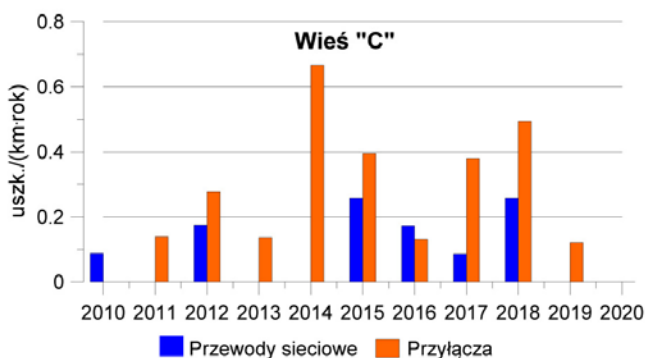


Rys. 13. Wskaźnik NRW% w wodociągach wsi „C” i „J”, w latach 2010-20
 Fig. 13. NRW% indicator in the water networks of the villages "C" and "J", in 2010-2020



Rys. 14. Wskaźnik NRW(L) w wodociągach wsi „C” i „J”, w latach 2010-20
 Fig. 14. NRW(L) indicator in the water networks of the villages "C" and "J", in 2010-2020

rodajności wskaźnika $NRW\%$, np. tendencja ograniczania zużycia wody [17,21]. Biorąc pod uwagę, że od początku 2016 r. obowiązuje Agenda na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030 [30], której cel 6. dotyczy zapewnienia wszystkim ludziom dostępu do wody i warunków sanitarnych poprzez zrównoważoną gospodarkę zasobami wodnymi, można przypuszczać, że trend oszczędzania wody będzie się utrzymywał, a co za tym idzie, przydatność wskaźnika $NRW\%$ pozostanie wątpliwa. W związku z tym celowa wydaje się propozycja Lamberta [21], by do oceny i porównań pracy sieci wodociągowych objętość wody nieprzynoszącej dochodu odnosić do jednostki długości przewodów magistralnych i rozdzielczych (dla sieci o gęstości przyłączy mniejszej niż 20) lub liczby przyłączy (dla sieci o gęstości przyłączy co najmniej 20), uzyskując w ten sposób bardziej miarodajny wskaźnik odpowiednio $NRW(L)$ lub $NRW(conn)$. Wartości wskaźnika $NRW(L)$ dla wsi „C” i „J” przedstawia rys. 14.



Rys. 15. Wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w wodociągach wsi „C” i „J”. w latach 2010-2020
 Fig. 15. Failure rate indicator in the water networks of the villages "C" and "J", in 2010-2020

Średnie wartości $NRW(L)$ wyniosły odpowiednio 446,22 m³/(km·rok) (wodociąg we wsi „C”) oraz 697,05 m³/(km·rok) (wodociąg we wsi „J”). Porównując wykresy dla $NRW\%$ i $NRW(L)$ (rys 13 i 14) zauważyć można bardzo zbliżone trendy dla obu wodociągów, jednak w większości rozpatrywanego okresu (2011-2018) różnice między wartościami $NRW(L)$ dla poszczególnych wodociągów były większe niż pomiędzy odpowiadającymi im wartościami $NRW\%$. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że według wartości wskaźnika $NRW(L)$ stan techniczny wodociągu we wsi „C” jest lepszy niż w „J”, nie można jednak obiektywnie stwierdzić, czy jest dobry. W literaturze można znaleźć wzorce zakresów wartości $NRW(conn)$ [9,11,17], umożliwiające obiektywną ocenę średnich i dużych sieci, natomiast brakuje analogicznych klasyfikacji $NRW(L)$ dla małych sieci.

Analizę wielkości strat wody uzupełniono poprzez ocenę awaryjności obu badanych sieci (rys. 15), wykorzystując wskaźnik intensywności uszkodzeń.

Obliczone wartości średniej arytmetycznej oraz mediany wskaźnika intensywności uszkodzeń λ zestawiono w tab. 3.

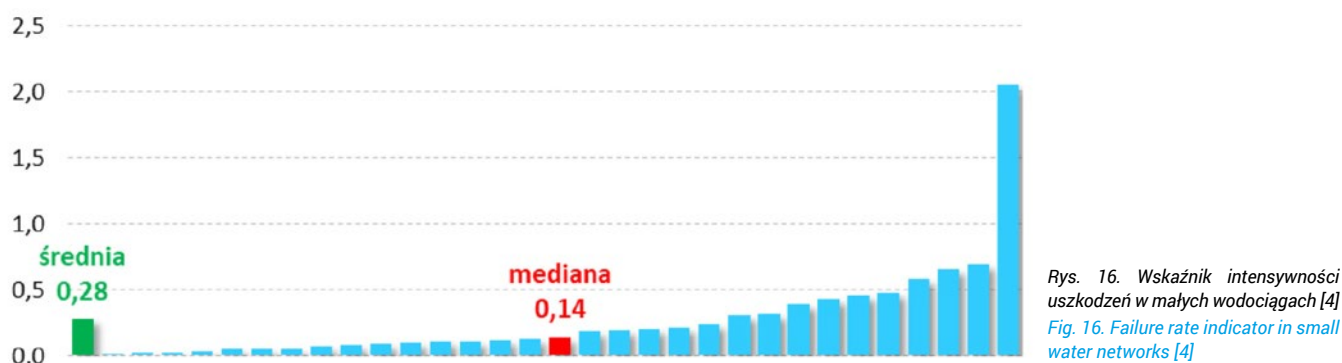
Tabela 3. Średnia arytmetyczna i mediana wskaźnika intensywności uszkodzeń wodociągów w miejscowościach „C” i „J” w latach 2010-2020

Table 3. Arithmetic mean and median of the failure rate indicator in the villages of "C" and "J" in 2010-2020

Miejscowość	Średnia		Mediana	
	Przewody sieciowe	Przyłącza	Przewody sieciowe	Przyłącza
„C”	0,094	0,227	0,086	0,119
„J”	0,056	0,155	0,040	0,130

W przypadku przewodów sieciowych wartości zestawione w tabeli 3 są niższe od średniej i mediany podawanej w raporcie Izby Gospodarczej Wodociągi Polskie [4] – rys. 16. Jedynie wartości obliczone dla przyłączy w wodociągu w miejscowości „C” okazały się nieznacznie wyższe od średniej i mediany podanej w tym raporcie. Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, iż awaryjność przyłączy jest w większości wypadków wyższa niż przewodów sieciowych [15]. Tak niskie wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń mogłyby świadczyć o bardzo dobrym stanie technicznym obu rozpatrywanych wodociągów. Niestety w tym przypadku należy wziąć pod uwagę fakt, iż w wodociągach wiejskich często niewielkie rozszczelnienia przewodów i ich połączeń z armaturą pozostają niewykryte przez stosunkowo długi czas, stąd brak korelacji pomiędzy wartościami wskaźnika intensywności uszkodzeń a wielkością strat wody w poszczególnych latach. Wielkość tych strat sugeruje, że podobnie jest w przypadku analizowanych sieci wodociągowych.

A6 Awaryjność eksploatowanej sieci wodociągowej bez przyłączy



5. Podsumowanie

Znacząco większa długość przewodów wiejskich sieci wodociągowych niż w sieciach miejskich powoduje, że sumaryczna wielkość strat wody w tych wodociągach może być tam znacznie wyższa. Biorąc to pod uwagę warto wdrożyć prezentowane w artykule metody oceny wielkości strat także na poziomie wodociągów gminnych. Ocena wielkości strat wody daje możliwość oceny efektywności funkcjonowania sieci wodociągowych. Pośrednio daje także możliwość oceny stanu technicznego tych sieci. Porównanie wskaźników wielkości strat wody i wskaźnika intensywności uszkodzeń pozwala również na wskazanie czy w danej sieci wodociągowej występują niewykryte rozszczelnienia przewodów. Może to stanowić podstawę do podjęcia decyzji o przeprowadzeniu rozszerzonej diagnostyki sieci.

Zrealizowane obliczenia wykazały, że wartości wszystkich analizowanych wskaźników strat wody różnią się znacząco w dwóch przebadanych sieciach. Przy zachowaniu jednakowego standardu eksploatacji (to samo przedsiębiorstwo wodociągowe, podobne warunki klimatyczne i gruntowe) może za to odpowiadać zarówno wiek, jak i materiał, z jakiego zbudowano przewody. Znacząco wyższe wskaźniki strat wody w miejscowości „J” mogą świadczyć o tym, że za większość strat wody odpowiada część wodociągu zbudowana z rur AC. Warto byłoby przeprowadzić diagnostykę właśnie tego fragmentu sieci. ■

LITERATURA

- [1] Alegre H., Hirner W., Baptista J.M. and Parena r. 2000. "Performance Indicators for Water Supply Services". IWA Manual of Best Practice.
- [2] Alegre H., Baptista J. M., Cabrera Jr E., Cubillo F., Duarte P., Hirner W., Merkel W., Parena r. 2006. "Performance indicators for water supply services". Second Edition. IWA publishing.
- [3] AL-Washali T.M., Elkhider M.E., Sharma S.K., Kennedy M.D. 2020. "A review of nonrevenue water assessment software tools". Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 7(2), e1413.
- [4] Benchmarking: „Wyniki przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w Polsce za rok 2018”. Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, Bydgoszcz 2019.
- [5] Bergel T. 2011. „Analiza wskaźnikowa strat wody wodociągowej w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich w Polsce (cz. 1)”. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* (8): 346-348.
- [6] Bergel T. 2012). „Analiza wskaźnikowa strat wody wodociągowej w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich w Polsce (cz. 2)”. *Gaz Woda i Technika Sanitarna* (10): 413-415.
- [7] Dąbrowski W. 2006. „Porównaj swój wodociąg z innymi. Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociągowych i kanalizacyjnych 06”. Politechnika Śląska.
- [8] Denczew S., Królikowski A. 2002. „Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociągowych i kanalizacyjnych”. Arkady, Warszawa.
- [9] de Santi A.D., Cetrulo T.B., Malheiros T.F. 2021. „Water loss control practices in developing countries: a case study of a Brazilian region”. *Water Supply*, 21(2): 848-858.
- [10] Dohnalik P., Jędrzejewski Z. 2004. „Efektywna eksploatacja wodociągów”. LemTech Konsulting.
- [11] Frauendorfer R., Liemberger R. 2010. The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water. Asian Development Bank.
- [12] Hamilton S., McKenzie r. 2014. „Water Management and Water Loss”, IWA Publishing, London.
- [13] Klosok-Bazan I., Boguniewicz-Zablocka J., Suda A., Łukasiewicz E., Anders, D. 2021. „Assessment of leakage management in small water supplies using performance indicators”. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30): 41181-41190.
- [14] Kowalski D., Kowalska B., Suchorab P. 2022. „Smart water supply system: a quasi intelligent diagnostic method for a distribution network”. *Applied Water Science*, 12(6): 1-9.
- [15] Kwietniewski M. 2013. „Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych”, *Ochrona Środowiska* (4): 9-16.
- [16] Lambert A., Brown TG, Takizawa M, Weimer D .1999. „A review of performance indicators for real losses from water supply systems”. *Journal of Water SRT – Aqua*, 48(6): 227-237.
- [17] Lambert A., Charalambous B., Fantozzi M., Kovac J., Rizzo A., Galea St John S. 2014. „14 years experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe”, W: Proceedings of the IWA Water Loss Conference (International Water Association, Ed.), Vienna: Water Loss Specialist Group.
- [18] Lambert A., Hirner W.H. 2000. „Losses from water supply systems: Standard terminology and performance measures”, IWA website.
- [19] Lambert A., Taylor R. 2010. „Water loss guidelines” New Zealand, Water New Zealand.
- [20] Liemberger R. 2005. „The New German Water Loss Regulations in Context with Other International Applications of the IWA Water Balance and Real Loss Performance Indicators”. IWA Conference, Chile: IWA Conference, April 2005.
- [21] Liemberger R. 2010. „Recommendation for Initial Non Revenue Water Assessment.” *IWA Water Loss* (1): 1-13.
- [22] Mały Rocznik Statystyczny, Główny Urząd Statystyczny 1990 – 2021.
- [23] Merc K., Kędzia W., Ociepa E. 2017. „Analiza strat wody na podstawie wskaźników zalecanych przez International Water Association”. *Proceedings of ECOpole*, 11(1): 211-219.
- [24] Mierzyński S. 2021. „Ekonomicznie dopuszczalne straty wody”, *Wodociągi – Kanalizacja*: 9, 24-26.
- [25] Ociepa E., Molik R., Lach J. 2018. „Assessment of water loss level on the example of selected distribution systems”. W: E3S Web of Conferences, 44, 00131, EDP Sciences.
- [26] Ociepa E., Mrowiec M., Deska I. 2016. „Straty wody w systemach dystrybucji-przyczyny, określanie, działania na rzecz ograniczenia”. *Proceedings of ECOpole*, 10(1):247-255.
- [27] Rajasekhar B., Ramana V., Viswanadh K. 2018. „Assessment of non-revenue-water and its reduction measures in Urban water distribution systems”. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(6): 1079-1087.
- [28] Suchorab P., Kowalski D. 2021. „Water Resources Protection by Controlling Water Supply Network Leakages”. *International Journal of Conservation Science* 12, (Special Issue 1): 745-754.
- [29] Tchórzewska-Cieślak B., Pietrucha-Urbanik K., Szpak D. 2016. „Analiza bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę na obszarach wiejskich” *Inżynieria Ekologiczna*, (48): 208-213.
- [30] www.un.org.pl (dostęp: 09.12.2022).
- [31] Vishe J.K., Chaudhari P.P.S. 2019. „Quantitative Assessment of Non-Revenue Water and Reduction Strategies: A Case Study of Kulgaon-Badlapur Municipal Council, Maharashtra, India”. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(7): 875-882.
- [32] Żywiec J., Tchórzewska-Cieślak B. 2019. „Water loss analysis as an element of operation management of water supply system”. *Journal of KONBiN*, 49(2): 55-77.