

Analiza strat wody w sieci wodociągowej gminy Proszowice według wytycznych AWWA

Water loss analysis in the water supply network of the Proszowice Municipality according to AWWA guidelines

Łukasz Michalik^{1*} , Jarosław Bajer²

¹ Szkoła Doktorska – Inżynieria Środowiska, górnictwo i energetyka, Politechnika Krakowska

² Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Krakowska

* Kontakt / Correspondence: lukasz.michalik@doktorant.pk.edu.pl

Streszczenie:

Zasoby wodne Polski stają się w wyniku zmian klimatycznych coraz bardziej ograniczone. Powyższy fakt potęguje wyzwanie stojące przed przedsiębiorstwami wodociągowymi w Polsce, jakim jest staranie o poprawę nieefektywnego często rozprowadzania wody, wynikającego z istniejących nieszczelności sieci dystrybucyjnych. W zasadniczej części artykułu przedstawiono analizę strat wody w sieci wodociągowej gminy Proszowice w latach 2019–2024, przeprowadzoną przy pomocy programu „FWAS” w oparciu o wytyczne Amerykańskiego Stowarzyszenia Wodociągów AWWA (American Water Works Association). Wyniki wykazały zmienność strat wody oraz kluczowy wpływ ciśnienia w sieci, wpływającą na ich wielkość. Dokonano także oceny stanu technicznego proszowickiej sieci wodociągowej wg skali ocen proponowanej przez AWWA.

Słowa kluczowe: straty wody, sieć wodociągowa, AWWA, ciśnienie w sieci wodociągowej, monitoring sieci wodociągowej

Abstract:

As a result of climate change, Poland's water resources are becoming increasingly limited. This fact exacerbates the challenge faced by water utilities in Poland in their efforts to improve the often inefficient water distribution resulting from leaks in existing distribution networks. The main part of the article presents an analysis of water losses in the water supply network of the Proszowice municipality in the years 2019–2024, conducted using the "FWAS" software based on guidelines from the American Water Works Association (AWWA). The results demonstrated the variability of water losses and the crucial impact of network pressure on their volume. Additionally, an assessment of the technical condition of the Proszowice water supply network was carried out according to the rating scale proposed by the AWWA.

Keywords: water losses, water supply network, AWWA, water network pressure, water supply network monitoring

1. Wstęp

Efektywna pod względem ograniczania strat wody eksploatacja sieci dystrybucyjnych przez przedsiębiorstwa wodociągowe wiąże się z koniecznością ciągłego gromadzenia przez nie danych, których analiza w zależności od ich kompletności i dokładności, umożliwia wyznaczenie odpowiednich wskaźników charakteryzujących pod względem szczelności stan techniczny tych ważnych obiektów składowych systemów zaopatrzenia w wodę. Analiza taka pozwala również na wyciągnięcie stosownych wniosków i opracowanie odpowiednich strategii wykonywania prac remontowych, prowadząc jednocześnie do ograniczenia

ponadnormatywnych strat wody. W polskiej branżowej literaturze naukowo-technicznej można znaleźć szereg prac poruszających tę tematykę, ukazujących skalę problemu, jego skutki i sposoby ograniczania, a także potrzebę gromadzenia odpowiednich danych eksploatacyjnych [1–7]. W niniejszym artykule przedstawiono analizę wskaźników dotyczących głównie strat wody (wśród nich najważniejszego – Infrastrukturalnego Indeksu Wycieków *ILI*) dla sieci wodociągowej gminy Proszowice zarządzanej przez Wodociągi Proszowickie Sp. z o.o. Analizę przeprowadzono w oparciu o dane eksploatacyjne z lat 2019–2024 udostępnione przez Kierownictwo Przedsiębiorstwa i przetworzone przy pomocy programu „FWAS” (Free Water Audit Software)

opracowanego przez Amerykańskie Stowarzyszenie Wodociągów AWWA (American Water Works Association). Artykuł pokazuje również jak można oceniać straty wody w sieciach dystrybucyjnych zgodnie z wytycznymi amerykańskimi, co stanowi wartościowe dopełnienie tej tematyki, gdyż dotychczas w tym zakresie bardziej znane i powszechnie stosowane w Polsce są wytyczne europejskiego Międzynarodowego Stowarzyszenia Wodnego IWA (International Water Association).

2. Charakterystyka obiektu badań

Obiektem badań jest sieć wodociągowa gminy Proszowice (woj. małopolskie). Gmina ta ma charakter miejsko-wiejski, a siedzibą gminy jest miasto o tej samej nazwie – Proszowice (rys. 1). Współczesny system dystrybucji wody w jej obszarze opiera się na rozwiązaniach z drugiej połowy XX wieku. Obecnie za ujmowanie, uzdatnianie oraz dystrybucję wody odpowiada przedsiębiorstwo Wodociągi Proszowickie Sp. z o.o., które powstało w 2016 roku [8]. Spółka przeprowadziła kompleksową modernizację i rozbudowę zakładu uzdatniania wody (ZUW), w którym aktualnie procesy technologiczne obejmują m.in.: koagulację, sedimentację na wielostrumieniowych pakietach lamelowych, filtrację na złożach węgla aktywnego oraz dezynfekcję lampami UV. Przepustowość maksymalna stacji wynosi ok. 2880 m³/d [9]. W analizowanym okresie 2019–2024 liczba mieszkańców gminy Proszowice wykazywała trend spadkowy. Populacja zmniejszała się sukcesywnie od początku badanego okresu – od 16 187 osób w roku 2019 do 15 420 osób w 2024 roku, co pokazuje w sposób bardziej szczegółowy poniższa tabela (Tab. 1). Poza danymi o liczbie mieszkańców zawiera ona również długości sieci oraz liczbę przyłączy wodociągowych i hydrantów w podziale na tereny miejskie i wiejskie [10, 11].



Rys 1. Lokalizacja miasta Proszowice na mapie powiatowej województwa małopolskiego [12]

Fig 1. Location of the town of Proszowice on the county map of the Lesser Poland Voivodeship [12]

Tabela 1. Liczba mieszkańców gminy Proszowice w latach 2019–2024 wraz z podstawowymi danymi technicznymi analizowanej sieci wodociągowej [10, 11]
Table 1. Population of Proszowice Municipality, 2019–2024 along with basic technical data of the analyzed water supply network [10, 11]

Rok	Liczba miesz- kańców	Dł. sieci [km]	Hydranty [szt.]		Czynne przyłącza wodociągowe [szt.]	
			Tereny miejskie	Tereny wiejskie	Tereny miejskie	Tereny wiejskie
2019	16 187	219,4	1843	351	1132	2459
2020	15 863	219,4	1843	351	1141	2490
2021	15 800	219,4	1843	351	1146	2513
2022	15 657	219,4	1843	351	1153	2538
2023	15 528	219,4	1843	351	1155	2561
2024	15 420	219,4	1843	351	1157	2592

Powodem spadku liczby mieszkańców jest między innymi starzejące się społeczeństwo. Zjawisko to jest również efektem tzw. polaryzacji demograficznej, której przyczyną jest bliskość jednej z największych polskich aglomeracji jaką jest Kraków [13]. Zauważyć też można, że zarówno długość sieci wodociągowej jak i liczba hydrantów w analizowanym okresie pozostawała na stałym poziomie, ale jednocześnie następował stały wzrost liczby przyłączy wodociągowych, co skutkowało sukcesywnym dogęszczaniem infrastruktury.

Sieć dystrybucji wody w gminie Proszowice jest zasilana z ujęcia z pobliskiego cieku wodnego – rzeki Ścieklec. Ma ona charakter mieszany, w części miejskiej dominuje układ pierścieniowy, natomiast na terenach wiejskich układ promienisty. Teren gminy charakteryzuje się wielkościami niwelacji sięgającymi od ok. 200 do ok. 260 m n.p.m, przy czym miasto Proszowice położone jest na wysokości od ok. 200 do ok. 230 m n.p.m. Sieć wodociągowa na całej swojej długości jest klasyfikowana jako rozdzielcza.

3. Dane eksploatacyjne

Podstawą do opracowania niniejszego artykułu były dane udostępnione przez Wodociągi Proszowickie Sp. z o.o. Materiał badawczy obejmował, poza danymi zestawionymi już w tabeli 1, następujące wielkości z zakresu bilansu wody dla gminy Proszowice: ilość wody wtłoczonej do sieci wodociągowej, ilość wody dostarczonej do odbiorców, ilość wody pobranej na cele technologiczne oraz ilość wody sprzedanej hurtowo (tabela 2).

Tabela 2. Dane dotyczące bilansu wody w gminie Proszowice dla lat 2019–2024 [11]

Table 2. Water balance data in Proszowice Municipality for the years 2019–2024 [11]

Rok	Woda wtłoczona [tys. m ³]	Woda dost. do odb. [tys. m ³]	Woda na cele techn. [tys. m ³]	Woda eksport. [tys. m ³]
2019	763,6	491,3	25,7	8,5
2020	814,5	502,6	108	8,6
2021	741,0	485,7	90,2	8,9
2022	716,6	500,9	17,1	9,4
2023	767,4	482,4	17,6	9,6
2024	782,8	495,3	22,7	10,9

Dla pełnego obrazu warunków eksploatacyjnych sieci, w tabeli 3 zamieszczono dane dotyczące liczby awarii na proszowickiej sieci dystrybucji wody w każdym z lat badanego okresu, w rozbi-
ciu na tereny miejskie i wiejskie.

Tabela 3. Liczba awarii na sieci wodociągowej gminy Proszowice w latach 2019–2024 [11]
Table 3. Number of failures on the water supply network in Proszowice Municipality for the years 2019–2024 [11]

Rok	Obszary miejskie [szt.]	Obszary wiejskie [szt.]	Awarie łącznie [szt.]
2019	15	60	75
2020	13	61	74
2021	18	51	69
2022	2	27	29
2023	2	32	34
2024	2	41	43

Na ich podstawie można zauważyć wyraźny spadek liczby awarii w 2022 roku – szczególnie na terenach miejskich, gdzie w stosun-
ku do roku 2021 wyniósł on blisko 90%. Powyższe dane (tab. 2 i 3) stanowią materiał wyjściowy do przeprowadzenia oceny strat wo-
dy w sieci wodociągowej gminy Proszowice, w tym zgodnie z wy-
tycznymi AWWA.

4. Wstępna ocena wielkości strat wody w proszowickiej sieci wodociągowej

Zebrane dane umożliwiły przeprowadzenie ogólnego bilansu wody i obliczenie rzeczywistych wielkości strat wody w sieci jej dystrybucji za pomocą wzoru (1):

$$Ws = Wt - (Wd - Wtech - Wsp.) \tag{1}$$

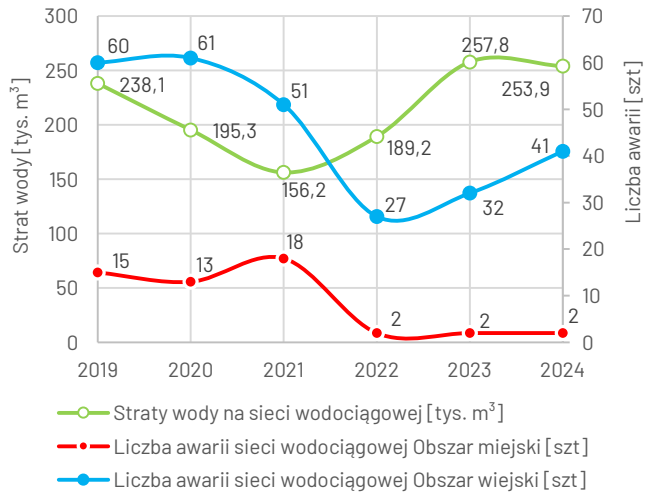
- gdzie:
- Ws – straty wody, tys. m³
 - Wt – woda wtłoczona do sieci wodociągowej, tys. m³
 - Wd – woda dostarczona do odbiorców końcowych, tys. m³
 - Wtech – ilość wody przeznaczona na cele technologiczne przed-
siębiorstwa wodociągowego, tys. m³
 - Wsp – woda sprzedana przez przedsiębiorstwo wodociągo-
we hurtowo, tys. m³

W tabeli 4 przedstawiono wyniki tych obliczeń, a na rysunku 2 ilu-
strowano zestawienie liczby uszkodzeń proszowickiej sieci wodo-
ciągowej z wielkością występujących w niej strat wody w danym
roku badanego okresu.

Tabela 4. Zestawienie wyliczonych strat wody w sieci jej dystrybucji w gminie Proszowice w latach 2019–2024 [11]
Table 4. Summary of calculated water losses in the distribution network of the Proszowice Municipality for the years 2019–2024 [11]

Rok	Woda wtłoczona do sieci (Wt) [tys. m³]	Zużycie autoryzowane (Wd+Wtech+Wp) [tys. m³]	Straty wody (Ws) [tys. m³]
2019	763,6	525,5	238,1
2020	814,5	619,2	195,3
2021	741,0	584,8	156,2
2022	716,6	527,4	189,2
2023	767,4	509,6	257,8
2024	782,8	528,9	253,9

Wielkość strat wody w sieci wodociągowej jest ściśle powiązana z liczbą występujących na niej awarii. Zazwyczaj im ta liczba jest wyż-
sza, tym wielkość strat wody wykazuje tendencję wzrostową [14, 15].



Rys 2. Zestawienie ilości wody utraconej w proszowickiej sieci wodociągowej z liczbą jej awarii w danym roku, z ich podziałem na tereny miejskie i wiejskie (opracowanie własne)
Fig 2. Comparison of water loss volume in the Proszowice water supply network with the number of failures per year broken down into urban and rural areas (own study)

Z wykresu strat wody wyraźnie widoczne są skutki działań pod-
jętych przez Przedsiębiorstwo wodociągowe w Proszowicach w celu ograniczenia strat wody w sieci dystrybucyjnej. Szczególnie zauważalne jest to w latach 2019–2022, pod koniec któ-
rych sumaryczna liczba awarii spadła do poziomu 29. Na osobną uwagę zasługuje rok 2021, w którym straty wody wyniosły 156,2 tys. m³, co jest wartością najniższą w całym analizowanym okresie, podczas gdy w roku tym sumaryczna liczba awarii nale-
ży do jednej z najwyższych. W kolejnych latach, pomimo zmniejszonej liczby awarii na sieci dystrybucji wody, wielkość strat wody uległa wzrostowi. Sytuacja ta mogła wynikać najpewniej z awarii rurociągów o większych średnicach, znajdujących się w strefie podwyższonego ciśnienia dyspozycyjnego, tj. zlokalizowanych np. bliżej stacji pomp, względnie na niższych obszarach.

5. Metodyka badań strat wody wg AWWA

Przedstawione dane stanowią punkt wyjścia do analizy stanu technicznego sieci wodociągowej gminy Proszowice z punktu wi-
dzenia jej szczelności. W celu kompleksowej oceny jej funkcjonowania zastosowano metodykę sporządzania rocznego bilansu wody i obliczania charakterystycznych wskaźników rekomendowanych przez amerykańską instytucję AWWA, w tym oprogramowanie „FWAS” – AWWA Free Water Audit Software v6.0, które pozwala na przedstawienie sumarycznego wyniku i ocenę bilansu wodnego dla każdego roku. Na rys. 3 przedstawiono przykładowe kryteria wraz z pytaniami zadawanymi przez program dotyczącymi sposobu zbierania danych, stanowiące jednocześnie podstawę do oceny stopnia ich dokładności. Na wstępie warto nadmienić, iż w wyżej wymie-
nionym programie, każdej z wprowadzanych danych przypisuje się wskaźnik dokładności (miarę zaufania do ich dokładności) w skali od 1 do 10, przy czym wartości najniższe odpowiadają danym o naj-
mniejszej dokładności, a najwyższe o największej [16].

Interactive Data Grading Responses

Billed Unmetered Authorized Consumption (BUAC) - Data Grading Criteria		go to notes
Criteria Question	Select Best-Fit Answers to All Visible Questions	
buac.0 Was there any billed consumption on unmetered accounts in the audit year?	Yes	
buac.1 What portion of billed accounts are unmetered (% by number of accounts)?	5% or less	
buac.2 Methodology to quantify consumption for unmetered accounts?	Extrapolated from similar customer groups in the utility's metered population, but limited is sample sizes	Limiting
buac.3 How frequently is unmetered customer consumption estimated?	Monthly	
FINAL DATA GRADE FOR THIS AUDIT INPUT:		5

Rys 3. Przykład kryteriów dla „BUAC” wraz z oceną danych na poziomie „5”. Zrzut ekranu z oprogramowania FWAS (opracowanie własne)

Fig 3. Example of criteria for "BUAC" with a data grading score of „5”. Screenshot from the FWAS software (own study)

W związku z brakiem na proshowickiej sieci wodociągowej opomiarowania w systemie ciągłym oraz brakiem szczegółowych informacji dotyczących sposobu gromadzenia części danych, przyjęto wartości tego wskaźnika z przedziału 4–6. Oznacza to, że np. składowe bilansu wody przyjmą w tej metodzie nieco inne wartości niż pochodzące z danych eksploatacyjnych, zatem i wyniki strat wody będą różniły się od tych obliczonych w pkt. 4 (metodą IWA). W oprogramowaniu AWWA FWAS v6.0 wielkości i wskaźniki opisujące straty wody wyznaczane są na podstawie wzorów matematycznych (2–9) przedstawionych w kolejnym podrozdziale [16].

5.1. Wielkości i wskaźniki opisujące straty wody w programie AWWA FWAS v6.0

Objętość strat całkowitych. Aby obliczyć wielkość rocznych strat całkowitych V_c należy zastosować wzór (2).

$$V_c = V_r + V_p \quad (2)$$

gdzie:

- V_c – objętość strat całkowitych wody, tys. m³/rok
- V_r – objętość strat rzeczywistych, tys. m³/rok
- V_p – objętość strat pozornych, tys. m³/rok

Objętość strat pozornych. Jest to wielkość opisująca między innymi objętości strat wody wynikłych z nieautoryzowanej konsumpcji, błędów pomiaru oraz odczytów z wodomierzy jak i błędów wynikłych w wyniku przetwarzania danych. Określa się je z zależności (3).

$$V_p = V_{nk} + V_{bp} + V_{pd} \quad (3)$$

gdzie:

- V_p – objętość strat pozornych, tys. m³/rok
- V_{nk} – objętość nieautoryzowanej konsumpcji, tys. m³/rok
- V_{bp} – objętość wynikająca z błędów pomiarowych, tys. m³/rok
- V_{pd} – objętość wynikająca z błędów generowanych niewłaściwym przetwarzaniem danych, tys. m³/rok

Objętość strat rzeczywistych. Ta wielkość obejmuje straty rzeczywiste, które stanowią największą część całkowitych strat wody. Są one możliwe do określenia wg zależności (4).

$$V_r = V_{str} + V_{zb} + V_{pw} \quad (4)$$

gdzie:

- V_r – objętość strat rzeczywistych, tys. m³/rok
- V_{str} – objętość wody, która została utracona w wyniku strat na sieci przesyłowej i rozdzielczej, tys. m³/rok
- V_{zb} – objętość wody utraconej w wyniku strat na zbiornikach wodociągowych, tys. m³/rok
- V_{pw} – objętość strat wody utraconej na przyłączach wodociągowych, tys. m³/rok

Wskaźnik objętości wody nieprzynoszącej dochodu. Wskaźnik ten opisuje ilość wody jaka nie została sprzedana przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Jest on wyrażony formułą (5) w wartości procentowej, dzięki czemu daje możliwość porównania istniejących sieci wodociągowych między sobą.

$$NRWB = \frac{(V_d - V_s) \cdot 100 \%}{V_d} \quad (5)$$

gdzie:

- $NRWB$ – wskaźnik objętości wody nieprzynoszącej dochodu, %
- V_d – objętość wody dostarczonej do sieci wodociągowej, tys. m³/rok
- V_s – objętość wody sprzedanej odbiorcom, tys. m³/rok

Wskaźnik jednostkowych strat całkowitych. Wskaźnik jednostkowych strat całkowitych wody jest wskaźnikiem mówiącym o wielkości strat wody przypadającej na daną liczbę przyłączy wodociągowych (6) lub też na daną długość sieci wodociągowej (7).

$$Wj I = \frac{V_c}{L_p} \quad (6)$$

gdzie:

- $Wj I$ – wskaźnik jednostkowych strat całkowitych typu I, tys. m³ rok · przyłączy
- V_c – objętość całkowita strat wody, tys. m³/rok
- L_p – liczba przyłączy wodociągowych, szt.

$$(7) \quad Wj II = \frac{V_c}{(M + R) \cdot 365}$$

gdzie:

- $Wj II$ – wskaźnik jednostkowych strat całkowitych typu II, tys. m³ rok · przyłączy
- V_c – objętość całkowita strat wody, tys. m³/rok
- M – długość badanej sieci wodociągowej magistralnej, km
- R – długość badanej sieci wodociągowej rozdzielczej, km

Wskaźnik strat nieuniknionych. Jest to wskaźnik, który opisuje wielkość strat wody jakie teoretycznie mogą być najmniejsze w sieci wodociągowej. Można go obliczyć ze wzoru (8).

$$U_{ARL} = (18 \cdot L_m + 0,8 \cdot N_c + 25 \cdot L_c) \cdot 0,365 \cdot p \quad (8)$$

gdzie:

- U_{ARL} – wskaźnik strat nieuniknionych, 3/rok
- L_m – długość badanej sieci wodociągowej wraz z odsadzkami hydrantowymi, km
- N_c – liczba aktywnych jak i nieaktywnych przyłączy wodociągowych, szt.
- L_c – całkowita długość przyłączy wodociągowych, km
- p – średnie ciśnienie wody w sieci wodociągowej, m sł. wody
- 18 – jednostkowy wyciek dla przewodów magistralnych oraz przewodów rozdzielczych, dm³/(km · doba · m sł. wody)

- 0,8 – jednostkowy wyciek przypadający na jedno podłączenie wodociągowe, dm³/(1 podłączenie · doba · m sł. wody)
- 25 – jednostkowy wyciek odniesiony do długości połączeń wodociągowych, dm³/(km · doba · m sł. wody)

Infrastrukturalny indeks wycieków (Infrastructure Leakage Index) ILI. Jest to wartość bezwymiarowa, która „uśrednia wyniki” rocznych strat rzeczywistych wody w stosunku do rocznych nieuniknionych strat wody. Im jest ona bliższa wartości „1” tym sieć wodociągowa jest w lepszym stanie technicznym ze względu na szczelność. Wskaźnik ten oblicza się za pomocą wzoru (9).

$$ILI = \frac{Vr}{UARL}$$

9

gdzie:
ILI – infrastrukturalny indeks wycieków (strat wody), -
Vr – objętość strat rzeczywistych wody dostarczonej do sieci wodociągowej, tys. m³/rok
UARL – wskaźnik rocznych strat nieuniknionych, tys. m³/rok
Zestawienie wartości ILI wraz z odpowiadającymi im stanami technicznym sieci wodociągowej według AWWA zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Klasyfikacją stanu technicznego sieci wodociągowych na podstawie wartości wskaźnika ILI według AWWA [1]
Table 5. Classification of the technical condition of water supply networks based on the ILI index range according to AWWA [1]

Stan sieci	Zakres wskaźnika ILI według AWWA
bardzo dobry	ILI ≤ 3,0
dobry	3,0 < ILI ≤ 5,0
słaby	5,0 < ILI ≤ 8,0
niedopuszczalny	ILI > 8

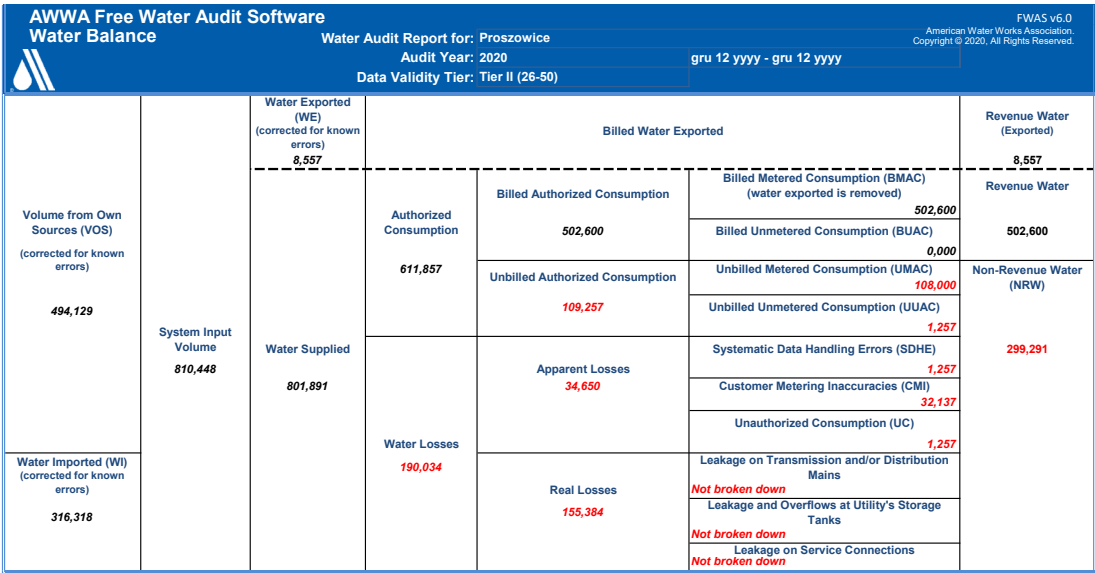
6. Wyniki i ich analiza

Wykorzystując dane eksploatacyjne pozyskane z Przedsiębiorstwa wodociągowego w gminie Proszowice, z nadanymi im poziomami zaufania do ich dokładności oraz stosując opisaną w rozdziale 2 metodykę bilansowania wskaźników wg AWWA i korzystając z oprogramowania AWWA FWAS v6.0, przeprowadzono analizę strat wody występujących w sieci wodociągowej tej gminy. Przykładowy zapis składowych rocznego bilansu wody dla 2020 roku obrazuje skan z programu (rys. 4), natomiast zbiorcze zestawienie składowych bilansu wodnego dla całego okresu 2019–2024 zamieszczono w tabeli 6. W kolejnej tabeli 7 przedstawiono wyniki obliczeń programem AWWA FWAS v6.0 wartości poszczególnych wielkości charakterystycznych bilansu wody dla sieci wodociągowej gminy Proszowice w latach 2019–2024. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o wzory (2–5).

Tabela 6. Składowe bilansu wodnego dla gminy Proszowice w latach 2019–2024 z uwzględnieniem przyjętych poziomów zaufania do ich dokładności (opracowanie własne)

Table 6. Water balance components for the Proszowice municipality taking into account the adopted levels regarding their accuracy for the years 2019–2024 (own study)

ROK	Woda wtłoczona do sieci [tys. m ³ /rok]	Woda import. [tys. m ³ /rok]	Woda eksport. [tys. m ³ /rok]	Autoryzowana konsumpcja [tys. m ³ /rok]	Straty wody [tys. m ³ /rok]
2019	759,801	269,950	8,458	518,228	233,115
2020	810,448	316,318	8,557	611,857	190,034
2021	737,313	235,224	8,856	577,114	151,343
2022	713,035	225,771	9,353	519,252	184,429
2023	763,582	294,03	9,552	501,206	252,824
2024	778,905	201,194	10,846	519,238	248,821



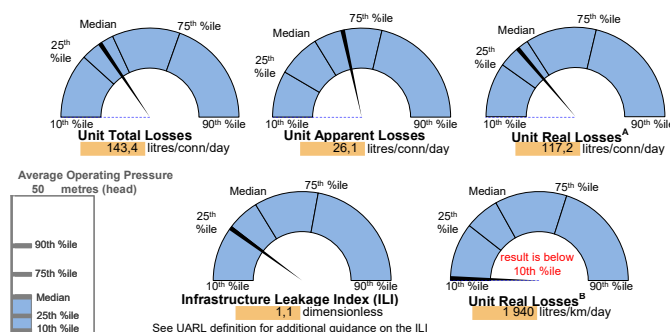
AWWA Free Water Audit Software v6.0 Water Balance 1

Rys 4. Skan z programu AWWA Free Water Audit Software v6.0 przedstawiający sumaryczny wynik bilansu wodnego dla wodociągu proszowickiego w 2020 roku (opracowanie własne)
Fig 4. Screenshot from AWWA Free Water Audit Software v6.0 showing the summary result of water balance result for the Proszowice water supply system in 2020(own study)

Tabela 7. Podstawowy bilans wodny dla sieci wodociągowej gminy Proszowice w latach 2019–2024 (opracowanie własne)
Table 7. Basic water balance for the water supply network of the Proszowice municipality in the years 2019–2024 (own study)

ROK	Fakturowana autoryz. konsump. [tys. m ³ /rok]	Niefakturowana autoryz. konsump. [tys. m ³ /rok]	Straty pozorne [tys. m ³ /rok]	Straty rzeczywiste [tys. m ³ /rok]	Woda przynosząca dochód [tys. m ³ /rok]	Woda nieprzynosząca dochodu [tys. m ³ /rok]
2019	491,300	26,928	29,667	203,426	491,300	260,043
2020	502,600	109,257	34,650	155,384	502,600	299,291
2021	485,700	91,414	32,739	118,604	485,700	242,758
2022	500,900	18,352	29,768	154,662	500,900	202,782
2023	482,400	18,806	28,728	224,096	482,400	271,630
2024	495,300	23,938	29,740	219,082	495,300	272,760

Powyższe wartości podstawowego bilansu wodnego, przeprowadzonego za pomocą programu AWWA FWAS v6.0, pokazują jak na przestrzeni sześciu lat zmieniał się on dla sieci wodociągowej gminy Proszowice. Można zauważyć, że o ile wolumen zafakturowanej autoryzowanej konsumpcji jest dość stabilny, to rzeczywiste straty wody ulegają sporym wahaniom. Ma to związek najprawdopodobniej z występującymi na sieci wodociągowej wahaniami liczby awarii oraz ich ewentualnej skali (średnice, na których nastąpiła awaria przewodów, wielkość wypływu). Na rys. 5 przedstawiono otrzymane z programu w formie wykresów wartości najważniejszych ze zdefiniowanych w pkt. 2 wskaźników charakteryzujących straty wody w sieci wodociągowej gminy Proszowice dla roku 2020 wraz z końcową oceną jej stanu technicznego dokonaną w oparciu o wartości wskaźnika ILI (rys. 5). W tabeli 8 zestawiono te wyniki uzyskane dla poszczególnych lat badanego okresu 2019–2024.



Rys 5. Wydruk z programu AWWA Free Water Audit Software v6.0 wyników obliczenia wartości najważniejszych wskaźników strat wody dla sieci wodociągowej gminy Proszowice dla 2020 roku (opracowanie własne)

Fig 5. AWWA Free Water Audit Software v6.0 the results of the key water supply network indicators for the Proszowice Municipality for 2020 (own study)

Tabela 8. Szczegółowy bilans strat wody w sieci wodociągowej gminy Proszowice w latach 2019–2024 wg metody AWWA wraz z jej oceną (opracowanie własne)

Table 8. Detailed balance of water consumption of the Proszowice municipality and losses using the AWWA method, including an assessment of the method for the 2019–2024 (own study)

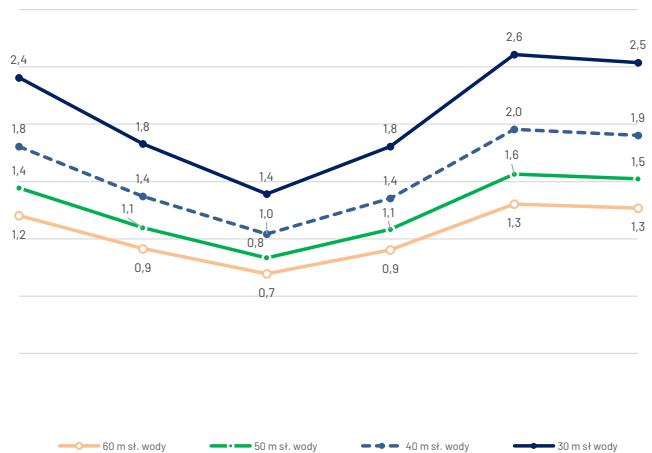
ROK	Straty rzeczywiste A [l/przyłącz/rok]	Straty pozorne [l/przyłącz/d]	Wj I Straty całkowite [l/przyłącz/d]	Wj II Straty rzeczywiste B [l/km/d]	UARL Straty nieuniknione [tys. m ³ /rok]	ILI
2019	155,3	22,6	177,9	2541	140,9	1,4 (bdb)
2020	117,2	26,1	143,4	1940	141,7	1,1 (bdb)
2021	88,8	24,5	113,3	1481	142,2	0,8 (bdb)
2022	114,8	22,1	136,9	1931	142,8	1,1 (bdb)
2023	165,2	21,2	186,4	2798	143,3	1,6 (bdb)
2024	160,1	21,7	181,8	2736	143,9	1,5 (bdb)

Mimo że uzyskane wartości wskaźnika ILI pozwalają ocenić stan techniczny proszowickiej sieci jako bardzo dobry, to należy pamiętać o pewnym ograniczeniu metodologicznym przeprowadzonej analizy. Kluczowym parametrem wpływającym na wartość nieuniknionych strat rzeczywistych jest średnie ciśnienie robocze w sieci wodociągowej, co bezpośrednio obrazuje wzór (8). W obliczeniach przyjęto, na podstawie informacji od Pracowników Przedsiębiorstwa wodociągowego w Proszowicach, stałą, uśrednioną dla całej sieci wartość ciśnienia na poziomie 50 m sł. wody (5 barów) we wszystkich latach analizowanego okresu. Przyjęcie niniejszego założenia wynikało z braku szczegółowych, ciągłych danych pomiarowych ciśnienia dyspozycyjnego dla danego rejonu sieci. W rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych ciśnienie w sieci wodociągowej ulega stałym wahaniom np. w cyklu dobowym (związanym np. ze zmiennością godzinowego rozbioru wody przez mieszkańców), co przedstawiono w tabeli 9. Zawiera ona wyniki obliczeń wartości UARL dla sieci wodociągowej gminy Proszowice, przeprowadzonych dla przyjętych kilku innych wartości ciśnienia niż założona 50 m sł. wody w obliczeniach podstawowych (jednej większej 60 i dwóch mniejszych 40 i 30 m sł. wody). Na ich podstawie obliczono wartości infrastrukturalnego wskaźnika wycieków (strat wody) ILI dla każdej z powyższych wartości ciśnienia, przy czym długość każdej z odsadzek hydrantowych, zarówno na terenach wiejskich jak i miejskich, przyjęto równą 5 m. Średnią długość przyłączy wodociągowych przyjęto jako 10 m, natomiast danych dotyczących liczby przyłączy nieaktywnych nie udało się pozyskać. Wyniki ilustruje rys. 6.

Tabela 9. UARL oraz ILI dla sieci wodociągowej gminy Proszowice w zależności od różnych wartości ciśnienia (opracowanie własne)

Table 9. UARL and ILI for the water supply network of the Proszowice municipality for different pressure (own study)

ROK	60 m sł. wody		50 m sł. wody		40 m sł. wody		30 m sł. wody	
	UARL	ILI	UARL	ILI	UARL	ILI	UARL	ILI
2019	169,1	1,2	140,9	1,4	112,7	1,8	84,5	2,4
2020	170,0	0,9	141,7	1,1	113,3	1,4	85,0	1,8
2021	170,6	0,7	142,2	0,8	113,7	1,0	85,3	1,4
2022	171,4	0,9	142,8	1,1	114,2	1,4	85,7	1,8
2023	171,9	1,3	143,3	1,6	114,6	2,0	86,0	2,6
2024	172,7	1,3	143,9	1,5	115,1	1,9	86,3	2,5



Rys 6. Zestawienie wartości ILI dla sieci wodociągowej gminy Proszowice dla różnych wartości panującego w niej ciśnienia dyspozycyjnego (opracowanie własne)

Fig 6. Comparison of ILI values for various available pressure values in the water supply network (own study)

Zważywszy na fakt, że według metody AWWA najwyższa wartość wskaźnika *ILI* dla uzyskania bardzo dobrej oceny technicznej badanej sieci wynosi 3,0, można zauważyć z przebiegu powyższych wykresów (rys. 6), że w całym analizowanym okresie wartość ta nie została przekroczona dla żadnego z wariantów wartości ciśnienia. Maksymalną wartość (2,6) odnotowano w roku 2023 przy najniższym ciśnieniu (30 m sł. wody), co w pełni uzasadnia wystawienie badanej sieci tak wysokiej oceny.

7. Podsumowanie i wnioski

Analiza strat wody w sieci wodociągowej gminy Proszowice, obsługiwanej przez Wodociągi Proszowickie Sp. z o. o. dla lat 2019–2024, przeprowadzona wg wytycznych AWWA, daje podstawę do sformułowania następujących wniosków:

1. **Zmienna produkcja wody przy stabilnym jej zużyciu przez odbiorców:** Ilość wody dostarczonej do odbiorców w analizowanym okresie wykazywała znaczącą stabilność, utrzymując się na poziomie około 490 tys. m³/rok, zauważalny jest natomiast brak stałości w przypadku ilości wody wtłoczonej do sieci, gdzie różnice pomiędzy

poszczególnymi latami sięgały nawet 100 tys. m³ (pomiędzy rokiem 2023 a 2021). Wahania te wynikały w sposób bezpośredni ze strat wody w sieci dystrybucyjnej, których to w szczytowym momencie odnotowano prawie 260 tys. m³, co spowodowało z kolei konieczność zwiększenia produkcji wody uzdatnionej w celu zapewnienia ciągłości dostaw wody do odbiorców końcowych.

2. **Brak liniowej zależności między liczbą awarii a wielkością strat:** Analiza wykazała brak logicznej, rosnącej zależności pomiędzy liczbą awarii na sieci a wielkością strat wody (w badanym okresie pojawiała się nawet zależność odwrotna, czego przyczyną mogą być rodzaje awarii, zróżnicowane co do skali rozmiarów i ich skutków).

3. **Bardzo dobry stan techniczny sieci wodociągowej Gminy Proszowice:** Stan techniczny sieci wodociągowej w gminie Proszowice w latach 2019–2024, oceniany za pomocą wskaźnika *ILI*, zgodnie z jego klasyfikacją podaną przez AWWA, okazał się „bardzo dobry” nawet w sytuacji, gdy do obliczenia jego wartości przyjmowano panujące w niej ciśnienia znacznie odbiegające od podanej przez Eksploatatora wartości 50 m sł. wody (miało to wpływ na poziom wartości strat nieuniknionych – wskaźnika *UARL* a zatem i wskaźnika *ILI*). Świadczy to o dużym marginesie wartości *ILI* zachowujących taką ocenę badanej sieci wodociągowej (mniejszych od 3,0), a zatem zaufania do jej poprawności.

4. **Kompleksowość i precyzja metodyki AWWA:** Przeprowadzona analiza dowodzi, że wytyczne AWWA stanowią skuteczne i wszechstronne narzędzie do oceny strat wody w sieciach jej dystrybucji. Metodyka ta wyróżnia się uwzględnieniem szerokiego zakresu czynników eksploatacyjnych oraz możliwością przypisania poszczególnym danym wejściowym poziomów ufności, co umożliwia uzyskanie bardziej wiarygodnych wyników obliczeń i przeprowadzenie rzetelnej, ale ostrożniejszej oceny stanu technicznego infrastruktury ze względu na jej szczelność.

Wymienione w artykule argumenty wskazują na aktualność i dużą wagę problematyki strat wody w sieciach wodociągowych, co też tłumaczy opracowywanie podobnych analiz dla innych polskich miast i gmin, głównie przez pracowników uczelni. Dotychczas są one jednak oparte w większości o wytyczne IWA, a autorzy niniejszej pracy pragną zarekomendować metodę sporządzania rocznego bilansu wody oraz obliczania wskaźników strat wody zalecaną przez AWWA. Jak wykazano powyżej, zapewnia ona wysoką precyzję (liczba uwzględnianych danych, ale z ostrożnym podejściem do ich dokładności), a same obliczenia są proste i możliwe do wykonania przy pomocy łatwo dostępnego programu komputerowego **AWWA Free Water Audit Software v6.0**, także przez samych eksploatatorów systemów wodociągowych, w rękach których są wszystkie potrzebne do tego dane. Autorzy zachęcają ich zatem do tego, gdyż wyniki tych obliczeń i ich analizy mogą dostarczać Kierownictwu przedsiębiorstw wodociągowych kluczowych informacji, ułatwiających sprawne i efektywne zarządzanie siecią oraz planowanie remontów, których realizacja pozwoli skutecznie ograniczyć straty wody.

8. Literatura

- [1] Bajer, J., & Iwanejko, R. (2013). Analiza i ocena strat wody w sieci wodociągowej miasta Krakowa. *Instal*, 10(344), 43-48.
- [2] Rak, J., & Tunia, A. (2012). Analiza i ocena strat wody w wodociągu Rzeszowa. *Instal. Teoria i Praktyka w Instalacjach*, (5), 42-45.
- [3] Studziński, A., Pietrucha-Urbanik, K., & Kluz, W. (2014). Analiza strat wody w sieci wodociągowej w Stalowej Woli. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 31(61), 333-342. <https://doi.org/10.7862/rb.2014.23>
- [4] Bajer, J., Lubowiecka, T., & Spaczyńska, M. (2004). Analiza awaryjności sieci wodociągowej miasta i gminy Wadowice. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 25-34.
- [5] Rak, J., & Misztal, A. (2017). Analiza strat wody w wodociągu miasta Jarosław. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, 34(64), 123-136. <https://doi.org/10.7862/rb.2017.198>
- [6] Ociepa, E., Mrowiec, M., & Deska, I. (2019). Analysis of water losses and assessment of initiatives aimed at their reduction in selected water supply systems. *Water*, 11(5), 1037. <https://doi.org/10.3390/w11051037>
- [7] 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. [https://doi.org/10.2429/proc.2017.11\(1\)023](https://doi.org/10.2429/proc.2017.11(1)023)
- [8] Urząd Gminy i Miasta Proszowice. (2024, 17 października). Nowa era w jakości wody w Proszowicach. https://proszowice.pl/aktualnosc-9193-nowa_era_w_jakosci_wody_w_proszowicach.html
- [9] Rejestr.io. (b.d.). Wodociągi Proszowickie Sp. z o.o. (KRS 0000601570). <https://rejestr.io/krs/601570/wodociagi-proszowickie>. (dostęp: 30.08.2026)
- [10] Główny Urząd Statystyczny. (b.d.). Bank Danych Lokalnych: jednostka terytorialna 1725. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/teryt/jednostka/1725> (dostęp: 30.08.2026)
- [11] Wodociągi Proszowickie Sp. z o.o. (b.d.). Dane przedsiębiorstwa wodociągowego [materiały niepublikowane].
- [12] WczasyPolskie.pl. (b.d.). Województwo małopolskie, mapa powiatów. <https://wczasypolskie.pl/wojewodztwo-malopolskie-mapa-powiatow>
- [13] Hrynkiewicz, J., Witkowski, J., & Potrykowska, A. (2019). *Migracje a sytuacja demograficzna Polski*. Rządowa Rada Ludnościowa.
- [14] Kutylowska, M. (2019). *Metody regresyjne i klasyfikacyjne w analizie i ocenie poziomu awaryjności przewodów wodociągowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [15] Piechurski, F. G., & Kuś, K. (2004). Znaczenie wskaźników awaryjności i strat wody w ocenie pracy sieci wodociągowych. W Materiały XVIII Krajowej, VI Międzynarodowej Konferencji „Zaopatrzenie w Wodę, Jakość i Ochrona Wód”
- [16] American Water Works Association. (2016). Water audits and loss control programs (AWWA Manual M36, 4th ed.). <https://www.normsplash.com/FreeDownload/143443926/AWWA-M36-16-en.pdf>