

Awaryjność sieci wodociągowych w województwach dolnośląskim i opolskim

Failure frequency of water supply networks in Dolnośląskie and Opolskie voivodeships

KAMIL ŚWIĘTOCHOWSKI

DOI 10.36119/15.2020.10.7

Liczba awarii sieci wodociągowej ma bezpośredni wpływ na wielkość strat rzeczywistych wody. Jedną z miar niezawodności systemu dystrybucji wody jest wskaźnik intensywności uszkodzeń. Wskaźnik intensywności uszkodzeń można stosować zarówno dla obiektów punktowych, jak i liniowych. Wskaźnik intensywności uszkodzeń stosuje się również do oceny grupy obiektów lub całych systemów. Celem niniejszego artykułu było sprawdzenie i przedstawienie oceny stopnia awaryjności systemów dystrybucji wody w jednostkach administracyjnych w województwie dolnośląskim i województwie opolskim w Polsce w latach 2015-2019, w oparciu o obliczone wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń. W artykule zaprezentowano wyniki analiz i klasyfikację powiatów obszaru badawczego pod względem klasy awaryjności. W dalszej części artykułu zaprezentowano uzyskane wyniki wskaźnika intensywności uszkodzeń w województwie dolnośląskim i województwie opolskim dla każdego roku oddzielnie. Uzyskane wyniki porównano ze średnią wartością wskaźnika intensywności uszkodzeń odnalezionej w literaturze.

Słowa kluczowe: straty wody, awarie sieci wodociągowej, geostatystyka

The number of failures and their frequency in the water supply system have a direct impact on the amount of actual water losses. The measure of the failure frequency of the water distribution system is the rate of damage intensity. The failure intensity index can be used for both point and line features. The failure intensity index is also used visually for groups of objects or entire systems. The aim of this article was to check and present the assessment of the failure rate of water distribution systems in administrative units in the Dolnośląskie Voivodeship and the Opolskie Voivodeship in Poland in 2015-2019 based on the calculated values of the failure intensity index. The article presents the results of analyses and the classification of counties of the research area in terms of the failure rate class. The next part of the article presents the results of the failure intensity index for each year separately for the Dolnośląskie and Opolskie Voivodeships. The obtained results were compared with the average value of the failure intensity index found in the literature.

Keywords: water loss, failure of water supply system, geostatistic

Wprowadzenie

Awarie sieci wodociągowej dotyczą obiektów punktowych takich jak hydranty czy zasowy oraz obiektów liniowych takich jak przewody sieci magistralnej lub rozdzielczej, przyłącza wodociągowe. W trakcie awarii dochodzi do wycieku wody z przewodu wodociągowego, przyczyniając się tym samym do powiększenia się objętości wody strat rzeczywistych zgodnie z metodologią bilansu wody w systemie dystrybucyjnym zalecaną przez IWA (International Water Association) [10]. Wycieki wody z systemu dystrybucyjnego mogą mieć charakter zgłoszonej awarii, niezgłoszonej awarii, strat tła

[5]. Zgłoszona awaria jest to najczęściej duży wyciek wody widoczny na powierzchni terenu. Skala uszkodzenia jest na tyle duża i powstaje na tyle szybko, iż może być ona zauważona przez systemy monitoringu jako nagły wzrost przepływu i/lub jednoczesny spadek ciśnienia. Niezgłoszone awarie lokalizowane są najczęściej w wyniku prowadzenia Aktywnej Kontroli Wycieków przy użyciu metod wykrywania i lokalizacji wycieków oraz sprzętu pomiarowego, np. loggery szumu do wytypowania stref wycieku, korelatory szumu do precyzyjnej lokalizacji awarii lub geofony do potwierdzania miejsca lokalizacji wyznaczonej przy pomocy korelatora [3,6,7,11,14]. Straty tła są to najczęściej

uszkodzenia połączeń rur i uzbrojenia sieci wodociągowej. Wycieki te są względnie stałe o bardzo małym natężeniu wypływu (nawet do 0,5 m³/h) bardzo trudne do znalezienia z uwagi na generowanie słabych szumów.

Najczęściej jako przyczynę wystąpienia awarii na sieci wodociągowej podaje się wiek przewodu. Jest to również jedno z ważnych kryteriów uwzględnianych przy wyborze odcinków sieci przeznaczonych do wymiany na nowe. Badania naukowe oraz rozwój technologii Systemów Informacji Przestrzennej (GIS) wspomagają proces podejmowania decyzji o przewodach do wymiany. Wśród kryteriów można wymienić [6]:

mgr inż. Kamil Świętochowski <https://orcid.org/0000-0003-0541-6745> – doktorant w Katedrze Wodociągów i Kanalizacji, Instytutu Inżynierii Środowiska i Energetyki Wydziału Budownictwa i Nauk o Środowisku Politechniki Białostockiej. Ekspert ds. systemów sanitarnych w Biurze Inżynierskim Wodnik Kamil Świętochowski. Katedra Wodociągów i Kanalizacji, Instytut Inżynierii Środowiska i Energetyki, Politechnika Białostocka, Białystok. Adres do korespondencji/ Corresponding author: k.swietochowski@doktoranci.pb.edu.pl

- wskaznik intensywności uszkodzeń,
- miejsce awarii,
- wiek przewodu,
- stan konstrukcyjny przewodu,
- odbarwienia wody spowodowane korozją przewodu,
- stan techniczny połączeń,
- wydajność hydrauliczna przewodu (wyznaczana w trakcie modelowania matematycznego).
- ocena ryzyka,
- lokalizacja przewodu w przestrzeni (np. droga krajowa, droga gminna, pas zieleni),
- znaczenie hydrauliczne przewodu w systemie dystrybucyjnym,
- wartość ciśnienia roboczego,
- typ gleby,
- potrzeby zwiększenia wydajności hydraulicznej.

Awaria sieci wodociągowej może dostarczyć informacji, które w przyszłości będą mogły posłużyć do identyfikacji potrzeby modernizacji systemu dystrybucyjnego. Do informacji niezbędnych do pozyskania w trakcie awarii można zaliczyć te związane z [1,2,4,7]:

- przewodem wodociągowym, np. materiał, średnica, funkcja, sposób łączenia,
- otoczeniem przewodu, np. typ gleby, obciążenie gruntu, lokalizacja w przestrzeni (droga, pas zieleni, itp.),
- eksploatacją, np. okoliczności uszkodzenia przewodu.

Opis badań

Obszar badawczy poddany analizie awaryjności sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych obejmował swoim zasięgiem województwa dolnośląskie i opolskie. Województwo dolnośląskie i opolskie położone są w południowo-zachodniej części Polski (rys. 1.). Na terenie województw znajdują się 42 powiaty (30

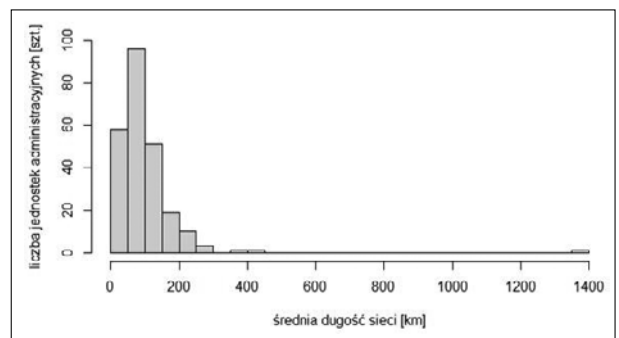


Rys. 1. Lokalizacja obszaru badawczego na tle Polski
Fig. 1. Location of the research area in comparison to Poland

w woj. dolnośląskim i 12 w woj. opolskim), w tym 5 miast na prawach powiatu (4 w woj. dolnośląskim i 1 w woj. opolskim). Województwo dolnośląskie składa się z 169 gmin (35 gmin miejskich, 56 gmin miejsko-wiejskich i 78 gmin wiejskich). Województwo opolskie składa się z 71 gmin (3 gmin miejskich, 33 gmin miejsko-wiejskich, 35 gmin wiejskich).

Średnia długość sieci wodociągowej w badanych obiektach wynosiła od 10 do 1389 km. Na rysunku nr 2 zaprezentowano udział badanych obiektów w przedziałach długości sieci wodociągowej. Najliczniej występują obiekty o długości sieci w przedziale od 0 do 150 km stanowiąc ponad 85% wszystkich obiektów. W województwie dolnośląskim 50% jednostek administracyjnych posiada sieć wodociągową mniejszą niż 69,6 km. 75% obiektów w woj. dolnośląskim posiada sieć wodociągową mniejszą niż 111,3 km. W województwie opolskim 50% jednostek administracyjnych posiada sieć wodociągową mniejszą niż 92,5 km. 75% obiektów w woj. opolskim posiada sieć wodociągową mniejszą niż 126,6 km.

Rys. 2. Średnia długość sieci wodociągowej jednostek administracyjnych województwa dolnośląskiego i województwa opolskiego w latach 2015-2019
Fig. 2. The average length of the water supply network of administrative units of the Lower Silesian and Opole voivodships in 2015-2019



Podstawowym parametrem charakteryzującym awaryjność przewodów wodociągowych jest wskaźnik intensywności uszkodzeń [9]. Wskaźniki intensywności uszkodzeń oblicza się dla obiektów liniowych i punktowych. W zależności od rodzaju obiektu stosuje się wzory:

1) jednostkowy wskaźnik intensywności uszkodzeń dla obiektów liniowych (przewody rozdzielcze, przyłącza wodociągowe) [8,13]:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{L \cdot \Delta t} \quad (1)$$

2) jednostkowy wskaźnik intensywności uszkodzeń dla obiektów punktowych (np. zasowy, hydranty) [8,13]:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t} \quad (2)$$

gdzie:

$\lambda(\Delta t)$ – jednostkowy wskaźnik intensywności uszkodzeń dla obiektów linio-

wych [uszk./km/rok] i innych [uszk./jedn./rok];

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

L – długość badanych przewodów w czasie Δt [km];

N – liczba badanych obiektów punktowych w przedziale czasu Δt ;

Δt – rozpatrywany przedział czasu [lata].

Obliczenia wskaźników intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych i powiatach województw dolnośląskiego i opolskiego dokonano na podstawie danych opublikowanych przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) dla lat 2015-2019 [20]. Obliczenia wskaźników intensywności uszkodzeń wykonano dla jednostek administracyjnych. Do oceny stopnia awaryjności sieci wodociągowej ustanowiono pięć przedziałów. Przedziały ustalono na podstawie uzyskanych wyników wartości wskaźników intensywności uszkodzeń oraz danych literaturowych [3,9,12,17]:

- niska awaryjność – $\lambda \leq 0,1$ [uszk./km/rok],

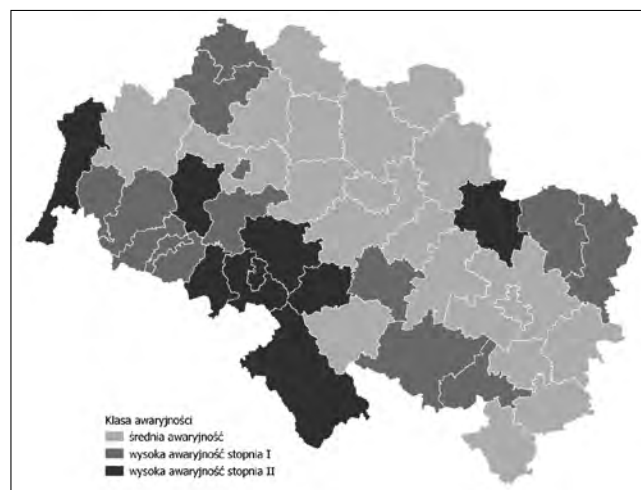
- średnia awaryjność – $0,1 < \lambda \leq 0,5$ [uszk./km/rok],
- wysoka awaryjność stopnia I – $0,5 < \lambda \leq 1,0$ [uszk./km/rok],
- wysoka awaryjność stopnia II – $1,0 < \lambda \leq 5,0$ [uszk./km/rok],
- wysoka awaryjność stopnia III – $5,0 < \lambda \leq 15,0$ [uszk./km/rok].

W dyskusji nad wynikami uzyskanymi z badań zostaną wykorzystane odniesienia do oceny stanu systemów dystrybucji wody wykonanych przez Bergela, który uzyskał wartość średniego wskaźnika intensywności uszkodzeń dla Polski wynoszącego $\lambda = 0,27$ uszk./km/rok [4]. Wartość ta została określona przez badacza na podstawie badań wykonanych w oparciu o informacje z 374 systemów wodociągowych. Średnia wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń w województwie podlaskim w latach 2015-2017 wyniosła 0,24 uszk./km/rok [12]. Analizy prowadzone dla północnej części Polski wykazały

medianę wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń na poziomie 0,15 uszk./km/rok w województwie pomorskim, 0,26 uszk./km/rok w województwie zachodniopomorskim [17]. Bardzo często zakres uzyskiwanych wyników wskaźnika intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych jest na tyle duży, że średnia wartość wskaźnika λ [uszk./km/rok] jest zawyżana względem ogólnej specyfiki badanego obszaru. W takich sytuacjach warto porównać wartości średnie z wartością mediany, która to opisuje wartość środkową całego analizowanego zbioru wyników [17].

Wyniki

Stosując metody opisane powyżej uzyskano wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych województw dolnośląskiego i opolskiego na przestrzeni lat 2015-2019. Dla każdej jednostki administracyjnej określono wartości minimalne, średnie i maksymalne wskaźników intensywności uszkodzeń. Postanowiono, iż zakwalifikowanie badanego powiatu do grupy danego stopnia awaryjności nastąpi w oparciu o najwyższą wartość wskaź-

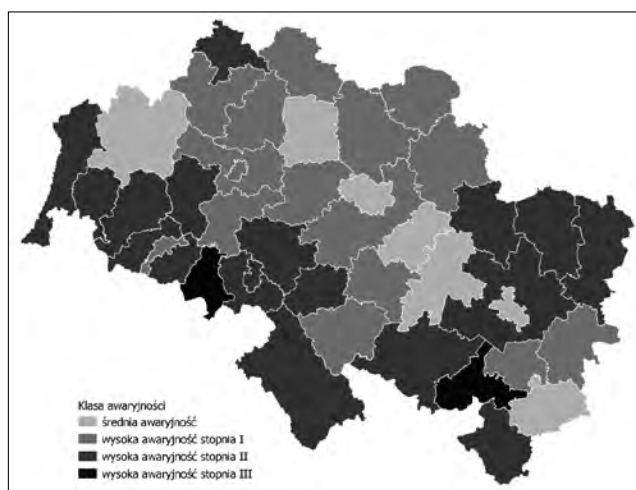


nika intensywności uszkodzeń uzyskaną dla jednostki administracyjnej badanego powiatu. Rysunek nr 3 prezentuje klasyfikację powiatów ze względu na maksymalną wartość uzyskaną z minimalnych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych badanych powiatów. Powiaty zostały zakwalifikowane do 3 klas awaryjności: średnia awaryjność (20 powiatów), wysoka awaryjność stopnia I (24 powiaty), wysoka awaryjność stopnia II (7 powiatów). 42,5% jednostek administracyjnych uzyskało wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w klasie średniej awaryjności, a 44,6% jednostek admini-

stracyjnych uzyskało wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w klasie wysokiej awaryjności stopnia I. Do klas wysokiej awaryjności stopnia II zakwalifikowano 12,9% jednostek administracyjnych.

Rysunek nr 4 prezentuje klasyfikację powiatów ze względu na maksymalną wartość uzyskaną ze średnich wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych badanych powiatów. Powiaty

Rys. 4. Klasyfikacja powiatów ze względu na maksymalną wartość ze średnich wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych Fig. 4. Classification of poviats due to the maximum value from the average values of the water network failure rate in administrative units



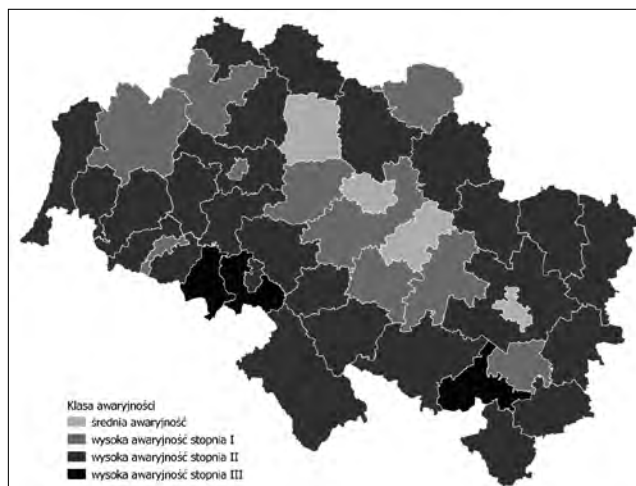
Rys. 3. Klasyfikacja powiatów ze względu na maksymalną wartość z minimalnych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych Fig. 3. Classification of poviats according to the maximum value from the minimum values of the water network failure rate in administrative units

zostały zakwalifikowane do 4 klas awaryjności: średnia awaryjność (7 powiatów), wysoka awaryjność stopnia I (16 powiatów), wysoka awaryjność stopnia II (17 powiatów), wysoka awaryjność stopnia III (2 powiaty). 16,3% jednostek administracyjnych uzyskało wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w klasie średniej awaryjności, a 60,8% jednostek administracyjnych uzyskało wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w klasie wysokiej awaryjności stopnia I.

Do klas wysokiej awaryjności stopnia II i III zakwalifikowano 22,9% jednostek administracyjnych.

Rysunek nr 5 prezentuje klasyfikację powiatów ze względu na maksymalną wartość uzyskaną z maksymalnych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych badanych powiatów. Powiaty zostały zakwalifikowane do 4 klas awaryjności: średnia awaryjność (4 powiaty), wysoka awaryjność stopnia I (10 powiatów), wysoka awaryjność stopnia II (25 powiatów), wysoka awaryjność stopnia III (3 powiaty). 7,9% jednostek administracyjnych uzyskało wskaźnik intensywności

Rys. 5. Klasyfikacja powiatów ze względu na maksymalną wartość z maksymalnych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w jednostkach administracyjnych Fig. 5. Classification of poviats due to the maximum value of the maximum value of the water network failure rate in administrative units



uszkodzeń sieci wodociągowej w klasie średniej awaryjności, a 56,7% jednostek administracyjnych uzyskało wskaźnik intensywności uszkodzeń sieci wodociągowej w klasie wysokiej awaryjności stopnia I. Do klas wysokiej awaryjności stopnia II i III zakwalifikowano 35,4% jednostek administracyjnych.

Poniżej zaprezentowano wyniki uzyskane w jednostkach administracyjnych w kolejnych analizowanych latach z okresu 2015-2019. Uzyskane wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w jednostkach ewidencyjnych zostały zebrane i przedstawiono ich rozkład w odniesieniu do województw obszaru badawczego dla każdego z lat 2015-2019. W trakcie analizy odrzucono uzyskane górne wartości ekstremalne większe niż $Q_3 + IQR_3$ oraz górne outliery większe niż $Q_3 + IQR_{1,5}$.

W roku 2015 (rys. 6) zakres uzyskanych wyników wskaźnika intensywności uszkodzeń λ [uszk./km/rok] wynosił od 0,00 uszk./km/rok do 13,66 uszk./km/rok dla województwa dolnośląskiego oraz od 0,00 uszk./km/rok do 1,93 uszk./km/rok dla województwa opolskiego. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w roku 2015 wyniosły $\lambda = 0,30$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz $\lambda = 0,18$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego. Wynik niebędący wartością ekstremalną lub wartością odstającą przekroczył wartość $\lambda = 1,27$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz nie przekroczył $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,87$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opolskim było mniejszych niż $\lambda = 0,40$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim było mniejszych niż $\lambda = 0,61$ uszk./km/rok. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim była wyższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opol-

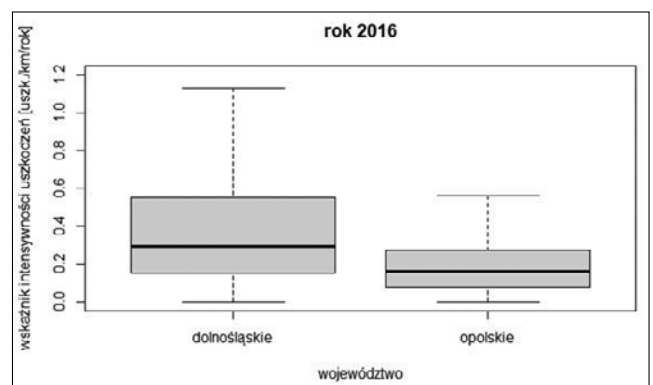
skim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela.

W roku 2016 (rys. 7.) zakres uzyskanych wyników wskaźnika intensywności uszkodzeń λ [uszk./km/rok] wynosił od 0,00 uszk./km/rok do 5,58 uszk./km/rok dla województwa dolnośląskiego oraz od 0,00 uszk./km/rok do 1,43 uszk./km/rok dla województwa opolskiego. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w roku 2016 wyniosły $\lambda = 0,29$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz $\lambda = 0,16$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego. Najwyższy wynik niebędący wartością ekstremalną lub wartością odstającą przekroczył wartość $\lambda = 1,13$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz nie przekroczył $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,56$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości

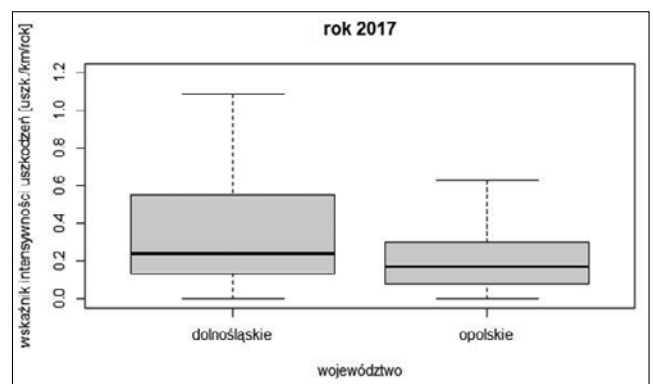
wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opolskim było mniejszych niż $\lambda = 0,29$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim było mniejszych niż $\lambda = 0,55$ uszk./km/rok. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim była wyższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opolskim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela.

W roku 2017 (Rys. 8.) zakres uzyskanych wyników wskaźnika intensywności uszkodzeń λ [uszk./km/rok] wynosił od 0,00 uszk./km/rok do 5,17 uszk./km/rok dla województwa dolnośląskiego oraz od 0,00 uszk./km/rok do 2,31 uszk./km/rok dla województwa opolskiego. Mediana

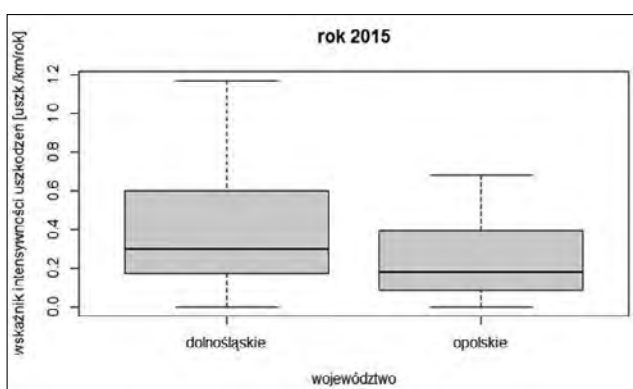
Rys. 7. Wskaźniki intensywności uszkodzeń w jednostkach administracyjnych województwa dolnośląskiego i województwa opolskiego w 2016 roku
Fig. 7. Damage intensity indicators in administrative units of the Dolnośląskie and Opolskie voivodships in 2016



Rys. 8. Wskaźniki intensywności uszkodzeń w jednostkach administracyjnych województwa dolnośląskiego i województwa opolskiego w 2017 roku
Fig. 8. Damage intensity indicators in administrative units of the Dolnośląskie and Opolskie voivodships in 2017



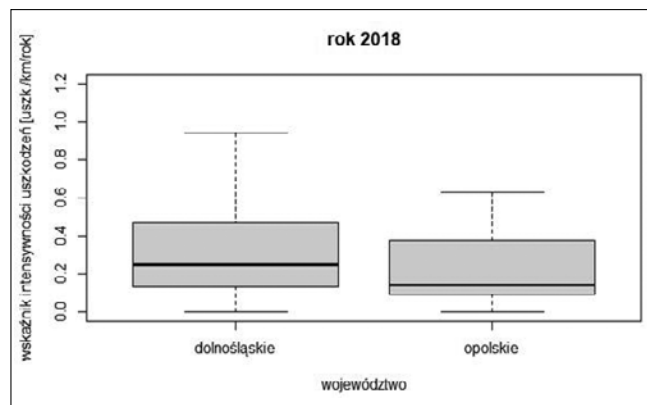
Rys. 6. Wskaźniki intensywności uszkodzeń w jednostkach administracyjnych województwa dolnośląskiego i województwa opolskiego w 2015 roku
Fig. 6. Damage intensity indicators in administrative units of Dolnośląskie and Opolskie voivodships in 2015



wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w roku 2017 wyniosły $\lambda = 0,24$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz $\lambda = 0,17$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego. Najwyższy wynik niebędący wartością ekstremalną lub wartością odstającą przekroczył wartość $\lambda = 1,09$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz nie przekroczył $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,63$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opolskim było mniejszych niż $\lambda = 0,31$ uszk./km/rok.

75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim było mniejszych niż $\lambda = 0,55$ uszk./km/rok. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim i woj. opolskim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela.

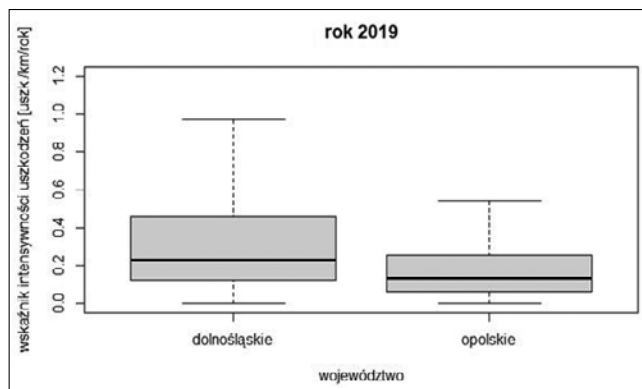
W roku 2018 (rys. 9.) zakres uzyskanych wyników wskaźnika intensywności uszkodzeń λ [uszk./km/rok] wynosił od 0,00 uszk./km/rok do 5,00 uszk./km/rok dla województwa dolnośląskiego oraz od



0,00 uszk./km/rok do 2,05 uszk./km/rok dla województwa opolskiego. Mediany wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w roku 2018 wyniosły $\lambda = 0,25$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz $\lambda = 0,14$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego. Najwyższy wynik niebędący wartością ekstremalną lub wartością odstającą nie przekroczył wartość $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,94$ uszk./km/rok oraz nie przekroczył $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,63$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opolskim było mniejszych niż $\lambda = 0,38$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim było mniejszych niż $\lambda = 0,47$ uszk./km/rok. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim i woj. opolskim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela.

W roku 2019 (rys. 10.) zakres uzyskanych wyników wskaźnika intensywności uszkodzeń λ [uszk./km/rok] wynosił od 0,00 uszk./km/rok do 4,8 uszk./km/rok dla województwa dolnośląskiego oraz od 0,00 uszk./km/rok do 2,04 uszk./km/rok dla województwa opolskiego. Mediany wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w roku 2019 wyniosły $\lambda = 0,23$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego oraz

Rys. 10. Wskaźniki intensywności uszkodzeń w jednostkach administracyjnych województwa dolnośląskiego i województwa opolskiego w 2019 roku Fig. 10. Damage intensity indicators in administrative units of the Dolnośląskie and Opolskie voivodships in 2019



Rys. 9. Wskaźniki intensywności uszkodzeń w jednostkach administracyjnych województwa dolnośląskiego i województwa opolskiego w 2018 roku Fig. 9. Damage intensity indicators in administrative units of Dolnośląskie and Opolskie voivodships in 2018

$\lambda = 0,13$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego. Najwyższy wynik niebędący wartością ekstremalną lub wartością odstającą nie przekroczył wartość $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. dolnośląskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,97$ uszk./km/rok oraz nie przekroczył $\lambda = 1,00$ uszk./km/rok dla woj. opolskiego uzyskując wartość $\lambda = 0,54$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. opolskim było mniejszych niż $\lambda = 0,26$ uszk./km/rok. 75% uzyskanych wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim było mniejszych niż $\lambda = 0,47$ uszk./km/rok. Mediana wartości wskaźnika intensywności uszkodzeń w woj. dolnośląskim i woj. opolskim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela. W roku 2019 mediana osiągnęła najniższą wartość w badanym okresie lat 2015-2019.

Podsumowanie i wnioski

W artykule przeprowadzono klasyfikację systemów wodociagowych jednostek administracyjnych województw dolnośląskiego i opolskiego na podstawie wyników obliczeń wskaźnika intensywności uszkodzeń. Obliczenia wartości wskaźników intensywności uszkodzeń przeprowadzono na podstawie pozyskanych danych z GUS dla okresu 5 lat między rokiem 2015 a 2019. Obliczenia wykonano dla

2 województw składających się z 42 powiatów, w tym 240 gmin.

Przyjęto zasadę, iż powiat zostaje przyporządkowany do klasy awaryjności zgodnie z najgorszym wynikiem gminy wchodzącej w jego skład. Biorąc pod uwagę najniższe wartości wskaźników intensywności uszkodzeń osiągnięte w latach 2015-2019, powiaty zostały zaklasyfikowane do 3 klas. Żaden z powiatów nie został przyporządkowany do klasy niskiej awaryjności sieci oraz wysokiej awaryjności stopnia III. Biorąc pod uwagę średnie i najwyższe wartości wskaźników intensywności uszkodzeń osiągnięte w latach 2015-2019 powiaty zostały zaklasyfikowane do 4 klas. Żaden z powiatów nie został przyporządkowany do klasy niskiej awaryjności sieci.

Analizując wartości wskaźników intensywności uszkodzeń w poszczególnych latach 2015-2019 obliczone dla jednostek administracyjnych można zauważyć, iż największe wartości były uzyskiwane w roku 2015 i podlegały stopniowej poprawie, osiągając najlepsze wyniki w roku 2019. Od roku 2017 mediana wartości wskaźników intensywności uszkodzeń w województwie opolskim i dolnośląskim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela dla Polski. W całym badanym okresie mediana wskaźnika intensywności uszkodzeń w województwie opolskim była niższa niż średni wskaźnik intensywności uszkodzeń opracowany przez Bergela dla Polski.

Zakres uzyskanych maksymalnych wyników wartości wskaźników intensywności uszkodzeń w województwie opolskim zawierał się między 1,43 a 2,31 uszk./km/rok. oraz między 4,8 a 5,58 uszk./km/rok w województwie dolnośląskim. Wyjątek stanowił rok 2015, gdy w województwie dolnośląskim maksymalna wartość wskaźnika intensywności uszkodzeń wyniosła 13,66 uszk./km/rok.

Na podstawie przeprowadzonych prac można stwierdzić, iż przy otrzymaniu dużego zakresu wartości wskaźnika inten-

sywności uszkodzeń warto porównywać wartość mediany zbioru niż wartość średnią zbioru. Poziom awaryjności w województwach na przestrzeni lat 2015-2019 uległ poprawie. Mimo dużych wartości ekstremalnych dla pojedynczych jednostek administracyjnych stan awaryjności w województwach dolnośląskim i opolskim należy zakwalifikować jako średnią klasę awaryjności (75% jednostek administracyjnych w każdym roku z lata 2016-2019 charakteryzowało się wartością wskaźnika intensywności uszkodzeń poniżej 0,5 uszk./km/rok.).

Przeprowadzone badania uzupełniają stan wiedzy o awaryjności sieci wodociągowych w Polsce o kolejne dwa województwa w okresie lat 2015-2019. Dla jednostek administracyjnych, które zakwalifikowano do klasy wysokiej awaryjności stopni I-III sugeruje się przeprowadzenie odrębnych analiz i podjęcie prób zmniejszenia awaryjności systemu dystrybucyjnego wody. Do wstępnej analizy niezawodności systemu wodociągowego można używać wskaźnika intensywności uszkodzeń, ale w przypadku stwierdzenia wysokiej intensywności uszkodzeń w systemie wodociągowym należałoby wykonać pełne analizy niezawodności w oparciu

o zalecenia i opublikowane wyniki analiz w literaturze tematu [8,15-19, 21]

LITERATURA

- [1] Bajer J., Knapik K. 2011. Wodociągi. Politechnika Krakowska, Kraków
- [2] Bauer A., Dietze G., Müller W., Soiné K.J., Weideling D., 2005. Poradnik eksploatatora systemów zaopatrzenia w wodę. Wydawnictwo „Seidel – Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa.
- [3] Bergel T., Kaczor G., Bugajski P. 2013. Stan techniczny sieci wodociągowych w małych wodociągach województwa małopolskiego i podkarpackiego. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr 3/IV/2013, PAN, Oddział w Krakowie: 291–304
- [4] Berger M., Ways M. 2003. Poszukiwanie przecieków sieci wodociągowej. Wyd. „Seidel – Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa.
- [5] Delgado D.M., 2008. Infrastructure Leakage Index (ILI) as a Regulatory and Provider Tool, University of Arizona
- [6] Fanner P.V. i inni 2007. Leakage Management Technologies, Awwa Research Foundation
- [7] Kunkel G.: Sturm R., Thornton J. 2008. Water Loss Control. The McGraw-Hill Companies
- [8] Kwietniewski M., Roman M., Kloss-Trębaczkiwicz H. Niezawodność wodociągów i kanalizacji. Arkady, Warszawa 1993.
- [9] Kwietniewski M. 2013. Zastosowanie wskaźników strat wody do oceny efektywności jej dystrybucji w systemach wodociągowych. Ochrona środowiska, Vol. 35, nr 4, 9-15.
- [10] Lambert A., Hirner W. 2000. The blue pages the IWA information source on drinking water issues. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures, IWA .
- [11] Misiunas D. 2005. Failure Monitoring and Asset Condition Assessment in Water Supply Systems. Lund.
- [12] Gwoździej-Mazur J., Świętochowski K. 2019. Failure frequency of water supply networks in the Podlaskie voivodeship. E3S Web of Conferences. 100.00025.10.1051/e3sconf/201910000025.
- [13] Praca zbiorowa pod redakcją Kwietniewski M., Tłoczek M., Wysocki L. 2011. Zasady doboru rozwiązań materiałowo – konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, Bydgoszcz.
- [14] Pilcher R. 2003. Leak detection practices and techniques: a practical approach. WATER21,44-45.
- [15] Rak J.R. 2014. Wybrane aspekty badania awarii sieci wodociągowej, Technologia Wody 4(36), 14-17.
- [16] Rak J. R., Tchórzewska-Cieślak B., Żywiec J. 2019. Nowy segment estymatorów wskaźników niezawodności operatora systemu wodociągowego. Instal, 4, 40-43.
- [17] Świętochowski, K. 2020. Awarie sieci wodociągowych w północnej Polsce. Technologia Wody, Nr 6 (68)
- [18] Wiczyński A. 1990. Niezawodność systemów wodociągowych i kanalizacyjnych Cz. I i II, Teoria niezawodności i jej zastosowania, Skrypt Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- [19] Wiczyński A. 2001. Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Kraków.
- [20] www.stat.gov.pl
- [21] Zimoch I., Czopik Ł. 2018. Analiza awaryjności sieci wodociągowej jako element zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie wodociągowym. Instal, 5, 49-53.