

Porównanie klas stanu technicznego dwu różnych zbiorów kamionkowych przewodów kanalizacyjnych

Comparison of the technical condition classes of two different collections of vitrified clay sewer pipes

EMILIA KULICZKOWSKA, KATARZYNA WIJAS

DOI 10.36119/15.2022.10.5

W artykule przedstawiono rezultaty analizy wyników badań CCTV dwóch zbiorów długo eksploatowanych kamionkowych przewodów kanalizacji sanitarnej w różnych miastach w Polsce. Celem przeprowadzonej analizy było sprawdzenie, czy występowały różnice w rozkładzie przyporządkowania klas stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych w analizowanych zbiorach. Sformułowano wnioski wskazujące, czy zbiory różniły się pod względem planowanych terminów odnowy w zakresie kryterium hydrauliczno-eksploatacyjnego, zagrożeń środowiska i bezpieczeństwa konstrukcji.

Słowa kluczowe: rury kamionkowe, stan techniczny, planowanie działań zaradczych, analiza regresji, kryterium informacyjne Bayesa

The paper presents the results of the analysis of CCTV studies of two collections of long-operated vitrified clay sanitary sewer pipes in various cities in Poland. The aim of the analysis was to check whether there were differences in the distribution of the assignment of technical condition classes to sewer pipes in the analyzed sets. Conclusions were formulated whether the collections differed in terms of the planned renewal dates in terms of the hydraulic and operational criterion, environmental hazards and construction safety.

Keywords: vitrified clay sewer pipes, technical condition, planning of remedial actions, regression analysis, Bayesian Information Criterion

Wprowadzenie

Wiedza na temat stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych jest bardzo istotna w planowaniu działań zaradczych przez przedsiębiorstwa zarządzające sieciami kanalizacyjnymi. Pozwala z odpowiednim wyprzedzeniem zaplanować ich odnowę, konserwację, czy też wymianę, z uwzględnieniem możliwości finansowych. W pierwszej kolejności przeprowadza się badania, najczęściej z zastosowaniem zdalnie sterowanej kamery (CCTV), a następnie ocenę stanu technicznego kanałów [13, 20]. W Polsce badaniami stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych zajmują się przedsiębiorstwa sprawujące nad nimi pieczę, ale także pracownicy naukowcy, którzy publikują ich wyniki, dzięki czemu ogólny stan polskich sieci kanalizacyjnych jest coraz lepiej rozpoznany. Przez Politechnikę Świętokrzyską

badania CCTV przewodów kanalizacyjnych są wykonywane od 30 lat [4 – 12, 16, 18]. Analizy stanu technicznego przewodów wykonywane były także przez inne uczelnie, m. in. we Wrocławiu [19, 20, 22], Krakowie [3], Warszawie czy Poznaniu [1]. Również za granicą prowadzone są badania stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych. Dla przykładu, w [24 – 25] zbadano 39970 m kanałów sanitarnych z kamionki, a wyniki tychże badań wykorzystano do opracowania modelu do prognozowania stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych.

Uszkodzenie przewodu kanalizacyjnego jest przejściem ze stanu zdatności do stanu niezdatności [20], który rozumiany jest jako niespełnienie wymagań stawianych przewodowi. Na podstawie przeprowadzonych badań CCTV, dzięki którym możliwe jest zaobserwowanie nieprawidłowości występujących wewnątrz przewodu,

każdemu z nich nadawana jest klasa stanu technicznego (najczęściej jedna z pięciu lub sześciu, w zależności od przyjętej klasyfikacji), w oparciu o którą możliwe jest ustalenie przybliżonego terminu koniecznych działań zaradczych. Przykładem klasyfikacji umożliwiającej przeprowadzenie takiej ewaluacji jest propozycja zamieszczona w [6], bazująca na niemieckich wytycznych ATV – M 149. Na jej podstawie każdemu zbadanemu odcinkowi można przyporządkować jedną z sześciu klas stanu technicznego (od 0 do V) ze względu na trzy kryteria, tzn.: hydrauliczno – eksploatacyjne (KH), zagrożeń środowiska (KS) oraz bezpieczeństwa konstrukcji (KB).

Na podstawie pierwszego kryterium – KH – możliwe jest planowanie prac związanych z czyszczeniem i udrażnianiem przewodów, bowiem kryterium to dotyczy nieprawidłowości stanowiących przeszkodę w przepływie ścieków (np. osad,

dr hab. inż. Emilia Kuliczowska, prof. PŚK <https://orcid.org/0000-0001-5807-860X>, email: emkulicz@tu.kielce.pl,
mgr inż. Katarzyna Wijas <https://orcid.org/0000-0002-6355-177X> – Katedra Inżynierii Sanitarnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Świętokrzyska, email: kbaba@tu.kielce.pl

przerastające korzenie). Drugie kryterium – KS – obejmuje uszkodzenia stnowięcia i potwierdzające występowanie nieszczelności (np. infiltracja, przemieszczenia rur). Na jego podstawie można planować naprawy związane z uszczelnieniem, np. zainstalowanie powłoki za pomocą pakera w miejscu nieszczelnego złącza rur [13]. Ostatnie kryterium – KB – odnosi się do uszkodzeń konstrukcji przewodu (np. rysy i pęknięcia, ubytki ścian). Na podstawie tego kryterium planuje się rekonstrukcję lub wymianę przewodów.

Materiały i metoda analizy danych

Rury kamionkowe były bardzo często wybieranym materiałem do budowy sieci kanalizacyjnych. Charakteryzują się wieloma zaletami [14, 20] i są przez inwestorów wciąż bardzo często wybierane. Rury nowej generacji wykazują odporność na niekorzystne oddziaływanie ścieków i gazów kanałowych, długoletnią szczelność (przy zastosowaniu odpowiednio dobranych uszczelnień gumowych lub poliuretanowych), lub wysoką wytrzymałość (niekiedy nawet dwukrotnie wyższą od produkowanych dawniej) [15]. Co więcej, wykonane są z naturalnych materiałów, a do ich wyprodukowania potrzebna jest mniejsza ilość energii niż do wyprodukowania np. rur z tworzyw sztucznych. Potwierdza to korzystne aspekty ekologiczne związane ze zużyciem energii i emisją gazów cieplarnianych [17]. Należy podkreślić, że poprawnie wybudowane kanały kamionkowe, ułożone ponad zwierciadłem wód gruntowych, w pobliżu których nie rosną drzewa, pomimo ponad 100-letniej eksploatacji nie wykazują żadnych bądź niewielkie uszkodzenia [11]. Pogorszenie stanu technicznego rur kamionkowych nie zależy od wieku kanałów, pod warunkiem że rury są właściwie zaprojektowane i wbudowane, bez uszkodzeń podczas instalacji [9, 11, 24]. Rury takie, oprócz ich stosowania w technologii tradycyjnej budowy, znajdują również zastosowanie w technologiach bezwykopowej budowy [15], jak również wymiany [17] przewodów kanalizacyjnych.

Problem z awaryjnością przewodów kanalizacyjnych na przestrzeni lat wciąż występuje, głównie w odniesieniu do kanałów, które są już długo eksploatowane. Interesujące może być pytanie, czy w ujęciu statystycznym można zaobserwować różnice w rozkładzie przyporządkowywania przewodów do poszczególnych klas stanu technicznego kanałów z dwu różnych zbiorów o tej samej długości. Celem artykułu jest przedstawienie, jakie

były proponowane terminy działań zaradczych dla kanałów ujętych w każdym z tych dwu analizowanych zbiorów, a także czy występowały różnice w rozkładzie częstości występowania (udziale procentowym) odcinków przewodów kanalizacyjnych w poszczególnych klasach stanu technicznego. Jest to pierwsze w Polsce porównanie tak dużych zbiorów danych dotyczących stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych wykonanych z tego samego materiału rur.

Przedmiotem badań są wyniki analizy i oceny wewnętrznego stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych kamionkowych sanitarnych starej generacji, stanowiące dwa zbiory danych, nazwane na potrzeby analiz KAMIONKA 1 (K1) oraz KAMIONKA 2 (K2). Oba zbiory dotyczą kanałów dawno ułożonych w gruncie i wytypowanych do badań z powodu pojawiających się problemów eksploatacyjnych. Najważniejsze informacje dotyczące porównywanych zbiorów przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Dane dotyczące porównywanych zbiorów wyników badań

Tab. 1. Data concerning the compared sets of test results

	KAMIONKA 1 (K1)	KAMIONKA 2 (K2)
Rodzaj kanalizacji	sanitarna	sanitarna
Liczba miast / miejscowości	19	19
Zakres średnic [mm]	200 – 600	200 – 500
Łączna długość zbadanych przewodów [m]	14 897,1	14 897,1
Liczba odcinków [szt.]	363	422
Termin przeprowadzania inspekcji telewizyjnej [lata]	2003 – 2017	1991 – 2000

Zbiór KAMIONKA 1 obejmuje wyniki badań stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych, prowadzonych w latach 2003 – 2017 przez przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjne oraz firmy prywatne. Część wyników przeprowadzonych analiz została przedstawiona w [10, 12]. Inspekcję CCTV kanałów ze zbioru KAMIONKA 2 przeprowadzono w latach 1991 – 2000 przez pracowników Politechniki Świętokrzyskiej. Wyniki tych badań zostały opublikowane m. in. w [6]. Należy podkreślić, iż były to dwa odrębne zbiory przewodów kanalizacyjnych. Nie dotyczyły one inspekcji tych samych przewodów przeprowadzonych w różnych latach. Łączna długość zbadanych kanałów w obu zbiorach była jednakowa i celowo tak dobrana, by umożliwić ich porównanie.

Możliwe było porównanie zbiorów wyników badań, ponieważ metoda kodo-

wania uszkodzeń i oceny stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych była w przypadku obu zbiorów taka sama, tzn. zastosowano propozycję klasyfikacji zamieszczoną w [6]. Wprowadzono jednak inwersję klas, tzn. klasa 0 i I dotyczy najlepszego, zaś klasa V – najgorszego, najbardziej poważnego stanu technicznego:

- klasa 0 – w przewodach nie zaobserwowano żadnych nieprawidłowości,
- klasa I – kanały nie wymagają rehabilitacji / konserwacji, występują w nich niewielkie uszkodzenia,
- klasa II – rehabilitację lub działania konserwacyjne przewodów należy podjąć w okresie długoterminowym,
- klasa III – rehabilitację lub działania konserwacyjne przewodów należy podjąć w okresie średnioterminowym,
- klasa IV – rehabilitację lub działania konserwacyjne przewodów należy podjąć w okresie krótkoterminowym,
- klasa V – kanały wymagają rehabilitacji lub działań konserwacyjnych w trybie natychmiastowym.

W tabeli 2 przedstawiono dane stanowiące przedmiot prowadzonych analiz. Obejmują one udział procentowy odcinków w poszczególnych klasach stanu technicznego według kryteriów: hydrauliczno – eksploatacyjnego (KH), zagrożeń środowiska (KS) oraz bezpieczeństwa konstrukcji (KB), w porównywanych zbiorach K1 i K2.

Analizę danych przeprowadzono z zastosowaniem pakietu statystycznego R 4.1.1 [23]. W celu porównania wyników badań ze zbiorów K1 i K2 pod względem rozkładu częstości występowania przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego według kryteriów KH, KS, KB wykorzystano uogólniony model regresji liniowej beta. Jest on dedykowany modelowaniu proporcji i prawdopodobieństw i został zaimplementowany w bibliotece betareg [2]. Rozkład prawdopodobieństwa beta wykorzystany w pakiecie betareg przyjmuje następującą postać, wzór (1):

$$f(y; \mu, \phi) = \frac{\Gamma(\phi)}{\Gamma(\mu\phi)\Gamma((1-\mu)\phi)} y^{\mu\phi-1} (1-y)^{(1-\mu)\phi-1},$$

$$0 < y < 1 \quad (1)$$

gdzie:

- y – obserwowana wartość zmiennej zależnej (częstość występowania przewodów w określonych klasach stanu technicznego – proporcją),
- μ – parametr reprezentujący wartość średnią rozkładu beta,
- φ – parametr, który modeluje kształt rozkładu beta.

Tab. 2. Udział procentowy odcinków w poszczególnych klasach stanu technicznego według kryterium hydrauliczno – eksploatacyjnego, zagrożeń środowiska oraz bezpieczeństwa konstrukcji, w zbiorach K1 i K2

Tab. 2. Percentage share of sections in particular condition classes according to the hydraulic and operational criterion, environmental hazards criterion and structural safety criterion, in sets K1 and K2

Kryterium	Klasa stanu technicznego	Udział procentowy odcinków w poszczególnych klasach stanu technicznego [%]	
		KAMIONKA 1 (K1)	KAMIONKA 2 (K2)
Hydrauliczno – eksploatacyjne (KH)	0	12,9	12,4
	I	42,2	26,5
	II	27,5	34,0
	III	9,4	13,7
	IV	4,4	6,5
Zagrożeń środowiska (KS)	0	3,0	5,5
	I	26,7	21,6
	II	17,4	35,0
	III	34,2	23,4
	IV	11,3	6,9
Bezpieczeństwa konstrukcji (KB)	0	17,3	49,1
	I	1,7	0,7
	II	35,3	13,4
	III	14,6	9,6
	IV	15,4	10,0
	V	15,7	17,2

Przyjmując, że n to liczba danych zmiennej zależnej (liczba obserwacji), a k to liczba wag regresji w modelu, uogólnione modele regresji mają postać, wzór (2):

$$g(\mu) = X\beta \quad (2)$$

gdzie:

- μ – wektor kolumnowy $n \times 1$ zawierający przewidywane wartości zmiennej zależnej
- Y, X – macierz o wymiarach $n \times k$,
- β – wektor o wymiarach $k \times 1$ estymowanych z danych wag regresji.

Funkcja $g(\cdot)$ mapuje zakres zmiennej zależnej (0, 1) na linię rzeczywistą. W niniejszej pracy dla funkcji $g(\cdot)$ przyjęto konwencjonalnie funkcję logit, wzór (3):

$$g(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (3)$$

gdzie: p to wartość prawdopodobieństwa lub proporcji.

Kolumna pierwsza macierzy X zawiera jedynie wartości 1 i służy do estymowania w modelu wyrazu wolnego, zaś kolejne kolumny zawierają wartości predyktorów (zmiennych wejściowych), stworzone ze zmiennych niezależnych. W niniejszych analizach uwzględniano dwie zmienne niezależne: zbiór (wprowadzony do modelu jako predyktor z warto-

ściami – 1 dla zbioru pierwszego (K1) i 1 dla zbioru drugiego (K2)) oraz klasę stanu technicznego (0 – V). Ze względu na nieliniowy charakter rozkładu proporcji – częstości występowania przewodów w klasach stanu technicznego jako funkcja klasy, ta zmienna niezależna została zakodowana za pomocą trzech predyktorów, tzn. komponentu: liniowego, kwadratowego i sześciennego za pomocą procedury `contr.poly()` zaimplementowanej w pakiecie R, która automatycznie generuje ortogonalne kontrasty wielomianowe (tabela 3).

Tab. 3. Wartości wielomianowych kontrastów ortogonalnych trzeciego stopnia
Tab. 3. Values of polynomial orthogonal contrasts of the third degree

Klasa stanu technicznego	Komponent liniowy	Komponent kwadratowy	Komponent sześcienny
0	-0.598	0.546	-0.373
I	-0.359	-0.109	0.522
II	-0.111	-0.436	0.298
III	0.111	-0.436	-0.298
IV	0.359	-0.109	-0.522
V	0.598	0.546	-0.373

Estymacja parametrów modelu w bibliotece `betareg` odbywała się metodą największej wiarygodności (ang. maximum likelihood) i polegała na znalezieniu takich

wartości parametrów β i ϕ , które maksymalizują funkcję wiarygodności wyliczaną dla wszystkich n , wzór (4):

$$\ell(\beta, \phi) = \sum_{i=1}^n \ell_i(X_i, \beta, \phi) \quad (4)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} \ell_i(X_i, \beta, \phi) = & \ln \Gamma(\phi) - \ln \Gamma(X_i, \beta, \phi) - \\ & - \ln \Gamma((1 - X_i, \beta)\phi) + (X_i, \beta\phi - 1) \ln y_i + \\ & + \{(1 - X_i, \beta)\phi - 1\} \ln(1 - y_i) \end{aligned} \quad (5)$$

W celu sprawdzenia, czy porównywane zbiory KAMIONKA 1 oraz KAMIONKA 2 różnią się rozkładem proporcji (częstością występowania przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego, według kryteriów KH, KS, KB) estymowano dwa modele, tzn.:

- model efektów głównych, w którym macierz X zawierała następujące predyktory (jeden na każdą kolumnę): kolumnę zawierającą wartości 1, dla estymacji wartości wyrazu wolnego, kolumnę indeksu zbioru (-1 i 1 dla zbiorów odpowiednio K1 i K2) oraz trzy kolumny z ortogonalnymi kontrastami dla klasy stanu technicznego,
- model interakcyjny, który zawierał analogiczną macierz X jak model efektów głównych, lecz z trzema dodatkowymi kolumnami, zawierającymi iloczyny indeksu zbioru oraz kontrastów wielomianowych.

Model efektów głównych zakładał, że porównywane zbiory K1 i K2 nie różnią się między sobą w rozkładzie proporcji (częstością występowania przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego), natomiast model interakcyjny zakładał, że takie różnice występują. Należy zauważyć, że model interakcyjny zawierał o trzy parametry więcej niż model główny (dla modelu głównego $k = 5$, dla interakcyjnego $k = 8$, czyli wektory β zawierają odpowiednio 5 i 8 wag regresji). Z tego powodu zamiast bezpośrednio porównywać maksymalne wartości funkcji wiarygodności pomiędzy modelami, wykorzystano statystykę BIC (ang. Bayesian Information Criterion [21]), wzór (6):

$$BIC = -2\ell(\beta, \phi) + K \times \ln n \quad (6)$$

gdzie:

- $\ell(\beta, \phi)$ – maksymalna wartość funkcji wiarygodności,
- K – całkowita liczba parametrów modelu, $K = k + 1$ (liczba wag regresji modelu i dodatkowo parametr ϕ),
- n – liczba danych zmiennej zależnej (liczba obserwacji).

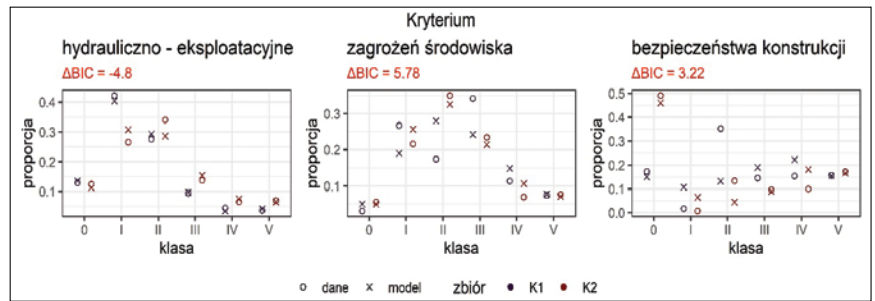
Statystyka BIC była wyliczana oddzielnie dla każdego modelu. Model z niższą wartością statystyki BIC był uznawany za model lepszy. Przyjmuje się, że różnica ta powinna wynosić co najmniej trzy jednostki. W niniejszej analizie, dla każdego z trzech kryteriów stanu technicznego KH, KS, KB, raportowano różnice w statystyce BIC (ΔBIC) pomiędzy modelem interakcyjnym a modelem głównym. Dla wartości $\Delta BIC < -3$ wnioskowano o istotnie lepszym dopasowaniu do danych modelu interakcyjnego, a więc przyjmowano, że porównywane zbiory K1 i K2 różnią się rozkładem proporcji (częstością występowania przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego).

Celem przeprowadzonego porównania zbiorów KAMIONKA 1 i KAMIONKA 2 było sprawdzenie, czy wyniki tych badań wykazują różnice w rozkładzie częstości występowania odcinków (udziale procentowym) kanałów w poszczególnych klasach stanu technicznego, wskazujących terminy (pilności) przeprowadzenia odnowy lub konserwacji przewodów kanalizacyjnych. Ponieważ częstość to stosunek liczby obserwacji mających pewną właściwość do liczebności całej próby, to w niniejszej pracy była to liczba odcinków przyporządkowanych do konkretnej klasy stanu technicznego w stosunku do całkowitej liczby zbadanych odcinków. W tabeli 2 został zaprezentowany udział procentowy, czyli częstość $\times 100\%$.

Opisany powyżej sposób modelowania danych można przeprowadzić wówczas, gdy łączna liczba parametrów modelu nie przekracza liczby obserwacji, czyli danych zmiennej zależnej (n), oraz gdy wartości zmiennej zależnej spełniają zależność $0 < y < 1$. Dlatego też, do analiz przyjmowano nie udział procentowy, jak w tabeli 2, a częstość występowania, tzn.: iloraz udziału procentowego przez 100.

Wyniki porównania zbiorów pod względem częstości występowania przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego wskazujących pilność ich odnowy

Rysunek 1 stanowi rezultat przeprowadzonych analiz przedstawiony w formie graficznej. Wykresy prezentują dane uzyskane z oceny stanu technicznego kamionkowych przewodów kanalizacji sanitarnej ze zbiorów KAMIONKA 1 i KAMIONKA 2 („kółeczko” granatowe – dane zbiór K1, bordowe – dane zbiór K2) oraz predykcje modelu interakcyjnego („krzyżyk” granatowy – predykcje dla zbioru nr 1, bordowy – predykcje dla zbioru nr 2). Oś



Rys. 1.

Częstość występowania odcinków przewodów kanalizacyjnych w poszczególnych klasach stanu technicznego według kryterium hydrauliczno – eksploatacyjnego (KH), zagrożeń środowiska (KS) i bezpieczeństwa konstrukcji (KB) w zbiorach K1 i K2

Fig. 1. The frequency of occurrence of sewer pipes in particular classes of technical condition according to the hydraulic and operational criterion (KH), environmental hazards criterion (KS) and construction safety criterion (KB) in sets K1 and K2

pionowa została opisana jako proporcja, czyli częstość występowania przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego (0 – V). Nie dodawano etykiet danych, by nie utracić czytelności rysunków. Pod grafikami znajdują się opisy wykresów, w których zostały przedstawione dokładne dane, jako wartości procentowe (tzn. częstość $\times 100\%$).

Ze względu na kryterium hydrauliczno – eksploatacyjne (KH), w zbiorze nr 1 najwięcej przewodów było zaklasyfikowanych do klasy I (42,2%), zatem nie wymagają one żadnych prac związanych z czyszczeniem, czy wycinaniem korzeni. W zbiorze nr 2 najwięcej przewodów przyporządkowano do klasy II (34,0%), co oznacza, że środki zaradcze należało podjąć w okresie długoterminowym. W KAMIONKA 1 najmniej przewodów (3,6%) było w klasie V (wymagane natychmiastowe działania), zaś w KAMIONKA 2 – w klasie IV (prace w okresie krótkoterminowym) – 6,5%. Żadnych uszkodzeń (klasa 0) nie odnotowano w zbiorze nr 1 w 12,9% przewodów, zaś w zbiorze 2 – w 12,4% kanałów. Dla kryterium KH wartość $\Delta BIC = -4,8$, więc wykazano różnicę pomiędzy porównywanymi zbiorami pod względem rozkładu częstości występowania odcinków przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego.

Dla kryterium zagrożeń środowiska (KS) najwięcej przewodów w KAMIONKA 1 przyporządkowano do klasy III – 34,2% (działanie zaradcze w okresie średnioterminowym), zaś w KAMIONKA 2 – do klasy II – 35,0% (prace w okresie długoterminowym). W obu zbiorach najmniej przewodów kanalizacyjnych zaklasyfikowano do klasy 0 (brak uszkodzeń). W zbiorze K1 było to 3,0%, zaś w zbiorze 2 – 5,5% wszystkich przewodów. Dla kryterium KS wartość $\Delta BIC = 5,78$, więc porównywane zbiory nie różniły się pod względem rozkładu częstości występowania

odcinków przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego.

Pod względem bezpieczeństwa konstrukcji kanałowej, w najlepszym stanie technicznym (klasa 0, czyli brak uszkodzeń) w zbiorze K1 było 17,3% odcinków, zaś w K2 – 49,1% wszystkich przewodów. W KAMIONKA 1 najwięcej przewodów było zaklasyfikowanych do klasy II (odnowa w okresie długoterminowym) i było to 35,3% wszystkich kanałów, zaś w KAMIONKA 2 dominowały wspomniane wyżej kanały z klasy 0. Najmniej przewodów przyporządkowano do klasy I (kanały z niewielkimi uszkodzeniami, nie wymagające odnowy) w obu zbiorach, przy czym w K1 było to 1,7%, zaś w K2 – 0,7% odcinków przewodów kanalizacyjnych. Dla kryterium KB wartość $\Delta BIC = 3,22$, więc porównywane zbiory nie różniły pod względem rozkładu częstości występowania odcinków przewodów w poszczególnych klasach stanu technicznego.

Wnioski

1. Dla kryterium hydrauliczno – eksploatacyjnego (KH) zbiory K1 oraz K2 różniły się pod względem zalecanych terminów przeprowadzenia działań w zakresie czyszczenia czy udrażniania kanałów, ponieważ rozkład przyporządkowania przewodów do klas stanu technicznego był zróżnicowany ($\Delta BIC < -3$).
2. Dla kryterium zagrożeń środowiska (KS) zbiory KAMIONKA 1 i KAMIONKA 2 nie różniły się pod względem proponowanych terminów przeprowadzania napraw związanych z uszczelnianiem przewodów kanalizacyjnych, ponieważ rozkład przyporządkowania przewodów do klas stanu technicznego nie był zróżnicowany ($\Delta BIC > -3$).
3. Dla kryterium bezpieczeństwa konstrukcji (KB) zbiory nr 1 i 2 nie wykazywały

różnic pod względem planowanych terminów rehabilitacji, czy też wymiany przewodów, ponieważ rozkład proporcji – częstości występowania odcinków przewodów w poszczególnych klasach nie był zróżnicowany ($\Delta BIC > -3$).

Przeprowadzona analiza wykazała, że dla kryterium zagrożeń środowiska i bezpieczeństwa konstrukcji rozkład przyporządkowania przewodów ze zbiorów K1 i K2 do klas stanu technicznego nie był zróżnicowany. Natomiast dla kryterium hydrauliczno-eksploatacyjnego przyporządkowywanie przewodów do poszczególnych klas stanu technicznego było zróżnicowane. Nie można zatem uznać, iż zbiory K1 i K2 są reprezentatywne dla wszystkich kanałów kamionkowych starej generacji dawno ułożonych w gruncie.

LITERATURA

- [1] Błażejowski R, Buczkowski W., Matz R., Fryśka M., 2010, *Ocena stanu technicznego i potrzeb renowacji kanałów ogólnospławnych i ściekowych m. Poznania*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, nr 2, 15 – 18, [bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0015-0026](#)
- [2] Cribari – Neto F, Zeileis A., 2010, *Beta Regression in R*, Journal of Statistical Software, nr 34(2), 1 – 24, <https://doi.org/10.18637/jss.v034.i02>
- [3] Kaczor G., Przebinda A., *Analiza uszkodzeń kanałów sanitarnych z różnych materiałów w aspekcie potencjalnego zanieczyszczenia wód gruntowych*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, 2009, nr 9, 28 – 29, [bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0008-0107](#)
- [4] Kuliczowska E., 2005, *Wyniki badań nowo wybudowanych przewodów kanalizacyjnych z rur PVC*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 16 – 20
- [5] Kuliczowska E., 2007, *Wyniki badań betonowych przewodów kanalizacyjnych*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, nr 10, 23 – 30, [bwmeta1.element.baztech-article-BPP1-0080-0037](#)
- [6] Kuliczowska E., 2008, *Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nie przelazowych przewodów kanalizacyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce
- [7] Kuliczowska E., 2008, *Wyniki badań kamionkowych przewodów kanalizacyjnych*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, nr 12, 10 – 16, [bwmeta1.element.baztech-article-BPP1-0095-0074](#)
- [8] Kuliczowska E., 2009, *Analiza pilności odnowy przewodów kanalizacyjnych*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, nr 11, 8 – 11, [bwmeta1.element.baztech-article-BPP2-0013-0075](#)
- [9] Kuliczowska E., 2015, *Prognozowany a rzeczywisty stan techniczny XIX. wiecznych kamionkowych przewodów kanalizacyjnych*, Instal, nr 9, 74 – 79, <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-399623ec-01f8-4ace-9022-c310cab3f802>
- [10] Kuliczowska E., Bęba K., 2018, *Wyniki badań techniką video długo eksploatowanych przewodów kanalizacyjnych*, Instal, nr 7/8, 51 – 56, [bwmeta1.element.baztech-409a024c-dd91-4e7b-bc8d-de89f463f7c7](#)
- [11] Kuliczowska E., Kuliczowski A., Parka A., 2022, *Damages in vitrified clay sewers in service for 130–142 years*, Engineering Failure Analysis, nr 135, 1 – 13, DOI 10.1016/j.engfailanal.2022.106103
- [12] Kuliczowska E., Wijas K., 2022, *Wybrane uszkodzenia długo eksploatowanych kamionkowych przewodów kanalizacji sanitarnej*, Instal, nr 1, 31 – 35, DOI 10.36119/15.2022.1.4
- [13] Kuliczowski A. i in., 2010, *Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska*, Wydawnictwo Seidel – Przywecki Sp z o.o.
- [14] Kuliczowski A., 2001, *Rury kanalizacyjne. Własności materiałowe*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce
- [15] Kuliczowski A., Kuliczowska E., Lichosik D., 2013, *Pojedynek generacji – rury kamionkowe w bezwykopowej budowie przewodów kanalizacyjnych*, BMP Ochrona Środowiska, nr 1, 42 – 46
- [16] Kuliczowski A., Kuliczowska E., Lisowska J., 2022, *Efekty naukowe 30-letnich badań przewodów kanalizacyjnych techniką CCTV*, Instal, nr 5, 43 – 47, DOI 10.36119/15.2022.5.7
- [17] Kuliczowski A., Nogaj S., 2017, *Zastosowania rur kamionkowych w bezwykopowej wymianie przewodów kanalizacyjnych*, Instal, nr 6, 51 – 56, [bwmeta1.element.baztech-54b87db8-e631-4bbb-b2ee-00ca60dd65de](#)
- [18] Kuliczowski A., Zwierzchowski D., Kania M., 2004, *Nieprawidłowości hydrauliczno – eksploatacyjne kanałów badanych techniką video*, Gaz Woda i Technika Sanitarna, nr 1, 24 – 27
- [19] Kutylowska M., 2014, *Inspekcja telewizyjna kanalizacji ogólnospławnej we Wrocławiu w latach 1994-2011*, Instal, nr 3, 61 – 66, [bwmeta1.element.baztech-dd02a656-358a-4d31-8701-155a9153c022](#)
- [20] Madryas, C., Przybyła, B., Wysocki, L., 2010, *Badania i ocena stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław
- [21] Neath A.A., Cavanaugh J.E., 2012, *The Bayesian information criterion: Background, derivation, and applications*, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, nr 4(2), 199 – 203, <https://doi.org/10.1002/wics.1199>
- [22] Nienartowicz B., 2016, *Ocena stanu technicznego liniowych obiektów infrastruktury podziemnej miast – wybrane zagadnienia*, <http://www.eko-dok.pl/2016/117.pdf>
- [23] R Core Team., 2021, *R: A language and environment for statistical computing.* (4.1.1). R Foundation for Statistical Computing
- [24] Raganowicz A., 2013, *Analiza uszkodzeń kamionkowej sieci sanitarnej*, Instal, nr 9, 65 – 70, [bwmeta1.element.baztech-1ef11cb3-be84-4f50-9c77-7c6cd14adc50](#)
- [25] Raganowicz A., Dziopak J., 2016, *Statystyczna prognoza stanu technicznego kamionkowej kanalizacji sanitarnej w Unterhaching*, Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, nr XXXIII (63), 399 – 412, DOI 10.7862/rb.2016.174