

Andrzej RAGANOWICZ¹
Józef DZIOPAK²

KRYTYCZNY STAN KAMIONKOWYCH PRZEWODÓW KANALIZACYJNYCH FUNKCJONUJĄCYCH POWYŻEJ I PONIŻEJ ZWIERCIADŁA WODY GRUNTOWEJ

W artykule przedstawiono statystyczno-stochastyczne modelowanie krytycznego stanu techniczno-eksploatacyjnego kamionkowych przewodów bytowo-gospodarczych obsługujących dwie bawarskie gminy Unterhaching oraz Oberhaching. Przewody funkcjonujące w gminie Unterhaching były usytuowane powyżej, a funkcjonujące w gminie Oberhaching poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. W fazie modelowania statystycznego krytyczne krzywe dla obu typów przewodów opisujące przejście od stanu konserwacji do stanu odnowy wyznaczono za pomocą dwuparametrowego rozkładu Weibull'a oraz prostopadłej metody momentów. Natomiast ostateczne przebiegi tych krzywych ustalono metodą Monte-Carlo. Przeprowadzone badania wykazały, że przewody funkcjonujące poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej znajdują się w znacznie gorszym ogólnym stanie technicznym niż przewody funkcjonujące powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej.

Słowa kluczowe: sieć kanalizacyjna, klasyfikacja uszkodzeń, klasyfikacja stanu technicznego, statystyczno-stochastyczne modelowanie krytycznych krzywych stanu technicznego sieci kanalizacyjnej

1. Wstęp

W artykule zaprezentowano wyniki badań statystyczno-stochastycznego modelowania krytycznego stanu kamionkowych przewodów kanalizacyjnych, których zakres średnic wynosił DN 200 - 400 mm na podstawie wykonanych dwóch prób losowych. Pierwsza z nich, o dużej populacji, składała się z odcin-

¹ Zweckverband zur Abwasserbeseitigung im Hachinger Tal, 82024 Taufkirchen, Germany, telefon: + 49 (89) 6155903, a-raganowicz@t-online.de

² Autor do korespondencji: Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju 35-959 Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 6, telefon: + 48 17 865 1817, e-mail: jdziopak@prz.edu.pl

ków kamionkowej sieci bytowo-gospodarczej na terenie gminy Unterhaching, usytuowanej powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Drugą próbę losową, o zdecydowanie mniejszej populacji tworzyły przewody kamionkowe również o średnicach w zakresie DN 200 - 400 mm, które funkcjonują poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej w gminie Oberhaching. Inspekcję optyczną obu prób losowych przeprowadzono w roku 2000, a ich klasyfikację stanu technicznego wykonano zgodnie z zaleceniami wytycznej ATV-M 149 [2]. Klasyfikacja ta przewiduje istnienie 5 klas stanu technicznego od klasy czwartej – najlepszej, do klasy zerowej - najgorszej. W skład czwartej klasy wchodzi odcinki przewodów kanalizacyjnych, które nie wykazują uszkodzeń lub tylko marginalne. Trzecią i drugą klasę tworzą odcinki wymagające przeprowadzenia wyłącznie zabiegów o charakterze konserwacyjnym. Natomiast do dwóch ostatnich klas, tj. pierwszej i zerowej są sklasyfikowane odcinki, które muszą być poddane rehabilitacji technicznej.

Natomiast krytyczny stan techniczno-eksploatacyjny należy rozumieć jako granicę oddzielającą obszar zarezerwowany dla zabiegów konserwacyjnych od obszaru zarezerwowanego dla technik i technologii renowacyjnych. Granicę tą można opisać analitycznie za pomocą funkcji przejścia od drugiej do pierwszej klasy stanu technicznego.

2. Modelowanie statystyczne

Teoretyczną krzywą przejścia opisującą granicę między konserwacją i rehabilitacją techniczną wyznaczono w oparciu o dwuparametrowy rozkład Weibull'a. Jest to jeden z najbardziej popularnych rozkładów umożliwiających prognozowanie żywotności technicznej urządzeń mechanicznych, elektronicznych oraz obiektów budowlanych. Parametry rozkładu Weibull'a zostały wyznaczone w fazie badań statystycznych prostą metodą momentów. Wybór metody momentów wynika z jej prostego algorytmu, który w krótkim czasie obliczeniowym pozwala oszacować parametry Weibull'a. Ostateczne wartości tych parametrów ustalono metodą Monte-Carlo. Funkcję prawdopodobieństwa niezawodności, czyli przejścia przewodów kanalizacyjnych od stanu konserwacji do stanu odnowy według rozkładu Weibull'a opisuje formuła [8]:

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t}{T}\right)^b \quad (1)$$

gdzie: t - zmienna statystyczna, np. żywotność techniczna obiektu, lata,
 T - żywotność charakterystyczna rozkładu odpowiadająca średniej wartości rozkładu, lata,
 b - parametr formy, czyli stromości rozkładu.

Wartości obu parametrów oszacowano prostopadłą metodą momentów zgodnie z następującymi formułami [6, 8]:

$$\hat{b} = \ln 2 / (\ln V_1 - \ln V_2) \quad (2)$$

$$\hat{T} = V_1 / (1/b)! \quad (3)$$

$$V_1 = 1/2 \left(1/(n+1) * t_m + (2/n+1) \sum_1^n t_i \right) \quad (4)$$

$$V_2 = 1/2 \left(1/(n+1)^2 * t_m + 4/(n+1) \sum_1^n t_i - 4/(n+1)^2 * \sum_1^n (i * t_i) \right) \quad (5)$$

$$t_m = \sum_1^n (t_i - t_{i-1}) \quad (6)$$

W celu przeprowadzenia statystycznego modelowania krytycznego stanu technicznego kanałów wyselekcjonowano z obu prób losowych odcinki przewodów wykazujące trzy najlepsze klasy i utworzono dwie nowe próby losowe. Populacja próby losowej nr 1 liczyła 1122 odcinków funkcjonujących powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Natomiast druga próba losowa składała się z 56 odcinków sieci położonych poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Każda z prób losowych reprezentowała trzecią klasę odnowy (KO 5-3), będącą podstawą do wyznaczenia granicznej funkcji przejścia od stanu konserwacji do stanu odnowy. Ogólną charakterystykę prób losowych oraz wyniki estymacji parametrów rozkładu Weibulla (\hat{b} i \hat{T}) metodą momentów (MM) zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Ogólna charakterystyka prób losowych kamionkowych przewodów kanalizacyjnych eksploatowanych w gminie Unterhaching i Oberhaching

Table 1. General characteristics of the sampling stoneware sewer lines operated in the municipality of Unterhaching and Oberhaching

Próba losowa	Gmina	Liczba odcinków klasy KO 5-1	Liczba odcinków klasy KO 5-3	Długość (m)	Stromość krytycznej funkcji \hat{b} (-)	Charakterystyczna żywotność techniczna \hat{T} (lat)
Nr 1	Unterhaching	1162	1122	38.623	3,2527	28,5627
Nr 2	Oberhaching	100	54	2.726	3,0671	21,1594

3. Symulacja parametrów *Weibulla* metodą *Monte-Carlo*

Pojęcie metody *Monte-Carlo* nie odnosi się tylko do jednego algorytmu, ale do pewnej grupy metod numerycznych, które wykorzystują liczby losowe do rozwiązań aproksymacyjnych albo do symulacji różnych procesów. Takie właśnie stochastyczne algorytmy charakteryzują się tym, że:

- jest to jedyna metoda, która w ramach rozsądnego czasu obliczeniowego zapewnia uzyskanie dostatecznie dokładnych wyników,
- wydłużenie czasu obliczeniowego gwarantuje systematyczną poprawę dokładności wyników badań.

Do symulacji parametrów rozkładu *Weibull'a* wykorzystano metodę inwersji. Metoda ta umożliwia przeprowadzenie dowolnej liczby t_1, \dots, t_n symulacji matematycznych zgodnie z przyjętą funkcją rozkładu F . Jeżeli $F: R \rightarrow [0; 1]$ jest pewną funkcją rozkładu, a jej funkcją odwrotną jest funkcja F^{-1} oraz $Y \approx U(0; 1)$ jest zmienną losową o równomiernym rozkładzie, to można przyjąć, że $X := F^{-1}(Y)$. W związku z tym można założyć, że $X \approx F$. Oznacza to z kolei, że funkcja rozkładu zmiennej losowej X jest przyjętą na wstępie rzeczywistą funkcją rozkładu F [3, 4, 7].

W konkretnym przypadku rozkładu *Weibull'a* i jego funkcji odwrotnej, wiek analizowanych przewodów kanalizacyjnych można ustalić według następującego wzoru [3]:

$$t_i^{k^*} = \hat{T} \left(\ln \left(\frac{1}{1 - U_i^{k^*}} \right) \right)^{\frac{1}{\hat{b}}} \quad (7)$$

gdzie: $t_i^{k^*}$ - symulowany wiek przewodów kanalizacyjnych, lata,

\hat{T} - charakterystyczna żywotność techniczna przewodów kanalizacyjnych ustalona według dowolnej metody analitycznej, lata,

$U_i^{k^*}$ - zmienna losowa o równomiernym rozkładzie ($0 < U_i^{k^*} < 1$),

\hat{b} - stromość rozkładu *Weibull'a* ustalona według dowolnej metody analitycznej,

$i = 1, 2, \dots, n$,

$k^* = 1, 2, \dots, N$.

W celu pozyskania dużej liczby zmiennych losowych posłużono się jednym z generatorów zmiennych losowych, a dokładniej pseudo – zmiennych losowych. Dla potrzeb planowanych symulacji matematycznych wykorzystano jeden

z najbardziej popularnych generatorów zmiennych losowych o równomiernym rozkładzie – Multiplicative Linear Congruential Generator (MLCG) [5]. Zastosowany generator zmiennych losowych ma postać zależności:

$$x_{i+1} = (ax_i + b) \bmod m \quad (8)$$

gdzie: x – zmienna losowa;

$$a = 69069;$$

$$b = 23606797;$$

$$m = 2^{32}.$$

Stała b przyjmuje często wartość równą zero. Natomiast zawsze musi być spełniony warunek na moduł m , i tak: $0 < a < m$. Moduł m podaje obszar, w którym znajdują się poszukiwane zmienne losowe. Długość powtarzającej się sekwencji liczbowej wynosi w tym przypadku m . W wyniku przeprowadzenia wielu prób ustalono odpowiednie systemy liczbowe pozwalające określić wartości x_i dla 1000, 2500, 5000, 10000 i 15000 symulacji matematycznych, które następnie zostały wprowadzone do zależności (8). W ten sposób można było uzyskać wymaganą liczbę zmiennych losowych dla każdego typu symulacji matematycznej. W celu generowania wartości x_i ustalono następujące algorytmy obliczeniowe:

- MMC(1000): $x_1 = 3000$, $x_2 = 3000 + 58$, ..., $x_{1000} = 3000 + 999 * 58$;
- MMC(2500): $x_1 = 1500$, $x_2 = 1500 + 22$, ..., $x_{2500} = 1500 + 2499 * 22$;
- MMC(5000): $x_1 = 1500$, $x_2 = 1500 + 12$, ..., $x_{2500} = 1500 + 4999 * 12$;
- MMC(10000): $x_1 = 500$, $x_2 = 500 + 6$, ..., $x_{10000} = 500 + 9999 * 6$;
- MMC(15000): $x_1 = 500$, $x_2 = 500 + 3$, ..., $x_{10000} = 500 + 9999 * 3$.

Szacowanie parametrów b i T dla próby losowej nr 1 przeprowadzono na bazie kolejno 2500, 5000 i 10000 symulacji matematycznych według formuły (7) oraz przy zastosowaniu generatora zmiennych losowych. W przypadku próby losowej nr 2 wykonano odpowiednio 1000, 2500, 5000 i 10000 symulacji metodą *Monte-Carlo* (MMC). Wyniki badań stochastycznych dla przewodów funkcjonujących powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej (ZWG) przedstawiono w tabeli 2, a dla przewodów funkcjonujących poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej w tabeli 3. W oparciu o ustalone stochastycznie parametry skonstruowano dwie krytyczne krzywe, których przebieg pokazano na rysunku 1.

Tabela 2. Parametry krytycznej funkcji *Weibull'a* dla kamionkowych przewodów kanalizacyjnych funkcjonujących powyżej poziomu ZWG wyznaczone w wyniku symulacji *Monte-Carlo*

Table 2. Critical parameters of the Weibull function for stoneware sewer pipes functioning above the ZWG level designated by the Monte-Carlo simulation

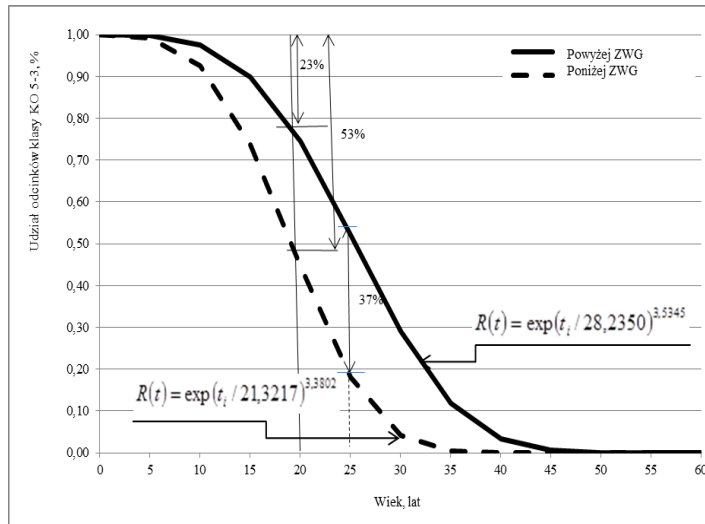
Metoda	Parametr b	Parametr T
MM	3,2527	28,5627
MMC(2500)	3,9766	27,2145
MMC(5000)	3,5714	28,5469
MMC(10000)	3,5345	28,2350

Tabela 3. Parametry krytycznej funkcji *Weibull'a* dla kamionkowych przewodów kanalizacyjnych funkcjonujących poniżej poziomu ZWG wyznaczone w wyniku symulacji *Monte-Carlo*

Table 3. Critical parameters of the Weibull function for stoneware sewer pipes functioning under the ZWG level designated by the Monte-Carlo simulation

Metoda	Parametr b	Parametr T
MM	3,0671	28,5627
MMC(1000)	4,5579	20,8226
MMC(2500)	4,5693	20,8287
MMC(5000)	4,4935	20,4623
MMC(10000)	3,3802	21,3217

Ustalona na podstawie 10000 symulacji, wartość formy krytycznej funkcji kamionkowych przewodów kanalizacyjnych funkcjonujących powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej wyniosła $b = 3,5345$. Wartość parametru $b > 3$ sugeruje zły stan techniczny badanych obiektów. Wyznaczenie żywotności charakterystycznej, której wartość osiągnęła $T = 28,2350$ lat spowodowało niekorzystne przesunięcie stromej funkcji krytycznej w stronę krótkiej żywotności technicznej. Stąd 63% przewodów kanalizacyjnych osiągających wiek równy żywotności charakterystycznej wymaga przeprowadzenia rehabilitacji technicznej. Ustalenie w ramach badań dłuższej żywotności charakterystycznej sygnalizuje dłuższą eksploatację, która nie wymaga realizacji 63 procentowej odnowy sieci. Natomiast parametry krytycznego rozkładu *Weibull'a* wyznaczone metodą momentów przyjęły nieco korzystniejsze wartości, i tak $b = 3,2527$ oraz $T = 28,5627$ lat.



Rys. 1. Przebieg krytycznych funkcji Weibull'a wyznaczonych metodą Monte-Carlo dla kamionkowych przewodów kanalizacyjnych w zależności od ich położenia w stosunku do poziomu ZWG

Fig. 1. The critical value of the Weibull function as determined by Monte-Carlo for stoneware sewer lines according to their position in relation to the level ZWG

W ramach następnej serii badań stochastycznych ustalono parametry krytycznej funkcji kamionkowych przewodów kanalizacyjnych funkcjonujących poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Na podstawie 10000 symulacji stromość funkcji osiągnęła miarodajną wartość $b = 3,3802$, a żywotność charakterystyczna wartość $T = 21,3217$ lat. Charakterystyczną cechą tych badań jest mała wartość żywotności charakterystycznej w zakresie od 20,4623 do 21,3217 lat i relatywnie duże różnice wartości liczbowych parametrów uzyskanych na bazie 5000 oraz 10000 symulacji. Przeprowadzenie 15000 symulacji spowodowało zmianę wartości parametru b o 0,0034 wskazujące na dużą stabilizację wyników przez przeprowadzenie 10000 symulacji.

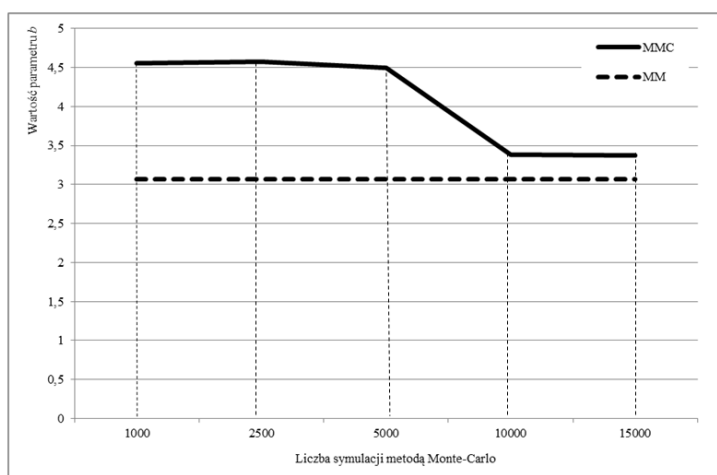
Zmiany wartości parametru *Weibull'a* b w zależności od liczby symulacji matematycznych przedstawiono na rysunku 2. Z analizy tego rysunku wynika, że począwszy od 10000 symulacji ma miejsce wyraźna stabilizacja parametru b , jak również jego asymptotyczne zbliżanie się do dokładnej wartości, będącej celem badań. Ustalona w ten sposób wartość parametru b bazuje na próbie losowej o stochastycznie powiększonej populacji, która zapewnia dokładniejsze wyniki badań, niż w przypadku szacowania statystycznego.

Zastosowanie algorytmu opartego na programie kalkulacyjnym Excel 2010 umożliwiło realizację 10000 symulacji matematycznych w ramach rozsądnego czasu obliczeniowego. Uproszczony schemat takiego algorytmu dla kamionkowych przewodów kanalizacyjnych usytuowanych poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej (ZWG) zamieszczono w tabeli 4. Natomiast w tabeli 5 przed-

stawiono parametry stałe, które dla każdej symulacji przyjmowały takie same wartości.

Porównanie wyników badań stochastycznych dla obydwu grup przewodów kanalizacyjnych pozwala na stwierdzenie, że obiekty eksploatowane poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej wykazują, ze względu na zdecydowanie krótszą żywotność charakterystyczną, gorszy stan techniczny.

Z dalszej analizy danych zestawionych tabelach 2 i 3 wynika, że wraz ze wzrostem liczby symulacji wzrasta dokładność szacowania parametrów rozkładu *Weibull'a*. Przeprowadzenie oddzielnej serii 10000 symulacji powoduje zbliżenie wartości stromości krytycznej funkcji do wartości oszacowanej statystycznie.



Rys. 2. Zmiana wartości parametru *Weibull'a* b w zależności od liczby symulacji metody *Monte-Carlo* (MMC) na tle jego wartości wyznaczonej metodą momentów (MM)

Fig. 2. Change the value of the parameter Weibull b depending on the number of simulation *Monte-Carlo* method (MMC) against its value as determined by moments (MM)

Różnica tych wartości wynosi 0,2818 dla przewodów eksploatowanych powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej i 0,3131 dla przewodów eksploatowanych poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Wartości charakterystycznej żywotności technicznej nie są specjalnie zależne od liczby przeprowadzonych symulacji, co jest efektem specyfiki samej metody momentów. Porównując obliczone wartości parametrów b i T dla przewodów usytuowanych powyżej i poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej można stwierdzić, że stromość funkcji przyjmuje zbliżone do siebie wartości. Jednak charakterystyczna żywotność techniczna, odpowiadająca średniemu wiekowi badanych przewodów jest zróżnicowana i osiąga 28 lat dla przewodów posadowionych powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej i tylko 21 lat dla przewodów funkcjonują-

cych w wodzie gruntowej. Dłuższa żywotność charakterystyczna oznacza ogólnie lepszy stan techniczno-eksploatacyjny i w konsekwencji mniejszy zakres niezbędnej odnowy.

Tabela 4. Algorytm 10000 symulacji wieku kamionkowych przewodów kanalizacyjnych funkcjonujących poniżej ZWG

Table 4. 10000 simulation algorithm of the century stoneware sewer lines operating below ZWG

MMC	U	$a = \frac{1}{1-U}$	$\ln a$	$(\ln a)^{\frac{1}{b}}$	t_i	i	t_i	i^*t_i	$t_i - t_{i-1}$
500	0,027	1,028	0,02745	0,31	6,552	1	6,55	6,552	6,55
503	0,027	1,028	0,02755	0,31	6,56	2	6,56	13,12	0,01
506	0,027	1,028	0,02765	0,31	6,567	3	6,57	19,7	0,01
509	0,027	1,028	0,02774	0,311	6,575	4	6,57	26,3	0,01
512	0,027	1,028	0,02784	0,311	6,583	5	6,58	32,91	0,01
515	0,028	1,028	0,02794	0,311	6,59	6	6,59	39,54	0,01
518	0,028	1,028	0,02804	0,312	6,598	7	6,6	46,19	0,01
521	0,028	1,029	0,02814	0,312	6,605	8	6,61	52,84	0,01
524	0,028	1,029	0,02824	0,313	6,613	9	6,61	59,52	0,01
527	0,028	1,029	0,02834	0,313	6,621	10	6,62	66,21	0,01

30452	0,99	104,3	4,64736	1,65	34,92	9985	34,92	3E+05	0,02
30455	0,991	105,4	4,65748	1,651	34,94	9986	34,94	3E+05	0,02
30458	0,991	106,5	4,66769	1,653	34,97	9987	34,97	3E+05	0,02
30461	0,991	107,6	4,67802	1,654	34,99	9988	34,99	3E+05	0,03
30464	0,991	108,7	4,68845	1,655	35,02	9989	35,02	3E+05	0,03
30467	0,991	109,8	4,69899	1,656	35,04	9990	35,04	4E+05	0,03
30470	0,991	111	4,70965	1,657	35,07	9991	35,07	4E+05	0,03
30473	0,991	112,2	4,72042	1,659	35,1	9992	35,1	4E+05	0,03
30476	0,991	113,4	4,7313	1,66	35,12	9993	35,12	4E+05	0,03
30479	0,991	114,7	4,74231	1,661	35,15	9994	35,15	4E+05	0,03
30482	0,991	116	4,75344	1,662	35,18	9995	35,18	4E+05	0,03
30485	0,991	117,3	4,76469	1,664	35,2	9996	35,2	4E+05	0,03
30488	0,992	118,6	4,77607	1,665	35,23	9997	35,23	4E+05	0,03
30491	0,992	120	4,78759	1,666	35,26	9998	35,26	4E+05	0,03
30494	0,992	121,4	4,79924	1,668	35,29	9999	35,29	4E+05	0,03
30497	0,992	122,9	4,81102	1,669	35,31	10000	35,31	4E+05	0,03
							2E+05	1E+09	35,3

Tabela 5. Wartości parametrów stałych

Table 5. The values of fixed parameters

$n+1$	$(n+1)^2$	V_1	$\ln V_1$	V_2	$\ln V_2$	$\ln 2$	b	T
10001	1E+08	19,1	2,95	15,6	2,75	0,7	3,38	21,32

4. Podsumowanie

Wyniki stochastycznego modelowania stanu krytycznego kamionkowych przewodów kanalizacyjnych potwierdziły w pełni ogólnie znane doświadczenia eksploatacyjne, z których wynika, że przewody funkcjonujące w wodzie gruntowej prezentują znacznie gorszy stan techniczny niż przewody posadowione powyżej tego poziomu i są też zgodne z wynikami modelowania statystycznego. Tą zdecydowaną różnicę stanu technicznego wykazuje porównanie zakresu koniecznej odnowy, która dla pierwszej grupy 20-letnich przewodów wynosi 53%, a dla drugiej tylko 23%. Taką analizę można łatwo przeprowadzić dla każdej grupy wiekowej przewodów i ustalić konieczne zakresy odnowy. Wiedza na temat koniecznego zakresu odnowy ma istotne znaczenie dla praktyki eksploatacyjnej, ponieważ jej realizacja zapewnia pełną dyspozycyjność liniowego obiektu kanalizacyjnego w aspekcie nośności, szczelności oraz funkcjonalności na przestrzeni całej żywotności technicznej. Inną ważną korzyścią jest możliwość prowadzenia racjonalnej polityki finansowej, środkami stałymi oraz potencjałem ludzkim.

Maksymalna różnica zakresów odnowy występuje dla grupy wiekowej 25 lat i wynosi 37%. Różnica stanu technicznego dla obu grup przewodów wyraża się także w żywotności technicznej, która dla obiektów funkcjonujących w wodzie osiąga tylko 35 lat, a dla przewodów zlokalizowanych powyżej poziomu zwierciadła wody gruntowej 45 lat. W przypadku krytycznego stanu technicznego pojęcie żywotności technicznej należy rozumieć jako okres eksploatacji, po upływie którego konieczne jest przeprowadzenie pełnej odnowy. Przedstawione wyniki badań statystyczno-stochastycznych można również zinterpretować w oparciu o teorię i klasyfikację uszkodzeń. Każde uszkodzenie w postaci infiltracji wody gruntowej do wnętrza kanału uzyskuje automatycznie najgorszą klasę, która ma negatywny wpływ na stan techniczny badanego przewodu. Inspekcja optyczna przewodów kanalizacyjnych, których strop usytuowany jest przynajmniej na poziomie zwierciadła wody gruntowej stwarza bardzo korzystne warunki do inwentaryzacji wszystkich, nawet najmniejszych nieszczelności. Jeżeli inspekcja optyczna zostanie przeprowadzona właśnie w takich warunkach, to zgodnie z wytyczną ATV-DVWK-A 142 uzyskuje ona dodatkowo status badania szczelności.

Wprowadzenie pojęcia krytycznego stanu techniczno-eksploatacyjnego przewodów kanalizacyjnych pozwoliło na istotną redukcję skomplikowanej prognozy do jednej funkcji prawdopodobieństwa niezawodności, opisującej przejście badanych odcinków od stanu konserwacji do stanu odnowy. Duże znaczenie poznawcze ma połączenie rozkładu *Weibull'a* z symulacjami *Monte-Carlo*, których celem było stochastyczne zwiększenie populacji posiadanych danych empirycznych i poprzez to uzyskanie większej dokładności wyników analiz ilościowych, jak również jakościowych.

Literatura

- [1] ATV-DVWK-A 142, Abwasserkanäle und -leitungen in Wasserschutzgebieten, 2002.
- [2] ATV-M 149, Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, 1999.
- [3] Cottin C., Döhler S.: Risikoanalyse – Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen, 2. Auflage, Springer Spektrum Wiesbaden 2009, 2013.
- [4] Hengartner W., Theodorescu R.: Einführung in Monte-Carlo-Methode, Carl Hanser Verlag, München-Wien 1978.
- [5] Leisch F.: Computerintensive Methoden, LMU München, WS 2010/2011, 8 Zufallszahlen.
- [6] Meyna A., Pauli B.: Taschenbuch der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik, Quantitative Bewertungsverfahren, Carl Hauser Verlag, München Wien 2003.
- [7] Müller-Gronbach T., Novak E., Ritter K.: Monte Carlo – Algorithmen, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2012.
- [8] Wilker H.: Weibull-Statistik in der Praxis, Leitfaden zur Zuverlässigkeitsermittlung technischer Produkte, Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt 2004.

CRITICAL CONDITION OF STONEWARE SEWAGE PIPES OPERATING ABOVE AND BELOW GROUND WATER TABLE

Summary

The article presents statistical and stochastic modeling of critical technical and operational state of stoneware domestic pipes serving two Bavarian municipalities: Unterhaching and Oberhaching. Pipes operating in Unterhaching municipality were located above the groundwater table and those operating in Oberhaching municipality – below the water table. In the phase of statistical modeling the critical curves for both types of pipes, describing the transition stage from maintenance to renewal, was determined by two-parameter *Weibull* distribution and perpendicular of the method of moments. While the final runs of the curves was determined using the *Monte-Carlo* method. The study showed that the pipes functioning below the level of groundwater table are characterized by much worse general technical state than those operating above the groundwater table.

Keywords: sewage system, classification of damages, classification of technical state, statistical and stochastic modeling of critical curves of sewage pipes technical condition

DOI:10.7862/rb.2014.59

Przesłano do redakcji: lipiec 2014 r.

Przyjęto do druku: wrzesień 2014 r.