

Możliwości bardziej efektywnego stosowania technik bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych

Possibilities for more effective use of trenchless rehabilitation techniques of sewage pipes

EMILIA KULICZKOWSKA, ANDRZEJ KULICZKOWSKI

DOI 10.36119/15.2021.3.5

Bazując na 30-letnich doświadczeniach Politechniki Świętokrzyskiej w zakresie badania i oceny stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych, zaproponowano pewne działania, mające na celu wydłużenie trwałości eksploatacyjnej rur, a tym samym rzadszego stosowania technik bezwykopowej ich odnowy. Zaprezentowano także wybrane sposoby bardziej efektywnego niż dotychczas stosowania technik bezwykopowych.

Słowa kluczowe: techniki bezwykopowe, odnowa, przewody kanalizacyjne, efektywność ekonomiczna

Based on the 30 years of experience of the Kielce University of Technology in the field of testing and assessing the technical condition of sewage pipes, some measures have been proposed to extend the service life of pipes and thus less frequent use of trenchless rehabilitation techniques. A literature study of selected methods of more effective than before using trenchless techniques is also presented.

Keywords: trenchless techniques, renewal, sewage pipes, economic efficiency

Wstęp

Celem artykułu jest pokazanie możliwości bardziej efektywnego stosowania technik bezwykopowej odnowy długo eksploatowanych, uszkodzonych przewodów kanalizacyjnych.

Techniki bezwykopowych napraw, rehabilitacji i wymian przewodów kanalizacyjnych stanowią atrakcyjną ekonomiczną i ekologiczną alternatywę dla technik wykopowych [17]. Są one zdecydowanie szybsze w realizacji i tańsze od technik wykopowej wymiany przewodów na nowe. Stosując je, w mniejszym stopniu zanieczyszcza się atmosferę (mniejsza emisja CO₂, mniej pyłu, mniej hałasu), znacząco lub całkowicie redukuje się uciążliwość komunikacyjną oraz uzyskuje się szereg dodatkowych korzyści wymienionych m.in. w [16].

Aby dobrać spośród bardzo wielu optymalną technikę bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych, należy poprawnie ocenić ich stan techniczny, który najczęściej bada się stosując metodę CCTV (ang. Closed Circuit Television) [6, 18], rzadziej wykonując ekspertyzy konstrukcyjne [14]. W zakresie tych badań specjalizuje się w Polsce Politechnika Świętokrzyska, która badania te wykonuje od 1991 roku do chwili obecnej.

Dobór technik bezwykopowej odnowy

uwarunkowany jest względami technicznymi (przepustowość, nośność), ekonomicznymi (trwałość, koszt) i możliwościami realizacyjnymi (np. długość, średnica i inne parametry przewodów kanalizacyjnych oraz ich otoczenia zewnętrznego). W ostatnich latach w wielu krajach dobór technik bezwykopowych uzależniono nie tylko od wyżej wymienionych kryteriów, ale także bierze się pod uwagę koszty społeczne oraz wpływ tych technik na środowisko.

Pomocna w zakresie doboru optymalnej techniki odnowy przewodów kanalizacyjnych może być opracowana w Politechnice Świętokrzyskiej metoda optymalnego doboru technik bezwykopowej rehabilitacji przewodów wodociągowych [20], uwzględniająca ponad 40 najczęściej stosowanych technik rehabilitacyjnych. Po niewielkiej jej adaptacji może być ona zastosowana także do doboru optymalnych technik rehabilitacyjnych, stosowanych w przewodach kanalizacyjnych.

Działania mające na celu wydłużenie trwałości eksploatacyjnej rur a tym samym rzadszego stosowania technik bezwykopowej ich odnowy

Uwagi wstępne

Wieloletnie badania stanu technicznego

przewodów kanalizacyjnych techniką video [6] wskazują, że procesy pogarszania się ich stanu technicznego zależą od bardzo wielu różnych czynników.

Przewody kanalizacyjne najczęściej klasyfikuje się w pięciu grupach [6], zróżnicowanych rodzajem i wielkością uszkodzeń. Umożliwia to następnie planowanie kolejności ich odnowy. Aby odnowa przewodów realizowana była możliwie jak najrzadziej należałoby:

- po pierwsze, zadbać o wysoką jakość i trwałość w budowywanych rur, poprawne wykonawstwo robót a następnie poprawną eksploatację kanału,
 - po drugie, zastosować różne rozwiązania organizacyjne oraz ulepszenia technologiczne zmniejszające koszty, czas realizacji i ich uciążliwość dla środowiska,
 - po trzecie poprawnie opracować projekt oraz starannie sprawdzić poprawność wykonanych robót na etapie ich odbioru.
- Badania CCTV przewodów kanalizacyjnych wskazują, że aby wydłużyć okres eksploatacji przewodów kanalizacyjnych liczony od momentu ich w budowania do pierwszej odnowy, a także okresy między kolejnymi odnowami wykonywanymi w dalszej przyszłości, należałoby podjąć działania ujęte w poniższych punktach.

dr hab. inż. Emilia Kuliczowska, prof. PŚk, <https://orcid.org/0000-0001-5807-860X>, prof. dr hab. inż. Andrzej Kuliczowski, <https://orcid.org/0000-0001-9807-6190> – Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki. Adres do korespondencji/Corresponding author: akuli@wp.pl

Stosowanie w budowie nowych sieci kanalizacyjnych rur wykonanych z wysokiej jakości materiałów o trwałości eksploatacyjnej znacznie wykraczającej poza 100-letni okres ich eksploatacji, rur o wysokiej odporności na korozję i inne specyficzne dla danego projektu oddziaływania zewnętrzne i wewnętrzne

Znane są przypadki eksploatacji kanałów czy przewodów kanalizacyjnych przez bardzo długie okresy. Przykładowo kanał „cloaca maxima” funkcjonuje w centrum Rzymu już ponad 2000 lat, a rury gliniane, podobnie jak rury z żeliwa szarego, w wielu miastach europejskich są eksploatowane od średniowiecza do czasów obecnych. Także wykonane przez Politechnikę Świętokrzyską badania stanu technicznego kanałów kamionkowych czy ceglanych m.in. w Warszawie, Wrocławiu czy Gdańsku budowanych w ostatnich trzech dekadach XIX wieku wykazały, że stan techniczny niektórych z nich (szczególnie tych, na które nie spadły bomby w okresie II wojny światowej) jest bardzo dobry.

W [15] została zaproponowana metoda projektowania rur na czas eksploatacji ponad 200-letni. Takie założenie przyjmowane przy projektowaniu rur ograniczyłoby znacząco stosowanie technik bezwykopowej ich odnowy, a tym samym koszty eksploatacyjne sieci kanalizacyjnych ponoszone przez następne pokolenia.

Stosowanie wysokiej jakości uszczelnień w złączach rur

W trakcie wykonywanych badań długo eksploatowanych kanałów betonowych czy kamionkowych wcześniejszej generacji (tj. różniących się znacząco m.in. parametrami wytrzymałościowymi oraz sposobem łączenia rur od obecnie produkowanych) często obserwowane są nieszczelności złączy tychże rur [6]. Inicjując one wraz z upływem czasu kolejne wtórne uszkodzenia, w tym najczęściej pęknięcia rur. Powstają one wskutek destabilizacji otoczenia gruntowego wokół nieszczelnych kanałów spowodowanej infiltracją wód gruntowych do ich wnętrza lub eksfiltracją ścieków do gruntu. Zdarzają się także zapadnięcia terenu nad kanałami [10]. Stąd też niezwykle ważne jest dobranie do złączy rur uszczelnień poliuretanowych lub SBR, lub EPDM. W przypadku, gdyby trwałość rur była wyższa od trwałości uszczelnień (co zapewne będzie miało miejsce np. w przypadku rur kamionkowych), w przyszłości niezbędna będzie ich bezwykopowa renowacja (ang. non structural rehabilitation) cienkościenną powłoką, której podstawowym zadaniem będzie uszczelnienie rur.

Staranne w budowywanie rur

Badania sieci kanalizacyjnych zaprezentowane w [6] wykazały, że wśród wielu różnych zaobserwowanych uszkodzeń często występowały uszkodzenia powstałe w okresie budowy kanału lub w trakcie transportu i wyładowywania rur. Były to wykruszenia rur na złączach czy np. pęknięcia ukośne rur od ich uderzenia twardym przedmiotem. Stąd też należy przed przekazaniem rur do eksploatacji dokładnie sprawdzić ich stan techniczny, a w rurach, które posiadają izolację zewnętrzną sprawdzić, czy nie została ona uszkodzona.

Częste kontrolowanie stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych nie dopuszczające do wystąpienia w nich poważnych uszkodzeń zagrażających ich bezpieczeństwu konstrukcyjnemu i eksploatacyjnemu

Problematyka optymalnej częstotliwości badań przewodów kanalizacyjnych została poddana analizie m.in. w [8].

Stosowanie poprawnie dobranych technik bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych

Monitoring stanu technicznego przewodów kanalizacyjnych umożliwia ustalenie najbardziej korzystnego momentu na zastosowanie bezwykopowej techniki odnowy przewodów kanalizacyjnych.

W przypadku, gdy występują określone uszkodzenia, ale współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego rur jest wyższy od wymaganego, można zastosować najtańszą z możliwych rehabilitację, tj. renowację (ang. non structural rehabilitation). W wyniku zastosowania technik renowacyjnych kanał zostaje uszczelniony, zabezpieczony przed wewnętrzną korozją oraz w większości przypadków poprawie ulegają jego parametry hydrauliczne. Zastosowana powłoka renowacyjna powinna być wtedy zaprojektowana tylko na warunek utraty jej stateczności od zewnętrznego parcia wody gruntowej.

Gdy nie wykona się renowacji w odpowiednim czasie, uszkodzenia powiększą się i wtedy współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego rur zmniejszy się. W przypadku, gdy zmniejszy się w niewielkim stopniu w stosunku do wartości wymaganej, konieczne już będzie zastosowanie nieco droższej techniki rehabilitacyjnej, tj. częściowej rekonstrukcji (ang. semi structural rehabilitation). Zastosowanie jej umożliwi uzyskanie tych samych efektów co zastosowanie techniki renowacyjnej, a dodatkowo współczynnik bezpieczeństwa osiągnie wymaganą wartość.

Gdy rehabilitacja kanału zostanie dokonana w jeszcze późniejszym terminie,

a uszkodzenia powiększą się do takiego stopnia, że współczynnik bezpieczeństwa konstrukcyjnego kanału będzie znacznie niższy od wymaganego, wtedy konieczna będzie bezwykopowa rehabilitacja kanału w opcji rekonstrukcji (ang. fully structural rehabilitation). W wyniku zastosowania bezwykopowej rekonstrukcji przewodu kanalizacyjnego, poza efektami uzyskiwanymi w trakcie renowacji przewodów, uzyskuje się nowy przewód o wymaganym współczynniku bezpieczeństwa konstrukcyjnego. Projektowany jest on na wszystkie możliwe obciążenia zewnętrzne i wewnętrzne.

Konieczność podjęcia prac badawczych dotyczących korekt obowiązujących norm w zakresie zwiększenia obecnie zalecanych przy projektowaniu rur współczynników bezpieczeństwa

W trakcie międzynarodowych konferencji poruszany jest coraz częściej problem trwałości rur. Podawane są przykłady niektórych miast, w tym także amerykańskich, w których nawet czterocenny budżet nie wystarcza już, aby dokonać w nich niezbędnej bezwykopowej odnowy przewodów podziemnej infrastruktury. Niewykonywanie takiej odnowy zagraża bezpieczeństwu dostaw mediów [11] oraz bezpiecznemu odprowadzaniu ścieków [9]. Problem ten zostałby w dużym stopniu złagodzony, gdyby zwiększone zostały wymagane współczynniki bezpieczeństwa konstrukcyjnego rur. Aby zachować dotychczasową konkurencyjność materiałową rur, należałoby zwiększyć wymagane współczynniki bezpieczeństwa, proporcjonalnie w jednakowym stopniu dla wszystkich rodzajów rur obecnie stosowanych w budowie przewodów kanalizacyjnych. Ten sam problem dotyczyłby także projektowanych powłok rehabilitacyjnych stosowanych w bezwykopowej odnowie przewodów kanalizacyjnych.

W przypadku, gdyby zostały uwzględnione wszystkie wyżej wymienione zalecenia, techniki bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych byłyby rzadziej stosowane, z uwagi na wydłużenie okresu eksploatacji przewodów kanalizacyjnych.

Wybrane sposoby bardziej efektywnego stosowania technik bezwykopowych

Uwagi wstępne

Techniki bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych są systematycznie ulepszone w zakresie stosowania ich na coraz to dłuższych odcinkach i dla coraz to większych średnic kanałów. Trwają także prace nad ulepszeniem stosowanych w odnowie

przewodów materiałów w zakresie uzyskiwania przez nie wyższej trwałości. Na uwagę zasługuje fakt, że coraz większą wagę zwraca się także na środowiskowe aspekty stosowania tych technik. Poniżej podano przykładowo siedem różnych działań, mających na celu bardziej efektywne stosowanie technik bezwykopowych.

Stosowanie materiałów o jak najdłuższej trwałości

Stosowanie materiałów o możliwie jak najdłuższym okresie eksploatacji umożliwi wydlużenie okresu między oddaniem kanału do eksploatacji, a pierwszą jego odnową oraz wydlużenie okresów między kolejnymi odnowami (rys.1), które przy najczęściej obecnie stosowanych materiałach będą odbywać się prawdopodobnie co około 50 lat.

Przykładowo, można zastosować do budowy kanału, zamiast rur z tworzyw sztucznych, które projektuje się w oparciu o obecne wytyczne i normy na okres 50-letni, np. rury kamionkowe, betonowe, stalowe czy żeliwne o prognozowanej trwałości eksploatacyjnej wynoszącej ponad 100 lat [24]. Spowoduje to, że bezwykopowe techniki odnowy przewodów kanalizacyjnych będą niezbędne nie za około 50 lat, lecz za ponad 100 lat.

Na rys. 1 pokazano 3 warianty zróżnicowane trwałością zastosowanych rur i powłok rehabilitacyjnych. Tzw. koszty sprowadzone uwzględniające cykl 100-letni są najniższe dla wariantu „c” (14 mln koron duńskich), a najwyższe dla wariantu „a” (22 mln koron duńskich).

Stosowanie w warunkach miejskich technik zajmujących możliwie najmniejszą powierzchnię terenu

Stosowanie w warunkach miejskich technik zajmujących niewielką część powierzchni terenu jest szczególnie efektywne w przypadku kanałów w obszarze starówek miejskich czy znajdujących się pod ulicami o bardzo dużym natężeniu ruchu samochodowego. Zamiast stosowania np. techniki długiego reliningu [16] z ciągu zgrzanych rur polietylenowych, które zajmują dużo miejsca, można stosować technikę długiego reliningu z zastosowaniem zdeformowanych rur nawiniętych na bęben (np. technika U-liner [16]), technikę natryskową przy zastosowaniu żywicy lub specjalnej zaprawy kompozytowej lub technikę utwardzanych in situ powłok żywicznych [16]. Takie zamiany jednak nie zawsze są możliwe, zależą od tego, jakie są średnice przewodów oraz jaki jest stan techniczny rur.

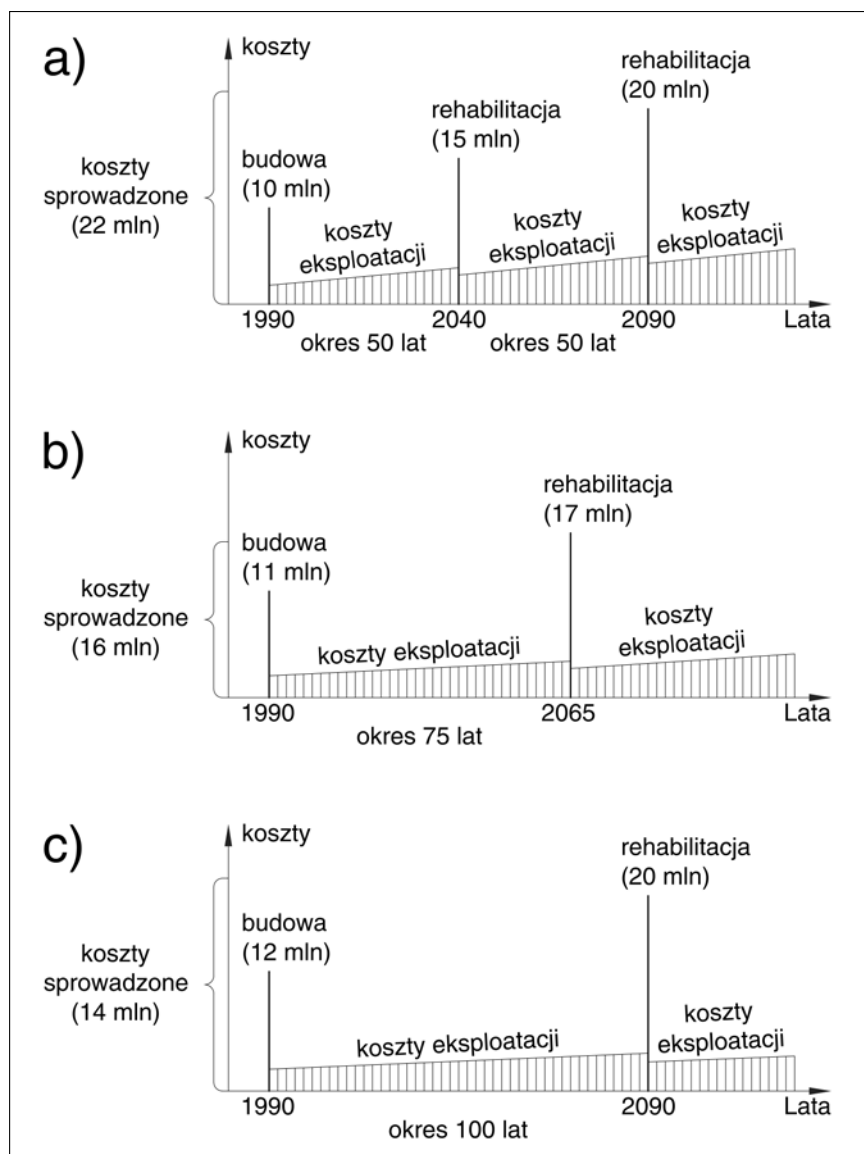
Stosowanie technik oddziałujących na środowisko w możliwie jak najmniejszym stopniu

Wśród kryteriów doboru optymalnej

techniki bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych powinno zaistnieć także kryterium biorące pod uwagę środowiskowe oddziaływanie technologii tak, aby one w coraz to mniejszym stopniu negatywnie ingerowały w środowisko. Stosując przykładowo technikę długiego reliningu [16] dowodzi się na plac budowy rury, zajmujące dużo miejsca oraz wykonuje się wykop początkowy i końcowy, a stosując np. technikę wykonywania powłok rehabilitacyjnych z uzebroanych taśm (np. Rib Lock [16]) dowodzi się na plac budowy tylko nawiniętą na bęben uzebrowaną taśmę o wielokrotnie mniejszej kubaturze niż kubatura rur zastosowanych w technice długiego reliningu. Dodatkową zaletą tej techniki jest niewykonywanie wykopu początkowego i końcowego, gdyż uzebrowaną taśmę wprowadza się do kanału poprzez studzienki kanalizacyjne.

Stosowanie technik powodujących możliwie jak najmniejszą emisję gazów cieplarnianych

Stosując techniki bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych można poszukiwać rozwiązań o ograniczonej emisji gazów cieplarnianych, w tym głównie CO₂. Przykładowo w najbardziej rozpowszechnionej technologii utwardzanych in situ powłok żywicznych CIPP można, zamiast utwardzania ich gorącą wodą lub parą wodną, zastosować utwardzanie promieniami UV, uzyskując kilkukrotną redukcję emisji CO₂ [23]. Aktualnie kontynuowane są prace nad wdrożeniem dla większych średnic przewodów kanalizacyjnych bardzo efektywnego sposobu utwardzania żywicy przy zastosowaniu światła LED. Utwardzanie światłem LED jest bardzo szybkie, może być około 5 razy szybsze [4,22] od innych sposobów utwardzania powłok żywicznych.



Rys. 1. Budowa i rehabilitacja przewodów kanalizacyjnych z użyciem materiałów o trwałości 50 lat (a), 75 lat (b), i 100 lat (c) [7].

Stosowanie technik bez wykorzystania materiałów szkodliwych dla otoczenia

W większości technik utwardzanych in situ powłok żywicznych stosowana jest żywica zawierająca styren. Styren może wydzielać ostry zapach [3]. Stosując tę technikę można użyć w niej, zamiast zwykłej żywicy poliestrowej, nieszkodliwą dla zdrowia żywicę nie zawierającą styrenu [19].

Stosowanie technik bardziej korzystnych dla środowiska mimo ponoszenia wyższych kosztów

Mogą zaistnieć pewne sytuacje, w których warto będzie zastosować bardziej kosztowną technikę, w zamian osiągając inne korzystniejsze efekty, głównie środowiskowe. Poniżej podano dwa takie przykłady:

Przykład 1: dotyczący podjęcia decyzji o realizacji robót nocą. Jest to rozwiązanie droższe, ale bardziej korzystne dla środowiska, z uwagi na ograniczenie kosztów związanych z ruchem komunikacyjnym oraz emisją CO₂ co wykazano w [1]. Dla analizowanego w tej publikacji projektu, z zastosowaniem techniki długiego reliningu, koszty ponoszone przy pracy w nocy (w godzinach 0:30 – 5:30) w porównaniu z kosztami ponoszonymi w dzień (7:00 – 22:00) były wyższe o 1 million duńskich koron. Dzięki pracy w nocy całkowite koszty związane z ruchem komunikacyjnym były około 10 razy niższe, niż gdyby ta realizacja miała miejsce w ciągu dnia, a dodatkowym efektem było zmniejszenie emisji CO₂ o około 10 ton.

Przykład 2: dotyczący podjęcia decyzji o budowie nowego kanału przy zastosowaniu droższej techniki, ale mniej uciążliwej dla lokalnej społeczności. W [2] podano przykład kolektora kanalizacyjnego o długości 3,1 km i średnicy 2 700 mm budowanego na terenie popularnego parku. Zaplanowano tradycyjną wykopową metodę budowy z kosztem 4 000 USD za metr bieżący. Lokalna społeczność zaakceptowała wydatkowanie dodatkowych 3225 USD za metr bieżący budowanego kanału decydując się na zastosowanie bezwykopowej techniki budowy, znacząco zmniejszającej negatywne oddziaływanie proponowanej wcześniej techniki wykopowej.

Poprawa efektywności robót poprzez lepszą ich organizację

Istnieją możliwości poprawy efektywności robót poprzez lepszą organizację i szybsze tempo robót. Przykładem może być partnerstwo pomiędzy instytucjami uczestniczącymi w projektach dotyczących bezwykopowych rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych. Jeden ze sposobów zaproponowanych w [21] polega na tym, że ewentualne nadwyżki finansowe po zakończeniu robót, jak również

ewentualne straty, są dzielone zgodnie z zasadą podziału, ustaloną w fazie przetargu, zwykle 50% dla firmy zlecającej rehabilitację, a reszta do podziału między współników [21] lub inna zastosowana opcja 60% dla wykonawcy, 10% dla biura projektowego i 30% dla inwestora [5]. Partnerstwo ma pozytywny wpływ nie tylko na efektywność ekonomiczną realizowanych inwestycji, ale także na jej oddziaływanie środowiskowe.

Wszystkie wyżej wymienione przykłady wskazują, że istnieją różne możliwości ulepszenia technik bezwykopowej rehabilitacji przewodów kanalizacyjnych, mające na celu poprawę efektywności ich stosowania, zarówno w aspekcie kosztowym, jak również poprzez eliminowanie niekorzystnych ich oddziaływań na środowisko. Należy jednak podkreślić, że techniki bezwykopowe są i tak wielokrotnie korzystniejsze pod względem kosztowym, jak i ich oddziaływania na środowisko, od wymiany przewodu w wykopie, co potwierdza coraz powszechniejsze stosowanie technik bezwykopowych.

Uwagi końcowe

Techniki bezwykopowej odnowy stosowane w przypadku uszkodzonych, w tym często nieszczelnych przewodów kanalizacyjnych, stanowią bardzo korzystną alternatywę dla metod wymiany przewodów kanalizacyjnych realizowanych w wykopach. W zdecydowanie mniejszym stopniu w odniesieniu do technik wykopowych oddziałują one niekorzystnie na środowisko.

Istnieją możliwości wydłużenia bezawaryjnego czasu eksploatacji przewodów kanalizacyjnych poprzez:

- zadbanie o wysoką jakość wbudowywanych rur oraz poprawne wykonawstwo robót i poprawną eksploatację przewodów kanalizacyjnych, dzięki czemu techniki bezwykopowej odnowy stosowane byłyby rzadziej,
- zastosowanie różnych nowatorskich rozwiązań organizacyjnych i ulepszeń technologicznych wcześniej wymienionych, zmniejszających uciążliwość technik bezwykopowych dla środowiska,
- a także poprawnie opracowany projekt oraz staranne sprawdzenie poprawności wykonanych robót na etapie ich odbioru.

LITERATURA:

- [1] Aarhus Water, 2015. Aarhus Water documents corporate social responsibility. Proc. of the ISTT No-Dig Conf., Istanbul, Paper 44-1.
- [2] Allouche, E.N., Gilchrist, A., 2004. Quantifying construction related social costs. Proc. of the NASTT No-Dig Conf., New Orleans, Paper A-1-02.
- [3] Bauer, G., McCartney, D., 2004. Odour control - more than sewage when installing cured-in-place sewer pipe liners. Proc. of the NASTT No-Dig Conf., New Orleans, Paper D-3-02-1.
- [4] Ernst, N., 2017. LED curing of CIPP. Proc. of the NASTT No-Dig Conf., Washington, Paper WM-T4-04.
- [5] Hallager, P., Hald, G., 2009. Partnering in no-

-dig-projects-reducing the impact of risks and uncertainties. Proc. of the NASTT and ISTT No-Dig Conf., Toronto, Paper F-4-05.

- [6] Kuliczowska, E., 2008. Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzełazowych przewodów kanalizacyjnych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce.
- [7] Kuliczowski, A., Kubicka, U., 2008. Problemy bezwykopowej odnowy rurociągów i kanałów poddanych uprzednio bezwykopowej renowacji, Przegląd Budowlany, 1, 56-62.
- [8] Kuliczowska, E., 2015. Jakość i częstotliwość inspekcji CCTV przewodów kanalizacyjnych, INSTAL, 5, 41-44.
- [9] Kuliczowska, E., 2016. The interaction between road traffic safety and the condition of sewers laid under roads. Transport Res. D. 48, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.025>.
- [10] Kuliczowska, E., 2016. An analysis of road pavement collapses and traffic safety hazards resulting from leaky sewers. Balt. J. Road Bridge E. 11(4), 251-258. <http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2016.29>.
- [11] Kuliczowska, E., Parka, A., 2017. Management of risk of environmental failure caused by tree and shrub root intrusion into sewers. Urban For. Urban Gree. 21, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.001>.
- [12] Kuliczowska, E., 2017. Environmental and structural risk assessment of long operated vitrified clay sewers. Environment Protection Engineering. 44(2), 53-67. DOI:10.5277/epe170205; oai:dbc.wroc.pl:37658.
- [13] Kuliczowska E., Kuliczowski A.: 2021. Oddziaływanie technik bezwykopowej odnowy przewodów kanalizacyjnych na środowisko, INSTAL, 1, 41-44. DOI 10.36119/15.2021.1.3.
- [14] Kuliczowski, A., Kuliczowska, E., Parka, A., 2011. Field measurements of sewer main structural integrity. Proc. of the NASTT No-Dig Conf., Washington DC, Paper E-3-04.
- [15] Kuliczowski, A., Rury kanalizacyjne, tom II, Projektowanie konstrukcji, monografia nr. 42, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2004.
- [16] Kuliczowski, A., Kuliczowska, E., Zwierzchowska, A., Zwierzchowski, D., Dańczuk, P., Kubicka, U., Kuliczowski, P., Lisowska, J., 2019. Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska, wyd. 2., Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Lublin.
- [17] Kuliczowski, A., 2020. Technologie bezwykopowe ekologiczną alternatywą dla tradycyjnych metod budowy i odnowy infrastruktury podziemnej. Nowoczesne Budownictwo Podziemne, 2, 14-17.
- [18] Madryas, C., Przybyła, B., 1998. Inspection of pipes as an element of operating municipal sewerage networks. Tunn. Undergr. Sp. Tech. 13(1), 57-64. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(98\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(98)00026-1).
- [19] Moore, B., 2014. Non-styrene options for cured in place pipe. In: Proc. of the ISTT No-Dig Conf., Madrid, Paper 6A-1.
- [20] Parka, A., Kuliczowska, E., Kuliczowski, A., Zwierzchowska, A., 2020. Selection of pressure linings used for trenchless renovation of water pipelines. Tunnelling and Underground Space Technology. 98 (4), <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103218>
- [21] Pedersen, C.M., 2010. No-Dig projects carried out in partnering – now we can document the results. Proc. of the ISTT No-Dig Conf., Singapore, Paper #17.
- [22] Roeling, M., 2009. UV-light curing of cured in place pipes (CIPP) with leds. Proc. of the ISTT and NASTT No-Dig Conf., Toronto, Paper F-3-05.
- [23] Roeling, M., 2013. Sewer rehab and CO2 footprint: A new carbon calculator for CIPP jobs. Proc. of the ISTT No-Dig Conf., Sydney, Paper 3.16-1.
- [24] Stein, D., Brauer, A., 2004. Guideline for the selection of pipe materials for municipal drainage systems, usage and service life (in German). FBS, Bochum, Germany.