

Wpływ materiałów stosowanych do budowy i napraw rur kanalizacyjnych na jakość wody deszczowej – potencjalne zagrożenia dla środowiska

Edyta Zalewska

Urbanizacja istotnie modyfikuje naturalny cykl hydrologiczny, głównie poprzez stosowanie nieprzepuszczalnych powierzchni oraz systemów odwadniających, które przyspieszają odpływ wód do odbiorników. Skutkuje to wzrostem spływu wód opadowych, zwiększonym ryzykiem powodzi oraz pogorszeniem jakości wód powierzchniowych i podziemnych.

Miejskie wody burzowe transportują liczne zanieczyszczenia, stanowiąc jedną z głównych przyczyn degradacji ekosystemów wodnych, określanej jako syndrom strumienia miejskiego. Okazuje się jednak, że nie tylko same wody burzowe, lecz także rury je transportujące oraz metody ich renowacji mogą stanowić istotne źródło zanieczyszczeń wód deszczowych. W świetle wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej UE konieczne jest monitorowanie jakości wód oraz wdrażanie skutecznych strategii ograniczania zanieczyszczeń rozproszonych.

1. Geneza powstania artykułu

Niniejszy artykuł stanowi prezentację wniosków zawartych w publikacji naukowej pt. „Impacts of stormwater pipe materials and pipe repairs on stormwater quality: a review” [1], której celem była analiza dostępnych opracowań i badań dotyczących wpływu materiałów rur oraz metod ich renowacji na jakość transportowanych nimi wód burzowych. Prace naukowców nad tym zagadnieniem były finansowane w ramach otwartego dostępu zapewnionego przez Luleå University of Technology. Badania zostały również wsparte finansowo przez VINNOVA (Szwedzką Agencję Rządową ds. Systemów Innowacji) w ramach programu DRIZZLE – Centrum Zarządzania Wodami Opadowymi (nr grantu 2016-05176).

2. Cytaty z opracowania [1] uznane za istotne

Metodologia

Przeszukano bazy danych Scopus oraz Web of Science, wykorzystując następujące słowa kluczowe: rury i wykładziny rurowe oraz naprawy rur, jakość wód burzowych oraz transport metali w rurach. W wyniku wyszukiwania uzyskano 478 publikacji, które następnie poddano dalszej analizie w celu wyodrębnienia artykułów koncentrujących się na wpływie różnych materiałów rurowych na jakość wód opadowych, przy użyciu następujących ciągów wyszukiwania: „wody burzowe i materiały rurowe” oraz „wody burzowe i naprawy rur”. Doprowadziło to do sporządzenia „długiej listy” obejmującej 204 artykuły.

Dodatkowo wykorzystano Google Scholar w celu identyfikacji kolejnych istotnych publikacji ($n=2$), które nie zostały uwzględnione w wybranych bazach danych. Następnie wszystkie 204 artykuły poddano ręcznej analizie w celu wyłonienia tych, które bezpośrednio odnosiły się do zmian jakości wody po kontakcie z materiałami rur lub w wyniku ich napraw, zarówno w warunkach terenowych,

jak i laboratoryjnych. Ostatecznie do niniejszego przeglądu zakwalifikowano 13 artykułów.

Streszczenie

Dokonano przeglądu wpływu transportu wód burzowych rurami wykonanymi z betonu (nowymi i używanymi), polichlorku winylu (PVC), ocynkowanej stali falistej (GCS) oraz polietylenu o wysokiej gęstości (HDPE), a także przewodami poddanymi bezwykopowym technologiom naprawy typu CIPP (cured-in-place pipe) i SIPP (spray-in-place pipe), na jakość wód burzowych. Badania obejmowały zarówno eksperymenty z przepływającą wodą, jak i doświadczenia zanurzeniowe. Uzyskane wyniki wskazują, że kontakt wody z materiałami rur może wpływać na parametry jakości wód deszczowych, w tym pH, przewodność elektryczną (EC) oraz stężenia minerałów, metali i składników organicznych, takich jak styren.

Po kontakcie z rurami betonowymi odnotowano „transportowy” wzrost wartości pH (o 1–3 jednostki), EC (2–3-krotny), wodorowęglanów (3–44-krotny) oraz wapnia (2–17-krotny) w wodach burzowych. (...) Przepływ przez rury PVC i HDPE miał minimalny wpływ na parametry fizykochemiczne, podczas gdy ekspozycja na rury z ocynkowanej stali falistej prowadziła do wzrostu EC oraz stężeń cynku (Zn) i ołowiu (Pb).

Pomimo ograniczonej liczby danych stwierdzono, że stosowanie napraw typu CIPP oraz związany z nimi kondensat odpadowy, powstający podczas utwardzania termicznego i/lub w wyniku niepełnego utwardzenia żywicy, może skutkować uwalnianiem budzących obawy zanieczyszczeń organicznych (np. styrenu, monomerów winylowych, ftalanu dibutyli – DBP, ftalanu dietyli – DEP oraz benzaldehydu).

W opracowaniu omówiono również implikacje uzyskanych wyników, zarówno dla przyszłych badań naukowych, jak i dla interesariuszy odpowiedzialnych za ograniczanie ładunków zanieczyszczeń rozproszonych trafiających do wód odbiorczych.

Wprowadzenie

Miejski spływ wód burzowych stanowi wektor transportu różnorodnych zanieczyszczeń (tj. fizycznych, chemicznych i biologicznych) z obszarów zurbanizowanych do odbiorników wód powierzchniowych i/lub podziemnych, negatywnie wpływając na ich jakość (Goonetilleke i in. 2005; Müller i in. 2020). Ta rozproszona forma zanieczyszczenia jest identyfikowana jako jedna z głównych przyczyn pogorszenia jakości wód odbiorczych oraz degradacji zbiorowisk ekologicznych, a zbiorcze zjawisko środowiskowe określane jest mianem syndromu strumienia miejskiego (Meyer i in. 2005).

Wymogi prawne dotyczące ograniczenia zrzuconej m.in. substancji priorytetowych (niebezpiecznych), wynikające z Ramowej Dyrektywy Wodnej UE (RDW), nakładają

obowiązek monitorowania jakości wód odbiorczych oraz (w przypadku niespełnienia norm) opracowania i wdrażania strategii kontroli zanieczyszczeń (tj. programów działań) umożliwiających osiągnięcie celu „dobrego stanu” (RDW UE 2000). Jednym z podejść do ograniczania ładunków zanieczyszczeń rozproszonych jest identyfikacja ich źródeł oraz ograniczanie działań prowadzących do uwalniania zanieczyszczeń, jeżeli całkowita eliminacja źródła lub jego zastąpienie nie jest możliwe (Viklander i Marsalek 2011).

W porównaniu z innymi źródłami zanieczyszczeń wody deszczowej sama sieć rur kanalizacyjnych traktowana jest marginalnie, jeśli chodzi o określenie jej wpływu na ładunki zanieczyszczeń w transporcie, a także o to, jak wybór materiałów, z których wykonane są rury kanalizacyjne, oraz technologia ich napraw mogą wpływać na jakość wody deszczowej. Ponadto wody burzowe przyczyniają się do degradacji betonu poprzez transport agresywnych substancji rozpuszczonych (kwasów, zasad, siarczanów itp.), prowadząc do dekalcyfikacji, która powoduje wymywanie wapnia, wodorowęglanów oraz innych jonów. Proces dekalcyfikacji prowadzi do zmniejszenia masy, wytrzymałości oraz trwałości eksploatacyjnej rur betonowych (Vipulanandan i Liu 2002).

Alternatywnym podejściem do konserwacji rur, w porównaniu z ich wykopaniem i wymianą, jest wykonanie naprawy in situ z wykorzystaniem technologii CIPP (cured-in-place pipe), czyli procesu polegającego na wprowadzeniu nieutwardzonego materiału żywicznego do uszkodzonej rury.

Inną metodą naprawy rur jest wykładzina natryskowa, zwana również spray-in-place pipe (SIPP), w której materiał wykładziny nanoszony jest na wewnętrzną stronę rury za pomocą narzędzia natryskowego, bez użycia filcu lub maty szklanej. Do typowych materiałów wykładziny zalicza się zaprawę cementową, żywicę epoksydową, poliuretan oraz polimocznik (Ellison i in. 2010; Whelton i in. 2013).

Materiały wykładziny stosowane w technologiach CIPP i SIPP mogą także uwalniać substancje, np. styren, monomery winylowe, ftalany oraz metale, podczas samego procesu instalacji (np. w wyniku niewłaściwego obchodzenia się z nieutwardzoną żywicą na wolnym powietrzu, usuwania wody kondensacyjnej CIPP powstającej podczas utwardzania termicznego i/lub niepełnego utwardzania żywic). Może to dodatkowo zwiększać zasadowość, całkowitą zawartość węgla organicznego (TOC) oraz chemiczne zapotrzebowanie na tlen (COD) w wodach kontaktowych.

W związku z tym zarówno materiały rur, jak i zastosowanie technologii renowacji CIPP/SIPP mają potencjał uwalniania szeregu zanieczyszczeń nieorganicznych i organicznych do wód opadowych, przy czym rodzaj uwalnianych substancji oraz ich stężenia zależą od materiałów rur oraz właściwości fizykochemicznych spływu. Ramowa Dyrektywa Wodna UE (EU WFD 2000) wskazuje na potrzebę kontroli zanieczyszczeń rozproszonych, a stosowanie środków kontroli źródeł stanowi możliwość ograniczenia emisji zanieczyszczeń do środowiska. Skład wód burzowych różni się w zależności od rodzaju użytkowania terenu i prowadzonych działań (Müller i in. 2020), a ich transport do odbiorników zwykle odbywa się poprzez system rur.

Dlatego w analizie jakości wód burzowych istotne jest również uwzględnienie wpływu kontaktu wód opadowych z materiałami rur na zachowanie się zanieczyszczeń.

Zmiany parametrów jakości wody pod wpływem materiałów, z których wykonano rury i technologii ich naprawy

Wpływ na poziom pH

Badania obejmujące wpływ różnych rodzajów rur na wody burzowe wykazały, że niezależnie od rodzaju materiału oraz początkowego pH wody (które wahało się od 4,7 do 8,4), w większości przypadków odnotowano jego wzrost. Niewielkie spadki zanotowano dla PVC i poliuretanowej wykładziny SIPP (woda syntetyczna), HDPE (woda buforowana, pH = 5) oraz GCS (woda zatokowa). Największy wpływ miał kontakt wody z rurami betonowymi (...).

Wzrost pH związany z kontaktem wody z nowymi rurami betonowymi wynikał z reakcji wody ze składnikami cementu (np. trój- i dwuwapniowymi krzemianami), prowadzącej do powstawania produktów hydratacji, takich jak hydrat krzemianu wapnia i wodorotlenek wapnia (Davies i in. 2010b). (...)

Złożony związek między materiałami rur a rodzajami wód burzowych, opisany w niniejszym artykule, podkreśla konieczność starannego doboru materiałów rur, zwłaszcza na obszarach o zróżnicowanych właściwościach wody. Rury HDPE mogą być bardziej odpowiednie w niektórych przypadkach ze względu na ich ograniczony wpływ na pH, podczas gdy zastosowanie rur betonowych może wymagać dodatkowych analiz oraz wprowadzenia działań łagodzących. Zmiany pH wód burzowych mogą również wpływać na dalsze etapy procesu oczyszczania wody, co wymaga dostosowania metod uzdatniania do materiałów stosowanych w systemach kanalizacji burzowej.

Zmiany przewodności elektrycznej (EC), wodorowęglanów i wapnia

Wzrost wartości przewodności elektrycznej (EC) odnotowano we wszystkich wodach kontaktujących się z rurami betonowymi. Na przykład wzrost EC w kontakcie z rurami betonowymi zależał od wieku rur: od wzrostu nawet 3,9-krotnego w przypadku nowych rur betonowych, przez 1,4-krotny wzrost dla starych rur betonowych (~75 lat), do 1,0-krotnego wzrostu w przypadku rury wyłożonej epoksydem (te same rodzaje wody). (...)

W porównaniu z rurami betonowymi wzrost EC w wodzie spowodowany kontaktem z rurami PVC (0,99–1,5-krotnie), galwanizowanej stali falistej (0,84–1,5-krotnie) oraz HDPE (1,3–1,4-krotnie) był stosunkowo niższy i miał podobną wielkość zmian (Davies i in. 2010c; Ogburn i in. 2013; Purdy i in. 2021). Ponieważ naturalne ciekłe wodne (tj. przy $\leq 5\%$ powierzchni nieprzepuszczalnej w zlewni) są stosunkowo kwaśne i zwykle charakteryzują się niską przewodnością elektryczną, stosowanie rur betonowych w miejskich systemach odwadniających może prowadzić do szybkich zmian wartości EC wód kontaktowych – a potencjalnie również wód odbiorczych – w porównaniu ze scenariuszami, w których użyto innych materiałów (np. PVC, HDPE czy galwanizowanej stali falistej) w rurociągach wód opadowych. (...)

Wymywanie substancji z rur betonowych stanowi sztuczne źródło związków jonowych (szczególnie jonów wapnia i wodorowęglanów) dostających się do miejskich cieków wodnych, przy czym dane wskazują, że poziom wymywania zależał od rodzaju wody kontaktowej oraz wieku rur betonowych (Davies i in. 2010b; Grella i in. 2016; Purdy i in. 2021). Na przykład przepływ wody spływającej z dachów przez nowe rury betonowe zwiększał stężenia wapnia (z 0,5 do 7,0 mg/L).

i wodorowęglanów (od 0,5 do 22 mg/L) w porównaniu z kontaktem z materiałami betonowymi starszymi (wapń: 0,5–2 mg/L; wodorowęglany: 0,5–5,3 mg/L).

Wody agresywne (tj. o $\text{pH} \leq 5$) rozpuszczają więcej jonów z powierzchni betonu w porównaniu z wodami buforowanymi, początkowo zawierającymi wyższe stężenie wodorowęglanów (Davies i in. 2010b, c).

I Wpływ na stężenie i specjację metali

„Badania wykazały, że zarówno stężenia metali, jak i ich specjacja w wodach kontaktowych mogą ulegać zmianom w wyniku kontaktu z materiałami rur (Perkins i in. 2005; Borris i in. 2017). Na przykład całkowite stężenia cynku (Zn) w przypadku kontaktu z ocynkowanymi rurami stalowymi falistymi były wyższe w porównaniu z innymi materiałami rurowymi dla wszystkich typów wód. (...)

Stal ocynkowana jest podatna na korozję w obecności wody zawierającej nadmiar wolnego dwutlenku węgla, natomiast wody o $\text{pH} > 8,2$ sprzyjają uwalnianiu rozpuszczonego Zn do roztworu (Brandt i in. 2017). (...) Schemat wymywania Zn dla wód buforowanych przedstawia się następująco: $\text{PVC} > \text{HDPE} > \text{beton}$, z wyjątkiem wód przybrzeżnych i rzecznych, w których nie zaobserwowano zmian stężenia Zn dla tych samych materiałów.

Kontakt z wykładzinami CIPP może również prowadzić do podwyższenia stężenia Zn w wodach przepływających. Kontrola terenowa po instalacji CIPP, przeprowadzona w celu naprawy uszkodzonych rur, wykazała różnice w stężeniu Zn między punktami przed i za naprawianym odcinkiem. W szczególności stężenie przy wylocie naprawianej rury wzrosło natychmiast po instalacji (z < 30 do $440 \mu\text{g/L}$), a jako źródło Zn zidentyfikowano dodatek wzmacniający w matrycy polimerowej, wykryty w kondensacie CIPP (wodzie z utwardzania) wytworzonym podczas termicznego utwardzania żywicy CIPP (Tabor i in. 2014).

„Konsekwencje uwalniania metali z materiałów rur do wód opadowych są wielowymiarowe i mają istotny wpływ na jakość wód. Ustalenia sugerują, że skład wody, pH oraz specjacja metali odgrywają istotną rolę w procesie uwalniania metali z różnych materiałów rur. Ponadto wielkość uwalniania metali z tego samego materiału rur (np. stali ocynkowanej) może różnić się w zależności od konkretnego składu wody oraz wieku rur, prowadząc do odprowadzania wód opadowych o zróżnicowanych stężeniach metali do wód odbiorczych.

Rury betonowe zostały zidentyfikowane jako potencjalne źródło różnych metali w spływach, z możliwością zaburzenia równowagi ekosystemów wodnych. Jednak uwalnianie metali z naprawianych rur (z wyjątkiem Ca i Zn) okazało się mniejsze, choć dane w tym zakresie są ograniczone. Wymywanie metali z naprawianych rur może zależeć od rodzaju zastosowanej technologii utwardzania żywicy, stopnia jej utwardzenia oraz warunków w miejscu naprawy (np. ciągłego lub przerywanego przepływu wody).

I Zanieczyszczenia organiczne wymywane z napraw rur metodą CIPP

„W zastosowaniach CIPP powszechnie stosuje się trzy rodzaje żywic: nienasycone żywice poliestrowe, żywice winylestrowe (pochodne żywic epoksydowych) oraz żywice epoksydowe, nanoszone na maty z filcu lub włókna szklanego. Zastosowanie technologii CIPP może prowadzić

do uwalniania substancji organicznych do środowiska zarówno w trakcie instalacji, jak i po jej zakończeniu, w tym styrenu (C_8H_8), który występuje w dwóch pierwszych typach żywic (30–50% wagowo) (Donaldson 2009).

Na przykład monitorowanie siedmiu lokalizacji cieków wodnych w prowincjach Piedmont i Blue Ridge w Wirginii, prowadzone podczas i po zastosowaniu wykładzin CIPP utwardzanych parą, wykazało obecność styrenu w wodach odbiorczych w zróżnicowanych stężeniach i przez różne okresy, co odzwierciedlało różnice między lokalizacjami (np. objętość i szybkość przepływu wody oraz sposób postępowania z odpadami powstającymi podczas instalacji).

Zgłoszono m.in., że kondensat parowy o stężeniu styrenu wynoszącym 77 mg/L został odprowadzony do wód poniżej miejsca instalacji, a stężenia styrenu w wodach poniżej punktów zrzutu przekraczały zarówno kanadyjskie wytyczne jakości wód chroniące życie wodne (CCME 1999), jak i progi toksyczności dla *Daphnia magna* oraz *Pimephales promelas* (Cushman et al. 1997; Tabor et al. 2014). Styren był wykrywany do 88 dni po zrzucie (okres badań: od dnia 0 do dnia 120), przy czym wyższe stężenia stwierdzano w lokalizacjach o przerywanym przepływie wody, co sugeruje wpływ charakterystyki przepływu na poziom rozcięńczenia. Jednocześnie styren wykryto również poniżej lokalizacji, w których kondensat nie był odprowadzany do wód odbiorczych; jako potencjalne źródło tego zjawiska wskazywano niepełne utwardzenie maty nasączonej żywicą (Donaldson 2009).

W odniesieniu do innych substancji analiza nieutwardzonej żywicy wykazała obecność ponad 70 związków, w tym diglicydowego eteru bisfenolu A (BADGE) ($1110 \pm 40 \text{ mg/kg}$), 1-hydroksycykloheksylofenyloketonu ($2270 \pm 80 \text{ mg/kg}$), dibutyloftalanu (DBP) ($388 \pm 60 \text{ mg/kg}$) oraz benzaldehydu ($130 \pm 11 \text{ mg/kg}$) (Li i in. 2019). Inne zanieczyszczenia wykryte w materiałach CIPP i/lub w strumieniach odpadów obejmują benzen, dietyloftalan (DEP), DBP, alkohol benzylowy, cykloheksan-1-ol oraz cykloheksan-1-on (Tabor i in. 2014). Stanowi to problem, ponieważ kilka z tych substancji, m.in. DBP, DEP i BADGE, jest klasyfikowanych jako potencjalne substancje zaburzające gospodarkę hormonalną (Tabor i in. 2014; Li i in. 2019).

Potencjał uwalniania zanieczyszczeń organicznych podczas instalacji CIPP zależy od zastosowanej metody utwardzania. Na przykład metody utwardzania UV w instalacjach CIPP nie generują kondensatu parowego, co może wyjaśniać, dlaczego w badaniu terenowym stężenie styrenu w wodach odbiorczych było ponad 10-krotnie niższe ($0,45 \text{ mg/L}$) w porównaniu z CIPP utwardzanym parą, gdzie wykryto stężenia styrenu na poziomie $5,48 \text{ mg/L}$. Nie jest jednak jasne, czy wynika to z wyższej efektywności procesu utwardzania, czy przede wszystkim z braku kondensatu powstającego podczas utwardzania UV.

Zróżnicowanie stężeń zanieczyszczeń uwalnianych po instalacjach UV-CIPP również zostało odnotowane, np. stężenia styrenu w zakresie od $3,3$ do $446 \mu\text{g/L}$, benzaldehydu od $12,5$ do $68 \mu\text{g/L}$, DBP od $6,3$ do $12,5 \mu\text{g/L}$ oraz 1-hydroksycykloheksylofenyloketonu od wartości poniżej granicy oznaczalności (BDL) do $55,2 \mu\text{g/L}$. Czynniki przyczyniające się do tych różnic obejmują zróżnicowanie składu materiałów CIPP (często chronionego komercyjnie) oraz metody eksperymentalne stosowane do uzyskiwania danych (tj. metody przepływowe vs. zanurzeniowe) (Donaldson i Whelton 2013).

Tab. 1. Wykaz substancji stwierdzonych w żywicach CIPP oraz na miejscach instalacji

Substancje	Medium, w którym wykryto substancję		
	Nieutwardzona żywica CIPP	Kondensat CIPP	Próbka wód burzowych
Benzen ●		×	×
Benzaldehyd ●■	×	×	×
Alkohol benzylowy ●		×	×
Ftalan dibutyli (DBP) ●■	×	×	×
Ftalan dietyli (DEP) ●■	×	×	×
Styren ●■◆	×	×	×
Monomery winylowe			×
1,2,4-trimetylobenzen ●■	×	×	×
1,2,5-trimetylobenzen ●	×	×	×

● – substancja wykazana w pracy **Tabor i in. (2014)**
 ■ – substancja wykazana w pracy **Li i in. (2019)**
 ◆ – substancja wykazana w pracy **Donaldson (2009)** oraz **Donaldson i Whelton (2013)**

Lista substancji wykrytych w żywicy CIPP, kondensacie oraz w próbkach wód odbiorczych pobranych w miejscach instalacji CIPP została przedstawiona w tabeli 1.

Zbadano również wpływ stosowania żywicy niezawierających styrenu w instalacjach CIPP. Na przykład w badaniu dotyczącym wpływu instalacji UV-CIPP na bazie żywicy winylestrowych wykryto monomery winylowe i akrylowe w wodach odbiorczych po instalacji CIPP w stężeniach odpowiednio 76 mg/L i 0,009 mg/L, czyli w stężeniach przekraczających progi toksyczności dla ryb i wioślarek (*Cladocera*) (**Donaldson i Whelton 2013**).

W przeciwieństwie do tego, laboratoryjne badanie wsadowe dostępnych na rynku produktów CIPP, *ultraliner™* i *troliner™*, nie wykazało obecności analizowanych substancji bisfenolu A (BPA), ftalanu di-(2-etyloheksyli) (DEHP) ani ftalanu benzylobutyloвого (BBP) w stężeniach przekraczających ich granice oznaczalności (LOD; LOD dla BPA, DEHP i BBP wyniosły odpowiednio 0,029 mg/L, 0,191 mg/L i 0,447 mg/L) (**Ren i Smith 2012**). (...)

Badania dotyczące uwalniania i wpływu substancji organicznych powstających w wyniku napraw rur są ograniczone. Jednak wspólnym wnioskiem z dotychczasowych badań jest to, że wyniki różnią się w zależności od rodzaju – oraz sposobu przeprowadzania – procesów instalacyjnych, tj. nieprawidłowego obchodzenia się z nieutwardzonymi żywicami, typu/niepełnego utwardzenia żywicy i/lub sposobu postępowania z kondensatem parowym (powstałym wyłącznie w wyniku utwardzania termicznego) (**Donaldson 2009**). Z powodu braku badań terenowych nie jest jeszcze jasne, w jakim stopniu zidentyfikowane wyzwania można kontrolować poprzez wybór odpowiedniej metody utwardzania i stosowanie zasad „dobrej praktyki” w terenie.

Dlatego zaleca się dalsze badania, koncentrujące się na wpływie oraz stopniu, w jakim wytyczne najlepszych praktyk dotyczące instalacji technologii napraw rur (np. wytyczne NASSCO wspierające bezpieczne obchodzenie się z materiałami żywicznymi) są wdrażane i przestrzegane.

Wnioski i implikacje dla środowiska

Systemy rurowe odgrywają kluczową rolę w odprowadzaniu wód opadowych z obszarów miejskich do odbiorników. Przewody te mogą być wykonane z różnych materiałów, a ponadto w trakcie eksploatacji mogą być poddawane jednemu lub kilku rodzajom technologii renowacji. Chociaż liczba badań jest ograniczona, istnieją wyraźne dowody na to, że rodzaj zastosowanych materiałów i procesów

naprawczych może wpływać na jakość transportowanej wody, a efekty te są zróżnicowane i zależą od parametrów jakości wody, rodzaju badanej wody, materiału rury, technologii naprawczej oraz zastosowanej metody badawczej.

Jednakże pomimo różnic w sposobie prowadzenia badań dostępne wyniki wyraźnie wskazują, że stosowanie rur ze stali falistej ocynkowanej, rur betonowych oraz pozostałości po wykładzinach CIPP (pochodzących z utwardzania termicznego), a także kondensatu parowego i wytłaczanej żywicy, może stanowić źródło zanieczyszczeń w wodach opadowych. Rury betonowe, niezależnie od wieku, nadal uwalniają do wód kontaktowych jony wodorowęglanowe i wapnia. Uwalnianie tych jonów może zmieniać jakość spływu – a ostatecznie także wód odbiorczych – co wpływa na organizmy wodne, np. poprzez ograniczenie dostępności odpowiednich siedlisk i źródeł pożywienia oraz zmianę rozmieszczenia okrzemek bentosowych (**Potapova i Charles 2003; Davies i in. 2010a; Wright i in. 2011; Tippler i in. 2012**).

Tylko ograniczona liczba badań oceniła wpływ technologii renowacji rur na jakość wód opadowych. Jednak dostępne badania wskazują, że zastosowanie technologii SIPP i CIPP może prowadzić do uwalniania kilku substancji organicznych (np. styrenu, monomerów winylowych, benzaldehydu, DEP i DBP), przy czym ich źródłem jest prawdopodobnie emisja z żywicy podczas instalacji i po jej zakończeniu.

Choć poziom uwalniania substancji organicznych (np. styrenu) jest niższy w przypadku CIPP utwardzanego promieniowaniem UV niż w przypadku CIPP utwardzanego termicznie, styren wykrywano w stężeniach uznawanych za toksyczne dla organizmów wodnych w obu procesach. Dokładny skład kondensatu CIPP jest nieznan, co utrudnia przewidzenie jego wpływu na środowisko.

Ogólnie stężenie zanieczyszczeń organicznych uwalnianych z wykładzin rur może zależeć od rodzaju zastosowanego materiału CIPP, metody utwardzania (UV lub termicznej), rodzaju wody oraz warunków panujących na miejscu (np. wysokiego lub przerywanego przepływu wody). Potencjał uwalniania zanieczyszczeń organicznych został zauważony przez NASSCO (stowarzyszenie branżowe technologii bezwykopowych), które opracowało wytyczne wspierające bezpieczne obchodzenie się z materiałami żywicznymi, zapobieganie emisji cząstek do powietrza i wody podczas procesów cięcia CIPP oraz właściwą

utylicację kondensatu termicznego lub parowego, a także odpadów z wytłaczanej żywicy.

Nie jest jednak jasne, w jakim stopniu takie najlepsze praktyki są stosowane w terenie, ponieważ działania instalacyjne nie są rutynowo monitorowane pod kątem poziomu zgodności.

„Wpływ różnych materiałów rur i metod naprawy (SIPP/CIPP) na zmiany jakości wód burzowych był dotychczas badany tylko w ograniczonym zakresie (...). W związku z tym potrzebne są dalsze badania, które pozwolą lepiej zrozumieć, jakie substancje organiczne i nieorganiczne są uwalniane do wód burzowych przez powszechnie stosowane materiały rurowe i techniki naprawcze. Co więcej, niepełne utwardzenie żywicy podczas CIPP lub niewłaściwe zarządzanie kondensatem może prowadzić do uwalniania zanieczyszczeń, a poziomy zgodności z najlepszymi praktykami wymagają dalszej oceny.

Na podstawie niniejszego przeglądu zaleca się stosowanie w takich badaniach technik eksperymentalnych z wykorzystaniem przepływającej wody oraz wód burzowych zebranych w terenie (w przeciwieństwie do wód syntetycznych). Ponadto przyszłe prace mogłyby obejmować monitoring terenowy zastosowań CIPP i SIPP w celu określenia, które substancje chemiczne są uwalniane do środowiska podczas i po instalacji (np. próbki wody powinny być analizowane pod kątem szerszego zakresu związków), a także przeprowadzanie testów ekotoksyczności w celu umożliwienia pełnej oceny ich wpływu na gatunki wodne.

3. Podsumowanie

Przedstawiona analiza jednoznacznie wskazuje, że jakość wód deszczowych w systemach miejskich zależy nie tylko od charakteru spływu powierzchniowego i zagospodarowania terenu, lecz także w istotnym stopniu od materiałów, z jakich wykonane są rury kanalizacyjne, oraz od technologii stosowanych do ich naprawy. Systemy odwadniające nie są więc wyłącznie biernymi elementami infrastruktury, ale aktywnymi uczestnikami procesów kształtujących skład chemiczny wód burzowych.

Z przeglądu badań wynika, że rury betonowe oraz stalowe z blachy falistej mogą istotnie modyfikować parametry fizykochemiczne wód, m.in. poprzez podnoszenie pH, przewodności elektrycznej oraz wprowadzanie jonów wapnia, wodorowęglanów i metali. Z kolei rury z tworzyw sztucznych, takich jak HDPE, wykazują mniejszy wpływ na jakość wody, co czyni je potencjalnie korzystniejszym wyborem w kontekście ochrony środowiska wodnego. Technologie renowacyjne, takie jak CIPP i SIPP, choć pozwalają ograniczyć ingerencję w grunt i koszty remontów, mogą prowadzić do uwalniania zanieczyszczeń organicznych o udokumentowanej toksyczności dla organizmów wodnych, w tym substancji potencjalnie zaburzających gospodarkę hormonalną. Alternatywą dla technologii renowacyjnych CIPP i SIPP może być relining rurami HDPE, które mają najmniejszy wpływ na środowisko wodne.

Wyniki te podkreślają, że decyzje inżynierskie dotyczące doboru materiałów i metod naprawy rur powinny uwzględniać nie tylko kryteria techniczne i ekonomiczne, lecz także długofalowe skutki środowiskowe. Jest to szczególnie istotne w kontekście wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej UE, która nakłada obowiązek osiągnięcia dobrego stanu wód oraz ograniczania zanieczyszczeń rozproszonych u źródła.

Jednocześnie należy zaznaczyć, że dostępna baza badań jest wciąż ograniczona, a wiele zagadnień – zwłaszcza dotyczących

wpływu technologii renowacji rur metodą CIPP i SIPP w warunkach terenowych – wymaga dalszych, pogłębionych analiz. Przyszłe prace powinny koncentrować się na monitoringu rzeczywistych instalacji i prowadzeniu badań ekotoksykologicznych, bowiem już teraz dostępne dane wyraźnie wskazują na istnienie realnego ryzyka środowiskowego. Pytanie zatem, czy efekty tych pogłębionych badań, ale również niepokojące doniesienia napływające m.in. z USA [2], nie spowodują istotnych przetasowań w branży bezwykopowej.

Podsumowując, infrastruktura kanalizacji deszczowej nie może być traktowana jedynie jako neutralny kanał transportu wód opadowych. Jest ona elementem aktywnie współkształtującym presję antropogeniczną na ekosystemy wodne. Świadomy dobór materiałów, technologii napraw oraz odpowiednie zarządzanie eksploatacją sieci mogą stać się ważnym narzędziem ograniczania degradacji środowiska i realizacji zasad zrównoważonego rozwoju w miastach.

Literatura

- [1] Mehwish Taneez, Heléne Österlund, Lian Lundy, Maria Viklander; "Impacts of stormwater pipe materials and pipe repairs on stormwater quality: a review" Urban Water Engineering, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå University of Technology, 971 87, Luleå, Szwecja; Environmental Science and Pollution Research (2023) 30:118065-118077, 4 November 2023. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-30508-6>.
- [2] <https://engineering.purdue.edu/CIPPSafety>.

Edyta Zalewska

Uponor Infra Sp. z o.o.

Więcej na:



www.uponor.com



www.gfps.com



www.linkedin.com/company/18361201/



www.facebook.com/profile.php?id=61558651270591&locale=pl_PL



www.youtube.com/channel/UCAAc3O7OYFb9gaQXuCYBTyQ

Dane kontaktowe:

Uponor Infra Sp. z o.o.

ul. Kolejowa 5/7, 01-217 Warszawa



Edyta Zalewska



+48 604 421 777



infra.pl@uponor.com



uponor

a +GF+ brand

www.uponor.com/pl-pl/infra

Uponor Infra jest częścią grupy Georg Fischer, dywizji GF I&I Flow Solutions, globalnego lidera w dziedzinie bezpiecznego i niezawodnego przesyłania wody, substancji chemicznych i gazu. Uponor Infra zajmuje się produkcją systemów rur i kształtek z tworzyw sztucznych (PE i PP), które wykorzystywane są do budowy i renowacji wodociągów i kanalizacji na potrzeby gospodarki komunalnej, drogownictwa i przemysłu.