

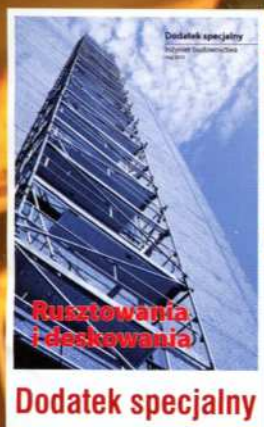
Inżynier budownictwa

5
2013

NR 05 (106) | MAJ

PL ISSN 1732-3428

MIESIĘCZNIK POLSKIEJ IZBY INŻYNIERÓW BUDOWNICTWA



STAWKA VAT NA ROBOTY BUDOWLANE

Gdy kierownik budowy rezygnuje ■ Uszczelnienie dylatacji

Kamionkowe czy z PVC

– porównanie przewodów kanalizacyjnych

prof. dr hab. inż. **Andrzej Kuliczkowski**
Politechnika Świętokrzyska

Najistotniejsze różnice w zakresie własności materiałowych, projektowania konstrukcyjnego, zasad wbudowywania i ograniczeń eksploatacyjnych.

Rury kamionkowe zaczęto powszechnie stosować w ostatnich dekadach XIX w. wraz z budową pierwszych współczesnych systemów kanalizacyjnych. Z kolei rury z tworzyw sztucznych, w tym z PVC, zaczęto stosować w Polsce w ostatnich dekadach XX w. Rury kamionkowe zalicza się do grupy rur o konstrukcji sztywnej, a rury z PVC do grupy rur lepko-sprężystych termoplastycznych.

Mimo stosunkowo długiego okresu stosowania rur z PVC obserwuje się niską znajomość ich specyfiki zarówno wśród projektantów, jak i wśród wykonawców czy eksploataatorów. Własności wszystkich rur z tworzyw sztucznych opisano m.in. w [3, 6, 13, 15], a wybrane problemy dotyczące ich specyfiki, na przykładzie rur polietylenowych, w [10, 11]. Z kolei własności rur kamionkowych przedstawiono m.in. w [9, 13]. Rury z PVC i kamionkowe zasadniczo różnią się własnościami materiałowymi, projektowaniem konstrukcyjnym, zasadami wbudowywania i ograniczeniami w zakresie parametrów eksploatacyjnych.

Hydrauliczne wymiarowanie rur kamionkowych oraz rur z PVC

W zakresie hydraulicznego wymiarowania rur z PVC autorzy niektórych opracowań przyjmują błędne założenia. Opierając się na fakcie, że współczynnik chropowatości k ścian

nowo wyprodukowanych rur z PVC wynosi od 0,0015 do 0,01 mm [16], a ścian nowych rur kamionkowych od 0,02 do 0,30 mm [16], zalecają, aby grawitacyjne przewody kanalizacyjne z rur PVC projektować inaczej niż przewody kamionkowe, przyjmując współczynnik chropowatości $k = 0,01$ mm. Pomijają oni to, że wymiarując hydraulicznie przewody kanalizacyjne, należy brać pod uwagę:

- fakt, że chropowatość ścian wszystkich przewodów, w tym także z rur PVC, w trakcie ich eksploatacji z czasem się zmienia;
- to, że przy projektowaniu należy mieć na względzie tzw. chropowatość zastępczą uwzględniającą straty lokalne powstające:
 - wskutek niedokładności ułożenia i zmian wzajemnego położenia rur,
 - na stykach i połączeniach rur,
 - przy kształtkach przyłączeniowych,
 - w studzienkach kanalizacyjnych.

Przyjmowanie w trakcie hydraulicznego wymiarowania przewodów kanalizacyjnych z rur PVC wartości współczynnika chropowatości równego 0,01 mm czy w niektórych przypadkach 0,1 mm jest bardzo poważnym błędem. Konsekwencją przyjęcia takich założeń jest uzyskanie mniejszego przekroju poprzecznego, niż uzyskuje się w alternatywnym kanale kamionkowym. Poprawny tok obli-

czeń hydraulicznych zamieszczony jest m.in. w wytycznej ATV A110 rozpowszechnionej w Polsce, także w języku polskim [1]. Zaleca się w niej, aby hydraulicznie wymiarując przewody kanalizacyjne, przyjmować jedną z następujących wartości współczynnika chropowatości: 0,25 mm, 0,50 mm, 0,75 mm, 1,50 mm. Szczegółowe zasady przyjmowania każdej z tych wartości podane są m.in. w [1, 14]. Wartości te należy przyjmować dla wszystkich rur kanalizacyjnych – i kamionkowych, i z PVC.

We wstępie do książki [17] zawierającej tabele do hydraulicznego wymiarowania przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur PVC i PEHD zamieszczono informację opracowaną przez Zrzeszenie Niemieckich Producentów Rur z Tworzyw Sztucznych, zalecającą hydrauliczne wymiarowanie rur z tworzyw sztucznych, w tym z PVC, z zastosowaniem wyłącznie współczynników k równych 0,25 mm, 0,50 mm, 0,75 mm lub 1,50 mm (w żadnym wypadku nie 0,01 mm czy 0,10 mm). Wytyczne te dopuszczają również możliwość samodzielnego ustalenia przez projektanta wartości współczynnika chropowatości. Należy wtedy – bez względu na rodzaj materiału rury kanalizacyjnej – przyjąć wartość początkową chropowatości ścianki rury $k = 0,10$ mm, a następnie do wartości tej dodawać kolejno wcześniej wymienione straty lokalne.

Jak pokazuje przykład obliczeniowy [14] dotyczący rur z PEHD i PVC, ostateczna wartość w taki sposób obliczonego współczynnika chropowatości może w niektórych przypadkach przekroczyć wartość 1,50 mm.

Istotnym zagadnieniem jest dobór prawidłowego spadku podłużnego przewodów kanalizacyjnych. Niektórzy zalecają projektowanie przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur z tworzyw sztucznych z mniejszym spadkiem podłużnym niż ten zalecany dla rur o konstrukcji sztywnej, np. kamionkowych. Próbują to uzasadniać analizą naprężeń stycznych przy przyjmowaniu początkowych wartości chropowatości ścianek rur i jednoczesnym pominięciu wymienionych wcześniej strat lokalnych.

Prowadzone przez Politechnikę Świętokrzyską od 1991 r. badania przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur PVC techniką CCTV wykazały, że bardzo często nawet już po kilku miesiącach ich eksploatacji zalega w nich dużo osadu, ścianki rur często są oblepione tłuszczem, a wewnętrzna ich powierzchnia nie jest już tak gładka jak w nowych rurach. Prawdopodobnie tego typu doświadczenia eksploatacyjne skłoniły autorów opracowujących wytyczne ATV A110 do przyjęcia wcześniej opisanych założeń, dotyczących jednakowego traktowania wszystkich rur w trakcie ich hydraulicznego wymiarowania.

Biorąc pod uwagę polskie doświadczenia w zakresie jakości wbudowywania rur z PVC, nale-

żałoby raczej układać te rury ze spadkami podłużnymi większymi od tych, z jakimi układa się rury o konstrukcji sztywnej.

Na rys. 1 pokazano cztery spośród bardzo dużej liczby wykresów będących w posiadaniu autora tego opracowania, pokazujące spadki podłużne nowo wbudowanych przewodów z rur PVC zbadanych techniką CCTV w trakcie ich odbioru. Uzyskanie takich spadków przy wbudowywaniu rur sztywnych, np. kamionkowych, jest praktycznie niemożliwe. W przypadku cienkościennych rur z PVC o małej sztywności podłużnej bardzo często dodatkowo obserwowane są „niecki” w środku ich długości. Kamera wjeżdża z suchego miejsca złącza rur, zanurza się w ściekach w środku rury i następnie znowu wjeżdża w suchy obszar następnego złącza.

Przyczyn powstawania takich nieprawidłowych spadków podłużnych przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur PVC jest bardzo dużo. Istotnie przyczynia się do tego lekkość rur i związana z tym ogromna trudność właściwego ich posadowienia na podłożu.

Mała sztywność podłużna rur z PVC, a także uzyskiwane z badań CCTV nieprawidłowe ich spadki podłużne, pokazane na rys. 1, uzasadniają celowość podjęcia badań nad opracowaniem zaleceń dotyczących zwiększania spadku podłużnego przewodów tworzywowych, w tym z rur PVC, w stosunku do spadków zalecanych dla przewodów o konstrukcji sztywnej.

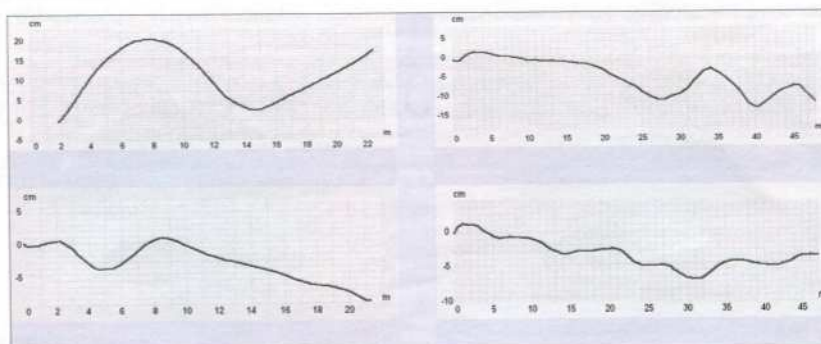
Aspekt wytrzymałościowy rur kamionkowych oraz rur z tworzyw sztucznych w funkcji czasu

Różnice w zakresie konstrukcyjnego projektowania rur kamionkowych i z PVC są bardzo istotne.

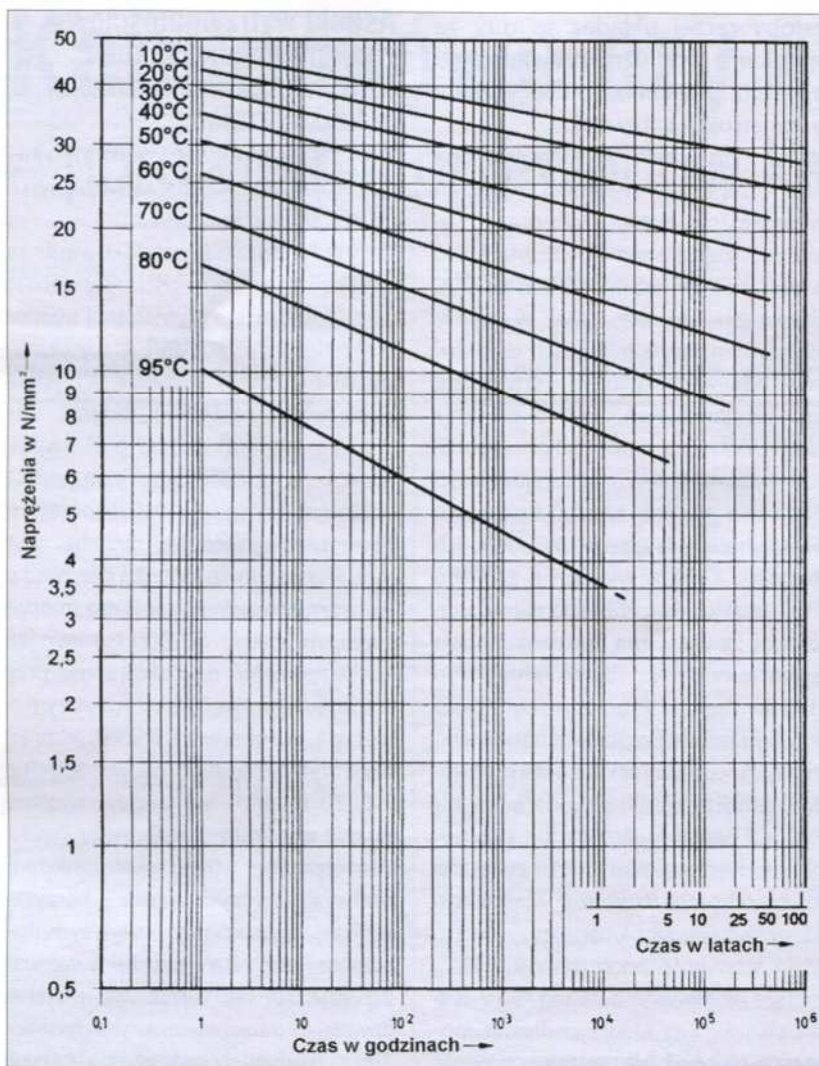
Rury kamionkowe produkowane są w kilku klasach nośności. Aby dobrać z katalogu rurę o wymaganej nośności, należy np. zgodnie z wytycznymi ATV 127 [2] zestawić wszystkie obciążenia, następnie określić zastępczą siłę oraz biorąc pod uwagę sposób posadowienia rury na podłożu i wymaganą wartość współczynnika bezpieczeństwa, ustalić wymaganą jej nośność. W przypadku rur kamionkowych zarówno moduł sprężystości $E_R = 50\ 000\ \text{N/mm}^2$, jak i wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu ($15\text{--}40\ \text{N/mm}^2$), wytrzymałość na ściskanie ($100\text{--}200\ \text{N/mm}^2$) czy wytrzymałość na rozciąganie ($10\text{--}20\ \text{N/mm}^2$) nie ulegają zmianie wraz z upływem czasu.

Współczesne rury kamionkowe cechują zdecydowanie korzystniejsze parametry wytrzymałościowe niż rury produkowanych 20 czy 30 lat temu. Na przykład dawniej produkowane rury o średnicy 300 mm posiadały maksymalną nośność 38,2 kN/m, podczas gdy najnowszej generacji rury kamionkowe klasy 240 o tej samej średnicy mają nośność 72 kN/m, czyli prawie dwukrotnie wyższą.

Tok obliczeń statyczno-wytrzymałościowych rur z PVC wg [4] obejmuje sprawdzenie warunku dopuszczalnych naprężeń, dopuszczalnych ugięć oraz warunku utraty ich stateczności. Rury z PVC projektuje się, biorąc pod uwagę ich starzenie się [2] na tzw. parametry długotrwałe dla okresu 50 lat przy założeniu temperatury ich eksploatacji równej 20°C . Należy je zatem projektować, biorąc pod uwagę moduł sprężystości długotrwały $E_{RL} = 1500\ \text{N/mm}^2$, a nie krótkotrwały $E_{RK} = 3000\ \text{N/mm}^2$. Podobnie należy przyjmować wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu



Rys. 1 | Przykłady niewłaściwych spadków podłużnych przewodów kanalizacyjnych wykonanych z rur PVC



Rys. 2 | Zależności: napężenia obwodowe – czas dla rur PVC-C 250 [6]

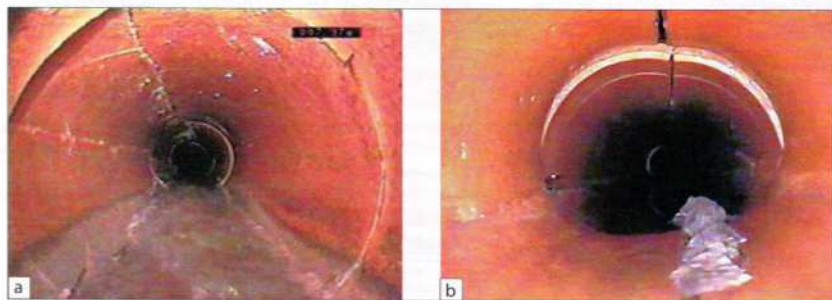
jako wartość długotrwałą. **Obecnie nie ma danych umożliwiających projektowanie konstrukcyjne rur z PVC na okres dłuższy niż 50 lat.** Gdyby zostały określone długotrwałe parametry tych rur dla okresu np. 60 czy 70 lat, można byłoby je projektować na dłuższe okresy, ale wiązałoby się to z pogrubieniem ścian rur. **Rury kamionkowe mogą transportować ścieki o wysokich temperaturach, natomiast rury z PVC (rys. 2) ścieki o temperaturze do ok. 60°C [6].** Przy wyższych temperaturach czas eksploatacji rur z PVC ulega znacznemu skróceniu, np. w temperaturze 70°C do około 20 lat.

Często niesłusznie podkreślana jest jako zaleta rur z PVC ich odkształcalność po wystąpieniu nieplanowanych wcześniej większych obciążeń. Jeżeli pojawią się większe obciążenia, wykraczające poza rezerwę mieszczącą się we współczyn-

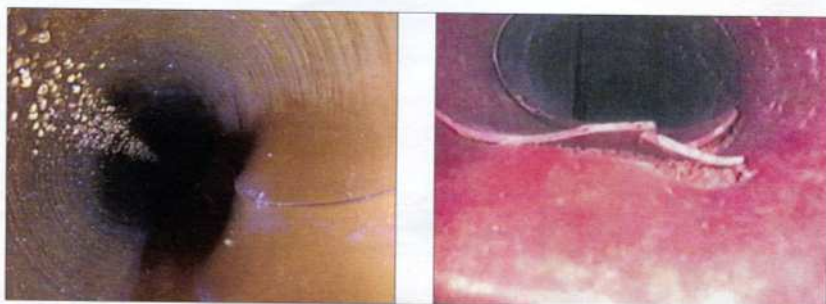
niku bezpieczeństwa, w rurach kamionkowych powstaną pęknięcia podłużne (fot. 1), a w nadmiernie ugiętych rurach z PVC również mogą wystąpić pęknięcia (fot. 2). Wszystkie pęknięte rury z PVC nie zachowują przekroju kołowego, natomiast pęknięte rury kamionkowe w zależności od rodzaju gruntu mogą zachowywać przekrój kołowy (fot. 1a) lub ulegać deformacji (fot. 1b). Bezwykopowa rehabilitacja odkształconych rur z PVC jest bardziej kosztowna od rehabilitacji rur sztywnych zachowujących przekrój kołowy. Przy projektowaniu powłok rehabilitacyjnych bierze się pod uwagę współczynnik C, który zależy od wielkości odkształcenia się rury. Im większe jest odkształcenie, tym bardziej kosztowna jest powłoka rehabilitacyjna. Dla odkształceń większych niż 10% wartości współczynnika C nie są już podawane, gdyż powłoka rehabilitacyjna jest wtedy nieopłacalna ze względu na bardzo dużą jej grubość. Analizując aspekty statyczno-wytrzymałościowe, należy także zwrócić uwagę na problematykę wyporu rur płytko ułożonych w gruntach nawodnionych. Problem ten dotyczy w większym stopniu rur z PVC, znacznie lżejszych w stosunku do kamionki.

Trwałość rur

Z danych z obszaru Niemiec [16] wynika, że trwałość eksploatacyjną rur kamionkowych szacuje się na ponad 100 lat, a rur z PVC na około 50 lat. Znane są przypadki bezawaryjnego eksploataowania pierwszej generacji kamionkowych przewodów



Fot. 1 | Pęknięcia rur kamionkowych a) z zachowaniem przekroju kołowego, b) z deformacją



Fot. 2 | Pęknięcia odkształconych rur z PVC

kanalizacyjnych budowanych jeszcze w latach 70. XIX w., ale przewody te mogą też funkcjonować krócej. Problemy eksploatacyjne w kanałach wykonanych z rur kamionkowych, o ile występują, dotyczą głównie rur wbudowanych w okresie po II wojnie światowej, a szczególnie tych, które były ułożone poniżej zwierciadła wody gruntowej. Przyczyną uszkodzeń tych przewodów było wbudowywanie rur uszkodzonych w transporcie, rur o заниżonej w stosunku do wymagań nośności, nieprawidłowe wykonawstwo w zakresie posadowienia rur na podłożu oraz zagęszczenia gruntu, a przede wszystkim powszechnie w tym okresie stosowane (także w przypadku innych rur, np. betonowych) uszczelnianie kielichów sznurem konopnym i zaprawą

cementową. Złącza tych rur po pewnym czasie rozszczelniały się, a infiltrująca nimi do wnętrza przewodu woda gruntowa destabilizowała gruntowe otoczenie zewnątrzkanalowe, przyczyniając się do wzajemnych przemieszczeń rur oraz powstawania w nich uszkodzeń mechanicznych, a także przedostawania się do ich wnętrza gruntu czy przerastania korzeni drzew.

Obecnie produkowane rury kamionkowe najnowszej generacji nie będą stwarzać podobnych problemów w przyszłości, gdyż mają trwałe uszczelki gumowe lub poliuretanowe gwarantujące ich długotrwałą szczelność oraz znacznie wyższe parametry wytrzymałościowe w stosunku do rur poprzedniej generacji.

W przypadku rur z PVC poza uszkodzeniami typowymi dla rur o konstrukcji

sztywnej występują dodatkowo inne uszkodzenia i nieprawidłowości. Do najpoważniejszych należą: niezachowywanie poprawnego spadku podłużnego (rys. 1), wbijanie się w ściankę rur kamieni i innych twardych przedmiotów znajdujących się po zewnętrznej stronie (fot. 3) oraz ponadnormatywne ugięcia rur, niekiedy łącznie z ich pęknięciami (fot. 2). Utrata stateczności powłoki tych rur jest obserwowana bardzo rzadko i ma miejsce przy bardzo poważnych błędach projektowych lub wykonawczych.

Szczelność, odporność na korozję oraz ścieranie dna rur

Zarówno nowe przewody kamionkowe, jak i z PVC wykazują szczelność złączy dzięki stosowaniu w nich uszczelkek elastomerowych, a w niektórych rozwiązaniach rur kamionkowych także uszczelkek poliuretanowych.

Rury kamionkowe można stosować bez ograniczeń do wszystkich rodzajów ścięzków. Wykazują one odporność m.in. na wodę królewską, 98-procentowy kwas siarkowy itp. Natomiast rury z PVC nie są odporne na oddziaływanie niektórych związków chemicznych, a na niektóre z nich są odporne np. w temperaturze 20°C, ale już nie w temperaturze 60°C. Odporność na niektóre substancje zależy także od ciśnienia transportowanego medium. Tabele umożliwiające sprawdzenie, czy rury z PVC są odporne na określone związki chemiczne, zawarte są m.in. w [6].

Z badań CCTV przewodów kanalizacyjnych w Polsce [5] wynika, że **głównym problemem eksploatacyjnym przewodów kanalizacyjnych jest zaleganie na ich dnie osadów**. Badania zarówno rur kamionkowych, jak i z PVC (wykonywane przez Politechnikę Świętokrzyską) nie wykazały wystąpienia w nich startego dna. Problem ścieralności dna może wystąpić w przypadku kanałów ułożonych z dużymi spadkami podłużnymi. Z badań laboratoryjnych wykonywanych w Niemczech [7] wynika, że po upływie 100 000



Fot. 3 | Przykłady wgniatania się do wnętrza rur kamieni lub innych twardych przedmiotów

Tab. 1 | Zużycie energii oraz emisja gazów cieplarnianych przy produkcji rur z różnych materiałów wg danych z USA i Niemiec (dane niemieckie podano w nawiasach)

Wskaźniki	Kamionka	Żelbet	Żeliwo sferoidalne	PVC	PEHD
Energia (MJ/kg)	4,50 (7,03)	2,51	15,11	21,32 (68,3)	23,99
CO ₂ (kg/kg)	0,26 (0,409)	0,29	1,09	1,49 (4,860)	1,76
NO _x (kg/kg)	0,95	1,00	1,50	7,46	4,68
SO ₂ (kg/kg)	0,38	0,42	2,27	4,26	2,03

cykli ścierania dna kanałów, w tzw. teście darmstadzkim, średnie starcie dna w rurach kamionkowych wynosiło 0,2–0,5 mm, a w rurach z PVC 0,15–0,20 mm. W przypadku ścierania się dna kanałów istotna jest tzw. względna ścieralność, tj. iloraz ścieralności wyrażonej w mm do grubości ścianki rury (również wyrażonej w mm), gdyż właśnie ścieralność względna jest wprost proporcjonalna do zmniejszania się współczynnika bezpieczeństwa. Ponieważ rury kamionkowe są znacznie grubsze od rur z PVC, więc ze względu na kryterium ścieralności są bardziej korzystne (rys. 3) w tych przypadkach, w których wystąpi ścieranie się dna kanału.

Odporność na mechaniczne czyszczenie i ciśnieniowe płukanie

Rury z PVC są zdecydowanie bardziej wrażliwe od kamionkowych na mechaniczne czyszczenie. W trakcie jednego z odbiorów nowo wybudowanych

przewodów kanalizacyjnych z rur PVC z wewnętrzną warstwą ze spienionego PVC zespół kierowany przez autora tego opracowania zarejestrował lokalnie całkowite zdarcie wewnętrznej warstwy twardego PVC w trakcie wysoce nieprofesjonalnego mechanicznego czyszczenia tego kanału przez firmę wykonawczą.

Badania rur kamionkowych i z PVC na wysokociśnieniowe płukanie (120 bar), opisane w [17], było pozytywne dla każdej z tych rur. Z kolei tzw. test Deblocking (340 bar) był pozytywny już tylko dla rur kamionkowych. W glazurowanych rurach kamionkowych uszkodzenia sięgały maksymalnie głębokości 0,8 mm przy grubości ścianki rury wynoszącej 71 mm, a w rurach nieglazurowanych głębokości 0,1 mm przy grubości ich ścianki równej 28 mm. Test ten był negatywny dla rur z PVC, gdzie zaobserwowano uszkodzenia sięgające głębokości 9,5 mm przy grubości ścianki rury równej 9,5 mm.

Aspekty ekologiczne i ekonomiczne w dłuższej perspektywie czasowej

Z analiz wykonanych w USA [4] i Niemczech [16] wynikają następujące wskaźniki dotyczące zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych, określone dla rur wykonanych z różnych materiałów (tab. 1).

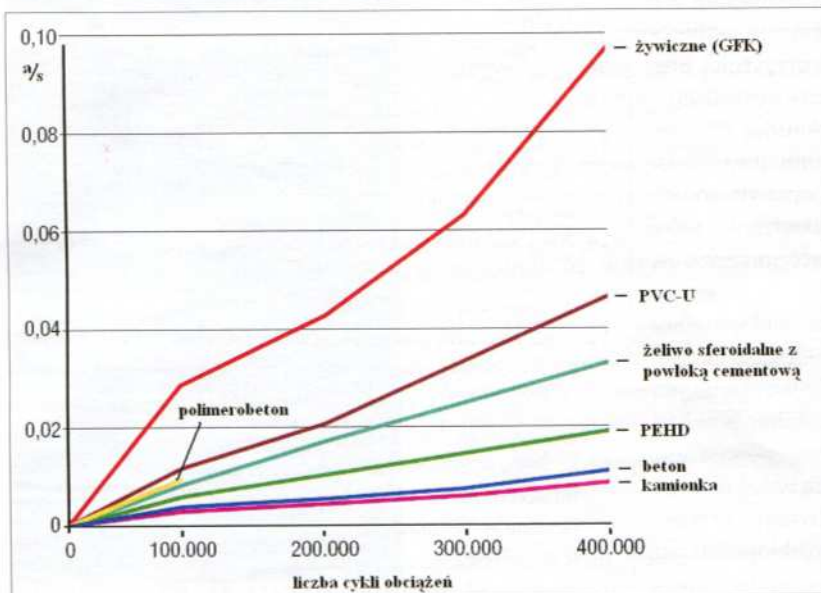
Biorąc pod uwagę fakt, że rury kamionkowe są około 3–4 razy cięższe od rur z PVC, należy stwierdzić, że różnica między analizowanymi wskaźnikami przeliczonymi na metr bieżący rury jest znacznie mniejsza niż podana w tabeli. Mimo to rury kamionkowe są zdecydowanie bardziej przyjazne dla środowiska od rur z PVC.

W tabeli 1 podano także w nawiasach dane niemieckie dotyczące zużycia energii i emisji zamieszczone w [16]. Zastanawiająca jest duża rozbieżność między wskaźnikami niemieckimi i amerykańskimi.

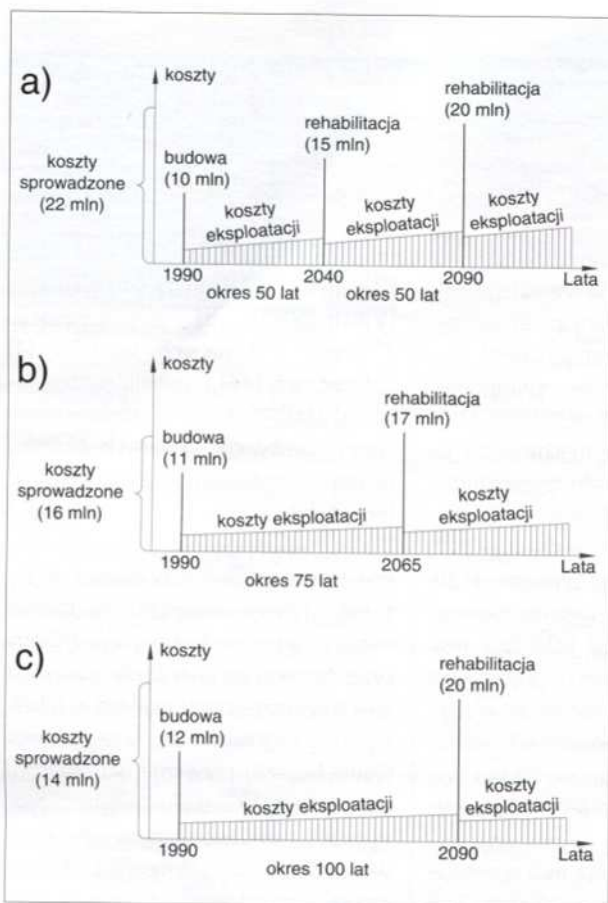
Analizy dotyczące 100-letniego okresu eksploatacji rur wskazują, że opłaca się stosować rury o możliwie jak najdłuższym okresie eksploatacji. Dzięki temu wydłuża się cykle eksploatacji przewodów między kolejnymi ich rehabilitacjami. Na rys. 4 pokazano strukturę kosztów budowy i eksploatacji rur o prognozowanym okresie eksploatacji 50, 75 i 100 lat. Z wykresu tego wynika, że najniższe tzw. koszty sprowadzone w perspektywie 100-letniej dotyczą przypadku zastosowania rur o prognozowanym okresie trwałości 100 lat. Spośród analizowanych w tym opracowaniu rur wymóg ten spełniają tylko rury kamionkowe.

Uwagi końcowe

Analiza porównawcza rur kamionkowych i z PVC wykazała, że zarówno jedne, jak i drugie spełniają



Rys. 3 | Względna ścieralność dna kanałów wykonanych z różnych materiałów [16]



Rys. 4 | Koszty budowy, eksploatacji i rehabilitacji przewodu kanalizacyjnego dla trzech wariantów zróżnicowanych kosztami w budowanych rur i kosztami rehabilitacji dla perspektywy czasowej 100 lat [8]. Wykres opracowano w Danii i dotyczy on konkretnej inwestycji, koszty podane są w koronach duńskich

podstawowe kryteria umożliwiające stosowanie ich w systemach kanalizacyjnych rozdzielczych i ogólnospławnych, przy czym zdecydowanie korzystniejszą prezentują się rury kamionkowe.

Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że rury z PVC wymagają większej staranności na etapie ich wbudowywania. Konsekwencją nieprzestrzegania zasad poprawnego ich wbudowywania są pewne dodatkowe uszkodzenia, które nie występują w przypadku kamionkowych przewodów kanalizacyjnych.

Ze względu na różne prognozowane okresy eksploatacji tych rur (kamionka – ponad 100 lat, PVC – około 50 lat), aby można było je porównywać, należałoby jako kryterium ich doboru przyjmować iloraz kosztu wbudowania każdej z nich (łącznie z kosztem rury) i prognozowanego czasu eksploatacji, projektując je zaproponowaną w [7] metodą KA-2004. Powyższa analiza dotyczyłaby wtedy perspektywy 50 lat. W przypadku decyzji o zaprojektowaniu rur na 100-letni okres należałoby dokonać analizy kosztowej w sposób pokazany na rys. 4.

Literatura

1. ATV-DVWK-A110P: Wytyczne do hydraulicznego wymiarowania i sprawdzania przepustowości kanałów i przewodów ściekowych, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., 1998.
2. ATV-DVWK-A127P: Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe kanałów i przewodów kanalizacyjnych, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2000, s. 92.
3. L. Janson, *Rury z tworzyw sztucznych do zaopatrzenia w wodę i odprowadzania ścieków*, Polskie Stowarzyszenie Producentów Rur i Kształek z Tworzyw Sztucznych, Toruń 2010, s. 372.
4. D. Koo, S. Ariaratnam, *Sustainability assessment model (SAM) for underground construction*, Conference Proceedings: NASTTS NO-DIG Conference, Paper C-2-01, San Diego, 2007, s. 1–10.
5. E. Kuliczowska, *Kryteria planowania bezwykopowej odnowy nieprzełazowych przewodów kanalizacyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2008, s. 223.
6. A. Kuliczowski, *Rury kanalizacyjne, t. I, Własności materiałowe, monografia nr 28*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001, s. 261.
7. A. Kuliczowski, *Rury kanalizacyjne, t. II, Projektowanie konstrukcyjne*, monografia nr 42, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s. 507.
8. A. Kuliczowski, *Problemy bezodkrywkowej odnowy przewodów kanalizacyjnych*, monografia nr 13, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004, s. 245.
9. A. Kuliczowski, *Rury kanalizacyjne, t. III, Rury o konstrukcji sztywnej i sprężystej*, monografia nr M4, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2008, s. 396.
10. A. Kuliczowski, *Wybrane problemy dotyczące projektowania rurociągów polietylenowych, cz. I*, INSTAL, 2011, nr 3, s. 28–32.
11. A. Kuliczowski, *Wybrane problemy dotyczące projektowania rurociągów polietylenowych, cz. II*, INSTAL, 2011, nr 5, s. 29–33.
12. W. Niederehe, *Verhalten von Abwasserkanalrohren bei HD-Spülungen*, Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V., Bonn 2005, s. 16.
13. C. Madryas, A. Kolonko, L. Wysocki, *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s. 377.
14. Praca zbiorowa pod redakcją A. Kuliczowskiego, *Technologie bezwykopowe w Inżynierii Środowiska*, Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o., Warszawa 2010, s. 735.
15. Praca zbiorowa pod redakcją M. Kwietniewskiego, M. Tłoczek, L. Wysockiego, *Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych*, Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, Bydgoszcz 2011, s. 363.
16. D. Stein, A. Brauer, *Leitfaden zur Auswahl von Rohrwerkstoffen für Kommunale Entwässerungssysteme*, Prof. Dr-Ing Stein&Partner GmbH, Bochum 2005.
17. P. Unger, *Tabellen zur hydraulischen Bemessung von Abwasserkanälen und -leitungen aus PVC-U und PE-HD nach ATV A110*, INGWIS – Verlag 1988, s. 256.