

## OCZEKIWANA TRWAŁOŚĆ RUR Z PVC-U W SYSTEMACH KANALIZACYJNYCH

### Streszczenie

Historia zastosowania rur z PVC-U w holenderskich systemach odprowadzania ścieków sięga obecnie kilkudziesięciu lat. Ogólnie przyjmowana trwałość tego typu rur przekracza 50 lat dla typowych warunków eksploatacyjnych. Nie istnieją jednakże żadne procedury czy metody, pozwalające na określenie pozostałej trwałości aktualnie systemów. Firmy wodociągowe i władze lokalne stanęły więc przed dylematem, kiedy i jak wymieniać lub poddawać renowacji rurociągi, które są eksploatowane od ponad 50 lat.

Niniejszy projekt badawczy, zrealizowany przez TNO-Institute of Science and Industry na zlecenie BureauLeiding – Holenderskiego Stowarzyszenia Producentów Rur i Kształtek, dotyczył zbadania stanu rur kanalizacyjnych w wieku do 25 lat. Projekt ten jest logiczną kontynuacją badań nad systemami wody pitnej z PVC-U, dokonanych we współpracy z DYKA, Pipelife, Wavin, LVM, Shin-Etsu, Solvin i KIWA w ramach projektu „Przewidywana trwałość istniejących systemów wodociągowych z PCV” (TNO-report nr. 007.63549). Pewna liczba rur została wyłączona z bieżącej eksploatacji i poddana zestawowi badań, których celem było określenie ich stanu (m.in. inspekcja wizualna i mikroskopowa).

Mimo, że część rur wykazywała takie ślady używania, jak zadrapania i przetarcia, ich szczelność nie była naruszona. Nie zaobserwowano przypadków degradacji chemicznej wywołanej przez agresywne rozpuszczalniki.

Bazując na wiedzy TNO na temat systemów rurowych z PVC i wieloletnich badaniach materiałowych PVC, które rozpoczęły się już 40 lat temu, nie przewiduje się powstawania siatek drobnych pęknięć, które mogą inicjować zjawisko powolnego wzrostu pęknięć, biorąc pod uwagę przewidywane maksymalne naprężenia w ściankach rur.

Przewidywana trwałość zbadanych rur kanalizacyjnych z PVC-U przekracza 100 lat. Uogólniając, żywotność rur z PVC-U stosowanych do odprowadzania ścieków przekracza 100 lat, zakładając brak agresywnych chemikaliów i ograniczenie ilości transportowanych w systemie cząstek o charakterze ściernym.

### Wprowadzenie

Pozostała trwałość eksploatowanych rur wodociągowych z PVC-U została zbadana w ramach prowadzonego przez TNO projektu badawczego „Przewidywana trwałość istniejących systemów wodociągowych z PCV”. W projekcie tym oceniono i określono możliwe procesy degradacji materiałów PVC. Badanie wykazało, że główną przyczyną przedwczesnych awarii systemu są obciążenia mechaniczne. Przewidywana pozostała trwałość większości zbadanych rur wodociągowych z PVC wynosi ponad 100 lat, zakładając, że rury były odpowiednio zainstalowane i eksploatowane wykorzystywane oraz że uszkodzenia w ściankach rur nie są głębsze niż 1 mm.

Innym zastosowaniem dla rur PVC w Holandii są systemy kanalizacyjne. BureauLeiding poprosiło TNO Science and Industry o zbadanie jakości niektórych z wykopanych rur kanalizacyjnych z PVC. Badaniom poddano stare rury kanalizacyjne z PVC: rurę wyprodukowaną przez firmę Dyka oraz sześć kawałków rur pochodzących z „BIS” (system utylizacji rur). O wyborze określonych sześciu kawałków rur zdecydował ich wygląd, pozostałości osadów i obecność czytelnych znaków identyfikacyjnych na rurach, pozwalająca na określenie źródeł ich pochodzenia.

Po umyciu i przepłukaniu rury PVC zostały poddane ocenie wizualnej i mikroskopowej w laboratorium TNO Science and Industry. Szczególną uwagę przyłożono do badania chropowatości powierzchni, grubości ścianek i wielkości trwałych odkształceń. Co więcej, określono stopień degradacji wewnętrznej powierzchni rur ze względu na kontakt z przepływającymi ściekami. Analiza przewidywanej trwałości rur z PVC w grawitacyjnych systemach kanalizacyjnych zaprezentowana jest w rozdziale 3.

W części poświęconej podsumowaniu i wnioskowi zostaną porównane, przeanalizowane i połączone wyniki eksperymentalnych badań ciśnieniowych i bezciśnieniowych systemów rurowych z PVC-U oraz wytrzymałości na pękanie, uzyskanej w badaniach wodociągów z PVC.

#### *Ocena wizualna*

Ocena wizualna badanych rur składała się z wizualnej oceny zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni rur oraz z mikroskopowego badania ich powierzchni wewnętrznej.

#### **Zewnętrzne ścianki rur**

Wizualna ocena zewnętrznej powierzchni części rur została przedstawiona w Tabelicy 1.

Tablica 1. Ocena wizualna zewnętrznej powierzchni rur

KodTNO	Komentarz
A	Plamy w wyniku niejednorodności materiału rury; odbarwienia; zarysowania
I	Lekkie odbarwienia; zarysowania
II	Właściwie brak odbarwień; zarysowania
III	Właściwie brak odbarwień; zarysowania
IV	Silne odbarwienia; zarysowania
V	Umiarkowane odbarwienia; zarysowania
VI	Brak odbarwień; zarysowania

Zaobserwowane zarysowania powierzchni są płytkie. Większość z zaobserwowanych zarysowań jest najprawdopodobniej wynikiem nieuważnego wydobywania rur. Pomimo zaobserwowanych zarysowań, nie zmniejszyły się właściwości użytkowe zbadanych rur PVC.

Zewnętrzna powierzchnia rury (kod A) wykazuje odbarwienia w formie plam. Obramowanie tychże plam jest niemal czarne. Wyjściowy szary kolor rur stał się ciemniejszy. Odbarwienia przypisuje się reakcji zewnętrznej powierzchni rury z chemikaliami w wodach gruntowych przepływających wokół rury. Fragment rury znajdujący się pod złączką nie wykazuje prawie żadnych odbarwień. Grubość zmienionej warstwy nie była większa niż 100  $\mu\text{m}$  czyli 0,1 mm. Grubość warstwy silnych odbarwień ograniczona była do wielkości rzędu 10  $\mu\text{m}$  czyli 0,01 mm. Właściwości odbarwionej warstwy wydają się niezmienione. Ze względu na małą grubość nie stwierdzono jej wpływu na zmianę mechanicznych właściwości rury.

Odbarwienia pozostałych przebadanych rur charakteryzowały się jednorodnością i przypisywane są właściwościom gleby otaczającej rury w czasie ich użytkowania. Właściwości gleby mogące mieć wpływ na stan rur to: kwasowość, wilgotność i skład. Grubość warstwy silnych odbarwień ograniczona była do głębokości rzędu wielkości 10  $\mu\text{m}$ . Głębokość odbarwień nie mogła być dokładnie określona. Zaobserwowano określony gradient odbarwień. Na głębokości 10  $\mu\text{m}$  od powierzchni zaobserwowano silniejsze odbarwienia.

Odbarwienie to nie ma jednak wpływu na wytrzymałość PVC. W efekcie odbarwienia zewnętrznych powierzchni rur PVC nie mają wpływu na właściwości mechaniczne tych rur. Głębokość odbarwień zależna jest od dyfuzji odbarwiających środków chemicznych w ściance rury. Określono więc, że grubość odbarwionej warstwy zwiększy się mniej niż trzy razy w ciągu 20 i 100 lat eksploatacji.

### **Wewnętrzne ścianki rur**

Część wewnętrznej powierzchni rur wykazała pozostałości osadów ściekowych mimo wcześniejszego dokładnego czyszczenia za pomocą kąpieli w detergencie, wodnym roztworze wodorotlenku sodu i płukania za pomocą strumienia wody pod ciśnieniem. Osad widoczny był szczególnie na fragmentach, które w okresie użytkowania były naprzemiennie mokre i suche. Część zbadanych fragmentów wykazywała widoczne optycznie zużycie spowodowane twardymi cząstkami.

Wewnętrzna powierzchnia ścianek znajdująca się pod pozostałościami osadu nie wykazała żadnych typowych cech degradacji polimeru.

Brak gładkości segmentu rury oznaczonego kodem I jest przypisywany procesowi produkcyjnemu. Mało prawdopodobne, by stan powierzchni tej rury spowodowany został działaniem ścieków.

Część z przebadanych fragmentów rur wykazała silne odbarwienia. Odbarwienia te są najprawdopodobniej wynikiem oddziaływania chemikaliów obecnych w ściekach w czasie użytkowania rur. Odbarwienia mogą nastąpić wyłącznie na skutek absorpcji lub reakcji chemicznej z dodatkami stosowanymi w PVC. Dla przykładu, wodorosiarczyn reaguje ze stabilizatorem ołowiowym, dając czarny siarczek ołowiu.

Grubość odbarwionej wewnętrznej warstwy jest podobna do warstw występujących na ściankach zewnętrznych i jej głębokość jest ograniczona do rzędu wielkości 10  $\mu\text{m}$ . Brak dowodów wskazujących, że odbarwienia spowodowane są chemiczną degradacją PVC. Co więcej, stwierdzono, że odbarwiona warstwa o grubości rzędu wielkości 10-100  $\mu\text{m}$  nie ma negatywnego wpływu na mechaniczną wytrzymałość rur PVC. Zużycie wewnętrznej powierzchni ścianek rur o głębokości 10  $\mu\text{m}$  da w rezultacie zmniejszenie sztywności rur PVC na zginanie o mniej niż 1 %.

Tablica 2.

Kod	Komentarz
A	Pozostałości osadu; brak odbarwień
I	Czysta; odbarwienia czarno-niebieskie; chropowata
II	Czysta; odbarwienia żółto-brązowe
III	Pozostałości osadu; brak odbarwień
IV	Pozostałości osadu; częściowe czarno-niebieskie odbarwienia
V	Rura prawie jak nowa
VI	Rura jak nowa

## Mikroskopowa ocena wewnętrznych ścianek rur

Za pomocą lekkich metod mikroskopowych zbadano oczyszczone fragmenty łuków. Rezultaty badania opisano w Tabeli 3. Prawie wszystkie wewnętrzne powierzchnie ścianek rur charakteryzowały się zużyciem. Wewnętrzna warstwa PVC wydaje się oszlifowana. Powierzchniowe pęknięcia, które bywają obecne w wewnętrznej strukturze ścianek, mogą zostać usunięte przez proces zużycia ściernego. Dodatkowym plusem z usunięcia siatek pęknięć jest zwiększenie odporności rury na pęknięcia. Zmniejszenie grubości ścianek wynika z zużycia ściernego szacowane jest na rząd wielkości 10  $\mu\text{m}$ .

Tablica 3 Wyniki wizualnej oceny wewnętrznej powierzchni ścianek rur po ich oczyszczeniu

Kod	Komentarz
A	Zarysowania, zużycie i małe pęknięcia
I	Zarysowania, zużycie i pęknięcia
II	Zużycie
III	Umiarkowane zużycie; wciąż błyszcząca
IV	Zużycie
V	Błyszcząca; pęknięcia
VI	Zarysowania i zużycie

Uszkodzenia powierzchni oznaczone, jako pęknięcia, są bardzo małe. Nie było możliwe osiągnięcie jednoznacznych wyników. Stwierdzono, iż zakładając, że uszkodzenia te mają charakter pęknięć, nie nastąpił ich wzrost

Uszkodzenia odkryte w analizowanych odcinkach rur nie powinny mieć żadnego wpływu na mechaniczną wytrzymałość rur PVC.

Redukcja grubości ścianek mniejsza niż 100  $\mu\text{m}$  nie będzie prowadzić do mierzalnej redukcji sztywności rur PVC na zginanie.

## Wymiary zbadanych rur; owalizacja

Wszystkie zbadane części rur wykazały owalizację (zobacz Tablica 4). Średnica została zmierzona w czterech miejscach obwodu. Stosunek największej i najmniejszej zmierzonej średnicy definiowany jest jako owalizacja. Owalizacja rur PVC przypisywana jest pełzaniu materiału lub wpływowi zróżnicowanego obciążenia gruntem pomiędzy momentem instalacji a wydobyciem badanych rur. Naprężenia powiązane z owalizacją powinny zmniejszać się w trakcie eksploatacji dzięki relaksacji naprężeń

Tablica 4. Średnica, owalizacja (maksymalna średnica podzielona przez minimalną średnicę) i grubość ścianek

Kod	Średnica (mm)	Owalizacja	Grubość ścianek (mm)
A	315	1,02	10 $\pm$ 1
I	125	1,01	3,4 $\pm$ 0,1
II	110	1,03	3,3 $\pm$ 0,1
III	125	1,02	3,3 $\pm$ 0,1
IV	125	1,01	3,9 $\pm$ 0,1
V	125	1,05	3,9 $\pm$ 0,1
VI	200	1,02	4,0 $\pm$ 0,1

## Naprężenia wewnętrzne w ściankach rur

Naprężenia wewnętrzne w rurach PVC są wynikiem chłodzenia rur po opuszczeniu przez nie głowicy wytłaczarki w trakcie produkcji. Chłodzenie odbywa się za pomocą wody spływającej po zewnętrznej powierzchni rury. Powstający w ten sposób gradient naprężenia składa się z naprężenia ściskającego w zewnętrznej warstwie ścianki i naprężenia rozciągającego w wewnętrznej warstwie ścianki. Maksymalne naprężenia ściskające i rozciągające determinowane są przez prędkość chłodzenia i grubość ścianek. Wielkość maksymalnych naprężeń ściskających i rozciągających określona została poprzez odcięcie z rur pierścieni i przecięcie ich. Zachodzenie na siebie końców rozciętego pierścienia jest proporcjonalne do maksymalnych naprężeń ściskających i rozciągających. Zbadana rura PVC o średnicy 315 mm wykazała zakład wielkości 25 mm.

Maksymalne naprężenie rozciągające –  $\sigma$  – w wewnętrznej warstwie tej rury wyznaczyć można ze wzoru:

$$\sigma \approx \frac{l_0 \times d}{4 \times \pi \times R^2} E$$

gdzie  $l_0$  jest długością zakładu  $d$  jest grubością ścianki rury,  $R$  jest średnim promieniem rury, a  $E$  to moduł elastyczności

Podstawienie za  $l_0 = 25$  mm;  $d = 10$  mm;  $R = 152,5$  mm;  $E = 3000$  N/mm, daje:  $\sigma \approx 2,6$  N/mm<sup>2</sup>

Tablica 5 Obliczone na bazie wielkości zakładu wewnętrzne naprężenia w rurze PVC po przecięciu.

Kod	Średnica (mm)	Grubość ścianek (mm)	Naprężenie wewnętrzne (MPa)
A	315	10 ± 1	2,6
I	125	3,4 ± 0,1	2,2
II	110	3,3 ± 0,1	1,7
III	125	3,3 ± 0,1	1,1
IV	125	3,9 ± 0,1	1,3
V	125	3,9 ± 0,1	2,3
VI	200	4,0 ± 0,1	0,9

## Chropowatość wewnętrznej powierzchni rury

Chropowatość wewnętrznej powierzchni badanych rur została określona po całkowitym usunięciu osadów za pomocą kąpieli w detergencie i płukania. Wartości chropowatości wyszczególnione są w Tablicy 6.

Tablica 6 Zaobserwowana miejscowa chropowatość powierzchni sprawdzona na odcinku długości 0,6 mm.

Kod	Średnica (mm)	Chropowatość, Ra (μm)
I	125	1.0
II	110	0.9
III	125	0.4
IV	125	0.4
V	125	0.3
VI	200	0.6

Dodatkowo przeskanowany został obszar 16 mm w celu określenia ogólnej chropowatości powierzchni. Chropowatość ta jest w dużym stopniu zdeterminowana przez proces produkcyjny rury (stan powierzchni głowicy wyłaczarki).

Istotne jest, że miejscowa chropowatość powierzchni jest mniejsza niż ogólna chropowatość powierzchni, wynikająca z procesu produkcji. Wzrost w miejscowej chropowatości powierzchni jest zbyt mały, by dać mierzalną zmianę w hydraulicznych właściwościach rury PVC.

## **Analiza i dyskusja**

TNO dokonało pewnej liczby ogólnych badań dotyczących zastosowania i charakterystyki systemów rurowych z PVC, poczynając od lat siedemdziesiątych XX wieku. Wiedza na temat długofalowego zachowania rur z PVC uzyskana została dzięki projektom „pęknięcia i struktura” (wszystkie typy rur PVC), „korozja naprężeniowa” (rury gazowe z PVC) i „oczekiwana trwałość” (rury wodociągowe PVC). Dyskusja przeprowadzona w niniejszym rozdziale bazuje na wiedzy i doświadczeniu zdobytych w czasie tych wcześniejszych badań oraz poprzez analizę literatury fachowej.

### **Podsumowanie raportu TNO-MT-RAP-06-18693 głosi:**

*Procesy degradacji chemicznej w rurach PVC ułożonych w gruncie mogą zostać zignorowane, zakładając, że istniejące systemy rur z PVC zawierają znaczącą ilość nieużytych stabilizatorów. Dlatego też stwierdzamy, że trwałość rur wodociągowych z PVC nie jest ograniczona degradacją chemiczną.*

*Tempo fizycznego starzenia się rur PVC wynika z procesów degradacji, które powoli następuwać będą w gruncie o temperaturze 5-15°C. Wpływ tego fizycznego starzenia się jest ograniczony dla dobrze żelowanych rur PVC. Odporność na powolny wzrost pęknięć ulega, z czasem, osłabieniu. Wpływ fizycznego starzenia się może być znaczny dla słabo żelowanych rur PVC. Odporność na powolny wzrost pęknięć, która jest z założenia niska dla słabo żelowanych rur PVC, ulega silnemu osłabieniu wraz z fizycznym starzeniem się rur.*

*Różnorodne obciążenia mogą wywoływać mikropęknięcia w ściankach rur z PVC. Obecność mikropęknięć w części przebadanych wydobytych rur z PVC wywołuje redukcję odporności na uderzenia i obciążenia.*

*Podsumowując, określono, że istniejące w Holandii systemy wodociągowe z PCV będą funkcjonowały przez nie mniej niż 100 lat, zakładając, że wewnętrzne i zewnętrzne obciążenia wywołają naprężenia obwodowe nie większe niż 12,5 MPa, a w rurach nie ma mikropęknięć i uszkodzeń mechanicznych. Trwałość istniejących systemów wodociągowych z PVC, zwłaszcza przy słabej jakości PVC, może zostać zredukowana przez m.in. stałe obciążenia, obecność mikropęknięć i brak jednorodności gruntu otaczającego rurę. Niektóre z wydobytych rur wodociągowych z PCV z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku charakteryzują się słabą jakością materiału PVC.*

### **Obecne badania wykopanych rur kanalizacyjnych z PVC wykazały, że:**

- powierzchniowe odbarwienia odkryte zostały tylko na niektórych rurach, a ich zasięg był często ograniczony;
- wewnętrzne powierzchnie ścianek rur charakteryzowały się ograniczonym zużyciem ściernym
- stwierdzono ograniczoną owalizację rur

Wnioski podane w raporcie TNO-MT-RAP-06-18693, dotyczącym rur wodociągowych, mają zastosowanie również do rur kanalizacyjnych, będących obiektem niniejszego badania, jako że głębokość zaobserwowanych odbarwień nie wykracza poza rząd wielkości 10  $\mu\text{m}$ .

Przewidywane zewnętrzne naprężenia w ściankach rur PVC są niewielkie. Początkowe naprężenia w rurach PVC będą nie większe niż rzędu 0,1 %, bazując na stwierdzonym stopniu owalizacji. Owalizacja spowodowana jest pełzaniem materiału wynikającym z nierównomiernego obciążenia, będącego skutkiem działania gruntu otaczającego rury. Maksymalną owalizację stwierdzono w rurze PVC o kodzie V. Rura ta wykazała stały poziom odkształcenia w wysokości 0,3%. Zwiększenie się deformacji, spowodowanej pełzaniem materiału w okresie od 30 do 100 lat, wynikającym z obciążenia gruntem, będzie stanowiło jedynie ułamek deformacji powstałej w ciągu pierwszych 30 lat, zakładając, że obciążenia wywierane przez grunt nie zostaną zmienione. Jest więc wysoce nieprawdopodobne, aby rury kanalizacyjne z PVC wykazywały znaczący wzrost owalizacji w przypadku użycia w okresie dłuższym niż 30 lat.

Przewidywany poziom naprężeń w ściankach rur PVC w trakcie ich eksploatacji, przedstawiono w Tablicy 7. Tabela ta opracowana została dla rur PVC wykorzystywanych w grawitacyjnych systemach kanalizacyjnych.

Zachowawcze wartości naprężeń podane są w Tablicy 8 i obejmują pojawienie się drobnych spękań oraz ich rozwój aż do pęknięcia rury.

Tablica 7. Przewidywany poziom naprężeń w przebadanych rurach kanalizacyjnych PVC.

Pochodzenie	Naprężenie
Naprężenie wewnętrzne (powstałe podczas produkcji)	< 3
Obciążenie gruntem	< 3*
Całkowite obciążenie	< 6

\* zakładając brak obciążeń punktowych wynikających z obecności twardych obiektów w gruncie otaczającym rurę.

Tablica 8. Naprężenia konieczne do pojawienia się spękań i wzrostu tychże w rurach PVC w ciągu 100 lat.

Uszkodzenie	Naprężenie
Pojawienie się drobnych spękań (podstarzałe PVC)	>10 (MPa)
Powolny wzrost pęknięć (podstarzałe PVC)	>12 (MPa)

Dobrze zainstalowana rura kanalizacyjna PVC nie będzie charakteryzować się naprężeniem w ściankach większym niż 3 MPa, w wyniku oddziaływania gruntu otaczającego rurę. W połączeniu z naprężeniem wewnętrznym powstającym w procesie produkcji rur PVC, przewiduje się, że naprężenia rozciągające w rurach kanalizacyjnych PVC nie przekroczą 6 MPa.

Zachowawcze wartości dla pojawienia się spękań i ich powiększania się, poczynając od pęknięć o głębokości 1 mm, uzyskane z poprzednich badań właściwości PVC, nie powinny pojawić się w rurach kanalizacyjnych PVC. Z tego powodu szansa na pojawienie się spękań jest nikła. Powyższy wniosek zgodny jest z wynikami obserwacji, które odkryły jedynie niewielkie małe pęknięcia na wewnętrznej powierzchni ścianek rur i brak powiększania się tych pęknięć.

## Podsumowanie i wnioski

Systemy kanalizacyjne z PVC stosowane przez Dyka, Pipelife i Wavin używane są w Holandii już od dziesięcioleci. Metody i procedury opracowane przez TNO w celu oceny trwałości rur PVC zastosowane zostały do sześciu wydobytych części kanalizacyjnych rur PVC.

Badanie wykonano w imieniu BureauLeiding. Zbadano sześć fragmentów rur kanalizacyjnych. Jedna rura kanalizacyjna, użytkowana od 1973 roku, została wydobyta w dobrze opisany sposób. Pozostałe 5 części zostało wybranych z systemu utylizacji rur „BIS”.

Kryteria wyboru:

- rura stosowana jako kanalizacyjna;
- czytelne zewnętrzne oznaczenia rury.

Wybrane w ten sposób części zostały ocenione w TNO za pomocą:

- inspekcji wizualnej;
- inspekcji mikroskopowej;
- analizy geometrii rury i jej deformacji;
- badania chropowatości powierzchni i oceny degradacji powierzchni wewnętrznej;

Mimo widocznych śladów użytkowania w badanych rurach PVC, ich integralność pozostaje nienaruszona. Odkryto pewne uszkodzenia mechaniczne (zarysowania) i przetarcia, które mogą być wywołane transportowaniem w rurach cząstek ściernych, np. ziaren piasku.

Nie zaobserwowano przypadków degradacji chemicznej wywołanej przez agresywne rozpuszczalniki.

Bazując na wiedzy TNO na temat systemów rurowych z PVC i wieloletnich badaniach materiałów PVC, które rozpoczęły się już 40 lat temu, nie przewiduje się wystąpienia siatek spękań, pojawiania się lub powolnego wzrostu pęknięć, biorąc pod uwagę przewidywane maksymalne wartości naprężeń w ściankach rur.

Przewidywana trwałość zbadanych rur kanalizacyjnych z PVC-U przekracza 100 lat. Uogólniając, trwałość rur PVC-U stosowanych do odbioru ścieków przekracza 100 lat, zakładając brak agresywnych chemikaliów i ograniczenie transportowanych w systemie cząstek o charakterze ściernym.

Niniejsze badania potwierdzają ogólne przekonanie, że wytrzymałość systemów rurowych z PVC przekracza 100 lat dla większości warunków eksploatacji.