

# Testy produktów CIPP dla przewodów ciśnieniowych w warunkach dynamicznego obciążenia



Ricky Selle / Selle Consult



Nils Füchtjohann / SAERTEX multiCom



Heiko Below / Pipe Systems w IMA

Projekty renowacyjne obejmujące przewody ciśnieniowe zdobywają na świecie coraz większy udział w rynku CIPP (ang. *Cured In Place Pipe*). M.in. dlatego w 2018 r. zostanie opublikowany nowy standard odnoszący się do renowacji przewodów ciśnieniowych z wykorzystaniem tej metody. Niniejszy artykuł dotyczy zachowania zmęczeniowego w tych przewodach w warunkach dynamicznego obciążenia

W związku ze wzrostem popularności stosowania metody CIPP do renowacji przewodów ciśnieniowych, w 2018 r. zostanie opublikowany standard ISO 11297-4 – standard obejmujący produkty służące do renowacji

przewodów ciśnieniowych podziemnej infrastruktury kanalizacji deszczowej i sanitarnej. Aktualnie szkic standardu ma być poddany głosowaniu [1].

Obciążenie dynamiczne jest specjalnym,

ale standardowym obciążeniem grawitacyjnym dotyczącym sieci odwodnieniowych i kanalizacyjnych, wywołowanym przez uderzenie hydrauliczne spowodowane przez pompy i zamykające się zawory. Efektem uderzenia hydraulicznego są wibracje z amplitudami tłumionymi w wyznaczonym okresie, jak widać na rys. 1.

Maksymalne amplitudy ciśnienia oraz wskaźniki tłumienia w wysokim stopniu są zależne od sieci. Zdecydowanie mniejsze dynamiczne obciążenie dotyczy sieci wodociągowych, które nie są przedmiotem tego artykułu.

Wszystkie podmioty zaangażowane w implementowanie tej metody – producenci, użytkownicy, inżynierowie oraz instytucje badawcze zgadzają się co do tego, że konieczne są testy uwzględniające zachowanie zmęczeniowe w warunkach dynamicznego obciążenia, jeżeli ma ona być

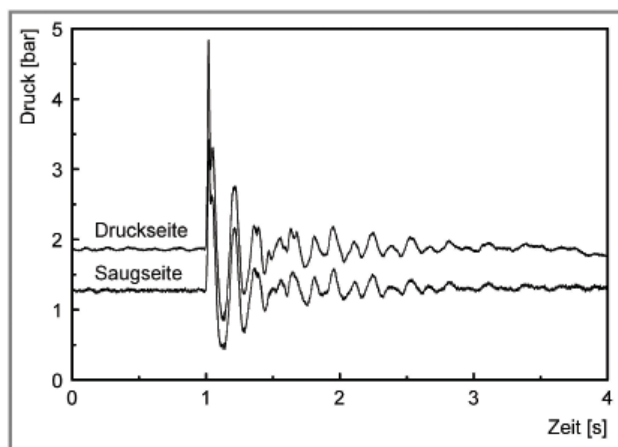


Abbildung. Messung des Druckverlaufs an einer Kreiselpumpe nach einem Druckstoß.

RYS. 1. Wibracje w przewodzie – efekt uderzenia hydraulicznego [9]

wykorzystywana do renowacji przewodów ciśnieniowych.

Testy te mogą zostać opracowane zarówno w taki sposób, aby określić mechaniczne właściwości, potrzebne na dalszych etapach projektowania (takie jak diagramy cyklu naprężeń) lub też jako testy kwalifikacyjne, jednoznacznie określające, czy badany przedmiot spełnia swoje zadanie czy też nie. Testom można poddać zarówno materiały, jak i produkty.

We wspomnianym wcześniej szkicu standardu ISO obciążenie dynamiczne nie zostało uwzględnione, co wyraźnie podkreślono w zakresie standardu; temat ten pojawi się prawdopodobnie w kolejnym wydaniu dokumentu.

Istnieje pilna potrzeba wypracowywania praktycznych podejść do testowania i oceny obecnych na rynku różnorodnych produktów do renowacji przewodów ciśnieniowych metodą CIPP. Zaadaptowanie istniejących procedur testowych wykorzystywanych do oceny podobnych produktów, takich jak przewody ciśnieniowe z tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem szklanym (GRP), wydaje się rozsądne w tym kontekście. Standardyzacja parametrów testowania obciążenia dynamicznego jest wielkim wyzwaniem, gdyż aplikacja metody jest różna dla każdego projektu. Można jednak wyróżnić wytyczne dot. parametrów technicznych: maksymalne amplitudy w stosunku do maksymalnego projektowanego ciśnienia (MDP), stosunek maksymalnego do minimalnego naprężenia

(współczynnik R), liczba cykli i wskaźniki tłumienia.

W mieście Piacenza we Włoszech obciążenie dynamiczne było głównym aspektem analizy strukturalnej opracowywanej w ramach projektowania renowacji przewodu chłodzącego o średnicy 786 mm o MDP równym 5 barom. Produktem, który zastosowano wtedy do renowacji, była wykładzina SAERTEX-LINER® Pressure (fot. 1). Rękaw klasy A zainstalowano na odcinku o długości 120 m. Strukturalna spójność została zaaprobowana na podstawie właściwości zmęczeniowych materiału.

### Szczegółowe właściwości zmęczeniowe materiału

W sieciach ciśnieniowych użycie rur termoplastycznych o mniejszych średnicach, np. PE100, jest aprobowane i dobrze przetestowane. Jednakże wypracowane podejścia projektowe nie mogą zostać przeniesione bez większych korekt na produkty z tworzyw sztucznych nasączanych żywicą, używanych do aplikacji metody CIPP, ponieważ jest różnica w stosunku pomiędzy granicą pękania i naprężeniami zmęczeniowymi materiału.

Pękanie o wartości mniejszej niż 33% krótkotrwałej wytrzymałości na rozciąganie

jest typowe dla produktów z tworzyw termoplastycznych o żywotności określonej na 50 lat. Jednocześnie naprężenia zmęczeniowe występują zazwyczaj na poziomie 50% zgodnie z liczbą cykli, np.  $n = 10^7$ . To oznacza, że granica pękania jest zazwyczaj kryterium kontrolnym dla produktów z tworzyw termoplastycznych [2].

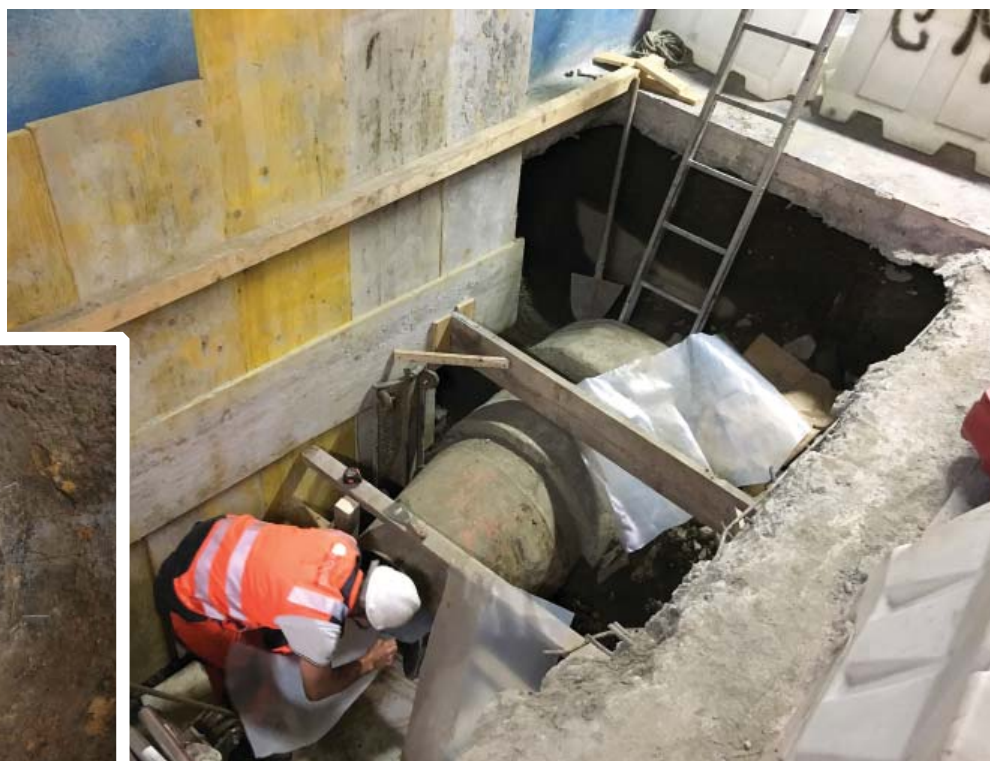
CIPP, w porównaniu, pokazuje znacznie niższe współczynniki redukcji granicy pękania. Renowacje są wykonalne przy małej grubości ścianki, nie tylko z powodu znacznie wyższej wytrzymałości krótkotrwałej, ale też z uwagi na mniejszą redukcję.

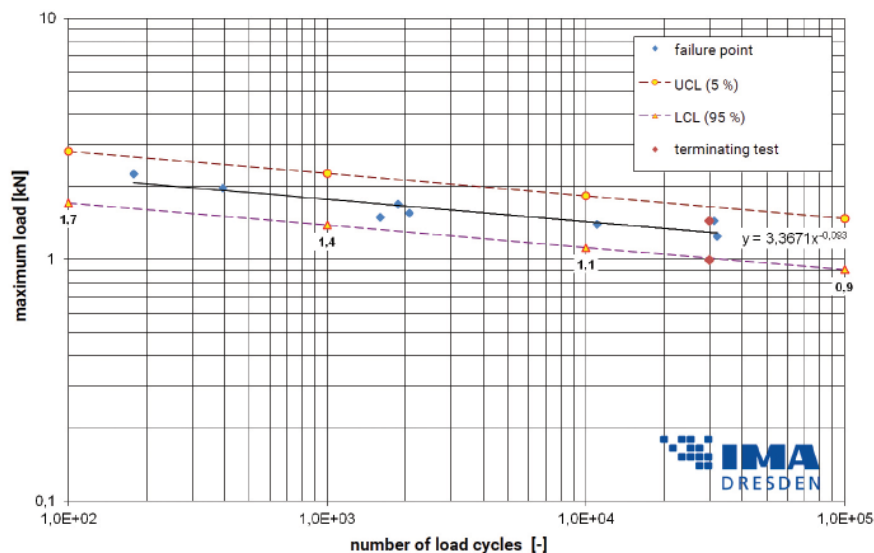
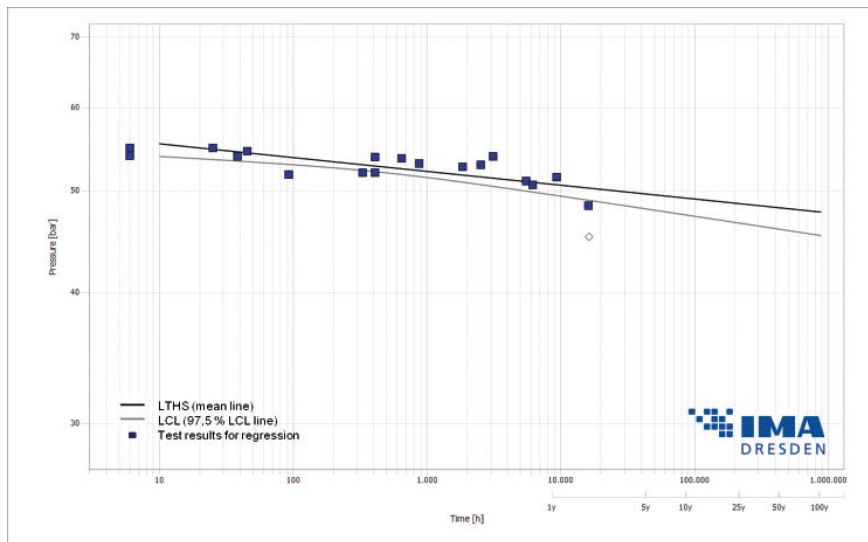
Testy rękawa SAERTEX-LINER przeznaczonego do renowacji przewodów ciśnieniowych przeprowadzono w IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden (IMA Dresden), zgodnie ze standardem ISO 7509, EN 14364 oraz ISO 10928. Współczynnik redukcji wyniósł 1.41, jak widać na rys 2.

Choć wynik ten jest niski w porównaniu do innych produktów, wielkość ta jest typowa dla produktów CIPP z wysoką zawartością włókien szklanych. Dla bezpieczeństwa F1216 [7] rekomenduje współczynnik równy  $A = 2.0$ , jeżeli nie ma dostępnych pozostałych wyników testów. Oczywiście współczynniki redukcji dla tworzyw termoplastycznych są wyższe.

Podczas opracowywania produktów wyko-

**FOT. 1.** The SAERTEX-LINER Pressure instalowany w mieście Piacenza we Włoszech  
**RYS. 2.** Ustawienie testowe zgodne z ISO 15306 w IMA Dresden





**RYS. 2.** Ustawienie testowe zgodne z ISO 15306 w IMA Dresden  
**RYS. 3.** Wykres naprężeń w cyklu dla prototypu SAERTEX-LINER

rzystywanych do renowacji metodą CIPP należy dokładnie przemyśleć relacje pomiędzy granicą pękania oraz naprężeniami zmęczeniowymi.

Na rys. 3 zamieszczono dane dotyczące obciążenia dynamicznego prototypu wykładziny SAERTEX-LINER ze współczynnikiem  $R_{0,2}$ . Ekstrapolacja danych na cykle  $10^7$  wskazuje na naprężenia zmęczeniowe o wartości około 33% wytrzymałości krótkotrwałej.

Spoglądając na te właściwości, można uznać granicę naprężeń zmęczeniowych za kryterium kontrolne dla produktów wykorzystywanych do aplikacji metody CIPP, zależne od liczby cykli.

## Parametry wejściowe dla projektowanego zmęczenia

Co do zasady, trzy zmienne wykorzystywane zazwyczaj w projektowaniu muszą być zdefiniowane również w ramach projektowania właściwości zmęczeniowych produktów wykorzystywanych do aplikacji metody CIPP: obciążenia, właściwości mechaniczne i poziom bezpieczeństwa. Poziom bezpieczeństwa najłatwiej jest ustalić z uwagi na to, że można wykorzystać współczynniki z porównywalnych standardów, np. F1216 lub EN 14364 tab. 15.

Do zdefiniowania obciążeń konieczne jest uzyskanie od inżynierów parametrów wej-

ściowych opracowujących projekty hydrauliczne, aby mogli podać parametry wejściowe dla projektu konstrukcyjnego. Tylko określenie istotnych dla projektu liczb cykli obciążeniowych z amplitudami drgań w betonie pozwala na zrealizowanie projektu.

Określenie istotne dla projektu w tym przypadku obejmuje wszystkie cykle z amplitudami wyższymi niż pewien określony limit, który również musi zostać wcześniej ustalony. Najlepszym rozwiązaniem jest definiowanie amplitud w stosunku do MDP. Uwzględnić należy też efekty tłumienia.

Jest to wyzwanie, gdyż parametry wielu projektów renowacyjnych często nie są dostępne. Próba oszacowania wartości bezpiecznych nie jest praktyczną opcją, jako że zmęczenie może być kryterium kontrolnym projektu. Z drugiej strony, określenie właściwości zmęczeniowych dla produktów wykorzystywanych do aplikacji metody CIPP również jest wyzwaniem: zgodnie z klasycznym podejściem projektowym, wymagane jest opracowanie diagramów obrazujących cykle naprężeń. Analogiczne badania są czasochłonne, gdyż konieczne jest przeprowadzenie wielu dynamicznych testów ciśnienia rozrywającego; niektóre z nich trwają ponad 6 tys. godzin.

Biorąc pod uwagę te fakty, klasyczne podejście do projektowania materiałów oparte na diagramach nie jawi się jako atrakcyjne. Jako alternatywa rekomendowany jest w niniejszym artykule test kwalifikacyjny, przeprowadzany z uwzględnieniem ustalonego poziomu bezpieczeństwa przy wymaganej liczbie cykli obciążeniowych oraz amplitud drgań w stosunku do MPD. Standardem zalecanym w przypadku tego typu testów jest ISO 15306 [11].

## ISO 15306 dla testów dynamicznych

ISO 15306 „Rury GRP – określenie oporu względem cyklicznego ciśnienia wewnętrznego” to standard dotyczący testów rur do średnicy DN600 w warunkach wewnętrznych cyklicznego obciążenia. Ustawienie testowe z wewnętrznymi prętami napięciowymi w IMA Dresden pokazane jest na fot. 2. Dopuszczalną alternatywą jest też testowanie bez ograniczenia osiowego. Sinusoidalne obciążenie jest rekomendowane zgodnie z ISO,



**SAERTEX**  
*multiCom*<sup>®</sup>

# **SAERTEX<sup>®</sup>** **multiFlex 4.0**

**Pierwszy na świecie inwersyjny rękaw ze szkła do renowacji przyłączy domowych z prędkością światła. Bezpieczny – Trwały – Ekonomiczny.**

**Aprobata  
techniczna DiBT**



[www.facebook.de/saertexmulticom](https://www.facebook.de/saertexmulticom) | [www.saertex-multicom.de](http://www.saertex-multicom.de)

SAERTEX multiCom<sup>®</sup> GmbH | Brochterbecker Damm 52 | 48369 Saerbeck, Germany | Tel. +49 2574 902-400 | Fax +49 2574 902-409 | [multicom@saertex.com](mailto:multicom@saertex.com)



przy amplitudach drgań pomiędzy 75 a 125% PN. Testy przeprowadzane są dopóty, dopóki nie pojawi się uszkodzenie, pęknięcie lub wyściek; mogą też zostać zatrzymane dopiero po wymaganej liczbie cykli obciążeniowych.

Dobrze byłoby, gdyby w następnym wydaniu ISO 11297-4 odniesiono się do tego standardu i zdefiniowano parametry testowe. Punktem startowym dla definiowania parametrów może być tylko wartość MDP, która będzie ekwiwalentna względem PN, zawierającego poziom bezpieczeństwa po stronie obciążenia.

Wraz z założeniem, że amplitudy drgań nie wejdą w zakres ciśnienia negatywnego, maksymalne obciążenie może być wyliczone z wartości MDP poprzez podzielenie go przez współczynnik bezpieczeństwa obciążenia.

Dla wielu praktycznych zastosowań w sieciach odwodnieniowych i kanalizacyjnych próżnia około 0,5 bara, związana z uderzeniem hydraulicznym, osiągana jest regularnie. Aczkolwiek, ujemne naprężenie – kompresja – jest małe w porównaniu z pozytywnym i tłumienie prędko prowadzi do amplitud drgań z czystym napięciem.

W związku z tym należy wykorzystywać podczas testów niewielki współczynnik R, aby oddać prawdziwe warunki eksploatacji. Dla wymienionych wcześniej istotnych dla projektu cykli obciążeniowych tłumienie również prowadzi do średnich amplitud drgań. Oznacza to, że maksymalne naprężenie w obrębie tych cykli obciążeniowych to

około 50% MDP lub mniej.

Wraz z włączeniem wartości bezpieczeństwa na poziomie około 2,0 w teście kwalifikacyjnym, rekomendowane jest przeprowadzanie testu. Maksymalne naprężenie dla obciążenia dynamicznego powinno być wyliczane ze specyficznej i zależnej od średnicy wartości PN wykładziny; co więcej, należy zastosować współczynnik R o wartości 0,1. Testy można wtedy przeprowadzić do osiągnięcia wymaganej liczby cykli lub do uszkodzenia produktu.

Podstawą projektu hydrostatycznego, zgodnie z AWWA M45, jest granica pełzania równa 67% wartości krótkotrwałego ciśnienia rozrywającego przy poziomie bezpieczeństwa o wartości 2,0 (dla wyliczenia PN), dynamiczne testowanie dla PN oznacza testowanie przy 33% ciśnienia rozrywającego dla rękawa CIPP. Bazując na dostępnych danych właściwości zmęczeniowych produktów wykorzystywanych do aplikacji metody CIPP można założyć, że w obrębie cykli około  $10^6$  nie dojdzie do uszkodzenia produktu.

Jeżeli liczba cykli, w obrębie których nie dojdzie do uszkodzenia produktu, jest zbyt mała w stosunku do projektu, w ramach którego chcemy dany produkt zastosować, należy zmodyfikować projekt CIPP. Zgadza się to z założeniem, że właściwości zmęczeniowe produktów wykorzystywanych do aplikacji metody CIPP mogą być kryterium kontrolnym projektu sieci odwodnieniowych i sanitarnych. ◀

## Literatura

- [1] American Water Works Association: Manual of Water Supply Practices – M45: Fiberglass Pipe Design. Chapter 5: Buried Pipe Design, Denver 2015.
- [2] H. Domininghaus, P. Elsner, P. Eyerer, T. Hirth: Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendungen (8. Ausg), Springer-Verlag, Heidelberg, 2012.
- [3] ISO 10928 (lipiec 2013 r.): Plastics piping systems – Glassreinforced thermosetting plastics (GRP) pipes and fittings – Methods for regression analysis and their use – Amendment 1.
- [4] R. Selle, N. Führtjohann: Developing a design approach for CIPP under pressure, Trenchless International, 2017.
- [5] EN 14364, Plastics piping systems for drainage and sewerage with or without pressure – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) based on unsaturated polyester resin (UP) – Specifications for pipes, fittings and joints, 2013.
- [6] ISO 7509: Plastics piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of time to failure under sustained internal pressure, 2015.
- [7] ASTM F1216-16, Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube.
- [8] ISO 11297-4 (FDIS), Plastics piping systems for renovation of underground drainage and sewerage networks under pressure – Part 4: Lining with cured-in-place pipes.
- [9] A. Ismaier, E. Schlücker, W. Schnellhammer: Numerische und experimentelle Untersuchungen von Druckstößen in Rohrleitungen. Chemie Ingenieur Technik, 80 (9), s. 1339, 2008.
- [10] EN 1778. Characteristic values for welded thermoplastic constructions – Determination of allowable stresses and moduli for design of thermoplastic equipment, 1999.
- [11] ISO 15306, Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of the resistance to cyclic internal pressure, 2003.

**FOT. 2.** Ustawienie testowe w IMA Dresden zgodne z ISO 15306 [11]

