

# Technologie napraw przewodów ciśnieniowych, w tym również przewodów wodociągowych, które warto zastosować w Polsce

Repair technologies used for pressure pipelines, including water pipelines, which are worth implementing in Poland

ANNA PARKA, JUSTYNA LISOWSKA

DOI 10.36119/15.2025.1.6

W artykule przedstawiono wybrane technologie napraw stosowane na potrzeby przewodów ciśnieniowych, ze szczególnym uwzględnieniem przewodów wodociągowych. Omówiono podstawowe założenia do projektowania powłok, rękawów, uszczeltek, opasek itp. w nich wykorzystywanych. Ponadto, w artykule zaprezentowano propozycję karty danych o przewodach wodociągowych, wytypowanych do naprawy, a także wskazówki ułatwiające opis uszkodzeń lub/i nieprawidłowości w nich występujących. Informacje zawarte w artykule mogą okazać się przydatne m.in. przy planowaniu naprawy przewodów wodociągowych.

*Słowa kluczowe: rurociągi ciśnieniowe, przewody wodociągowe, naprawa miejscowa*

The article presents selected technologies used for repair of pressure pipelines, with particular emphasis on water pipelines. The basic principles for designing linings, sleeves, seals, clamps, etc. are discussed. Additionally, the article introduces a proposed data sheet for water pipeline selected for repair, as well as guidelines to facilitate the description of defects and/or imperfections occurring in them. The information provided in the article may prove useful, among other things, in planning the repair of water pipelines

*Keywords: pressure pipelines, water pipelines, local repair*

## Wstęp

Przewody ciśnieniowe, podobnie jak przewody kanalizacyjne, da się naprawić za pomocą różnego rodzaju powłok, rękawów i opasek, których przykłady zostały podane i opisane m.in. w [22]. Najczęściej są to przewody, w których stwierdzono występowanie miejscowych uszkodzeń lub/i nieprawidłowości, wynikających np. z wad materiałowych rur i złączy, błędów wykonawczych popełnionych w trakcie ich montażu, czy niekorzystnego oddziaływania różnego rodzaju czynników wewnątrz – i zewnątrz przewodowych, w tym lokalnego przeciążenia ich konstrukcji. Do naprawy mogą być zakwalifikowane wyłącznie przewody, które zachowały swoją nośność i w których uszkodzenia mają określoną geometrię. Ze względu na specyficzne właściwości ww. powłok, rękawów i opasek ich zastosowanie musi być poprzedzone wnikliwą analizą stanu technicznego przewodów oraz warunków eksploatacyjnych w nich występujących.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane technologie napraw przewodów ciśnieniowych, ze szczególnym uwzględnieniem przewodów wodociągowych. Omówiono w nim też podstawowe założenia do projektowania powłok, rękawów i opasek, stosowanych w ww. technologiach. Ponadto, w artykule zaprezentowano wzór karty danych o przewodzie wodociągowym, wytypowanym do naprawy, a także wskazówki, ułatwiające opis uszkodzeń lub/i nieprawidłowości w nich występujących.

## Rodzaje napraw w zależności od przyjętego horyzontu czasowego i podstawowe problemy związane z planowaniem napraw

W zależności od założonego horyzontu czasowego naprawy przewodów ciśnieniowych mogą mieć charakter doraźny lub docelowy. Zgodnie z [21] naprawa przewodu ma charakter doraźny, o ile zaproponowane rozwiązanie zachowuje

trwałość przez okres nie dłuższy niż 5 lat. Po upływie tego czasu przewód powinien być już kompleksowo odnowiony lub wymieniony na nowy wg przyjętego harmonogramu modernizacji sieci. W przypadku wdrożenia naprawy o charakterze docelowym przewód powinien mieć zapewnioną bezpieczną eksploatację na okres dłuży niż 5 lat. Przeprowadzenie naprawy przewodów ciśnieniowych nie zwalnia jednak przedstawicieli przedsiębiorstw wod.-kan. z obowiązku monitorowania stanu technicznego naprawionych przewodów i nie wyklucza podjęcia decyzji o ich natychmiastowej odnowie lub wymianie, o ile tylko istniałoby duże zagrożenie ich bezpieczeństwa konstrukcyjnego. Niestety w żadnym z dotychczasowych opracowań nie sprecyzowano rodzaju i wielkości uszkodzeń lub/i nieprawidłowości, które można byłoby uznać za typowe dla przewodów nadających się do naprawy o charakterze doraźnym lub docelowym. Jedynie w [21] podano dopuszczalne wartości odształceń, które mogą powstawać

w powłokach kompozytowych w zależności od przewidywanej jej trwałości, szacowanej odpowiednio na 2, 10 lub 20 lat. Problematyce awaryjności i klasyfikacji uszkodzeń przewodów wodociągowych poświęcono w ostatnim czasie prace [18, 19]. Sami autorzy [19] zwracają jednak uwagę na pewne trudności w klasyfikacji uszkodzeń ww. przewodów w oparciu o metody wykorzystujące np. sztuczną inteligencję. Z informacji podanych w [19] wynika np., że tylko najliczniej występujące w zbiorze danych uszkodzenia przewodów wodociągowych (około 80%) zostały sklasyfikowane prawidłowo. W przypadku pozostałych uszkodzeń (około 20%) ta dokładność była minimalna. Wskazuje to na konieczność wprowadzenia zmiany w podejściu do przewidywania zmiennych jakościowych zwłaszcza w kontekście planowania ewentualnych napraw tych przewodów. Co więcej, do tej pory nie opracowano też oddzielnych wytycznych do projektowania powłok, rękawów i opasek, które odnosiłyby się wyłącznie do przewodów wodociągowych i które uwzględniałyby ich specyfikę. Powoływanie się na wytyczne opracowane na potrzeby przewodów gazowych i rurociągów przemysłowych jest co prawda dopuszczalne, ale nie powinno być ono regułą.

## Wybrane technologie napraw stosowane w przypadku przewodów ciśnieniowych

### Technologie typu pipewrapping

#### Technologia QuakeWrap™

Technologia QuakeWrap™ została opracowana w USA i obecnie stosuje się ją zarówno do naprawy przewodów (grawitacyjnych i ciśnieniowych) jak i zbiorników. W zależności od średnicy przewodu naprawa w ww. technologii jest przeprowadzana od strony zewnętrznej, co wymaga wcześniejszego odsłonięcia naprawianego odcinka, lub wewnętrznej. Zgodnie z [22, 32, 34] naprawa od strony wewnętrznej przewodu jest możliwa o ile jego średnica nie jest mniejsza od 900 mm. W przypadku naprawy od strony zewnętrznej nie istnieją żadne ograniczenia, co do jego średnicy. Nie zaleca się jedynie przeprowadzenia naprawy w ww. technologii przewodów betonowych, ułożonych w strefach narażonych na naprężenie zamarzanie i rozmarzanie.

W technologii QuakeWrap™ do naprawy uszkodzonego przewodu wykorzystuje się czarną powłokę na bazie włókien węglowych w układzie podłużnym, która na miejscu zostaje nasączona

żywicą epoksydową (Fot.1). W rezultacie uzyskuje się wytrzymały i lekki kompozyt o dużej odporności na korozję i związki alkaliczne. Trwałość powłoki po utwardzeniu szacowana jest na około 50 lat wg deklaracji jej producenta [32].



Fot. 1. Instalacja powłoki QuakeWrap™ od strony zewnętrznej [32]

Fig. 1. Installation of QuakeWrap™ lining from the outside [32]

Powłoka dostarczana jest na miejsce realizacji inwestycji w rolkach. Na każdą rolę przypada dokładnie 45 m powłoki o szerokości 1,27 m, przy czym powłokę można docinać stosownie do potrzeb. Dzięki zapewnionej swobodzie w zakresie docinania i kształtowania, powłoka nadaje się do naprawy przewodów zarówno o przekroju kołowym jak i innym niż kołowy. Powłoka może być nakładana w kilku warstwach, co z reguły zapewnia większe wzmocnienie przewodu na obwodzie. W trakcie jej montażu należy jednak pamiętać o dokładnym oczyszczeniu powierzchni, na które jest ona nakładana. Jeżeli w konstrukcji przewodu potwierdzono występowanie ubytków, wykruszeń itp. to przed nałożeniem powłoki należy je uzupełnić, stosując do tego celu np. zaprawę cementową lub inne wypełniacze [32,33,34].

Do projektowania powłoki QuakeWrap™ można stosować jedną z metod obliczeniowych zaprezentowanych w [5] lub [21]. Sama powłoka powinna spełniać wymagania określone w wytycznych amerykańskich ASTM D-903-17 [8], ASTM D-2584 [9] i ASTM D-3039 [10] oraz w [5].

#### Tyfo® FibrWrap®

Technologia Tyfo® FibrWrap® znajduje zastosowanie w bezwykopowej naprawie przewodów grawitacyjnych i ciśnieniowych, w tym również przewodów wodociągowych, o średnicy nie mniejszej niż 600 mm i wykonanych z rur żelbetonowych, z betonu sprężonego oraz z rur stalowych. Znane są też przypadki zastosowania odmian ww. technologii w przypadku napraw studzienek, mostów, tuneli i innych konstrukcji [22,27].

W technologii tej wykorzystuje się powłoki na bazie włókien węglowych, szklanych lub aramidowych, które następnie nasączają się żywicą epoksydową o na-

zwie fabrycznej Tyfo S lub Tyfo S-T. Poszczególne powłoki różnią się istotnie od siebie wartościami parametrów wytrzymałościowych, na co wpływ ma nie tylko rodzaj i orientacja włókien w strukturze kompozytu, ale również typ zastosowanej żywicy epoksydowej. Szczegółowe informacje o parametrach wytrzymałościowych ww. powłok podano w [27].

Powłoka Tyfo® FibrWrap® może być wykonana jako jedno – lub wielowarstwowa, co powoduje, że jej grubość zmienia się w dość szerokim zakresie, tj. od 2,54 do 12,7 mm. Po utwardzeniu w przewodzie jest ona w stanie przenosić naprężenia od ciśnienia wewnętrznego o wartości do 2,4 MPa. Co więcej, nie ulega ona uszkodzeniu pod wpływem podciśnienia o wartości do 0,1 MPa. Sama przyczepność powłoki do ścian rurociągów zmienia się w zależności od rodzaju materiału rur. W przypadku powłok zainstalowanych w przewodach betonowych uzyskano wytrzymałość na oderwanie nie mniejszą od 1,4 MPa wg [27].

Minimalna długość odcinka przewodu, który może być jednorazowo naprawiony za pomocą powłoki Tyfo® FibrWrap® wynosi 1,2 m. Cały proces instalacji powłoki trwa od 48 do 72 godz., a jej trwałość szacowana jest na około 50-75 lat. Powłoki powinny spełniać wymagania określone m.in. w ASTM D-695 [7] i ASTM D-3039 [10] oraz w [5]. Przy doborze i projektowaniu ww. powłok można kierować się zaleceniami podanymi w ACI 546R-04 [1].

### Inne technologie wykorzystujące wykładziny, profile, rękawy lub opaski

#### Technologia CIPP

Krótkie rękawy typu CIPP stosuje się również do naprawy przewodów ciśnieniowych, w tym również przewodów wodociągowych. W zależności od rodzaju i wielkości uszkodzeń stwierdzonych w przewodzie powłoki te projektuje się tak, aby spełniały przede wszystkim wymagania określone dla powłok (wykładzin) konstrukcyjnych klasy A i częściowo konstrukcyjnych klasy B zgodnie z [4]. W pierwszym przypadku uzyskuje się rękawy przystosowane do przenoszenia w całości naprężeń od ciśnienia wewnętrznego i zachowujących stateczność pod wpływem sumarycznego obciążenia zewnętrznego, na które składa się obciążenie warstwą gruntu, obciążenie komunikacyjne i parcie hydrostatyczne od wody gruntowej (na wypadek opróżnienia rurociągu z medium). Rękawy te są również

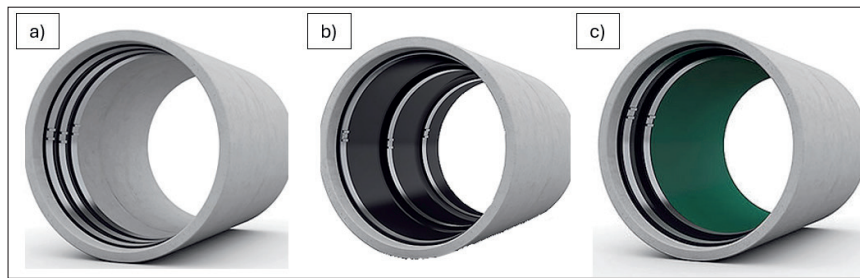
odporne na podciśnienie. W drugim przypadku rękawy wykazują natomiast pewną zdolność do pokrywania występujących w ściankach rurociągów otworów pokorozyjnych przy jednoczesnym zachowaniu stateczności pod wpływem zewnętrznego parcia hydrostatycznego wody gruntowej i ewentualnie podciśnienia. Warunek, który musi być spełniony, aby rękaw mógł pokryć otwory pokorozyjne w rurociągu został określony wzorem (11). Rękawy częściowo konstrukcyjne klasy C stosowane są rzadziej.

Przykładem rękawa typu CIPP stosowanego do naprawy przewodów wodociągowych jest rękaw PipePatch, który jest wykonany z maty z włókna szklanego nasączonej termoutwardzalną żywicą. Może być on instalowany w przewodach o średnicy od 40 do nawet 1800 mm. Przeciętna grubość ww. rękawa wynosi 4 mm, a jego wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu to około 241 MPa wg [35].

#### Technologia AmexSeals

Profile AmexSeals stosuje się w celu wyeliminowania drobnych uszkodzeń przewodów grawitacyjnych i ciśnieniowych, w tym również przewodów wodociągowych. Naprawiane przewody mogą mieć dowolny przekrój poprzeczny i być wykonane z różnych materiałów. W zależności od przyjętego wariantu technologii możliwa jest naprawa zarówno przewodów nieprzelazowych jak i przelazowych. W chwili obecnej dostępne są 3 warianty profili niekonstrukcyjnych typu Amex, tj. profile Amex-10 Mono® (fot. 2a), Amex-10 Vario® (fot. 2b) i Amex-10 LEM® (fot. 2c).

Profile Amex-10 Mono i Amex-10 Vario instaluje się zwykle w przewodach o średnicy od 600 do 6000 mm, natomiast profile Amex-10 Lem® w przewodach o średnicy od 150 do 4000 mm. Standardowe szerokości profili typu Amex-10 Mono i Amex-10 Lem® wynoszą odpowiednio 260, 366 i 500 mm. Jedynie profile Amex-10 Vario mają szerokość 500 mm. W przypadku profili Amex-10 Vario możliwy jest dodatkowo relining na dłuższych odcinkach. Wszystkie wymienione wcześniej profile są wykonane z polietylenu średniej gęstości. Profile te wraz z uszczelkami EPDM są przystosowane do pracy pod ciśnieniem wewnętrznym dochodzącym do 25 barów i zachowują trwałość w zakresie temperatur od -30 do +130°C dla oddziaływań długotrwałych i do +150°C dla oddziaływań krótkotrwałych. Dostępne są również profile z uszczelkami typu FKM (na bazie fluorkauczuku), które mogą być eksploato-



Fot. 2.

Różne profile uszczelniające typu Amex po zainstalowaniu w przewodzie: a) profil Amex-10 Mono®, b) profil Amex-10 Vario®, c) profil Amex-10 LEM® [24]

Fot. 3. Different Amex profiles used for sealing after their installation in pipelines: a) Amex-10 Mono® profile, b) Amex-10 Vario® profile, c) Amex-10 LEM® profile [24]

wane w znacznie wyższym zakresie temperatur, tj. od -30 do +230°C dla oddziaływań długotrwałych i do +260°C dla oddziaływań krótkotrwałych [24]. Jak zastrzega jednak sam producent, podany zakres temperatur może ulec pewnym zmianom w zależności od ciśnienia panującego w przewodzie, prędkości medium czy składu fizyko-chemicznego medium.

Profile typu Amex są również odporne na działanie ciśnienia zewnętrznego o wartości do 8 barów. Jeśli profile są dobrane zgodnie z zaleceniami ich producenta to przewody, w których są one zainstalowane, mogą być eksploatowane nawet do 50 lat [22,24].

#### Rękaw Clock Spring®

Clock Spring® jest kompozytowym rękawem (ang. composite sleeve) wykonanym z poliestru wzmocnionego włóknami szklanymi oraz nasączonym żywicą na bazie metakrylanu metylu. Stosuje się go głównie do naprawy przewodów wysokociśnieniowych (w tym wysokociśnieniowych przewodów wodociągowych i gazowych) o średnicach od 100 do 1400 mm. Gotowy rękaw składa się z 8 warstw nakładanych jedna na drugą i ma grubość około 13 mm. Nawinięcie pojedynczej warstwy pozwala na pokrycie odcinka przewodu o długości około 305 mm. Szerokość warstwy zależy natomiast od średnicy przewodu [26].

Rękaw Clock Spring® może być instalowany w przewodach, w których stwierdzono występowanie nawet bardzo poważnych uszkodzeń lub/i nieprawidłowości takich jak np. zaawansowana korozja czy ubytek grubości ścianki rur dochodzący do 80% grubości nominalnej. Jak podano dalej w [26] montaż ww. rękawa jest zbliżony do montażu powłoki typu pipewrapping i możliwy wyłącznie od strony zewnętrznej przewodu. Powinien on przy tym wystawać poza krawędzie ubytku na odległość nie mniejszą niż 610 mm, co odpowiada nawinięciu przynajmniej

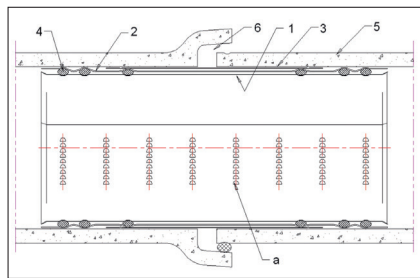
2 warstw w kierunku podłużnym. I tak np., jeżeli w przewodzie stwierdzono ubytek o średnicy około 203 mm to do jego naprawy powinien być zastosowany rękaw o długości całkowitej równej 305 mm. Aktualnie dobór ww. rękawa jest realizowany w oparciu o wytyczne ASME PCC-2 [5], CSA Z662 [14], oraz PN – EN ISO 24817 [21].

Wytrzymałość rękawa Clock Spring® na oderwanie wynosi około 8,3 MPa i wynika z zastosowanej w nim żywicy adhezyjnej, zawierającej od 60 do 80% metakrylanu metylu. Jako wypełniacz stosowana jest również żywica na bazie metakrylanu metylu, z tą jednak różnicą, że zawartość ww. składnika zawiera się w przedziale od 15 do 40%. Wytrzymałość na ściskanie żywicy stanowiącej wypełniacz w ww. rękawie powinna być nie mniejsza niż 55 MPa. Oba rodzaje żywic zachowują trwałość przez okres 12 miesięcy od daty produkcji. Jeżeli rękaw zainstalowany zgodnie z wymaganiami określonymi przez jego producenta to naprawiony za jego pomocą przewód może być eksploatowany przez ponad 50 lat. [22].

#### LINK-PIPE Hydro-Seal™

LINK-PIPE Hydro-Seal™ to natomiast opaska, której rdzeń jest wykonany ze stali nierdzewnej SST-316, a warstwa zewnętrzna z tkaniny filcowej nasączonej żywicą. W razie potrzeby LINK-PIPE Hydro-Seal™ może posiadać też dodatkowe wzmocnienie. Na rys. 1 pokazano nieszczelny przewód z zainstalowaną w jego wnętrzu opaską.

Opaska LINK-PIPE Hydro-Seal™ służy do naprawy przewodów ciśnieniowych (także wodociągowych), w których stwierdzono występowanie pęknięć obwodowych, niewielkich otworów w ściance rur lub/i nieszczelnych złączy. Zwykle stosuje się go w przewodach o średnicy od 152,4 do 914,4 mm i wykonanych z rur z dowolnego materiału. W zależności od wielkości wykrytego w przewodzie uszkodzenia



Rys. 1.

Przewód wodociągowy z zainstalowaną w jego wnętrzu opaską Hydro SealTM posiadającą dodatkowy rdzeń (wersja Jacketed Reinforced): 1 – rdzeń ze stali SST-316, 2 – zewnętrzna warstwa gumowa, 3 – dodatkowe wzmocnienie, 4 – uszczelka typu O-ring, 5 – istniejący przewód, 6 – nieszczelność stwierdzona w istniejącym przewodzie, a – mechanizm blokujący typu zapadkowego [30]

Fig. 1. Water pipe with the Hydro SealTM sleeve installed from the inside (version: Jacketed Reinforced): 1 – core made of SST-316 steel, 2 – outer rubber layer, 3 – additional reinforcement, 4 – O-ring type seal, 5 – existing pipe, 6 – leakage in the existing pipe, a – blocking mechanism of ratchet type [30]

dobiera się opaski o długości równej 304,8 mm, 406,4 mm, 457,2 mm, 609,6 mm i 914,4 mm. Ze względu na ograniczone wymiary ww. opaski nie ma aktualnie możliwości naprawy nim przewodu na długości większej niż 0,9 m [30,31].

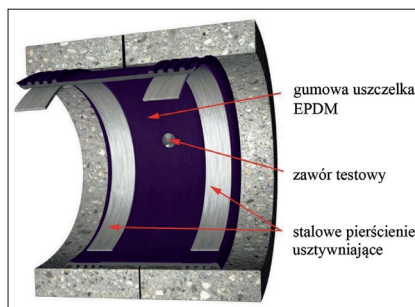
Dobór opaski LINK-PIPE Hydro-Seal™ powinien być realizowany w oparciu o zalecenia podane w ASTM A – 240 [6] przy założeniu 50-o letniego okresu jego trwałości. Decydując się jednak na taką opaskę należy jednak pamiętać o tym, że nie jest ona przystosowana do pracy pod ciśnieniem o wartości większej od 1,0 MPa i nie może być traktowana jako rozwiązanie konstrukcyjne. Warto też mieć na uwadze to, że wartość ciśnienia w przewodzie ma duży wpływ na ostateczny efekt uszczelniający, który można dzięki niemu uzyskać. Jak podano w [22], im to ciśnienie jest wyższe tym efekt ten jest lepszy.

Przed zainstalowaniem opaski przewód należy wyłączyć z eksploatacji i oczyścić z nagromadzonych w nich osadów i produktów pokorozyjnych. Wskazane jest też przeprowadzenie ponownej inspekcji CCTV. Przebieg instalacji musi być zgodny z instrukcją podaną w [31].

### Weko-Seal®

Weko-Seal to z kolei elastyczna uszczelka EPDM, która od strony wewnętrznej posiada dodatkowe pierścienie usztywniające ze stali (rys. 2).

Jak podano dalej w [23], uszczelki Weko-Seal służą gł. do uszczelnienia złączy przewodów o średnicy od 400 mm wzwyż. Można ją instalować zarówno w przewodach grawitacyjnych jak i ciśnie-

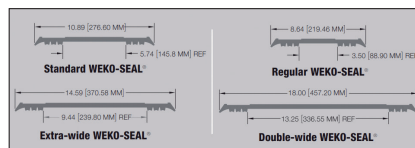


Rys. 2.

Uszczelka Weko – Seal [36]

Fig. 2. The Miller Weko – Seal [36]

niowych (także wodociągowych i gazowych) o dowolnym przekroju poprzecznym i wykonanych z dowolnego materiału rur. Uszczelki te dostępne są w 4 wariantach, tj. Standard, Regular, Extra – Wide oraz Double – Wide, które różnią się między sobą szerokością (rys. 3).



Rys. 3.

Warianty uszczelki Weko – Seal [36]

Fig. 3. The Weko – Seal variants [36]

Wg [23], uszczelki Weko – Seal są w stanie przenosić naprężenia od ciśnienia wewnętrznego o wartości do 2,1 MPa o ile medium w przewodzie jest w stanie ciekłym (woda lub ścieki) lub do 0,4 MPa o ile medium w przewodzie jest w stanie gazowym (gaz ziemny). Może być też na nie wywierane ciśnienie zewnętrzne o wartości nie większej niż 0,3 MPa. Pomimo zastosowania w nich pierścieni stalowych i dość dużej wytrzymałości nie mogą być jednak wykorzystywane do rekonstrukcji przewodów.

Tabela 1. Zestawienie wartości wybranych parametrów dla iniektów na bazie hydrofilowych poliuretanów – opracowanie własne na podstawie [25]

Parametr	AV-202	AV-315	AV-330
Lepkość [Pa·s]	3,2÷6,0 <sup>1</sup>	0,05±0,1 <sup>2</sup>	0,35-0,75 <sup>2</sup>
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1090 ±3%	1031±3%	1080±3%
Bezwzględny ciężar właściwy [-]	1,090±3% <sup>2</sup>	1,03±3% <sup>2</sup>	1,08±3% <sup>2</sup>
Temperatura zapłonu [°C]	123	>93	>93
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	11,77 <sup>3</sup> 9,81 4,51	0,69	2,41±2,76
Wydłużalność [%]	100 <sup>4</sup> 150 600	250	300÷400
Swobodny wzrost [%]	400÷600	300÷600	400÷600
Optymalny zakres temperatur podczas instalacji [°C]	16÷32		
Wskaźnik w:r (woda do żywicy)	12:1 10:1 5:1	1:1	1:1

<sup>1</sup> określona w temp. 25°C

<sup>2</sup> określona w temp. 22°C

<sup>3</sup> wartość maleje wraz ze wzrostem wskaźnika w:r, np. wytrzymałość na rozciąganie o wartości 11,77 MPa obowiązuje dla w:r = 12:1

<sup>4</sup> wartość rośnie w miarę spadku wskaźnika w:r, np. wydłużalność 100% obowiązuje dla w:r = 12:1

producenta to powinny one zachować trwałość przez około 25 lat.

## Wymiarowanie powłok i uszczelnień stosowanych na potrzeby miejscowej naprawy przewodów ciśnieniowych, w tym przewodów wodociągowych

### Uwagi wstępne

Część powłok, rękawów, uszczelnień, itp. stosowanych do naprawy przewodów ciśnieniowych, w tym również przewodów wodociągowych, nie wymaga szeroko zakrojonych obliczeń statycznych – wytrzymałościowych. W ich przypadku dobór realizowany jest w oparciu o zalecenia podane przez ich producentów lub/i w odpowiednich wytycznych lub normach przedmiotowych. Pozostałe powłoki, rękawy bądź uszczelki projektuje się głównie w oparciu o metody obliczeniowe opisane m.in. w [2,3,4,5,15,16,20,21]. W wielu przypadkach sposób ich wymiarowania zależy nie tylko od rodzaju i geometrii ubytku stwierdzonego w przewodzie czy wysokości ciśnienia pod jakim jest on eksploatowany, ale również temperatury transportowanego medium. Okres trwałości ww. rozwiązań szacuje się natomiast w oparciu o przeprowadzoną analizę ryzyka. Sposób przeprowadzenia ww. analizy opisano ze szczegółami w [21].

Wytyczne amerykańskie PCC-2 [5] wprowadzają np. dwa tony obliczeniowe, w oparciu o które można zaprojektować niemetaliczne powłoki lub rękawy na bazie kompozytów. Pierwszy ton (z ang. *for low risk application*) stosuje się wtedy, gdy przewody wytypowane do naprawy eksploatowane są pod ciśnieniem nie większym od 1,0 MPa, a temperatura medium zawiera się w przedziale od 0°C do 50°C. Jednocześnie w przewodzie nie mogą występować uszkodzenia o średnicy większej niż  $0,25 \times D$ , gdzie  $D$  to średnica zewnętrzna przewodu. Drugi ton (z ang. *for high risk application*) dotyczy natomiast przewodów eksploatowanych pod ciśnieniem wyższym od 1,0 MPa i transportujących medium o temperaturze mniejszej lub równej 0°C, ewentualnie większej lub równej 50°C. Tym razem w przewodach mogą występować uszkodzenia o średnicy większej niż  $0,25 \times D$ . Dodatkowo, w ramach każdego tonu obliczeniowego wyodrębniono jeszcze 2 niezależne procedury. Procedura A obowiązuje dla przewodów z uszkodzeniami niebędącymi źródłami wycieku medium natomiast procedura B przewodów z uszkodzeniami powodującymi takie wycieki. Z oczywistych względów ton obliczeniowy nr 2 jest bar-

dziej rozbudowany. W tym przypadku, grubość ścianki powłoki lub rękawa musi być wyznaczona z uwzględnieniem także dopuszczalnych wartości odkształceń i naprężeń w nich powstających, a nie tylko na podstawie znanej wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu.

Sposób wymiarowania powłok i rękawów kompozytowych wg normy PN EN 24817 [21] zależy w dużym stopniu od ich klasy, którą ustala się m.in. na podstawie warunków eksploatacyjnych występujących w przewodzie. W chwili obecnej obowiązuje podział na 3 klasy, tj. klasę 1, 2 i 3. Wg [21] klasa 1 obejmuje powłoki i rękawy przeznaczone do zainstalowania w przewodach eksploatowanych pod ciśnieniem do 2,0 MPa i transportujących medium o temperaturze do 40°C. Jeżeli ciśnienie w przewodzie nie przekracza 2,0 MPa, ale temperatura medium jest wyższa od 40°C ale mniejsza od 100°C to wówczas powłokę lub rękaw można przypisać do klasy 2. Klasa 2 nie obejmuje jednak rurociągów transportujących mieszaniny węglowodorów. Pozostałe powłoki i rękawy można zakwalifikować do klasy 3 i to bez względu na rodzaj transportowanego medium, jego temperaturę czy ciśnienie pod którym przewód jest eksploatowany. Zaproponowany w [21] ton obliczeniowy jest o tyle charakterystyczny, iż dla każdej z klas ustalone zostały inne wymagania odnośnie dopuszczalnych odkształceń w funkcji przewidywanego czasu ich użytkowania. Wartości odkształceń, o których wspomniano powyżej, można policzyć ze wzorów zamieszczonych w tabeli 9 w [21]. Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na sposób wymiarowania powłok i rękawów wg [21] jest rodzaj uszkodzenia występującego w przewodzie oraz jego geometria. Okazuje się, że inaczej liczy się powłoki lub rękawy przeznaczone do zainstalowania w przewodach, w których nie ma uszkodzeń prowadzących do wycieku medium, a inaczej w przewodach, w których uszkodzenia są na tyle poważne, że do takiego wycieku dochodzi. Projektant może więc wybierać pomiędzy procedurą A lub B. Pod tym względem, norma [21] wykazuje istotne podobieństwo do wytycznych [4]. W sposób szczegółowy wytyczne [4] i norma [21] zostały omówione w [15]. Występowanie uszkodzeń będących źródłem wycieku wody z przewodów wodociągowych można natomiast potwierdzić stosując np. metodę opisaną w [17]. W kolejnych podpunktach niniejszego artykułu omówiono natomiast sposób wymiarowania wybranych powłok, które mogą być stosowane do naprawy przewodów wodociągowych.

## Wymiarowanie powłok typu pipewrapping

Sposób wymiarowania powłoki typu pipewrapping na potrzeby miejscowej naprawy przewodu ciśnieniowego, w tym także przewodu wodociągowego, zależy w dużym stopniu od rodzaju i wielkości uszkodzeń, jakie w nim wykryto oraz warunków, w jakich jest on eksploatowany. W przypadku przewodów nieznacznie uszkodzonych ( $d \leq 0,25 \times D$ , gdzie  $d$  – średnica ubytku w ściance rury,  $D$  – średnica zewnętrzna przewodu) oraz eksploatowanych pod ciśnieniem nie większym niż 1,0 MPa powłoka powinna składać się z  $n$  warstw, których minimalną liczbę można ustalić w oparciu o wzór (1) zgodnie z [5].

$$n = \frac{P \cdot D}{2 \cdot DF \cdot \sigma_{TS,h}} \quad (1)$$

gdzie:

- $n$  – wymagana liczba warstw powłoki np. typu pipewrapping,
- $P$  – maksymalne ciśnienie wewnętrzne, które może być wywierane na powłokę, MPa (nie większe niż 1,0 MPa)
- $\sigma_{TS,h}$  – wytrzymałość na rozciąganie powłoki w kierunku obwodowym wg deklaracji jej producenta, MPa
- $D$  – średnica zewnętrzna przewodu, mm
- $DF$  – współczynnik korekcyjny. Można przyjąć  $DF = 0,2$  zgodnie z [4].

Wzór (1) można stosować o ile ubytek grubości ścianki rur nie jest większy niż 50% i jednocześnie nie powoduje on powstania wycieku wody. Gdyby ubytek grubości ścianki rur był większy od 50% to wówczas wymaganą liczbę warstw powłoki należałoby ustalić ze wzoru (2) zgodnie z [5]. Niedopuszczalne jest występowanie w przewodzie np. otworów pokorozyjnych lub wykruszeń fragmentów konstrukcji na wylot.

$$n = \frac{P \cdot D}{4 \cdot DF \cdot \sigma_{TS,a}} \quad (2)$$

gdzie:

- $\sigma_{TS,a}$  – wytrzymałość na rozciąganie powłoki w kierunku osiowym wg deklaracji jej producenta, MPa

Występujące we wzorze (1) i (2) ciśnienie  $P$  można przyjmować jako równe maksymalnemu dopuszczalnemu ciśnieniu robocznemu, określanemu w skrócie jako MAOP. Punktem wyjścia do ustalenia wartości MAOP powinny być wyniki pomiarów ciśnienia w sieci lub też w jej fragmencie z okresu, obejmującego przynajmniej ostatnie 5 lat poprzedzających ewentualną naprawę przewodu. Szczególną

ostrożność należy zachować przy wymiarowaniu powłok przeznaczonych do naprawy przewodów wodociągowych, w których może powstawać okresowo nadciśnienie o wartości  $P_s$ . Dla przewodów, w których nadciśnienie  $P_s$  nie przekracza nigdy wartości  $0,5 \cdot MAOP$ , minimalną liczbę warstw powłoki  $n$  sugeruje się ustalać ze wzoru (1) lub (2), przy założeniu, że  $P = MAOP$ . Z kolei dla przewodów, w których nadciśnienie przekracza wartość  $0,5 \cdot MAOP$  liczbę  $n$  należy ustalić już przy założeniu, że  $P = MAOP + P_s$ . W żadnym z ww. przypadków ciśnienie  $P$  przyjmowane do obliczeń nie może być jednak wyższe niż  $1,0$  MPa. Jeżeli ten warunek nie byłby spełniony to wówczas należałoby zastosować procedurę opracowaną dla powłok rekonstrukcyjnych, przystosowanych do pracy przy podwyższonym ciśnieniu w przewodzie i o wyższych parametrach wytrzymałościowych lub skonsultować się z producentem danej powłoki [3,5]. W przypadku występowania trójników na odcinku przewodu wytypowanego do naprawy rzeczywista liczba warstw powłoki powinna być dwukrotnie większa niż ta, wynikająca ze wzoru (1) lub (2) wg [5].

Powłoka typu pipewrapping może być również stosowana do naprawy przewodu z potwierdzonym wypływem z niego wody do gruntu lub na powierzchnię, o ile zachowa ona trwałość w miejscu występującej nieciągłości konstrukcji pod wpływem ciśnienia testowego  $P_t$  o wartości równej przynajmniej  $3,0$  MPa. W tym przypadku ogólny warunek bezpieczeństwa dla ww. powłoki mógłby zdaniem autorek niniejszego artykułu przedstawiać się następująco:

$$\sigma_{rzecz} \leq \frac{\sigma_{cr}}{N} \rightarrow \frac{P_t \cdot r}{t_w} \leq \frac{\sigma_{cr}}{N} \quad (3)$$

gdzie:

- $\sigma_{rzecz}$  – rzeczywiste naprężenia, powstające w powłoce pod wpływem działającego ciśnienia, MPa
- $P_t$  – ciśnienie testowe, MPa (nie mniejsze niż  $3,0$  MPa)
- $r$  – średni promień powłoki, mm
- $t_w$  – grubość całkowita powłoki, odpowiadająca iloczynowi liczby warstw  $n$  oraz grubości pojedynczej warstwy  $t_{w1}$ , mm
- $\sigma_{cr}$  – naprężenia krytyczne, ustalone dla danej powłoki, po przekroczeniu których następuje jej uszkodzenie, MPa
- $N$  – współczynnik bezpieczeństwa (w tym przypadku sugeruje się przyjmować  $N = 2,0$ ).

Jak wyjaśniono dalej w [5], ciśnienie w przewodzie w trakcie badania powinno wzrastać stopniowo aż do osiągnięcia

wspomnianej wcześniej wartości w czasie nie krótszym jednak niż  $30$  sekund. Co więcej, liczba warstw powłoki nie może być mniejsza niż ta wyznaczona ze wzoru (2) przy założeniu  $P = 1,0$  MPa i jednocześnie nie mniejsza niż  $2$ . Opisana powyżej procedura obowiązuje dla przewodów, w których spełniony jest dodatkowo warunek opisany nierównościami (4) zgodnie z [5]. Procedurę tę można również stosować w odniesieniu do przewodów, w których grubość ścianki jest mniejsza od  $1,0$  mm. Pod wpływem ciśnienia  $P_t$  w powłoce nie mogą powstawać uszkodzenia i nieprawidłowości wykazane w tabeli 402-5.2-1 zamieszczonej w [5].

$$P \cdot \sqrt{d} < 0,16 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1,5} \quad (4)$$

gdzie:

- $P$  – ciśnienie wewnętrzne w przewodzie,  $\text{N}/\text{m}^2$
- $d$  – średnica ubytku w ściance przewodu, m

Aby naprawa przewodu była skuteczna, a powłoka mogła spełniać swoją rolę to siła adhezji pomiędzy powłoką a przewodem nie może być mniejsza od jej wytrzymałości na zerwanie, która zgodnie z [5] powinna wynosić przynajmniej  $4$  MPa. Jeśli siła adhezji jest wystarczająco duża to powłoka nie ulegnie oderwaniu od przewodu pod wpływem krótkotrwałe działającego ciśnienia testowego o wartości  $3,0$  MPa, o którym wspomniano już wcześniej. Dla przewodów poddanych naprawie z zastosowaniem ww. powłok można także sprawdzić warunek opisany zależnością (5) wg [4]. Jeżeli nie obserwuje się dużych wahań pomiędzy temperaturą otoczenia a temperaturą medium w przewodzie to drugi składnik sumy po prawej stronie równania (5) można pominąć.

$$\sigma_{od} \geq P_N \cdot N + 10^3 \cdot \alpha \cdot E_{fh} \cdot \Delta T \quad (5)$$

gdzie:

- $\sigma_{od}$  – siła adhezji, MPa
- $P_N$  – sumaryczne obciążenie powłoki wynikające z warunków ułożenia i eksploatacji: dla przewodów ułożonych w gruncie, w których ryzyko powstania podciśnienia jest wysokie za  $P_N$  przyjmuje się sumę zewnętrznego parcia hydrostatycznego od wody  $P$  i podciśnienia  $P_v$ ; dla przewodów ułożonych w gruncie, ale opróżnionych z medium za  $P_N$  przyjmuje się wartość  $P$ , itp.
- $N$  – współczynnik bezpieczeństwa, zwykle  $N = 2,0$
- $\alpha$  – współczynnik rozszerzalności cieplnej materiału powłoki,  $\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$
- $\Delta T$  – różnica temperatur,  $^\circ\text{C}$

$E_{fh}$  – moduł sprężystości powłoki przy zginaniu, GPa

Powłoka zainstalowana z zewnątrz mogłaby ulec oderwaniu od ścianek przewodu o ile np. w przewodzie wystąpiłoby uderzenie hydrauliczne, a wokół niego stwierdzone byłyby duże pustki powietrzne (dotyczy przewodów ułożonych w gruncie).

Planując naprawę przewodu ciśnieniowego, w tym również wodociągowe z zastosowaniem powłoki typu pipewrapping należy pamiętać o tym, że powłoka ta musi mieć odpowiednią długość. Zgodnie z [5], długość całkowita ww. powłoki nie może być mniejsza niż ta wynikająca ze wzoru (6).

$$L = d + 2 \cdot L_{dod} \quad (6)$$

gdzie:

- $d$  – średnica ubytku w ściance przewodu, m
- $L_{dod}$  – naddatek wymiarowy dla powłoki typu pipe wrapping, m

Występujący we wzorze (6) parametr  $L_{dod}$  można ustalić ze wzoru (7) wg [5].

$$L_{dod} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{D \cdot t}{2}} \quad (7)$$

gdzie:

- $D$  – średnica zewnętrzna przewodu, m
- $t$  – grubość ścianki rury, m

Jeżeli producent powłoki nie podaje inaczej to długość  $L_{dod}$  nie powinna być mniejsza niż  $5$  cm. W razie potrzeby powłokę można jeszcze wydłużyć z każdej strony o dodatkową długość  $l_t$  odpowiadającą ilorazowi wymiaru poziomego  $x$  i pionowego  $y$  naddatku, przy czym  $x:y = 5:1$  wg [4].

### Wymiarowanie krótkich rękawów (wykładzin) typu CIPP do naprawy przewodów wodociągowych

Do naprawy przewodów ciśnieniowych ułożonych w gruncie, w tym także przewodów wodociągowych, można zastosować również krótkie rękawy (wykładziny) typu CIPP różnych klas. Jeżeli w przewodach występują otwory pokorozyjne o średnicy  $d$  to wówczas można w nich zainstalować rękawy odpowiadające klasie B ewentualnie klasy C. Minimalną grubość ww. powłok należy wyznaczyć wtedy ze wzoru (8) podanego m.in. w [4, 16, 20].

$$t_l = \frac{D}{\left[ \frac{5,33}{P} \cdot \left( \frac{D}{d} \right)^2 \cdot \frac{\sigma}{N} \right]^{1/2}} + 1 \quad (8)$$

gdzie:

- $D$  – średnica zewnętrzna powłoki, mm
- $P$  – maksymalne ciśnienie wewnętrzne przyjmowane do wymiarowania krótkiej powłoki klasy C lub B, MPa

- d – średnica otworu, występującego w ścianie istniejącego przewodu, mm  
 $\sigma$  – wytrzymałość na zginanie powłoki zredukowana ze względu na długotrwały wpływ obciążenia, MPa  
 N – współczynnik bezpieczeństwa, przyjmuje się  $N \geq 2,0$ .

Wzór (10) można stosować o ile spełniony jest warunek opisany nierównościami (9), a średnica otworu pokorozyjnego d w ścianie przewodu nie jest większa od 35 mm. Jeżeli warunek nie byłby spełniony to krótki rękaw typu CIPP musiałby być zaprojektowany tak jak powłoka (wykładzina) klasy A stosowana w reliningu. Sposób wymiarowania powłok (wykładzin) typu CIPP klasy A omówiono ze szczegółami w [4, 20].

$$\frac{d}{D} \leq \left( \frac{2,67 \cdot \sigma}{\sigma_t \cdot DR} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

gdzie:

- $\sigma$  – wytrzymałość na zginanie powłoki zredukowana ze względu na długotrwały wpływ obciążenia, MPa  
 $\sigma_t$  – wytrzymałość na rozciąganie powłoki, zredukowana ze względu na długotrwały wpływ obciążenia, MPa  
 DR – współczynnik kształtu powłoki ( $DR = D/t$ , gdzie D – średnica zewnętrzna powłoki, t – grubość powłoki)  
 d, D – jak we wzorze (10).

Krótkie rękawy klasy B, w przeciwieństwie do rękawów klasy C, mają sztywność obwodową. Sztywność obwodowa ww. powłok powinna być na tyle duża, aby zachowały one stateczność w warunkach stałego oddziaływania parcia hydrostatycznego od wody gruntowej (wzór 10) i ewentualnie okresowego oddziaływania podciśnienia (wzór 11) wg [4].

$$t_l = \frac{D}{\left( \frac{2 \cdot K \cdot E_L \cdot C}{(1 - \nu^2) \cdot N \cdot P_w} \right)^{\frac{1}{3}} + 1} \quad (10)$$

lub

$$t_l = \frac{D}{\left( \frac{2 \cdot K \cdot E \cdot C}{(1 - \nu^2) \cdot N \cdot (P_w + P_v)} \right)^{\frac{1}{3}} + 1} \quad (11)$$

gdzie:

- D – średnica zewnętrzna przewodu, mm  
 K – współczynnik wpływu usztywnienia,  
 $E_L$  – moduł sprężystości powłoki dla oddziaływań długotrwałych, E –

moduł sprężystości materiału powłoki dla oddziaływań krótkotrwałych, MPa

- $\nu$  – współczynnik Poissona [-],  
 N – współczynnik bezpieczeństwa. Można przyjąć  $N = 2,0$   
 C – odstępstwo od przekroju kołowego [-],  
 $P_w$  – ciśnienie hydrostatyczne od wody gruntowej, MPa  
 $P_v$  – podciśnienie w przewodzie, MPa

Dla rękawów spełniających wymagania typowe dla klasy B nie sprawdza się już warunku opisanego nierównościami (5).

### Wymiarowanie opasek stalowych

Ponieważ do tej pory nie opracowano oddzielnych wytycznych na potrzeby naprawy przewodów wodociągowych za pomocą opasek stalowych, dlatego dopuszcza się korzystanie z wytycznych amerykańskich [5] zwłaszcza z zaleceń zawartych w rozdziale pt. „Article 206 Full Encirclement Steel Reinforcing Sleeves for Piping”. Zgodnie z [5] opaskę typu A (opaska typu A nie jest przyspawana na obwodzie do rury macierzystej na obydwu jej końcach) należy stosować wyłącznie do naprawy przewodów z uszkodzeniami niebędącymi źródłem wycieku medium, przy czym jej grubość powinna być równa co najmniej dwóm trzecim grubości ścianki rury, z której go wykonano. Z kolei opaskę typu B (opaska typu B jest przyspawana na obwodzie do rury macierzystej na obydwu jej końcach) można już stosować do naprawy przewodu z uszkodzeniami będącymi źródłem wycieku medium, a jej grubość powinna być tak dobrana, aby mogła ona przenosić w całości naprężenia od ciśnienia wewnętrznego występującego w przewodzie oraz ewentualne obciążenia zewnętrzne na wypadek opróżnienia przewodu z wody (opaska typu B zapewnia wzmocnienie na obwodzie). Jeżeli natomiast opaska miałaby służyć do naprawy przewodu narażonego na cykliczne wahania ciśnienia, podczas których ciśnienie może przekroczyć o 20% wartość ciśnienia roboczego, to w takim przypadku należy przeprowadzić dodatkową analizę zmęczeniową zgodnie z zaleceniami podanymi w [5]. Co więcej, przy ustalaniu grubości dla opasek typu B należy koniecznie wziąć pod uwagę jakość podłużnego zgrzewu spawanego. Jeżeli zgrzew podlega kontroli i jest badany z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej to wówczas należy przyjąć współczynnik korekcyjny równy 1,0. W przeciwnym razie należy założyć współczynnik równy 0,8 wg [5].

Długość opasek typu A i B powinna wynosić przynajmniej 100 mm. Co więcej,

opaski powinny wystawać poza krawędzie ubytku na odległość równą przynajmniej 50 mm wg [5].

### Propozycja karty danych o uszkodzeniu stwierdzonym w przewodzie wodociągowym

Aby ułatwić dobór powłoki, rękawa, opaski lub uszczelnienia na potrzeby naprawy przewodu wodociągowego zaproponowano następującą kartę danych o uszkodzeniu, stwierdzonym w przewodzie

Przy każdym potwierdzonym uszkodzeniu przewodu należy wyraźnie określić, czy jest ono źródłem wycieku wody czy też nie. Nie jest przy tym wymagane ustalenie intensywności wycieku wody z przewodu. Jednocześnie za celowe uznaje się oszacowanie ryzyka propagacji danego typu uszkodzenia w czasie. Jest to szczególnie ważne w przypadku rękawów i opasek, których długość jest ściśle określona. Co więcej, znajomość takiego ryzyka może okazać się pomocna przy dopasowaniu charakteru naprawy (naprawa doraźna czy długoterminowa) do potrzeb rzeczywistych możliwości finansowych danego przedsiębiorstwa wod-kan. Aby ułatwić późniejszy dobór odpowiedniej technologii naprawy proponuje się stosowanie następujących form zapisu szczegółowego niektórych uszkodzeń:

- w przypadku potwierdzenia w nich korozji

$$\overline{K}_{\neq 1 \dots n} = [d_{\neq 1 \dots n}, h_{\neq 1 \dots n}] \quad (12)$$

lub

$$\overline{K}_{\neq 1 \dots n} = [C_{\neq 1 \dots n}, L_{\neq 1 \dots n}, h_{\neq 1 \dots n}] \quad (13)$$

gdzie:

- $\overline{K}_{\neq 1 \dots n}$  – dwuelementowy wektor, którego elementy opisują pojedynczy ubytek korozyjny stwierdzony w przewodzie wytypowanym do naprawy,  
 $\overline{K}_{\neq 1 \dots n}$  – trójelementowy wektor, którego elementy opisują bardziej złożone ubytki korozyjne,  
 $d_{\neq 1 \dots n}$  – średnica i – tego ubytku korozyjnego lub średnica i – tego koła, w które można wpisać obszar zajęty przez korozję, mm,  
 $h_{\neq 1 \dots n}$  – głębokość i – tego ubytku korozyjnego, mm  
 $C_{\neq 1 \dots n}$  – długość i – tego łuku, wyznaczającego zasięg korozji w przekroju poprzecznym rury o ile obszar korozji ma bardziej złożony kształt, mm

**Karta danych o uszkodzeniu występującym w przewodzie – opracowanie własne**

Dane ogólne dotyczące przewodu wodociągowego, w którym stwierdzono uszkodzenie		
Typ przewodu	<input type="checkbox"/> przewód magistralny <input type="checkbox"/> przewód rozdzielczy <input type="checkbox"/> przyłącznie wodociągowe	
Rok wbudowania	.....	
Lokalizacja	<input type="checkbox"/> ulica miejska <input type="checkbox"/> ulica osiedlowa <input type="checkbox"/> teren zielony lub chodnik <input type="checkbox"/> inne, jakie? .....	
Materiał rur	<input type="checkbox"/> żeliwo sferoidalne <input type="checkbox"/> żeliwo szare <input type="checkbox"/> stal ocynkowana <input type="checkbox"/> inny, jaki? .....	
Rodzaj złącza	<input type="checkbox"/> kielichowe <input type="checkbox"/> spawane <input type="checkbox"/> i inne, jakie? .....	
Dane szczegółowe dotyczące przewodu wodociągowego		
Parametr	Jednostka	Wartość
Średnica zewnętrzna przewodu, $d_a$	mm	.....
Średnica wewnętrzna przewodu, $d_i$	mm	.....
Pozostała grubość ścianki rury, $s$	mm	.....
Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze, MAOP	MPa	.....
Podciśnienie w przewodzie, $p_v$	MPa	.....
Nadciśnienie w przewodzie, $p$	MPa	.....
Zagłębienie przewodu, $h$	m	.....
Poziom wody gruntowej powyżej dna rury, $h_w$	m	.....
Rodzaj gruntu	-	.....
Podstawowe dane dotyczące uszkodzeń lub/i nieprawidłowości stwierdzonych w przewodzie		
Korozja zewnętrzna	<input type="checkbox"/> nie występuje <input type="checkbox"/> występuje <input type="checkbox"/> brak danych na ten temat <input type="checkbox"/> uszkodzenie wynikające z korozji jest źródłem wycieku wody <input type="checkbox"/> uszkodzenie wynikające z korozji nie jest źródłem wycieku wody	
Korozja wewnętrzna	<input type="checkbox"/> w ogóle nie występuje <input type="checkbox"/> ogólna i równomierna <input type="checkbox"/> ogólna i nierównomierna <input type="checkbox"/> szczelinowa <input type="checkbox"/> naprężeniowa <input type="checkbox"/> erozyjna <input type="checkbox"/> inna, jaka? ..... <input type="checkbox"/> uszkodzenie wynikające z korozji jest źródłem wycieku wody <input type="checkbox"/> uszkodzenie wynikające z korozji nie jest źródłem wycieku wody Szczegółowe dane o korozji, w tym o miejscu jej występowania .....	
Pęknięcie	<input type="checkbox"/> w ogóle nie występuje <input type="checkbox"/> występuje tylko w obrębie złącza <input type="checkbox"/> w rurze pomiędzy złączami <input type="checkbox"/> w obrębie złącza i w rurze jednocześnie <input type="checkbox"/> inne miejsce, jakie? ..... <input type="checkbox"/> pęknięcie jest źródłem wycieku wody <input type="checkbox"/> pęknięcie jest źródłem wycieku wody Rodzaj pęknięcia: ..... Szczegółowe dane o pęknięciu .....	
Wykruszenie	<input type="checkbox"/> w ogóle nie występuje <input type="checkbox"/> w obrębie złącza <input type="checkbox"/> w rurze na odcinku pomiędzy złączami <input type="checkbox"/> w obrębie złącza i w rurze jednocześnie <input type="checkbox"/> inne miejsce, jakie? ..... <input type="checkbox"/> wykruszenie jest źródłem wycieku wody <input type="checkbox"/> wykruszenie jest źródłem wycieku wody Szczegółowe dane o wykruszeniu .....	
Ubytek grubości ścianki rury	<input type="checkbox"/> nie występuje <input type="checkbox"/> występuje, jak duży? .....	
Wygięcie rur spowodowane np. nierównomiernym ich osiadaniami	<input type="checkbox"/> nie występuje <input type="checkbox"/> do 3° <input type="checkbox"/> do 4° <input type="checkbox"/> powyżej 4°	
Inne uszkodzenia lub/i nieprawidłowości	.....	

$l_{i=1...n}$  – długość i – tego odcinka przewodu, na którym stwierdzono występowanie korozji, mm lub m  
 Wzór (12) należy stosować tylko wówczas, gdy średnica ubytku korozyjnego,

ewentualnie obszaru zajętego przez korozję  $d$  nie przekracza 35 mm, ewentualnie 25% średnicy zewnętrznej przewodu  $D$  i to pod warunkiem, że spełniona jest zależność (4) zgodnie z [4]. Jeżeli natomiast

w przewodzie występowałyby ubytki korozyjne o bardziej złożonym kształcie i większym zasięgu (np. gdy  $l > 35$  mm lub  $l > 0,25 \cdot D$ ) to wówczas należałoby zastosować wzór (13). Ponieważ większość powłok i rękawów przewidzianych do naprawy obejmuje cały przekrój poprzeczny rury dlatego nie jest bezwzględnie wymagane podawanie wartości parametru  $C$ . Wyjątek stanowią jedynie profile, które instaluje się bezpośrednio nad ubytkiem i to po stronie zewnętrznej przewodu (rys. 4). W przypadku korozji powierzchniowej można przyjąć, że  $h \rightarrow 0$ .

Z uwagi na ograniczone możliwości niektórych powłok, rękawów lub opasek do przenoszenia naprężeń od ciśnienia wewnętrznego w miejscu stwierdzonej nieciągłości konstrukcji przewodu rekomenduje się wcześniejsze sprawdzenie, czy przypadkiem głębokość ubytku korozyjnego lub wykruszenia w ścianie rury nie przekracza odpowiednio 50% $t$  i 80% $t$ . W przypadku potwierdzenia punktowych uszkodzeń obejmujących więcej niż 80% $t$ , można rozważyć np. zastosowanie krótkich rękawów typu CIPP o grubości  $t_j$  policzonej ze wzoru (10). Jeżeli warunek opisany nierównością nie byłby spełniony to wówczas powłokę należałoby zaprojektować jako konstrukcyjną zgodnie z zaleceniami podanymi m.in. w [4, 17]. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie powłok rekonstrukcyjnych lub wymiana uszkodzonego odcinka przewodu na nowy.

– w przypadku potwierdzenia w nich wykruszenia konstrukcji – propozycja własna

$$\overline{W}_{i=1...n} = [d_{w,i=1...n}, h_{w,i=1...n}] \quad (14)$$

lub

$$\overline{W}_{i=1...n} = [C_{w,i=1...n}, l_{w,i=1...n}, h_{w,i=1...n}] \quad (15)$$

gdzie:

$\overline{W}_{i=1...n}$  – dwuelementowy wektor, którego elementy opisują pojedyncze wykruszenie stwierdzone w przewodzie wytypowanym do naprawy,

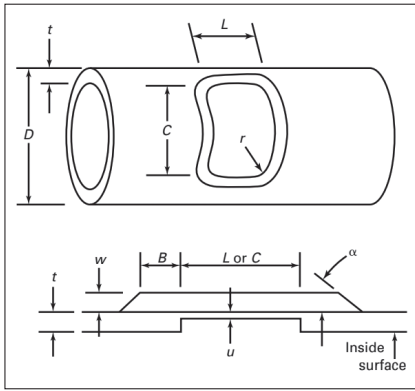
$\overline{W}_{i=1...n}$  – trójelementowy wektor, którego elementy opisują bardziej złożone wykruszenie,

$d_{w,i=1...n}$  – średnica i – tego wykruszenia, mm,

$h_{w,i=1...n}$  – głębokość i – tego wykruszenia, mm

$C_{w,i=1...n}$  – długość i – tego łuku, wyznaczącego zasięg wykruszenia w przekroju poprzecznym rury o ile obszar wykruszenia ma bardziej złożony kształt, mm





Rys. 4.

Możliwy sposób opisu ubytku korozyjnego lub wykruszenia w przewodzie ciśnieniowym oraz wymiary profilu do jego naprawy z zewnątrz wg [4]: D – średnica zewnętrzna przewodu, L – długość odcinka przewodu, na którym stwierdzono występowanie ubytku korozyjnego lub wykruszenia w jego ścianie, C – długość łuku, wyznaczającego zasięg ubytku korozyjnego w przekroju poprzecznym rury, t – grubość ścianki rury, u – pozostała grubość ścianki rury w miejscu występowania ubytku ( $h = t - u$ ),  $\alpha$  – kąt nachylenia krawędzi profilu do poziomu, w – wysokość profilu, B – margines bezpieczeństwa dla pozostałej grubości ścianki rury w miejscu występowania ubytku, taki że  $B = 3/4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot D \cdot t}$

Fig. 4. A possible method for describing a corrosion pit or spalling in a pressure pipe as well as dimensions of the profile for its external repair according to [4]: D – outside diameter of a pipeline, L – length of a pipeline, in which the above mentioned defects were detected, C – the arc length determining the extent of the corrosion pit in the pipe's cross-section, t – wall thickness of a pipe, u – the remaining wall thickness of the pipe at the location of the defect ( $h = t - u$ ),  $\alpha$  – the angle of inclination of the profile edge to the horizontal, w – the height of the profile, B – the safety margin for the remaining wall thickness of the pipe at the location of the defect expressed as  $B = 3/4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot D \cdot t}$

$L_{w,i=1...n}$  – długość odcinka przewodu, na którym stwierdzono wykruszenie, mm lub m

– w przypadku potwierdzenia w nich pęknięć podłużnych – propozycja własna

$$\overline{P_{p,i=1...n}} = [S_{pp,i=1...n}, L_{pp,i=1...n}, h_{pp,i=1...n}] \quad (16)$$

gdzie:

$\overline{P_{p,i=1...n}}$  – trójelementowy wektor, którego elementy opisują pojedyncze pęknięcia podłużne stwierdzone w przewodzie wytypowanym do naprawy,

$S_{pp,i=1...n}$  – rozwartość i – tego pęknięcia podłużnego zaobserwowanego w konstrukcji przewodu, mm

$L_{pp,i=1...n}$  – długość i – tego pęknięcia podłużnego zaobserwowanego w konstrukcji przewodu, mm

$h_{pp,i=1...n}$  – głębokość i – tego pęknięcia podłużnego zaobserwowanego w konstrukcji przewodu, mm.

Wzór (16) powinien być stosowany gł. w odniesieniu do pęknięć pojedynczych. Jeżeli natomiast w konstrukcji przewodu występowałyby kilka pęknięć obok siebie to wówczas należałoby określić granice obszaru, np. w formie prostokąta, w który następnie można byłoby wpisać wszystkie wykryte pęknięcia. Długości boków ww. prostokąta wynosiłyby wtedy X i Y, a parametr  $h_{pp,max}$  odpowiadałby wtedy maksymalnej głębokości pojedynczego pęknięcia w grupie (wzór 17). Pęknięcia mogą mieć szerokość mniejszą od 0,1 mm, większą od 0,1 mm, ale mniejszą od 0,5 mm oraz większą od 0,5 mm.

$$\overline{P_{p,i=1...n}} = [X_{pp,i=1...n}, Y_{pp,i=1...n}, h_{pp,i=1...n}] \quad (17)$$

– w przypadku potwierdzenia w nich pęknięć skośnych (rys. 5)

$$\overline{P_{s,i=1...n}} = [X_{s,i=1...n}, Y_{s,i=1...n}, h_{s,i=1...n}] \quad (18)$$

gdzie:

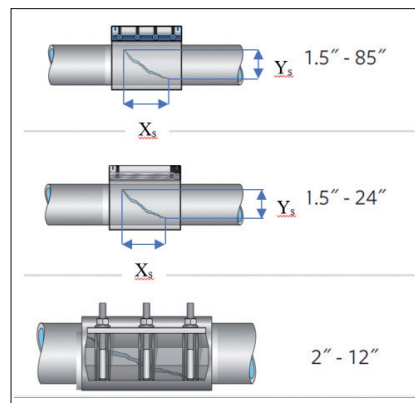
$\overline{P_{s,i=1...n}}$  – trójelementowy wektor, którego elementy opisują pojedyncze pęknięcia skośne stwierdzone w przewodzie wytypowanym do naprawy,

$X_{s,i=1...n}$  – długość i – tego prostokąta, w który można wpisać pęknięcie skośne, mm

$Y_{s,i=1...n}$  – szerokość i – tego prostokąta, w który można wpisać pęknięcie skośne, mm

$h_{s,i=1...n}$  – głębokość i – tego pęknięcia zaobserwowanego w konstrukcji przewodu, mm.

Oprócz pęknięć podłużnych i skośnych w przewodach wodociągowych mogą występować też pęknięcia obwodowe. Niestety nie wszystkie rozwiązania (np. niektóre opaski stalowe) nadają się do zastosowania w przewodach, w których je wykryto. Ograniczenie to wynika stąd, że część z nich nie jest po prostu przystosowana do przenoszenia obciążeń osiowych. W przypadku potwierdzenia takich pęknięć należy więc sprawdzić, czy dane rozwiązanie jest w stanie zapewnić wystarczające wzmocnienie przewodu na obwodzie.



Rys. 5.

Możliwy sposób opisu pęknięcia skośnego – przygotowano na podstawie katalogu Hymex [28]

Fig. 5. A possible method for describing an oblique crack – prepared based on the catalog Hymex [28]

Jeżeli w przewodzie na długości L wykryto więcej uszkodzeń i nieprawidłowości to w pierwszej kolejności należy określić dokładną ich liczbę oraz miejsce ich występowania, a następnie przygotować kartę dla każdego uszkodzenia oddzielnie. Należy również dokonać analizy ryzyka w związku z możliwością propagacji uszkodzenia w czasie. Podjęcie decyzji o naprawie powinno uwzględniać w tym przypadku czynniki ekonomiczne.

### Podsumowanie

Przeprowadzona we właściwym czasie naprawa przewodów ciśnieniowych, w tym również przewodów wodociągowych, może zapewnić dalszą bezpieczną ich eksploatację. Zastosowanie jednego z zaprezentowanych w niniejszym artykule rozwiązań niewątpliwie pozwala na osiągnięcie tego celu, ale pod warunkiem przeprowadzenia precyzyjnej analizy stanu technicznego ww. przewodów wraz z weryfikacją występujących w nich warunków eksploatacyjnych. Planując naprawę tego typu przewodów należy liczyć się z tym, że niektóre uszkodzenia mogą zmieniać się w czasie, co wymusi podjęcie określonych działań w przyszłości. Aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia poważniejszej awarii ww. przewodów wskazane jest monitorowanie ich stanu nawet po zainstalowaniu odpowiedniej powłoki, opaski lub rękawa.

Powłoki, rękawy lub opaski przeznaczone do naprawy przewodów ciśnieniowych, które opisano w niniejszym artykule, należy traktować przede wszystkim jako rozwiązania niekonstrukcyjne. Wynika to stąd, że większość z nich przystosowana jest do pracy pod ciśnieniem nie większym niż 1,0 MPa i nie może być stosowana w przewodach, w których np. ubytek grubości jego ścianki jest większy od 50% grubości nominalnej. Jeżeli uszkodzenia przewodu byłyby poważniejsze niż te, o których wspomniano w artykule, a warunki eksploatacyjne w przewodzie

uznano by za trudne to wówczas konieczne byłoby stosowanie innych metod ich wymiarowania.

#### LITERATURA:

- [1] ACI 546R-04: Concrete Repair Guide
- [2] Alexander Ch. R.: Development and testing of the armor plate pipeline repair system, Materials Science, Engineering, 1998
- [3] American Bureau of Shipping Guidelines: Requirements for bonded and composite repairs of steel structures and piping, November 2022
- [4] American Water Works Association: Structural Classifications of Pressure Pipe Linings
- [5] ASME PCC-2-2018: Repair of Pressure Equipment and Piping
- [6] ASTM A/240/A240M-22a: Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet and Strip for Pressure Vessels and for General Applications
- [7] ASTM D-695-15: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics
- [8] ASTM D-903-17: Standard Test Method for Peel or Stripping Strength of Adhesive Bonds
- [9] ASTM D-2584-18: Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
- [10] ASTM D-3039/D-3039M-08: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
- [11] ASTM D-3568-17: Standard Test Methods for Rubber—Evaluation of EPDM (Ethylene Propylene Diene Terpolymers) Including Mixtures With Oil
- [12] ASTM D-3574-17: Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials—Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams
- [13] ASTM D-3900-21: Standard Test Methods for Rubber – Determination of Ethylene Units in Ethylene-Propylene Copolymers (EPM) and in Ethylene-Propylene-Diene Terpolymers (EPDM) by Infrared Spectrometry
- [14] CSA Z662:23 Oil and gas pipeline system standards
- [15] Denowh Ch., Alexander Ch.: ASME PCC-2 & ISO 24817 Certification Document Armor Plate 360 ZED Repair System, Prepared for: Armor Plate, Inc. Houston, Texas, 17 January 2017
- [16] Doherty, I., Downey, D., Macey, C., Rahaim, K., and Sarrami, K.: NASTT's Cured-In-Place Pipe (CIPP) Good Practices Guidelines, 2017.
- [17] Kuliczowska E., Zagniński T.: Wykrywanie nieszczelności przewodów wodociągowych z zastosowaniem piteczki diagnostycznej, Instal, 2010, Zeszyt 10, s. 54-56,
- [18] Kutylowska M., Cieżak W. 2023.: Sztuczna sieć neuronowa jako narzędzie wspomagające w analizie awaryjności przewodów wodociągowych. Instal, 2023, Zeszyt 3: 41-45, DOI: 10.36119/15.2023.3.7.
- [19] Kutylowska M., Cieżak W.: Dwie metody sztucznej inteligencji do klasyfikacji rodzajów uszkodzeń przewodów wodociągowych, Instal, 2024, Zeszyt 2, s. 44-48, DOI: 10.36119/15.2024.2.5
- [20] Parka A.: Zmiany w projektowaniu powłok stosowanych w bezwykopowej odnowie przewodów infrastruktury podziemnej z zastosowaniem wytycznych amerykańskich i pokrewnych, Instal, 2022, Zeszyt 11, s. 55-63, DOI 10.36119/15.2022.11.4
- [21] PN – EN ISO 24817: 2017-10: Przemysł naftowy, petrochemiczny i gazowniczy – Naprawy rurociągów materiałami kompozytowymi – Kwalifikacja oraz projektowanie, instalowanie, badanie i kontrola
- [22] Selvakumar A., Morrison R., Sangster T., Downey D.B., Matthews J.C., Condit W.: State of Technology for Rehabilitation of Water Distribution Systems, Technical Report, March 2013
- [23] WEKO-SEAL® – Recommended installation procedures for water and waste-water piping, MILLER PIPELINE, Revised 06/05/17
- [24] www.amex-sanivar.com/amex-seals
- [25] www.avantigrout.com
- [26] www.cs-nri.com/product/clock-spring-composite-repair-sleeve/
- [27] www.cs-nri.com/wp-content/uploads/2022/11/Fyfe-FRP-Tyfo-FRP-Systems-Digital-Brochure-06.14.2022small.pdf
- [28] www.hymexusa.com/
- [29] https://www.instron.com/pl-pl/testing-solutions/astm-standards/the-definitive-guide-to-as-tm-d3574
- [30] https://linkpipe.com
- [31] https://linkpipe.com/files/technical-library/water-mains-502933.pdf
- [32] https://quakewrap.com/brochures.php
- [33] https://quakewrap.com/product\_data\_sheets/TU27C.pdf
- [34] https://www.knowde.com/stores/quakewrap
- [35] https://www.s1eonline.com/pipepatch
- [36] https://wekoseal.com