

## RURY WIELOWARSTWOWE DLA SYSTEMÓW INFRASTRUKTURALNYCH

W ciągu kilku ostatnich lat wielu producentów rur w Europie rozszerzyło swoją ofertę produktów o rury wielowarstwowe. Początkowo ich celem było przede wszystkim przygotowanie produktu przeznaczonego dla coraz popularniejszych technologii bezwykopowej budowy rurociągów, jak również systemów upraszczających zgrzewanie na placu budowy, a w szczególności zgrzewania elektrooporowego. Standaryzacja powoli eliminuje różnice pomiędzy podstawowymi normami przyjmowanymi w przypadku sieci gazowych i wodociągowych a odpowiednimi definicjami, jednak rynek sam kształtuje własne potrzeby. Równolegle z nowymi typami rur, dostawcy surowców opracowali również nowe materiały zapewniające wyjątkową odporność na powolny wzrost pęknięć (SCG) oraz szybką propagację pęknięć (RCP). Aby umożliwić prawidłowe zastosowanie najnowszych materiałów (przede wszystkim hexenowych kopolimerów PE100) oraz zapewnić optymalne parametry rur, szczegółowe opracowanie projektu takich rozwiązań stało się niezwykle istotne. Należało odpowiedzieć na pytanie, który typ rury wielowarstwowej należy zastosować, jaką strukturę powinna mieć taka rura oraz jakie połączenie warstw sprawdza się w określonym przypadku najlepiej. Nieprawidłowy dobór materiałów w takich przypadkach może mieć negatywny wpływ na parametry rury.

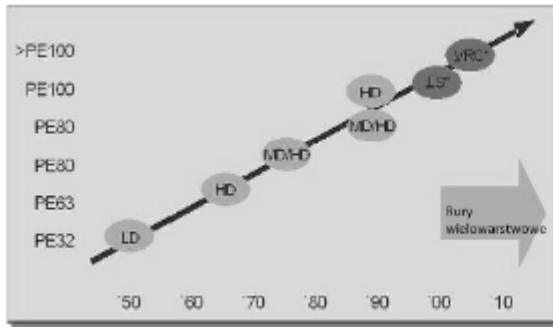
Niniejszy dokument omawia różne rozwiązania, które zostały opracowane przy użyciu najnowocześniejszych surowców.

### WPROWADZENIE

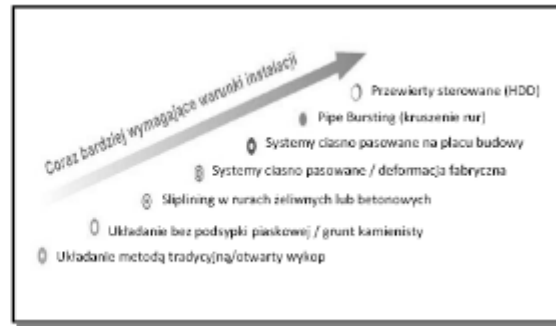
Rury z polietylenu (PE) są obecnie wykorzystywane na całym świecie do budowy wodociągów i gazociągów, przyczyniając się do znacznego wzrostu niezawodności i jakości tworzonych sieci. Pierwsze rurociągi z polietylenu zostały zbudowane prawie 50 lat temu. Od tego czasu stosowany jest on z dużym powodzeniem, stając się preferowanym materiałem używanym w tego typu projektach. Prosta instalacja, niskie koszty utrzymania oraz bardzo wysoka odporność na korozję to tylko niektóre z zalet, które pomogły w rynkowym sukcesie. Równie ważny jest pozytywny odbiór polietylenu w branży oraz ciągła ewolucja technologii produkcji rur o podwyższonej jakości i wytrzymałości, stosowanych w rurociągach wysokociśnieniowych.

Materiały bimodalne – w szczególności PE100 – zastąpiły pierwszą generację materiałów unimodalnych PE63 i PE80. Od początku lat dziewięćdziesiątych materiały PEHD są coraz częściej wykorzystywane w systemach ciśnieniowych. Materiały te były rzeczywiście dużym skokiem naprzód w dziedzinie materiałów PEHD, ponieważ umożliwiały zastosowanie wyższego ciśnienia roboczego lub rur o cieńszej ścianie przy tym samym ciśnieniu roboczym. Jednocześnie rozwiązania te oferowały użytkownikom końcowym inne korzyści, takie jak wysoka odporność na powolny wzrost pęknięć oraz szybką propagację pęknięć. Na początku nowego stulecia zastosowanie rur PE o większej średnicy doprowadziło do opracowania materiałów PE100 o obniżonej spływalności (podczas wytłaczania rur gorący materiał z wewnętrznej powierzchni rury spływa w dół przyczyniając się do niejednorodności grubości ścianki rury na jej obwodzie), które rozwiązały problem niejednorodnej grubości ścian w przypadku tych grubościennych rur. Rozwiązanie to jeszcze bardziej zwiększyło udział nowoczesnych materiałów w rynku w stosunku do materiałów rurowych starszych generacji. (Rys. 1) Rury produkowane z nowoczesnych materiałów spełniają wszystkie wymagania standardowej technologii budowy rurociągów w otwartym wykopie oraz technologii bezwykopowych, takich jak sliplining, jednak wprowadzenie nowych metod instalacji wymaga uwzględnienia specjalnych warunków, uzależnionych od konkretnej metody. (Rys. 2)

Najnowsze rozwiązania w dziedzinie materiałów PE do tych zastosowań, noszące nazwę PE100-RC lub VRC (Very Resistant to Crack – bardzo odporny na pęknięcia) uwzględniają te wymagania.[1]



Rys. 1: Rozwój materiałów PE do produkcji rur



Rys.2 Coraz bardziej wymagające warunki instalacji

Połączenie materiałów PE100 nowej generacji z systemami rur wielowarstwowych rozwiązuje wiele praktycznych problemów i gwarantuje bezpieczny montaż i wykonywanie połączeń przy minimalnych kosztach dodatkowych. Zastosowanie najlepszych materiałów spełniających określone warunki wytrzymałościowe zapewnia trwałość i niezawodność na długie lata.

## **NOWE I CORAZ BARDZIEJ WYMAGAJĄCE WARUNKI INSTALACJI WYMUSZAJĄ ZASTOSOWANIE RUR NOWEJ GENERACJI**

Większość nowoczesnych technik budowy rurociągów została opracowana w celu skrócenia czasu i obniżenia kosztów instalacji. Pozwalają one również zminimalizować utrudnienia w ruchu w miejscu budowy, co ma ogromne znaczenie w przypadku obszarów miejskich i jest jednocześnie dużą zaletą. Nowe metody budowy uprościły pracę, ale mogą również narażać rury na zwiększone naprężenia, spowodowane zarysowaniami zewnętrznej powierzchni oraz większymi obciążeniami punktowymi na powierzchni wewnętrznej. Rysunek 2 przedstawia rosnące wymagania wobec nowoczesnych rur.

Generalnie nowoczesne metody instalacji można podzielić na dwie grupy: technologie bezwykopowe i wąskowykopowe oraz budowę bez podsypki i obsypki piaskowej. Zastosowanie obu typów technik obniża koszty instalacji o maksymalnie 60% w porównaniu do metod tradycyjnych [2]. Natomiast polietylen, dzięki swoim wyjątkowym właściwościom, jest optymalnym materiałem, który można zastosować w tego typu projektach. W wielu przypadkach nie ma możliwości zbadania stanu zewnętrznej ściany rury po zakończeniu instalacji, dlatego często instalacje te określane są mianem „czarnej skrzynki”. W takich przypadkach wymagane są specjalne rury – wielowarstwowe – charakteryzujące się unikalnymi właściwościami.

### **Technologie bezwykopowe i metody wąskowykopowe**

Typowymi technologiami są: kruszenie rur, przewierty sterowane, relining oraz metoda płuzenia (Rys. 3). Przedstawiciele tej branży założyli międzynarodowe stowarzyszenie „International Society for Trenchless Technologies” (ISTT) [4], które popularyzuje i wspiera te technologie. Rury instalowane przy użyciu metod bezwykopowych muszą być odporne na skutki nacięć i zarysowań powodowanych przez ostre elementy znajdujące się w gruncie.

### ***Budowa rurociągu bez zastosowania podsypki i obsypki piaskowej***

Jak wskazuje na to nazwa, budowa rurociągu bez zastosowania piasku polega na wykorzystaniu rodzimego materiału gruntowego w celu wypełnienia wykopu po zainstalowaniu rurociągu. (Rys. 4) Taka technika pozwala wyeliminować koszty dowiezienia materiału do wypełnienia wykopu oraz

koszty wywozu wydobytego gruntu. Łączne koszty budowy można w ten sposób obniżyć nawet o 50%, jednak, w zależności od typu gruntu, rury mogą być narażone na większe obciążenia.

W celu weryfikacji przydatności rur PE w technologii budowy bez zastosowania podsypki i obsypki piaskowej producenci rur z Niemiec przeprowadzili szczegółowe badania. Wyniki badań dowiodły, że uwzględnienie parametrów materiałów i rur PE jest niezbędne do zapewnienia oczekiwanej trwałości rurociągu. [5] Odporność na powolny wzrost pęknięć została uznana za podstawowe kryterium. W przypadku budowy bez zastosowania obsypki piaskowej, rury powinny charakteryzować się wyższą odpornością na powolny wzrost pęknięć, dzięki czemu mogą wytrzymać większe obciążenia punktowe, na przykład w przypadku nacisków na rurę przez skały lub kamienie. Obecnie najpopularniejszą metodą testową pozwalającą zbadać tę odporność jest test obciążenia punktowego (Point Load Test – PLT). [5]



Rys.3: Płużenie rur



Rys.4: Budowa bez zastosowania piasku

## **RURY WIELOWARSTWOWE ZASPOKAJAJĄ NOWE POTRZEBY RYNKOWE**

W Europie producenci rur PE opracowali wiele typów rur wielowarstwowych, które spełniają wymagania nowych metod instalacji i wykorzystują wyjątkowo wytrzymałe materiały PE100 (PE100-RC). Spowodowało to dynamiczny rozwój rynku rur do zastosowań specjalnych i wzrost ich popularności w całej Europie. Obecnie od 80% do 90% nowych wodociągów i gazociągów budowanych jest przy zastosowaniu rur wielowarstwowych.

### ***Definicja rur wielowarstwowych***

Rury wielowarstwowe składają się, co najmniej z dwóch lub większej liczby warstw materiałów termoplastycznych. Ze względu na strukturę rury można podzielić na wielowarstwowe produkowane w procesie współwytłaczania z warstwami połączonymi molekularnie i wielowarstwowe, w których warstwy przylegają do siebie, ale nie są ze sobą związane molekularnie i są zdzieralne. (Definicja według normy ISO 4427/4437). Te oddzielne warstwy mogą pomagać w przenoszeniu obciążeń lub pełnić rolę dodatkowej warstwy.

### ***Inspiracja dla nowatorskich rozwiązań w dziedzinie rur wielowarstwowych***

Rury wielowarstwowe umożliwiają producentom rur wyróżnienie ich oferty produktów na tle konkurencji oraz oferowanie gotowych rozwiązań użytkownikom końcowym. Dzięki dostępności wytrzymałych i odpornych na pęknięcia materiałów, producenci mogą opracowywać najbardziej efektywne rozwiązania.

W przypadku użytkowników końcowych rury wielowarstwowe pozwalają znacznie obniżyć koszty instalacji, zapewniając jednocześnie wysoką wytrzymałość i trwałość.

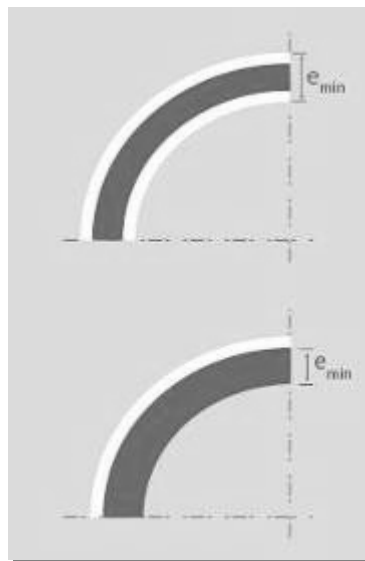
Rozpoczęto już pierwsze prace mające na celu opracowanie specyfikacji, jednak nadal naukowcy mają bardzo dużo do zrobienia w dziedzinie badań rur wielowarstwowych. Trwają prace nad międzynarodowymi standardami i wytycznymi, które zwiększą pewność użytkowników końcowych oraz osób opracowujących specyfikacje związaną z jakością rur.

### **Rury wielowarstwowe do zastosowań specjalnych**

Opracowano kilka typów rur wielowarstwowych, które spełniają potrzeby różnych branż i charakteryzują się różnymi właściwościami. Rury te można podzielić na dwie kategorie. (Rys. 5)

- Rury PE ze zintegrowanymi warstwami funkcjonalnymi to: rury PE z współwytłoczoną czarną lub barwioną warstwą o tym samym współczynniku MRS (minimalnej wymaganej wytrzymałości) na zewnątrz i/lub wewnątrz rury (np. najczęściej 2-3 warstwy z PE100-RC lub PEX).
- Rury PE ze zdzieralnymi warstwami ochronnymi to: rury PE z niepołączonymi, sąsiadującymi, termoplastycznymi warstwami dodatkowymi na zewnątrz rury (rury powlekane) (np. PP).

Oba typy rur spełniają wymagania uaktualnionej normy ISO 4437 i ISO 4427.[6] i [7]



Rys. 5: Typowa struktura rury

W przypadku pierwszej grupy zintegrowana warstwa PE100-RC wewnątrz rury bardzo skutecznie zwiększa odporność na obciążenia punktowe, natomiast ten sam materiał zastosowany na zewnątrz rury często określany jest mianem zintegrowanej warstwy ochronnej, zapobiegającej wgnieceniom i zadrapaniom związanym z procesem instalacji.

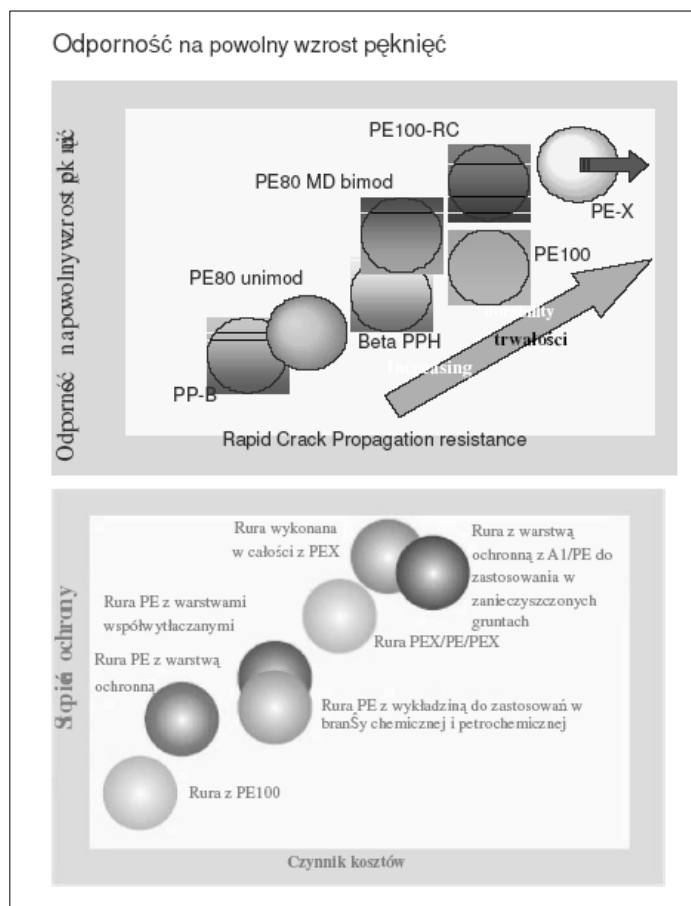
W przypadku drugiej grupy najczęściej stosowana jest cienka warstwa PP, która chroni rurę przed uszkodzeniami zewnętrznymi. Warstwę tę można w prosty sposób zderzeć, aby uzyskać czystą powierzchnię, niezbędną w przypadku zgrzewania elektrooporowego. W pozostałych przypadkach grubsze warstwy PP zapewniają wyższy poziom ochrony w warunkach utrudnionej instalacji lub w przypadku wiercenia kierunkowego.

Poza tym niektóre typy rur wielowarstwowych oferują dodatkowe własności i cechy, takie jak:

- możliwość wykrywania,
- szczelność,
- warstwy odporne na przenikanie,
- możliwość monitorowania przecieków,
- wyższa odporność na ciśnienie dzięki wzmocnieniu włóknami [8],
- identyfikacja poprzez zastosowanie różnokolorowych warstw,
- obojętność pod względem chemicznym.

### Wybór odpowiednich materiałów

Struktura rur wielowarstwowych musi spełniać wymogi techniczne oraz zaspokajać potrzeby użytkowników końcowych. W porównaniu do rozwiązań stosowanych wcześniej, wybór odpowiednich materiałów i zastosowanie ich w odpowiedni sposób wymaga coraz bardziej specjalistycznej wiedzy. Jest to jednak klucz do sukcesu. Diagramy na rysunku 6 przedstawiają różne możliwości, które są dostępne dzięki zastosowaniu nowoczesnych tworzyw, oraz koszty i kompatybilność materiałów.



Rys. 6: Orientacyjny stosunek kosztów do parametrów w przypadku różnych typów rur wielowarstwowych

Opracowanie struktury rury wielowarstwowej wymaga skupienia się na szeregu czynników, które mogą wpływać na parametry i trwałość rurociągu. W pierwszej kolejności należy spełnić wymagania podstawowe związane z normami dotyczącymi wody pitnej, transportu paliw gazowych lub odprowadzania ścieków, takimi jak EN 12201, EN 1555 lub EN 13244.

Dla warstw o wysokiej odporności na pęknięcia opracowywane są dodatkowe wymagania testowe. Wymagania te obejmują szereg nowoczesnych metod testowych, które zostały opracowane w celu

określenia odporności materiału na powolny wzrost pęknięć w przypadku wystąpienia nacięć (zarysowań) lub obciążeń punktowych. [2] Tego typu rury PE100-RC charakteryzują się odpornością >18.000 godzin, która potwierdzona jest przeprowadzonymi badaniami. To ponad 100 razy więcej, niż obecnie obowiązujący wymóg normy EN.

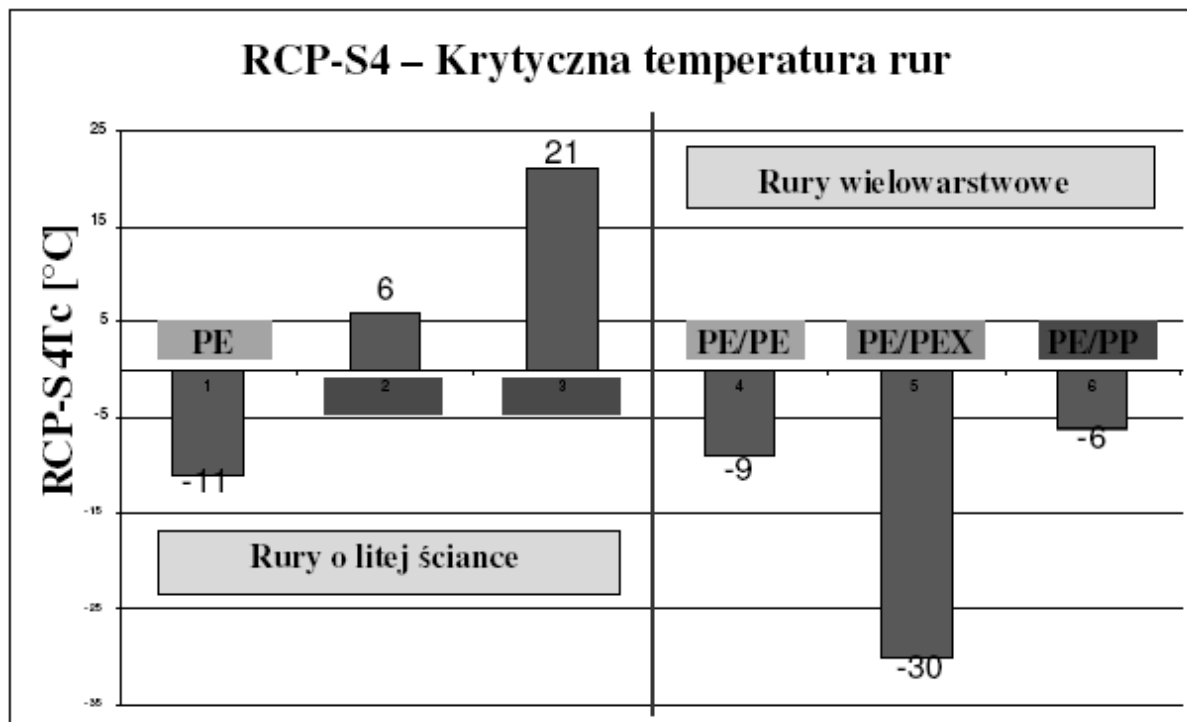
Inne właściwości, które muszą być brane pod uwagę w innych aplikacjach, to:

- udarność (wytrzymałość na uderzenia),
- odporność na zarysowania,
- zgrzewalność,
- odporność na rozwarstwianie,
- podatność na zdzieranie warstw ochronnych

### **Udarność rur wielowarstwowych**

Na udarność rur wielowarstwowych PE100 nie ma wpływu struktura rury. Dotyczy to zarówno wytrzymałości na uderzenia, jak i ściskanie. Jednakże, w niektórych przypadkach zastosowanie ochronnej warstwy PP może mieć wpływ na odporność rury wielowarstwowej. W związku z tym należy pamiętać, aby wybrać materiał PP, który sam charakteryzuje się wysoką odpornością na uderzenia. Co więcej, można zoptymalizować proces współwytłaczania, aby uzyskać odpowiedni stopień przylegania, który nie powinien być zbyt niski (ryzyko wystąpienia rozwarstwienia i pofałdowania powierzchni), ani zbyt wysoki, ponieważ może to obniżyć odporność na uderzenia. Wpływ połączenia 2 warstw na odporność rury na uderzenia można zweryfikować, przeprowadzając test spadającego ciężarka, zgodnie z normą EN 1411. [9]

Materiał PEX dzięki wyjątkowej udarności może podnieść odporność rury kompozytowej znacznie powyżej parametrów rury PE100. Na rysunku 7 wyniki testów przeprowadzonych na różnych rurach jednowarstwowych porównane zostały z wynikami testów na rurach wielowarstwowych.

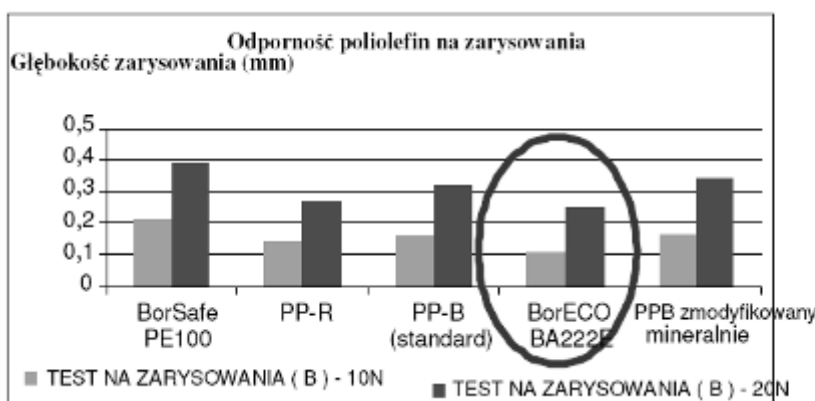


Rys. 7: Test RCP-S na różnych typach rur

## Odporność na zarysowania

W przeszłości obowiązywała zasada, że głębokość zarysowania równa 10% grubości ściany rury ( $e_{min}$ ) jest wartością akceptowalną. W przypadku wystąpienia głębszych uszkodzeń powierzchni uszkodzony odcinek rury należy wyciąć. Innym rozwiązaniem jest zastosowanie zewnętrznej warstwy materiału bardzo odpornego na pęknięcia, który może wytrzymać znacznie głębsze zarysowania, można również użyć dodatkowej, zewnętrznej warstwy ochronnej PP. Celem tych warstw jest ochrona głównej części ścianki rury PE przed uszkodzeniami związanymi z procesem instalacji (na przykład spowodowanymi przez metalowe odłamki powstające przy wymianie rurociągu metodą kruszenia rur). Dzięki większej twardości i odporności na wgniecenia warstwa ta działa jak twarda skorupa, która niweluje naprężenia zagrażające rurociągowi.

Wyniki testów przeprowadzonych na różnych typach PP dowodzą, że PP-HM (polipropylen o podwyższonej odporności) charakteryzował się najwyższą odpornością na zarysowania mechaniczne w porównaniu do PE-HD, PP-R a nawet mineralnie zmodyfikowanego PP-B. Rys. 8



Rys. 8 Odporność różnych poliolefin na zarysowania



Rys. 9: Electrical Cross Hatch Cutter

W opisywanym teście Erichsena na zadrapania (przy użyciu ostrego klina), który zazwyczaj przeprowadzany jest w branży motoryzacyjnej, zarysowywane są płytki wykonane z różnych polimerów, a następnie mierzona jest głębokość zarysowań za pomocą mikroskopu.

## Zgrzewanie rur wielowarstwowych

W przypadku tych zaawansowanych produktów należy zawsze sprawdzić wytrzymałość zgrzewu oraz czy zgrzew nadaje się do konkretnego zastosowania. Liczne próby przeprowadzone przez przedstawicieli branży dały pozytywne rezultaty, jednak w poszczególnych przypadkach należy sprawdzić wytrzymałość zgrzewów.

### Zgrzewanie rur wielowarstwowych z zewnętrzną warstwą ochronną PP

- w przypadku zgrzewania elektrooporowego przed rozpoczęciem zgrzewania zawsze należy usunąć warstwę ochronną,
- w niektórych przypadkach można zastosować zgrzewanie doczołowe, bez odcinania warstwy ochronnej, jednak taka metoda powinna być zweryfikowana przez dostawcę.

Zgrzewanie wielowarstwowych rur ze zintegrowaną warstwą funkcjonalną (połączenie PE lub PEX PE100)

- połączenia PE mogą być zgrzewane tradycyjnie, bez żadnych ograniczeń,
- możliwość zgrzewania rur PEX musi być potwierdzona przez producenta

## RURY WIELOWARSTWOWE DOSTĘPNE NA RYNKU

Na rynku dostępnych jest wiele różnych typów rur wielowarstwowych. Tabela widoczna poniżej przedstawia najpopularniejsze rozwiązania.

Tabela 1: Najczęściej używane typy rur wielowarstwowych

	Liczba warstw	Materiał	Położenie warstwy	Grubość	Właściwości
Rury PE z warstwami współwytłaczanymi	2-3	PE100-RC	Wewnątrz	$\geq 2,5\text{mm}$	Wysoka wytrzymałość na obciążenie punktowe
	2	PE100-RC	Na zewnątrz	$\sim 10\% e_{\text{min}}$	Wyższa wytrzymałość na pękanie naprężeniowe
Rury PE z warstwami współwytłaczanymi lub warstwą dodatkową	2	PE-Xb	Wewnątrz	$\sim 10-15\% e_{\text{min}}$	Wyższa wytrzymałość na obciążenie punktowe
Rury PE z warstwą zdzieralną lub ochronną	2	PP lub PP-MD	Na zewnątrz	$\sim 1,5-3\text{mm}$	Warstwa ochronna, zabezpieczenie przed zarysowaniem, brak podwinięcia
	2	PP	Na zewnątrz	$0,6-1,5\text{mm}$	Łatwo zdzieralna warstwa umożliwiająca zgrzewanie elektrooporowe, ochrona przed oksydacją, zabrudzeniami i uszkodzeniami
	2	Spienione PP	Na zewnątrz	$\sim 5\text{mm}$	Warstwa ochronna

## PYTANIA I WYZWANIA NA PRZYSZŁOŚĆ

Rury wielowarstwowe pozwoliły rozwiązać wiele problemów użytkowników końcowych. Jednakże, doświadczenia zebrane przez przedstawicieli branży dowodzą, że w przyszłości trzeba będzie stawić czoła wielu wyzwaniom. Dlatego też warto zastanowić się nad bogactwem zastosowań i trwałością tych rozwiązań w znacznie szerszym kontekście.



## **OMAWIANE WYZWANIA OBEJMUJĄ:**

### ***Normy***

Aktualnie istnieje zaledwie kilka norm i specyfikacji. Opracowanie przejrzystych norm i specyfikacji zapewniających powtarzalność parametrów i właściwości rur ma ogromne znaczenie dla zwiększenia zainteresowania użytkowników końcowych tym rozwiązaniem i uniknięcia wielu nieporozumień.

### ***Systemy oznaczeń i informacje o producencie***

Biorąc pod uwagę bogactwo rozwiązań, odpowiedni i spójny system oznaczeń jest istotnym czynnikiem, który zapewni bezpieczeństwo i bezproblemową eksploatację tego typu rurociągów. Takie systemy oznaczeń zostały opracowane dla jednowarstwowych rur PE. Dzięki nim nawet po wielu latach eksploatacji można zidentyfikować producenta i zastosowany materiał. Ale, w jaki sposób należy oznaczać rury wielowarstwowe, tak by w prosty i zrozumiały sposób można było zidentyfikować wszystkie zastosowane materiały?

### ***Konserwacja i naprawy***

Poza możliwością identyfikacji producenta, system oznaczeń rur ma również ogromne znaczenie z perspektywy prac instalacyjnych, konserwacyjnych i naprawczych. System taki gwarantuje, że w przypadku konieczności wykonania naprawy zainstalowanego rurociągu zastosowane zostaną odpowiednie materiały!

### ***Recykling i powtórne przetwarzanie materiałów własnych u producenta***

Doskonale wiadomo, że materiały termoplastyczne można poddawać recyklingowi lub w ograniczonym zakresie przetworzone już materiały mogą być surowcem w nowym procesie produkcji rur. W przypadku rur wielowarstwowych obróbka materiałów w procesie recyklingu będzie trudniejsza. Do jakiego stopnia i w jakich przypadkach będzie można ponownie wykorzystać przetworzony surowiec?

## **WNIOSKI**

Rury wielowarstwowe zaspokajają określone potrzeby rynkowe, gwarantując jednocześnie parametry i trwałość, jakich można oczekiwać od wysokiej jakości rurociągu. Zalety te są ważne z punktu widzenia użytkownika końcowego. Jednocześnie producenci rur mogą wyróżnić ofertę swoich produktów na tle konkurencji.

- Duża liczba wielowarstwowych rur PE dostępnych na rynku zaspokaja różne potrzeby.
- Przed opracowaniem nowej rury wielowarstwowej przede wszystkim należy zidentyfikować konkretne wymagania klientów/rynku oraz dodatkową wartość oferowaną przez produkt.
- Należy precyzyjnie wybrać odpowiednie połączenie materiałów w oparciu o dostępne dane. Nowa rura wielowarstwowa powinna być również dokładnie zbadana.
- Opracowanie nowych norm i standardów przyczyni się do większej akceptacji rur wielowarstwowych wśród klientów i wzrostu ich zaufania do tego typu rozwiązań.
- Rury wielowarstwowe mogą charakteryzować się wieloma specjalnymi cechami, które pozwolą jeszcze bardziej zróżnicować ofertę produktów i zaspokajać dodatkowe wymagania (na przykład nieprzepuszczalne rury do zastosowań w zanieczyszczonej glebie, systemy monitorowania przecieków, specjalny poziom odporności chemicznej, itp).

## BIBLIOGRAFIA:

- [1] J.McGoldrick, „Spezielle PE100 Rohrwerkstoffe mit hoher Qualität und langer Nutzungsdauer zur Lösung von praktischen Anwenderproblemen“, Wiesbadener Rohrtage 2007
- [2] G.Kania, „Development of a New High Performance PE pressure pipe system, from design phase to reality“ (Budowa nowego rurociągu ciśnieniowego PE o wysokich parametrach pracy. Od projektu do realizacji), No-Dig Rome 2007
- [3] P.Steinhauser, „Wirtschaftlichkeit bei grabenlosen Bauverfahren für Druckrohrleitungen“, Wiesbadener Rohrtage 2007
- [4] ISTT – International Society for Trenchless Technologies (Międzynarodowe Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych), [www.istt.com](http://www.istt.com)
- [5] J.Hessel, „Minimum service life of buried PE pipes without sand-embedding“ (Minimalny okres eksploatacji rurociągów PE budowanych bez użycia piachu), 3R-International 40 (2001), strony 4-12
- [6] ISO 4427-2 (08-2007), „Plastics Piping Systems – Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply – Part 2: Pipes“ (Rury i złączki polietylenowe (PE) do budowy wodociągów – Część 2: Rury), Załącznik A „Layered Pipes“ (Rury warstwowe)
- [7] ISO 4437 (07-2007), „Buried Polyethylene (PE) pipes for the supply of gaseous fuels – Metric series - Specification“ (Podziemne rurociągi polietylenowe (PE) do przesyłu paliw gazowych – Parametry – Specyfikacja), Załącznik C „Pipes with co-extruded layers“ (Rury z warstwami wyciskanymi współbieżnie) oraz Załącznik D „Pipes with peelable layers“ (Rury ze zdzieralnymi warstwami)
- [8] T.Späth, „Multilayer pipes with integrated leakage monitoring for trenchless technologies“ (Wielowarstwowe rury ze zintegrowanym systemem monitorowania wycieków do zastosowań w technologiach bezwykopowych), PPXIII 2006
- [9] S.Wood et al., „Second Generation Skinned Pipes with Enhanced Fracture Resistance“ (Rury drugiej generacji ze zdzieralną warstwą ochronną o zwiększonej odporności na pęknięcie), PPXIII 2006