

WYMAGANIA MATERIAŁOWE DLA TECHNOLOGII BEZWYKOPOWYCH

STRESZCZENIE

Od czasu wprowadzenia polietylenu w roku 1954, jest on stosowany do produkcji rur ciśnieniowych z niesłabnącym powodzeniem. Wprowadzane coraz to nowe techniki pociągają za sobą nowe wymagania w zakresie rur i surowców. Najbardziej krytycznym momentem w trakcie kolejnych zmian na lepsze – zarówno w przeszłości jak i obecnie – jest dobranie odpowiednich badań, które w sposób jasny i niepodważalny potwierdzą, że nowy materiał jest odpowiednim tworzywem do produkcji rur. To samo odnosi się do nowych technik instalacyjnych. Mimo, że już od jakiegoś czasu również w tej dziedzinie obserwuje się coraz to nowe innowacyjne rozwiązania, a surowce i rury nowej generacji były już wcześniej prezentowane na rynku, brakowało jasnej opinii na temat wymogów, jakie musi spełniać surowiec i rurociąg, w celu potwierdzenia przydatności dla danego zastosowania w najbardziej krytycznych warunkach. W niniejszej pracy chcieliśmy pokazać, że wreszcie udało się osiągnąć pewien konsensus co do odpowiednich metod badawczych. Wykazaliśmy również, że dostępne są surowce, które spełniają lub przekraczają wymagania narzucone przez najnowsze rozwiązania techniczne.

WSTĘP

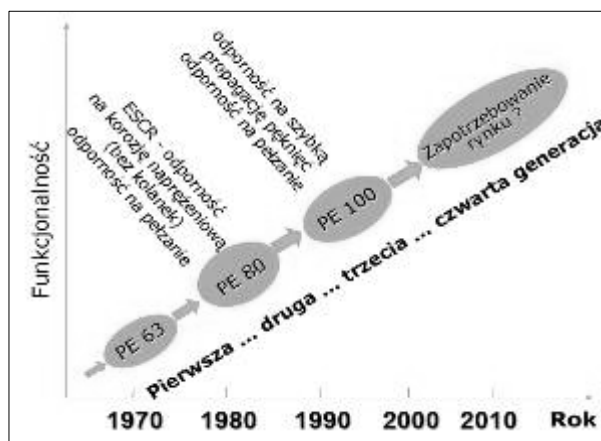
Od czasu wprowadzenia polietylenu (PE) w roku 1954, wykonane z niego systemy rur ciśnieniowych cieszą się niesłabnącym powodzeniem. Nieustanne ulepszenia i innowacje wprowadzane przez producentów materiałów i rur sprawiły, że znacznie poprawiła się niezawodność i jakość rurociągów. Dlatego obecnie PE stał się jednym z preferowanych materiałów wykorzystywanych do budowy sieci wodociągowych i gazowych.

Źródło tego powodzenia leży w możliwościach i właściwościach technicznych, takich jak łatwość montażu, możliwość zwijania, połączenia zgrzewane, brak korozji i nieszczelności, niskie koszty utrzymania, długi czas eksploatacji, itp.

HISTORIA SUKCESU PE

Po stworzeniu polietylenów o wysokiej gęstości HDPE, takich jak PE63, a następnie PE80, w roku 1989 firma INEOS Polyolefins (należąca wcześniej do Solvay) opracowała i wprowadziła na rynek pierwszy polietylen PE100 (polietylen o wysokiej gęstości HDPE trzeciej generacji). Wprowadzenie klasy PE100 (Rys. 1) stanowiło przełom, jeżeli chodzi o poziom jakości wymagany przez użytkowników końcowych.

Rys. 1. Polietylen w zastosowaniach rurowych
– trzy generacje



Dzięki wyższej odporności na pękanie połączonej z wysoką odpornością na szybką propagację pęknięć oraz bardzo dobrą odpornością na powolny wzrost pęknięć (brak załamania krzywej regresji przy 80°C) polietylen PE100 dał użytkownikom końcowym możliwość odkrycia nowych horyzontów, czy to dzięki umożliwieniu wyższego poziomu ciśnienia w sieci czy też dzięki zapewnieniu większej opłacalności ich stosowania, gdyż takie samo ciśnienie robocze można wykorzystać w rurach o ściankach cieńszych niż dotychczas, a więc tańszych.

Dzięki dobrej odporności na powolny wzrost pęknięć, klasy polietylenu PE80 i PE100 zapewniają okres eksploatacji do 50 lat (a nawet do 100 lat w przypadku niektórych poliolefin produkowanych przez INEOS) w normalnych warunkach użytkowania oraz przy zastosowaniu tradycyjnych technik instalacyjnych (w otwartym wykopie w obsypce piaskowej). Jednakże pojawiające się nowe techniki instalacyjne sprawiają, że konieczne jest stworzenie materiałów polietylenowych czwartej generacji, aby sprostać tym niezwykle wymagającym technologiom.

EWOLUCJA ZAPOTRZEBOWANIA RYNKU ZMIERZAJĄCA W STRONĘ TECHNIK NIEKONWENCJONALNYCH

Warunki montażu oraz techniki układania rur tworzywowych w Europie zmieniają się wraz z tendencjami rozwoju technologicznego i pojawianiem się nowych technik instalacyjnych w ciągu ostatniego dziesięciolecia. Rurociągi, które kiedyś układano w otwartym wykopie na podsypce piaskowej, przy czym wykop zasypywano konkretnie zdefiniowanym materiałem, mogą być obecnie układane bez podsypki piaskowej lub przy pomocy technik bezwykopowych. Zainteresowanie tymi nowymi technikami instalacyjnymi ciągle rośnie w związku z rozwojem rynku rur, a także licznymi zaletami stosowania tych technik (oszczędne, przyjazne dla środowiska ..)

Podstawowa analiza rynku

Tendencje popytu rynkowego

Popyt zasadniczo wzrasta w związku z faktem, że sieci kanalizacyjne i wodociągowe w miastach na całym świecie ulegają procesom starzenia i czasem funkcjonują na tyle źle, że niezbędna jest konieczność działania. Mogą wystąpić najróżniejsze problemy (patrz rysunek 2 i rysunek 3):

- eksfiltracja ścieków do wód gruntowych wskutek nieszczelności kanałów,
- straty wody pitnej wskutek awarii wodociągów,
- infiltracja wód gruntowych do sieci wody pitnej,
- niestabilność rurociągów, która może wystąpić w obszarach o dużym natężeniu ruchu



Rys. 2: Przeciekająca rura



Rys 3: Korozja

W związku z tym pojawia się konieczność wymiany lub naprawy starych sieci przez władze miejskie lub lokalne. Niezależnie od tego, że ostatnio stwierdzono tendencję spadkową, jeżeli chodzi o inwestycje w nowe sieci kanalizacyjne (np. w Niemczech), przewiduje się, że prace związane z wymianą lub naprawami rurociągów będą się nasilać w najbliższych latach, powodując rosnący popyt.

Otoczenie rynkowe

Szybki wzrost ludności w miastach w połączeniu ze zmniejszeniem przestrzeni podpowierzchniowej (na infrastrukturę podziemną) i naziemnej dodatkowo zwiększa zapotrzebowanie na skuteczne techniki instalacyjne ze strony władz lokalnych. Ogólna, obserwowana obecnie tendencja w branży budowlanej to przykładanie coraz większej wagi do przyjaznych dla środowiska metod budowlanych oraz branie pod uwagę opinii publicznej. Obecnie urobek z wykopu, (który w przypadku tradycyjnych metod instalacyjnych w otwartym wykopie była zastępowania piaskiem i określonym materiałem zasypowym), musi być wyrzucony w bezpieczne miejsce, a nawet poddany obróbce, co zwiększa koszt i złożoność robót prowadzonych w otwartym wykopie. Ponadto fakt, że miasta na całym świecie ulegają nieustającym przemianom, prowadzone są prace renowacyjne, modernizacyjne, a także przyłączanie nowych klientów do istniejących sieci powoduje podwyższone ryzyko uszkodzeń infrastruktury podziemnej.

Rozwój rynku

Obserwowana w ostatnich latach rozbudowa sieci teleinformatycznych i telekomunikacyjnych w gęsto zaludnionych miastach powoduje tak dużą liczbę nieustających bądź powtarzających się zakłóceń (a także uszkodzeń), że ludzie coraz bardziej zwracają uwagę na koszty społeczne takich prac. Coraz większy nacisk kładzie się na wykonywanie takich prac w sposób zapewniający jak najmniejsze zakłócenia dla ruchu drogowego czy utrudnienia dla mieszkańców.

Zalety technik niekonwencjonalnych

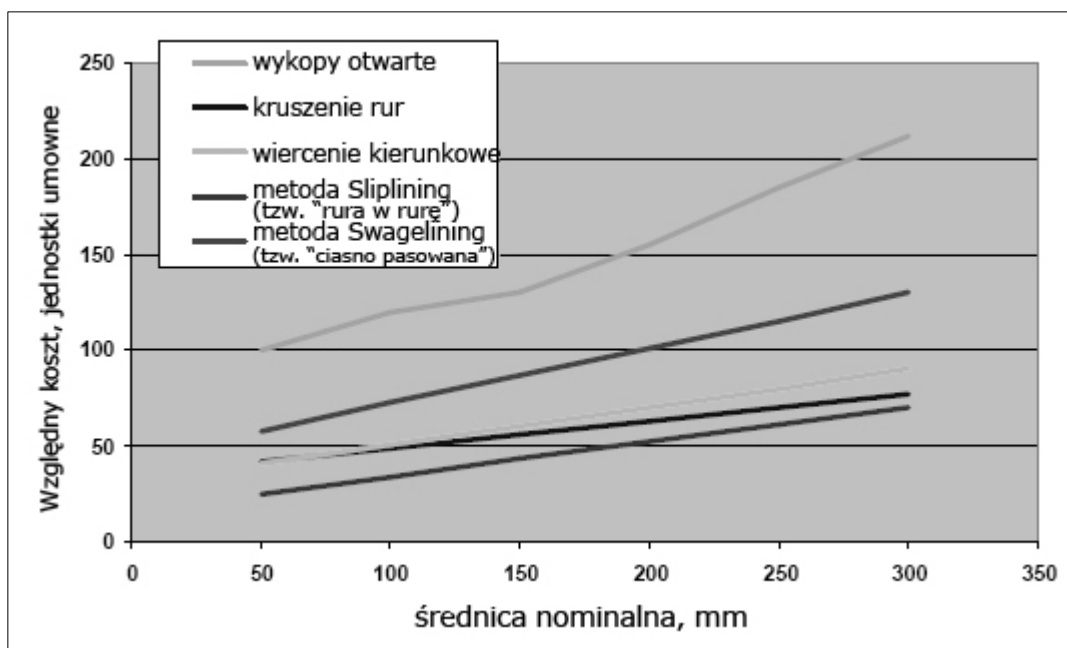
Niekonwencjonalne techniki układania rurociągów mają wiele zalet:

- oszczędność
- skrócenie czasu pracy
- niewielki obszar działania (w niektórych miastach w Chinach obowiązuje zakaz udostępniania dróg zbudowanych później niż 5 lat temu na cele prowadzenia robót budowlanych)
- niskie koszty społeczne
- minimalne zakłócenia dla mieszkańców
- unikanie zniszczeń przeszkód naturalnych...

W związku z tym przewiduje się, że w nadchodzących latach ich stosowanie będzie coraz bardziej powszechne.

Oszczędności

Zastępując tradycyjne metody układania rurociągów technikami niekonwencjonalnymi można uzyskać oszczędności nawet do 60% (Rys. 4).



Rys. 4 Niekonwencjonalne techniki instalacyjne

Okres realizacji robót

Okres realizacji robót bywa różny w zależności od obszaru, wymaganej jakości prac renowacyjnych, rzeźby terenu, itp. Tym niemniej, można uzyskać nawet 10-krotne skrócenie czasu realizacji robót w porównaniu z tradycyjnymi technikami instalacyjnymi. Oznacza to jednocześnie zmniejszenie utrudnień dla społeczności lokalnej, jeżeli chodzi o poziom hałasu, zanieczyszczeń, utrudnienia w ruchu drogowym, czy objazdy ciężarówek.

Zużycie energii

Szacunkowe zużycie paliwa i energii pokazuje, że techniki niekonwencjonalne są o wiele bardziej ekologiczne w związku z niższym ich zużyciem i mniejszymi obciążeniami dla środowiska (w zależności od sytuacji, nawet 50-krotnie). Wraz ze wzrostem kosztów energii, czynniki, które w przeszłości nie były brane pod uwagę podczas układania rurociągów obecnie stanowią ważne kryteria wyboru określonej metody wykonywania robót.

Wymogi co do wielkości placu budowy

Jedną z podstawowych zalet technik niekonwencjonalnych jest zmniejszenie obszaru prowadzenia robót. Dzięki skupieniu robót na mniejszej powierzchni, zmniejszeniu ulegają także utrudnienia dla mieszkańców danego obszaru. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii możliwe jest przede wszystkim zmniejszenie utrudnień w ruchu drogowym, powstających zazwyczaj w trakcie prowadzenia takich robót, co z kolei przyczynia się do zmniejszenia dodatkowej emisji CO², poziomu hałasu, liczby wypadków i innych zagrożeń powodowanych przez dodatkowe korki drogowe. Technologie te umożliwiają bezproblemowe przekraczanie przeszkód naturalnych lub sztucznych, takich jak rzeki czy drogi – ponieważ jedyny otwór znajduje się w punkcie rozpoczęcia i zakończenia robót.

Równowaga ekologiczna

Techniki niekonwencjonalne wywierają znacznie mniejszy wpływ na środowisko naturalne:

- mniejsza ilość urobku,
- dzięki zastosowaniu technologii niekonwencjonalnych zmniejszeniu ulega również wpływ robót na wody gruntowe, ponieważ przy ich zastosowaniu nie ma wykopu, który mógłby funkcjonować jako kanał drenażowy.

Co więcej, krótszy czas prowadzenia robót potencjalnie oznacza zmniejszenie zanieczyszczeń (ilość wydzielanych spalin jest proporcjonalna do czasu pracy maszyny, oraz do utrudnień w ruchu drogowym).

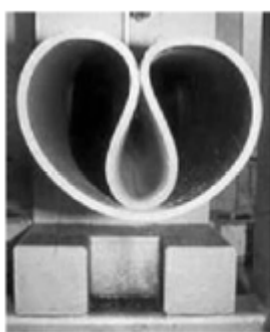
TECHNOLOGIE NIEKONWENCJONALNE

Wykazano, że dzięki swoim właściwościom mechanicznym oraz podstawowym parametrom (takim jak elastyczność, zgrzewalność, odporność na pękanie naprężeniowe, możliwość zwijania, klasy ciśnienia, duże długości odcinków, wytrzymałość na rozciąganie, odporność na ścieranie) rury z PE nadają się do zastosowania w różnych niekonwencjonalnych technologiach układania. Wysoki moduł elastyczności oraz wysoka granica plastyczności materiałów klasy PE100 umożliwia optymalizację robót bezwykopowych, jeżeli chodzi o grubość ścianki oraz długość odcinków rury.

Prace renowacyjne: techniki takie jak Swagelining, Roll-down, Sub-line, Sub-coil...

W wielu przypadkach renowacji starych rurociągów przeżartych korozją, przeciekających, czy zarośniętych stosuje się technologie bezwykopowe, takie jak Swagelining, Roll-down, Sub-line, Sub-coil... (Rys. 5 i 6).

Zastosowanie rozwiązań rurowych z PE daje doskonałe połączenie odporności na korozję oraz gwarancję dobrych parametrów hydraulicznych.



Rys. 5: U-lining



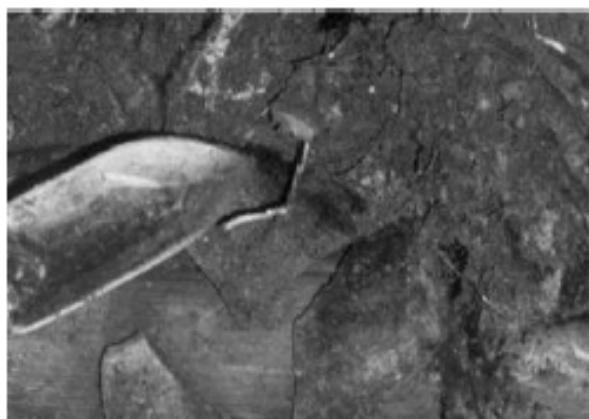
Rys. 6: swage-lining

Stosując powyższe technologie, rurę poddaje się radialnym lub osiowym naprężeniom ściskającym za pomocą urządzenia mechanicznego celem zmniejszenia jej średnicy zewnętrznej bądź zmodyfikowania kształtu. Następnie rurę przywraca się do rozmiaru pierwotnego stosując ciśnienie od wewnątrz bądź odkształcenie plastyczne. Technologie te są bardzo łatwe do stosowania i atrakcyjne cenowo (niewielkie zmniejszenie przekroju poprzecznego przewodu rekompensowane jest zwiększonym ciśnieniem roboczym), jednakże ograniczone są poziomem dopuszczalnego zmniejszenia średnicy rury.

Pożądane lub rekomendowane cechy PE:

- Możliwość rewersji (powrotu do poprzedniego kształtu) rur z HDPE
- PE100: Możliwość zmniejszenia grubości ścianki jest szczególnie ważna w metodach renowacyjnych (slip-lining, close-fit, U-lining, C-lining, itp.): im grubsza ścianka z HDPE tym mniejszy jest jej przekrój i tym mniejsza wydajność hydrauliczna rurociągu.
- Wysoki moduł elastyczności i wysoka granica plastyczności w warunkach instalacyjnych.

Bezwykopowa wymiana rurociągów: metoda kruszenia lub rozcinania rur...



Rys. 7: otoczenie wokół rury ułożonej metodą kruszenia.



Rys. 8: uderzenia kamieni i zarysowania

Stosując te metody bezwykopowe, stary rurociąg jest wymieniany na nową rurę PE, która jest wciągana w otwór powstający podczas przeciągania głowicy kruszącej (lub rozcinającej) przez stary przewód i wciskającej jego fragmenty w otaczający grunt. W takich przypadkach, oprócz obciążenia rozciągającego pojawia się drugie źródło naprężeń powstających wskutek tego, że otoczenie wokół rury z definicji podlega mniejszej kontroli niż w przypadku robót w otwartym wykopie, w związku z czym miejscowe obciążenia i zarysowania na powierzchni (Rys. 7 i 8) mogą mieć wpływ na parametry rurociągu w perspektywie długofalowej.

Jeżeli chodzi o bezwykopowe techniki wymiany, to rury poddawane są w nich dodatkowym naprężeniom wskutek obciążeń punktowych (uderzenia skały) oraz koncentracji naprężeń w miejscu zarysowań powierzchni zewnętrznej rury, które powstają w trakcie tarcia rury o wewnętrzną powierzchnię otworu.

Wymagane właściwości:

- doskonała odporność na ścieranie
- wolna propagacja naprężeń w miejscu zadrapań czy zarysowań, ...
- doskonała odporność na obciążenia punktowe
- Wysoki moduł elastyczności i wysoka granica plastyczności w warunkach montażu

Układanie rurociągów: horyzontalne przewiertu sterowane, płuzenie...

Układanie rurociągu metoda horyzontalnego przewiertu sterowanego (HDD – Rys. 9) polega na wciągnięciu rury bezpośrednio do otworu w ziemi wykonanego metodą wiertniczą. Technikę tą można stosować w różnych warunkach gruntowych i różnego rodzaju zadaniach, przy czym ograniczenia w terenie silnie nasyconym infrastrukturą podziemną sprawiają, że jej zastosowanie ma zasadnicze znaczenie.



Rys. 9 Horyzontalny przewiert sterowany

W przypadku metody płuzenia, lemiesz pługoukładacza rozcina ziemię do odpowiedniej głębokości i rozpychając ją na boki tworzy odpowiedniej szerokości szczelinę. Rura dostarczona na bębnie jest układana bezpośrednio na dnie tej szczeliny. W metodzie płuzenia, stosowanej przede wszystkim do układania rur ochronnych do kabli, wykorzystuje się elastyczność rur PE.

Wymagane właściwości:

- Elastyczność rury
- Doskonała odporność na ścieranie
- Odporność na powolny wzrost pęknięć
- Doskonała odporność na naciski punktowe
- Wysoki moduł elastyczności i wysoka granica plastyczności w warunkach montażu

Układanie rurociągu w otwartym wykopie bez podsypki piaskowej.

Dotychczas przy użyciu technologii układania rurociągów w otwartym wykopie stosowano podsypkę piaskową, a materiał zasypowy wykopu posiadał określone właściwości. Najnowsza tendencja to układanie rurociągu bez podsypki piaskowej i zasypywanie wykopu wykopany urobkiem. Oczywiście w zależności od rodzaju gruntu obciążenia punktowe wywierane przez skały lub kamienie mogą powodować dodatkowe naprężenia.

Wymagane właściwości to przede wszystkim:

- Odporność na powolny wzrost pęknięć,
- Doskonała odporność na obciążenia punktowe.

Cechy niekonwencjonalnego układania rur

Techniki bezwykopowe i niestosowanie podsypki piaskowej to bardzo wymagające rozwiązania, które wymagają zastosowania najlepszych materiałów PE100 o ulepszonych właściwościach, w szczególności o niezwykle wysokiej odporności na powolny wzrost pęknięć. Jak pokazano wcześniej, rury muszą być odporne na dodatkowe naprężenia powodowane przez zarysowania powierzchni, oraz na długotrwałe obciążenie punktowe. Odporność na powolny wzrost pęknięć rur i surowców stosowanych w niekonwencjonalnych technikach układania musi być oceniona na podstawie badań, podczas których prowadzi się symulację takich obciążeń.

PRÓBY SYMULUJĄCE FAKTYCZNE OBCIĄŻENIA WYSTĘPUJĄCE PODCZAS STOSOWANIA NIEKONWENCJONALNYCH TECHNIK MONTAŻOWYCH

W porównaniu z technikami tradycyjnymi, w przypadku niekonwencjonalnych metod układania rurociągów ryzyko powolnego wzrostu pęknięć (prowadzących do przedwczesnej awarii rury ciśnieniowej) może się zwiększyć wskutek następujących czynników:

- nacięcia i zarysowania na powierzchni zewnętrznej rury powstałe w trakcie układania rurociągu, powodują koncentrację naprężeń i inicjację pęknięć,
- długotrwałe naciski punktowe spowodowane przez kontakt skał lub większych kamieni z rurą; z czasem skała ta (lub kamień) może spowodować odkształcenie wewnętrznej ścianki rury, powodując koncentrację naprężeń prowadzącą do powstania i powiększania się pęknięć wewnątrz ścianki rury ciśnieniowej.

Dlatego w celu wykazania przydatności rurociągów polietylenowych w technikach niekonwencjonalnych stosuje się następujące badania, dzięki którym uzyskuje się istotne informacje:

- test karbu, w którym dokonuje się symulacji odporności rury w przypadku wystąpienia nacięć i zarysowań na powierzchni rury
- próba nacisku punktowego, której celem jest dokonanie symulacji długotrwałego obciążenia punktowego wywieranego przez gładką skałę (np. kamienie).

Badania te można połączyć z testem FNCT (Full Notch Creep Test – próba pełzania na próbce z pełnym nacięciem) w celu określenia wewnętrznej odporności tych materiałów na pękanie w stosunku do całkowitego mechanizmu powstawania pęknięć, który najczęściej występuje w systemach rurowych w warunkach niskiego ciśnienia przy wieloletniej eksploatacji.

Lepsza odporność na ścieranie i większa twardość może poprawić odporność na powstawanie zarysowań i nacięć w trakcie układania rurociągu, co skutkuje koncentracją naprężeń.

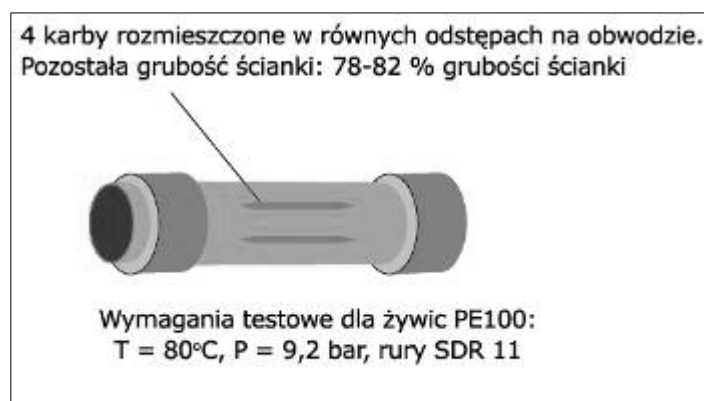
Należy zwrócić uwagę na fakt, że zarówno branża jak i instytuty naukowe opracowały wiele innych testów mających na celu ocenę odporności na zarysowania oraz odporności na powolny wzrost pęknięć w rurze lub próbce posiadającej zarysowania, jednakże jak na razie żaden z nich nie został uznany za ogólnie przyjęty ani też nie został przyjęty przez żadną międzynarodową jednostkę normalizacyjną.

Wiele trudności w tej dziedzinie nie wynika li tylko z braku możliwości innowacyjnych czy eksperymentalnych, ale z potrzeby przyspieszenia procesu powstawania uszkodzenia materiału przy niskich naprężeniach, po to, aby móc dokonać prób w rozsądnym okresie czasu, jednocześnie

wywołując tylko te zmiany na poziomie cząsteczkowym, które w warunkach rzeczywistych są przyczyną awarii rurociągu po upływie kilku dziesięcioleci.

Również z tego powodu zaleca się stosowanie metod testowych, które już zostały dokładnie opisane i uznane w skali międzynarodowej do wyznaczania charakterystyki tworzyw HDPE.

Test karbu (Rys. 10) został opisany w normie ISO13479 i EN33479.

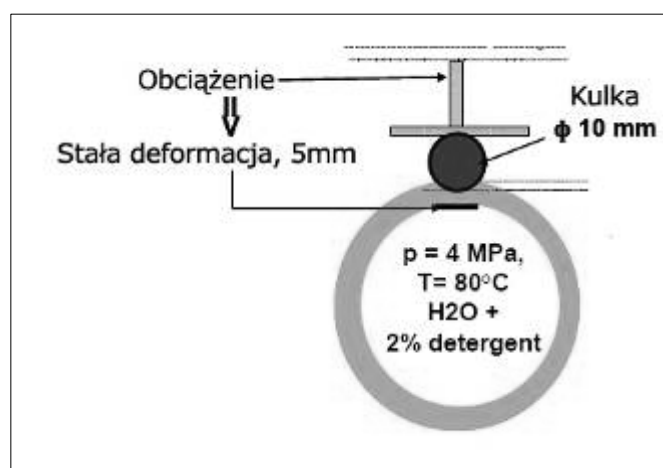


Rys. 10: Test karbu

Polega on na przeprowadzeniu próby ciśnienia hydrostatycznego na rurze, która została celowo nacięta. Prawdopodobieństwo pęknięcia wskutek naprężeń jest zwiększane podczas tej próby poprzez koncentrację naprężeń w sąsiedztwie wierzchołka nacięcia w kształcie litery V.

Test nacisku punktowego

Zgodnie z naturą uderzeń skał, które naciskają na zakopaną rurę z różnych stron, możemy spodziewać się wystąpienia zjawiska odkształceń trwałych (relaksacji naprężeń).



Rys. 11 Test nacisku punktowego

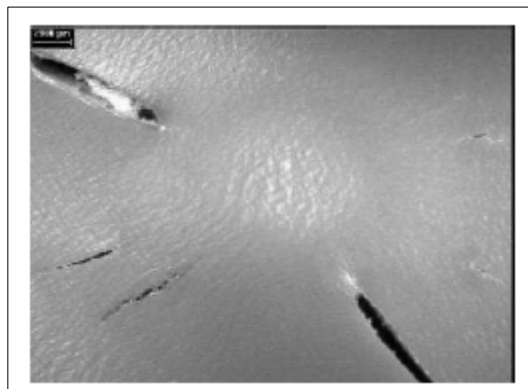
Odporność rury na powolny wzrost pęknięć, przy nacisku punktowym, można określić w badaniu obciążenia punkowego przy stałym odkształceniu (patrz Rys. 11)

Wybiera się takie warunki testowe, które gwarantują, że przemieszczenie się obciążenia punkowego w kierunku wnętrza ścianki rury jest na tyle duże, by spowodowało płynięcie materiału na wewnętrznej powierzchni rury, przy czym naprężenie uplastyczniające będzie maksymalnym naprężeniem, jakiego tworzywo rury może doświadczyć wskutek zewnętrznego nacisku punkowego.

Ponieważ dodatkowe naprężenie w ściance rury w dużej odległości od miejsca obciążenia będzie zerowe, w próbie tej występują wszelkie możliwe naprężenia, jakie mogą wystąpić w sytuacji rzeczywistej. Wymagane odkształcenie powierzchni wewnętrznej ścianki rury (tzn. powyżej granicy plastyczności) powstaje wskutek przemieszczania narzędzia wzdłuż promienia rury (podobnie jak w przypadku skały penetrującej powierzchnię ścianki rury, kiedy rurociąg jest pod ciśnieniem).

Test nacisku punkowego polega na utrzymywaniu nacisku punkowego na próbce rury pod ciśnieniem hydrostatycznym (4 MPa, 80°C), napełnionej wodą z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego (2 % w/w Arkopal N100) po to, by przyspieszyć inicjację pęknięcia i jego wzrost. Rejestruje się czas, w którym dojdzie do uszkodzenia tworzywa i przebieg procesu.

Zgodnie z tym, co zaobserwowano w praktyce w przypadku wystąpienia uszkodzenia spowodowanego przez uderzenia skały, próba nacisku punkowego powoduje odkształcenie wewnętrznej ścianki rury, wywołując koncentrację naprężeń, prowadzącą do powstawania pęknięcia i jego rozrost wewnątrz ścianki rury ciśnieniowej. (Rys. 12). Próba ta symuluje zjawisko, występujące w naturze.



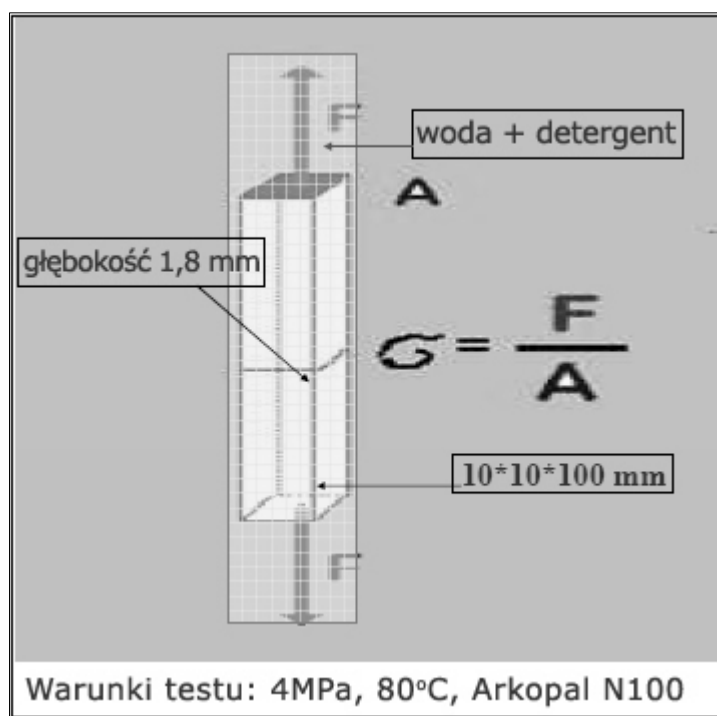
Rys. 12

FNCT (Full Notch Creep Test – próba pełzania na próbce z pełnym nacięciem) została opisana w normie ISO DIS 16770.

FNCT pozwala na określenie właściwej odporności na powolny wzrost pęknięć danego materiału HDPE w stosunku do całkowitego mechanizmu powolnego wzrostu pęknięć, który najczęściej występuje w systemach rurowych w warunkach niskiego ciśnienia przy wieloletniej eksploatacji.

Próba ta jest szczególnie ciekawa z następujących powodów:

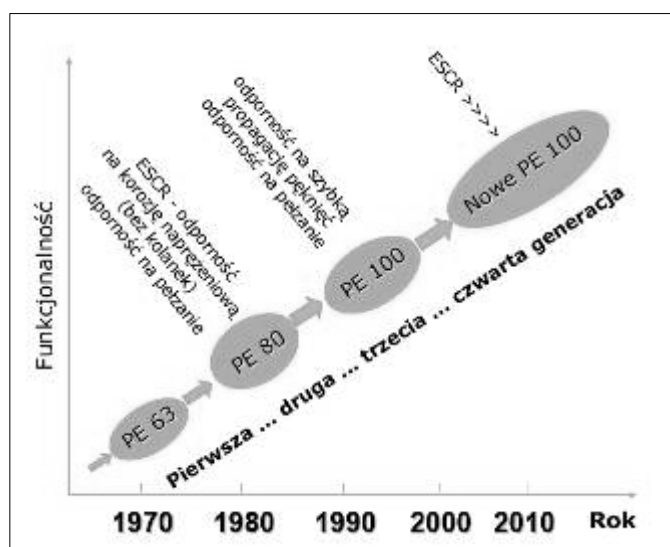
- W zależności od warunków testowych umożliwia uzyskanie wyników porównawczych oraz reprezentatywnych (pęknięcie kruche) w krótkim okresie czasu w porównaniu z testem karbu czy testem nacisku punkowego.
- Możliwe jest skorelowanie jej wyników z wynikami testu nacisku punkowego, nawet, jeżeli taka korelacja nie jest uniwersalna i musi być osobno definiowana dla każdego tworzywa.



ROZWIĄZANIA W PRZYPADKU STOSOWANIA NIEKONWENCJONALNYCH TECHNIK INSTALACYJNYCH

Aby wspomagać rozwój techniczny w zakresie niekonwencjonalnych metod instalacyjnych, branża tworzyw sztucznych musi dokładnie zrozumieć mechanizmy powstawania naprężeń w rurach PE i opracowywać konkretne surowce PE do produkcji rur o znacznie wyższej odporności na powolny wzrost pęknięć niż dotychczas. (Rys. 14)

Materiały czwartej generacji posiadają wszystkie zalety klasy PE100 (klasyfikacja MRS 10, wysoka sztywność, dobra odporność na szybką propagację pęknięć, wysoki moduł elastyczności i granica plastyczności), a dodatkowo wykazują bezprecedensową odporność na powolny wzrost pęknięć, powodowany przez zarysowania i naciski kamieni lub skał występujące w przypadku stosowania niekonwencjonalnych technik instalacyjnych.

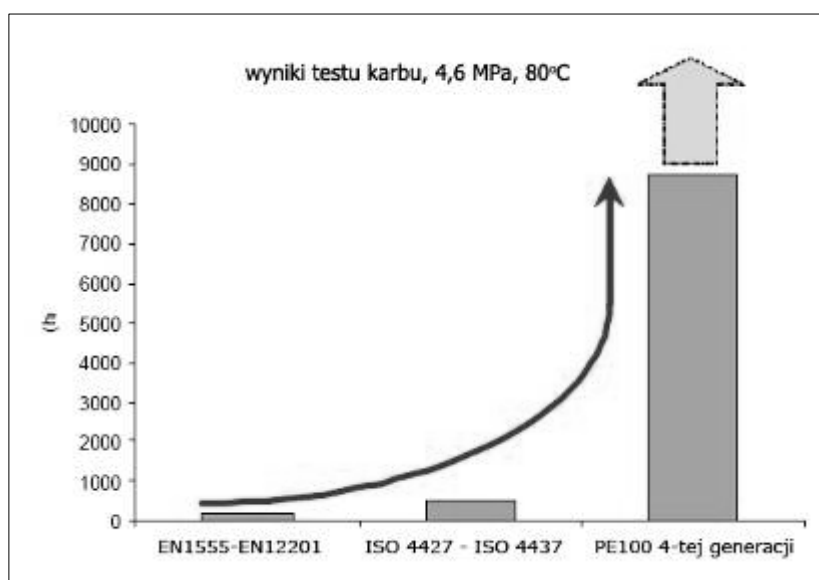


Rys. 14. Polietylen do zastosowań rurowych – 4 generacje

Badania takie jak test nacisku punktowego, test karbu czy FNCT, w których symuluje się ograniczenia napotykane w rzeczywistości, pokazują, że wszystkie te klasy PE nadają się do zastosowania w technikach bezwykopowych oraz układania bez podsypki piaskowej. Doświadczenia z *naciskiem punktowym* wykazały, że nastąpiła ogromna poprawa jakości tych surowców, jeżeli chodzi o ich odporność na “przyspieszone pękanie naprężeniowe” powodowane przez zewnętrzne naciski i nacięcia. Materiały rurowe nowej generacji wytrzymują naciski punktowe przez okres jednego roku przy temperaturze 80°C, pod ciśnieniem, w obecności detergentu. Jeżeli założymy - zgodnie z definicją podaną w ISO9080 – 100-krotny poziom przyspieszenia pomiędzy 80°C a 20°C dla $\Delta T = 60\text{ K}$, to możemy przyjąć, że okres eksploatacji rury poddawanej obciążeniu punktowemu w warunkach standardowych wyniesie 100 lat.

Wyniki *testów karbu* pokazują potencjalną odporność na powolny wzrost pęknięć w przypadku wystąpienia zarysowań.

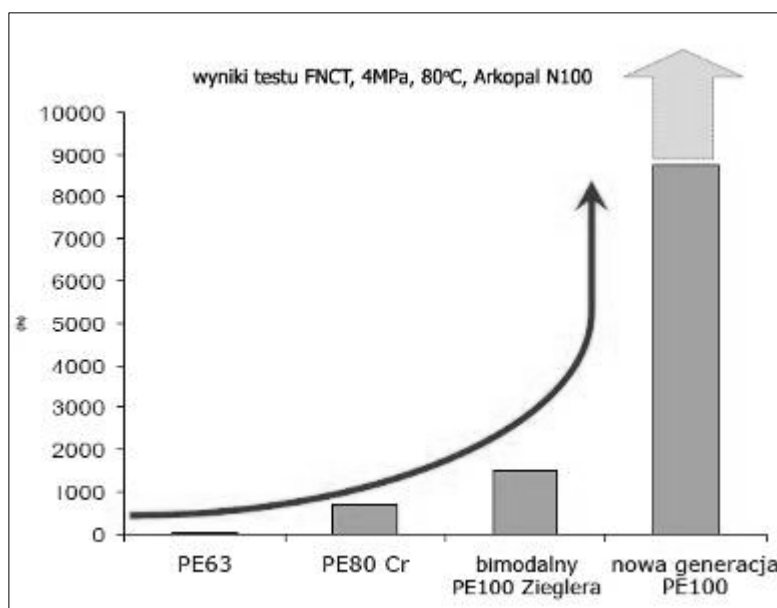
Polietyleny PE100 czwartej generacji znacznie przekraczają wymogi norm międzynarodowych. W istocie po okresie jednego roku nie występują w nich żadne awarie, co oznacza 40-krotne przekroczenie wymogów normy EN oraz 17-krotne przekroczenie wymogów ISO (Rys.15)



Rys. 15: Wyniki prób karbu

Wyniki **FNCT** (*Full Notch Creep Test – próby pełzania na próbce z pełnym nacięciem*) wskazują na wyjątkową odporność polietylenów czwartej generacji w stosunku do całkowitego mechanizmu powstawania pęknięć, który najczęściej występuje w systemach rurowych w warunkach niskiego ciśnienia przy wieloletniej eksploatacji (Rys. 16)

Oznacza to, że tworzywa tego rodzaju doskonale nadają się do zastosowań, w których mamy do czynienia z dużymi naprężeniami, takich jak techniki ‘roll-down’, ‘subcoiling’, ‘swage-lining’, ale także do zastosowań w metodach typu kruszenie rur, rozcinanie rur czy przewiertu sterowane, gdzie rurociąg narażony jest na mniejsze uszkodzenia mechaniczne wskutek obecności twardych lub ostrych obiektów na trasie układania.



Rys.16: Wyniki próby FNCT dla kolejnych klas polietylenów

Dzięki zaklasyfikowaniu ich do PE100, można korzystać z tradycyjnych zalet tych generacji tworzyw:

- Wysoka wydajność, mimo, że większe Maksymalne Ciśnienie Robocze (MOP), lub
- Wyższy współczynnik bezpieczeństwa, lub
- Zmniejszenie grubości ścianki przy zachowaniu takiego samego współczynnika bezpieczeństwa.

Prowadzi to do lepszej przepustowości, oszczędności materiałów i możliwości przeciągania dłuższych odcinków rury.

Ponadto, dzięki ich odporności na szybką propagację pęknięć, tworzywa te mogą być wykorzystywane przy wysokich ciśnieniach i dużych średnicach (nadają się do ekstruzji od 25 mm do 500 mm) nawet w sieciach gazowych.

WNIOSKI

Od czasu wprowadzenia polietylenu w roku 1954, jest on stosowany do produkcji rur ciśnieniowych z niesłabnącym powodzeniem. Wprowadzane coraz to nowe techniki pociągają za sobą nowe wymogi w zakresie rur i surowców. Najbardziej krytycznym momentem w trakcie kolejnych zmian na lepsze – zarówno w przeszłości jak i obecnie – jest dobranie odpowiednich badań, które w sposób jasny i niepodważalny potwierdzą przydatność do zastosowań surowców i rur. To samo odnosi się do nowych technik instalacyjnych. Mimo, że już od jakiegoś czasu również w tej dziedzinie obserwuje się coraz to nowe innowacyjne rozwiązania, a surowce i rury nowej generacji były już wcześniej prezentowane na rynku, brakowało jasnego poglądu na temat wymogów, jakie musi spełniać surowiec i rurowciąg w celu potwierdzenia przydatności dla danego zastosowania w najbardziej krytycznych warunkach. W niniejszej pracy chcieliśmy pokazać, że wreszcie udało się osiągnąć pewien konsensus co do odpowiednich metod testowych. Wykazaliśmy również, że dostępne są surowce, które spełniają lub przekraczają wymagania narzucone przez najnowsze rozwiązania techniczne.

Oczywiście nawet najbardziej odpowiednie surowce wymagają odpowiedniej obróbki i kreatywnego podejścia ze strony innowacyjnych producentów rur, aby zamieniły się one w rozwiązania umożliwiające użytkownikom końcowym pełne wykorzystanie ich możliwości. Wydaje nam się jednak, że również w tej kwestii udało się osiągnąć równowagę pomiędzy naturalną skłonnością do

szukania różnic technicznych przez konkurujące ze sobą firmy a zdrowym rozsądkiem, jeżeli chodzi o dojście do porozumienia w zakresie metod testowych i poziomów jakości, jakie należy osiągnąć, szczególnie w zakresie rur wielowarstwowych, które zapewniają optymalne współczynniki bezpieczeństwa i parametry przez cały okres eksploatacji rurociągu.