

BEZWYKOPOWA BUDOWA

RURY PEHD W PROJEKTACH WIERTNICZYCH HDD



CZĘŚĆ I: TECHNIKA – MATERIAŁ – APLIKACJE

■ ROBERT OSIKOWICZ ROE



Absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Ma za sobą pracę w firmach naftowych i firmach technologicznych zajmujących się doradztwem w obszarze wiertnictwa i technik pokrewnych. Od trzydziestu lat związany z branżą wiercen kierunkowych HDD. Od 2009 roku pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering (ROE). Publikuje regularnie na łamach magazynu „Inżynieria Bezwykopowa”. Jest autorem ponad dwudziestu referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych. ROE jest członkiem DCA Drilling Contractors Association – organizacji zrzeszającej firmy wiertnicze, firmy projektowe oraz producentów sprzętu i dostawców technologii związanych z branżą wiercen kierunkowych.

■ PAWEŁ PILL Uponor Infra sp. z o.o.



Absolwent Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Posiada ponad 30-letnie doświadczenie w projektowaniu, symulacji i optymalizacji sieci płynowych. Od 25 lat na stanowisku Project Managera w firmach KWH Pipe i Uponor Infra, odpowiedzialny za wsparcie techniczne sprzedaży, ze szczególnym uwzględnieniem instalacji przemysłowych.

■ JACEK TOMCZYK Uponor Infra sp. z o.o.



Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Łódzkiej. Ukończył również studia podyplomowe z zakresu przetwórstwa tworzyw sztucznych na Politechnice Poznańskiej. Przez ponad 28 lat związany z firmami fińskimi w Polsce, od 1998 roku z KWH Pipe, a następnie od 2014 roku z Uponor Infra. Obecnie wspiera procesy sprzedaży, a wcześniej pełnił funkcje Product Managera Weholite na poziomie Grupy Uponor Infra, kierował pracami Działu Rozwoju oraz Działu Jakości. Wieloletni reprezentant obu firm w KT140 i KT278 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

Z TEKSTU DOWIESZ SIĘ:

- ✓ co sprawiło, że polietylen umożliwił dynamiczny rozwój HDD i całej branży instalacyjnej,
- ✓ jaki udział w instalacjach realizowanych metodą HDD mają na świecie rury HDPE,
- ✓ który parametr jest kluczowy w procesie przetwarzania oraz na etapie zgrzewania rur.

WPROWADZENIE

Horyzontalne wiercenie kierunkowe HDD (ang. *Horizontal Directional Drilling*) to jedna z najdynamiczniej rozwijających się bezwykopowych technik konstrukcyjnych. Jest najbardziej wszechstronną metodą wiertniczą, która może być szeroko stosowana do budowy podziemnych instalacji sieci gazowych, naftowych, energetycznych, ciepłowniczych, wodnych, kanalizacyjnych czy telekomunikacyjnych. Umożliwia ona instalację rurociągów pod przeszkodami terenowymi bez istotnej ingerencji w zastaną infrastrukturę.

Technika HDD zapewnia znaczące korzyści zarówno dla środowisk miejskich, jak i lokalizacji pozamiejskich. Dzieje się tak poprzez zmniejszenie zakłóceń spowodowanych wykopami na ulicach, ograniczenie szkód wyrządzanych środowisku naturalnemu i racjonalizację ponoszonych kosztów bezpośrednich i pośrednich. HDD może być nie tylko bardziej opłacalne, ale także bardziej wykonalne niż jakakolwiek inna metoda bezwykopowa.

Celem zaplanowanego cyklu artykułów jest przedstawienie dobrych praktyk w zakresie stosowania rur wykonanych z polietylenu w technice HDD. Autorzy opierają się na istniejących zasobach i doświadczeniach branży. Niniejsza publikacja zawiera zbiór rekomendacji przydatnych na wszystkich etapach inwestycji, począwszy od etapu projektowania, aż na praktycznej instalacji kończąc. Publikacja ma na celu pomóc specjalistom w procesie podejmowania decyzji dotyczących tego, w jaki sposób dokonać selekcji materiału i geometrii rurociągu w kontekście wybranej metody budowy. Nie wszystkie rekomendacje są odpowiednie dla każdego typu projektu – specjaliści muszą kierować się własnym osądem.

DEFINICJA OPISOWA

HDD jest jednym z możliwych do zastosowania narzędzi do realizacji zadań wiertniczych. Projekt tego typu jest przedsięwzięciem tymczasowym, o zdefiniowanym zakresie, budżecie i harmonogramie, podjętym w celu stworzenia unikatowego produk-

tu, jakim jest instalacja rurowa zabudowana w wywierconym otworze. HDD jest wysoce specjalistycznym procesem wykorzystującym wiele zaawansowanych technologii. Jest określone w standardzie technicznym jako płuczkowe wiercenie kierunkowe po zdefiniowanej trajektorii z użyciem przewodu wiertniczego. W większości istotnych projektów wykorzystywany jest zamknięty obieg płuczkowy. Jest to metoda wieloetapowa.

Technika HDD służy realizacji zarówno projektów lądowych, jak i morskich. Może być wykorzystana do instalacji rurociągów produktowych (transport mediów) oraz osłonowych (kable energetyczne, światłowody). Daje unikatową możliwość wykonywania instalacji jednorurowych lub wielorurowych w pojedynczym otworze. Pozwala na zastosowanie różnorodnych materiałów do zabudowy obejmujących: stal, tworzywa sztuczne, żeliwo, materiały hybrydowe. HDD jest odpowiednią metodą budowy w zdecydowanej większości warunków geologicznych.

ZASOBY PROJEKTU

Niezbędnymi elementami do realizacji projektu HDD są zasoby materialne i intelektualne. Do sfery materialnej zaliczamy: sprzęt i osprzęt wiertniczy, układ cyrkulacyjny, system nawigacji w otworze, płyn wiertniczy i odcinki rur do prefabrykacji rurociągu (liry). Sfera intelektualna obejmuje: dokumentację, analizy, kompetencje, wyszkolenie, wdrożone procedury, programy technologiczne, zbieranie, przetwarzanie i weryfikacja danych pozyskiwanych w trakcie projektu wiertniczego. Podstawowymi maszynami roboczymi są: wiertnica i pompa płuczkowa. To one w znacznym stopniu odpowiadają za realizację operacji wiertniczych, polegających na mechaniczno-hydraulicznym procesie drążenia otworu i instalacji w nim rurociągu o wymaganej geometrii.

ZASIĘG POTENCJALNYCH INSTALACJI

Na podstawie praktycznych doświadczeń rynku wiertniczego można określić poten-

cjalny zasięg wiercenia (długość i głębokość otworu) oraz potencjalne zakresy średnic instalowanych rurociągów. Zakresy te będą różniły się pomiędzy sobą w zależności od napotkanych warunków geologicznych. W ciągu ostatnich lat możliwości spółek wiertniczych znacznie wzrosły i tendencja ta prawdopodobnie utrzyma się. Maksymalna średnica zewnętrzna rury, którą można obecnie w Polsce zastosować, wynosi 56" (1400 mm), a potencjalna długość instalacji przekracza aktualnie 2000 m. Bezpieczna aplikacja jest możliwa na długich dystansach i znacznych głębokościach pod warunkiem zrozumienia specyfiki instalacji wiertniczych. Krytyczna analiza zrealizowanych projektów (korzystanie z doświadczeń) może stać się inspiracją do precyzyjnego planowania przyszłych inwestycji

STANDARDY I WYTYCZNE BRANŻOWE

Branża HDD wypracowała szereg wytycznych dotyczących dobrych praktyk w zakresie selekcji materiałów i geometrii rurociągów, które stanowią podstawę odniesienia dla praktycznych działań w zakresie projektowania i budowy instalacji metodą HDD. Wytyczne mają na celu pomóc inwestorom i projektantom w tworzeniu strategii projektowych oraz dokumentów kontraktowych, które ułatwiają budowę, łagodzą wyzwania i ograniczają roszczenia. Zawierają również wskazówki dotyczące szkolenia personelu terenowego w zakresie skutecznych metod postępowania z wykorzystaniem specjalistycznej techniki wiertniczej. Pomyślnie instalacje wymagają dobrze wyszkolonych, doświadczonych operatorów, a także kompetentnego personelu nadzorującego. Profesjonalna wiedza pomaga rozpoznawać i unikać lub łagodzić typowe problemy, z którymi spotykamy się w terenie. Szkolenia w połączeniu z praktyką (zdobywanym doświadczeniem) zwiększają szanse na pomyślną instalację rurociągu, jednocześnie chroniąc interesy publiczne. Zweryfikowane wytyczne łączą praktyczne wskazówki – dostępne od różnych producentów, dostawców, inżynierów oraz stowarzyszeń branżowych i wykonawców – w kompleksowe źródło informacji.

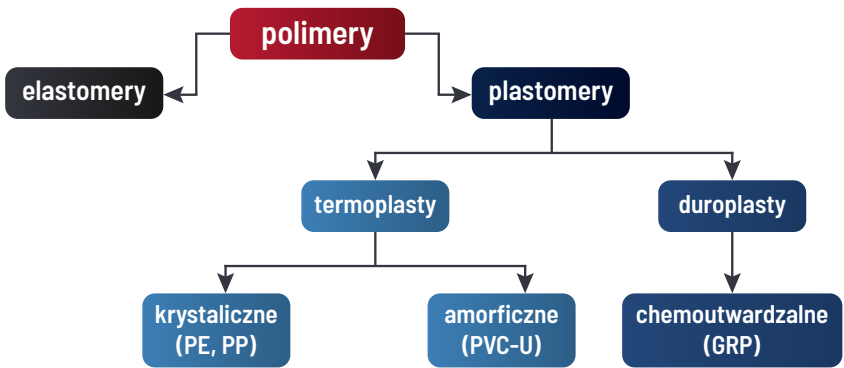
POLIETYLEN – MATERIAŁ PIERWSZEGO WYBORU

Dostępnych jest wiele różnych opcji rur do instalacji wiertniczych metodą HDD. Produkt musi spełniać założone specyfikacje i wymagane kryteria jakościowe. Materiał rury i miejsca łączenia kolejnych odcinków muszą mieć wystarczającą wytrzymałość na rozciąganie, zginanie, ciśnienie zewnętrzne i wewnętrzne, aby wytrzymać obciążenia związane z procesem prefabrykacji, instalacji rurociągu oraz późniejszej eksploatacji jako obiektu podziemnego. Polietylen może być zastosowany w większości potencjalnych instalacji. Wykluczone jest jedynie jego użycie w instalacjach rurociągów gazowych wysokiego ciśnienia. Elastyczność rur i połączenia zgrzewane sprawiają, że są one popularnym wyborem wśród projektantów i wykonawców. Niewątpliwie jednak – pomimo dominującej pozycji polietylenu – istnieje potrzeba lepszego zrozumienia możliwości, jakie otwiera przed tym materiałem współczesne HDD. Wymaga to od wszystkich stron zaangażowanych w proces inwestycyjny głębszego poznania poszczególnych cech charakterystycznych materiału, zasad projektowania i metod prawidłowej aplikacji.

POLIETYLEN – KRÓTKI RYS HISTORYCZNY

Polietylen po raz pierwszy został zsyntetyzowany przez niemieckiego chemika Hansa von Pechmana w 1898 r. Pierwsza możliwa do przeprowadzenia na dużą skalę synteza polietylenu została odkryta przez Erica Fawcetta i Reginalda Gibsona w ICI Chemicals w 1933 r. Polegała ona na działaniu wysokim ciśnieniem (kilkaset atmosfer) na mieszaninę etenu i benzaldehydu oraz stała się podstawą przemysłowej produkcji LDPE rozpoczątej w 1939 r.

Użycie katalizatorów w syntezie polietylenu, pozwalające na polimeryzację etenu w łagodniejszych przedziałach temperatury i ciśnienia, otworzyło drogę do produkcji polietylenu na szerszą skalę. W 1951 r. Robert Banks i John Hogan w Phillips Petroleum użyli jako katalizatora tlenku chromu, co umożliwiło syntezę w temperaturze 150°C



RYS. 1. | Podział polimerów

przy ciśnieniu 30 atm. W 1954 r. niemiecki chemik Karl Ziegler (Max Planck Institute, Niemcy) wraz z Giulio Natta (Politechnic Institute, Mediolan) rozwinęli proces katalizacyjnej polimeryzacji, oparty na chlorkach tytanu i metaloorganicznych związkach glinu. Pozwalał on na syntezę w łagodniejszych warunkach (60°C, 1 atm) niż proces Phillipsa. Obie metody pozostają w praktyce przemysłowej do dziś.

POLIETYLEN NA TLE INNYCH POLIMERÓW

Opierając się na klasyfikacji tworzyw sztucznych ze względu na właściwości użytkowe, stosując jako kryterium zachowanie się polimeru w temperaturze pokojowej na podstawie analizy zależności naprężenie-odkształcenie, możemy zastosować schematyczny podział widoczny na rys. 1.

Zgodnie z przytoczonym podziałem polimerów, polietylen zaklasyfikujemy do grupy termoplastów krystalicznych.

POLIETYLEN JAKO MATERIAŁ KONSTRUKCYJNY

Każda z grup polimerów charakteryzuje się innymi właściwościami, co wpływa na zróżnicowanie schematów obliczeniowych i kryteriów projektowych. Termoplasty traktujemy jako materiał elastyczny (lepko-sprężysty, podatny), natomiast duroplasty jako materiał półsztywny.

Z właściwości poszczególnych materiałów wynikają znaczne różnice w naprężeniach i wydłużeniach niszczących, co wymaga zróżnicowanego podejścia projektowego.

Aktualnie rury PE100 produkowane są z polietylenu bimodalnego nazywanego polietylenem trzeciej generacji, który charakteryzuje się występowaniem dwóch zróżnicowanych rodzajów łańcuchów cząsteczkowych: krótkich i długich. Występowanie obszarów krystalicznych i amorficznych, a także ich wzajemne proporcje determinują w znacznym stopniu właści-

	szytywne	półszytywne	elastyczne (podatne)
czynniki określające nośność układu	wytrzymałość materiału rury	wytrzymałość materiału rury + sztywność gruntu	sztywność obwodowa rury + sztywność gruntu
charakterystyka statyczna układu	rura stanowi samodzielny układ statyczny	→ ←	rura i grunt stanowią współpracujący układ statyczny
dopuszczalne odkształcenia [%]	~0	~0,5	<5
kryteria projektowe	naprężenie	naprężenie/ odkształcenie	odkształcenie + stateczność

RYS. 2. | Założenia do projektowania przewodów w gruncie [1]

Materiał	Wartość naprężenia niszczącego [N/mm ²]	Wartość wydłużenia niszczącego [%]
beton	30	0,2
azbesto-cement	60	0,3
kamionka	10-20	-
żeliwo szare	200	0,4
żeliwo sferoidalne	420	2,0
stal	440	25
GRP-UP	100-320	2-4
PVC-U	55	20
PEHD	23	800
PP	30	700

TAB. 1. | Naprężenia niszczące przy rozciąganiu i wydłużenia niszczące dla różnych materiałów [2]

wości mechaniczne. Polietyleny bimodalne odznaczają się wysoką wytrzymałością na rozciąganie oraz dużą odpornością na szybką i powolną propagację pęknięć.

KLASYFIKACJA MATERIAŁU NA RYNKU EUROPEJSKIM I AMERYKAŃSKIM

Początkowo klasyfikację polietylenu w Europie oparto na gęstości i wskaźniku płynięcia (MFR-Melt Flow Rate).

Rodzaj materiału	Gęstość	MFR
	kg/m ³	g/10 min
LLDPE	910-935	0,1-0,3
LDPE	915-925	0,1-0,5
MDPE	926-940	0,7-1,3
HDPE	941-965	0,2-0,7

TAB. 2. | Podział PE ze względu na gęstość i MFR (na podstawie „Polyethylene Pipes in Applied Engineering” [3])

Podział ten nie charakteryzował w pełni właściwości użytkowych, dlatego wprowadzono klasyfikację w oparciu o normę PN-EN ISO 121624) i parametr MRS (Minimum Required Strength).

σ_{LCL}	MRS	Klasa PE
MPa	MPa	
$6,3 \leq \sigma_{LCL} \leq 7,99$	6,3	PE 63
$8 \leq \sigma_{LCL} \leq 9,99$	8	PE 80
$10 \leq \sigma_{LCL} \leq 11,19$	10	PE 100

TAB. 3. | Klasyfikacja (fragment) wg PN-EN ISO 12162

W normie tej zdefiniowano minimalny współczynnik projektowy dla PE $C_{min}=1,25$ (typowy dla rur wodociagowych i kanalizacji ciśnieniowej). Jednak już normy dedykowane rurom gazowym określają wartość tego współczynnika na poziomie $C_{min}=2,0$. Określono również sposób wyznaczania dopuszczalnych naprężeń projektowych: $\sigma_s = MRS/C$.

Klasa PE	MRS	σ_s
	MPa	MPa
PE 63	6,3	5
PE 80	8	6,3
PE 100	10	8

TAB. 4. | Klasy PE i odpowiadające im naprężenia projektowe (dla rur wodociagowych i kanalizacji ciśnieniowej)

Ogólne wymagania dotyczące systemów przewodów rurowych z polietylenu do zastosowań ciśnieniowych określono w seriach norm PN-EN12201 [5], PN-EN 1555 [6], ISO 4427 [7], ISO 4437 [8].

W normach tych zdefiniowano również zależności pomiędzy: PN, MRS, SDR, S.

Zgodnie z ISO 4065 [9] określono serie rurowe S:

$$S = (SDR - 1) / 2.$$

Wskazano metodykę obliczenia ciśnienia nominalnego PN:

$$PN = \sigma_s / S \text{ [MPa]}$$

lub

$$PN = 20 \sigma_s / (SDR - 1) \text{ [bar]}.$$

Dzięki tej metodyce ustalono również grubości ścianek i tolerancje, a w konsekwencji uzyskano tabele wymiarowe rur.

Nieco odmienne podejście w zakresie klasyfikacji materiału stosowane jest za oceanem. Ponieważ początek rozwoju techniki HDD z użyciem rur PE nastąpił na rynku amerykańskim i część wytycznych opiera się na tamtejszych klasyfikacjach, warto wskazać podobieństwa i różnice pomiędzy dokumentami w stosunku do rynku europejskiego. Skupimy się tu na porównaniu materiału PE100 / PE100RC (Europa) z materiałem PE4710 określonym w specyfikacji ASTM D3350 [10] (Ameryka Północna).

ANALIZA PORÓWNAWCZA

Na rynku amerykańskim klasyfikację naprężeń materiału rurociągowego i długotrwałą wytrzymałość hydrostatyczną określa się na podstawie normy ASTM D 2837 [11] – Hydrostatic Design Basis (HDB), natomiast dla rynku europejskiego – zgodnie z normą ISO 9080 [12] / ISO 12162 – Minimum Required Strength (MRS). Obie metody wykorzystują dane z długotrwałych badań ciśnienia hydrostatycznego próbek rur, ale protokoły ekstrapolacji są nieco inne. Mimo to dla danego materiału rzeczywista długoterminowa wytrzymałość w tych samych warunkach (ciśnienie wewnętrzne i temperatura) będzie taka sama – niezależnie od zastosowanej metody [8] wyznaczania HDB i MRS.

Współczynniki projektowe DF stosowane do HDB i C dla MRS różnią się ze względu na konwencje i założenia, na podstawie których te wartości są określane. Zgodnie z metodologią ASTM współczynniki redukcji naprężeń (współczynniki projektowe) mają na celu uwzględnienie dwóch ogólnych grup warunków.

Grupa 1 bierze pod uwagę zmienne dotyczące produkcji i testowania (normalne odchylenia parametrów materiału, produkcji, wymiarów i procedur oceny). Na przykład dla materiału PE4710 część przemysłu akceptuje wartość $DF_{HDB} = 0,63$ [13], uwzględniając zmienne warunki i margines bezpieczeństwa związany z prawidłową instalacją:

$$HDS = HDB \times DF_{HDB}$$

Grupa 2 bierze pod uwagę zamierzone zastosowanie, instalację, środowisko, temperaturę, występujące zagrożenie, oczekiwaną

żywołność i wybrany stopień niezawodności. Współczynniki projektowe (F_s , F_T , F_c) dla drugiej grupy warunków są określone przez standardy branżowe, agencje kodeksowe i/lub inżyniera projektanta.

Zgodnie z metodologią europejską norma ISO 12162 określa minimalne współczynniki projektowe C_{min} dla różnych termoplastów, służące do określania maksymalnego dopuszczalnego naprężenia projektowego. Klasyfikacja, minimalny współczynnik projektowy i metoda obliczeniowa oparte są na odporności na ciśnienie wewnętrzne dla wody w temperaturze 20°C przez okres min. 50 lat, uzyskanej metodą ekstrapolacji określonej w normie PN-EN ISO 9080.

Klasyfikacje MRS i minimalne wartości współczynników projektowych określone w normie ISO 12162 nie kwalifikują materiału do konkretnego zastosowania. W przypadku szczególnych zastosowań odpowiednie normy produktowe ISO określają dodatkowe wymagania dotyczące właściwości mechanicznych, fizycznych, które muszą zostać spełnione.

Norma ISO 12162 określa wartość $C_{min}=1,25$ dla PE w temperaturze 20°C.

W przypadku aplikacji, gdzie występują dodatkowe naprężenia, inne media (np. gaz), czy temperatura długookresowo przekracza 20°C, norma ISO 12162 zaleca użycie większych wartości C . W związku z tym, że współczynniki projektowe występują wyłącznie w połączeniu z odpowiednim systemem ocen – nie mogą być stosowane zamiennie.

Jednakże, jeżeli rury są wykonane z tego samego materiału i przeznaczone do tego samego zastosowania, przy tych samych metodach montażu, poziomach naprężeń i temperaturach, to będą się one zachowywać tak samo niezależnie od wykorzystanych metod oceny stanu naprężeń ASTM (HDB) lub ISO (MRS) w danym zastosowaniu.

DOBÓR SUROWCÓW – WERYFIKACJA JAKOŚCI

Znając powyższe zależności i przystępując do procesu projektowego dla określonego zadania inwestycyjnego, w celu zapewnienia przewidywalnego zachowa-

nia się rurociągu na etapie jego zabudowy z wykorzystaniem technologii HDD, a następnie bezawaryjnej wieloletniej eksploatacji, rekomenduje się stosowanie surowców klasy PE100 lub PE100RC o potwierdzonych i udokumentowanych właściwościach.

Należy jednak pamiętać, że samo wyspecyfikowanie materiału (rur) z surowca PE 100 zgodnego z ww. normami nie gwarantuje optymalnego doboru. Jednym z powodów są szerokie zakresy wartości parametrów definiujących surowiec lub materiał zawarty w wyprodukowanej z niego rurze, podane w cz.1 i cz. 2 serii norm PN-EN 12201. Np. łatwo weryfikowalna właściwość, jaką jest masowy wskaźnik szybkości płynięcia, MFR (badany wg PN-EN ISO 1133 [14] w temp. 190°C i 50N obciążenia) z mocy ww. normy może się zawierać w przedziale 0,15-1,4 g/10min (wartości skrajne różnią się prawie dziesięciokrotnie). Warto dodać, że tak duży rozrzut dopuszczalnej wartości MFR, zawarty w normie PN-EN 12201-1, wynika z faktu, że są nią objęte również surowce klasy PE40 i PE80, charakteryzujące się znacznie wyższymi wartościami tego wskaźnika. Jednak surowce klasy PE100, tzn. materiały pierwotne (wcześniej nieprzetwarzane), w liczbie ponad 30, objęte dobrowolnym nadzorem w ramach Stowarzyszenia PE100+ (www.pe100plus.com), posiadają w większości przypadków wskaźniki MFR o wartościach mieszczących się w przedziale (0,2±0,3) g/10min.

Parametr ten jest kluczowy w procesie przetwarzania i na etapie zgrzewania rur. Pochodną wartości MFR są wielkości ocenianych wpływek (powstających w procesie zgrzewania doczołowego). Ze względu na zachowanie symetrii i porównywalnej wielkości wpływek zaleca się zgrzewanie materiałów o zbliżonych wartościach MFR. Zakres wartości MFR zalecanych i stosowanych w praktyce to (0,15÷0,4) g/10min (referencja DIN). Wyjątkiem są tu surowce klasy PE100 RT używane do produkcji rur o wysokiej odporności na długookresowe oddziaływanie medium o podwyższonej temperaturze, które mogą mieć MFR o wartościach dochodzących do ok. 0,6 g/10min.

Krótkie badanie weryfikacyjne w labora-

torium akredytowanym pozwala na szybką ocenę jakości surowca (w formie granulatu u producenta rur) bądź w formie materiału pobranego z rur dostarczonych na budowę. Niewielka ilość materiału wystarczy, by przeprowadzić kilka badań i ustalić miarodajną wartość MFR. Uzywanie wartości MFR, wykraczających poza tolerancję określoną normą, może wskazywać na użycie materiału niespełniającego wymagań klasyfikacyjnych dla PE100, czego przyczyną może być np. wcześniejsze przetwarzanie materiału. Im większa wartość MFR, tym większa liczba przetworzeń materiału. Mimo że np. norma PN-EN 12201-2 dopuszcza używanie do produkcji rur materiałów wcześniej przetworzonych (regranulatów, przemiałów z własnych produkcji), to jednak ich wykorzystanie w tak wymagającej technice jak HDD niesie z sobą ryzyka o trudnych do przewidzenia skutkach, dlatego nie zaleca się stosowania takich praktyk.

Innym parametrem rury przydatnym do szybkiej weryfikacji jej jakości jest czas indukcji utleniania, OIT (badany wg PN-EN ISO 11357-6 [15], najczęściej w temp. 210°C). Na dowolnym etapie realizacji projektu, pobierając niewielką próbkę materiału (nie wpłynie to na długookresową wytrzymałość rurociągu), można wykonać badanie OIT i porównać jego wynik z wymaganiami specyfikacji, a także wartością deklarowaną przez producenta. W nowym wydaniu norm serii PN-EN 12201 minimalną wartość OIT obniżono z wartości 20 min do 10 min. Powszechnie stosowane, dobrej jakości surowce klasy PE100 czy PE100RC do zastosowań rurowych mają wartość OIT >35 min. Istnieje też pewna grupa surowców, których wartości OIT (w temp. 210°C) są większe > 50 min. Ponieważ doszło do tak drastycznego obniżenia wartości OIT w normie, w praktyce dla wymagających zastosowań – do jakich należy zaliczyć technikę HDD – zaleca się, aby wartości OIT dla rur były nie mniejsze niż 35 min. (w badaniu, w temp. 210°C).

Rury stosowane w technice HDD powinny być produkowane z materiałów o możliwie najwyższej dostępnej jakości. Istotnym elementem nadzoru nad ich jakością

jest potwierdzanie spełnienia wymagań specyfikacji poprzez wystawienie przez producenta, oprócz standardowej krajowej deklaracji właściwości użytkowych (KDWU), również Świadectwa Odbioru 3.1 (wg PN-EN 10204 [16]) do każdej dostarczanej partii rur.

UNIKATOWY ZESTAW CECH MATERIAŁU

Metoda HDD stawia bardzo wysokie wymagania wobec materiału, z którego jest wykonany rurociąg przewidziany do instalacji. Polietylen spełnia je dzięki korzystnej kombinacji cech, których nie oferuje żaden inny materiał rurowy w takiej aplikacji. Poniżej zestawiono wybrane istotne cechy z punktu widzenia aplikacji bezwykopowej:

- stosunkowo wysoka wytrzymałość mechaniczna – minimalizacja ryzyka uszkodzeń,
- duża elastyczność, niski dopuszczalny promień konstrukcyjny,
- wysoka odporność na ścieranie,
- wysoka odporność chemiczna i korozyjna – brak konieczności stosowania dodatkowych zabezpieczeń,
- gładka powierzchnia zewnętrzna – niska chropowatość redukująca tarcie na kontakcie rura – ściana otworu,
- gładka powierzchnia wewnętrzna – niski współczynnik tarcia hydraulicznego (większa przepustowość przy tym samym przekroju),
- niska masa właściwa – umiarkowane koszty transportu,
- możliwość dostarczania materiału w długich odcinkach lub zwojach,
- łatwość zgrzewania doczołowego – brak konieczności stosowania ciężkiego sprzętu,
- szeroka gama aplikacji – stosowane do wody pitnej, kanalizacji ciśnieniowej i grawitacyjnej, gazu, chemikaliów oraz osłon kablowych,
- umiarkowane koszty pozyskania materiału do zabudowy,
- udowodniona długowieczność instalacji,
- zgodności z powszechnie zaakceptowanymi normami technicznymi.

APLIKACJE NA ŚWIECIE

Globalny rynek rur z polietylenu wyceniany jest na około 24 mld USD, z perspektywą wzrostu do ponad 30 mld USD w 2030 r. W raportach DataIntelto aplikacje w HDD traktowane są jako jeden z głównych czynników wzrostu. HDD nie tylko korzysta z rur HDPE – aktywnie kształtuje ich rynek. Można powiedzieć, że bez tej techniki rozwój segmentu rur HDPE byłby znacznie wolniejszy i mniej innowacyjny. W praktyce polietylen o wysokiej gęstości pozostaje najpopularniejszym materiałem w zdecydowanej większości projektów HDD, dzięki doskonałemu stosunkowi parametrów technicznych do ponoszonych kosztów i łatwości montażu. Niestety nie istnieją publicznie dostępne, dokładne i aktualne statystyki dotyczące udziału polietylenu wyłącznie w instalacjach HDD z podziałem na kontynenty. Dane są fragmentaryczne i pochodzą głównie z raportów branżowych. Szacuje się, że polietylen odpowiada globalnie za około 50–70% wszystkich instalacji rurociągów metodą HDD. W Ameryce Północnej (zwłaszcza w USA) udział ten wzrósł w ostatnim czasie do około 55% wszystkich analizowanych projektów. W amerykańskich instalacjach wod-kan udział rur tego typu sięga nawet 70% [18]. Jest to najlepiej udokumentowany rynek, który od dwóch dekad publikuje wyniki monitoringu. Na kontynencie europejskim polietylen osiągnął w większości zaawansowanych technologicznie krajów poziom przekraczający 60%, a w pewnych segmentach (wodociągi, gazociągi niskiego ciśnienia, kable energetyczne i telekomunikacyjne) zbliżył się nawet do 75% [19]. W Europie duży nacisk kładzie się na trwałość, szczelność instalacji i ekologię. Na azjatyckim rynku udział rur z polietylenu w branży wiertniczej mieści się w przedziale od 50 do 65% i charakteryzuje się tendencją wzrostową napędzaną przez duże projekty infrastrukturalne realizowane w Indiach i Chinach. Cena i szybkość realizacji są na tym rynku kluczowe, stąd masowe zastosowanie HDPE w nowych inwestycjach. W Ameryce Łacińskiej udział rur z tworzyw sztucznych przekracza 45% i jest to trend rosnący dzięki inwestycjom w instalacje

wodne i kanalizacyjne. Region Bliskiego Wschodu i Afryki jest niejednorodny, a szacunkowy udział polietylenu mieści się tutaj w przedziale od 40 do 50%. W krajach Zatoki Perskiej HDPE jest stosowany w instalacjach odsalania i sieciach wodnych.

APLIKACJE W POLSCE

W naszym kraju rury HDPE mają bardzo wysoki udział w instalacjach metodą HDD – szacowany na około 65–70% w segmentach wodociągowo-kanalizacyjnych, gazowych dystrybucyjnych i osłon kablowych [20]. W dużych projektach budowy rurociągów przesyłowych dla gazu i ropy udział stali jest większy, ale polietylen pozostaje dominującym materiałem w mniejszych i średnich przekrociach oraz w aplikacjach komunalnych. Polska należy do liderów w Europie pod względem stosowania PE w technikach bezwykopowych, co wynika z dojrzałego rynku, doświadczeń firm wiertniczych oraz rozwoju norm i technologii. Dynamika wzrostu jest wysoka dzięki inwestycjom w infrastrukturę i preferencji dla rozwiązań ekologicznych i ekonomicznych. Istotną rolę odegrały tutaj fundusze UE przeznaczone na budowę i modernizację sieci, rozwój miast i ochronę środowiska.

TERMINOLOGIA UŻYTA W ARTYKULE

MRS (*Minimum Required Strength*) – minimalna wymagana wytrzymałość materiału, wartość σ_{LCL} zaokrąglona w dół do najbliższej mniejszej wartości z serii R10 lub R20 (szeregi liczb Renarda) wyrażona w [MPa].

σ_{LCL} – dolna granica przedziału ufności w temperaturze 20°C dla 50 lat. Wielkość naprężenia [MPa], która może być rozpatrywana jako właściwość danego materiału i oznacza dolną granicę 97,5% przedziału ufności średniego długotrwałego naprężenia obwodowego, wywołanego hydrostatycznym ciśnieniem wody w temp. 20°C w okresie 50 lat, liczona metodami ekstrapolacyjnymi zgodnie z PN-EN ISO 9080.

SDR (*Standard Dimension Ratio*) – stosunek wymiarów normatywnych $SDR=DN/e$.

DF (*Design Factor*) – współczynnik projektowy (liczba mniejsza niż 1) uwzględniająca zmienne i stopień bezpieczeństwa związane z prawidłowo zainstalowaną rurą ciśnieniową z tworzyw termoplastycznych. Używany do obliczenia HDS w oparciu o HDB.

DF_{HDB} (*Design Factor*) – współczynnik projektowy dla stałego ciśnienia wody o temperaturze 73°F.

FS (*Service Design Factor*) – współczynnik projektowy (liczba mniejsza niż 1) stosowany do HDB, który uwzględnia dodatkowe warunki eksploatacji rurociągu i/lub zapewnia dodatkowy margines bezpieczeństwa ze względu na większe ryzyko lub konsekwencje awarii.

FT (*Service Temperature Factor*) – współczynnik projektowy (liczba mniejsza niż 1) stosowany do HDB, gdy temperatura robocza różni się od temperatury użytej do ustalenia LTHS i gdy interpolacja LTHS nie jest możliwa.

FC (*Service Chemical Factor*) – współczynnik projektowy (liczba mniejsza niż 1) stosowany do HDB, gdy występują skutki działania czynników wewnętrznych lub zewnętrznych warunków środowiskowych (np. narażenie na działanie niektórych substancji chemicznych).

C (*Design Coefficient*) – współczynnik projektowy (liczba większa niż 1) uwzględniający zmienne warunki i wymagany stopień bezpieczeństwa związane z prawidłowo zainstalowaną rurą ciśnieniową z tworzyw termoplastycznych. Używany do wyznaczania σ_s w oparciu o MRS.

HDB (*Hydrostatic Design Basis*) – jedna z szeregu ustalonych wartości naprężeń określonych w Metodzie Badawczej D 2837 „Standardowa Metoda Badawcza do Uzyskiwania Podstaw Projektowania Hydrostatycznego dla Materiałów Rurowych z Tworzyw Sztucznych”.

HDS (*Hydrostatic Design Stress*) – szacowane maksymalne naprężenie rozciągające (psi) w ścianie rury w kierunku obwodowym, wywołane stałym wewnętrznym ciśnieniem hydrostatycznym, które można przykładać z dużą pewnością, że nie dojdzie do uszkodzenia rury: $HDS = HDB \times DF$.

PODSUMOWANIE

W Polsce technika HDD rozwija się dynamicznie od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, a rury z polietylenu wysokiej gęstości (głównie PE100 i PE100-RC) są materiałem bardzo powszechnie stosowanym, szczególnie w instalacjach wodociągowych, kanalizacyjnych ciśnieniowych, gazowych średniego i niskiego ciśnienia oraz jako osłona dla kabli energetycznych i światłowodowych. Rurociągi z polietylenu stały się standardowym rozwiązaniem w technice HDD nie przez przypadek. Są łatwe do zastosowania, trwałe i ekonomiczne, umożliwiając realizację inwestycji, które jeszcze trzydzieści lat temu byłyby niemożliwe lub bardzo kosztowne. Polietylen nie jest tylko materiałem – to kluczowy driver technologiczny, który umożliwił dynamiczny rozwój HDD i całej branży instalacyjnej. Bez niego wiele projektów byłoby droższych, trudniejszych lub wręcz niemożliwych do przeprowadzenia. Dzięki ciągłemu rozwojowi materiałów (nowe generacje polietylenu z powłokami ochronnymi), rozwojowi sprzętu i technologii wiertniczych, perspektywa wzrostu udziału tego materiału w aplikacjach HDD jest niemal pewna. **I**

LITERATURA

- [1] Janson L.-E., Molin J.: Projektowanie i wykonawstwo sieci zewnętrznych z tworzyw sztucznych, VBB Consulting Ltd.
- [2] Stein D.: Grabenloser Leitungsbau (Bezwykopowa budowa przewodów), Ernst & Sohn, Berlin 2003
- [3] Polyethylene Pipes in Applied Engineering. Dinar Grann-Meyer 2005
- [4] PN-EN ISO 12162 Materiały termoplastyczne na rury i kształtki do zastosowań ciśnieniowych – klasyfikacja, oznaczenie i współczynnik projektowy
- [5] PN-EN 12201 cz.1+5 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania wody
- [6] PN-EN 1555 cz.1+5 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych

do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE)

- [7] ISO 4427 cz.1+5 Plastics Piping Systems for Water Supply, and for Drainage and Sewerage Under Pressure – Polyethylene (PE)
- [8] ISO 4437 cz.1+5 Plastics Piping Systems for the Supply of Gaseous Fuels – Polyethylene (PE)
- [9] ISO 4065 Thermoplastics Pipes – Universal Wall Thickness Table.
- [10] ASTM D3350 Standard Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials
- [11] ASTM D 2837 Standard Test Method for Obtaining Hydrostatic Design Basis for Thermoplastic Pipe Materials or Pressure Design Basis for Thermoplastic Pipe Products
- [12] PN-EN ISO 9080 Systemy przewodów rurowych i rur osłonowych z tworzyw sztucznych – oznaczanie przez extrapolację długotrwałej wytrzymałości hydrostatycznej materiałów termoplastycznych w postaci rur
- [13] TR-9/2025, PPI, Recommended Design Factors and Design Coefficients for Thermoplastic Pressure Pipe
- [14] PN-EN ISO 1133 Tworzywa sztuczne – oznaczanie masowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR) i objętościowego wskaźnika szybkości płynięcia (MVR) tworzyw termoplastycznych
- [15] PN-EN ISO 11357-6 – Tworzywa sztuczne – różnicowa kalorymetria skaningowa (DSC) – Część 6: Oznaczanie czasu indukcji utleniania (OIT izotermiczny) oraz temperatury indukcji utleniania (OIT dynamiczny)
- [16] PN-EN 10204 - Wyroby metalowe – Rodzaje dokumentów kontroli
- [17] Plastic Pipe Institute – strona internetowa plasticpipe.org
- [18] Underground Infrastructure Magazine: 27th Annual HDD Survey, June 2025
- [19] Dataintel: HDPE Conduit for Utilities Market. Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast, April 2026
- [20] Robert Osikowicz Engineering: Baza projektów HDD w Polsce 1991 – 2026