

Piotr Szewczyk  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## Badania odporności na oddziaływania punktowe rur polietylenowych warstwowych układanych w gruncie rodzimym, przeznaczonych do przesyłania gazu

### Wprowadzenie

W Polsce polietylenowe sieci gazowe budowane są z powodzeniem już od lat 70. XX w. Pierwsze gazociągi wykonane zostały z rur polietylenowych wytworzonych z polietylenu I generacji, tzw. typ 50. Był to materiał, którego minimalna wymagana wytrzymałość hydrostatyczna wynosiła według aktualnej klasyfikacji 6,3 MPa, tzn. gazociąg po 50 latach użytkowania powinien bezpiecznie przenosić naprężenia obwodowe o takiej wartości. Koniec lat 70. i początek 80. ub. wieku to okres, kiedy pojawił się polietylen klasy PE 80, którego minimalna wytrzymałość hydrostatyczna wynosiła już 8,0 MPa. Przy wykorzystaniu tego materiału można było przesyłać gaz pod ciśnieniem do 0,5 MPa przy założonym współczynniku bezpieczeństwa równym 2.

Kolejne lata to okres prac badawczych zmierzających do opracowania nowych surowców polietylenowych o zwiększonych parametrach wytrzymałościowych, ale bez utraty przy tym podstawowych właściwości, takich jak np. elastyczność, zgrzewalność czy odporność na utlenianie. Efektem prac było stworzenie materiału III generacji, tj. polietylenu klasy PE 100, którego minimalna wymagana wytrzymałość hydrostatyczna wynosi 10,0 MPa. Dla tego materiału uzyskano również zwiększoną odporność na szybką propagację pęknięć, czyli właściwość, która jest drugim kryterium, po minimalnej żądanej wytrzymałości (MRS), branym pod uwagę przy obliczaniu maksymalnego ciśnienia roboczego. Dzięki takim parametrom materiał ten może być obecnie wykorzystywany do budowy sieci gazowych pracujących pod maksymalnym ciśnieniem roboczym równym 1 MPa.

Kolejną ważną cechą polietylenu PE 100 jest jego podwyższona odporność na zjawisko powolnej propagacji pęknięć. Umożliwiło to stosowanie rur polietylenowych do rehabilitacji stalowych czy żeliwnych gazociągów, np. metodą *reliningu*, polegającą na wciągnięciu rury polietylenowej do starego, nieszczelnego gazociągu.

Podstawowe wymagania, które muszą spełniać systemy przewodów rurowych z polietylenu przeznaczone do przesyłania paliw gazowych zawarte są w normie PN-EN 1555-2:2010 [3], natomiast szczegółowe wymagania funkcjonalne – w normie PN-EN 12007-2:2004 [2].

Zgodnie z tą normą rurociąg z polietylenu powinien być układany w gruncie w taki sposób, aby między innymi zapobiec mechanicznym uszkodzeniom rur i kształtek. Wymaga się, aby rury były umieszczane w gruncie przy wykorzystaniu materiału zasypowego zabezpieczającego przed kontaktem z ostrymi krawędziami, np. kamieni.

Wymiana lub naprawa uszkodzonego gazociągu przy zastosowaniu tradycyjnej technologii w miejscach o rozwiniętej infrastrukturze wiąże się ze znacznymi kosztami.

Nowym surowcem stosowanym do produkcji rur polietylenowych jest materiał oznaczany jako PE 100 RC, charakteryzujący się jeszcze wyższą odpornością na powolną propagację pęknięć, dzięki czemu wykonane z niego rury posiadają bardzo wysoką odporność na zarysowania i naciski punktowe.

Rury wykonane z tego materiału wykorzystuje się do budowy gazociągów przy zastosowaniu alternatywnych technik układania, takich jak: przewiert sterowany, płuzenie, bezwykopowa wymiana metodą kruszenia starej

rury (*burstlining*) czy też układanie w gruncie rodzimym. Obecnie brak jest wymagań normatywnych dla tego typu zastosowań. Jedynym dokumentem określającym podstawowe wymagania dla rur warstwowych wykonanych z polietylenu PE 100 RC jest specyfikacja PAS 1075:2009 [1]. Zgodnie z tym dokumentem rury powinny być poddane takim badaniom jak: test FNCT (*Full Notch Creep Test*), test obciążenia punktowego PLC (*Point Loading Test*),

test karbu (*Notch Test*). Zgodnie z PAS 1075:2009 [1] minimalny czas do uszkodzenia próbki w tych testach powinien wynosić 8760 h (1 rok).

W ramach prac realizowanych w Instytucie Nafty i Gazu opracowano metodę badania odporności polietylenowych rur warstwowych na obciążenia punktowe, uwzględniając nacisk gruntu wywierany na gazociąg przez stały element o najbardziej niekorzystnym kształcie.

### Wymagania dla warstwowych rur polietylenowych według normy PN-EN 1555-2:2010

Zgodnie z normą PN-EN 1555-2:2010 [3] do budowy gazociągów mogą być obecnie wykorzystywane rury polietylenowe wytwarzane w trzech rodzajach:

- typ I – rury jednolite wytworzone z jednego rodzaju polietylenu, których zewnętrzna średnica odpowiada wymiarowi nominalnemu,
- typ II – rury z koekstruzyjnie wytłaczanymi warstwami na jednej lub obu powierzchniach (zewnątrznej i/lub wewnętrznej) rury, gdzie wszystkie warstwy mają taką samą wartość MRS, a ich zewnętrzna średnica odpowiada wymiarowi nominalnemu,
- typ III – rury z dodatkową, zdzieralną, ciągłą warstwą termoplastyczną na zewnętrznej powierzchni rury, których zewnętrzna średnica jest większa od wymiaru nominalnego.

Rury wszystkich wymienionych typów powinny posiadać właściwości mechaniczne spełniające standardowe wymagania wytrzymałości hydrostatycznej w 20°C i 80°C, wydłużenia przy zerwaniu oraz odporności na powolną i szybką propagację pęknięć, które szczegółowo przedstawiono w tablicy 4 normy PN-EN 1555-2:2010 [2].

Specyficzne wymagania dla rur warstwowych określono w załącznikach normatywnych do normy PN-EN 1555-2:2010 [3]:

- załącznik A – rury z koekstruzyjnie wytłaczanymi warstwami,
- załącznik B – rury z dodatkową warstwą zdzieralną.

Rury z koekstruzyjnie wytłaczanymi warstwami muszą być dodatkowo odporne na rozwarstwienie, co powinno być obserwowane podczas wszystkich przeprowadzanych badań według tablicy 4 normy PN-EN 1555-2:2010 [3], oraz powinny zachować integralność struktury po ugięciu podczas badań według normy PN-EN ISO 13968:2009 [5].

Dla rur warstwowych z warstwą zdzieralną wymagane jest, oprócz podstawowych warunków zgodnych

z tablicami 1 i 2, aby powłoka była wykonana z materiału termoplastycznego, a po jej nałożeniu nie miała negatywnego wpływu na rurę przewodową. Jeżeli do połączenia warstwy zewnętrznej z rurą przewodową używany jest klej, powinien on być łatwo usuwalny i nie może mieć wpływu na proces łączenia metodą zgrzewania doczołowego i elektrooporowego.

Powłoka rury przewodowej powinna być odporna na odrywanie w okresie przechowywania i instalowania, a jednocześnie ręcznie zdejmowalna przy użyciu prostych narzędzi.

Znakowanie rury z warstwą zdzieralną powinno, oprócz wymaganych informacji zamieszczonych w pkt. 10.2 normy PN-EN 1555-2:2010 [3], zawierać dodatkowo ostrzeżenie, że przed zgrzewaniem doczołowym i elektrooporowym warstwa zewnętrzna powinna być usunięta.

Pomimo że w aktualnym wydaniu normy PN-EN 1555-2:2010 [3] wprowadzono do jej zakresu polietylenowe rury warstwowe, które wykorzystuje się do układania w gruncie rodzimym, w dalszym ciągu norma odwołuje się w zakresie ich instalowania do wymagań zawartych w normie PN-EN 12007-2:2004 [2] (rura powinna być zabezpieczona przed uszkodzeniami mogącymi powstać wskutek stykania się jej z ostrymi krawędziami).

Norma PN-EN 1555-2:2010 [3] nie odnosi się również do nowego materiału, jakim jest polietylen PE 100 RC, z którego produkuje się rury PE jednolite i warstwowe przeznaczone do instalowania przy użyciu alternatywnych technik układania.

Tak więc rury polietylenowe spełniające tylko wymagania normy PN-EN 1555-2:2010 [3] powinny być układane w gruncie z zastosowaniem podsypki i obsypki piaskowej, zabezpieczającej przed ewentualnymi uszkodzeniami mechanicznymi, spowodowanymi bezpośrednim kontaktem rury przewodowej z twardymi i ostrymi przedmiotami.

## Alternatywne techniki układania

Alternatywne techniki układania można wykorzystywać przy budowie nowych gazociągów oraz podczas prowadzonej wymiany czy rehabilitacji gazociągów skorodowanych i nieszczelnych.

Głównymi zaletami stosowania alternatywnych technik układania gazociągów w stosunku do metody tradycyjnej są:

- niższe koszty w przypadku układania gazociągu w gruncie rodzimym (brak konieczności dostarczania na budowę piasku i wywożenia gruntu rodzimego),
- mniejsze utrudnienia w ruchu drogowym (eliminacja kosztów związanych z zajęciem pasa drogowego),
- znaczne ograniczenie kosztów odtwarzania nawierzchni,
- skrócenie czasu trwania prac.

Wśród alternatywnych metod budowy nowych gazociągów stosuje się układanie polietylenowych rur warstwowych wykonanych z zastosowaniem surowca PE 100 RC w gruncie rodzimym przy wykonywaniu wykopów tradycyjnych lub przez płuzenie.

W metodzie płuzenia rura wprowadzana jest nieprzerwanie do wąskiego wykopu wykonanego specjalistycznym pługiem, a następnie zostaje zasypana. Jest to najszybsza metoda budowy gazociągów, a dzięki minimalnej ingerencji w strukturę gruntu jest również przyjazna dla środowiska.

Przy budowie gazociągów w sytuacjach, gdy występują dodatkowe utrudnienia związane z przekraczaniem cieków wodnych, torowisk czy skrzyżowań ulic, dużym udogodnieniem jest możliwość stosowania przewiertów sterowanych.

W pierwszej kolejności w gruncie wykonywany jest otwór, do którego następnie wprowadza się rurę. Z uwagi

na to, że w gruncie mogą znajdować się stałe elementy, takie jak np. kamienie, mogące podczas wciągania rury polietylenowej powodować jej niekontrolowane zarysowanie, jak również oddziaływać punktowo na ściankę rury podczas eksploatacji gazociągu, rury stosowane w tej metodzie powinny charakteryzować się odpornością na tego typu zjawiska.

Inną alternatywną metodą budowy gazociągów z PE jest tzw. *burstlining*. Stosuje się go do wymiany gazociągów stalowych lub żeliwnych. Metoda polega na rozcinaniu lub kruszeniu starego gazociągu przez wciąganie specjalnej głowicy i rozpychaniu fragmentów starego rurociągu, tworząc przestrzeń, w którą wprowadzana jest nowa rura. Ze względu na występowanie w gruncie odłamków ze starego rurociągu, które zarówno podczas montażu, jak i w okresie użytkowania będą negatywnie oddziaływały na ściankę nowej rury, w technice tej mogą być stosowane tylko rury polietylenowe spełniające podwyższone wymagania związane z ich odpornością na zarysowania i oddziaływania punktowe.

Stosowanie przedstawionych alternatywnych technik układania rurociągów jest obecnie możliwe przy wykorzystaniu rur polietylenowych z materiału typu PE 100 RC, wykonanych jako jednolite, warstwowe, o warstwach połączonych koekstruzyjnie lub z dodatkowym płaszczem ochronnym, które charakteryzują się wysoką odpornością na zjawisko powolnej propagacji pęknięć – występujące przy zarysowaniach powierzchni rury, oraz oddziaływań punktowych.

### Analiza stanu obciążenia ścianki rury PE gazociągu ułożonego metodą alternatywną

Zastosowanie alternatywnych technik układania gazociągu w gruncie wiąże się z rezygnacją ze stosowania podsypki i obsypki piaskowej. Będzie on więc narażony dodatkowo na zarysowania powierzchni oraz oddziaływania zewnętrzne, pochodzące np. od kamieni, odłamków starych rur oraz innych twardych elementów, które mogą znajdować się w gruncie.

Przy bezpośrednim kontakcie twardego elementu z powierzchnią rury PE, pod wpływem obciążenia gruntem znajdującym się nad rurociągiem oraz obciążeń wynikających z działania ciśnienia wewnętrznego, w ściance rury będą powstawały dodatkowe naprężenia punktowe. W przypadku niewystarczającej odporności rury na ich działanie mogą doprowadzić do jej pęknięcia.

W miejscu uszkodzenia rury, np. przez jej zarysowanie

lub oddziaływanie nacisku punktowego, powstaje tzw. zjawisko powolnej propagacji pęknięć. Jest to proces długotrwały, który w przypadku nacisku punktowego powstaje wskutek wysokiego poziomu naprężeń lokalnych w okolicy dna uszkodzenia (rysunek 1).

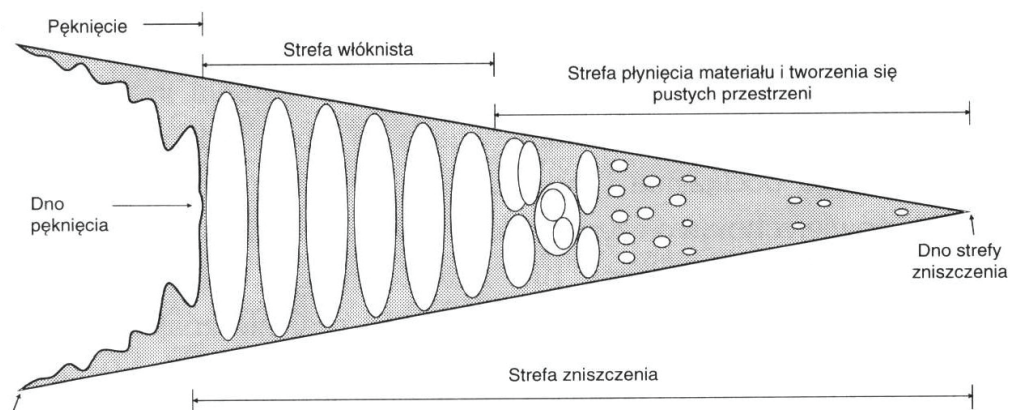
Pod istniejącym defektem wytwarza się strefa uplastycznionego materiału, w której dochodzi do przemieszczeń łańcuchów polimerów i powstawania porów. Z upływem czasu pory te będą się powiększały i będzie dochodziło do pęknięcia włókien prostopadłych do kierunku propagacji pęknięcia. W efekcie dno uszkodzenia będzie przemieszczało się w głąb ścianki rury, co ostatecznie doprowadzi do jej pęknięcia.

Powstanie pęknięcia rury przy określonym nacisku punktowym zależeć będzie od geometrii dna karbu, po-

ziomu naprężeń w ściance rury oraz od odporności rury na zjawisko powolnej propagacji pęknięć. Najbardziej niekorzystne jest ostre zakończenie dna karbu. W tym przypadku występuje największa koncentracja naprężeń, której wynikiem może być pęknięcie rury.

Jeżeli dno karbu będzie zaokrąglone, wówczas poziom naprężeń w strefie uplastycznionej będzie niższy od wartości krytycznej powodującej pęknięcie.

Z uwagi na różnorodność stałych elementów, które mogą mieć bezpośredni kontakt z rurą PE, przy stosowa-



Rys. 1. Schemat zjawiska powolnej propagacji pęknięć [4]

niu alternatywnych technik układania należy przewidzieć wszystkie możliwe rodzaje obciążeń i pod tym kątem opracować metodykę badań tak, aby zapewnić bezpieczną eksploatację sieci gazowej.

### Badania laboratoryjne odporności polietylenowych rur warstwowych na obciążenia punktowe

Właściwością charakteryzującą wytrzymałość polietylenowej rury wielowarstwowej na oddziaływania punktowe pochodzące od stałych elementów znajdujących się w gruncie jest odporność na zjawisko powolnej propagacji pęknięć.

Największe prawdopodobieństwo pęknięcia rury wystąpi wówczas, gdy dno uszkodzenia będzie ostre. Podczas oceny odporności rur PE na zarysowania przeprowadza się badanie odporności na powolną propagację pęknięć – tzw. próbę z karbem – które realizowane jest według metody znormalizowanej. Dno wykonanych karbów, sięgających 20% grubości ścianki, ma ostre zakończenie – czyli najbardziej niekorzystne.

Wśród wymagań zawartych w PAS 1075:2009 [1] dla rur warstwowych przeznaczonych do układania w gruncie metodami alternatywnymi szczególnie nacisk położono na zbadanie odporności rur na zjawisko powolnej propagacji pęknięć według znormalizowanych metod badawczych przy wydłużeniu wymaganego czasu badania w stosunku do wymagań standardowych. Metody te pozwalają stwierdzić, czy rury wykonane z danego materiału charakteryzują się podwyższoną odpornością na powolną propagację pęknięć.

W celu sprawdzenia odporności na oddziaływania punktowe przewidziane jest przeprowadzenie dwóch testów: odporności na obciążenia punktowe (test z kulką) oraz próby penetracji.

W pierwszym teście przyłożone obciążenie punktowe z zastosowaniem stalowej kulki powoduje odkształcenie się ścianki rury, wywołując na wewnętrznej jej powierzchni

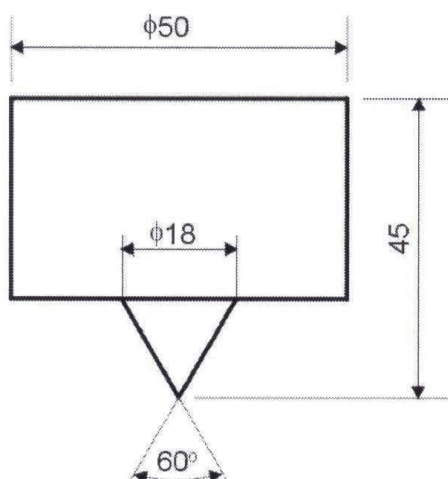
powstanie naprężeń rozciągających, które w przypadku materiałów o niskiej odporności na powolną propagację pęknięć powodują jej uszkodzenie przed wymaganym czasem badania.

W próbie odporności na penetrację narażenie rury na uszkodzenie symulowane jest przez poddanie jej oddziaływaniu grota o stępionym ostrzu z siłą powodującą określone odkształcenie rury. Obciążenie to wywierane jest na badaną próbkę w całym, trwającym 9000 godzin teście, w którym rurę poddaje się stałemu ciśnieniu wewnętrznemu w temperaturze 80°C. Po zakończonym badaniu sprawdzana jest wielkość zagłębienia się grota w ściankę rury.

W żadnym z wymienionych testów próbka rury nie jest poddana punktowemu obciążeniu, które miałyby ostre – czyli najmniej korzystne – zakończenie.

Podczas prowadzonych w INiG badań odporności polietylenowych rur warstwowych na obciążenia punktowe uwzględniony został odpowiedni kształt uszkodzenia oraz wielkość nacisku wynikająca z naporu gruntu znajdującego się nad gazociągiem.

Aby zasymulować najgorsze warunki uszkodzenia powierzchni rury, przyjęto, że stały element znajdujący się nad ruropociągami będzie zakończony ostrym stożkiem o kącie 60° (rysunek 2). Kąt stożka dobrano analogicznie do kąta karbu w teście odporności na powolną propagację pęknięć (próba z karbem). Schemat stanowiska do inicjowania uszkodzenia powierzchni rury przedstawiono na rysunku 3.

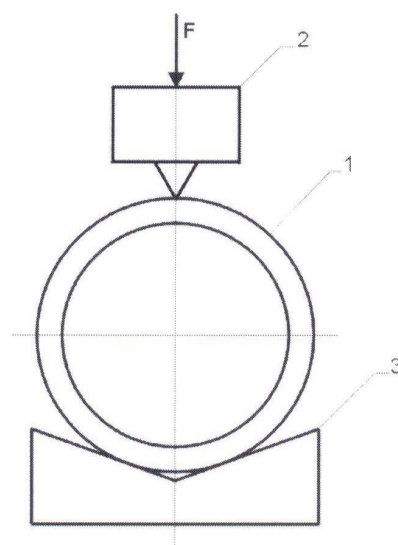


Rys. 2. Kształt i wymiary grotu (wymiarzy w milimetrach)

Wielkość siły nacisku określono na podstawie obciążenia ścianki rury przez grunt znajdujący się nad gazociągiem, przyjmując, że wynosi ono  $28 \text{ kN/m}^2$  [6].

Przy założeniu, że nad gazociągiem będzie znajdował się stały, okrągły element o średnicy 25 cm, siła jego oddziaływania na gazociąg wyniesie 1,4 kN.

Badania laboratoryjne odporności próbek rurowych na obciążenia punktowe polegały na poddaniu ich naciskowi punktowemu z określoną siłą i przy użyciu grotu przez 24



Rys. 3. Schemat stanowiska do badania odporności na obciążenia punktowe: 1 – badana rura, 2 – grot, 3 – pryzma

godziny w temperaturze otoczenia  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . Po tym czasie mierzono wielkość zagłębienia grotu w ściankach rur. Następnie próbki rur z wykonanymi uszkodzeniami poddano badaniu odporności na ciśnienie wewnętrzne w  $80^\circ\text{C}$  w czasie 500 godzin przy ciśnieniu 9,2 bara, analogicznie jak przy teście odporności na powolną propagację pęknięć (próba z karbem).

### Wyniki badań

Badaniami odporności na oddziaływania punktowe objęto próbki o charakterystyce podanej w tabelicy 1.

Po zastosowaniu nacisku punktowego na ściankę rury uzyskano zagłębienia grotu o wartościach zestawionych w tabelicy 2. Pomiarzy realizowano z dokładnością  $\pm 0,01 \text{ mm}$ .

Wyniki badania odporności na ciśnienie wewnętrzne na próbkach z uszkodzeniem wywołanym naciskiem punktowym przedstawiono w tabelicy 3.

Analizując otrzymane wyniki odporności badanych

próbek na oddziaływania punktowe można zaobserwować, że pomimo maksymalnego uszkodzenia ścianki rury do 42% jej grubości, tj. przy ponad dwukrotnie większym uszkodzeniu niż w teście z karbem według PN-EN ISO 13479:2010 [4], próbki nie uległy uszkodzeniu w badaniu odporności na ciśnienie wewnętrzne.

Można więc stwierdzić, że ostry kształt dna uszkodzenia rury nie spowodował zainicjowania zjawiska powolnej propagacji pęknięć.

Tabela 1. Charakterystyka próbek objętych badaniami

Oznaczenie próbki	Opis konstrukcji rury	Rodzaj materiału	Średnica nominalna	Szereg wymiarowy
A	Rura warstwowa o warstwach połączonych koekstruzyjnie	Warstwa zewn./warstwa wewn. PE 100 RC/PE 100 RC	110	SDR 11
B		Warstwa zewn./warstwa wewn. PE 100/PE 100 RC	110	SDR 11
C	Rura warstwowa ze zdejmowalnym płaszczem ochronnym	Rura przewodowa/płaszcz ochronny PE 100 RC/PP	110	SDR 11
D		Rura przewodowa/płaszcz ochronny PE 100/PE 100 RC	110	SDR 11

Tablica 2. Wielkość zagłębienia grota w ściance rury po zastosowaniu nacisku punktowego

Zagłębienie grota							
Rura A		Rura B		Rura C		Rura D	
[mm]	[%] grubości ścianki	[mm]	[%] grubości ścianki	[mm]	[%] grubości ścianki	[mm]	[%] grubości ścianki
4,45	42	4,10	41	3,45	17*	4,70	17*
				Grubość płaszczka: 1,6 mm		Grubość płaszczka: 3,0 mm	

\* Procentową wielkość zagłębienia określono tylko dla rury przewodowej.

Porównując wielkość zagłębienia grota w ściankach rur o różnej konstrukcji, można zauważyć, że najmniejsze uszkodzenia powierzchni rury narażonej na działanie stałych elementów znajdujących się w gruncie będą miały rury wykonane z polietylenu PE 100 RC ze zdejmowalnym płaszczem ochronnym.

Tablica 3. Wyniki badania odporności na ciśnienie wewnętrzne

Oznaczenie próbki	Temperatura badania [°C]	Ciśnienie badania [bar]	Czas badania [godz.]	Wynik badania
A	80 ± 1	9,2 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub> %	500	Brak uszkodzenia
B	80 ± 1	9,2 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub> %	500	Brak uszkodzenia
C	80 ± 1	9,2 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub> %	500	Brak uszkodzenia
D	80 ± 1	9,2 <sup>+2</sup> <sub>-1</sub> %	500	Brak uszkodzenia

### Wnioski

- Analiza wymagań normy PN-EN 1555-2:2010 oraz stanu obciążenia ścianki rury polietylenowej gazociągu ułożonego metodami alternatywnymi wykazała, że polietylenowe rury warstwowe spełniające tylko wymagania wymienionej normy nie mogą być układane w gruncie bez podsypki i obsypki piaskowej, chroniącej rurociąg przed zarysowaniami i naciskami punktowymi.
- Badania próbek rurowych osłabionych punktowym uszkodzeniem według zaproponowanej metody wykazały wysoką odporność polietylenowych rur wielowarstwowych na zjawisko powolnej propagacji pęknięć, występujące w przypadku takich uszkodzeń.
- Najwyższą odporność na obciążenia punktowe wykazały rury wielowarstwowe ze zdejmowalnym płaszczem ochronnym. Rury tego typu powinny się stosować w warunkach, gdy zagrożenie uszkodzenia gazociągu jest największe (np. wymiana starego gazociągu żeliwnego metodą *burstlining*).
- Właściwości polietylenowych rur warstwowych wykonanych z zastosowaniem surowca PE 100 RC umożliwiają ich stosowanie do budowy gazociągów przy wykorzystaniu alternatywnych technik układania, powodując znaczne obniżenie kosztów inwestycji, zwłaszcza w przypadkach pokonywania przeszkód terenowych.

### Literatura

- PAS 1075:2009 *Pipes made from polyethylene for alternative installation techniques – dimensions, technical requirements and testing*.
- PN-EN 12007-2:2004 *Systemy dostawy gazu – Rurociągi o maksymalnym ciśnieniu roboczym do 16 bar włącznie – Część 2: Szczegółowe zalecenia funkcjonalne dotyczące polietylenu (MOP do 10 bar włącznie)*.
- PN-EN 1555-2:2010 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 2: Rury*.
- PN-EN ISO 13479:2010 *Rury z poliolefin do przesyłania płynów – Oznaczanie odporności na propagację pęknięć – Metoda badania powolnego wzrostu pęknięć w rurach z karbem*.
- PN-EN ISO 13968:2009 *Systemy przewodów rurowych i rur osłonowych z tworzyw sztucznych – Rury z tworzyw termoplastycznych – Oznaczanie elastyczności obwodowej*.
- Systemy instalacyjne z tworzyw sztucznych*. Konferencja Naukowo-Techniczna, Poznań, 26–27.02.1997 r.



Mgr inż. Piotr SZEWCZYK – absolwent Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Kierownik Laboratorium Tworzyw Sztucznych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z badaniem wyrobów z tworzyw sztucznych stosowanych do budowy sieci gazowych.