

Anna Wróblewska

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

## Wpływ parametrów zgrzewania na jakość połączeń gazociągów polietylenowych zlokalizowanych na terenie szkód górniczych

W artykule omówiono wymagania dotyczące stosowania rur PE na terenie szkód górniczych. Przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań wytrzymałości zgrzewów doczołowych na rozciąganie i zginanie.

Słowa kluczowe: gazociąg, rury polietylenowe, szkody górnicze.

### The influence of welding parameters on the quality of the connections of polyethylene pipelines located in an area of mining damages

The article discusses the requirements for the application of PE pipes in areas of mining damages as well as the results of the research on the strength of butt welds in tension and bending.

Key words: gas pipeline, polyethylene pipes, mining damage.

### Wprowadzenie

Dużym obszarem zastosowań rur polietylenowych są tereny szkód górniczych, gdzie występują deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją podziemną złóż. W tym przypadku rury polietylenowe wykorzystywane do budowy gazociągów nie wymagają dodatkowych zabezpieczeń w postaci kompensatorów. Ważną cechą rur polietylenowych, decydującą o możliwości zastosowania ich na terenach szkód górniczych, są duże wartości wydłużenia do granicy plastyczności oraz wysoka odporność na obciążenia dynamiczne, co zostało potwierdzone doświadczeniami z praktyki w krajach o dużej aktywności sejsmicznej [1, 2].

Podczas oceny przydatności rur i kształtek do wykorzystania na terenach szkód górniczych istotna jest również ocena wytrzymałości połączeń zgrzewanych. Ze względu na charakter występujących odkształceń połączenia powinny być odporne na siły rozciągające i zginające odpowied-

nie do wartości dopuszczalnych deformacji terenu określonych przez kategorie terenów górniczych.

Standardowo wymagane przez normę PN-EN 1555-5:2012P [3, 9] badania połączeń zgrzewanych doczołowo odnoszą się głównie do oceny charakteru pęknięcia (kruche, ciągliwe) podczas próby rozciągania. Badania przeprowadza się na próbkach zgrzewów wykonanych w warunkach minimalnych i maksymalnych, tj. przy obniżonych i podwyższonych parametrach zgrzewania. Norma nie wymaga prowadzenia badań wytrzymałości połączeń na zginanie i odkształcenia wzdużne.

W literaturze dostępne są informacje o odporności rur i połączeń zgrzewanych na rozciągające i zginające obciążenia dynamiczne. Informacje te dotyczą jednak połączeń o nieznanym parametrach zgrzewania (temperatura, ciśnienie, energia) [1, 2, 5].

## Rury polietylenowe przy budowie gazociągów na terenach górniczych

Gazociągi na terenach górniczych podlegają oddziaływaniu obciążeń stałych i zmiennych wynikających z ciężaru nawierzchni i gruntu zasypowego, ciśnienia transportowanego gazu oraz obciążeń powodowanych odkształceniami gruntu na skutek działalności górniczej. Dodatkowe obciążenia są wywoływane zmianami temperatury otoczenia gazociągów. Przedstawione obciążenia stanowią źródło naprężeń w ściankach rur. Wpływ poszczególnych obciążeń na rodzaj i wielkość naprężeń w rurach jest różny – w gazociągach wysokiego ciśnienia dominuje ciśnienie gazu, natomiast w gazociągach niskiego i średniego ciśnienia istotne są przede wszystkim obciążenia gruntem. Sieci gazowe na terenach górniczych charakteryzują się różnorodną strukturą. Gazociągi przesyłowe są obiektami typu liniowego, natomiast gazociągi dystrybucyjne mają charakter rozgałęziony. Zagłębienie gazociągów wynosi od 0,8 m wzwyż. Grunty, w których są układane gazociągi, mają zróżnicowaną gęstość – od piasków o ciężarze właściwym  $17 \text{ kN/m}^3$  do glin ( $23 \text{ kN/m}^3$ ). Obciążenie naziomu może być albo skoncentrowane (samochód ciężarowy z ładunkiem), albo rozłożone równomiernie. Szczególny rodzaj obciążeń stanowią dla konstrukcji rurociągowych obciążenia wywołane podziemną eksploatacją górniczą złóż, powodującą na powierzchni deformacje terenu.

Tereny górnicze o deformacjach ciągłych, zgodnie z obowiązującą klasyfikacją, dzielą się na kategorie w zależności od spodziewanych ekstremalnych deformacji. Sieci gazowe mogą być budowane na terenach górniczych do IV kategorii włącznie (tablica 1).

Tablica 1. Kategorie górnicze terenów [5]

Kategoria	Ekstremalne wartości deformacji terenu		
	Nachylenie $T$ [mm/m]	Odształcenie poziome $\varepsilon$ [mm/m]	Promień krzywizny $R$ [km]
I	2,5	1,5	20
II	5,0	3,0	12
III	10,0	6,0	6
IV	15,0	9,0	4
V	> 15,0	> 9,0	< 4

Kategorie górnicze charakteryzowane są za pomocą takich parametrów jak nachylenie  $T$ , promień krzywizny  $R$  i odkształcenie poziome  $\varepsilon$ . Zmiany nachylenia mają największy wpływ na rurociągi grawitacyjne (np. kanalizacyjne). W przypadku gazociągów większą rolę odgrywiają odkształcenia poziome i zmiany w kierunku pionowym. Odkształcenia poziome w zależności od usytuowania frontu eksploatacji

oddziałują na gazociąg w kierunku równoległym lub prostopadłym. Pod ich wpływem w ściankach rur mogą powstawać dodatkowe naprężenia wzdłużne oraz poprzeczne.

Zagrożeniem dla sieci gazowych mogą być również odkształcenia pionowe, które powodują powstawanie momentów zginających. Do najistotniejszych należy zaliczyć przede wszystkim naprężenia wzdłużne. Naprężenia zginające nie wpływają w sposób istotny na rury polietylenowe. W przypadku natomiast wykonania zgrzewów doczołowych przy ich niewystarczającej wytrzymałości na zginanie może dojść do ich pęknięcia.

Oceniając odporność gazociągów polietylenowych na dodatkowe naprężenia powstałe wskutek odkształceń na terenach szkód górniczych, należy zwrócić uwagę na ich długostrwałość charakter i wiążące się z nim efekty reologiczne.

W przypadku gazociągów najbardziej istotnym parametrem jest odkształcenie poziome gruntu ( $\varepsilon$ ). Gazociągi mogą być dowolnie usytuowane względem głównych kierunków odkształcenia gruntu. Wpływ eksploatacji górniczej na gazociągi objawia się głównie poprzez:

- odkształcenie gruntu (od 1,5 mm/m w przypadku I kategorii górniczej terenu do 9 mm/m dla kategorii IV; większe odkształcenia obejmuje kategoria V, przy której gazociągi (jak i inne obiekty budowlane) nie mogą być budowane),
- krzywiznę terenu (wypukłą lub wklęsłą),
- deformacje nieciągłe trudne do zdefiniowania i zlokalizowania,
- wstrząsy parasejsmiczne.

W przypadku sieci gazowych z rur polietylenowych na terenach górniczych istotną rolę odgrywa czas występowania obciążeń, wiążący się z efektami reologicznymi, które przejawiają się w postaci dwóch klasycznych procesów:

- pełzania materiału, tj. wzrostu odkształceń przy stałych naprężeniach i stałej temperaturze,
- relaksacji naprężeń, tj. zmniejszania się naprężeń w materiale przy stałych odkształceniach i stałej temperaturze.

Ze względu na to, że maksymalne odkształcenie poziome gruntu na terenach górniczych IV kategorii nie przekracza  $\varepsilon = 1\%$  (9 mm/m), to przy małych prędkościach odkształcenia rury PE ulegają deformacji równomiernie na całej długości, zapewniając integralność sieci gazowej [1, 2].

Aby uzyskać odpowiedni poziom bezpieczeństwa gazociągu PE, należy zwrócić uwagę na połączenia zgrzewane. W standardowych warunkach użytkowania, rury oraz ich połączenia, ze względu na lepko sprężyste właściwości polietylenu, przenoszą głównie obciążenia pochodzące od ciśnienia przesyłanego gazu. Dotyczy to zarówno naprężeń obwodowych, jak i wzdłużnych.

Gazociągi polietylenowe, tj. rury i ich połączenia zgrzewane, oprócz obciążeń wynikających z ciśnienia przesyłanego gazu są dodatkowo narażone na obciążenia wzdłużne i w mniejszym stopniu zginające [4]. Standardowe procedury oceny wytrzymałości połączeń zgrzewanych wymagają jedynie sprawdzenia charakteru pęknięcia w czasie prób wytrzymałościowych (plastyczne, kruche). Ze względu na dodatkowe obciążenia na terenach górniczych istotne jest ponadto sprawdzenie ich rzeczywistej wytrzymałości, które powinno uwzględniać różne warunki zgrzewania, np. temperaturę otoczenia, parametry zgrzewania (minimalne, maksymalne).

Określenie odporności połączeń zgrzewanych na te obciążenia można przeprowadzić przez porównanie ich wytrzymałości z zakładanymi naprężeniami ( $\sigma$ ) z uwzględnieniem maksymalnych odkształceń występujących w IV kategorii szkód górniczych. Należy zaznaczyć, że analiza dotyczyła obciążeń krótkotrwałych, w których istotne jest, aby naprężenia wzdłużne w ściance rury – i tym samym zgrzewanie – nie osiągnęły granicy plastyczności  $R_m$ . Ustalając minimalny poziom dopuszczalnych naprężeń, należy uwzględnić również współczynnik bezpieczeństwa  $C = 2$ .

$$\sigma_{plast} = \frac{R_m}{2} \quad (1)$$

W tym celu wyznaczono naprężenia wzdłużne, które powstają w ściance rury, tj. sumę naprężeń wzdłużnych pochodzących od przesyłanego gazu i od odkształcającego się ośrodka gruntowego. Ze względu na niewielkie wartości naprężeń pochodzących od zmiany temperatury rury można je pominąć. W związku z powyższym powinien być spełniony warunek:

$$\sigma < \sigma_{plast} \quad (2)$$

gdzie:

$\sigma$  – naprężenia wzdłużne, które powstają w ściance rury,  
 $\sigma_{plast}$  – naprężenia plastyczne rury.

### Wykonanie połączeń przy zmiennych parametrach procesu zgrzewania czołowego

Celem realizacji założonego programu pracy przygotowano próbki rurowe z polietylenu – o tej samej klasie i tym samym szeregu wymiarowym (SDR) – które stanowiły materiał do wykonania połączeń zgrzewanych czołowo – wyszczególnione w tabelicy 2.

Tabela 2. Zestawienie rur wytypowanych do badań

Średnica zewnętrzna dn [mm]	Klasa PE	SDR	Grubość ścianki en [mm]
110	PE 100	11	10,0
160	PE 100	11	14,6

Wielkość naprężeń wzdłużnych powstających w rurze polietylenowej w wyniku odkształcenia gruntu zależy od siły tarcia pomiędzy nimi, która będzie się różnić w zależności od rodzaju gruntu i wielkości obciążenia pionowego pochodzącego od ciężaru gruntu. Dla uproszczenia pominięto ten wpływ i poziom naprężeń ustalono przy maksymalnym dopuszczalnym odkształceniu, tj. 1%. Pominięto również wpływ relaksacji naprężeń, w tym przypadku nieistotnej, gdyż jest parametrem, który pozytywnie wpływa na stan naprężeń po długotrwałym obciążeniu, tj. przy stałym odkształceniu wartość naprężeń maleje.

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_p \quad (3)$$

gdzie:

$\sigma_e$  – naprężenia wzdłużne przy odkształceniu 1% [MPa],  
 $\sigma_p$  – naprężenia wzdłużne pochodzące od ciśnienia przesyłanego gazu [MPa],

$$\sigma_p = p \frac{d_w^2}{d_{em}^2 - d_w^2} \quad (4)$$

gdzie:

$d_w$  – średnica wewnętrzna rury [mm],  
 $d_{em}$  – średnia średnica zewnętrzna rury [mm].

Maksymalne ciśnienie robocze w gazociągach z polietylenu wynosi 1 MPa. Tak więc naprężenia wzdłużne w ściance rury wyniosą:

$$\sigma_p = 2 \text{ MPa}$$

Poziomy naprężenia wzdłużnych w ściankach rur PE w zależności od ich odkształceń nie są znane. W celu określenia naprężeń przy odkształceniu 1% przeprowadzono pomiary na stanowisku do badań wytrzymałościowych, poddając wymaganiem odkształceniu próbkę ze zgrzewem, i z uzyskanej wartości siły rozciągającej obliczono naprężenia.

Z wytypowanych rur przygotowano próbki do badań stanowiące proste odcinki rur, ucięte prostopadle do ich osi.

Na podstawie przeprowadzonej analizy procesu zgrzewania doczołowego, jak również opierając się na normie ISO 11414:2009 [6], wykonano połączenia przy zmiennych parametrach zgrzewania (temperatura płyty grzejnej, ciśnienie na powierzchni łączonych elementów, temperatura otoczenia).

Założone parametry zgrzewania próbek rur z polietylenu podano w tabelicy 3.

Z przygotowanych próbek rurowych wykonano zgrzewy doczołowe przy założonych parametrach.

Tablica 3. Parametry zgrzewania próbek rur PE

Średnica nominalna rury PE dn [mm]	Numer zgrzewu	Warunki	Temperatura otoczenia [°C]		Temperatura płyty grzewczej [°C]	Ciśnienie zgrzewania [N/mm <sup>2</sup> ]
			T <sub>nom</sub>			
110	1	normalne	T <sub>nom</sub>	23 ±2	215 ±5	0,15 ±0,02
	2	minimum	T <sub>min</sub>	-5 ±2	205 ±5	0,13 ±0,02
	3	maksimum	T <sub>max</sub>	40 ±2	230 ±5	0,17 ±0,02
160	4	normalne	T <sub>nom</sub>	23 ±2	215 ±5	0,15 ±0,02
	5	minimum	T <sub>min</sub>	-5 ±2	205 ±5	0,13 ±0,02
	6	maksimum	T <sub>max</sub>	40 ±2	230 ±5	0,17 ±0,02

### Wykonanie badań laboratoryjnych przygotowanych połączeń

Wytypowane próbki rurowe z PE poddane zostały badaniom laboratoryjnym obejmującym:

- wytrzymałość zgrzewu doczołowego na rozciąganie,
- próbę zginania.

W celu realizacji założonego programu badań przewidziano wykorzystanie aparatury badawczej stanowiącej wyposażenie Laboratorium Tworzyw Sztucznych INiG – PIB, jak również rozbudowę istniejącego stanowiska badawczego.

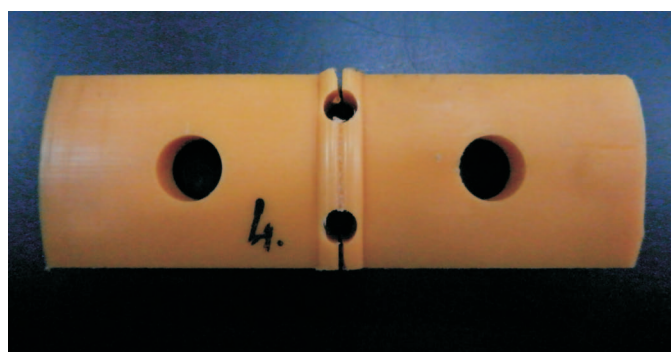
### Wytrzymałość zgrzewu doczołowego na rozciąganie

Pierwszy etap badań obejmował badanie wytrzymałości na rozciąganie zgrzewu doczołowego.

#### Procedura badania

Połączenia zgrzewane czołowo poddano badaniom wytrzymałościowym na rozciąganie zgodnie z [9], w temperaturze 23°C ±2°C.

Sposób przygotowania próbki połączenia zgrzewanego doczołowo do testu rozciągania przedstawia fotografia 1.



Fot. 1. Próbkę z połączenia zgrzewanego doczołowo – do testu na rozciąganie

Próbkę o kształcie jak na fotografii 1 umieszczono w szczękach maszyny wytrzymałościowej i poddano rozciąganiu z prędkością 5 mm/min do czasu wystąpienia pęknięcia w strefie zgrzewu.

W dalszej kolejności kontrolowano wizualnie stan powierzchni w miejscu pęknięcia złącza, stosując sześciostopniową skalę do opisu pęknięcia:

- **A**
  - dużej ciągliwości,
  - ciągliwe,
  - małej ciągliwości.
- **B**
  - na granicy pęknięcia kruche i ciągliwego,
  - pęknięcie kruche,
  - pęknięcie wysokiej kruchości.



Fot. 2. Stanowisko do badania wytrzymałości na rozciąganie zgrzewu doczołowego

Powierzchnie opisane w grupie A dają podstawę do pozytywnego zakwalifikowania połączenia.

Przeprowadzone pomiary na stanowisku do badań wytrzymałości na rozciąganie w maszynie wytrzymałościowej pozwoliły na wyznaczenie wartości siły rozciągającej, na podstawie której obliczono naprężenia. Ponadto w trakcie badania określono granicę plastyczności  $R_m$  testowanych próbek.

**Badania zgrzewów na obciążenia zginające**

W celu przeprowadzenia badań wytrzymałości zgrzewu doczołowego na zginanie konieczne było wykonanie dodatkowego oprzyrządowania do maszyny wytrzymałościowej firmy Zwick. Umożliwiło to zachowanie zgodności przedmiotowych badań z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 12814-1:2002 [7].

**Procedura badania**

Próba zginania polega na poddaniu próbki wyciętej z rury ze zgrzewem odkształceniom ze stałą prędkością, bez zmiany kierunku zginania w czasie badania. Kąt zgięcia – przesunięcie trzpienia i wystąpienie pęknięcia dostarczają informacji o ciągliwości połączenia zgrzewanego i jakości spoiny. Kąt końcowy  $\alpha_f$  (przy końcowym położeniu) oznacza się w przypadku pęknięcia widocznego gołym okiem lub po osiągnięciu największego położenia (przy którym niekoniecznie dochodzi do pęknięcia próbki). Jeśli nie występuje pęknięcie, badanie przerywa się – albo przy osiągnięciu kąta zgięcia, albo po przesunięciu trzpienia o wartość podaną w tablicy 4, aż do złomu próbki względnie do pojawienia się pęknięć. Do oceny przyjmuje się najmniejszy zmierzony kąt zgięcia prób – dla próbek z pęknięciami.

**Wyniki badań i ich analiza**

Wyniki przeprowadzonych badań wytrzymałości zgrzewu doczołowego na rozciąganie zestawiono w tablicach 7 i 8.

Jak wynika z tablic 7 i 8, postawione wymagania normatywne wynikające z normy [9] zostały spełnione dla wszystkich próbek.

Nie odnotowano różnic w charakterze pęknięcia w strefie zgrzewu połączeń zgrzewanych doczołowo przy zmiennych parametrach zgrzewania (temperatura płyty grzejnej, ciśnienie na powierzchni łączonych elementów, temperatura otoczenia).

Kontrolując wizualnie stan powierzchni w miejscu pęknięcia złącza, stwierdzono pęknięcia – o charakterze ciągliwym.

W tablicy 9 przedstawiono względną zmianę granicy plastyczności  $R_m$  zgrzewów wykonywanych w warunkach ekstremalnych do zgrzewu wykonanego w warunkach normalnych.

Zarówno w przypadku zgrzewów wykonanych w warunkach minimalnych, jak i maksymalnych odnotowano

Tablica 4. Przesunięcie trzpienia odpowiadające kątowi zgięcia 160°

Grubość próbki $a$ [mm]	Przesunięcie trzpienia $H$ [mm]
$5 < a \leq 15$	70

$a$  – grubości ścianki rury PE

Próbki do badań należy wyciąć prostopadłe do zgrzewu i obrobić mechanicznie co najmniej osiem godzin po zgrzewaniu. Próbek nie należy poddawać obróbce cieplnej ani prostowaniu mechanicznemu.

Wymiary próbek i sposób przeprowadzenia badań wytypowanych rur o średnicach zewnętrznych: dn 110 mm i dn 160 mm podano w tablicy 5.

Tablica 5. Wymiary próbek i sposób przeprowadzenia badań

Typ badania	Próbka do badań $a$ [mm]	Odległość pomiędzy podporami $D_a$ [mm]	Średnica końcówki trzpienia [mm]
Zginanie lica i grani	$5 < a \leq 15$	100	12,5

Próbki należy kondycjonować w temperaturze  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ . Badanie przeprowadzono w temperaturze  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ .

Prędkość przesuwu trzpienia dla danego tworzywa – polietylenu podano w tablicy 6.

Tablica 6. Prędkość przesuwu trzpienia

Materiał	Prędkość [mm/min]
PE	50

niewielki spadek wartości granicy plastyczności, nieprzekraczający 3%. Oznacza to, że zmienne parametry zgrzewania nie wpływają w sposób znaczący na wytrzymałość połączeń zgrzewanych.

W celu wyznaczenia granicy plastyczności dla badanych rur polietylenowych klasy PE 100 przeprowadzono badanie właściwości mechanicznych podczas rozciągania według normy PN-EN ISO 6259-1:2003 [10].

Próbki w postaci wiosełek o określonym kształcie i wymiarach wycięto (metodą obróbki maszynowej w kierunku wzdłużnym do osi) ze zgrzewanych rur.

Badanie przeprowadzono na stanowisku do badań wytrzymałościowych.

Jak wynika z tablic 9 i 10, wytrzymałość połączeń zgrzewanych wykonanych przy zmiennych parametrach zgrzewania jest porównywalna z wytrzymałością uzyskaną dla rur.

Tablica 7. Wyniki badań odporności zgrzewu doczołowego na rozciąganie dla rury dn 110 mm

Numer zgrzewu	Parametry badania		Wyniki prób		
	temperatura [°C]	prędkość testowania [mm/min]	wartość średnia $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	wymagane	uzyskane
1	23 ±2	5	23,93	ciągliwe	ciągliwe
2	23 ±2	5	24,23	ciągliwe	ciągliwe
3	23 ±2	5	24,07	ciągliwe	ciągliwe

Tablica 8. Wyniki badań odporności zgrzewu doczołowego na rozciąganie dla rury dn 160 mm

Numer zgrzewu	Parametry badania		Wyniki prób		
	temperatura [°C]	prędkość testowania [mm/min]	wartość średnia $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	wymagane	uzyskane
4	23 ±2	5	23,94	ciągliwe	ciągliwe
5	23 ±2	5	24,60	ciągliwe	ciągliwe
6	23 ±2	5	24,30	ciągliwe	ciągliwe

Tablica 9. Względna zmiana wartości granicy plastyczności  $R_m$ 

	Względna zmiana procentowa $R_m$ dn 110	Względna zmiana procentowa $R_m$ dn 160
	[%]	
Zgrzew w warunkach minimalnych	-2,88	-2,69
Zgrzew w warunkach maksymalnych	-0,67	-1,22

Tablica 10. Wyniki badań granicy plastyczności

Średnica nominalna rury PE dn [mm]	Wartość średnia $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]
110	22,96
160	23,37

Oznacza to, że zmienne parametry zgrzewania nie są czynnikiem powodującym osłabienie połączenia.

Następnie wyznaczono wartość naprężeń wzdłużnych w gazociągu obciążonym ciśnieniem równym 1,0 MPa, przy założonym odkształceniu  $\varepsilon = 1\%$ .

Tablica 11. Wyniki naprężeń wzdłużnych przy odkształceniu 1% dla rur dn 110 mm

Nr próbki	Odkształcenie $\varepsilon$ [%]	Naprężenie $\sigma_\varepsilon$ [MPa]
1	1	3,54
2		3,61
3		3,58
4		3,56
5		3,60
Wartość średnia		3,58

Jak już wspomniano, poziomy naprężeń wzdłużnych w ściankach rur PE w zależności od ich odkształceń nie są znane. W celu określenia naprężeń  $\sigma_\varepsilon$  przy odkształceniu 1% przeprowadzono pomiary na maszynie wytrzymałościowej, poddając wymaganemu odkształceniu próbkę rur dn 110 mm w postaci odcinka rury ze zgrzewem, i z uzyskanej wartości siły rozciągającej obliczono naprężenia. Wyniki zaprezentowano w tablicy 11.

Obliczenie naprężeń wzdłużnych pochodzących od ciśnienia gazu:

$$\sigma_p = p \frac{d_w^2}{d_{em}^2 - d_w^2} \quad (5)$$

$$\sigma_p = 2 \text{ MPa}$$

Naprężenia wzdłużne w ściance rury wywołane ciśnieniem gazu i odkształceniem 1% wyniosą:

$$\sigma = \sigma_\varepsilon + \sigma_p = 3,58 + 2,0 = 5,58 \text{ MPa} \quad (6)$$

Wyznaczenie naprężeń  $\sigma_{plast}$ :

$$\sigma_{plast} = \frac{R_m}{2} \quad (7)$$

W tablicy 12 zamieszczono wartości granicy plastyczności  $R_m$  zgrzewów przy uwzględnieniu współczynnika bezpieczeństwa  $C = 2$ .

Jak wynika z powyższego, wyliczone wartości naprężeń wzdłużnych  $\sigma$  gazociągu obciążonego ciśnieniem 1 MPa odkształconego o 1% są mniejsze od dopuszczalnej wartości granicy plastyczności  $\sigma_{plast}$ . Tak więc warunek  $\sigma < \sigma_{plast}$  został spełniony. Na fotografii 3 przedstawiono próbkę po badaniu.

Otrzymane wyniki badań odporności zgrzewu doczołowego na zginanie przedstawiono w tablicach 13 i 14.

Tablica 12. Wyniki wartości granicy plastyczności  $R_m$  zgrzewów przy uwzględnieniu współczynnika bezpieczeństwa  $C = 2$

Numer zgrzewu	$R_m/2$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	11,96
2	12,11
3	12,03
4	11,97
5	12,30
6	12,15



Fot. 3. Próbkę ze zgrzewu doczołowego nr 6 – warunki maksymalne – z rury dn 160 mm, SDR 11, PE 100 po badaniu odporności na rozciąganie zgrzewu doczołowego

Tablica 13. Wyniki badań odporności na zginanie zgrzewów z rur dn 110 mm

Numer zgrzewu	$H$ [mm]	$F_{max}$ [N]	Wartość średnia $F_{max}$ [N]	Wynik badania	
Zgrzew nr 1	70	390,2	413,26 ±16,89	brak uszkodzenia spoiny	pozytywny
		421,0			
		411,6			
		422,8			
		420,7			
Zgrzew nr 2	70	417,4	418,30 ±19,03	brak uszkodzenia spoiny	pozytywny
		433,4			
		408,5			
		398,7			
		433,5			
Zgrzew nr 3	70	436,4	429,0 ±13,78	brak uszkodzenia spoiny	pozytywny
		421,8			
		412,9			
		437,4			
		436,5			

Tablica 14. Wyniki badań odporności na zginanie zgrzewów z rur dn 160 mm

Numer zgrzewu	$H$ [mm]	$F_{max}$ [N]	Wartość średnia $F_{max}$ [N]	Wynik badania	
Zgrzew nr 4	70	1452,8	1539,9 ±104,83	brak uszkodzenia spoiny	pozytywny
		1550,4			
		1460,9			
		1653,0			
		1582,2			
Zgrzew nr 5	70	1581,0	1529,6 ±75,97	brak uszkodzenia spoiny	pozytywny
		1444,0			
		1557,1			
		1579,0			
		1487,0			
Zgrzew nr 6	70	1581,2	1616,3 ±53,26	brak uszkodzenia spoiny	pozytywny
		1661,9			
		1570,1			
		1659,4			
		1608,7			

W trakcie badań przy przesunięciu trzpienia o wartość podaną w tabelicy 4 (czyli po osiągnięciu największego położenia trzpienia) nie wystąpiło pęknięcie, w związku z tym badanie przerwano. Po ich zakończeniu nie stwierdzono pęknięcia widocznego gołym okiem. Jak wynika z tablic 13 i 14, postawione wymagania zostały spełnione dla wszystkich

próbek – uzyskano pozytywne wyniki badania. Nie odnotowano pęknięcia w strefie zgrzewu połączeń zgrzewanych doczołowo przy zmiennych parametrach zgrzewania (temperatura płyty grzejnej, ciśnienie na powierzchni łączonych elementów, temperatura otoczenia). Kontrolując wizualnie stan powierzchni w miejscu złącza, nie stwierdzono pęknięć ani rys.

### Stwierdzenia i wnioski

1. Połączenia zgrzewane czołowo wykazały podczas próby rozciągania (przy zmiennych parametrach: warunki normalne, minimalne, maksymalne) we wszystkich przypadkach wytrzymałość spełniającą określone w normach wymagania.
2. Zarówno w przypadku zgrzewów wykonanych w warunkach minimalnych, jak i maksymalnych uzyskano niewielki spadek wartości granicy plastyczności, nieprzekraczający 3%. Oznacza to, że zmienne parametry zgrzewania nie wpływają znacząco na wytrzymałość połączeń zgrzewanych.
3. Odnosząc wartości granicy plastyczności wyznaczone dla próbek zgrzewów wykonanych w warunkach minimalnych i maksymalnych do dopuszczalnej wartości naprężeń wzdłużnych w ścianie rury polietylenowej poddanej działaniu maksymalnego odkształcenia  $\varepsilon = 1\%$ , można również stwierdzić, że zmienne warunki zgrzewania nie mają wpływu na uzyskanie połączeń o wymaganej wytrzymałości i mogą być stosowane na terenach zaliczanych do IV kategorii szkód górniczych.
4. W trakcie badań odporności na zginanie zgrzewów nie odnotowano pęknięcia w strefie zgrzewu połączeń zgrzewanych doczołowo przy zmiennych parametrach zgrzewania.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 10, s. 768–775

Artykuł nadesłano do Redakcji 1.12.2014 r. Zatwierdzono do druku 6.05.2015 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Wpływ parametrów zgrzewania na jakość połączeń zgrzewanych rur i kształtek PE w aspekcie wykorzystania ich do budowy gazociągów na terenach szkód górniczych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW, nr archiwalny: DK-4100-0008/14, nr zlecenia: 0008/GP/14.

### Literatura

- [1] Klupa A., Czopek J. J., Wroblewska A.: *Zastosowanie tworzyw sztucznych do budowy i renowacji sieci gazowych*. [W:] Problemi naftogazowej promislivosti, Zbirknik naukovych prac, Kiev 2006, s. 361–374.
- [2] Ohasawa R. Kawanishi N.: *Damage Conditions of the Great Hanshin Earthquake*. Meeting of the Committee „C” IGU, Helsinki, May 1995.
- [3] Szewczyk P.: *Badania odpornosci na oddziaływania punktowe rur polietylenowych warstwowych układanych w gruncie rodzimym, przeznaczonych do przesyłania gazu*. Nafta-Gaz 2012, nr 9, s. 611–616.
- [4] Szewczyk P.: *Stabilizacja ciśnienia i temperatury czynnika próby przed rozpoczęciem badania szczelności gazociągów polietylenowych*. Nafta-Gaz 2014, nr 5, s. 307–312.
- [5] *Tymczasowe wytyczne projektowania, budowy i użytkowania sieci gazowych na terenach górniczych*. Dokumentacja wewnętrzna Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, Kraków 1987, nr zlecenia wewn. 26/1988.
- [7] PN-EN 12814-1:2002 *Badania połączeń spawanych w półproduktach z tworzyw termoplastycznych. Część 1: Próba zginania*.
- [8] PN-EN 1555-3:2013P *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych. Polietylen (PE). Część 3: Kształtki*.
- [9] PN-EN 1555-5:2012P *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych. Polietylen (PE). Część 5: Przydatność systemu do stosowania*.
- [10] PN-EN ISO 6259-1:2003P *Rury z tworzyw termoplastycznych. Oznaczanie właściwości mechanicznych podczas rozciągania. Część 1: Ogólna metoda badania*.

### Akty prawne i normatywne

- [6] ISO 11414:2009 *Plastics pipes and fittings. Preparation of polyethylene (PE) pipe/pipe or pipe/fitting test piece assemblies by butt fusion*.



Mgr inż. Anna WRÓBLEWSKA  
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Przesyłania i Dystrybucji Gazu – Laboratorium Tworzyw Sztucznych.  
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków  
E-mail: wroblewska@inig.pl