

## Możliwości stosowania rur z poliamidu PA 12 do budowy gazociągów na terenach szkód górniczych

### The use of PA12 polyamide pipes for the construction of gas pipelines in mining damage areas

Anna Wróblewska

*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

**STRESZCZENIE:** W Polsce przy projektowaniu, budowie, przebudowie sieci gazowych stosuje się regulacje zawarte w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 r., poz. 640). Jako materiały do budowy gazociągów rozporządzenie dopuszcza do stosowania stal i polietylen. Polietylen może być wykorzystywany do budowy gazociągów o maksymalnym ciśnieniu roboczym MOP 1,0 MPa. Budowa gazociągów powyżej tego ciśnienia realizowana jest więc wyłącznie z rur stalowych. W zakresie ciśnień do 1,6 MPa włącznie można by zastosować rury z poliamidu PA 12. Wymagania dla systemów rurociągów budowanych z poliamidu PA określone są w normach z serii ISO 16486 *Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels – Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing*. Normy te nie podają wytycznych postępowania w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji gazociągów zlokalizowanych na terenach szkód górniczych. Niniejszy artykuł poświęcono ocenie możliwości stosowania rur z poliamidu PA 12 do budowy gazociągów na terenach szkód górniczych. W artykule przedstawiono opracowaną metodykę badań, uwzględniającą odkształcenia terenu występujące na terenach szkód górniczych powodujące naprężenia wzdłużne i zginające. Metodyka ta pozwala ocenić wpływ obciążeń i oddziaływań na wytrzymałość rurociągów z poliamidu PA 12. Uzyskane w trakcie badań wyniki ciśnienia przy granicy plastyczności  $p$  ( $R_e$ ) porównano z wynikami otrzymanymi dla próbek niepoddanych zginaniu. Wyniki badań potwierdziły, że rury PA 12 oraz ich połączenia zgrzewane elektrooporowo i połączenia mechaniczne (PA/STAL) nie wykazały obniżenia wytrzymałości rur poddanych odkształceniom wzdłużnym i zginającym. Potwierdza to, że istnieje możliwość ich wykorzystania do budowy gazociągów na terenach szkód górniczych do IV kategorii terenów górniczych. Natomiast w przypadku ewentualnego stosowania połączeń zgrzewanych doczołowo konieczne jest wcześniejsze przeprowadzenie dalszych badań i analiz mających na celu potwierdzenie ich wytrzymałości na działanie sił osiowych. Wykorzystanie w Polsce systemów rurowych z poliamidu do przesyłania gazu wymaga wprowadzenia zmian w prawie. Przeprowadzone w ramach pracy badania i uzyskane wyniki mogą stanowić kolejny krok do wprowadzenia nowych regulacji prawnych.

Słowa kluczowe: gazociąg, rury poliamidowe, szkody górnicze.

**ABSTRACT:** In Poland, when designing, constructing and reconstructing gas networks, the regulations contained in the Regulation of the Minister of Economy of 26 April 2013 on technical conditions to be met by gas networks and their location apply (Journal of Laws 2013 item 640). The regulation regarding the materials used for the construction of gas pipelines allows for steel and polyethylene. Polyethylene can be used to build gas pipelines with a maximum working pressure of 1.0 MPa MOP. Construction of gas pipelines above this pressure is therefore carried out exclusively using steel pipes. In the pressure range up to and including 1.6 MPa, polyamide PA 12 pipes can be used. Requirements for piping systems built of PA polyamide are specified in the standards of the ISO 16486 *Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels – Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing*. These standards do not provide guidelines for the design, construction and operation of gas pipelines located in mining damage areas. This article is devoted to the assessment of the possibility of using polyamide PA12 pipes for the construction of gas pipelines in mining damage areas. The article presents a developed research methodology that takes into account ground deformations occurring in mining damage areas causing longitudinal and bending stresses. The developed test methodology allows to assess the influence of loads and impacts on the strength of pipelines made of polyamide PA12. The pressure results obtained during the test at the yield point  $p$  ( $R_e$ ) were compared with the results obtained for the samples not subjected to bending. The results obtained from the conducted tests confirmed that PA12 pipes and their electrofusion welded joints and mechanical joints (PA/STAL) did not show a decrease in the strength of pipes subjected to longitudinal and bending deformations. This confirms that their use for the construction of gas pipelines in mining damage areas, in mining areas up to category IV, is possible. If it is possible to use butt-welded joints, it is

Autor do korespondencji: A. Wróblewska, e-mail: [anna.wroblewska@inig.pl](mailto:anna.wroblewska@inig.pl)

Artykuł nadesłano do Redakcji: 23.02.2020 r. Zatwierdzono do druku: 19.05.2020 r.

necessary to conduct further tests and analyses to confirm their resistance to axial forces. The use of polyamide piping systems for gas transmission in Poland requires changes in the law. The research and results obtained as part of the work may constitute another step towards the introduction of new legal regulations.

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

## Wstęp

Liczne zalety materiałów polimerowych, takie jak mały ciężar właściwy (lekkość tworzywa), odporność na korozję oraz duża wytrzymałość mechaniczna, sprawiły, że tradycyjne tworzywa metaliczne coraz częściej zastępuje się polimerami (Kijeński i Polaczek, 2004). Dotyczy to przede wszystkim zastosowań jako elementy budowy maszyn, rur, obudów urządzeń, a także opakowań, a więc dotyczących dziedzin, w których tworzywa polimerowe zajmują obecnie dominującą pozycję (Lewandowski et al., 2006).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 r., poz. 640) nie dopuszcza do budowy gazociągów rur z innych materiałów niż stal i polietylen, z tym że polietylen może być stosowany do budowy gazociągów o maksymalnym ciśnieniu roboczym MOP 1,0 MPa. Budowa gazociągów powyżej tego ciśnienia realizowana jest wyłącznie z rur stalowych (Szewczyk, 2017b). Potencjalnie dużym obszarem zastosowania dla rur z PA 12 jest budowa gazociągów o maksymalnym ciśnieniu roboczym powyżej 1,0 MPa, do 1,6 MPa (Jaworski i Szewczyk, 2016; Wróblewska, 2019), można byłoby je wykorzystać do budowy gazociągów o MOP 1,6 MPa.

Gazociągi z tworzyw sztucznych podczas eksploatacji podlegają przede wszystkim obciążeniom od ciśnienia przesyłanego gazu, obciążeniom wynikającym ze zmian temperatury oraz obciążeniom zewnętrznym, szczególnie na terenach niestabilnych (np. szkód górniczych). Dla wyrobów z poliamidu przeznaczonych do przesyłania gazu w normach serii ISO 16486 *Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels – Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing* zawarte są wymagania jakościowe w stosunku do materiałów poliamidowych PA 12 oraz wyprodukowanych z nich rur, kształtek oraz armatury i ich połączeń oraz zalecenia dotyczące projektowania i budowy. Natomiast w opracowywanym projekcie normy prCEN TS12007-X:2018 *Gas infrastructure. Pipelines for maximum operating pressure up to and including 16 bar. Part X: Specific functional requirements for polyamide (MOP up to and including 16 bar)* zawarte są wymagania funkcjonalne dotyczące sieci

gazowych budowanych z poliamidu. Określa on zakres stosowania rur poliamidowych do rozprowadzania gazu. Zebrano tu wymagania dotyczące budowy sieci gazowych z poliamidu oraz zawarto kryteria oceny jakości połączeń zgrzewanych doczołowo i elektrooporowo. Dokument ten powinien być używany w połączeniu z krajowymi standardami i kodeksami postępowania. Normy te nie podają wytycznych postępowania w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji gazociągów zlokalizowanych na terenach szkód górniczych. W przypadku gazociągów z polietylenu mamy duże doświadczenia praktycznego użytkowania gazociągów na terenach niestabilnych w różnych krajach. Gazociągi z poliamidu natomiast dotychczas budowane były w takich krajach jak Brazylia, Indonezja, Kolumbia, Meksyk, USA, Niemcy. Z dostępnych informacji nie wynika, jakie są dopuszczalne odkształcenia terenu, przy których można budować gazociągi z PA 12.

W Polsce od lat 90. XX wieku do budowy sieci gazowych niskiego i średniego ciśnienia na terenach górniczych stosuje się rury polietylenowe łączone przez zgrzewanie doczołowe i elektrooporowe (Jaworski i Szewczyk, 2018). Rurociągi takie posiadają konstrukcję ciągłą, ale podatność materiału pozwala na przejmowanie górniczych deformacji ośrodka gruntowego bez konieczności stosowania kompensatorów. Wynika to z odkształcalności materiału (Kłupa, 1998), dla którego dopuszczalne odkształcenia w sieciach gazowych wynoszą 3% (Barczyński, 2006). W związku z tym, że – tak jak wspomniano wyżej – dla rur poliamidowych nie są znane dopuszczalne odkształcenia terenu, przy których można budować gazociągi z PA 12, na potrzeby niniejszej pracy przyjęto, że dopuszczalne odkształcenia w sieciach gazowych z poliamidu wynoszą również 3%.

**Tabela 1.** Maksymalna deformacja terenu dla poszczególnych kategorii terenów górniczych (Instrukcja ITB nr 416/2006)

**Table 1.** Categories of mining areas in terms of continuous deformations of the area

Kategoria	Ekstremalne wartości deformacji terenu		
	Nachylenie $T$	Odkształcenie poziome $\varepsilon$	Promień krzywizny $R$
	[mm/m]	[mm/m]	[km]
0	0,5	0,5	40
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

Tereny górnicze o deformacjach ciągłych zgodnie z obowiązującą klasyfikacją dzieli się na kategorie w zależności od spodziewanych ekstremalnych deformacji. Kolejne stopnie kategorii mówią o poziomie zagrożenia powierzchni uszkodzeniami górnictwami – im wyższa kategoria, tym większe jest zagrożenie deformacjami (Instrukcja ITB, 2006). Według powyższej klasyfikacji rozróżnia się sześć kategorii terenów górniczych (Popiołek, 2009) (tabela 1). Sieci gazowe oraz inne obiekty budowlane mogą być budowane na terenach górniczych do IV kategorii włącznie (Kawulok, 2003).

Dla osiągnięcia założonego celu pracy, opierając się na przeprowadzonej analizie obciążeń na terenach szkód górniczych, opracowano metodykę badań uwzględniającą odkształcenia terenu powodujące naprężenia wzdłużne i zginające.

1. Pierwsza część badań obejmowała sprawdzenie wytrzymałości na obciążenia wzdłużne poprzez wykonanie następujących kroków:

A. Doprowadzenie próbek rur oraz rur i ich połączeń do uzyskania wzdłużnego odkształcenia trwałego większego niż odkształcenia występujące na terenach szkód górniczych, które wynoszą 1%. Założono, że próbki rur oraz rur i ich połączeń zostaną poddane rozciąganiu tak, aby uzyskać po zwolnieniu obciążenia, odkształcenia trwałe na poziomie 3%.

Próbki zostały poddane rozciąganiu z prędkością 5 mm/min w taki sposób, aby nie przekroczyć granicy plastyczności. W tym celu najpierw wyznaczono dla rur wydłużenie do granicy plastyczności na maszynie wytrzymałościowej.

B. Oznaczenie wytrzymałości rur niepoddanych odkształceniom na ciśnienie wewnętrzne poprzez doprowadzenie ich do zniszczenia. Miarą wyznaczonej wytrzymałości było ciśnienie przy granicy plastyczności  $p_{(Re)}$ .

C. Oznaczenie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbek poddanych rozciąganiu, dla których uzyskano odkształcenia trwałe wynoszące 3%.

D. Porównanie wyników uzyskanych dla próbek niepoddanych odkształceniom z wynikami uzyskanymi dla próbek odkształcanych.

2. Druga część badań obejmowała sprawdzenie wytrzymałości na obciążenia zginające poprzez wykonanie następujących kroków:

A. Poddanie próbek rur oraz rur i ich połączeń działaniu momentu zginającego. Wielkość momentu zginającego była wynikiem odkształcenia próbek w taki sposób, aby uzyskać promień gięcia  $r = 20 d_n$  mniejszy niż maksymalny dopuszczalny dla terenów górniczych IV kategorii. W tym celu wykorzystano metodykę badań według normy PN-EN ISO 3503:2015-04, w której promień gięcia wynosi  $20 d_n$ , a próbki utrzymuje się pod

obciążeniem momentu zginającego przez 1 godzinę. Na potrzeby niniejszej pracy próbki były poddawane obciążeniu przez 24 godziny w celu uzyskania trwałego odkształcenia.

B. Oznaczenie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne rur poddanych obciążeniu zginającemu poprzez doprowadzenie do ich zniszczenia, tak jak dla rur poddanych rozciąganiu.

C. Porównanie wyników badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne uzyskane dla próbek poddanych odkształceniom z wynikami uzyskanymi dla próbek niepoddawanych odkształceniom.

### Materiał do badań

Rury z poliamidu PA 12 oferowane są obecnie w zakresie średnic  $d_n$  32–160 mm. Rury i inne elementy systemu z PA 12: kształtki elektrooporowe i doczołowe oraz połączenia PA/stal – produkowane są na konkretne zamówienie pod daną inwestycję. Ponieważ inwestycje z zastosowaniem rur poliamidowych realizowane są dość rzadko, w związku z tym istnieją duże ograniczenia z dostępnością tych produktów. Dlatego też do badań wytypowano średnicę, która jest najczęściej stosowana w przypadku rur poliamidowych i jest dostępna w mniejszych zamówieniach.

Do badań wytypowano próbki: rury, kształtki: mufy elektrooporowe, zaślepki doczołowe, połączenia PA/stal o wymiarze rury PA  $d_n$  110 mm, wykonane w szeregu wymiarowym SDR 11.

Wszystkie zestawione powyżej elementy poliamidowe (cały asortyment elementów z PA 12) wyprodukowane zostały z surowca PA-U12 180. W celu realizacji założonego programu pracy postanowiono przebadać próbki złożone z rur, rur ze zgrzewami doczołowymi, rur ze zgrzewami elektrooporowymi oraz rur z połączeniami mechanicznymi PA/stal.

Przygotowanie próbek do badań obejmowało wykonanie 17 połączeń odcinków: rur o średnicach nominalnych  $d_n$  110 mm, rur ze zgrzewami doczołowymi i rur ze zgrzewami elektrooporowymi oraz z połączeniami mechanicznymi – połączenia PA/stal.

Połączenia wykonano metodą zgrzewania doczołowego i elektrooporowego. Na końcach połączonych odcinków rur dogrzano połączenia PA/stal, tak aby możliwe było zamocowanie próbek na stanowisku określania odporności na działania sił osiowych oraz na stanowisku do zginania. Na rurach stalowych połączeń PA/stal przeznaczonych do poddania oddziaływaniu sił osiowych zostały wykonane otwory o średnicach 25 mm, natomiast do próby zginania wykorzystano połączenia PA/stal z kołnierzem płaskim

wyprodukowane eksperymentalnie na zamówienie przez polskiego producenta połączeń PE/stal. Kształtki doczołowe – zaślepki stosowane były przede wszystkim do zaślepienia próbek w trakcie badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej.

### Wykonanie połączeń zgrzewanych doczołowo i elektrooporowo

Wykonanie połączeń zgrzewanych doczołowo wymagało zastosowania procedur zgrzewania przeznaczonych dla poliamidu PA 12. Proces zgrzewania doczołowego rur PA 12 jest analogiczny do procesu zgrzewania rur polietylenowych. Różnice dotyczą głównie parametrów zgrzewania takich jak temperatura, nacisk jednostkowy na powierzchni zgrzewanych elementów, czasy trwania poszczególnych operacji. Ze względu na właściwości materiału PA 12 różnice występują również w sposobie przygotowania elementów do zgrzewania.

Sposób wykonywania połączeń zgrzewanych rur i kształtek z PA 12 opisany został w normie ISO 16486-6:2012. Operację łączenia należy przeprowadzać zgodnie z procedurą pisemną operatora rurociągu uwzględniającą procedury przedstawione w normie ISO 16486-5:2012, załącznik A – w zakresie połączeń doczołowych i załącznik B – w zakresie połączeń elektrooporowych. Ponieważ w Polsce rury z PA 12 nie są wykorzystywane do budowy gazociągów, brak jest więc takich procedur, a z uwagi na to, że norma ISO 16486-6:2012 w niektórych miejscach nie precyzuje szczegółowych warunków prowadzenia procesu (np. czas nagrzewania powierzchni czołowych rur określany jest jako przedział czasu), podczas przygotowywania próbek ze zgrzewem doczołowym zastosowano procedury zgrzewania doczołowego rur PA 12 opracowane w ramach pracy statutowej

pt. *Weryfikacja dostępnych procedur prowadzenia prób szczelności rurociągów z tworzyw sztucznych o MOP = 1,6 MPa* (Szewczyk, 2017a, 2018).

Zastosowane parametry zgrzewania zostały przedstawione w tabelach 2 i 3.

Przygotowując próbki przebadane w trakcie realizacji niniejszej pracy, wykonywano połączenia zgrzewane doczołowo,

**Tabela 2.** Parametry zgrzewania doczołowego rur PA 12 według procedury przedstawionej w specyfikacji DVS 2207-16:2010 zastosowane podczas przygotowywania próbek do badań

Parametr	Wartość	Jednostka
	rura PA 12, $d_n$ 110, SDR 11	
Temperatura zgrzewania	230 ± 10	°C
Ciśnienie, $p_1$ (wraz z ciśnieniem oporów ruchu)	30*	bar
Wysokość wypływkę wstępnej, $B_1$	1,5	mm
Czas, $t_1$	czas do uzyskania wymaganej wypływkę wstępnej	s
Ciśnienie, $p_2$	0	bar
Czas, $t_2$	120	s
Czas, $t_3$	<8	s
Czas, $t_4$	<8	s
Ciśnienie, $p_3$	30*	bar
Czas, $t_5$	16	min
Czas, $t_6$	20	min

\* Wartości ciśnienia wyznaczone na zgrzewarce TM 160 produkcji firmy Georg Fischer odpowiadające naciskowi jednostkowemu 0,25 N/mm<sup>2</sup> dla danej powierzchni przekroju rury PA 12.

**Tabela 3.** Parametry zgrzewania doczołowego rur PA 12 według procedury przedstawionej w normie ISO 16486-5:2012 dla rur  $d_n$  110 mm, SDR 11

**Table 3.** Parameters of butt welding of PA 12 pipes according to the procedure set out in ISO 16486-5:2012 for  $d_n$  110 mm, SDR 11 pipes

Parametr	Wartość	Jednostka
	rura PA 12, $d_n$ 110, SDR 11	
Temperatura zgrzewania	240 ± 20	°C
Ciśnienie, $p_1$ (wraz z ciśnieniem oporów ruchu)	34*	bar
Wysokość wypływkę wstępnej, $B_1$	1,5	mm
Czas, $t_1$	czas do uzyskania wymaganej wypływkę wstępnej	s
Ciśnienie, $p_2$	0	bar
Czas, $t_2$	70–120	s
Czas, $t_3$	6–8	s
Czas, $t_4$	6–8	s
Ciśnienie, $p_3$	34*	bar
Czas, $t_5$	10–16	min
Czas, $t_6$	min.: 15 max.: 20	min min

\* Ciśnienie to jest ciśnieniem granicznym i jest związane z  $d_n$ ,  $e_n$  i zastosowanym sprzętem do zgrzewania doczołowego.



stosując parametry zgrzewania doczołowego rur PA 12 według procedury przedstawionej w specyfikacji DVS 2207-16:2010, zamieszczone w tabeli 6.

### Zgrzewanie elektrooporowe

Zgrzewanie elektrooporowe poliamidu nie różni się od dobrze znanego procesu zgrzewania elektrooporowego elementów z polietylenu. Łączenie elementów następuje na skutek dostarczenia do strefy grzania odpowiedniej porcji energii. Uzyskuje się to poprzez określenie napięcia i czasu przepływu prądu (stałego) przez zwoje drutu oporowego o odpowiednio dobranej rezystancji. Prąd do kształtki doprowadzany jest przez kołki stykowe.

W celu realizacji założonego programu pracy przygotowano następujące zestawy, na których były realizowane badania:

- zgrzewy doczołowe wykonane z prostych odcinków rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm, z których przygotowano próbki do badania wytrzymałości zgrzewu doczołowego na rozciąganie;
- proste odcinki rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm;
- proste odcinki rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm z wykonanym połączeniem metodą zgrzewania doczołowego;
- proste odcinki rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm z wykonanym połączeniem metodą zgrzewania doczołowego, z dogrzanym metodą zgrzewania doczołowego połączeniem mechanicznym PA/stal;
- proste odcinki rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm z wykonanym połączeniem metodą zgrzewania elektrooporowego z zastosowaniem muf elektrooporowych  $d_n$  110 mm;
- proste odcinki rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm z dogrzanym metodą zgrzewania doczołowego połączeniem mechanicznym PA/stal;
- proste odcinki rur o średnicy nominalnej  $d_n$  110 mm z wykonanym połączeniem metodą zgrzewania elektrooporowego z zastosowaniem muf elektrooporowych  $d_n$  110 mm, z dogrzanym metodą zgrzewania doczołowego połączeniem mechanicznym PA/stal.

**Tabela 4.** Parametry zgrzewania elektrooporowego zastosowane w trakcie przygotowywania próbek przy zgrzewaniu muf elektrooporowych  $d_n$  110 SDR 11

**Table 4.** Parameters of electrofusion welding used during sample preparation for welding of dn 110 SDR11 electrofusion couplings

Parametr	Wartość	Jednostka
Napięcie	30	V
Czas zgrzewania	300	s
Czas studzenia	30	min

**Tabela 5.** Zestawienie i charakterystyka próbek do badań

**Table 5.** Summary and characteristics of test samples

Nr próbki	Wymiary rury PA		Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia
	$d_n$	SDR		
1	110	11	rura	brak
2	110	11	rura	
3	110	11	rura + zgrzew doczołowy	
4	110	11	rura + zgrzew doczołowy+ PA/stal	
5	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy	
6	110	11	rura	odkształcenie wzdłużne
7	110	11	rura	
8	110	11	rura	
9	110	11	rura + zgrzew doczołowy	
10	110	11	rura + zgrzew doczołowy + PA/stal	
11	110	11	rura + zgrzew doczołowy	
12	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy	
13	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy	
14	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal	
15	110	11	rura + PA/stal	
16	110	11	zaślepka + rura + zgrzew doczołowy + PA/stal	obciążenie zginające
17	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal	

### Badania laboratoryjne rur poliamidowych i połączeń rur PA 12 oraz wyniki badań laboratoryjnych

Dla osiągnięcia założonego celu pracy, na podstawie wykonanej analizy obciążeń na terenach szkód górniczych oraz opracowanej metodyki badań, przeprowadzono następujące badania laboratoryjne według niżej przedstawionego schematu.

Pierwsza część badań, obejmująca sprawdzenie wytrzymałości na obciążenia wzdłużne, zrealizowana była w oparciu o następujące badania:

#### Określenie cech wytrzymałościowych materiału rur PA 12

Pierwszy etap badań obejmował sprawdzenie cech wytrzymałościowych materiału rur poliamidu PA 12 podczas próby statycznego rozciągania według PN-EN ISO 6259-1:2015-05 na

maszynie wytrzymałościowej. W trakcie tego badania zostało wyznaczone wydłużenie do granicy plastyczności ( $\varepsilon-R_{eH}$ ), granica plastyczności ( $R_{eH}$ ) oraz wytrzymałość na rozciąganie ( $R_m$ ).

Z próbki rurowej nr 1 (patrz tabela 5) przygotowano metodą obróbki maszynowej w kierunku wzdłużnym do osi rur – próbki do badań o określonym kształcie wiosełek i odpowiednich wymiarach.

Wyniki przeprowadzonych badań oznaczenia wytrzymałości na rozciąganie zestawiono w tabeli 6.

W trakcie badania uzyskano wydłużenie do granicy plastyczności  $\varepsilon-R_{eH}$  równe 14% i ustalono, że w trakcie odkształcania wzdłużnego próbek rurowych oraz próbek rurowych ze zgrzewami i połączeniami mechanicznymi PA/stal próbki będą rozciągane o 10%.

#### Badanie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej

W pierwszej kolejności badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej wykonano na próbkach niepoddawanych oddziaływaniu odkształceń (rozciąganiu i zginaniu). Próbki rurowe oraz ich połączenia poddano badaniu wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne do zniszczenia w wannie termostaticznej w temperaturze 20°C (tabela 5, numery próbek 2–5).

Zestawienie próbek do badania przedstawiono w tabeli 7.

W trakcie badania rejestrowano ciśnienie. Uzyskane wyniki ciśnienia przy granicy plastyczności  $p_{(Re)}$  i ciśnienia rozrywającego  $p_{(rozr)}$  przedstawiono w tabeli 8.

Otrzymane wyniki ciśnienia przy granicy plastyczności  $p_{(Re)}$  i ciśnienia rozrywającego  $p_{(rozryw)}$  dla próbek nieobciążanych posłużyły jako układ odniesienia w ocenie wyników badań próbek rurowych i ich połączeń poddanych działaniu sił osiowych oraz momentów zginających.

Uszkodzenia próbek podczas próby hydrostatycznej miały dla wszystkich próbek charakter pękania ciągłego (przykładowa próbka została przedstawiona na zdjęciu – rys. 1).

**Tabela 6.** Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie

**Table 6.** Tensile test results

Średnica nominalna rury PA $d_n$	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ – wartość średnia	Granica plastyczności $R_{eH}$ – wartość średnia	Wydłużenie do granicy plastyczności – wartość średnia $\varepsilon-R_{eH}$
[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[%]
110	41,56	33,89	14,00

**Tabela 7.** Zestawienie i charakterystyka próbek niepoddawanych oddziaływaniu odkształceń do badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne do zniszczenia

**Table 7.** Summary and characteristics of samples not subjected to strain for internal pressure test until destruction

Nr próbki	Wymiary rury PA		Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia wstępnego
	$d_n$	SDR		
2	110	11	rura	brak
3	110	11	rura + zgrzew doczołowy	
4	110	11	rura + zgrzew doczołowy + PA/stal	
5	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy	



**Rys. 1.** Próbką rury ze zgrzewem doczołowym – z rur PA 12  $d_n$  110 mm, SDR 11 po badaniu odporności na ciśnienie wewnętrzne do zniszczenia

**Fig. 1.** Sample of butt-welded pipes – from PA12  $d_n$  110 mm, SDR11 pipes, after testing the resistance to internal pressure until destruction

**Tabela 8.** Zestawienie wyników badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej dla próbek rurowych oraz próbek rurowych ze zgrzewami niepoddawanych obciążeniom

**Table 8.** Summary of results of tests of resistance to internal pressure during destructive test for pipe samples tubular and pipe samples with welds not subjected to loads

Nr próbki	Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia wstępnego	Próba niszcząca		Wartość średnia	
			$p_{(Re)}$	$p_{(rozryw)}$	$p_{(Re)}$	$p_{(rozryw)}$
			[bar]	[bar]	[bar]	[bar]
2	rura	brak	85,8	35,1	85,65	35,6
3	rura + zgrzew doczołowy		85,8	36,5		
4	rura + zgrzew doczołowy + PA/stal		86,4	36,1		
5	rura + zgrzew elektrooporowy		84,6	34,7		

#### Odkształcenia wzdłużne próbek rurowych oraz próbek rurowych ze zgrzewami i połączeniami mechanicznymi PA/stal

Odkształcenia wzdłużne przygotowanych próbek uzyskiwano na stanowisku badawczym przeznaczonym do sprawdzania odporności elementów sieci gazowej na działanie sił osiowych – na tzw. zrywarcie do rur.



**Rys. 2.** Próbkę ze zgrzewem elektrooporowym – z mufy i rur PA 12  $d_n$  110 mm, SDR 11, przygotowaną do badania sił osiowych

**Fig. 2.** Sample with electrofusion welding – from PA12  $d_n$  110 mm, SDR11 couplings and pipes prepared for testing axial forces

**Tabela 9.** Zestawienie i charakterystyka próbek poddanych odkształceniu wzdłużnemu

**Table 9.** Summary and characteristics of samples subjected to longitudinal deformation

Nr próbki	Rodzaj próbki
6	rura
7	rura
8	rura
9	rura + zgrzew doczołowy
10	rura + zgrzew doczołowy + PA/stal
11	rura + zgrzew doczołowy
12	rura + zgrzew elektrooporowy
13	rura + zgrzew elektrooporowy
14	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal

Po przygotowaniu próbek rurowych według zestawienia przedstawionego w tabeli 5 (numery próbek 6–14) próbki poddano działaniu sił osiowych na zrywarkę do rur – rozciąganiu z prędkością około 5 mm/min, aż do uzyskania odkształcenia wzdłużnego wynoszącego 10% długości pierwotnej (długość swobodna pomiędzy uchwytami zrywarki).

Po osiągnięciu założonego wydłużenia próbek utrzymywano je w tym stanie przez 1 godzinę, pozwalając na relaksację

**Tabela 10.** Odkształcenie trwale dla próbek poddanych odkształceniu wzdłużnemu

**Table 10.** Permanent deformation for samples subjected to longitudinal deformation

Nr próbki	Rodzaj próbki	Pierwotna długość próbki	Trwale odkształcenie	Trwale odkształcenie
		[mm]	[mm]	[%]
6	rura	121,7	3,55	2,92
7	rura	127,2	3,80	2,99
8	rura	125,0	3,63	2,90
9	rura + zgrzew doczołowy	88,0	2,55	2,90
10	rura + zgrzew doczołowy + PA/stal	118,2	3,40	2,88
11	rura + zgrzew doczołowy	119,7	3,45	2,88
12	rura + zgrzew elektrooporowy	135,2	3,90	2,88
13	rura + zgrzew elektrooporowy	131,7	3,80	2,89
14	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal	98,6	2,85	2,89

naprężeń, a następnie usuwano próbki z uchwytów zrywarki. Badanie przeprowadzano w temperaturze  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . Po usunięciu próbek ze stanowiska badawczego po czasie 24 godzin wykonywano pomiary odkształceń trwałych.



**Rys. 3.** Próbkę ze zgrzewem doczołowym – z rury PA 12  $d_n$  110 mm, SDR 11, w trakcie badania sił osiowych

**Fig. 3.** Butt-welded sample – from PA12  $d_n$  110 mm, SDR11 pipe, during axial force test



**Rys. 4.** Próbkę ze zgrzewem elektrooporowym – z mufy i rur PA 12  $d_n$  110 mm, SDR 11, w trakcie badania sił osiowych

**Fig. 4.** Sample with electrofusion welding – from PA12  $d_n$  110 mm, SDR11 couplings and pipes during axial forces testing

### Badanie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbek poddanych obciążeniom rozciągającym

W następnej kolejności na próbkach odkształconych wzdłużnie, według zestawienia przedstawionego w tabeli 10 (numery próbek 6–14), wykonano badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej w temperaturze  $20^\circ\text{C}$ . Uzyskane wyniki porównano z wynikami badań otrzymanymi dla próbek nieobciążanych.

W trakcie badania rejestrowano ciśnienie próby przy granicy plastyczności i ciśnienie



rozrywające oraz dokonywano oceny typu uszkodzenia (ciągliwe, kruche) – wynikiem pozytywnym było uszkodzenie ciągliwe. Otrzymane wyniki ciśnienia przy granicy plastyczności  $p_{(Re)}$  i ciśnienia rozrywającego  $p_{(rozr)}$  przedstawiono w tabeli 11.

Uzyskane wyniki ciśnienia przy granicy plastyczności  $p_{(Re)}$  i ciśnienia rozrywającego  $p_{(rozryw)}$  dla próbek nieobciążanych posłużyły jako układ odniesienia w ocenie wyników badań próbek rurowych i ich połączeń poddanych działaniu sił osiowych oraz momentów zginających.

Uszkodzenia próbek podczas próby hydrostatycznej miały dla wszystkich próbek charakter pęknięcia ciągliwego (przykładowa próbka została przedstawiona na zdjęciu – rys. 6). Uzyskane wyniki dla próbek nieobciążanych posłużyły do porównania z wynikami otrzymanymi dla próbek poddawanych odkształceniom.

Druga część badań, obejmująca sprawdzenie wytrzymałości na obciążenia zginające, przeprowadzana była w oparciu o następujące badania:

**Tabela 11.** Zestawienie wyników badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej dla próbek rurowych i próbek rurowych ze zgrzewami poddawanych odkształceniom wzdłużnym

**Table 11.** Summary of the results of tests for internal pressure strength at the destructive test for pipe samples and pipe samples with welds subjected to longitudinal deformation

Nr próbki	Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia wstępnego	Próba niszcząca		Ciśnienia średnie	
			$p_{(Re)}$	$p_{(rozryw)}$	$p_{(Re)}$	$p_{(rozryw)}$
			[bar]	[bar]	[bar]	[bar]
6	rura	odkształcenie wzdłużne	85,2	30,8	84,74	34,64
7	rura		84,2	33,3		
8	rura		81,7	34,3		
9	rura + zgrzew doczołowy		86,7	33,2		
10	rura + zgrzew doczołowy+ PA/stal		85,1	46,5		
11	rura + zgrzew doczołowy		85,0	30,7		
12	rura + zgrzew elektrooporowy		84,5	34,4		
13	rura + zgrzew elektrooporowy		83,9	34,6		
14	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal		86,4	34,0		

### Odkształcenia zginające próbek rurowych i próbek rurowych ze zgrzewami

Ustalona procedura badania polega na wygięciu próbek składających się z rury oraz rury i badanego połączenia. Po osiągnięciu założonego kąta wygięcia próbek zgiętą rurę i połączenie utrzymywano w tym stanie przez 24 godziny, a następnie usuwano próbki ze stanowiska badawczego. Badanie przeprowadzano w temperaturze  $23 \pm 2\text{C}$ . Próbka poddana była oddziaływaniu sił wynikających ze zginania rury na całej jej długości wzdłuż odpowiedniego profilu, zapewniającego promień gięcia, który wyznaczony był jako funkcja średnicy i jej nominalnego ciśnienia. Badanie wykonywano na podstawie normy PN-EN ISO 3503:2015-04. Wielkość momentu



**Rys. 5.** Próbka rurowa ze zgrzewem doczołowym po oddziaływaniu sił osiowych w trakcie badania odporności na ciśnienie wewnętrzne do zniszczenia

**Fig. 5.** Pipe sample with butt welding after axial forces impact during internal pressure resistance test until destruction



**Rys. 6.** Próbka ze zgrzewu elektrooporowego – z rur i mufy PA 12  $d_n$  110 mm, SDR 11, po badaniu odporności na ciśnienie wewnętrzne do zniszczenia

**Fig. 6.** Sample from electrofusion welding – from PA12  $d_n$  110 mm, SDR11 pipes and couplings after testing the resistance to internal pressure until destruction



zginającego jest wynikiem odkształcenia próbek w taki sposób, aby uzyskać promień gięcia  $r = 20 d_n$ .



Rys. 7. Próbkę ze zgrzewem elektrooporowym w trakcie zginania

Fig. 7. Sample with electrofusion welding during bending

**Badanie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne próbek poddanych obciążeniom zginającym**

W tych badaniach w celu określenia wpływu odkształceń zginających na próbki rurowe i próbki rurowe z połączeniami (tabela 5, numery próbek 15–17) przeprowadzono badanie odporności na ciśnienie wewnętrzne w temperaturze 20°C do zniszczenia, tak jak w przypadku rur oraz rur i połączeń poddanych rozciąganiu.

Zestawienie próbek do badania przedstawiono w tabeli 13.

W trakcie badania rejestrowano ciśnienie próby, a po badaniu dokonywano oceny typu uszkodzenia (ciągliwe, kruche) – wynikiem pozytywnym jest uszkodzenie ciągliwe. Uzyskane wyniki ciśnienia przy granicy plastyczności i ciśnienia rozrywającego przedstawiono w tabeli 14.

Uszkodzenia próbek poddanych wcześniej odkształceniom zginającym podczas próby miały we wszystkich przypadkach charakter pęknięcia ciągłego (rys. 9).

Tabela 13. Zestawienie i charakterystyka próbek do badań

Table 13. Summary and characteristics of test samples

Nr próbki	Wymiary rury PA		Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia wstępnego
	$d_n$	SDR		
15	110	11	rura + PA/stal	obciążenie zginające
16	110	11	zaślepka + rura + zgrzew doczołowy + PA/stal	
17	110	11	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal	

Tabela 14. Zestawienie wyników badań wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej dla próbek rurowych i próbek rurowych ze zgrzewami poddawanych obciążeniom zginającym

Table 14. Summary of the results of tests for internal pressure strength during the destructive test for pipe samples and pipe samples with welds subjected to bending loads

Nr próbki	Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia wstępnego	Próba niszcząca		Ciśnienia średnie	
			$P_{(Re)}$	$P_{(rozryw)}$	$P_{(Re)}$	$P_{(rozryw)}$
			[bar]	[bar]	[bar]	[bar]
15	rura + PA/stal	obciążenie zginające	85,5	36,3	84,43	35,6
16	zaślepka + rura + zgrzew doczołowy + PA/stal		84,1	43,1		
17	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal		83,7	27,4		

Tabela 12. Zestawienie i charakterystyka próbek poddanych zginaniu

Table 12. Summary and characteristics of samples subjected to bending

Nr próbki	Rodzaj próbki	Rodzaj obciążenia wstępnego
15	rura + PA/stal	obciążenie zginające
16	rura + zgrzew doczołowy + PA/stal	
17	rura + zgrzew elektrooporowy + PA/stal	



Rys. 8. Próbkę ze zgrzewem doczołowym po zginaniu przygotowaną do badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej

Fig. 8. The butt-weld sample after bending prepared for testing the resistance to internal pressure during the destructive test



Rys. 9. Przykładowa próbkę ze zgrzewem doczołowym obciążona zginaniem po badaniu wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne przy próbie niszczącej

Fig. 9. Example of a butt weld sample subjected to bending after an internal pressure strength test during the destructive test

## Analiza wyników

Podczas wywoływania w próbkach rurowych i w próbkach z połączeniami zgrzewanymi odkształceń wzdłużnych do poziomu 10% długości pierwotnej z prędkością 5 mm/min – dla wszystkich próbek obserwowano równomierne odkształcenie się próbek, bez lokalnych przewężeń.

Podczas oceny charakteru uszkodzenia w trakcie badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne do zniszczenia – uszkodzenia w przypadku wszystkich próbek miały charakter pęknięcia ciągliwego.

Na podstawie uzyskanych wyników badań próbek poddanych odkształceniom wzdłużnym potwierdzono, że wytrzymałość rur i ich połączeń zgrzewanych elektrooporowo i doczołowo oraz połączeń mechanicznych (PA/stal) poddanych trzykrotnie większym odkształceniom wzdłużnym w stosunku do maksymalnych odkształceń na terenach szkód górniczych uległa niewielkiemu obniżeniu, tj. ~1%.

Analizując otrzymane wyniki odporności badanych próbek na odkształcenia zginające, zaobserwowano zmniejszenie ich wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne o ~1,5%. Wyniki badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne wskazują, że obciążenia zginające nie mają istotnego wpływu na wytrzymałość rur i ich połączeń.

W trakcie badań odporności na zginanie próbek nie odnotowano pęknięcia w strefie zgrzewów elektrooporowych ani doczołowych dla żadnej z próbek.

Odształcenia wzdłużne nieprzekraczające granicy plastyczności materiału rur nie powodują istotnego obniżenia cech wytrzymałościowych. Maksymalne prędkości odkształceń poziomych w IV kategorii górniczej wynoszą 0,1 mm/m/dobę. Zastosowana podczas badań prędkość rozciągania próbek wynosząca 5 mm/min stanowiła znacząco surowsze warunki w porównaniu z występującymi w rzeczywistości.

W przypadku połączeń zgrzewanych doczołowo zalecane jest dalsze prowadzenie ich badań na większej liczbie próbek i analiza uzyskanych wyników.

## Wyniki i wnioski

Z uzyskanych wyników badań oraz ich analizy wynika, że rury z poliamidu PA 12 oraz ich połączenia zgrzewane elektrooporowo, jak również połączenia mechaniczne PA/stal można by stosować do budowy gazociągów na terenach zaliczanych do IV kategorii szkód górniczych. W przypadku łączenia rur PA 12 metodą zgrzewania doczołowego wymagane jest prowadzenie dalszych badań i analiz otrzymanych wyników.

Uzyskane w trakcie realizacji pracy wyniki badań potwierdziły, że rury PA 12 oraz ich połączenia zgrzewane elektrooporowo i połączenia mechaniczne (PA/stal) nie wykazały obniżenia wytrzymałości po poddaniu ich odkształceniom wzdłużnym i zginającym. Potwierdza to, że ich wykorzystanie do budowy gazociągów na terenach szkód górniczych do IV kategorii terenów górniczych jest możliwe.

W przypadku ewentualnego stosowania połączeń zgrzewanych doczołowo konieczne jest prowadzenie dalszych badań i analiz mających na celu potwierdzenie ich wytrzymałości na działanie sił osiowych.

Zastosowanie w Polsce systemów rurowych z poliamidu do budowy gazociągów wymaga wprowadzenia zmian w prawie. Przeprowadzone w ramach pracy badania i uzyskane wyniki mogą stanowić kolejny krok do wprowadzenia nowych regulacji prawnych.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Ocena możliwości stosowania rur z poliamidu PA12 do budowy gazociągów na terenach szkód górniczych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0085/GP/2019, nr archiwalny: DK-4100-0074/2019.

## Literatura

- Barczyński A., 2006. Sieci gazowe polietylenowe. Projektowanie, budowa, użytkowanie. *SITPNiG – Ośrodek Szkolenia Rzeczoznawstwa, Poznań*.
- Instrukcja ITB nr 416/2006. Projektowanie budynków na terenach górniczych. *Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa*.
- Jaworski J., Szewczyk P., 2016. Nowe materiały do budowy gazociągów. *Przegląd Gazowniczy*, 4: 54–57.
- Jaworski J., Szewczyk P., 2018. Polska czeka na nowoczesne gazociągi. *Rynek Polskiej Nafty i Gazu*: 56–63.
- Kawulok M., 2003. Górnicze i geologiczno-gruntowe dane do projektowania budynków na terenach górniczych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria: Budownictwo*, 97.
- Kijeński J., Polaczek J., 2004. Recykling tworzyw sztucznych według koncepcji zielonej chemii. *Polimery*, 49(10): 677–774.
- Kłupa A., 1998. Kryteria techniczne budowy sieci gazowych z polietyleny z uwzględnieniem terenów górniczych. *Rozprawa doktorska. AGH, Kraków*.
- Lewandowski G., Rytwińska E., Milchert E., 2006. Właściwości fizyczne i zastosowanie poliamidu 12. *Polimery*, 51(11–12): 829–835.
- Popiołek E., 2009: Ochrona terenów górniczych. *Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*.
- Szewczyk P., 2017a. Weryfikacja dostępnych procedur prowadzenia prób szczelności rurociągów z tworzyw sztucznych o MOP = 1,6 MPa. *Praca statutowa INiG – PIB, nr zlec. 0114/GP/17, Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Szewczyk P., 2017b. Nowoczesne materiały i technologie do budowy gazociągów wysokiego ciśnienia oraz rurociągów technologicznych na terenach górniczych. *Nafta-Gaz*, 10: 778–783. DOI: 10.18668/NG.2017.10.07.
- Szewczyk P., 2018. Ciśnieniowe próby szczelności gazociągów z tworzyw sztucznych o MOP 1,6 MPa. *Nafta-Gaz*, 5: 386–390. DOI: 10.18668/NG.2018.05.06.

Wróblewska A., 2019. Stosowanie techniki zaciskania do zamykania przepływu gazu w gazociągach z poliamidu PA 12 o maksymalnym ciśnieniu roboczym 1,6 MPa. *Nafta-Gaz*, 8: 474–481. DOI: 10.18668/NG.2019.08.04.

## Akty prawne i normatywne

DVS 2207-16:2010 Welding of thermoplastics – Heated tool welding of pipes and piping parts made of Polyamide 12.

ISO 16486-5:2012 Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels. Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing. Fitness for purpose of the system.

ISO 16486-6:2012 Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels. Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing. Part 6: Code of practice for design, handling and installation.

PN-EN ISO 3503:2015-04 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych. Połączenia mechaniczne między kształtkami i rurami ciśnieniowymi. Metoda badania szczelności przy ciśnieniu wewnętrznym zestawów poddanych zginaniu.

PN-EN ISO 6259-1:2015-05 Rury z tworzyw termoplastycznych. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu. Część 1: Ogólna metoda badań.

prCEN TS12007-X:2018 Gas infrastructure. Pipelines for maximum operating pressure up to and including 16 bar. Part X: Specific functional requirements for polyamide (MOP up to and including 16 bar).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz.U. z 2013 r. poz. 640).



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: [anna.wroblewska@inig.pl](mailto:anna.wroblewska@inig.pl)

## OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU OCHRONY ŚRODOWISKA

- analiza zagrożeń środowiska naturalnego, związanych z działalnością przemysłu naftowego i gazowniczego;
- opracowanie i weryfikacja technologii środowiskowych w przemyśle naftowym i gazowniczym;
- monitoring i badania laboratoryjne jakości środowiska (powietrza, wód i gleby) na terenach poszukiwania i eksploatacji złóż węglowodorów i innych terenach przemysłowych;
- badania laboratoryjne ścieków i odpadów (w tym odpadów wiertniczych, odpadów po zabiegu hydraulicznego szczelinowania, odpadowych wód złożowych i cieczy technologicznych) oraz ocena ich potencjalnej szkodliwości dla środowiska;
- klasyfikacja odpadów wydobywczych wraz ze sporządzaniem podstawowej charakterystyki odpadu;
- analiza zawartości rtęci w próbkach środowiskowych (stałych i ciekłych), mieszaninach gazowych i materiałach przemysłowych;
- inwentaryzacja emisji metanu z sektora poszukiwania, wydobycia, magazynowania oraz przesyłu i dystrybucji gazu;
- ocena wielkości emisji gazów cieplarnianych;
- ocena jakości paliw węglowodorowych: gazu ziemnego, koksowniczego, gazów wytwarzanych w przemyśle, biogazu;
- kompleksowa analiza biogazu, w tym analiza związków krzemu, chloru i fluoru;
- monitoring jakości gazu ziemnego w systemie gazowniczym;
- sporządzanie oraz aktualizacja kart charakterystyki substancji i mieszanin niebezpiecznych, zgodnie z obowiązującym prawodawstwem;
- obór próbek wód, ścieków, gleb, odpadów oraz gazu ziemnego, biogazu i innego typu mieszanin gazowych.



Kierownik: dr Ewa Kukulska-Zajac    Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków  
Telefon: 12 617 74 36, 797 727 103    Faks: 12 653 16 65    E-mail: [ewa.kukulska@inig.pl](mailto:ewa.kukulska@inig.pl)



INSTYTUT NAFTY I GAZU  
– Państwowy Instytut Badawczy