

Piotr Szewczyk

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Stabilizacja ciśnienia i temperatury czynnika próby przed rozpoczęciem badania szczelności gazociągów polietylenowych

Gazociąg przed oddaniem do eksploatacji powinien być poddany próbie szczelności i wytrzymałości. Przed rozpoczęciem właściwej próby istotna jest stabilizacja ciśnienia i temperatury czynnika. W artykule opisano, jakim odkształceniom podlegają rury PE obciążone ciśnieniem wewnętrznym oraz przedstawiono wyniki badań, w których określono wpływ temperatury czynnika próby na czas stabilizacji warunków przed rozpoczęciem badania szczelności gazociągów z polietylenu.

Słowa kluczowe: polietylen, gazociąg, próba ciśnieniowa, stabilizacja ciśnienia, stabilizacja temperatury, odkształcenie.

Stabilization of pressure and temperature of the test medium, before the start of polyethylene pipelines leak testing

Before putting the pipeline into use it should be tested for leaktightness and strength. Stabilization of the test medium pressure and temperature is important before the start of proper pressure testing. In the article, deformation of PE pipes under internal pressure are described and results of investigations, in which the influence of the test medium temperature on the stabilization time of the testing conditions before the start of the polyethylene pipelines leak testing are presented.

Key words: polyethylene, gas pipeline, pressure testing, pressure stabilization, temperature stabilization, strain.

Wprowadzenie

Zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie* [6], gazociąg przed oddaniem do użytkowania powinien być poddany próbie wytrzymałości i szczelności (§ 34 ust. 1). W zakresie procedury prowadzenia próby szczelności rozporządzenie odsyła do normy PN-EN 12327:2004 [5], która dopuszcza metody hydrostatyczną i pneumatyczną. Zaletą próby hydrostatycznej jest jej bezpieczeństwo. Uszkodzenie rurociągu w wyniku działania ciśnienia próbnego będzie powodowało szybki spadek ciśnienia, nie stwarzając zagrożenia dla osób będących w pobliżu. Jednak przeprowadzenie tą metodą próby wytrzymałości i szczelności rurociągu o skomplikowanej

topologii, z dużą liczbą odgałęzień, powoduje trudności związane z jego odpowietrzeniem (powietrze znajdujące się w rurociągu może maskować niewielkie nieszczelności), jak również z osuszeniem po zakończeniu testów. Z tego też względu wybierana jest metoda pneumatyczna. Próby łączone wytrzymałości i szczelności gazociągów polietylenowych przeprowadza się przy ciśnieniu równym iloczynowi współczynnika 1,5 i maksymalnego ciśnienia roboczego. Ciśnienie próby nie może równocześnie przekraczać wartości iloczynu współczynnika 0,9 i ciśnienia szybkiej propagacji pęknięć, szczegółowo opisanej w artykule [8]. Rozporządzenie wymaga również, aby sprawdzanie wytrzymałości i szczelności poprzedzić stabilizacją temperatury i ciśnienia. Na zmiany

ciśnienia w czasie stabilizacji będzie miało wpływ zjawisko pełzania materiału rury PE. Jest ono związane z własnościami lepkosprężystymi rur polietylenowych, które pod wpływem ciśnienia wewnętrznego i określonej temperatury będą ulegać odkształceniom sprężystym, wysokoelastycznym i plastycznym. Nieuwzględnienie tych odkształceń miałyby wpływ na wynik prowadzonych prób łączonych wytrzymałości i szczelności, gdyż gazociąg obciążony ciśnieniem wewnętrznym wraz ze wzrostem średnicy będzie zwiększał swoją objętość, co spowoduje spadek ciśnienia. Na wielkość tych odkształceń może mieć wpływ temperatura rurociągu ułożonego w gruncie oraz temperatura czynnika próby, maksymalnie wynosząca 40°C [4]. W § 35 ust. 1 pkt 4 rozporządzenia [6] minimalny czas stabilizacji przed rozpoczęciem próby szczelności określono na 2 godziny. W tym czasie powinno nastąpić ograniczenie zjawiska pełzania materiału rury oraz stabilizacja temperatury czynnika. Czas ten dobrano na podstawie

badan prowadzonych w INiG [3] na potrzeby tworzonego standardu technicznego Izby Gospodarczej Gazownictwa dotyczącego opracowania szczegółowej procedury realizacji prób szczelności.

Uzyskane wyniki badań zweryfikowano w warunkach rzeczywistych na wytypowanych gazociągach – podczas testów rejestrowano ciśnienie czynnika, jego temperaturę oraz temperaturę gruntu. Stwierdzono, że stabilizacja temperatury czynnika następuje w czasie stabilizacji zjawiska pełzania rury PE, tj. w ciągu 2 godzin. W żadnym przypadku jednak temperatura czynnika próby podczas zatłaczania nie osiągnęła maksymalnej wartości dopuszczalnej, wynoszącej 40°C.

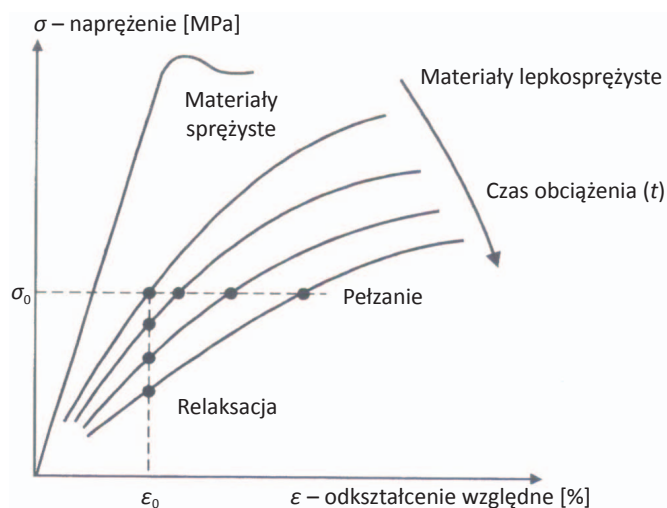
W ramach działalności statutowej INiG przeprowadzono badania, których celem było sprawdzenie wpływu maksymalnej temperatury czynnika na czas stabilizacji warunków przed rozpoczęciem łączonej próby wytrzymałości i szczelności gazociągów z polietylenu.

Odształcenia rur polietylenowych w czasie prób szczelności

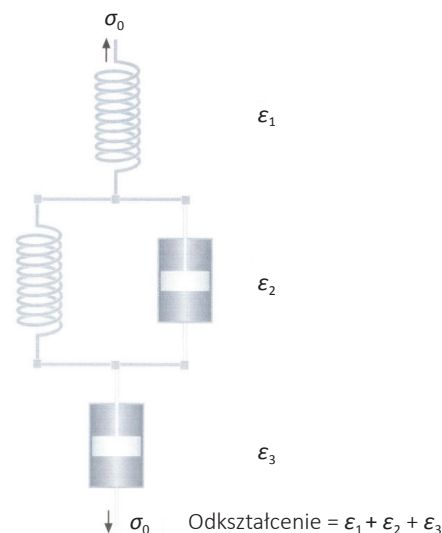
W rurach z tworzyw sztucznych skala zjawisk pełzania materiału i relaksacji naprężeń jest znacznie większa niż w rurach z materiałów tradycyjnych, np. stalowych czy żeliwnych. Przy obliczeniach wytrzymałościowych elementów z materiałów tradycyjnych korzysta się z metod jak dla materiałów idealnie sprężystych, tj. występuje liniowa zależność pomiędzy odkształceniem a naprężeniami, które je wywołują. W przypadku materiału idealnie sprężystego po zdjęciu obciążenia w bardzo krótkim czasie powraca on do stanu pierwotnego. W przypadku rur polietylenowych, które zalicza się do materiałów lepkosprężystych, zależność odkształceń od przyłożonego naprężenia nie jest już linią prostą (rysunek 1).

Po przyłożeniu stałego obciążenia do elementu z materiału lepkosprężystego wraz z upływem czasu będzie wzrastało

jego odkształcenie. Zjawisko to nazywane jest pełzaniem materiału. Jeżeli np. rura z takiego tworzywa uległa odkształceniu i utrzymuje się ono na stałym poziomie, wówczas poziom naprężeń w tej ścianie będzie mały. To zjawisko określa się mianem relaksacji naprężeń. Właściwości lepkosprężyste w sposób uproszczony przedstawia model Burgersa (rysunek 2).



Rys. 1. Naprężenia i odkształcenia względne dla materiałów idealnie sprężystych i lepkosprężystych [2]



Rys. 2. Model Burgersa [2]

Naprężenia obwodowe powstające w ścianie rury polietylenowej pod wpływem ciśnienia wewnętrznego powodują odkształcenie się rury, które jest sumą trzech składowych:

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$$

gdzie:

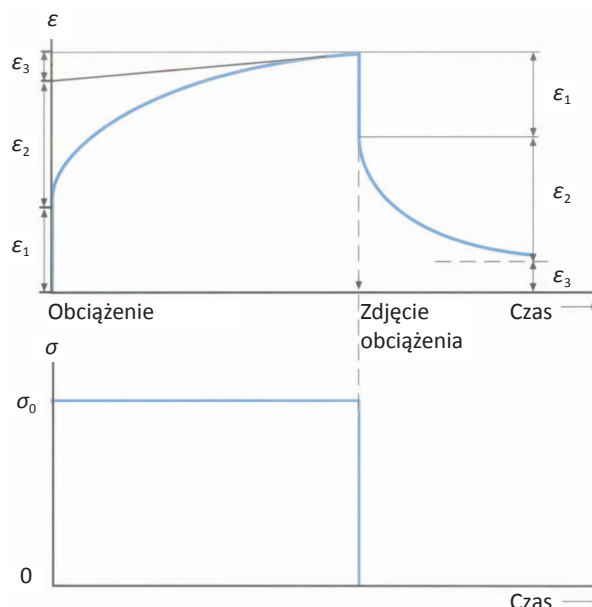
ε_1 – odkształcenie sprężyste,

ε_2 – odkształcenie wysokoelastyczne,

ε_3 – odkształcenie trwałe.

Rury polietylenowe poddane obciążeniu naprężeń σ_0 pochodzących od ciśnienia wewnętrznego ulegają głównie odkształceniom sprężystym ε_1 i wysokoelastycznym ε_2 (rysunek 3). Najmniejsze odkształcenia trwałe ε_3 występują po długotrwałym obciążeniu rury ciśnieniem wewnętrznym.

Podczas prowadzonych badań szczelności gazociągów z PE w stosunkowo krótkim czasie istotne więc są odkształcenia sprężyste i wysokoelastyczne. Duże znaczenie ma również temperatura, przy której wykonuje się próbę szczelności. W wyższych temperaturach skala zjawiska pełzania materiału jest większa, a w temperaturach niższych – mniejsza. Zgodnie z opracowaniem [3] zjawisko pełzania najszybciej następuje po przyłożeniu obciążenia, a po 2 godzinach stabilizuje się na tyle, że nie będzie miało wpływu na wynik próby szczelności badanego rurociągu. Dotyczy to zakresu temperatur od 0°C do 30°C, co udowodniono na podstawie przeprowadzonych badań w komorze klimatycznej [3]. Nieznany jest jednak wpływ temperatury zatłaczanego do badanego rurociągu



Rys. 3. Odształcenia w funkcji czasu w wyniku działania stałego obciążenia [2]

czynnika próby, głównie w przypadku, gdy jego temperatura będzie wynosiła 40°C. Przeprowadzono więc badania w celu określenia oddziaływania podwyższonej temperatury czynnika na czas stabilizacji zjawiska pełzania.

Określenie wpływu temperatury czynnika próby na czas stabilizacji zjawiska pełzania materiału rury

Badania realizowano na próbkach o następującej charakterystyce:

- dn 63, SDR 11, PE 100;
- dn 110, SDR 11, PE 100;
- dn 250, SDR 11, PE 100;
- dn 63, SDR 11, PE 80;
- dn 110, SDR 17,6, PE 100.

Próbki rur zostały umieszczone w komorze klimatycznej w celu kondycjonowania ich w temperaturze 15°C, tj. w takiej, jaka może wystąpić w gruncie. W celach doświadczalnych badania prowadzono również w temperaturze 35°C dla próbek dn 63, SDR 11, PE 100 i dn 110, SDR 11, PE 100.

Do próbek wprowadzono sprężone powietrze o najwyższej dopuszczalnej temperaturze, jaką może mieć czynnik próby, tj. 40°C. Pomiar odkształceń badanych rur realizowano przez zmierzenie średnicy zewnętrznej przy użyciu cirkometru (fotografia 1).



Fot. 1. Sposób pomiaru średnicy zewnętrznej rury PE

Pomiary średnicy próbek wykonywano po obciążeniu ich ciśnieniem wewnętrznym równym 7,5 bar, tj. wymaganym ciśnieniem próby szczelności dla gazociągów o maksymalnym ciśnieniu roboczym MOP = 5 bar, oraz przez kolejne pięć godzin w odstępach jednogodzinnych.

Wyniki z przeprowadzonych badań przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wyniki badania czasu stabilizacji zjawiska pełzania materiału rury

Temperatura otoczenia [°C]	15	35	15	35	15	15	15
Czas trwania badania [godz.]	dn 63 PE 100 SDR 11		dn 110 PE 100 SDR 11		dn 250 PE 100 SDR 11	dn 110 PE 100 SDR 17,6	dn 63 PE 80 SDR 11
	Zmierzona średnica zewnętrzna d_z [mm]						
0	63,2	63,4	110,6	110,9	250,4	110,5	63,3
1	63,2	63,7	110,6	111,0	250,5	110,7	63,3
2	63,3	63,8	110,7	111,1	250,6	110,8	63,4
3	63,3	63,8	110,7	111,2	250,6	110,8	63,4
4	63,3	63,8	110,7	111,2	250,6	110,8	63,4
5	63,3	63,8	110,7	111,2	250,6	110,8	63,4

Stabilizacja temperatury czynnika próby przed pomiarem szczelności gazociągów z PE

Wymiana ciepła podczas stabilizacji temperatury czynnika próby jest realizowana w sposób nieustalony, tj. temperatura czynnika zmienia się w czasie. Zgodnie z procedurami prowadzenia prób wytrzymałości i szczelności właściwy pomiar rozpoczyna się po osiągnięciu odpowiedniego ciśnienia próby oraz ustabilizowaniu się temperatury. Przy założeniu, że przeznaczony do zbadania szczelności rurociąg jest zasypany, a jego temperatura równa jest temperaturze gruntu, wymiana ciepła będzie następować już od momentu rozpoczęcia zatłaczania czynnika próby. Wystąpi ona tylko wtedy, gdy temperatura sprężonego powietrza będzie wyższa od temperatury rurociągu. Wzrost temperatury czynnika w rurociągu nie jest równomierny na jego długości. Najwyższą temperaturę obserwuje się w miejscu zatłaczania, a najniższą w największej odległości od niego. Po osiągnięciu wymaganego ciśnienia próby szczelności w miejscu, gdzie uzyskano najwyższą temperaturę czynnika, oraz przy założeniu, że rurociąg na całej długości znajduje się w takich samych warunkach gruntowych, uzyskamy najwyższą różnicę temperatur, co spowoduje najdłuższy czas wymiany ciepła. W celu skrócenia czasu stabilizacji temperatury należy dążyć do zatłaczania czynnika próby w połowie długości badanego rurociągu, tak aby uzyskać bardziej równomierny rozkład temperatury.

Czas stabilizacji temperatury czynnika zależy od rodzaju gruntu, w jakim posadowiony jest gazociąg. Standardowe rury polietylenowe układane są w gruncie na podsypce i w obsypce piaskowej. W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie do budowy gazociągów znajdują również rury warstwowe z polietylenu PE 100 RC, charakteryzujące się podwyż-

szoną odpornością na zjawisko powolnej propagacji pęknięć, które może wystąpić w przypadku zarysowania powierzchni rury lub na skutek oddziaływania na nią obciążenia punktowego [7]. Ta cecha umożliwi układanie rur technikami alternatywnymi, tj. np. w gruncie rodzimym. Przepływ ciepła przez grunt definiowany jest współczynnikiem przewodzenia ciepła λ_{gr} . Jego wartość zależy od przewodności cieplnej materiału litego lub – w przypadku formacji luźnych (piasek, żwir) – dodatkowo od przewodności materiału wypełniającego pory. Materiałem tym może być np. powietrze lub woda.

Przykładowe wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla różnych gruntów przedstawiono w tabelicy 2. Jak wynika z zamieszczonych w niej danych, dla gazociągów polietylenowych układanych na podsypce i w obsypce piaskowej współczynnik przewodzenia ciepła może przyjmować wartości 0,3÷0,8 W/mK dla piasków suchych i 1,5÷4,0 W/mK dla piasków nasyconych wodą. Najwyższe wartości współczynnika λ_{gr} uzyskujemy dla piasków, których pory wypełnione będą wodą, co jest związane z dużą wartością jej współczynnika przewodzenia ciepła.

Tablica 2. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła wybranych gruntów [1]

Typ formacji	Rodzaj gruntu	λ_{gr} [W/mK]	
		Wartości możliwe	Wartości zalecane
Formacje luźne	głina/mulek, suchy	0,4÷1,0	0,5
	głina/mulek, nasycony wodą	0,9÷2,3	1,7
	piach suchy	0,3÷0,8	0,4
	piach nasycony wodą	1,5÷4,0	2,4
	żwir suchy	0,4÷0,5	0,4
	żwir nasycony wodą	1,6÷2,0	1,8
Skały osadowe	iłowiec, mułowiec	1,1÷3,5	2,2
	piaskowiec	1,3÷5,1	2,3
	wapień	2,5÷4,0	2,8
Skały magmowe	bazalt	1,3÷2,3	1,7
	granit	2,1÷4,1	3,4
Skały metamorficzne	łupki gliniaste	1,5÷2,6	2,1
	marmur	1,3÷3,1	2,5
	kwarcyt	5,0÷6,0	5,5

Określenie czasu stabilizacji temperatury czynnika próby przy założonej różnicy temperatur czynnika i gruntu

Badaniami objęto następujące próbki rur:

- dn 63, SDR 11, PE 100;
- dn 110, SDR 11, PE 100;
- dn 160, SDR 11, PE 100.

Próbki umieszczono w skrzyni wypełnionej piaskiem usytuowanej w komorze klimatycznej w celu symulowania

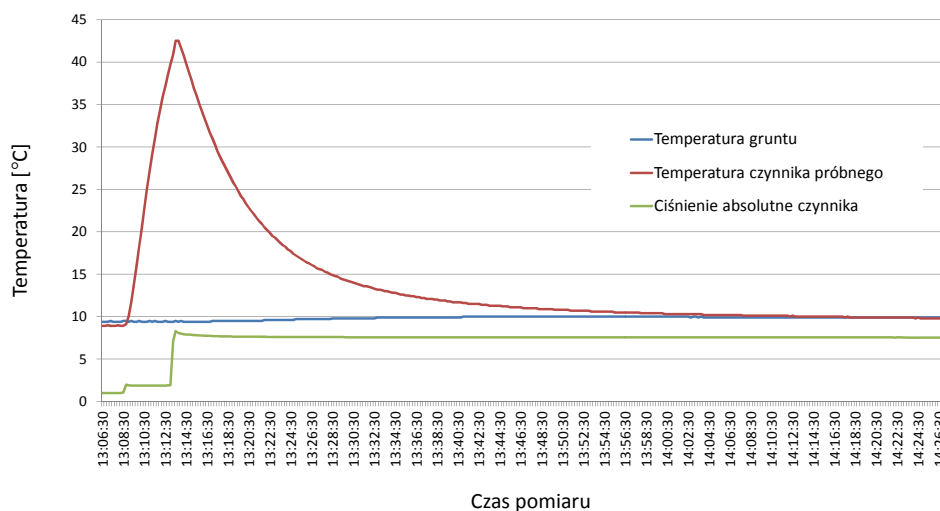
temperatury gruntu równej 10°C. Po ustabilizowaniu się na założonym poziomie temperatury piasku i rur wprowadzano do nich sprężone powietrze – aż do momentu osiągnięcia przez niego temperatury około 40°C oraz ciśnienia równego sumie ciśnienia próby, tj. 7,5 bar, i ciśnienia atmosferycznego.

Po uzyskaniu właściwych parametrów badania rozpoczęto

obserwację czasu stabilizacji temperatury czynnika próby, który wynosił odpowiednio:

- 50 min dla rury dn 63, SDR 11, PE 100;
- 64 min dla rury dn 110, SDR 11, PE 100;
- 55 min dla rury dn 160, SDR 11, PE 100.

Zarejestrowane wartości temperatury czynnika próby i gruntu oraz ciśnienia dla rury dn 110, SDR 11, PE 100 przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Stabilizacja temperatury czynnika próby w rurze dn 110, SDR 11, PE 100

Wnioski

1. Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że zwiększenie temperatury czynnika próby do 40°C przy temperaturze rury równej 15°C nie spowodowało wydłużenia czasu stabilizacji zjawiska pełzania materiału określonego na 2 godziny w § 35 ust. 1 pkt 4 rozporządzenia [6].
2. Wyniki badań czasu stabilizacji zjawiska pełzania przeprowadzonych w temperaturze otoczenia równej 35°C i temperaturze czynnika próby równej 40°C wykazały, że przy stałym ciśnieniu wraz ze wzrostem temperatury rury PE odkształcają się w większym stopniu. Największe odkształcenia występują w fazie początkowej, a po 3 godzinach zjawisko pełzania materiału się stabilizuje. Należy więc zwrócić uwagę, że w przypadku prowadzenia prób szczelności rurociągów znajdujących się np. na powierzchni terenu, których temperatura będzie przekraczać 30°C, nastąpi wydłużenie czasu stabilizacji zjawiska pełzania materiału.
3. Czas stabilizacji temperatury czynnika próby, przy założonej różnicy temperatur czynnika i gruntu równej 30°C, dla rurociągów polietylenowych ułożonych na podsypce i w obsypce piaskowej wynosi około 1 godz. i mieści się w czasie stabilizacji określonym § 35 ust. 1 pkt 4 rozporządzenia [6].
4. Na czas stabilizacji temperatury czynnika próby ma wpływ rodzaj oraz wilgotność gruntu otaczającego rurociąg. Dla alternatywnych technik układania rur PE, np. w gruncie rodzimym – mogą wystąpić inne czasy stabilizacji temperatury czynnika próby. Dlatego też w czasie stabilizacji należy przed właściwą próbą szczelności obserwować temperaturę czynnika oraz gruntu i dopiero po ich wyrównaniu rozpocząć pomiary szczelności.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 5, s. 307–312

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Określenie czasu stabilizacji temperatury czynnika próbnego podczas pomiarów szczelności gazociągów polietylenowych* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-9/13, nr zlecenia: 9/GP/13.

Literatura

- [1] *Geotrained Training Manual for Designers of Shallow Geothermal Systems. Geo-Education for a sustainable geothermal heating and cooling market. Project: IEE/07/581/S12.499061.* 2011, <http://www.geotrained.eu/moodle/mod/forum/discuss.php?d=38> (dostęp: sierpień 2013).
- [2] Janson L.-E.: *Plastics pipes for water supply and sewage di-*

- sposal. Borealis, Sven Axelsson AB/Affisch & Reklamtryck AB, Boras 1996, s. 29, 33, 59.
- [3] Klupa A., Czopek J. J., Szewczyk P.: *Badania modelowe układu rurociągów z polietylenu w trakcie prowadzenia prób ciśnieniowych*. Dokumentacja wewnętrzna INiG, maj 2009.
- [4] PN-EN 12007-2:2013 *Systemy dostawy gazu – Rurociągi o maksymalnym ciśnieniu roboczym do 16 bar włącznie – Część 2: Szczegolne zalecenia funkcjonalne dotyczące polietylenu (MOP do 10 bar włącznie)*.
- [5] PN-EN 12327:2013 *Systemy dostawy gazu – Procedury próby ciśnieniowej, uruchamiania i unieruchamiania – Wymagania funkcjonalne*.
- [6] *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.
- [7] Szewczyk P.: *Badania odporności na oddziaływania punktowe rur polietylenowych warstwowych układanych w gruncie rodzimym, przeznaczonych do przesyłania gazu*. Nafta-Gaz 2012, nr 9, s. 611–616.
- [8] Wroblewska A.: *Szybka propagacja pęknięć w sieciach gazowych z rur polietylenowych*. Nafta-Gaz 2013, nr 10, s. 788–793.



Mgr inż. Piotr SZEWCZYK
Główny specjalista inżynierjno-techniczny;
kierownik Zakładu Przesyłania i Dystrybucji Gazu.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: piotr.szewczyk@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD PRZESYŁANIA I DYSTRYBUCJI GAZU

Zakres działania:

- badania laboratoryjne rur, kształtek, armatury z tworzyw sztucznych oraz armatury metalowej i powłok antykorozyjnych, prowadzone dla potrzeb certyfikacji i aprobat technicznych;
- ocena stopnia zagrożenia korozyjnego gazociągów stalowych oraz ocena stanu technicznego izolacji gazociągów stalowych metodami bezwykopowymi;
- ocena efektywności metod rekonstrukcji sieci dystrybucyjnych gazu;
- opracowanie projektów przepisów związanych z budową i użytkowaniem sieci gazowych;
- opracowanie lub opiniowanie projektów norm dotyczących sieci i instalacji gazowych;
- badania z zakresu współpracy ośrodka gruntowego z siecią gazową na terenach górniczych;
- prowadzenie specjalistycznego szkolenia kadr, głównie w zakresie budowy sieci gazowych z polietylenu;
- wspomaganie przemysłu we wdrażaniu nowych rozwiązań technicznych oraz opracowywanie ekspertyz i analiz;
- badania laboratoryjne metalowej armatury odcinającej do systemów i instalacji wodociągowych, baterii mechanicznych, natrysków i przewodów natryskowych oraz systemów rur wielowarstwowych do instalacji wody ciepłej i zimnej.



Kierownik: mgr inż. Piotr Szewczyk
Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 617-74-42
Faks: 12 653-16-65
E-mail: piotr.szewczyk@inig.pl

