

dr hab. inż. Józef Myrczek<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-9351-1410

mgr inż. Sebastian Kosmański<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0003-0617-4928

# Materiały budowlane stosowane do realizacji gazociągów przesyłowych i dystrybucyjnych

## *Building materials for construction of gas supply and distribution pipelines*

DOI: 10.15199/33.2022.10.22

**Streszczenie.** Polskie przepisy dopuszczają stosowanie do budowy gazociągów wyroby stalowe i polietylenowe. Parametry wytrzymałościowe stali przewyższają odpowiednie wartości parametrów polietylenu. Gazociągi wysokiego ciśnienia wykonywane są wyłącznie ze stali. Gazociągi niskiego i średniego ciśnienia o maksymalnym ciśnieniu roboczym do 1 MPa mogą być wykonane z polietylenu. Obiekty towarzyszące wykonuje się tylko w technologii stalowej. Wybór odpowiedniego materiału uwzględnia również wiele innych parametrów, takich jak odporność na korozję, łatwość i koszt montażu, proces spajania, odporność na wzrost naprężeń, niezawodność. W artykule opisano cechy obu materiałów w kontekście uwarunkowań formalnych i technicznych.

**Słowa kluczowe:** budowa gazociągu; materiały budowlane; polietylen; stal.

**Abstract.** According to Polish regulations two materials can be used in gas pipeline construction, namely steel and polyethylene. The strength parameters of the steel exceed the corresponding values of polyethylene. High pressure gas pipelines are made only of steel. Low pressure and medium pressure gas pipelines with a maximum working pressure up to 1 MPa may be made of polyethylene. The accompanying facilities are made only in steel technology. The selection of the appropriate material takes into account also a number of other parameters, such as corrosion resistance, ease and cost of assembly, the bonding and welding process, resistance to crack, and reliability. The article describes the main features of the materials in relation to formal and technical requirements.

**Keywords:** gas pipeline construction; building materials; polyethylene; steel.

Operatorzy gazociągów rozbudowują i modernizują istniejącą infrastrukturę przesyłową. Inwestycje muszą być realizowane zgodnie z aktualnymi wymaganiami formalnoprawnymi, technicznymi i uwzględniać specyfikę danego zamierzenia budowlanego. Jedną z podstawowych kwestii jest wybór materiałów, z których ma być wykonany gazociąg. Elementy konstrukcyjne muszą charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością, niezawodnością oraz umożliwiać bezpieczną wieloletnią eksploatację. Polskie przepisy dopuszczają stosowanie dwóch rodzajów materiałów: stali i polietylenu (PE).

### Rodzaje materiałów

Materiały stosowane do budowy sieci przesyłowych i dystrybucyjnych oraz przyłączy gazu muszą spełniać wymagania prawa europejskiego i polskiego, m.in. Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305 z 9 mar-

ca 2011 r. w sprawie warunków wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych, Ustawy z 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane, Ustawy z 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych, Ustawy z 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku wraz z obowiązującymi aktami wykonawczymi oraz normami w zakresie specyfikacji danego wyrobu. Wyroby wykonane ze stali i PE (fotografia), takie jak rury, kształtki i armatura, mają znormalizowane parametry fizyczne i wytrzymałościowe [1].



**Przykład zabudowy gazociągu niskiego ciśnienia – rury polietylenowe**

*An example of low pressure gas pipeline installation – polyethylene pipes*

**Rurociągi stalowe.** Stal jest powszechnie używana do budowy sieci niskiego, średniego i wysokiego ciśnienia. W sieciach niskiego i średniego ciśnienia, rury (kształtki) stalowe zastępuje się także materiałami z polietylenu, które spełniają m.in. wymagania minimalnej i długotrwałej wytrzymałości. Natomiast w przypadku bardzo niskiego ciśnienia wykorzystuje się stal przede wszystkim na elementy armatury (zasuwki, zawory, kołnierze), stalowe podejścia przyłączy do budynków oraz urządzenia, osprzęt i rurociągi w obiektach do redukcji i pomiaru ciśnienia przepływającego gazu. W systemie dystrybucji gazu operator sieci niskiego i średniego ciśnienia dopuszcza do budowy materiały o minimalnej granicy plastyczności  $R_{10,5} \geq 245$  MPa, a w przypadku podwyższonego średniego i wysokiego ciśnienia o  $R_{1,0,5} \geq 355$  MPa. Natomiast w sieciach przesyłowych stosuje się wyroby o  $R_{10,5} \geq 355$  MPa.

Wymagane parametry fizyczne używanych rur stalowych podane są w tabeli M.2 normy PN-EN ISO 3183. **Właściwości najczęściej stosowanych rur w gazownictwie** są następujące:

- gatunek L245 – granica plastyczności  $R_{10,5}$  – min. 245 MPa, max. 440 MPa;

<sup>1)</sup> Akademia Techniczno-Humanistyczna w Białymostku, Wydział Inżynierii Materiałowej i Środowiska

<sup>2)</sup> Stalprofil S.A.

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: jmyrczek@ath.bielsko.pl

wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  – min. 415 MPa, max. 760 MPa;

- gatunek L360 – granica plastyczności  $R_{10,5}$  – min. 360 MPa, max. 510 MPa, wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  – min. 460 MPa, max. 760 MPa;

- gatunek L415 – granica plastyczności  $R_{10,5}$  – min. 415 MPa, max. 565 MPa, wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  – min. 520 MPa, max. 760 MPa;

- gatunek L485 – granica plastyczności  $R_{10,5}$  – min. 485 MPa, max. 605 MPa, wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$  – min. 570 MPa, max. 760 MPa.

W przypadku sieci stalowych istotną jest ochrona przed korozją. W tym celu elementy naziemne można malować ewentualnie nakładać fabrycznie lub na budowie powłokę polietylenową lub polipropylenową [2]. Stosuje się również dodatkowe wzmocnienie tego typu izolacji w postaci laminatu szklano-żywicznego w celu ochrony fabrycznej powłoki antykorozyjnej przed uszkodzeniem mechanicznym podczas wykonywania przewiertów [3]. Istotne jest zachowanie ciągłości izolacji i brak uszkodzeń, gdyż w takich miejscach korozja będzie niszczyć materiał oraz zmniejszyć grubość ścianki rury.

Podstawowym procesem technologicznym wykorzystywanym w budowie stalowej sieci gazowej jest proces spawania [4]. W związku z tym, że sprawdzenie jakości połączenia nie może zostać przeprowadzone w sposób prosty i ekonomiczny, nie można w 100% przewidzieć wyniku jego działania, operatorzy sieci przesyłowych i dystrybucyjnych określili wymagania dotyczące:

- systemu zapewnienia jakości wykonawcy;
- technologii spawalniczych;
- uprawnień spawaczy i operatorów urządzeń spawalniczych;
- nadzoru nad procesem spawania,
- materiałów podstawowych i dodatkowych do spawania;
- kontroli jakości i badania złączy spawanych.

**Wymagania szczegółowe dotyczące realizacji procesu spawania stalowej sieci gazowej** na podstawie [4, 5] są następujące:

1) **system zapewnienia jakości wykonawcy.** W celu zapewnienia wymaganej jakości i niezawodności połączeń spa-

wanych wykonawca musi posiadać certyfikowany system zarządzania jakością wg normy PN-EN ISO 9001, a w przypadku spółki przesyłowej również certyfikowany system zarządzania jakością w zakresie pełnych wymagań w spawalnictwie wg wymagań PN-EN 3834-2, natomiast w przypadku spółki dystrybucyjnej do sieci podwyższonego średniego i wysokiego ciśnienia oraz stacji gazowych i zespołów gazowych na przyłączy o MOP > 0,5 MPa system zgodny z normami serii PN-EN ISO 3834. Wykonawca wytwarzający sieci podwyższonego średniego i wysokiego ciśnienia musi posiadać uprawnienia, o których mowa w art. 9 ust. 1 ustawy z 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym do wytwarzania rurociągów przesyłowych do gazu, nadane przez Urząd Dozoru Technicznego.

2) **technologie spawalnicze.** Gestorzy sieci wymagają, aby łączenie rur i kształtek wykonywane było wyłącznie za pomocą spawania elektrycznego. Do spawania elementów sieci gazowej dopuszcza się:

- spawanie ręczne łukowe elektrodą otuloną niskowodorową (111);
- spawanie ręczne łukowe elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego (141);
- półautomatyczne i/lub automatyczne spawanie łukowe w osłonie gazowej (135, 136, 138);
- półautomatyczne i/lub automatyczne spawanie łukowe drutem proszkowym topnikowym samoosłonowym (114).

Wykonawca, który zamierza wykonywać połączenia spawane, musi dysponować zatwierdzoną technologią spawania (WPQR) dostosowaną m.in. do zakresu średnic, grubości ścianek i materiału, jaki został przewidziany w danej inwestycji. Technologie muszą być zgodne z normami PN-EN ISO 15614-1 oraz PN-EN 12732. Wykonawca przygotowuje każdorazowo instrukcję technologiczną spawania (WPS) pod konkretny rodzaj złącza, w której zawarte są szczegółowe dane i parametry, wymagane podczas realizacji spawania.

3) **uprawnienia spawaczy i operatorów urządzeń spawalniczych.** Spawacze powinni posiadać ważne uprawnienia wg PN-EN ISO 9606-1, natomiast operatorzy urządzeń spawalniczych uprawnienia wg PN-EN ISO 14732

w zakresie wymagań zawartych w WPS. Uprawnienia spawaczy powinny być nadane przez uznane jednostki certyfikujące. Do spawania/wytwarzania gazociągów podlegających pod dozór techniczny, świadectwa egzaminu spawaczy powinny być nadane przez Urząd Dozoru Technicznego.

4) **nadzór nad procesem spawania.** Wykonawca musi dysponować personelem nadzoru spawalniczego na poziomie inżyniera spawalnika EWE/IWE wg wymagań normy PN-EN ISO 14731, posiadającego ważny Certyfikat Kompetencji w zakresie spawania rurociągów. Dopuszcza się również nadzór przez technologa spawalnika EWT/IWT w przypadku projektów, których materiały nie przekraczają granicy plastyczności  $R_{10,5} \leq 360$  MPa zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12732.

5) **materiały podstawowe i dodatkowe do spawania.** Materiały podstawowe do wykonania sieci, czyli rury, kształtki, armatura, monobloki, kompensatory, urządzenia gazownicze itd. muszą być zgodne z odpowiednimi normami wyrobu lub wymaganiami podanymi w projektach technicznych. Operator sieci może dodatkowo wymagać zastrzyć. Materiały dodatkowe do spawania muszą być zgodne z posiadaną technologią WPQR oraz zatwierdzoną instrukcją technologiczną spawania WPS. Technologia łączenia rur za pomocą materiałów dodatkowych powinna zapewnić wytrzymałość połączenia przynajmniej równą wytrzymałości materiałów podstawowych. Istotnym elementem dotyczącym materiałów są również dokumenty potwierdzające wykonanie przedmiotu zamówienia zgodnie z normą i/lub specyfikacją techniczną. Inwestor wskazuje rodzaj dokumentów kontroli, jaki będzie wymagany, zgodnie z normą PN-EN 10204. W praktyce gestorzy sieci wymagają, w przypadku wyrobów metalowych, świadectw odbioru 3.1 lub 3.2, w zależności od zastoso-

owanego asortymentu.

6) **kontrola jakości i badania złączy spawanych.** Jakość połączeń spawanych jest oceniana przez zespoły kontroli i nadzoru wykonawcy, nadzór inwestora i/lub operatora sieci na podstawie wykonanych wybranych badań nieniszczących z zastosowaniem metod:

- powierzchniowych (VT – badania wizualne, PT – badania penetracyjne, MT – badania magnetyczno-proszkowe);

- objętościowych (RT – badania radiograficzne, UT – badania ultradźwiękowe).

Zakres i rodzaj tych badań powinien być zgodny z Rozporządzeniem [6] oraz normą PN-EN 12732. Badanie wizualne wszystkich spoin (doczołowych, pachwinowych) jest podstawowym i obowiązkowym badaniem połączeń. W przypadku gazociągów o maksymalnym ciśnieniu roboczym (MOP) większym niż 1,6 MPa oraz gazociągów budowanych w pierwszej klasie lokalizacji wykonuje się 100% badań nieniszczących metodą radiograficzną (RT) lub ultradźwiękową (UT). Wymienione wymagania obligatoryjne mogą zostać przez operatora sieci zaostrzone. Ponadto uzależnia on metody badań i minimalny procentowy ich udział w badanych spoinach od średnicy gazociągu (grubości ścianki), metody spawania, miejsca zabudowania oraz przeznaczenia spoin (liniowe, montażowe, gwarantowane).

Kryteria akceptacji badanych złączy spawanych muszą być zgodne z normami PN-EN ISO 5817 oraz PN-EN 12732 [4]. Laboratorium wykonujące badania powinno posiadać świadectwo uznania i/lub akredytacji wg PN-EN ISO/IEC 17025. Gazociągi będące pod dozorem UDT muszą spełniać wymagania ustawy o dozorcze technicznym. Personel laboratorium powinien mieć uprawnienia co najmniej drugiego stopnia w wykonywanej metodzie badań wg normy PN-EN ISO 9712 i być niezależny od wykonawcy spoin [5].

**Rurociągi z polietylenu (PE)** wykonuje się z rur, kształtek i armatury przeznaczonych do transportu gazu ziemnego, zgodnie z wymaganiami określonymi w Polskich Normach dotyczących systemów dostaw gazu oraz systemów przewodów rurowych z tworzyw sztucznych – seria norm PN-EN 1555 cz. od 1 do 5.

Zgodnie z Rozporządzeniem [6], w gazociągu wykonanym z polietylenu maksymalne ciśnienie robocze (MOP) nie może przekraczać 1,0 MPa. W praktyce dotyczy to sieci niskiego i średniego ciśnienia. Obecnie stosowane są wyroby z polietylenu klasy PE80, którego minimalna wytrzymałość hydrostatycz-

na wynosi 8,0 MPa (przesył gazu pod maksymalnym ciśnieniem 0,8 MPa) oraz polietylenu klasy PE100 o wytrzymałości hydrostatycznej 10,0 MPa [7]. W przypadku klasy PE100 uzyskano również zwiększoną odporność na szybką propagację pęknięć (RCP – zjawisko polegające na rozprzestrzenianiu się pęknięć w kierunku wzdłużnym w wyniku nagłego pęknięcia ścianki rury, wywołanego przez czynniki zewnętrzne), która po minimalnej żądanej wytrzymałości (MRS – prognozowana wytrzymałość hydrostatyczna rur z polietylenu po 50 latach ich użytkowania w temperaturze 293,15 K) jest drugim kryterium brany pod uwagę przy obliczaniu MOP. Z tego powodu materiały klasy PE80 są zastępowane bardziej wytrzymałymi klasy PE100 [8]. Inne istotne właściwości polietylenu to [9]:

- gęstość, która w przypadku PE80 wynosi 941 [kg/m<sup>3</sup>], a PE100 – 954 [kg/m<sup>3</sup>];

- wskaźnik szybkości płynięcia MFR w temperaturze: 190°C wynoszący 0,93 w przypadku PE80 oraz 0,40 w przypadku PE100;

- temperatura mięknięcia wg Vicata wynosząca > 700% dla PE80 i > 600% dla PE100.

Z praktyki wynika, że szczególnie istotne są wytrzymałość hydrostatyczna, RCP i MRS oraz odporność temperaturowa, które stanowią podstawę do projektowania sieci w określonych warunkach.

Rury i kształtki z PE mają znormalizowane średnice zewnętrzne oraz grubość ścianek. Iloraz średnicy nominalnej rury zewnętrznej (dn) do jej nominalnej grubości ścianki (en) oznacza się jako SDR (Standard Dimension Ratio) i nazywa **szeregiem wymiarowym**. W gazownictwie stosowane są dwa typy szeregów: SDR17 i SDR11. Materiały szeregu SDR11 mają grubszą ściankę niż SDR17 i dlatego są obecnie stosowane do budowy sieci dystrybucyjnych, natomiast rury SDR17 wykorzystuje się np. jako ochronne [10].

Nowym surowcem stosowanym do budowy sieci gazowych jest PE100RC (Resistant to Crack) o większej niż omawiane wcześniej odporności na powolny wzrost naprężeń. Materiał ten ma dodatkowe warstwy ochronne. Wykonane z niego rury charakteryzują się dużą odpornością na nacisk punktowy i zaryso-

wania [1]. Obecnie na rynku występują trzy rodzaje tego typu rur: dwuwarstwowe, z warstwami połączonymi molekularnie (typ 2); trójwarstwowe z warstwami połączonymi molekularnie (typ 2) oraz dwuwarstwowe z dodatkowym płaszczem z polipropylenu PP (typ 3).

Rury z PE100RC wykorzystuje się do budowy gazociągów bez konieczności stosowania podsypki i obsypki piaskowej (możliwość układania bezpośrednio w gruncie rodzimym) z zastosowaniem alternatywnych technik układania, takich jak przewiert, płuzenie, bezwykopowa renowacja istniejącej sieci. Ze względu na bezpieczeństwo, od kilku lat ten typ rur jest standardem w przypadku gazociągów i przyłączy niskiego i średniego ciśnienia na obszarze szkód górniczych [1].

Operator dystrybucyjny wymaga od wykonawcy sieci z polietylenu [10]: systemu zapewnienia jakości, technologii łączenia rur i kształtek, uprawnień zgrzewaczy, nadzoru nad procesem zgrzewania, stosowania materiałów podstawowych do zgrzewania oraz kontroli jakości i badań połączeń zgrzewanych. **System zapewnienia jakości** powinien być zgodny z PN-EN ISO 9001.

**Rury i kształtki polietylenowe oraz armaturę łączy się z pomocą:**

- zgrzewania doczołowego w przypadku średnic większych od DN75;
- zgrzewania elektrooporowego dla średnic równych i mniejszych od DN75;
- połączeń kołnierzowych, m.in. z zastosowaniem specjalnej kształtki stalowo-polietylenowej.

Przed przystąpieniem do robót wykonawca zobowiązany jest opracować i zatwierdzić u operatora kartę technologiczną zgrzewania, w której określa się m.in., co będzie zgrzewane, kto będzie wykonywał i nadzorował połączenia oraz za pomocą jakich urządzeń zgrzewających.

Łączenie rur i kształtek polietylenowych metodą zgrzewania doczołowego odbywa się z pomocą automatycznej lub półautomatycznej zgrzewarki doczołowej [11]. Zgrzewanie elektrooporowe jest stosowane do łączenia elementów o średnicy do DN75 oraz większej, gdy zachodzi taka potrzeba w trakcie montażu [11].

Do łączenia gazociągów oraz armatury (zasuw kołnierzowych) stosowane są stalowe połączenia kołnierzowe lub kształtką PE/ST, która umożliwia połą-



czenie odcinka gazociągu wykonanego z polietylenu z odcinkiem wykonanym z rur stalowych [1].

**Osoby wykonujące połączenia rur i kształtek polietylenowych** muszą posiadać aktualne zaświadczenie kwalifikacyjne potwierdzające właściwe przygotowanie do wykonywania połączeń rurociągów z tworzyw termoplastycznych metodą zgrzewania doczołowego i elektrooporowego zgodnie z normą PN-EN 13067 [10].

Nadzór nad procesem zgrzewania powinny wykonywać osoby mające aktualne zaświadczenie kwalifikacyjne potwierdzające wiedzę na temat wykonywania połączeń tworzyw termoplastycznych w rurociągach, w tym do kierowania budową/nadzoru nad budową gazociągów z polietylenu [10].

**Rury, kształtki i armatura** z PE80 i PE100 (doczołowe i elektrooporowe) stosowane do budowy gazociągów muszą być wykonane zgodnie z wymaganiami serii norm PN-EN 1555 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych. Polietylen (PE), część od 1 do 5*. Ponadto rury PE100RC, poza spełnieniem wymienionych wymagań, muszą mieć certyfikat zgodności ze specyfikacją PAS 1075 „Rury polietylenowe przy zastosowaniu alternatywnych metod instalacji – pomiary, wymagania techniczne, próby”.

**Ocenę jakości wykonanego zgrzewa doczołowego** można wykonać przez [9]:

- oględziny zewnętrzne wypłytki – kontrola zniekształceń, zarysowań, pęknięć;
- pomiary geometryczne wypłytki – pomiar szerokości wypłytki, przesunięcia ścianek łączonych rur oraz współosiowości;
- oględziny wypłytki ściętej z powierzchni rury – dodatkowo na żądanie operatora;
- badania rentgenograficzne i ultradźwiękowe – dodatkowo na żądanie operatora.

Natomiast **jakość połączenia elektrooporowego** można ocenić przez [9]:

■ kontrolę wskaźników nagrzewania (pręcików), które powinny znajdować się w położeniu zgodnie z wymaganiami producenta;

■ kontrolę śladów usunięcia utlenionej warstwy materiału rur w miejscach zgrzewania;

■ stwierdzenie śladów wycieków stopionego polietylenu poza obszar elektrosztalki;

■ stwierdzenie współosiowości łączonych elementów.

**Obiekty towarzyszące** montowane są w celu sterowania przepływem gazu w gazociągu. Ich zadaniem jest [12]: tłoczenie gazu (sprężenie gazu podtrzymujące określony poziom ciśnienia); pomiar ciśnienia, redukcje – stacje redukcyjne, redukcyjno-pomiarowe lub pomiarowe, węzły rozdzielcze i pomiarowe; zatrzymanie, upust gazu – zespoły zaporowo-upustowe; umożliwienie badania inspekcyjnego tłokami inteligentnymi – służy nadawczo/odbiorcze.

Obiekty towarzyszące występują jako podziemne, naziemne lub w układzie mieszanym. W przypadku sieci niskiego i średniego ciśnienia, podziemne zespoły mogą być wykonane z wykorzystaniem obu materiałów, tj. PE i stali. Natomiast pozostałe obiekty, a więc wysokiego i podwyższonego średniego ciśnienia oraz naziemne w przypadku każdego ciśnienia wykonuje się tylko w technologii stalowej ze względu na bezpieczeństwo użytkowania.

## Wnioski

Wymagania formalne i techniczne dotyczące budowy sieci gazowych są rygorystyczne, co wynika z konieczności zagwarantowania bezpieczeństwa operatorów gazowych oraz użytkowników i otoczenia. Wybór materiałów ma kluczowy wpływ na zachowanie odpowiedniego poziomu sprawności.

W Polsce stosowane są elementy stalowe lub polietylenowe. Materiały te znacznie się różnią pod względem właściwości mechanicznych. Parametry wytrzymałościowe stali przewyższają wielokrotnie odpowiednie parametry polietylenu. W efekcie zastosowanie polietylenu jest ograniczone. Użycie materiałów w przypadku sieci do MOP 1,0 MPa nie wymaga wykonywania dodatkowych obliczeń. Wystarczające jest spełnienie wymagań norm branżowych dotyczących konkretnych wyrobów lub rurociągów gazu. W przypadku sieci o podwyższonym średnim i wysokim ciśnieniu, dobór materiału odpowiadającego charakterystyce sieci należy poprzez szczegółowymi obliczeniami średnicy

gazociągu oraz minimalnej grubości ścianki rur i kształtek. Dokonując obliczeń, należy dodatkowo uwzględnić m.in. dopuszczalne naprężenia obwodowe, średnie naprężenie obwodowe i wzdłużne w ściance rury oraz naprężenia zredukowane.

Wykonawca musi być właściwie przygotowany, w tym dysponować stosownym personelem, systemem zarządzania oraz zapleczem technicznym. Wymagania mają na celu ograniczenie ryzyka podczas budowy oraz eksploatacji. W przypadku gazociągów wysokiego ciśnienia jedynie stal ma takie parametry wytrzymałościowe, które umożliwiają niezawodną ich pracę. Natomiast gazociągi niskiego i średniego ciśnienia mogą być wykonywane ze stali lub polietylenu. Wybór materiału zależy od uwarunkowań technicznych, ekonomicznych i eksploatacyjnych.

## Literatura

- [1] Zasady projektowania gazociągów stalowych niskiego i średniego ciśnienia oraz gazociągów polietylenowych. 2021. Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o.
- [2] <https://www.izostal.com.pl/oferta/izolacje-antykorozyjne/> (dostęp 06.09.2022).
- [3] <https://proma.com.pl/oferta/laminat-promglass/> (dostęp 06.09.2022)
- [4] Zasady budowy, technologii spajania i napraw stalowych sieci gazowych. 2019. Polska Spółka Gazownictwa Sp. z o.o.
- [5] Instrukcja PE-DY-126 określająca wymagania Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. dla podstawowych materiałów, technologii i urządzeń stosowanych przy budowie gazociągów przesyłowych, Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A. 2021. Warszawa.
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie.
- [7] Hornik S, Dziura J. Polietylen jako tworzywo użyteczne we współczesnym gazownictwie. Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie. 2007; 745: 13 – 22.
- [8] Kosmański S, Myrczek J. Zarządzanie ryzykiem w procesie budowy gazociągu przesyłowego. 2019. Wydawnictwo Difin, Warszawa.
- [9] Barczyński A. Sieci gazowe polietylenowe. 2006. Wydawnictwo SITPNIG, Poznań.
- [10] Zasady budowy, technologii zgrzewania i napraw polietylenowych sieci gazowych. 2021. Polska Spółka Gazownictwa sp. z o.o..
- [11] Instrukcja montażu rurociągów z polietylenu. 2008; firma Kaczmarek Sp. J., Malewo.
- [12] Bąkowski K. Sieci i instalacje gazowe. 2007. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Przyjęto do druku: 29.09.2022 r.