

Wpływ składników wstępnie uzdatnionego biogazu na elementy sieci i instalacji gazowych

Influence of pre-treated biogas components on the elements of gas networks and installations

Anna Wróblewska

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Głównym celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wpływu składników wstępnie uzdatnionego biogazu na elementy sieci i instalacji gazowych, takie jak np. rury, złączki, armatura, reduktory, oraz na materiały uszczelniające stosowane w połączeniach mechanicznych. W pracy dokonano przeglądu elementów, z których mogą być budowane sieci gazowe, jak i tych występujących w instalacjach gazowych, a następnie zebrano informacje o materiałach, z których wykonywane są elementy liniowe, różnego typu złączki, jak również materiały stosowane do uszczelnienia, w celu określenia zakresu, w jakim należy przeprowadzić ocenę oddziaływania składników biogazu. Biorąc pod uwagę składy biogazu dostępne w literaturze oraz średni skład wstępnie oczyszczonego biogazu rolniczego, dokonano analizy doniesień literaturowych w zakresie możliwych oddziaływań poszczególnych składników na elementy sieci i instalacji gazowych. Przeanalizowano dostępne artykuły naukowe, a także informacje zebrane od producentów poszczególnych elementów, co wykazało, że trudno jest udzielić jednoznacznej odpowiedzi, które składniki biogazu rolniczego i w jakich stężeniach mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa transportu nowego paliwa gazowego. Związane jest to z tym, że prowadzone dotychczas badania i analizy w dużej mierze koncentrowały się jedynie na pojedynczych składnikach lub ewentualnie na mieszaninach jednak o znacznie mniej złożonych składach, niż ma biogaz, stąd też trudno jest ocenić współoddziaływanie jego składników. W pracy określono główne składniki biogazu, które mogą niekorzystnie wpływać na elementy sieci i instalacji gazowych, zwrócono uwagę na ich możliwe wzajemne oddziaływania, a także na fakt, że część prowadzonych badań nie uwzględnia rzeczywistych warunków użytkowania, np. ciśnienia. We wnioskach wskazano również, że aby uzyskać jednoznaczną odpowiedź na pytanie o bezpieczeństwo transportu biogazu lub jego mieszanin, niezbędne jest przeprowadzenie dodatkowych badań.

Słowa kluczowe: biogaz, sieć gazowa, instalacje gazowe.

ABSTRACT: The main aim of this article is to present the influence of pre-treated biogas components on elements of gas networks and installations, such as pipes, fittings, hardware, reducers and sealing materials used in mechanical connections. The work presents a review of both the elements that can be used to build gas networks and those found in gas installations, then collected information about the materials from which the linear elements are made, various types of couplings as well as the materials used for sealing, in order to determine the scope in which to assess the impact of biogas components. Taking into account the biogas compositions available in the literature and the average composition of pre-treated agricultural biogas, an analysis of literature reports was carried out on the possible impacts of individual components on the elements of gas networks and installations. The available scientific articles and information collected from the producers of individual elements were analyzed, which showed that it is difficult to give an unambiguous answer as to which ingredients of agricultural biogas and in what concentrations may pose a threat to the safety of the transport of the new gas fuel. This is due to the fact that the research and analyzes conducted so far have to a large extent focused only on single components or possibly on mixtures but with much less complex compositions than the composition of biogas, hence it is difficult to assess their interaction. The paper specifies the main components of biogas that may adversely affect the elements of gas networks and installations, emphasizes their possible interactions, as well as the fact that some of the research carried out does not take into account the actual conditions of use, e.g. pressure. It was also indicated in the conclusions that in order to obtain an unambiguous answer to the question about the safety of the transport of biogas or its mixtures, it is necessary to conduct additional tests.

Key words: biogas, gas network, gas installations.

Charakterystyka elementów sieci gazowych

W Polsce wyroby budowlane stosowane do budowy gazociągów i przyłączy muszą spełniać wymagania:

- Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającego dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz.U. L 88 z 4.4.2011 wraz z późniejszymi zmianami);
- Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. z 2004 r. Nr 92, poz. 881 wraz z późniejszymi zmianami);
- Rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 4 grudnia 2020 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. z 2020 r. poz. 2297).

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). Rozporządzenie to dzieli gazociągi według maksymalnego ciśnienia roboczego (MOP), jak również według stosowanych do ich budowy materiałów. Ze względu na maksymalne ciśnienie robocze gazociągi dzielą się na:

- gazociągi niskiego ciśnienia – do 10,0 kPa włącznie;
- gazociągi średniego ciśnienia – powyżej 10,0 kPa do 0,5 MPa włącznie;
- gazociągi podwyższonego średniego ciśnienia – powyżej 0,5 MPa do 1,6 MPa włącznie;
- gazociągi wysokiego ciśnienia – powyżej 1,6 MPa;
- a ze względu na stosowane materiały – na:
- gazociągi stalowe;
- gazociągi z polietylenu.

Wspomniane rozporządzenie zawiera również wymagania techniczne dotyczące sieci gazowych stosowane przy projektowaniu, budowie oraz przebudowie sieci gazowej służącej do transportu gazu ziemnego. W § 4 rozporządzenia Ministra Gospodarki podano wymaganie, aby projektować i budować sieć gazową oraz dokonywać jej przebudowy w sposób zapewniający jej bezpieczne użytkowanie i utrzymanie oraz transport gazu ziemnego.

W § 23 tego rozporządzenia podano wymagania dotyczące jakości rur i innych elementów stalowych. Określono, że powinny one spełniać wymagania zawarte w Polskich Normach dotyczących rur stalowych przewodowych dla mediów palnych i powinny mieć potwierdzone wartości udarnośći określone w Polskich Normach w przewidywanych temperaturach roboczych gazociągu.

W § 24 pkt 1 oraz § 30 pkt 1 rozporządzenia z 26 kwietnia 2013 r. podano wymagania dotyczące jakości rur i kształtek polietylenowych, dopuszczalne metody łączenia elementów polietylenowych, jak również wymagania w stosunku do połączeń zgrzewanych. Określono, że powinny one spełniać wymagania zawarte w Polskich Normach dotyczących systemów przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych oraz systemów dostaw gazu.

I tak sieci gazowe o maksymalnym ciśnieniu roboczym MOP powyżej 1,0 MPa wykonuje się z rur stalowych, natomiast sieci gazowe przesyłające gaz ziemny w zakresie ciśnień do 1,0 MPa mogą być budowane z polietylenu lub ze stali. Stalową sieć gazową należy wykonywać z rur przewodowych dla mediów palnych ze stali całkowicie uspokojonej według PN-EN ISO 3183:2020-03 lub w przypadku średnic mniejszych niż 33,7 mm – z rur do zastosowań ciśnieniowych, zgodnie z wymaganiami określonymi w Polskich Normach dotyczących stalowych rur przewodowych, tj. PN-EN ISO 3183:2020-03, dla średnic mniejszych niż 33,7 mm – PN-EN 10216 (PN-EN 10226-1:2006, PN-EN 10216-2+A1:2020-05).

W skład sieci gazociągów stalowych wchodzi rury oraz kształtki. Kształtki do gazociągów stalowych to elementy umożliwiające zmianę kierunku trasy, rozgałęzienie przewodu, jego zaślepienie, zmianę średnicy na mniejszą lub większą. Elementy te w zależności od kształtu i zastosowania nazywane są: trójnikami, czwórnkami, kolanami, łukami, zwężkami, zaślepkami, dennicami i powinny spełniać wymagania określone w rozporządzeniu z 26 kwietnia 2013 r. Kształtki powinny być wykonane z materiałów spawalnych odpowiadających właściwościami materiałowi rur, z którymi mają być pospawane. W sieciach gazowych oprócz tych elementów występuje również różnego rodzaju armatura, niezbędne jest więc wykonywanie licznych połączeń. Ze względu na uwarunkowania technologiczne mogą one być rozłączne i nierozłączne.

Rury stalowe mogą być łączone przez spawanie lub z wykorzystaniem połączeń mechanicznych, tj. kołnierzowych. Do łączenia rur stalowych przewodowych z armaturą mogą być stosowane złącza spawane lub połączenia kołnierzowe.

W przypadku rur stalowych o średnicy do DN 50 i ciśnieniu do 0,5 MPa włącznie, stosowanych w naziemnych elementach sieci gazowej, mogą być wykorzystywane połączenia gwintowe. Jako materiał uszczelniający stosuje się teflon, pakuły lniane, pasty uszczelniające, uszczelki gumowe NBR oraz klingeryt. Kołnierze powinny być wykonane ze stali do zastosowań ciśnieniowych, z materiałów spawalnych, odpowiadających właściwościami materiałowi rur, z którymi mają być pospawane. Korpusy armatury zaporowej i upustowej powinny być wykonane ze stali lub staliwa. W gazociągach o maksymalnym ciśnieniu roboczym nieprzekraczającym 1,6 MPa dopuszcza się stosowanie armatury zaporowej i upustowej z korpusami

z żeliwa sferoidalnego i ciągliwego. Monobloki, kompensatory powinny być wykonane z materiałów spawalnych.

W przypadku wykonywania włączenia do czynnego gazociągu o maksymalnym ciśnieniu roboczym (MOP) poniżej 1,6 MPa dopuszcza się stosowanie trójników i nakładek rozciętych pełnoobwodowych ze stali o minimalnej granicy plastyczności $Rt_{0,5}$ równej lub większej od 245 N/mm^2 , lecz nie mniejszej niż granica plastyczności gazociągu, do którego ma być włączona.

W przypadku rur stalowych maksymalny równoważnik węgla CEV_{max} powinien być zgodny z wymaganiami określonymi w Polskich Normach dotyczących rur stalowych przewodowych dla mediów palnych. W przypadku innych stalowych elementów gazociągu maksymalny równoważnik węgla CEV_{max} powinien być nie większy niż:

- 0,45 – dla gatunków stali z minimalną granicą plastyczności $Rt_{0,5}$ nie większą niż 360 N/mm^2 ;
- 0,48 – dla gatunków stali z minimalną granicą plastyczności $Rt_{0,5}$ równą lub większą niż 360 N/mm^2 .

Rury polietylenowe PE muszą spełniać wymagania norm PN-EN 1555-1:2021 i PN-EN 1555-2:2021 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 1: Postanowienia ogólne; Część 2: Rury*. Do budowy gazociągów stosuje się rury polietylenowe klasy PE 100 i klasy PE 100 RC. Możliwe jest również użycie rur z zewnętrzną dodatkową powłoką ochronną z materiału termoplastycznego, najczęściej polipropylenu (PP).

W gazociągach polietylenowych oprócz rur występują różnego rodzaju kształtki. Powinny one spełniać wymagania normy PN-EN 1555-3:2021 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 3: Kształtki*. Ich połączenia z rurami wykonywane są poprzez zgrzewanie (elektrooporowe lub doczołowe) – uzyskuje się połączenia nierozłączne.

Do zgrzewania doczołowego stosowane są różnego rodzaju kształtki, m.in.: mufy, kolana, łuki, trójniki równoprzelotowe, trójniki redukcyjne, redukcje, tuleje kołnierzowe, zaślepki. Do zgrzewania elektrooporowego wykorzystuje się takie kształtki jak: mufy, redukcje, trójniki równoprzelotowe, trójniki redukcyjne, trójniki siodłowe z nawiertką, trójniki siodłowe bez nawiertki. W sieciach gazowych z polietylenu oprócz tych elementów występuje również armatura z polietylenu. Powinna ona spełniać wymagania podane w normie PN-EN 1555-4:2021 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 4: Armatura*. Do łączenia gazociągów z polietylenu z armaturą metalową mogą być wykorzystywane połączenia przez spawanie gotowych elementów, tzw. połączeń PE–stal, lub połączenia mechaniczne: kołnierzowe przy użyciu polietylenowych tulei kołnierzowych.

W połączeniach kołnierzowych stosuje się najczęściej:

- uszczelki gumowe NBR;
- uszczelki z klingerytu.

Wytypowane elementy sieci gazowej to: rury, kształtki do gazociągów z rur stalowych, kształtki do gazociągów z polietylenu, armatura odcinająca, uszczelnienia elementów sieci gazowych, monobloki, przyłącza domowe do gazu, połączenia PE–stal, reduktory ciśnienia, filtry.

Oprócz materiałów wymienionych powyżej (stal, polietylen, staliwo, żeliwo, pakuły lniane z pastą uszczelniającą, teflon, NBR, klingeryt) w elementach sieci gazowej mogą być obecne inne materiały.

Dla wytypowanych elementów sieci gazowej dokonano przeglądu dostępnych dokumentacji technicznych wyrobów, kart katalogowych, katalogów produktowych i innych materiałów udostępnianych przez producentów. Na podstawie tej analizy zestawiono materiały, które występują w sieciach gazowych.

Oceniając wpływ na elementy sieci gazowej paliwa alternatywnego wytworzonego w oparciu o wstępnie oczyszczony biogaz lub o mieszaninę wstępnie oczyszczonego biogazu z gazem ziemnym, oceną powinny zostać objęte wszystkie wymienione powyżej materiały i rodzaje połączeń oraz ich uszczelnień.

Charakterystyka elementów instalacji gazowych

Instalację gazową zasilaną z sieci gazowej stanowi układ przewodów za kurkiem głównym, prowadzonych na zewnątrz lub wewnątrz budynku, wraz z armaturą, kształtkami i innym wyposażeniem i urządzeniami gazowymi, mający początek w miejscu połączenia przewodu z kurkiem głównym gazowym odcinającym tę instalację od przyłącza, a zakończenie – na urządzeniach gazowych.

Najważniejszym aktem prawnym zawierającym wymagania dotyczące budowy, projektowania, konserwacji i eksploatacji instalacji gazowych w budynkach jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami). Zawarto w nim wymagania dotyczące instalacji gazowych, które opisane są w rozdziale 7 – *Instalacja gazowa na paliwa gazowe*.

W rozporządzeniu określono m.in. rodzaje materiałów, z jakich można wykonywać instalacje gazowe w budynkach. Zgodnie z tym dokumentem instalacje gazowe w budynkach mogą być wykonywane z:

- rur stalowych bez szwu bądź z rur stalowych ze szwem;
- rur miedzianych.

W instalacjach oprócz rur występują również łączniki, służące do wykonywania połączeń poszczególnych odcinków rur ze sobą, a także do łączenia z armaturą oraz urządzeniami gazowymi. Jeśli chodzi o połączenia rur, to rury stalowe mogą być łączone przez spawanie lub z zastosowaniem połączeń gwintowych. W przypadku tych drugich, w których szczelność uzyskiwana jest na gwincie, występują takie elementy instalacji jak złączki żeliwne oraz złączki mosiężne. Do podstawowych typów gwintowych łączników należą: kolanka, trójniki, czwórniki, łuki, złączki (mufy), zaślepki i korki.

Rury miedziane mogą być łączone poprzez lutowanie lutem twardym. Możliwe są również inne sposoby łączenia rur, jeżeli spełniają one wymagania szczelności i trwałości określone w Polskiej Normie dotyczącej przewodów gazowych dla budynków – i tak do łączenia rur miedzianych wykorzystuje się tzw. złączki zaprasowywane (Minor, 2017).

Polska Norma PN-EN 1775:2009 *Dostawa gazu – Przewody gazowe dla budynków – Maksymalne ciśnienie robocze równe 5 bar lub mniejsze – Zalecenia funkcjonalne* dopuszcza stosowanie różnych połączeń, m.in.:

- gwintowanych – połączenia gwintowane powinny być zgodne z PN-EN 10226-1 lub PN-EN 10226-2. Rurowe kształtki gwintowane mogą być wykonane z żeliwa ciągliwego, stali, miedzi lub stopów miedzi;
 - spawanych, lutowanych twardo lub miękko, zgrzewanych – przewodnik ich wykonania zawarty został w powyższej normie;
 - mechanicznych – połączenia, które uzyskuje się poprzez zaciskanie, z użyciem lub bez użycia uszczelki, które mogą być demontowane i ponownie montowane;
 - zaciskowych – wykonywane przy użyciu narzędzi, z zastosowaniem uszczelki typu o-ring, powinny być odporne na siły działające na przewody, np. rozciąganie, zginanie, skręcanie;
 - systemu łączenia falistych przewodów rurowych giętkich ze stali nierdzewnej – system ten zbudowany jest z rur stalowych falistych i złączek (kształtek mechanicznych).
- Łączniki miedziane powinny być wykonane z tego samego gatunku miedzi co rury do lutowania.

W przypadku armatury odcinającej norma PN-EN 1775 podaje wymaganie, że kurki kulowe sterowane ręcznie powinny spełniać wymagania normy PN-EN 331.

Elastyczne przewody podłączeniowe urządzeń gazowych powinny mieć na stałe zamontowane końcówki złączne. W przypadku zastosowania przewodów z tzw. szybkozłączem gazowym końcówka powinna być samouszczelniająca.

Oprócz tych rodzajów rur i sposobów ich łączenia – do podłączania urządzeń gazowych w instalacjach gazowych mogą być wykorzystywane elastyczne przewody rozciągliwe i nierozciągliwe, jak również elastyczne przewody z szybkozłączem.

Podobnie jak w połączeniach gwintowych stosowanych w sieciach gazowych – również w instalacjach gazowych wykorzystywane są różnego rodzaju materiały uszczelniające.

Do uszczelniania połączeń gwintowych elementów instalacji gazowych stosowane są:

- pakuły lniane oraz pakuły konopne z pastą uszczelniającą;
- taśmy teflonowe;
- nici teflonowe;
- kleje anaerobowe.

W połączeniach gwintowych, w których szczelność uzyskiwana jest poza gwintem, jako uszczelnienie stosuje się uszczelki płaskie lub tzw. o-ringi. Uszczelki płaskie mogą być wykonane z takich materiałów jak guma NBR lub klingeryt. Uszczelki typu o-ring produkowane są najczęściej z gumy NBR.

Oto wybrane elementy instalacji gazowych, które w dalszej części poddano ocenie: rury, kształtki do instalacji, reduktory ciśnienia, zawory szybkozamykające, zawory odcinające, kurki kulowe, przewody gazowe do podłączania urządzeń, rozciągliwe metalowe przewody faliste giętkie, przewody gazowe do podłączania urządzeń, metalowe przewody gazowe z szybkozłączem, elementy przyłączeniowe w punktach gazowych: łączniki, monozłącza, gazomierze, aparatura kontrolno-pomiarowa: ciśnieniomierze, kurki manometryczne, filtry.

Oceniając wpływ na instalację gazową paliwa alternatywnego wytworzonego w oparciu o wstępnie oczyszczony biogaz lub mieszaninę wstępnie oczyszczonego biogazu z gazem ziemnym, oceną powinny zostać objęte wszystkie wymienione materiały i rodzaje połączeń oraz ich uszczelnienia.

Oto zestawienie materiałów, z którymi można się spotkać w sieciach i/lub instalacjach gazowych:

Stale gatunków: L360 (NE, NB, N, QB), L415NB, L240MB, L245 (NB, MB), L485MB, L555 (QB, MB, ME), L290 (NB, N), P50GH, P235, P245, P250, P265, P280, P285, P355 (NH, NL1, QH1, NH), S355J2+N, X30Cr13, S235JR, 304, C45+Zn CrNi, stal spawalna drobnoziarnista hartowana i odpuszczana, stal cynkowana węglowa, stal kwasoodporna, stal nierdzewna (1.4104, ASI 304L), stal odporna na korozję, stal galwanizowana, stal ocynkowana, stal węglowa, polietylen klasy PE100, PE 100-RC, miedź, stopy miedzi, mosiądz, mosiądz z powłoką niklowaną (np. DZR CW602N), żeliwo, żeliwo sferoidalne, staliwo, aluminium, PTFE – teflon, NBR, HNBR, EPDM, PTFE, klingeryt (grafit), płyty epoksydowe, kleje anaerobowe, pakuły lniane, pasta uszczelniająca.

Charakterystyka biogazu i jego wpływ na sieć i instalację gazową

W Zakładzie Ochrony Środowiska INiG – PIB w roku 2021 realizowano pracę pt. *Charakterystyka jakościowa biogazu*

rolniczego wraz z określeniem jego wpływu na środowisko (Holewa-Rataj et al., 2021), która miała na celu ustalenie zakresu zmienności biogazu rolniczego i jego charakterystyki. Przeprowadzona w ramach realizacji części tej pracy analiza literatury wykazała, po pierwsze, że biogaz rolniczy jest gazem wieloskładnikowym – i spodziewać się można obecności w nim nawet ponad 150 związków chemicznych, przy czym wiele z nich występuje w ilościach śladowych. Po drugie, skład biogazu rolniczego jest bardzo zmienny pod względem składników, a także ich stężeń i zależy to od wielu czynników, m.in. surowców, z których produkowany jest biogaz, czy też warunków prowadzenia procesu fermentacji. Surowy biogaz rolniczy zawiera duże ilości zanieczyszczeń, które ograniczają jego zastosowanie; co prawda biogazownie stosują wstępne oczyszczanie, ale w stopniu niewystarczającym, aby mógł być zatłaczany do lokalnych sieci gazowych.

Autorzy wspomnianej pracy (Holewa-Rataj et al., 2021) na podstawie przeprowadzonych badań literaturowych i własnych doświadczeń zaplanowali wykonanie badań składu biogazu surowego i biogazu oczyszczonego przez biogazownie. Na podstawie wykonanych badań i analiz jakości biogazu w Zakładzie Ochrony Środowiska określono charakterystykę jakościową biogazu rolniczego wytwarzanego w 11 wybranych obiektach, co pozwoliło na wyznaczenie przewidywanego zakresu zmienności składu tego typu gazów. Na podstawie danych uzyskanych z Zakładu Ochrony Środowiska (tj. składów biogazu i jego możliwych zanieczyszczeń) przeprowadzono w niniejszej pracy analizę literaturową wpływu tych wstępnie określonych składników i zanieczyszczeń na elementy sieci i instalacji gazowej.

Parametry jakościowe paliw gazowych zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego (Dz.U. z 2018 r. poz. 1814).

W normie PN-C-04752:2011 zawarto wymagania dotyczące jakości gazu ziemnego przesyłanego gazociągami pod wysokim ciśnieniem (określono wielkości, które bierze się pod uwagę przy ocenie jakości gazu w sieci przesyłowej, podano ich dopuszczalne wartości graniczne), jak również podano wymagania odnośnie do gazu opuszczającego sieć przesyłową. Dokumenty te określają dopuszczalne składy i parametry gazów, które mogą być bezpiecznie transportowane sieciami gazowymi – każdy inny skład wymaga analizy.

Woda jest jednym z najgroźniejszych zanieczyszczeń w gazie. Ma ona właściwości korozyjne i przyczynia się do korozji elementów sieci i instalacji gazowej. Jak określiła Piskowska-Wasiak w swoim artykule (2014) kluczowymi etapami procesu uzdatniania gazu są: osuszanie, usuwanie siarkowodoru i innych gazów o właściwościach korozyjnych oraz usuwanie dwutlenku węgla. Woda może również wiązać się z innymi substancjami,

tworząc niekorzystnie oddziałujące związki. Dlatego na każdym etapie należy eliminować wodę zawartą w gazie. Jednoczesne występowanie dwutlenku węgla (CO_2) w transportowanym gazie będzie prowadziło do agresywnej korozji rur. Powstające produkty korozji z kolei mogą przedostawać się do gazu, stanowiąc zanieczyszczenia mechaniczne. Zapylenie gazociągów jest zjawiskiem niepożądanym i szkodliwym, mającym ujemny wpływ na eksploatację całej sieci gazowej.

Łaciak (2019) podkreśla, że podstawowym warunkiem bezawaryjnej pracy sieci gazowych jest obecność w gazociągu tylko fazy gazowej. Transport gazu wraz z wykroploną wodą lub kondensatem węglowodorowym wiąże się z możliwością tworzenia się hydratów, a to ma negatywny wpływ na dokładność pomiarów, stanowi zagrożenie dla pracy tłoczni gazu, a także jest przyczyną zwiększonych oporów przepływu. Autor ten zwrócił również uwagę na problemy, jakie mogą stwarzać kondensaty gazu ziemnego. Składają się one głównie z węglowodorów alifatycznych i aromatycznych. W warunkach normalnych kondensat może zawierać również metanol, który dodawany jest do gazu ziemnego w celu powstrzymania tworzenia się hydratów gazowych. Poszczególne elementy konstrukcyjne sieci i instalacji powinny być na nie odporne, co jest potwierdzone przed ich wprowadzeniem do użytkowania. Przykładem tego są rury PE przeznaczone do przesyłania gazu ziemnego produkowane z surowców, które spełniają wymagania normy PN-EN 1555-1:2021. Jednym z tych wymagań jest właśnie odporność na kondensat gazu. Badanie polega na poddaniu próbki rury działaniu kondensatu syntetycznego składającego się z 50% n-dekanu i 50% 1-3-5-trimetylobenzenu – z grupy węglowodorów aromatycznych.

Kolejnym problematycznym składnikiem biogazu może być wodór w nim zawarty. W Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym od kilku już lat prowadzone były prace badawcze dotyczące wpływu mieszaniny gazu ziemnego i wodoru na poszczególne fragmenty systemu gazowniczego. Wyniki części z tych prac przedstawiono w artykule Jaworskiego et al. (2019). Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach jednej z prac można stwierdzić, że maksymalna ilość wodoru, jaką można zatłaczać do gazu ziemnego wysokometanowego tak, aby powstała mieszaninę można było bezpiecznie spalać w domowych i komercyjnych urządzeniach gazowych bez konieczności dokonywania zmian w ich konstrukcji, to 23% – ze względu na bezpieczeństwo spalania. Natomiast aby powstała mieszaninę bezpiecznie i efektywnie spalać, dodatek wodoru nie powinien być większy niż 15%. W pracach INiG – PIB zajmowano się także wpływem dodatku wodoru do gazu ziemnego na bezpieczeństwo eksploatacji i dokładność wskazań gazomierzy miechowych. Końcowe wnioski z uzyskanych wyników prac były podobne, autorzy nie odnotowali negatywnego wpływu wodoru na charakterystykę

gazomierzy oraz na bezpieczeństwo ich użytkowania do zawartości 15% H₂ w gazie ziemnym. W artykule Jaworskiego et al. (2019) przytoczono również wyniki z przeprowadzonych badań na reduktorach średniego ciśnienia, z których wynika, że 15-proc. dodatek wodoru nie miał negatywnego wpływu na reduktory średniego ciśnienia.

Wpływ kolejnej substancji na elementy sieci gazowej omawiał Bortel (2010, 2012), który powołując się na badania przeprowadzone na rurach wykonanych z polietylenu klasy PE 100, stwierdził wpływ związków chloru (ClO₂, NaClO) na właściwości mechaniczne rur polietylenowych. W ramach badań potwierdził spadek wartości wydłużenia do zerwania, jak również czasu indukcji utlenienia, czyli fakt, że parametry wytrzymałościowe rur PE uległy pogorszeniu. Oddziaływaniem chloru na polietylen zajmowali się również Hassinen et al. (2004), którzy podali, że w przypadku rur polietylenowych zaobserwowano pogorszenie się parametrów technicznych na skutek oddziaływania chloru na polietylen. Przeprowadzone z wykorzystaniem chromatografii badania oraz badania DSC wykazały znaczną degradację tego materiału, prowadzącą do daleko idących uszkodzeń powierzchni, a nawet krystalicznej struktury polimeru.

Problemy związane ze zjawiskiem korozji metali, z których wykonane są instalacje, wynikać mogą m.in. z ich niewłaściwego łączenia. Przykładowo łączenie elementów stalowych z mosiężnymi powoduje, że na styku dochodzi do korozji elektrochemicznej. Podobnie jest w przypadku łączenia rur stalowych z elementami miedzianymi, gdyż osadzające się na powierzchni stali jony miedzi intensyfikują procesy korozyjne. Początkowo twierdzono, że miedź z uwagi na swoje antybakteryjne właściwości nie ulega korozji pod wpływem działalności drobnoustrojów, a jedynie korozji elektrochemicznej. Jednak przeprowadzone badania potwierdzają korozję rur i kształtek miedzianych wywołaną przez drobnoustroje (Sitarska, 2010).

Polietylen pomimo liniowej budowy i przeważającej liczby wiązań nasyconych zawiera cząsteczki o różnym stopniu rozgałęzienia, jak również z podwójnymi wiązaniami pomiędzy atomami węgla, co czyni go bardziej podatnym na biodegradację (Traczewska et al., 2010). Początkowo uważano, że tworzywa sztuczne nie będą ulegały korozji mikrobiologicznej. Jednak odkrycie w latach 90. biodegradowalności materiałów syntetycznych dało początek przypuszczeniom, że materiały te mogą również ulegać korozji (Zysk i Żakowska, 2005). Problemy związane z obecnością mikroorganizmów w gazach dotyczą również gazociągów metalowych. Elementy rurociągów wykonane ze stali oraz żeliwa w trakcie eksploatacji ulegają uszkodzeniom mechanicznym i korozji elektrochemicznej, co prowadzi do zwiększenia awaryjności sieci. Przeprowadzone badania (Tu et al., 1999; Maker, 2000) dowiodły zwiększonej podatności na korozję rurociągów wykonanych ze stali

i żeliwa, ponieważ w trakcie procesu hartowania często dochodzi do powstawania mikroszczelin i pęknięć, w których podczas eksploatacji osiadają mikroorganizmy powodujące korozję mikrobiologiczną. Korozja ta jest wynikiem obecności drobnoustrojów wykorzystujących substancje zawarte w rurociągach i w przesyłanym medium w swoich procesach metabolicznych (Świdarska-Bróz i Wolska, 2003). Korozję biologiczną wewnątrz sieci gazowej można ograniczyć poprzez osuszanie przesyłanego paliwa. Jednoczesna obecność azotu czy nawet śladowych ilości dwutlenku węgla i pary wodnej w gazie stymuluje rozwój mikroorganizmów. Również początkowo twierdzono, że miedź z uwagi na swoje antybakteryjne właściwości nie ulega korozji pod wpływem działalności drobnoustrojów, a jedynie korozji elektrochemicznej. Jednak przeprowadzone badania potwierdzają korozję rur i kształtek miedzianych wywołaną przez drobnoustroje (Sitarska, 2010). Z dotychczasowych badań (Staniszewska et al., 2017) wynika, że mikroorganizmy są często niedocenianym zagrożeniem dla podziemnych magazynów gazu, jak i dla gazociągów, a ich działalność może skutkować zasiarczeniem gazu ziemnego oraz korozyjnymi zniszczeniami infrastruktury magazynowej i przesyłowej.

Fabijański (2013) przedstawił i omówił w swoim artykule wyniki badań odporności polietylenu, polipropylenu, polistyrenu, poliamidu na działanie substancji agresywnych (kwasów i zasad). Badane próbki poddano ekspozycji przez okres 21 dni na działanie: oleju hydraulicznego, 5-proc. roztworu chlorku sodu, 5-proc. roztworu kwasu siarkowego, 5-proc. roztworu wodorotlenku sodu, 10-proc. roztworu kwasu octowego. Następnie na próbkach przeprowadzono badania cech wytrzymałościowych przy próbie statycznego rozciągania oraz badanie twardości. Wyniki badań potwierdziły, że polietylen wykazuje znaczącą odporność na działanie silnych kwasów i zasad. Nie zauważono znaczącego obniżenia parametrów mechanicznych. Najniższą wartość naprężenia maksymalnego przy próbie statycznego rozciągania uzyskano dla próbek poddanych oddziaływaniu kwasu octowego, natomiast największy spadek twardości zaobserwowano w przypadku próbek poddanych oddziaływaniu oleju mineralnego.

W publikacjach autorzy odnosili się również do wpływu na elementy sieci i instalacji substancji, które mogą w biogazie wystąpić w ilościach śladowych. Terpeny są częstym zanieczyszczeniem spotykanym w biogazie. Ich obecność w biogazie może wiązać się z wieloma problemami, np. związanymi z nawonieniem (maskowanie zapachu), z jakością powietrza (środowisko pracy) i z problemami operacyjnymi. Arrhenius et al. (2016) wspominają o możliwym niekorzystnym wpływie terpenów na integralność rurociągów z tworzyw sztucznych i na elementy sieci gazowej. Natomiast w raporcie 2017:350 (Arrhenius et al., 2017) przedstawiono wyniki badań

oddziaływania terpenów na materiały gumowe (NBR, EPDM, CR neopren, FKM – viton – kauczuk fluorowy, FFKM – elastomer perfluorowy). Wniosek, jaki można wyciągnąć z tych danych, jest taki, że większość mieszanek gumowych nie jest w pełni odporna na terpeny – z wyjątkiem FKM i FFKM. Stanuch i Biegańska (2014) omówili problemy związane z występowaniem siloksanów w biogazie jako zanieczyszczeń śladowych, udowadniając, że mogą one negatywnie wpływać na funkcjonowanie urządzeń.

W ostatnich latach na świecie i w Europie prowadzone były zakrojone na szeroką skalę projekty badawcze zajmujące się dodawaniem do gazu ziemnego gazów niekonwencjonalnych (m.in. biogazu, w tym biogazu rolniczego). W raporcie GT-140282 z holenderskiego programu badawczego, który realizowany był w latach 2009–2015 przy udziale instytucji z państw europejskich, w tym ze Szwecji, Danii i Holandii, autorzy zawarli wyniki projektu, w którym oceniano wpływ składników biogazów na materiały stosowane w systemie dystrybucji gazu w Holandii (de Bruin et al., 2015). Praca ta miała pomóc w udzieleniu odpowiedzi na pytanie, jaki jest dopuszczalny procent dodatku różnych gazów, m.in. biogazu, do gazu ziemnego celem zatłoczenia do istniejącej holenderskiej infrastruktury gazowniczej. Ocenę wpływu składników obecnych w gazach na najważniejsze materiały występujące w sieci gazowej przeprowadzono na podstawie przeglądu literatury i badań. Wyniki analizy przyczyniły się do sformułowania zaleceń, których spełnienie umożliwiłoby zatłoczenie biogazu do istniejącej holenderskiej sieci dystrybucji gazu. Konieczne jest mianowicie osuszenie gazu, obniżenie temperatury rosy wody w gazie w punktach wejścia gazu w celu zapobieżenia tworzeniu się ciekłych węglowodorów (poprzez obniżenie stężenia par węglowodorów aromatycznych). W projekcie tym nie zbadano jednak wpływu kilku składników gazu (cyjanowodoru i tlenu węgla), a dostępna literatura (Hagen et al., 2001; Hermkens et al., 2016) wskazuje, że możliwe jest negatywne oddziaływanie tych składników gazów. Dlatego też autorzy zalecają, aby stężenie cyjanowodoru i tlenu węgla przed wprowadzeniem do sieci dystrybucji było utrzymywane na jak najniższym poziomie. Wskazują oni również na konieczność obniżenia stężenia tlenu.

W innym raporcie z projektu (Broomhall et al., 2011) autorzy przedstawili ocenę zagrożenia i ryzyka związanego z wprowadzaniem gazów niekonwencjonalnych (m.in. biogazu, w tym biogazu rolniczego) do istniejącej sieci gazowej. W opracowaniu tym oparto się na analizie literatury, jak i na wynikach przeprowadzonych prac na zlecenie brytyjskiego Health and Safety Executive (HSE). Wnioski zawarte w raporcie są następujące: większość zagrożeń degradacji materiałów związanych z wprowadzeniem gazu do stalowych rurociągów sieci dystrybucyjnej gazu jest uzależniona od obecności wody. W obecności wody

dwutlenek węgla staje się wysoko korozyjny. Konieczne jest więc osuszenie gazu, jak również obniżenie zawartości siarkowodoru (siarkowodór ma działanie niekorzystne nie tylko na stal, ale również na miedź i jej stopy), obniżenie zawartości siloksanów, obniżenie zawartości tlenu, w szczególności dla gazu o większej zawartości wilgoci (tlen także niekorzystnie oddziałuje na elementy wykonane z miedzi i stopów miedzi, może dochodzić do zasiarczenia elementów wykonanych z miedzi i jej stopów, czego następstwem jest tworzenie się zapylenia, co z kolei może niekorzystnie wpływać na kurki, urządzenia pomiarowe i gazomierze). Autorzy raportu uznali, że aby móc określić stężenia tych związków, które mogły być uznane za niebezpieczne, wymagane jest przeprowadzenie dalszych badań. Zwrócili również uwagę na problemy, jakie może stwarzać obecność bakterii w gazie, mogą one mianowicie powodować korozję biologiczną wewnątrz sieci gazowej. Celowe więc wydaje się prowadzenie dalszych prac w tym zakresie. Autorzy tej pracy proponują również w celu zminimalizowania niekorzystnego oddziaływania biogazu na elementy sieci i instalacji, aby zamiast przesyłania siecią samego biogazu mieszać go z gazem ziemnym, poprzez co zmniejszone zostanie stężenie niekorzystnych składników i ograniczone ich niekorzystne oddziaływanie na elementy sieci i instalacji gazowej. Jednocześnie zwracają uwagę na fakt, że w sieci występują wahania przepływu związane z różnym zapotrzebowaniem na gaz w ciągu dnia, jak również występują znaczne różnice pomiędzy zużyciem w okresie letnim i zimowym, przez co kontrolowanie stężenia poszczególnych związków jest trudniejsze.

W raporcie SGC 118 (Hagen et al., 2001) autorzy podkreślili, że problem związany z przesyłaniem tlenu węgla jest znany już od lat. Gaz miejski zawierający tlenek węgla jest rozprowadzany od dziesięcioleci na całym świecie. Potencjalny problem pojawia się w przypadku stosowania w urządzeniach stali nierdzewnej. Nikiel, jeśli jest obecny, w stali nierdzewnej reaguje w temperaturze pokojowej z tlenkiem węgla z wytworzeniem gazowych związków karbonylowych. W raporcie WG-Biogaz-06-18 (Marcogaz, 2006) z prac grupy roboczej eksperci z 9 krajów europejskich, którzy zajmowali się problemami związanymi z zatłaczaniem gazów ze źródeł niekonwencjonalnych do sieci gazowych, w tym biogazu, zidentyfikowali jako potencjalne zagrożenia dla sieci gazowych obecność następujących składników biogazu:

- siloksanów – ze względu na powstawanie krzemionki w trakcie spalania;
- amoniaku – jako składnika mogącego powodować korozję w sieci i instalacji gazowej;
- czynników biologicznych, które mogą powodować biokorozję;
- halokarbonów (w których mogą występować fluorowce) – jako składników mogących również powodować korozję.

Autorzy sformułowali minimalne zalecenia, tj. aby zatłaczając gazy niekonwencjonalne, różniące się składem od gazu ziemnego, zwrócić uwagę na zawartość wodoru, ponieważ może on mieć niekorzystny wpływ na właściwości mechaniczne materiałów użytych do budowy gazociągów, co może zagrażać integralności gazociągu. Zalecają również, aby zwrócić uwagę na WWA, które mogą się skraplać w gazociągach i powodować ich zatykanie. Amoniak z obecności tlenu działa korodująco na metale żelazne (stal węglowa) i metale nieżelazne, w tym mosiądz. Powoduje równocześnie ryzyko pęknięcia, w szczególności dla stali o wysokiej wytrzymałości.

W przypadku elementów sieci i instalacji gazowych powinna być potwierdzona odporność materiałów na związki chemiczne zawarte w przesyłanym medium. W celu identyfikacji składu chemicznego biogazu w Zakładzie Ochrony Środowiska przeprowadzono oznaczenia zawartości szeregu analitów i obliczono wiele parametrów fizykochemicznych. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz jakości biogazu Zakład Ochrony Środowiska określił charakterystykę jakościową biogazu rolniczego wytwarzanego w 11 wybranych obiektach, co pozwoliło na wyznaczenie przewidywanego zakresu zmienności składu tego typu gazów.

Analizując dane uzyskane z Zakładu Ochrony Środowiska, mając na uwadze dużą zmienność parametrów biogazów rolniczych, do dalszych rozważań tej części pracy wzięto pod uwagę parametry gazu wstępnie oczyszczonego przez biogazownie. Dla uzyskanych w pracy Holewa-Rataj et al. (2021) wyników wyliczono wartości średnie parametrów dla gazów wstępnie oczyszczonych przez biogazownie. Oczywiście przyjęcie takich wartości stanowi duże uproszczenie, lecz w celu realizacji pracy takie podejście zostało wybrane. Uśredniony skład i parametry biogazu na podstawie badań wykonanych w Zakładzie Ochrony Środowiska przedstawiono w tabeli 1.

Analizując wpływ składników biogazu na elementy sieci gazowej i instalacji, należy głównie zwrócić uwagę na te z nich, które nie występują w gazie ziemnym, oraz na te, których stężenia są wyższe niż dopuszczalne dla gazu ziemnego. Nie można równocześnie zapominać o ich możliwych reakcjach wzajemnych. Należy także zwrócić uwagę na dużą zmienność składników biogazu rolniczego w czasie. Problem wahań składu gazu i jego wpływu na infrastrukturę gazową rozpatrywali Barczyński i Łaciak (2014), którzy w swojej publikacji stwierdzili, że dla pracy sieci i instalacji niekorzystne mogą być ewentualne wahania składu gazu. Stabilność składu gazu w czasie jest ważnym czynnikiem decydującym o możliwości wprowadzania gazu do sieci i instalacji. W gazie mogą pojawiać się okresowo zwiększone ilości składników mogących mieć negatywny wpływ na rurociągi i urządzenia stosowane do transportu gazu. Tworzywa sztuczne, w tym polimery, charakteryzują się niską reaktywnością, z czego wynika ich duża

Tabela 1. Uśredniony skład i parametry biogazu na podstawie badań wykonanych w Zakładzie Ochrony Środowiska (Holewa-Rataj et al., 2021)

Table 1. Averaged biogas composition and parameters based on tests carried out at the Department of Environmental Protection (Holewa-Rataj et al., 2021)

Składnik	Jednostka	Wartość
Metan	[% mol/mol]	58,9
Tlenek węgla(IV)	[% mol/mol]	38,4
Tlen	[% mol/mol]	0,4
Azot	[% mol/mol]	2,3
Tlenek węgla(II)	[ppm]	2,0
Wodór	[ppm]	<50
Węglowodory alifatyczne C2–C6	[ppm]	<10
Siarkowodór	[mg/m ³]	78,8
Siarka całkowita	[mg/m ³]	76,8
Siarka merkaptanowa	[mg/m ³]	2,21
Amoniak	[mg/m ³]	13,5
Rtęć	[μg/m ³]	<30
Siloksany	[μg/m ³]	3,5
Krzem	[μg/m ³]	1,3
Związki chloru	[mg/m ³]	1,9
Związki fluoru	[mg/m ³]	1,4
WWA	[μg/m ³]	0,4
BTEX	[mg/m ³]	3,9
Metanol	[mg/m ³]	2,3
Etanol	[mg/m ³]	2,4
i-propanol	[mg/m ³]	0,9
Cyjanki	[μg/m ³]	<10
Zawartość wody	[g/m ³]	8,7
Wilgotność względna	[%]	37,6
Punkt rosy	[°C]	11,5

odporność na działanie czynników chemicznych – są odporne na większość zwykłych środowisk korozyjnych. Istnieją jednak związki chemiczne, na które tworzywa te nie są odporne lub ich odporność chemiczna jest ograniczona. Z reguły odporność chemiczna tworzyw maleje wraz ze wzrostem temperatury. W wyniku oddziaływania danego związku chemicznego może dojść do pęcznienia tworzywa, a nawet jego rozpuszczenia. Może to wystąpić w sytuacji, gdy tworzywo zostanie poddane działaniu rozpuszczalnika.

Dla większości popularnych tworzyw termoplastycznych stosowanych w systemach gazociągowych, wodociągowych i kanalizacyjnych przedstawiono klasyfikację odporności chemicznej materiałów rurowych, jak i materiałów kształtek w dokumencie technicznym PKN-ISO/TR 10358:2016-08. W specyfikacji tej zamieszczono klasyfikację odporności chemicznej różnych materiałów polimerowych na wiele sub-

stancji chemicznych, w różnych temperaturach oraz różnych stężeniach. Specyfikację tę można wykorzystać do wyselekcjonowania substancji, dla których odporność chemiczna danego materiału oznaczona jest jako ograniczona lub nieokreślona. W raporcie TR-19/2007 Plastics Pipe Institute (2007) zawarto tablice odporności chemicznej rur z tworzyw termoplastycznych. Rury polietylenowe są sklasyfikowane tam również jako odporne na działanie większości związków chemicznych. W raporcie zawarto jednak zastrzeżenie, że zestawienie może nie mieć pełnego zastosowania do systemów ciśnieniowych.

W powyższych dokumentach rury PE sklasyfikowano jako odporne na działanie wodoru – podobnie jak w specyfikacji PKN-ISO/TR 10358:2016-08, gdzie polietylen określa się jako odporny na działanie wodoru zarówno w temperaturze 20°C, jak i 60°C. Zarówno w dokumencie technicznym PKN-ISO/TR 10358:2016-08, jak i we wspomnianym raporcie TR-19/2007 badania potwierdzające odporność chemiczną prowadzone były metodą zanurzeniową, tj. próbki pozostawały tylko w kontakcie z wybranym związkiem chemicznym i badano je pod kątem ich pęcznienia, zmiany masy oraz zmiany wytrzymałości (wydłużenia względnego przy zerwaniu).

Według specyfikacji PKN-ISO/TR 10358:2016-08 rury z polietylenu wysokiej gęstości są odporne na działanie dwutlenku węgla, siarkowodoru, wodoru, tlenku węgla, tlenu, amoniaku – w temperaturze 20°C i 40°C. Norma ta podaje jedynie odporność ogólną, tzn. bez uwzględnienia możliwych w warunkach eksploatacji dodatkowych obciążeń, np. ciśnienia, naprężeń mechanicznych, zmian składu chemicznego i innych. Polietylen w przypadku czystego benzenu w temperaturze 20°C oceniony jest jako odporny z ograniczeniami, natomiast w temperaturze 60°C – jako nieodporny. Dla czystego toluenu stwierdzono niedostateczną odporność polietylenu w temperaturach 20°C i 60°C. W przypadku ksylenów odporność ograniczoną określono w temperaturze 20°C, natomiast w temperaturze 60°C stwierdzono ogólny brak odporności. W temperaturach 20°C i 60°C stwierdzono ogólny brak odporności na etylobenzen. W przypadku WWA w 20°C PE oceniony jest jako odporny, natomiast w 60°C – jako odporny z ograniczeniami. Dla chloru odporność ograniczoną określono w temperaturze 20°C, natomiast w temperaturze 60°C PE oceniono jako nieodporny.

Również według specyfikacji TR-19/2007 rury z polietylenu wysokiej gęstości są ocenione jako odporne na działanie dwutlenku węgla, siarkowodoru, wodoru, tlenku węgla, tlenu, amoniaku. Polietylen w przypadku czystego benzenu i czystego toluenu oceniono jako odporny z ograniczeniami, natomiast zakwalifikowano go jako nieodporny na ksyleny.

Jednocześnie należy wyraźnie zaznaczyć, że zarówno w przypadku raportu PKN-ISO/TR 10358:2016-08, jak i specyfikacji TR-19/2007 badania potwierdzające odporność

chemiczną prowadzono metodą zanurzeniową, tj. próbki były tylko w kontakcie z wybranym związkiem chemicznym. Podobnie jak w ocenie odporności chemicznej na kondensat gazu próbki badane były pod kątem ich pęcznienia, zmiany masy oraz zmiany wytrzymałości (wydłużenia względnego przy zerwaniu).

Niewystarczające jest odwoływanie się do odporności chemicznej określanej w warunkach ciśnienia atmosferycznego, jak np. dla polimerów w PKN-ISO/TR 10358:2016-08.

Tworzywa sztuczne są odporne na działanie wielu czynników chemicznych, z reguły odporność chemiczna tworzywa maleje wraz ze wzrostem temperatury. W wyniku oddziaływania danego związku chemicznego może dojść do pęcznienia tworzywa, a nawet do jego rozpuszczenia. Może to wystąpić w sytuacji, gdy tworzywo zostanie poddane działaniu rozpuszczalnika.

Poradnik odporności chemicznej *Chemical resistance information for plastic and metal valves and fittings* (Nibco, 2017) zawiera klasyfikację odporności materiałów, która ma być pomocna dla projektantów przy doborze materiałów odpornych na działanie substancji chemicznych. Podane w nim informacje mają charakter wyłącznie informacyjny. Na wybór materiału może mieć wpływ wiele czynników. Przed dokonaniem ostatecznego wyboru materiału należy dokładnie rozważyć temperaturę, ciśnienie i stężenia.

W niniejszej pracy oprócz analizy danych literaturowych, analizy dokumentów dotyczących materiałów, z których mogą być produkowane elementy sieci i instalacji gazowej (dokumentacji technicznej, kart produktów, kart katalogowych, katalogów produktów), w celu zebrania danych do realizowanej pracy, w oparciu o zebrane wcześniej doświadczenia, rozesłano zapytania do ponad 40 producentów elementów stosowanych w sieciach i instalacjach gazowych, jak również do producentów materiałów wykorzystywanych w produkcji tych elementów. Zwrócono się z zapytaniem, czy ich wyroby mogą być stosowane w sieciach i instalacjach gazowych zasilanych gazem o podanym składzie chemicznym. W przypadku gdy dany wyrób nie mógł być stosowany, prosiliśmy o informację na temat składnika, którego zawartość powinna być obniżona – i do jakiego poziomu – aby dany element można było zastosować w sieci lub instalacji zasilanej danym gazem. Odpowiedzi na zadane pytania uzyskaliśmy jedynie od 11 producentów, z których większość sugerowała, że konieczne jest wykonanie badań laboratoryjnych, aby potwierdzić możliwość zastosowania produktów do przesyłu gazu o takim składzie. Jeden z producentów rur z polietylenu zadeklarował, że rury ich produkcji wytwarzane z polietylenu klasy PE100-RC przeznaczone do przesyłania paliw gazowych mogą służyć do przesyłania gazów o parametrach podanych w przesłanym zapytaniu, inni odesłali nas do dokumentów,

w których przedstawili odporność chemiczną opracowaną na podstawie normy PKN-ISO/TR 10358:2016-08. Odpowiedź uzyskaliśmy również od producentów systemu złączy zaprasowywanych przeznaczonych do łączenia rur z miedzi i stopów miedzi. Wskazali oni, że problematyczna jest wartość stężenia składników gazu: tlenku węgla(IV) i tlenku węgla(II), a także zawartości wody – wilgotności względnej. Można zatem wnioskować, że niezbędne jest osuszenie gazu i oczyszczenie z tlenku węgla(IV) i tlenku węgla(II).

Na podstawie analizy literaturowej oraz informacji zebranych od producentów przedstawiono poniżej zestawienie związków chemicznych, które powinny być usunięte z biogazu przed wprowadzeniem do sieci i instalacji gazowych albo których stężenie powinno być obniżone do stopnia zgodnego z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego (Dz.U. z 2018 r. poz. 1814) oraz ze Standardem Technicznym ST-IGG-3501:2009.

Zestawienie to dotyczy związków, w przypadku których wykazano brak odporności albo odporność została określona jako ograniczona, i dotyczy tylko wybranej części materiałów, dla których dostępne były dane. Należy zaznaczyć, że zestawienie opiera się częściowo na wynikach oddziaływania czynnika chemicznego o stężeniu 100%, a w niektórych przypadkach wyłącznie na stwierdzeniach, że nie jest odporny. W celu potwierdzenia odporności materiałów na oddziaływanie wymienionych związków chemicznych o stężeniach występujących w biogazie wstępnie oczyszczonym oraz w zbliżonych warunkach pracy (ciśnienie, temperatura) wymagane byłoby przeprowadzenie dodatkowych badań.

Oto omawiana lista związków:

- woda;
- tlen;
- dwutlenek węgla;
- tlenek węgla;
- siarkowodór;
- wodór;
- chlor i związki chloru;
- związki fluoru;
- terpeny;
- siloksany;
- amoniak;
- halokarbony;
- węglowodory alifatyczne i aromatyczne;
- BTEX (toluen, benzen, etylobenzen, ksyleny);
- WWA;
- siarka merkaptanowa;
- chlorowodór;
- etanol;

a dodatkowo mikroorganizmy, drobnoustroje.

W przypadku pozostałych związków, które mogą wystąpić w biogazie, zgodnie z obecnym stanem wiedzy nie można jednoznacznie stwierdzić, czy będą one wpływać szkodliwie, czy może ich wpływ będzie np. pomijalny.

Wyniki i wnioski

Aby wytworzony biogaz można było wtłoczyć do sieci gazowej, należy przede wszystkim usunąć z niego składniki, które mogą niekorzystnie wpływać na stan techniczny elementów instalacji i sieci gazowych, lub obniżyć stężenie zawartości takich składników.

Większość zagrożeń związanych z wprowadzaniem biogazu do sieci dystrybucyjnej i instalacji gazowych dotyczących degradacji materiałów, w szczególności elementów ze stali i miedzi, jest uzależniona od obecności wody. Dlatego najważniejszym zaleceniem oprócz oczyszczenia biogazu ze szkodliwych składników, które umożliwiłoby wprowadzenie dodatku biogazu do sieci gazowej, jest osuszenie gazu i obniżenie temperatury punktu rosy.

W przypadku części związków chemicznych występujących we wstępnie oczyszczonym biogazie nie znaleziono informacji, na podstawie których można by jednoznacznie stwierdzić, czy będą one wpływać szkodliwie na elementy sieci i instalacji gazowych, czy może ich wpływ będzie np. pomijalny.

W celu potwierdzenia ewentualnej możliwości udziału tych składników w gazie wtłaczanym do sieci gazowej należałoby rozważyć przeprowadzenie badań uwzględniających wzajemne oddziaływanie substancji oraz rzeczywiste warunki pracy (ciśnienie, temperatura).

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Analiza wpływu składników biogazu na elementy sieci i instalacji gazowych*, praca INiG – PIB; nr zlecenia: 0038/GP/2021, nr archiwalny: DK-4100-26/2021.

Literatura

- Arrhenius K., Engelbrektsson J., Yaghooby H., 2016. Development of Analytical Methods to Gain Insight into the Role of Terpenes in Biogas Plants. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 7(4): 324. DOI: 10.4172/2155-9872.1000324.
- Arrhenius K., Holmqvist A., Carlsson M., Engelbrektsson J., Jansson A., Rosell L., Yaghooby H., Fischer A., 2017. Terpenes in biogas plants digesting food wastes. Report 2017:350, Energiforsk.
- Barczyński A., Łaciak M., 2014. Zamiennosc paliw gazowych (gazu ziemnego). *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*, 17(8): 4–11.
- Bortel K., 2010. Wpływ środków dezynfekujących wodę na właściwości elementów sieci wykonanych z tworzyw sztucznych. *Konferencja Techniczna PRiK*. <<https://www.prik.pl/images/pdf/konferencje/konf5/Krzysztof-BortelWp%C5%82yw-%C5%9Brodki%20dezynfekuj%C4%85cych>>

- wod% C4% 99-na-w% C5% 82a% C5% 9Bciwo% C5% 9Bci-element% C3% B3w-sieci-wykonanych-z-tworzyw-sztucznych.pdf> (dostęp: 05.2021).
- Bortel K., 2012. Trwałość instalacji z tworzyw sztucznych. *Konferencja Techniczna PRiK*. <<https://www.prik.pl/images/pdf/konferencje/konf4/>> (dostęp: 05.2021).
- Broomhall D., Brown M., Illson T., Lee Y.L., Maple M., Morgan G., Shelenko L., Siddle A., Truong J., 2011. Hazards arising from the conveyance and use of gas from Non-Conventional Sources (NCS). RR882, *Research report prepared by GL Noble Denton for the Health and Safety Executive*.
- de Bruin J., Rittel W.J., van der Stok E.J.W., Weller J., 2015. Effects of Wide Band Gases on Materials used in Gas Distribution Networks. Final Report. *GT-140282. Kiwa N.V.*
- Fabijański M., 2013. Wpływ środowisk agresywnych na właściwości popularnych materiałów polimerowych stosowanych w transporcie szynowym. *Problemy Kolejnictwa*, 158: 51–68.
- Hagen M., Polman E., Jensen J.K., Myken A., Jönsson O., Dahl A., 2001. Adding gas from biomass to the gas grid. *Report SGC 118. Swedish Gas Center, July*.
- Hassinen J., Lundbäck M., Ifwarson M., Gedde U.W., 2004. Deterioration of polyethylene pipes expose to chlorinated water. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2): 261–267. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2003.10.019.
- Hermkens R., van der Stok E., de Bruin J., Weller J., 2016. Can PE and PVC gas distribution pipes withstand the impact of sustainable gases? *Proceedings of the 18th Plastic Pipes Conference PPXVIII*, 12–14.09.2016, Berlin, Germany.
- Holewa-Rataj J., Kukulska-Zajac E., Schuster T., 2021, Charakterystyka jakościowa biogazu rolniczego wraz z określeniem jego wpływu na środowisko. *Praca statutowa INiG – PIB, nr zlec. 0038/GE/2021, Archiwum Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego, Kraków*.
- Jaworski J., Kukulska-Zajac E., Kułaga P., 2019. Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu dodatku wodoru do gazu ziemnego na elementy systemu gazowniczego. *Nafta-Gaz*, 75(10): 625–632. DOI: 10.18668/NG.2019.10.04.
- Łaciak M., 2019. Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci gazowych. *Wyd. 6. Tarbonus, Kraków*.
- Maker J.M., 2000. A preliminary analysis of failures in grey cast iron water pipes. *Engineering Failure Analysis*, 7: 43–53. DOI: 10.1016/S1350-6307(99)00005-9.
- Marcogaz, 2006. Injection of Gases from Non-Conventional Sources into Gas Networks. Final Recommendation. *WG-Biogas-06-18, 01/12/06*.
- Minor T., 2017. Analiza stanu techniczno-prawnego instalacji gazowych w Polsce pod względem bezpieczeństwa ich eksploatacji – propozycje zmian. *Nafta-Gaz*, 73(11): 887–893. DOI: 10.18668/NG.2017.11.09.
- Nibco, 2017. Chemical resistance information for plastic and metal valves and fittings. *C-CRG-0517-R071020*.
- Piskowska-Wasiak J., 2014. Uzdatnianie biogazu do parametrów gazu wysokometanowego. *Nafta-Gaz*, 70(2): 94–105.
- Plastics Pipe Institute, 2007. Chemical Resistance of Thermoplastics Piping Materials. *TR-19/2007*.
- Sitarska M., 2010. Biofilm w sieci wodociągowej – podatność wybranych wewnętrznych powierzchni rur na obrosty mikrobiologiczne. *Praca doktorska. Politechnika Wroclawska, Wroclaw*.
- Staniszewska A., Kunicka-Styczyńska A., Ziemiński K., 2017. Zanieczyszczenia mikrobiologiczne podziemnych magazynów gazu i gazociągów. *Postępy Mikrobiologii*, 56(4): 381–388.
- Stanuch J., Biegańska J., 2014. Siloxane in the biogas. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 16(2): 1–8.
- Świdarska-Bróz M., Wolska M., 2003. Korozyjność wody wodociągowej a zjawiska zachodzące w systemie jej dystrybucji. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 1: 10–15.
- Traczewska T.M., Sitarska M., Trusz-Zdybek A. 2010. Formation of biofilm in tap water supply networks. *Environmental Engineering III, Taylor & Francis Ltd.*: 533–538.
- Tu S.-T., Zhang H., Zhou W.-W., 1999. Corrosion failures of high temperature heat pipes. *Engineering Failure Analysis*, 6(6): 363–370. DOI: 10.1016/S1350-6307(98)00057-0.
- Zysk B., Żakowska Z. (red.), 2005. *Mikrobiologia materiałów. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź*.

Akty prawne i dokumenty normatywne

- PKN-ISO/TR 10358:2016-08 Rury i kształtki z tworzyw sztucznych – Zbioreza tablica klasyfikacji odporności chemicznej.
- PN-C-04752:2011 Gaz ziemny – Jakość gazu w sieci przesyłowej.
- PN-C-04752:2011 Gaz ziemny – Ocena jakości.
- PN-EN 10216-2+A1:2020-05 Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych – Warunki techniczne dostawy – Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych z określonymi własnościami w temperaturze podwyższonej.
- PN-EN 10226-1:2006 Gwinty rurowe połączeń ze szczelnością uzyskiwaną na gwincie – Część 1: Gwinty stożkowe zewnętrzne i gwinty walcowe wewnętrzne – Wymiary, tolerancje i oznaczenie.
- PN-EN 10226-2:2007 Gwinty rurowe połączeń ze szczelnością uzyskiwaną na gwincie – Część 2: Gwinty stożkowe zewnętrzne i gwinty stożkowe wewnętrzne – Wymiary, tolerancje i oznaczenie.
- PN-EN 1555-1:2021 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 1: Postanowienia ogólne.
- PN-EN 1555-2:2021 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 2: Rury.
- PN-EN 1555-3:2021 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 3: Kształtki.
- PN-EN 1555-4:2021 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE) – Część 4: Armatura.
- PN-EN 1775:2009 Dostawa gazu – Przewody gazowe dla budynków – Maksymalne ciśnienie robocze równe 5 bar lub mniejsze – Zalecenia funkcjonalne.
- PN-EN 331:2016-04 Kurki kulowe i kurki stożkowe z zamkniętym dnem uruchamiane ręcznie, przeznaczone dla instalacji gazowych budynków.
- PN-EN ISO 3183:2020-03 Przemysł naftowy i gazowniczy – Rury stalowe do rurociągów systemów transportowych.
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 4 grudnia 2020 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. z 2020 r. poz. 2297).
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu gazowego (Dz.U. z 2018 r. poz. 1814).
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 wraz z późniejszymi zmianami).
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki

wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz.U. L 88 z 4.4.2011 wraz z późniejszymi zmianami).

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).

Standard Techniczny ST-IGG-3501:2009 Wymagania jakościowe i techniczne dla biometanu wprowadzanego do sieci dystrybucyjnej. Wymagania jakościowe.

Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. z 2004 r. Nr 92, poz. 881 wraz z późniejszymi zmianami).



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

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU PRZESYŁANIA I DYSTRYBUCJI GAZU

- badania wyrobów z polietylenu do budowy gazociągów, wodociągów oraz kanalizacji deszczowej i sanitarnej;
- badania systemów rurowych z tworzyw sztucznych do instalacji wody ciepłej i zimnej;
- badania armatury metalowej do sieci i instalacji gazowych oraz wodociągowych;
- badania armatury sanitarnej oraz do instalacji centralnego ogrzewania i solarnych;
- badania powłok ochronnych z tworzyw sztucznych na rurach i armaturze stalowej;
- ocena stopnia zagrożenia korozyjnego gazociągów stalowych;
- ocena stanu technicznego izolacji gazociągów stalowych metodami bezwykopowymi;
- badania nowych materiałów z tworzyw sztucznych do budowy gazociągów;
- badania systemów z PE pod kątem możliwości ich stosowania do przesyłania mieszaniny gazu ziemnego i wodoru;
- specjalistyczne szkolenia – szkolenie i kwalifikacja personelu zgrzewającego rury i kształtki z PE wg PN-EN 13067 w INiG-PIB jako Ośrodkiem Szkoleniowym i Egzaminacyjnym uznanym przez UDT-CERT.

