

Aleksander Klupa
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Rury z materiałów kompozytowych do przesyłania paliw gazowych

Wprowadzenie

Transport rurociągowy jest obecnie najbardziej bezpieczną i przyjazną dla środowiska formą przesyłu energii, bowiem rurociągi do przesyłania paliw węglowodorowych są projektowane, budowane, a następnie użytkowane w sposób zapewniający ich integralność, co służy ograniczeniu do minimum ryzyka negatywnego oddziaływania na środowisko.

Prognozy wzrostu zapotrzebowania na gaz przewidują znaczne zwiększenie jego zużycia w najbliższej przyszłości a preferowanym kierunkiem użytkowania gazu będzie sektor komunalno-bytowy.

Dla pokrycia zwiększonego zapotrzebowania na gaz konieczna będzie jednak rozbudowa systemu gazociągów przesyłowych oraz sieci dystrybucyjnych. W trakcie budowy i użytkowania systemów gazociągów pod uwagę brane są następujące kryteria:

- zapewnienie bezpieczeństwa użytkowania gazociągów,
- utrzymanie wymaganego poziomu niezawodności funkcjonowania,
- spełnienie wymagań w zakresie ochrony środowiska,
- obniżanie kosztów użytkowania i konserwacji,
- wzrost efektywności funkcjonowania.

Sieci dystrybucyjne gazu budowane są obecnie prawie wyłącznie z rur polietylenowych. Właściwości wytrzymałościowe rur polietylenowych stosowanych do rozprowadzania paliw gazowych ulegają systematycznemu podwyższaniu, w miarę wprowadzania nowych generacji surowców. Na początku lat siedemdziesiątych, kiedy do produkcji rur dla gazownictwa używano polietylenu wysokiej gęstości pierwszej generacji, minimalna wymagana wytrzymałość hydrostatyczna rur według ówczesnej

klasyfikacji wynosiła 6,3 MPa. Wprowadzenie na rynek polietylenów klasy PE-80 przesunęło granice jej poziomu do 8,0 MPa. Obecnie, coraz szersze zastosowanie znajduje polietylen klasy PE-100, o minimalnej wytrzymałości hydrostatycznej 10 MPa, umożliwiającą rozprowadzanie gazu pod ciśnieniem 10 bar (1,0 MPa) przy współczynniku bezpieczeństwa równym 2. Rury z polietylenu klasy PE-100 są zalecane szczególnie do budowy sieci gazowych w aglomeracjach miejskich, z uwagi na wysoką odporność na zjawisko szybkiej propagacji pęknięć.

Aktualne tendencje w zakresie technologii przesyłania gazu zmierzają w kierunku zwiększania średnic gazociągów i podwyższania ciśnień roboczych. Średnice gazociągów budowanych na lądzie nie przekraczają obecnie 56 cali (1420 mm), co jest podyktowane ograniczeniami konstrukcyjnymi i względami bezpieczeństwa, natomiast wyższe ciśnienia robocze umożliwiają zwiększenie przepustowości gazociągów. Kryterium przesądzającym o wyborze parametrów gazociągu jest wynik przeprowadzonej analizy ryzyka.

W pracach badawczych obejmujących swoją tematyką materiały, z których powstają rury do przesyłania paliw gazowych przy wysokich ciśnieniach roboczych wskazuje się na dwa zasadnicze kierunki badań: pierwszy z nich obejmuje opracowywanie nowych odmian stali o wysokich parametrach wytrzymałościowych, natomiast drugi jest związany z zastosowaniem materiałów kompozytowych.

W artykule przedstawiono stan aktualny oraz perspektywy rozwoju zastosowań rur z materiałów kompozytowych do przesyłania paliw gazowych.

Materiały kompozytowe do wytwarzania rur

Pojęcie *materiał kompozytowy* oznacza tworzywo powstałe w wyniku połączenia dwóch lub więcej materiałów, z których jeden pełni funkcję wiążącą, a pozostałe, wprowadzone w postaci ziarnistej, włóknistej, bądź warstwowej, służą jego wzmocnieniu. Znacznie trudniej zdefiniować natomiast pojęcie *rura z materiału kompozytowego*. Pierwotnie mianem tym określano rurę z materiału będącego kompozycją żywicy i wzmocnienia w postaci włókien szklanych. Obecnie do rur kompozytowych zalicza się również rury stalowe z zewnętrzną powłoką wzmacniającą z materiału kompozytowego, rury stalowe z wewnętrzną wykładziną kompozytową, czy rury polietylenowe z materiałem wzmacniającym w osnowie.

Jako osnowy kompozytów najczęściej używane są żywice epoksydowe i poliestrowe, natomiast najpopularniejszymi wzmocnieniami są włókna szklane i włókna węglowe. Kompozyty o osnowie polimerowej stanowią największą grupę materiałów kompozytowych. W mniejszym zakresie jako osnowa stosowane są termoplasty, które wykazują stosunkowo niskie właściwości mechaniczne. Właściwości rur z materiałów kompozytowych są uzależnione od właściwości włókien, z których zostały wykonane tkaniny użyte do ich wzmocnienia. Podstawą doboru odpowiedniego układu osnowa-zbrojenie musi być przede wszystkim przewidywane zastosowanie wyrobu.

W przypadku gazociągów wysokiego ciśnienia, w ściankach rur dominują naprężenia obwodowe, które zwykle są dwukrotnie wyższe od naprężeń wzdłużnych, zatem projektując strukturę materiału kompozytowego na rury do tych zastosowań należy dążyć do uzyskania maksymalnego wzmocnienia w kierunku obwodowym. Właściwości najbardziej popularnych żywic przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1. Właściwości wybranych żywic stosowanych do wytwarzania rur kompozytowych [5]

Właściwość	Typ żywicy	
	poliestrowa	epoksydowa
Gęstość [kg/m ³]	1100–1460	1100–1400
Naprężenie niszczące [MPa]		
▪ przy rozciąganiu	23,5–68,5	27,4–96
▪ przy ściskaniu	79,3–250	85–274
▪ przy zginaniu	10–127	58–157
Moduł sprężystości [GPa]	1,5–4,5	1,9–4,9
Temperatura pracy [K]	393	473
Temperatura destrukcji [K]	473	533

Do materiałów stosowanych jako wzmocnienie zalicza się:

- włókna ze szkła typu E (bezalkalicznego szkła glinowo-borowo-krzemianowego), używane powszechnie w różnych zastosowaniach przemysłowych,
- włókna ze szkła typu S, o wytrzymałości wyższej od włókien typu E, używane głównie w przemyśle lotniczym oraz do wytwarzania zbiorników ciśnieniowych o wysokich parametrach użytkowych,
- włókna aramidowe o wysokiej wytrzymałości i niskiej gęstości (1/2 gęstości włókna szklanego) oraz wysokiej odporności na uderzenia i uszkodzenia (w tej grupie znajduje się KEVLAR™ firmy Dupont),
- włókna węglowe o szerokim zakresie wytrzymałości i średniej gęstości (2/3 gęstości włókna szklanego).

Właściwości wybranych włókien do zbrojenia polimerów zawarte są w tabelicy 2.

Tablica 2. Właściwości wybranych włókien do zbrojenia polimerów [5]

Właściwość	Włókna poliaramidowe Kevlar 49	Włókno szklane (typu E)	Włókna węglowe wysokowytrzymałe
Gęstość [kg/m ³]	1450	2540	1740
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	3620	2510	2760
Moduł sprężystości [GPa]	130	70	220

Rury z materiałów kompozytowych na osnowie z żywic chemoutwardzalnych produkowane są najczęściej w następujących odmianach:

- GRP (*Glass – fibre – reinforced polyester*) – żywica poliestrowa wzmacniana włóknem szklanym,
- GRE (*Glass – fibre – reinforced epoxy*) – żywica epoksydowa wzmacniana włóknem szklanym.

Parametry wytrzymałościowe wymienionych kompozytów przedstawiono w tabelicy 3.

Wśród zalet rur tworzonych z typowych materiałów kompozytowych wymienić należy:

- możliwość dostosowania funkcji, wymiarów i właściwości wytrzymałościowych do potrzeb użytkownika,
- niski ciężar rur kompozytowych, który dla porównywalnych elementów stanowi zaledwie ok. 20% ciężaru

Tablica 3. Właściwości kompozytów na osnowie żywicy poliestrowej lub epoksydowej, zbrojonych włóknem szklanym [5]

Żywica	Gęstość [kg/m ³]	Wytrzymałość [MPa]		Moduł sprężystości [GPa]	
		rozciąganie	zginanie	rozciąganie	zginanie
Poliestrowa	1600–1900	225–541 196–392	245–480,6 182,6–294	13,43–34,56 8,82–12,74	14,70–24,58 10,78–13,72
Epoksydowa	1750–2100	568,4–882 343–617,4	441–882 245–529,2	23,52–54,20 18,62–28,42	24,50–56,84 20,58–34,30

konstrukcji stalowej, co w dużym stopniu eliminuje potrzebę używania ciężkiego sprzętu do np. układania rurociągów, a także zmniejsza koszty związane z transportem rur,

- dużą trwałość i niezawodność, która przejawia się m.in. odpornością na korozję wywołowaną przez kontakt z różnorodnymi substancjami chemicznie agresywnymi, a także dużą odpornością na tzw. starzenie, którego źródłem są np. promienie UV,
- łatwą technologię montażu rur – przy pomocy całej gamy specjalnych kształtek, dobieranych odpowiednio do działających obciążeń, transportowanych rurami

mediów i ich temperatury (przy wykonywaniu połączeń nie jest niezbędne zatrudnianie monterów o specjalnych umiejętnościach, w przeciwieństwie do rurociągów stalowych, których łączenie wymaga spawania, a następnie sprawdzania jakości spoin metodami nieniszczącymi),

- możliwość wykonywania rurociągów długimi odcinkami, co zmniejsza liczbę połączeń, a także skraca czas budowy,
- gładkie powierzchnie wewnętrzne rur, umożliwiające zmniejszenie energii zużywanej na tłoczenie transportowanego medium.

Nietypowe rozwiązania rur kompozytowych

Aktualnie prowadzone są prace badawcze nad produkcją rur o zwiększonej wytrzymałości z tworzyw termoplastycznych. Rozpoczęto także badania nad zastosowaniem nieciągłych włókien dla uzyskania materiałów termoplastycznych o wyższej wytrzymałości. Wyniki są niezwykle optymistyczne, jednak istnieją trudności w zapewnieniu równomiernego wzmocnienia materiału we wszystkich kierunkach. Opracowano zatem technologię wytłaczania rur z tworzyw termoplastycznych wzmocnianych nieciągłymi włóknami o kontrolowanej orientacji. Przy konwencjonalnym wytłaczaniu rur wzmocnianych włóknami, orientacja ta była wymuszana przepływem stopionego materiału wzdłuż osi wytłaczania. Powodowało to wzmocnienie rur w kierunku osiowym, podczas gdy wzmocnienia oczekiwano głównie po obwodzie rury, gdzie występują wyższe naprężenia, pochodzące od ciśnienia gazu. W nowej technologii kontrolę orientacji włókien uzyskano poprzez zastosowanie specjalnej ruchomej dyszy, instalowanej w wytłaczarce. Badania wytrzymałościowe rur wytłoczonych tą metodą wykazały wzrost ich wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne o 50%.

Ciekawym rozwiązaniem w zakresie rur kompozytowych jest opracowany przez firmę Solvay system

HexelOne. Technologia produkcji rur w tym systemie polega na wzmocnianiu standardowej rury polietylenowej taśmą z polietylenu PE MD (średniej gęstości), nawijaną krzyżowo. Uzyskuje się w ten sposób wzmocnienie rur umożliwiające ich stosowanie do rozprzodzenia gazu lub wody pod ciśnieniem 25 bar. Przetestowano również wariant High Pressure – dla zakresu do 50 bar.

Innym sposobem uzyskania wyższej wytrzymałości rur polietylenowych jest ich zbrojenie drutem ze stali o wysokiej wytrzymałości – *Steel-wire Reinforced Thermoplastics (PE) composite-Pipe*. Rury wytwarzane przy zastosowaniu tej technologii charakteryzują się wysoką odpornością na ciśnienie wewnętrzne, ograniczonym pęczaniem, większą sztywnością obwodową oraz mniejszym współczynnikiem rozszerzalności liniowej [1].

Istotne zwiększenie parametrów użytkowych rur z tworzyw sztucznych – tak, aby można było je stosować przy wysokich ciśnieniach roboczych – można uzyskać poprzez zastosowanie na rurach oplotu z żywicy epoksydowej, wzmocnionej włóknem szklanym lub węglowym, który nadaje im odpowiednią sztywność i wytrzymałość. Za przykład może tu posłużyć rozwiązanie firmy Future Pipe Industries (USA) [2], obejmujące trzy typy rur, różniących

się materiałem, z którego wykonana została warstwa wewnętrzna (PEHD, PEX, PA 11). Rury te mogą być stosowane do przesyłania gazu pod ciśnieniem roboczym do 150 bar. Ich zastosowanie do przesyłania gazu ziemnego na większe odległości jest ograniczone, są one jednak w coraz większym stopniu stosowane w instalacjach wydobywczych ropy i gazu ziemnego.

Podobnym rozwiązaniem, z zastosowaniem jako wzmocnienie taśmy stalowej, jest opracowana w Japonii konstrukcja elastycznych rur do przesyłania gazu pod wysokim ciśnieniem (*Steel Tape – Armored Polyethylene Pipe*) [6]. Obejmuje ona warstwę wewnętrzną z polietylenu (PEHD) oraz nawiniętą na nią spiralnie taśmę ze stali nierdzewnej. Istotną cechą tego rozwiązania jest także elastyczność rur, osiągnięta dzięki zminimalizowaniu grubości ścianki – co umożliwia ich stosowanie na terenach aktywnych sejsmicznie.

Stan aktualny i perspektywy rozwoju zastosowań rur z materiałów kompozytowych do przesyłania gazu w Polsce

Materiały kompozytowe nie stanowią nowatorskich rozwiązań stosowanych w krajowym przemyśle gazowniczym; jako przykład można tu bowiem podać metodę rehabilitacji technicznej gazociągów zwaną *Process Phoenix* [3], wynalezioną w Japonii w roku 1981 i stosowaną w Polsce od wielu lat. Polega ona na wprowadzaniu do wnętrza gazociągu rękawa tkanego, powlekanego żywicą epoksydową. Metoda ta znajduje zastosowanie w gazociągach o ciśnieniu roboczym do 2,5 MPa; jednak producent prowadzi badania zmierzające do rozszerzenia zakresu jej stosowania do ciśnień roboczych 7 MPa.

Innym przykładem stosowania materiałów kompozytowych do napraw gazociągów, tym razem „od zewnątrz”, jest kompozytowa opaska naprawcza firmy Clock Spring.

Aktualnie w Polsce wytwarzane są jedynie podstawowe rodzaje żywic polikondensacyjnych, poliestrowych i epoksydowych oraz termoplastów; wytwarzane są włókna szklane E, nie wytwarza się natomiast włókien szklanych nowszych typów: kwarcowych, bazaltowych, węglowych, aramidowych, specjalnych polietylenowych, modyfikowanych powierzchniowo włókien naturalnych i innych specjalnych.

Zastosowanie rur z materiałów kompozytowych do przesyłania i rozprowadzania paliw gazowych w Polsce jest obecnie ograniczone zapisami w rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r., w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać sieci gazowe, które w części dotyczącej rur z tworzyw sztucznych uwzględnia tylko rury polietylenowe i poliamidowe.

W systemach rurociągowych wysokiego ciśnienia kompozyty znajdują również zastosowanie do wzmocniania rur stalowych (CRLP) – *composite-reinforced line pipe*.

Nadzieję na przyszłość, w obszarze budowy gazociągów przesyłowych wysokiego ciśnienia o dużych średnicach, stwarza opracowany przez NCF Industries Inc. system hybrydowy (stal/kompozyt). W systemie tym materiał kompozytowy stanowi zewnętrzne wzmocnienie rury stalowej. Współpraca wszystkich materiałów umożliwi przenoszenie przez rurę znacznie wyższych naprężeń obwodowych – w stosunku do obciążeń przenoszonych przez rurę stalową monolityczną. Jest to idealne rozwiązanie w przypadku budowy gazociągów dużych średnic, o znacznej długości i pozwala na stosowanie ciśnień roboczych w przedziale od 83 do 248 bar – co w porównaniu z rurociągiem stalowym o tej samej średnicy i grubości ścianki rur umożliwia zwiększenie zdolności przepustowej o około 6% [4].

Nie istnieją natomiast ograniczenia w zakresie stosowania rur z materiałów kompozytowych do przesyłania dwutlenku węgla celem jego sekwestracji, lub do przesyłania metanu pochodzącego z odmetanowania kopalń na terenach zakładów górniczych. Rurociągi z materiałów kompozytowych są szczególnie przydatne na terenach, na których utrudniony jest dostęp dla realizacji czynności eksploatacyjnych. Nazywane są one niekiedy rurociągami bezobsługowymi, ponieważ nie występuje przy ich użytkowaniu konieczność kontroli stanu izolacji lub parametrów ochrony katodowej.

Potencjalnie dużym obszarem zastosowania rur z materiałów kompozytowych jest szybko rozwijający się rynek gazu płynnego – rury te stosowane są w celu przesyłania gazu płynnego ze zbiornika do punktu zasilania odbiorcy. W 2010 roku opublikowane zostaną w języku polskim następujące normy:

- PN-EN-ISO 14692-1 *Przemysł naftowy i gazowniczy – Rurociągi z tworzyw sztucznych wzmocnione włóknem szklanym. Słownictwo, symbole, zastosowania i materiały,*
- PN-EN-ISO 14692-2 *Przemysł naftowy i gazowniczy – Rurociągi z tworzyw sztucznych wzmocnione włóknem szklanym. Kwalifikowanie i wytwarzanie,*
- PN-EN-ISO 14692-3 *Przemysł naftowy i gazowniczy – Rurociągi z tworzyw sztucznych wzmocnione włóknem szklanym. Projektowanie systemu,*
- PN-EN-ISO 14692-4 *Przemysł naftowy i gazowniczy – Rurociągi z tworzyw sztucznych wzmocnione włóknem szklanym. Wytwarzanie i montaż.*

nem szklanym. Produkowanie, instalowanie i użytkowanie.

PN-EN-ISO 14692 (wszystkie części) dotyczy instalacji z rur GRP, związanych z przemysłem przetwarzania ropy naftowej i gazu ziemnego. Pierwotnie norma ta była przeznaczona do zastosowań morskich; zarówno na stałych, jak i pływających urządzeniach platform, jednak może być

ona także stosowana jako wskazówka, do specyfikacji, wytwarzania, badania i instalowania systemów orurowania GRP w innych zastosowaniach lądowych, o podobnie krytycznych wymaganiach.

Wdrożenie wymienionych norm przyczyni się do dalszego rozwoju zastosowań rur z materiałów kompozytowych w przemyśle naftowym i gazowniczym w Polsce.

Artykuł nadesłano do Redakcji 28.05.2010 r. Przyjęto do druku 23.06.2010 r.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński

Literatura

- [1] <http://www.esrtp.com>
- [2] <http://www.futurepipe.com>
- [3] <http://www.preuss.com.pl>
- [4] <http://www.transcanada.com>
- [5] Śleziona J.: *Podstawy technologii kompozytów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998.
- [6] Takeuchi i in.: *Steel Tape – Armored Polyethylene Pipe for Gas Transmission – Development of Pipe*. Furukawa Review, no. 26, 2004.



Dr inż. Aleksander KLUPA – adiunkt w Zakładzie Przesyłania i Dystrybucji Gazu INiG w Krakowie. Autor licznych publikacji z zakresu dystrybucji gazu ziemnego. Główne przedmioty zainteresowań: zastosowanie tworzyw sztucznych w sieciach gazowych oraz zabezpieczanie gazociągów przed skutkami podziemnej eksploatacji złóż na terenach górniczych.

Oferta



INSTYTUT NAFTY I GAZU

ZAKŁAD UŻYTKOWANIA PALIW (GU)

Kierownik: dr inż. Zdzisław Gebhardt

30-733 Kraków, ul. Bagrowa 1
tel.: +48 12 653 25 12 wew. 162
fax: +48 12 653 16 65
e-mail: zdzislaw.gebhardt@inig.pl

Zakres działania:

- prace badawczo-rozwojowe z zakresu użytkowania paliw,
- badania typu według norm zharmonizowanych z Dyrektywą 90/396/EWG (obecnie 2008/142/WE), dotyczącą urządzeń spalających paliwa gazowe,
- badania sprawności kotłów wodnych zasilanych paliwami gazowymi i olejowymi na zgodność z Dyrektywą 92/42/EWG,
- badania instalacji elektrycznych urządzeń gazowych i drobnego sprzętu domowego na zgodność z Dyrektywą Niskonapięciową 73/23/EWG (obecnie 2006/95/WE),
- badania urządzeń grzewczych typu kominki oraz kuchnie i kotły na paliwo stałe, w oparciu o normy zharmonizowane z Dyrektywą 89/106/EWG,
- badania zapalniczek gazowych i ich zgodności z wymaganiami normy EN ISO 9994 oraz ich zabezpieczenia przed uruchomieniem przez dzieci, zgodnie z normą EN 13869,
- badania kominów metalowych i ceramicznych na zgodność z normami zharmonizowanymi z Dyrektywą Budowlaną 89/106/EWG,
- badania zakłóceń przewodzonych (wprowadzanie do sieci, odporność), w odniesieniu do Dyrektywy Kompatybilności Elektromagnetycznej,
- badania i wydawanie opinii technicznych o możliwości bezpiecznego użytkowania przemysłowych urządzeń zasilanych gazem,
- projektowanie i wykonanie mieszalni gazów oraz badanie zamienności paliw,
- ekspertyzy sądowe w zakresie użytkowania gazu.

INSTYTUT NAFTY I GAZU

ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków

tel.: +48 12 421 00 33 fax: +48 12 430 38 85

www.inig.pl office@inig.pl

KRS 0000075478, REGON 000023136, NIP 675-000-12-77