

↳ Nowoczesne technologie w rurociągowym transporcie mediów

Powłoki wewnętrzne rur stalowych

Marek Figiel

Nowe standardy unijne i wymagania rynku determinują dynamiczny rozwój branży izolowania rur stalowych. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom rynku wiodące firmy takie jak Izostal SA oferują nowy produkt – powłokę wewnętrzną obniżającą tarcie medium (gaz, ropa i jej pochodne, woda i inne) przy przepływie rurociągiem.

Investor podejmujący decyzję o budowie rurociągu z rur stalowych z wewnętrzną powłoką epoksydową powinien odpowiedzieć na pytanie: czy nakłady poniesione na uszlachetnienie powierzchni wewnętrznej rur, w celu zmniejszenia oporu przepływającego medium i obniżenia tarcia, znacząco zmniejszą koszty eksploatacji rurociągu, wydłużą okres jego eksploatacji i bezawaryjnej pracy.

Podczas transportu gazu rurociągiem spada jego temperatura i ciśnienie. Do oceny przepływu medium w rurociągu stosuje się tzw. liczbę Reynoldsa (Re) – która pozwala oszacować występujący podczas ruchu płynu stosunek sił czynnych (bezwładności) do sił biernych wynikających z tarcia wewnętrznego w płynie. Wartość liczby Reynoldsa poniżej 2300 oznacza uporządkowany (laminarny) ruch medium. Re pomiędzy 2300 a 10000 oznacza, że przepływ jest przejściowy (częściowo burzliwy), natomiast w miarę wzrostu Re (powyżej 10000) mówimy o przepływie burzliwym (turbulentnym), charakterystycznym dla gazociągów przesyłowych. Współczynnik tarcia λ_f jest między innymi funkcją liczby Reynoldsa i zależy od prędkości gazu oraz od jego lepkości, jednakże dla gazociągów przesyłowych wysokiego ciśnienia, gdzie przepływ mediów ma charakter burzliwy, jest wyłącznie funkcją chropowatości wewnętrznej powierzchni rury. W poniższych badaniach przyjęto założenie, że $\lambda_f = \text{const}$ na całej długości gazociągu.

Tabela 1. Chropowatość bezwzględna rur wykonanych z różnych materiałów

Materiał rury	Chropowatość bezwzględna k [mm]
Tworzywo sztuczne	0,0015
Stal nierdzewna	0,015
Stal przemysłowa	0,5
Stal zwykła	0,1 – 1,0
Stal ocynkowana	0,15
Żeliwo	0,26

Badania zdolności przepustowej gazociągów z wewnętrzną izolacją i bez izolacji

W laboratorium Statoil w Karsto zbadano wpływ współczynnika tarcia na zdolność przepustową rur z wewnętrzną izolacją epoksydową i bez izolacji: dla rur z izolacją wewnętrzną zastosowano ciśnienia 25 i 70 bar, dla rur bez powłoki wewnętrznej – 70 bar, po 2 tygodniach od badania hydrostatycznego (w warunkach niskiego stopienia skorodowania). Gaz przepuszczano przez pętlę z sekcji rur o parametrach: długość 6 m (L) i średnica 150 mm (D), w warunkach wysokiego ciśnienia, przy stałej temperaturze gazu, dla liczby $Re > 10^6$. W każdej sekcji mierzono zmianę ciśnienia i temperatury. Badania wykazały, że zdolność przepustowa rur z wewnętrzną powłoką była o 21% wyższa niż rur bez powłoki, przy tym samym spadku ciśnienia. Wartość zmierzonej i obliczonej chropowatości powierzchni przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zmierzona i obliczona chropowatość rur

Chropowatość (μm)			
Rura z powłoką wewnętrzną		Rura bez powłoki	
zmierzona	obliczona	zmierzona	obliczona
5,79	1	21,66	20

Na systemie gazociągów „Gas Atacama” o długości 1200 km, biegnących z północnej Argentyny do chilijskiego wybrzeża Pacyfiku (odcinek argentyński: długość 530 km, średnica rury 508 mm) przeprowadzono ocenę efektywności wewnętrznej powłoki w warunkach eksploatacyjnych. Walidacja modelu hydraulicznego gazociągu została wykonana na podstawie rzeczywi-

stych danych profilu ciśnień i przepływów. Obliczenia chropowatości rur w symulacji modelu hydraulicznego wyniosły 6 μm dla rur z wewnętrzną powłoką i 20 μm dla rur bez powłoki wewnętrznej.

Doświadczenia z eksploatacji gazociągu Jamał–Europa Zachodnia (na odcinku o parametrach: długość 65 km, średnica rury 1380 mm, Re od 5×10^6 do 5×10^7 i $k=0,015$ mm) wykazały, że dla obliczonych wartości przepływu, Q wynosi ok. 1,2 do 2,4 mln m^3/h , najbardziej zbliżone do rzeczywistych wartości jest przy $k=0,0015$ mm – czyli dziesięciokrotnie mniejszym od zastosowanego. Pomiary rzeczywistej chropowatości przy uwzględnieniu przyspoinowych obszarów nieepoksydowanych wyniosły $k=0,0035$ mm.

Tabela 3. Zmierzone i obliczone wartości przepływu dla badanego odcinka gazociągu Jamał–Europa Zachodnia

Lp	Q zmierzone mln m^3/h	Q obliczone mln m^3/h	Różnica %
1	2,173	1,987	9,1
2	1,854	1,703	9,2
3	1,632	1,518	9,3
4	2,322	2,119	9,1

Na podstawie badań przeprowadzonych na testowanym odcinku gazociągu Jamał–Europa Zachodnia wykazano, że epoksydowa powłoka wewnętrzna rur przewodowych w znaczącym stopniu zmniejsza chropowatość bezwzględną rur. Wartość chropowatości bezwzględnej k wynosi najczęściej dla rur bez powłoki wewnętrznej ok. 0,5 mm, natomiast dla rur z powłoką wewnętrzną 0,0015. Zmniejszenie chropowatości bezwzględnej wewnętrznej powierzchni rur powoduje zmniejszenie liniowych strat ciśnienia gazu w gazociągach.

➔ Ocena efektywności ekonomicznej rur z wewnętrzną powłoką do przesyłania paliw gazowych

Efektywność ekonomiczna zastosowania rur z wewnętrzną powłoką epoksydową do budowy gazociągu jest jednym z elementów optymalizacji parametrów gazociągów. Ponieważ efektywność stosowania wewnętrznej powłoki epoksydowej zależy od konkretnej konfiguracji gazociągu, to można ją przedstawić na przykładach z praktyki przemysłowej.

Przy parametrach gazociągu „Gas Atacama” długości 530 km i średnicy 508 mm, po zwiększeniu przepustowości, przy aktualnych dwóch stacjach sprężania,

Efektywność ekonomiczna zastosowania rur z wewnętrzną powłoką epoksydową do budowy gazociągu jest jednym z elementów optymalizacji parametrów gazociągów.

z zastosowaniem rur z powłoką wewnętrzną stwierdzono, że w zakresie przepływu Q_{\min} i Q_{\max} w istniejących warunkach eksploatacyjnych straty ciśnienia nie różnią się w istotnym stopniu dla rur z powłoką i bez powłoki. Dla rur z powłoką wewnętrzną przy Q_{\max} wyniosły 4,13 mln $\text{m}^3/\text{dobę}$ a dla rur bez powłoki wewnętrznej przy Q_{\max} wyniosły 4,07 mln $\text{m}^3/\text{dobę}$.

Natomiast przy zwiększeniu obciążenia gazociągu z $Q=4,13$ do $Q=5,6$ mln $\text{m}^3/\text{dobę}$ z zastosowaniem dodatkowej stacji sprężania, straty ciśnienia w znacznym stopniu zależą od chropowatości rur. Nakłady finansowe na rury bez powłoki wewnętrznej, obliczone dla okresu 20 lat przy założonym dziesięcioletnim okresie zwrotu, wyniosły 62,7 mln USD a na rury z powłoką 42,3 mln USD. Efekt ekonomiczny wyliczony dla 20 lat użytkowania wynosi 20,4 mln USD, czyli 32,5% nakładów na rury bez powłoki wewnętrznej.

Na podstawie doświadczeń z eksploatacji systemu gazociągów Jamał–Europa Zachodnia można wyciągnąć następujące wnioski:

- zmierzona przepustowość rur była wyższa o około 9,2% od przepustowości obliczonej dla nowych rur bez powłoki wewnętrznej;
 - w przypadku systemu gazociągów tranzytowych, wydatki poniesione na powłokę wewnętrzną zwracają się dzięki obniżeniu nakładów na tłocznie gazu i kosztów eksploatacyjnych;
 - efekt ekonomiczny zastosowania rur z wewnętrzną powłoką epoksydową to zmniejszone zużycie energii do przetłaczania medium.
- Po zbadaniu wpływu powłoki wewnętrznej na liniową stratę ciśnienia w gazociągach dla rur z powłoką wewnętrzną i bez powłoki, przy parametrach gazociągu: długość 150 km, DN 300–900, $Q=200\ 000 - 2\ 000\ 000 \text{ m}^3/\text{h}$, temp. gazu 288,15K i $Re=10^7$, stwierdzono, że:
- stopień zmniejszenia oporów przepływu gazu w gazociągu z powłoką wewnętrzną rur jest większy przy dużych natężeniach przepływu i mniejszych średnicach rur;
 - w praktyce efekt ekonomiczny zastosowania danego rozwiązania można określić na drodze wyboru najlepszych technicznie i ekonomicznie rozwiązań elementów gazociągów – rur, tłocznii,
 - podczas rozmieszczania tłoczni dobiera się rodzaj i ilość stacji sprężania (sprężarki) oraz określa się rezerwę mocy w układzie przesyłowym (na tym etapie przeprowadzana jest analiza porównawcza rur z powłoką i bez powłoki).

Przykładowa analiza hydrauliczna projektowanego gazociągu

Obliczenia projektowe dla dwóch wariantów gazociągów: pierwszy stanowi rura DN 700 z powłoką wewnętrzną i bez powłoki wewnętrznej, ciśnienie pracy $p=6,3$ MPa, chropowatość $15 \mu\text{m}$, ciśnienie zadane $10,0$ MPa i długości $42,3$ km i $61,4$ km oraz $8,4$ MPa i długości $42,3$ km i $61,4$ km. Drugi wariant to: rura DN 800 bez powłoki wewnętrznej, ciśnienie pracy $p=6,3$ MPa, chropowatość $15 \mu\text{m}$, ciśnienie zadane $8,4$ MPa, długość gazociągu $61,4$ km i $42,3$ km.

Wnioski z obliczeń dla gazociągu o ciśnieniu pracy $6,3$ MPa i średnicy DN 700 są następujące:

- dla rur z powłoką epoksydową gazociąg zapewnia przepływ gazu we wszystkich analizowanych sytuacjach;
- uzyskane wartości chropowatości są rzędu $4 \mu\text{m}$ a do obliczeń przyjęto $10 \mu\text{m}$;
- dla rur bez wewnętrznej powłoki epoksydowej gazociąg wymaga:
 - podniesienia ciśnienia do 10 MPa dla DN 700, lub
 - zwiększenia średnicy do DN 800.

Uzasadnionym staje się zastosowanie rury średnicy DN 700 powlekanej wewnętrzną powłoką epoksydową.

Przyszłość technologii i rynku rur z wewnętrznymi powłokami epoksydowymi

W „Scenariuszu rozwoju technologicznego kompleksu paliwowo-energetycznego kraju na lata 2005-2030” (praca zbiorowa pod redakcją Krystyny Czaplickiej-Kolarz, Główny Instytut Górnictwa) opracowano wstępną listę technologii, które w przemyśle naftowym i gazowniczym w okresie najbliższych 20 lat mogą mieć zasadnicze znaczenie. Przy określaniu planowanych technologii przyjęto następujące zasady: optymalizacja technologii stosowanych w kraju, dostosowanie technologii nierozpowszechnionych w Polsce, tworzenie wartości dodanej w efekcie łączenia uzupełniających się technologii. Na tej podstawie poddano analizie osiemnaście technologii, w tym również, na miejscu 6., wewnętrzną powłokę ochronną w rurach stosowanych do budowy gazociągów.

Malowanie wewnętrznej powierzchni rur stalowych

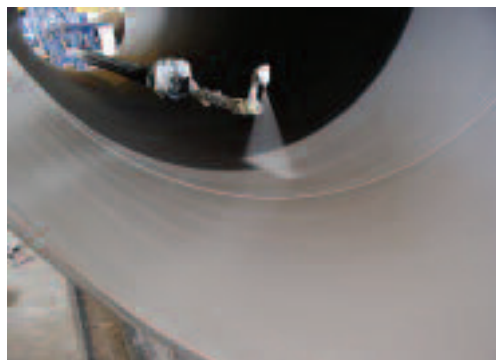
Proces malowania wewnętrznej rur stalowych w firmie Izostal SA (powłoka wewnętrzna LAYTEC® wg PN-EN 10301, API RP 5L2) można podzielić na trzy etapy:

1. Oczyszczenie poprzez obróbkę strumieniowo-ścierną do stopnia czystości Sa 2½ zgodnie z normą PN-EN ISO 8501-1 powierzchni wewnętrznej rur. Usunięcie z rur wilgoci, oleju, zgorzeliny, rdzy, pyłu, zawałów. Minimalna temperatura oczyszczonej powierzchni rur to $+5^{\circ}\text{C}$.



Fot. arch. Izostal S.A.

2. Malowanie powierzchni wewnętrznej rury za pomocą zestawu elementów mieszających i systemu natryskowego. Farba jest наносzona w sposób ciągły i jednolity na powierzchnię stali. Grubość powłoki i jej skład chemiczny uwarunkowane są wymaganiami klienta lub normy przedmiotowej.



Fot. arch. Izostal S.A.

3. Składowanie rur w celu osiągnięcia suchości dotykowej – w temperaturze otoczenia bądź przez podgrzewanie oraz składowanie i sezonowanie w celu uzyskania suchości transportowej.



Fot. arch. Izostal S.A.

➤ Korzyści wynikające z zastosowania technologii

W wyniku analizy przedstawionych badań i doświadczeń można scharakteryzować poniższe zalety stosowania izolacji wewnętrznej rur stalowych:

- zmniejszenie chropowatości powierzchni rur,
- zmniejszenie spadku ciśnienia przesyłanego medium,
- obniżenie tarcia przy transporcie gazu,
- równomierny przepływ medium
- usprawnienie inspekcji rur,
- podwyższenie zdolności przepustowej rurociągu,
- szybszy rozruch gazociągu,
- zredukowane zanieczyszczenie,
- zwiększona żywotność rur,
- zapewniona czystość przesyłu medium – znaczna redukcja objętości osadów gromadzonych na ściankach rury,
- zmniejszona częstotliwość konserwacji zaworów,
- szybsze zamykanie odcinków rurociągu,
- obniżone koszty energii,
- poprawa czystości chemicznej transportowanego produktu.

Nie bez znaczenia są również korzyści ekologiczne: m.in. spadek emisji CO₂, CO i NO_x. Pamiętać należy, że zwiększenie trwałości gazociągu w dłuższej perspektywie powoduje ograniczenie konieczności wymiany rur. Przedstawiona analiza korzyści wynikających z zastosowania powłok wewnętrznych w rurociągach służących do transportu mediów wskazuje na celowość upowszechniania tego typu technologii produkcyjnych oraz zastosowanie tak wytworzonych rur.

Uzyskanie precyzyjnych informacji nt. korzyści z stosowania powłok wewnętrznych każdorazowo wymaga przeprowadzenia badań i analiz na obiektach technicznych w dłuższej perspektywie czasowej.

Marek Figiel

Źródła:

- Informacje zebrane na podstawie danych producentów farb do malowania wewnętrznego F. E. Wood Ltd, Sigma Coatings,
- Analiza aspektów technicznych i ekonomicznych stosowania epoksydowej izolacji wewnętrznej w rurach przewodowych do przesyłania gazu i innych paliw – INiG 2005r.,
- Studium wykonalności dla zadania p. n. „Linia wewnętrznego zabezpieczenia antykorozyjnego w zakresie średnic DN 200÷800” – Gazoprojekt S.A. 2005 r., – Izostal S.A.