

Aleksander Klupa, Piotr Szewczyk

Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Wpływ zamykania przepływu metodą zaciskania na wytrzymałość hydrostatyczną gazociągów polietylenowych

Artykuł zawiera badania literaturowe oraz sporządzony na ich podstawie opis technik stosowanych za granicą, do zamykania przepływu gazu w gazociągach z polietylenu metodą zaciskania. W dalszej kolejności zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych technologii zaciskania, dla różnych konstrukcji elementu zaciskowego. We wnioskach zawarto ocenę wpływu geometrii urządzenia zaciskowego i parametrów zaciskania, na wytrzymałość hydrostatyczną rur w strefie zaciskania.

Effect of stopping the flow by the use of „squeeze off” technique on hydrostatic strength of polyethylene gas pipelines

The paper includes the study of the related literature and description of the techniques used abroad on polyethylene gas pipelines for stopping gas flow, by the use of squeeze-off technique. Subsequently, the results of laboratory tests of squeeze off technique for various construction of squeezing element was given. In its conclusions, evaluates the impact of geometry of squeezing device and parameters used during the operation on the hydrostatic strength of pipe in the squeezed area.

Wprowadzenie

Technika zamykania przepływu gazu w gazociągach z polietylenu metodą zaciskania jest stosowana w wielu krajach, brak jest jednak szczegółowych wytycznych dotyczących wykonywania tego zabiegu podczas napraw lub konserwacji sieci gazowej. Norma PN-EN 1555-2:2002 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE). Część 2: Rury*, zawierająca wymagania odnośnie rur polietylenowych do rozprowadzania gazu, w załączniku A (informacyjnym), przedstawia jedynie ogólne zagadnienia dotyczące techniki zaciskania. Użytkownicy sieci gazowych z polietylenu wskazują na brak szczegółowych procedur zamykania przepływu gazu

tą metodą, jak również oceny skutków tego zabiegu na wytrzymałość hydrostatyczną rur PE. W ramach realizacji pracy podjętej w Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie przewidziano przeprowadzenie badań laboratoryjnych, których celem ma być ustalenie odporności wytypowanych rur klasy PE 80 i PE 100, na oddziaływania związane z techniką zamykania przepływu gazu w gazociągach polietylenowych metodą zaciskania. Badania dotyczyły między innymi ustalenia rodzaju trwałych deformacji w rurach – w krytycznych obszarach strefy zaciskanej oraz wpływu kształtu elementów zaciskowych na degradację polietylenu w miejscu zaciskania.

Opis technik stosowanych za granicą do zamykania przepływu gazu w gazociągach z polietylenu metodą zaciskania

Technika zaciskania (*Squeeze-Off*) wykorzystywana jest do ograniczania lub zamykania przepływu gazu lub cieczy w rurach polietylenowych, poprzez ich zaciśnięcie pomiędzy równoległymi belkami, aż do momentu uzyskania kontaktu powierzchni wewnętrznych rury.

Elastyczność i wytrzymałość większości rur polietylenowych pozwala na przywrócenie ich do kształtu

cylindrycznego po operacji zaciskania, bez istotnego obniżenia ich parametrów wytrzymałościowych. Przykład urządzenia do zaciskania rur PE przedstawia rysunek 1.

Firmy gazownicze od dłuższego czasu poszukiwały szybkiej, bezpiecznej i taniej metody napraw uszkodzonych gazociągów. Ideałem byłoby, gdyby ta metoda umożliwiła zachowanie takiej samej żywotności



Rys. 1. Urządzenie do zaciskania rur PE (Laboratorium Tworzyw Sztucznych INiG)

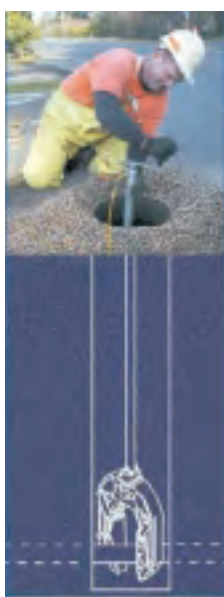


Rys. 4. Urządzenie do zaciskania rur PE o zróżnicowanym kształcie elementów zamykających, stosowane głównie do zaciskania rur z PA 11 [9]

gazociągu w miejscu naprawy, co pozostały gazociąg nie poddawany naprawie. Naprawa uszkodzonego gazociągu wymaga użycia specjalistycznego wyposażenia oraz odkopania uszkodzonego odcinka. Celem zmniejszenia zakresu robót ziemnych przy naprawach gazociągów oraz związanych z tym utrudnień w ruchu komunikacyjnym, opracowano technologię napraw nazwaną „keyhole” (przez dziurkę od klucza). Polega ona na wykonywaniu pionowego otworu o średnicy około 500 mm w gruncie nad gazociągiem, przy wykorzystaniu koparki podciśnieniowej. Po odsłonięciu gazociągu możliwe jest jego zaciśnięcie z wykorzystaniem techniki „squeeze-off” (rysunek 2).



Rys. 5. Urządzenie do zaciskania rur PE z elementami zamykającymi o dużym promieniu krzywizny [4]



Rys. 2. Zastosowanie metody zaciskania rury PE w technice „keyhole” [8]



Rys. 3. Urządzenie do zaciskania rur PE z podwójnymi elementami zamykającymi [8]

Istnieją różne rozwiązania konstrukcyjne urządzeń do zamykania przepływu w rurociągach z polietylenu. Zwykle urządzenia te realizują zaciskanie metodą mechaniczną lub hydrauliczną. Konstrukcja urządzenia do zaciskania rur przedstawiona na rysunku 1 jest najbardziej popularna. Inne konstrukcje urządzeń do zaciskania rur PE ilustrują rysunki 3-5.

Wytyczne dotyczące stosowania techniki zaciskania rur polietylenowych są zawarte głównie w normach ASTM, które stanowią układ odniesienia dla procedur opracowywanych w krajach stosujących tę metodę zamykania przepływu. Do podstawowych norm w tym zakresie należą:

- ASTM F1041 *Standard guide for Squeeze-Off of Polyolefin Gas Pressure Pipe and Tubing* [1],
- ASTM F1563 *Standard Specification for Tools to Squeeze-Off Polyethylene (PE) Gas Pipe or Tubing* [2],
- ASTM F1734 *Standard Practice for Qualification of a Combination of Squeeze Tool, Pipe, and Squ-*

eeze-Off Procedures to Avoid Long-Term Damage in Polyethylene (PE) Gas Pipe [3].

Podczas operacji zaciskania rur polietylenowych należy przestrzegać następujących zasad:

- urządzenie do zaciskania powinno spełniać wymagania określone w odpowiedniej specyfikacji technicznej,
- elementy zaciskowe powinny być usytuowane równolegle do siebie,
- umiejscowienie urządzenia zaciskowego powinno znajdować się w odległości minimum trzech średnic nominalnych od najbliższego połączenia zgrzewanego, połączenia mechanicznego lub następnego urządzenia zaciskowego,
- zaciskanie rury PE powinno się odbywać w tempie nie przekraczającym 50 mm/min.,
- nie należy przekraczać zalecanego stopnia zaciskania,
- podczas przywracania rury do kształtu cylindrycznego, rozsuwanie elementów zaciskowych powinno się odbywać bardzo wolno (~ 15 mm/min.),
- po usunięciu urządzenia zaciskowego, rura w miejscu zaciskania powinna być poddana oględzinom, celem wykrycia ewentualnych uszkodzeń,
- niższe temperatury otoczenia sprzyjają powstawaniu uszkodzeń rury w trakcie zaciskania, w związku z czym czasy zaciskania i rozsuwania elementów zaciskowych powinny być wtedy dłuższe,

- nie należy zaciskać rury PE ponownie w tym samym miejscu.

Rura polietylenowa jest relatywnie złym przewodnikiem elektryczności. Na skutek przepływu gazu wytwarza się na jej powierzchni ładunek elektrostatyczny. Podczas operacji zaciskania wzrasta prędkość przepływu gazu przez zmniejszoną powierzchnię czynną rury, co powoduje wzrost elektryczności statycznej. Należy zatem przedsięwziąć odpowiednie środki, celem wyeliminowania zagrożenia z tym związanego, podczas wykonywania prac gazoniebezpiecznych.

W Polsce technikę zaciskania stosuje się również do ograniczania przepływu gazu w czasie konserwacji lub naprawy systemów przewodów rurowych z polietylenem. Zagadnienia ogólne techniki zaciskania, definicje i metoda badań, są zawarte w Załączniku A (informacyjnym) do normy PN-EN 1555-2:2002 [5].

Jeżeli odbiorca rur ma zamiar zastosować technikę zaciskania, zaleca się, aby ich producent przedstawił dowód, że po zaciśnięciu zgodnie z jego zaleceniami lub z zastosowaniem opaski wzmacniającej spełnione są nadal wszystkie wymagania wytrzymałości hydrostatycznej, zgodnie z normą PN-EN 1555-2.

Odpowiedni dowód można przeprowadzić stosując metodę badania podaną w normie PN-EN 12106:2002 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych. Rury z polietylenem (PE). Metoda badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne po zastosowaniu zacisku* [6].

Przeprowadzenie badań laboratoryjnych technologii zaciskania, dla różnych konstrukcji elementu zaciskowego

Głównym celem badań laboratoryjnych było określenie stopnia degradacji rury polietylenowej w miejscu zastosowania zacisku, w zależności od geometrii elementów zaciskowych. Do badań przygotowano próbki rurowe w następującym asortymencie: (tablice 1 i 2).

Próbki do badań ciśnieniowych zostały zamknięte

uchwytemi zamykającymi typu „a” (według PN EN 921 + AC1:1998) [7]. Przed przeprowadzeniem operacji zaciskania próbki były kondycjonowane w temperaturze 0°C, zgodnie z PN EN 921 + AC1:1998.

Po przeprowadzeniu kondycjonowania, próbki rurowe były umieszczane w urządzeniu zaciskającym,

Tablica 1. Asortyment próbek do badań (zaciskanie rury pomiędzy wałkami)

Lp.	Średnica zewn. rury PE [mm]	Grubość ścianki [mm]	Klasa PE	Długość próbki [mm]	Stopień zacisku L [%]	e_{min} *	Odległość końcowa pomiędzy wałkami $e_q = 0,02 L e_{min}$
1.	63	5,8	PE 80	500	80	5,85	9,36
2.	63	5,8	PE 80	500	80	5,85	9,36
3.	63	5,8	PE 80	500	80	5,85	9,36
4.	63	5,8	PE 100	500	80	5,85	9,36
5.	63	5,8	PE 100	500	80	5,85	9,36
6.	63	5,8	PE 100	500	80	5,85	9,36

* e_{min} = minimalna grubość ścianki rury

Tablica 2. Asortyment próbek do badań (zaciskanie rury pomiędzy wałkiem i elementem płaskim)

Lp.	Średnica zewn. rury PE [mm]	Grubość ścianki [mm]	Klasa PE	Długość próbki [mm]	Stopień zacisku L [%]	v_{min}	Odległość końcowa pomiędzy wałkami $e_q = 0,02 L v_{min}$
1.	63	5,8	PE 80	500	80	5,85	9,36
2.	63	5,8	PE 80	500	80	5,85	9,36
3.	63	5,8	PE 80	500	80	5,85	9,36
4.	63	5,8	PE 100	500	80	5,85	9,36
5.	63	5,8	PE 100	500	80	5,85	9,36
6.	63	5,8	PE 100	500	80	5,85	9,36

pomiędzy elementami zaciskowymi tak, aby między ich osiami a osią rury był kąt prosty oraz aby elementy zaciskowe znajdowały się w połowie odległości pomiędzy końcami próbki rurowej. Odległość końcowa pomiędzy wałkami zaciskającymi e_q – według danych wprowadzonych do tablic 1 i 2. Usytuowanie próbek rurowych ilustrują rysunki 6 i 7.

Zaciskanie odbywało się w temperaturze otoczenia ($23 \pm 2^\circ\text{C}$), z prędkością 25 mm/min., do odległości e_q , w czasie liczącym od momentu wyjęcia próbki rurowej z komory kondycjonowania (nie dłuższym niż 90 s). Stały stopień zacisku był utrzymywany w czasie 60 ± 5 min. Bezpośrednio po tym zacisk był stopniowo zwalniany, w czasie do 1 min.



Rys. 6. Próbką rurową PE zaciskana pomiędzy elementami walcowymi



Rys. 7. Próbką rurową PE zaciskana pomiędzy wałcem a ceownikiem

Ocena wpływu geometrii urządzenia zaciskowego i parametrów zaciskania, na wytrzymałość hydrostatyczną rur w strefie zaciskania

Celem zbadania wpływu operacji zaciskania rur na ich wytrzymałość hydrostatyczną, próbki rur PE dn 63 mm (PE 80 i PE 100) po przeprowadzeniu zaciskania zostały poddane próbie hydrostatycznej, w temperaturze 80°C .

Przyjęto, że miarą odporności rur na operację zaciskania będzie wartość ciśnienia hydrostatycznego, przy którym próbki ulegają rozerwaniu.

Parametry badania próbek rur zaciskanych pomiędzy elementami walcowymi w urządzeniu do zaciska-

Tablica 3. Wyniki wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne rur PE po operacji zaciskania, przy hydrostatycznej próbie niszczącej w temperaturze 80°C

Nr próbki	Zacisk wałec/wałec				Zacisk wałec/ceownik			
	Ciśnienie p_{max} [bar]			Wartość średnia ciśnienia	Ciśnienie p_{max} [bar]			Wartość średnia ciśnienia
	1/w	2/w	3/w		1/p	2/p	3/p	
PE 80	16,36	15,92	16,21	16,16	14,60	15,72	15,09	15,14
Nr próbki	4/w	5/w	6/w		4/p	5/p	6/p	
PE 100	18,36	18,95	18,80	18,70	18,60	18,20	18,55	18,45

nia (próbki z indeksem „w”) oraz pomiędzy elementem walcowym a powierzchnią płaską (próbki z indeksem „p”) ilustruje tablica 3.

Dla porównania wyników uzyskanych na próbkach poddanych zaciskaniu, przeprowadzono próbę ciśnieniową rury PE nie poddaną tego typu oddziaływaniom.

Próbka rury dn 63 mm, SDR 11, PE 100 nie poddana próbie zaciskania (nr próbki 7/0): ciśnienie $p_{max} = 18,65$ bar.

Typowy wygląd próbek po uszkodzeniu ilustruje rysunek 8.



Rys. 8. Próbki rurowe PE po rozerwaniu w trakcie próby hydrostatycznej

Wnioski

1. Porównawcze badania laboratoryjne próbek rur polietylenowych, poddanych operacji zaciskania, nie wykazały istotnych różnic w wytrzymałości hydrostatycznej podczas próby niszczącej, w zależności od geometrii zastosowanych elementów zaciskowych.
2. Badania nie wykazały istnienia trwałych deformacji w rurach PE w krytycznych obszarach strefy

zaciskanej oraz wpływu kształtu elementów zaciskowych na degradację polietylenu w miejscu zaciskania.

3. W świetle uzyskanych wyników badań, brak jest uzasadnienia do zmiany geometrii elementów zaciskowych w urządzeniach do zamykania przepływu w rurach PE.

Recenzent: doc. dr inż. Andrzej Froński

Literatura

- [1] ASTM F1041 *Standard guide for Squeeze-Off of Polyolefin Gas Pressure Pipe and Tubing.*
- [2] ASTM F1563 *Standard Specification for Tools to Squeeze-Off Polyethylene (PE) Gas Pipe or Tubing.*
- [3] ASTM F1734 *Standard Practice for Qualification of a Combination of Squeeze Tool, Pipe, and Squeeze-Off Procedures to Avoid Long-Term Damage in Polyethylene (PE) Gas Pipe.*
- [4] Kevin E. Harris: *Squeeze-off & Gel Patch Repair Methods for Polyethylene Pipe in Natural Gas Distribution Lines.* <http://ir.library.oregonstate.edu>
- [5] PN-EN 1555-2:2002 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do przesyłania paliw gazowych – Polietylen (PE). Część 2: Rury.*
- [6] PN-EN 12106:2002 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych – Rury z polietylenu (PE). Metoda badania wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne po zastosowaniu zacisku.*
- [7] PN-EN 921+AC:1998 *Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych. Rury z tworzyw termoplastycznych – Oznaczenie wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne w stałej temperaturze.*
- [8] <http://www.squeezetool.com>
- [9] <http://www.arkema-inc.com>



Dr inż. Aleksander KLUPA – Pracownik Zakładu Przesyłania i Dystrybucji Gazu w INiG w Krakowie. Główny przedmiot zainteresowań – zastosowanie tworzyw sztucznych w sieciach gazowych oraz zabezpieczanie gazociągów przed skutkami podziemnej eksploatacji złóż na terenach górniczych.



Mgr. inż. Piotr SZEWCZYK – absolwent Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Kierownik Laboratorium Tworzyw Sztucznych INiG. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z badaniami wyrobów z tworzyw sztucznych stosowanymi do budowy sieci gazowych.