

Uszczelnienia połączeń kołnierzowych w górnictwie – cykle termiczne

Streszczenie: W artykule przedstawiono badanie materiału uszczelnień, w trakcie których dokonano cyklicznych zmian temperatury, jakie mogą zachodzić w rurociągach stosowanych nie tylko w górnictwie. Wykazało ono, że zastosowany materiał uszczelnień ma duży wpływ na zachowanie się całej instalacji.

Słowa kluczowe: górnictwo, cykle termiczne, połączenia kołnierzowe, uszczelnienia.

Flange sealants in mining- thermal cycles

Summary: The paper presents the results of research on sealants, during which the temperature was periodically altered to create a similar heat stress that occurs in pipelines, also in other industry sectors than mining. The research findings prove, that the type of raw materials for production of seals has a significant influence on the functioning of the whole installation.

Keywords: mining, Flanged Joint, Thermal Cycles

1. Wprowadzenie

Uszczelnienie zapobiega wyciekom cieczy roboczej z wnętrza urządzenia na zewnątrz albo przedostawaniu się powietrza i zanieczyszczeń z otoczenia do wnętrza urządzenia lub rurociągu. Poprawnie zaprojektowane połączenie kołnierzowe z uwzględnieniem parametrów pracy i doboru odpowiedniego materiału uszczelnienia wymaga od konstruktora posiadania informacji dotyczących właściwości uszczelnienia, w tym odporności na dane medium, temperaturę i ciśnienie pracy. Ważna jest również znajomość dopuszczalne

go nacisku powierzchniowego oraz nacisku zabezpieczającego zadany poziom szczelności, jak i stopień pełzania materiału uszczelnienia w podwyższonej temperaturze. Dane te można otrzymać wyłącznie poprzez badania uszczelnień, które powinny uwzględniać ich warunki pracy. Jednym z takich badań jest sprawdzanie zachowania się uszczelnień podczas cyklicznych zmian temperatury. Aby prześledzić zachowanie się uszczelnień podanych cyklom zmian temperatury, opracowano odpowiednią procedurę prowadzenia tych badań.

2. Rurociągi instalowane w zakładach górniczych

Rurociągi przeznaczone do stosowania w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych (również w szybach) służą do transportu cieczy, jak i gazów. Ze względu na zastosowanie można podzielić je na rurociągi:

- sprężonego powietrza,
- metanu,
- odwadniania,
- solankowe,
- przeciwpożarowe,
- emulsyjne.

Ze względu na materiał, z jakiego zostały wykonane wyróżniamy rurociągi z polietylenem PE oraz stalowe. Rurociągi montowane są z odcinków rur i kształtek za pomocą złączek zaciskowych lub połączeń kołnierzowych.

Temperatury robocze przepływającego w rurociągach czynnika wynoszą od 5 do 200°C, a ciśnienia robocze od 10 do 250 bar. W trakcie eksploatacji rurociągów w górnictwie podziemnym dochodzą dodatkowo elementy związane z cieplnymi warunkami pracy rurociągu zmieniającymi się wraz z głębokością oraz z zewnętrznymi obciążeniami pochodzącymi od jego masy własnej oraz od parcia słupa wody, które potrafią zredukować nacisk na uszczelnienia w połączeniach kołnierzowych rurociągu.

2.1. Cel badań

Celem badań było uzyskanie informacji o zachowaniu się uszczelnień w warunkach cyklicznych zmian temperatury i ich wpływie na parametry, takie jak ściśliwość, zdolność do zachowania naprężeń oraz szczelność połączenia kołnierzowego. Pod wpływem sił zewnętrznych powodujących zaciśnięcie uszczelki między dwiema powierzchniami materiału ulega odkształceniu. Pod wpływem temperatury zachodzą dalsze zmiany grubości uszczelnienia, co może prowadzić do wycieku, gdy nacisk na uszczelnienie spadnie do pewnego minimalnego poziomu. Aby do tego nie doszło, uszczelnienie musi odznaczać się w każdych warunkach pracy odpowiednią sztywnością, co pozwoli ograniczyć nadmierne odkształcenie.

2.2. Opis badań

Badaniom poddano trzy uszczelnienia płaskie wykonane z wysokoparametrowej, średnioparametrowej i niskoparametrowej płyty uszczelniającej (tab. 1). Wymiary uszczelnień wyciętych z płyt uszczelniających o grubości 2 mm wynosiły $\varnothing 49 \times \varnothing 92$ mm zgodnie z normą PN-EN 1514-1:2001 dotyczącą kołnierzy PN40 DN40, zgodnych z normą PN-EN 1092-1:2010. Uszczelnienia o takich wymiarach są stosowane także do badań według normy PN-EN 13555:2005. Uszczelnienia przed badaniem były sezonowane w temperaturze otoczenia przy wilgotności względnej (50+/-6%) przez ponad 48 godzin.

Tab. 1. Badane uszczelnienia

Nr próbki	Materiał próbki	Rodzaj płyty uszczelniającej	Maksymalna cięta temp. pracy [C]	Maksymalne ciśnienie pracy [MPa]	Maksymalny nacisk na powierzchnię próbki w temp. otoczenia [MPa]	Maksymalny nacisk na powierzchnię próbki w temp. 175°C [MPa]
Próbka 1	Uszczelka wycięta z płyty Gambit AF-Oil	Wysokoparametrowa	300	10	220	220
Próbka 2	Uszczelka wycięta z płyty Gambit AF-200 Universal	Średnioparametrowa	220	6	220	60
Próbka 3	Uszczelka wycięta z płyty Gambit AF-153	Niskoparametrowa	160	4	220	60 (160°C)

2.3. Stanowisko badawcze

W firmie Gambit-Lubawka podjęto badania dotyczące oceny parametrów uszczelnień płaskich poddanych cyklicznym zmianom temperatury w zakresie od 40 do 200°C na zakupionym stanowisku kontrolno-pomiarowym TEMES fl.ai1 firmy AMTEC, służącym do pomiaru parametrów uszczelnień. Dane pomiarowe są wykorzystywane do analizy naprężeń i analizy szczelności.

2.4. Procedura badania uszczelnień

Podjęcie badań wymagało opracowania odpowiedniej procedury, koniecznej do uzyskania poprawnej i powtarzalnej oceny wpływu zmiennych cykli temperaturowych na zachowanie uszczelnień, w tym na zmianę odkształcenia uszczelnienia i wycieku przy zadanym ciśnieniu czynnika wewnątrz kołnierza. Założenia do opracowania procedury obejmowały:

- zakres zmiany temperatury od 40 do 200°C,
- maksymalne ciśnienie wewnątrz kołnierza 150 bar,
- prędkość narastania temperatury 8 K/min,
- czas chłodzenia 4 h w temperaturze otoczenia,
- 10 zmian cyklu temperaturowego.

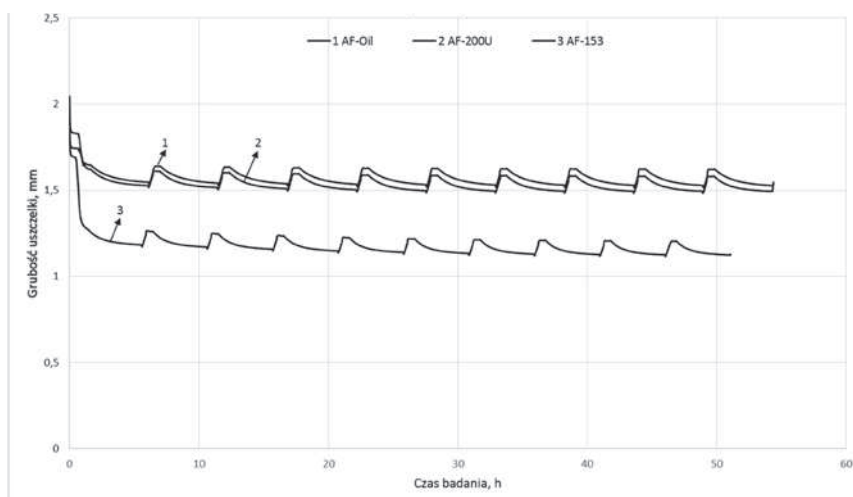
Badaniom poddano uszczelnienia spoczynkowe w następującej kolejności:

- ETAP I. Wywołanie nacisku wstępnego o wartości 1 MPa: prędkość narastania nacisku 0,5 MPa/s, czas stabilizacji 60 s.
- ETAP II. Wywołanie nacisku stykowego o wartości 100 MPa, z prędkością 0,5 MPa/s, czas stabilizacji 5 min.
- ETAP III. Ewentualny spadek wartości nacisku należało zrekompensować ponownym dociążeniem uszczelnienia do wartości nacisku początkowego 100 MPa: z prędkością 0,5 MPa/s, czas stabilizacji 60 s.
- ETAP IV. Pierwszy pomiar wycieku.
- ETAP V. Ogrzewanie uszczelnienia do temperatury 200°C: z prędkością 8 K/min, czas stabilizacji 30 min.
- ETAP VI. Schłodzenie kołnierzy do temperatury 40°C; czas chłodzenia 4 h.
- ETAP VII. Drugi pomiar wycieku.
- ETAP VIII. Powtórzenie badań obejmujących etapy od V do VII w dziewięciu cyklach.

3. Analiza wyników badanych uszczelnień

- Porównanie zmian odkształcenia badanych uszczelnień włóknisto-elastomerowych

Rys. 1. Porównanie zmian grubości badanych uszczelnień płaskich poddanych działaniu początkowego nacisku stykowego 100 MPa podczas dziesięciu cykli grzania i chłodzenia



W trakcie napinania śrub podczas montażu połączenia kołnierzowego materiał uszczelnienia jest poddawany naciskowi, co wiąże się ze zmianą grubości uszczelnienia w wyniku zagęszczenia materiału. Materiał uszczelnienia powinien wykazywać się małą podatnością na zmiany grubości, aby osiągnąć i utrzymać odpowiedni nacisk powierzchniowy,

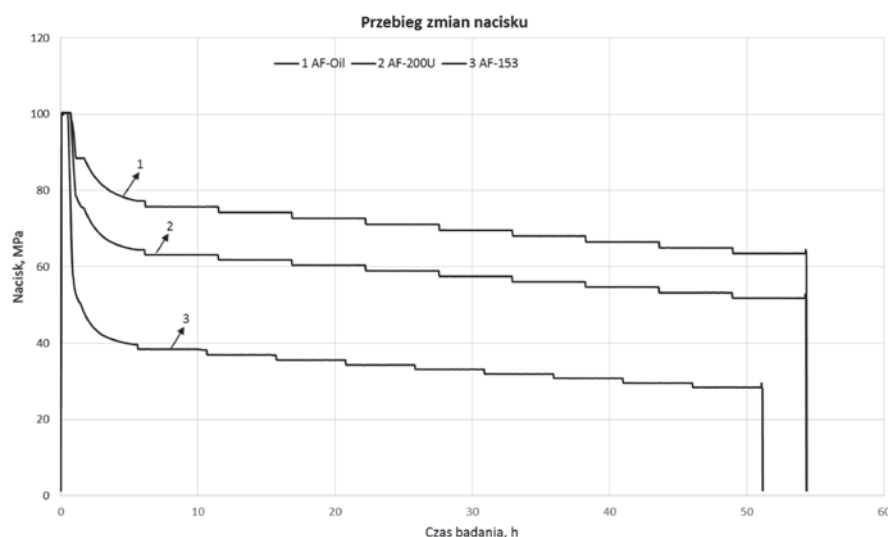
a jednocześnie odznaczać się sprężystością powrotną istotną dla kompensacji różnicy w rozszerzalności cieplnej kołnierzy i śrub. Daje się zauważyć, że uszczelnienie wysokoparametrowe z płyty Gambit AF-Oil oraz uszczelnienie średnioparametrowe z płyty Gambit AF-200 Universal, w których jednym z komponentów są włókna kevlarowe, doznały nieznacznego początkowego zmniejszenia grubości. W uszczelnieniu z płyty Gambit AF-153, przeznaczonym do pracy w niewysokich temperaturach i ciśnieniach, doszło do większej zmiany grubości. Po obciążeniu początkowym podczas trwania cykli zmian temperatury grubości uszczelnień utrzymywały się na stałym poziomie. Dla każdego z badanych uszczelnień została wyznaczona ściśliwość oraz elastyczność. Wyniki badań zamieszczono w tab. 2.

Tab. 2. Ściśliwość materiału badanych próbek

Numer próbki	Materiał próbki	Ściśliwość materiału próbki [%]	Powrót sprężysty materiału próbki [%]
Próbka 1	Uszczelnienie z płyty Gambit AF-Oil	10,7	4,6
Próbka 2	Uszczelnienie z płyty Gambit AF-200 Universal	10,6	6,1
Próbka 3	Uszczelnienie z płyty Gambit AF-153	13,3	2,2

- Porównanie zmian wartości nacisku stykowego na powierzchni badanych uszczelnień włóknisto-elastomerowych

Rys. 2. Zmiany wartości nacisku stykowego na powierzchniach uszczelnień po dziesięciu cyklach badań



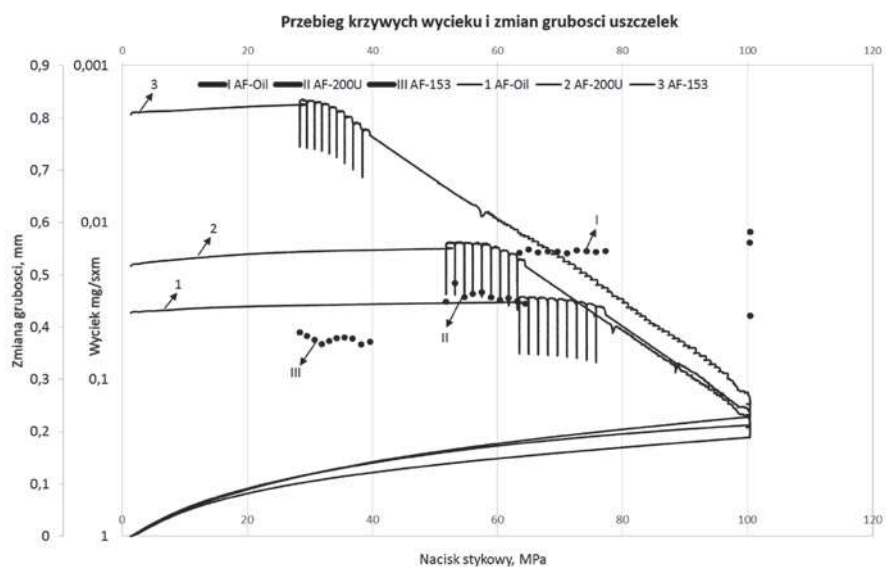
Początkowe i końcowe wartości nacisku stykowego na powierzchni uszczeliek podano w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości początkowe i końcowe nacisku stykowego na powierzchni badanych uszczeliek

Numer próbki	Materiał próbki	Nacisk początkowy na uszczelnienie [MPa]	Nacisk końcowy na uszczelnienie [MPa]	Stosunek nacisku resztkowego do początkowego nacisku na uszczelnienie
Próbka 1	Uszczelka wycięta z płyty Gambit AF-Oil	100	62	0,6
Próbka 2	Uszczelka wycięta z płyty Gambit AF-200 Universal	100	50	0,5
Próbka 3	Uszczelka wycięta z płyty Gambit AF-153	100	27	0,3

- Porównanie poziomu wycieku badanych uszczelnień włóknisto-elastomerowych oraz krzywych ściskania, pełzania i odciążania

Rys. 3. Zmiany poziomu szczelności badanych uszczeliek wyznaczone podczas cykli, w których uszczelnienia były schłodzone do temperatury 40°C, po każdym cyklu ogrzewania do temperatury 200°C oraz porównanie krzywych ściskania, pełzania i odciążania badanych uszczelnień płaskich po dziesięciu cyklach badań



Wyciek mierzono podczas cykli badawczych, w których uszczelnienie schładzano do temperatury 40°C przy ciśnieniu wewnątrz kołnierza wynoszącym 150 bar. Poziomy wyciek dla każdego cyklu i każdej z badanych uszczelek pokazują krzywe składające się z punktów, oznaczone cyframi rzymskimi, które zostały również odniesione do zmiany grubości każdego uszczelnienia oznaczonego linią ciągłą, zmieniającego się wraz z naciskiem na powierzchnię uszczelnienia występującego podczas danego pomiaru wycieku.

Z przeprowadzonych badań szczelności wynika, że wraz ze spadkiem nacisku na uszczelnienia nie nastąpiła zmiana poziomu wycieku. Najwyższą szczelność osiągnęły uszczelnienia wykonane z płyty wysoko- i średnioparametrowej, przy czym wszystkie mieściły się w przedziale od 1×10^{-2} mg/sxm do 1×10^{-1} mg/sxm.

Krzywe ściskania oznaczone linią ciągłą przedstawiają natomiast lepko-sprężysto-plastyczne zachowania się materiału uszczelnień, zależne od czasu i temperatury. Materiał uszczelnienia jest poddawany ściskaniu, co wywołuje zjawisko pełzania i relaksacji naprężeń w materiale uszczelnienia. Przy zbyt dużym spadku siły w uszczelnieniu układ może przestać być szczelny. Podczas cykli obciążenia cieplnego uszczelnienia z płyty wysokoparametrowej AF-Oil oraz z płyty średnioparametrowej Gambit AF-200 Universal doznały najmniejszych zmian grubości, wykazując także najmniejsze spadki naprężeń pod wpływem pełzania i relaksacji naprężeń. Uszczelnienie z płyty niskoparametrowej AF-153 w zadanych warunkach badania pod działaniem wstępnego nacisku stykowego doznało większego ubytku grubości i w trakcie cykli zmian temperatury odznaczyło się również większym spadkiem naprężeń.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania materiału uszczelnień, w trakcie których dokonano cyklicznych zmian temperatury, które mogą zachodzić w rurociągach stosowanych nie tylko w górnictwie wskazują, że zastosowany materiał uszczelek ma duży wpływ na zachowanie się całej instalacji. W badaniach stosowano dużą różnicę temperatur Δt , aby pokazać, jak w tych niekorzystnych warunkach zachowuje się materiał uszczelnień. Stwierdzono, że uszczelnienia z wysokoparametrowej płyty AF-Oil i średnioparametrowej płyty AF-200 Universal odznaczyły się niewielkimi zmianami grubości podczas badań oraz zachowały odpowiednio wysoki nacisk stykowy na swojej powierzchni, co przełożyło się również na szczelność. Użyte do porównań uszczelnienie z płyty AF-153 o niskich parametrach wytrzymałościowych, które sprawdza się dobrze w temperaturze do 160°C i ciśnieniu do 40 bar, w takich warunkach wykazało większą zmianę zarówno grubości, jak i nacisku stykowego, przy czym nie nastąpiła utrata szczelności uszczelnienia. Dlatego tak ważny jest odpowiedni dobór materiału uszczelnień do danych warunków pracy. Tam gdzie występują duże obciążenia, zarówno cieplne, jak i od samej konstrukcji węzła uszczelnianego oraz od ciśnienia uszczelnianego medium, należy stosować uszczelnienia z płyt uszczelniających, charakteryzujące się odpowiednią sztywnością i wytrzymałością na naciski.

Dodatkowo należy stosować odpowiednie rozwiązania kołnierzy, np. z wpustem i wypustem lub z występem i z rowkiem, stosownie do ciśnienia. Dodatkową korzyścią będą ograniczone zmiany nacisku w uszczelnieniu.

Literatura

1. Machowski B., Ochoński W., Czachórska E., *Uszczelnienia*, PWN, Warszawa 1991.
2. Cipolatti C. F. A., De Sousa A. M. F., Veiga J. C. C., *Determination of critical temperature of compressed non-asbestos fiber sheet gaskets*, ASME/JSME Pressure vessels and piping conference, 2004.
3. Flitney R., *Seals and sealing handbook. Fifth edition*, Elsevier Ltd., 2007.
4. Weimer N., *Odporne na działanie ciśnienia materiały z PTFE do produkcji uszczelnień o małej szerokości*, „Armatura i Rurociągi”, październik-grudzień 2011.