

Renata WALCZAK, Andrzej ZAGÓRSKI

Politechnika Warszawska

ŚRODOWISKOWE I EFEKTYWNOŚCIOWE ASPEKTY DOBORU USZCZELNIEŃ SPOCZYNKOWYCH

Słowa kluczowe

Uszczelnienia statyczne, urządzenia ciśnieniowe, dyrektywa ciśnieniowa, TA-Luft, uszczelki, klasa szczelności, połączenie kołnierzowe.

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę problemu zapewnienia szczelności połączeń kołnierzowych z wykorzystaniem uszczelnień statycznych. Omówiono zakres zastosowania różnych uszczelnień oraz przedstawiono ich wady i zalety. Omówiono przepisy polskie i światowe dotyczące stosowania uszczelnień spoczynkowych. Przedstawiono analizę opłacalności poprawienia obowiązujących przepisów dotyczących szczelności.

Wprowadzenie

Uszczelka jest podstawowym elementem zamykającym (uszczelniającym) szczelinę, przez co stanowi nieprzepuszczalne połączenie dla cieczy lub gazu o akceptowanej wielkości. Uszczelnienie jest jedną z ważniejszych części urządzeń przemysłu petrochemicznego i chemicznego, wpływającym bezpośrednio na zagrożenia chemiczne dla środowiska naturalnego i kształtującym efekty ekonomiczne.

Ze względów kinetycznych, uszczelnienia dzielą się na:

- statyczne, gdzie uszczelka znajduje się pomiędzy powierzchniami, które nie przemieszczają się względem siebie,

- ruchowe (mechaniczne, dławiki, hydrauliczne, pneumatyczne itp.), w których uszczelka znajduje się pomiędzy powierzchniami o ruchu względnym.
Podział ze względu na zastosowany materiał obejmuje:
- uszczelki niemetalowe (miękkie), wykonane z gumy, korka, PTFE, CSF (sprasowane włókna syntetyczne), elastycznego grafitu, materiałów odpornych na wysokie temperatury (ceramika, mika) i inne,
- uszczelki półmetalowe: zbrojone, faliste, w koszulkach metalowych, zwijane spiralnie itp.
- uszczelki metalowe: płaskie, profilowane, pierścieniowe itp.

Produkty pochodzące z emisji pierwotnych (kominy, ścieki) i emisji wtórnych (różne rodzaje uszczelnień, zbiorniki) stanowią bezpośrednią przyczynę zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Polskie regulacje prawne nie rozgraniczają obu typów emisji. Ustalona jest tylko ogólna wielkość emisji dla poszczególnych zakładów przemysłowych. Do głównych źródeł emisji wtórnych w przemyśle chemicznym i petrochemicznym należą połączenia kołnierzowo-śrubowe, pompy, sprężarki, armatura itp. Całkowita eliminacja emisji przez uszczelnienie jest niemożliwa, co znaczy, że wszystkie materiały oraz konstrukcje uszczelniające cechuje określona dopuszczalność przecieków. Ograniczenie emisji wtórnych następuje poprzez wprowadzenie nowoczesnych, wysokojakościowych materiałów uszczelniających oraz w wyniku udoskonalenia konstrukcji elementów, odpowiedzialnych za szczelność połączenia. Szczelnością nazywa się taki stan uszczelnienia, w którym rejestrowane przecieki są na akceptowalnym w danych warunkach poziomie.

W celu uporządkowania wielkości przecieków zostało wprowadzone pojęcie klas szczelności, które są ściśle związane z granicą przecieku oraz ze współczynnikami do obliczeń wytrzymałościowych. Współczynniki określają wielkość nacisków w śrubach połączenia dla uzyskania odpowiednich nacisków jednostkowych na uszczelkę.

1. Wymagania normatywne dla uszczelnień spoczynkowych

Obowiązujące w Unii Europejskiej normy EN 13555 oraz DIN 28090 określają klasy szczelności, trzy główne to $L_{1,0}$, $L_{0,1}$ i $L_{0,01}$ (1,0; 0,1; 0,01 mg/m·s) i sposób badania przecieku, podczas gdy normy EN 13445, AD-M/DIN, WUDT, ASME odnoszą się do metody obliczeń wytrzymałościowych, według których konieczne do obliczeń współczynniki należy przyjmować z katalogów wytwórców materiałów uszczelniających.

W większości europejskich zakładów petrochemicznych aktualnie przyjęta jest klasa szczelności $L_{=0,01}$ mg/m·s. W Niemczech od 1 października 2002 r. obowiązuje przepis TA-Luft VDI 2440/VDI 2200, który ustala maksymalny przeciek $L_{TA-Luft} \leq 10^{-4}$ mbar·l/s·m ($\approx L_{0,001}$ wg EN) (rys.1).

Zestawienie porównawcze

- DIN 28090/EN-13555
- Ciśnienie: 40 bar
- Medium: azot / hel
- Wartość graniczna wynosi

$$L_{TA-Luft} \leq 10^{-2} \frac{mg}{s \cdot m}$$

- Temperatura stała zadana
- Metoda pomiaru różnicy ciśnienia

- TA Luft - VDI 2440
- Ciśnienie: 1 bar
- Medium: hel
- Wartość graniczna wynosi:

$$L_{TA-Luft} \leq 10^{-4} \frac{mbar \cdot l}{s \cdot m}$$

- Temperatura: 20 °C
- Helowa analiza widmowa

Rys. 1. Zestawienie porównawcze przepisów DIN i TA Luft

W polskich zakładach petrochemicznych i chemicznych nie obowiązywały i nadal nie istnieją przepisy w odniesieniu do odpowiednich klas szczelności. Do 1 maja 2004 r. jakoś uszczelki u wytwórców sprawdzał Urząd Dozoru Technicznego, wydając certyfikaty zezwalające na wytwarzanie poszczególnych materiałów uszczelniających. W załącznikach do certyfikatów podawano jednocześnie współczynniki do obliczeń wytrzymałościowych.

Przykładowe certyfikaty przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowe certyfikaty zakładów wytwórczych. Zamieszczono dzięki uprzejmości firmy IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH

Od momentu wejścia Polski do Unii Europejskiej za jakość wyrobów uszczelniających oraz za współczynniki do obliczeń odpowiada teoretycznie ich producent. Jednakże wytwórcy uszczelki podają różne współczynniki dla tego samego rodzaju i materiału uszczelki. Dodatkowo na ostatniej stronie katalogu załączają klauzulę wydrukowaną bardzo drobnym drukiem: „*Dane służą jedynie jako wskazówki przy doborze materiałów i nie stanowią podstawy prawnej przyjęcia przez dostawcę odpowiedzialności prawnej*” lub podobnej treści, a więc prawnie nie ponoszą żadnej odpowiedzialności za produkty wprowadzane na rynek.

Zgodnie z dyrektywami unijnymi PED 97/23/WE i 92/59/EWG od 1.05.2004 za całość urządzenia ciśnieniowego wprowadzanego na rynek odpowiada jego wytwórca, a tym samym jest on odpowiedzialny za projekt techniczny oraz poszczególne elementy, w tym uszczelki zastosowane w danym urządzeniu, wytwarzane przez innych podwykonawców. Za urządzenia eksploatowane na instalacjach w całości odpowiada użytkownik.

W Unii Europejskiej dla zapewnienia właściwej jakości uszczelki weryfikację danych wykazanych w katalogach przez zakłady wytwórcze prowadzi instytut z Münster University of Applied Science. Wyroby uznane przez Instytut jako prawidłowe umieszczane są na stronie internetowej www.gasketdata.org.

W instalacjach petrochemicznych dla utrzymania minimalnych przecieków powinny być stosowane uszczelnienia wysokiej jakości zapewniające:

- Odporność chemiczną
- Odpowiednią szczelność przy minimalnych naciskach
- Wysokie dopuszczalne naciski (na zimno i gorąco)
- Możliwość stosowania w wysokich ciśnieniach
- Odporność na wysokie temperatury
- Odporność na starzenie
- Zachowanie sprężystości przy zmiennych obciążeniach
- Odporność na wydmuchanie
- Zdolność do niwelowania nierówności przylg
- Odporność na relaksację w długim okresie eksploatacji, tj. do 5 lat (osiadanie w czasie)
- Dobra obsługa eksploatacyjna
- Ognioodporność

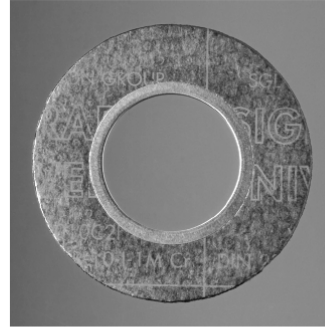
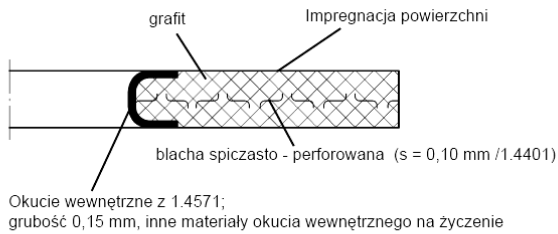
Wymagania formalne dla uszczelki wysokojakościowych obejmują dopuszczenia TA-Luft (VDI 2440, VDI 2200), Fire Safe wg API 607/BS 6755, BAM, DVGW.

2. Rodzaje uszczelnień

Do uszczelzek wysokiej jakości w Unii Europejskiej zaliczane są:

1. Uszczelki miękkie, głównie grafitowe, z wewnętrznym (lub zewnętrznym) okuciem (profil FD/IB) (rys. 3).
 - Parametry grafitu, głównego składnika uszczelnień:
 - zawartość chlorku od 20 do 50 ppm,
 - zawartość popiołu od 0,1% do 2%.
 - W przypadku zastosowania nieczystego grafitu może wystąpić niebezpieczeństwo korozji, spadek odporności na utlenianie, niebezpieczeństwo spalania się już od 300°C i obniżenie parametrów mechanicznych.
 - Wady: ograniczone zakresy stosowania dla uszczelnień niegrafitowych.

Konstrukcja



Granice zastosowania

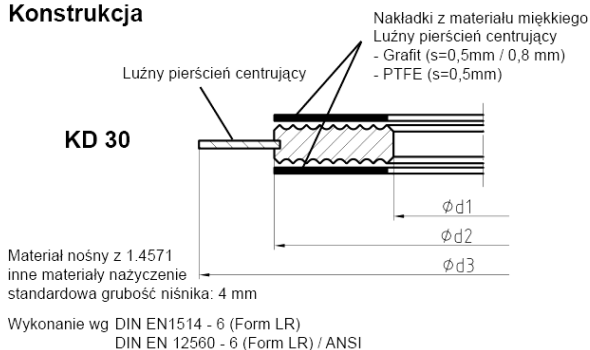
- Temperatura robocza: -200°C do 500°C (*)
- Ciśnienie robocze: max. 160 bar

Rys. 3. Fragment karty katalogowej uszczelki FD10. Zamieszczono dzięki uprzejmości firmy IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH

2. Uszczelki wielokrawędziowe (profil KD) (rys. 4).

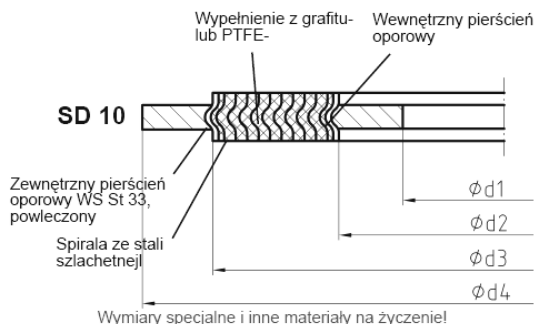
Zalety: odporność na wydmuchanie, szeroki zakres stosowania, dobra obsługa eksploatacyjna.

Wady: niska zdolność do niwelowania, wysokie wymagania gładkości przyłg, wysokie minimalne naciski, relaksacja naprężeń, duże średnice niewygodne w montażu.

Konstrukcja

Rys. 4. Fragment karty katalogowej uszczelki KD30. Zamieszczono dzięki uprzejmości firmy IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH

3. Uszczelki spiralne (profil SD) (rys. 5).

Konstrukcja**Granice zastosowania**

- Ciśnienie robocze:
- Zakres temperatur:

Grafit
max. 320 bar
-200°C do +550°C *

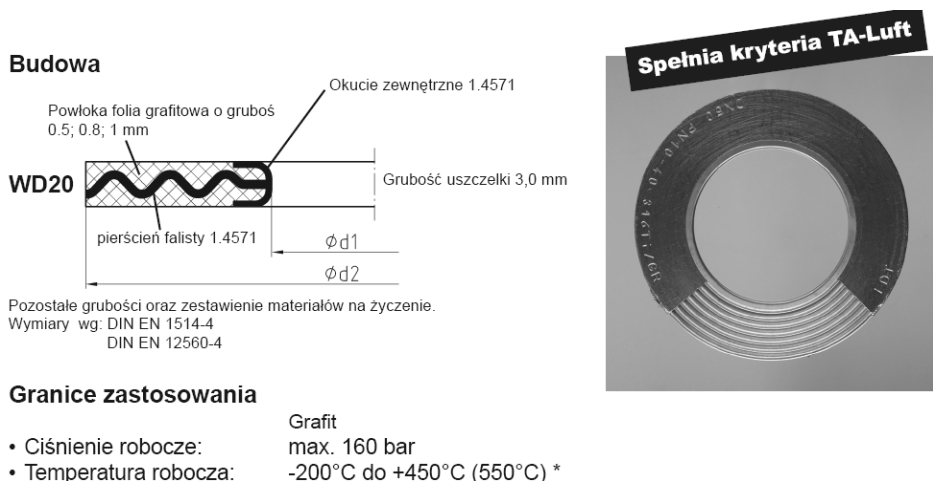
PTFE
max. 320 bar
200°C do + 250°C

Rys. 5. Fragment karty katalogowej uszczelki SD10. Zamieszczono dzięki uprzejmości firmy IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH

Zalety: odporność na wydmuchanie, szeroki zakres stosowania, dobra obsługa eksploatacyjna.

Wady: niska zdolność do niwelowania, wysokie wymagania gładkości przylg, wysokie minimalne naciski, relaksacja naprężeń, duże średnice niewygodne w montażu.

4. Uszczelki z pierścieniem falistym (profil WD) (rys. 6).



Rys. 6. Fragment karty katalogowej uszczelki WD20. Zamieszczono dzięki uprzejmości firmy IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH

Spełniają wymagania nawet przy niestabilnych parametrach pracy z zastosowaniem dodatkowo podkładek sprężystych pod nakrętkami zabezpiecza połączenie przed przeciekami w długim okresie eksploatacji.

W instalacjach petrochemicznych zabezpieczono w ten sposób przed przeciekami wymienniki pracujące w ekstremalnych i zmiennych parametrach, uszczelki te posiadają wysoką zdolność niwelowania i dobrą sprężystość.

W Niemczech uszczelki WD zastępują uszczelki KD i SD.

Zalety: dopuszczalne naciski do około 250 MPa w temperaturze 20°C i około 200 MPa w temperaturze do 400°C.

5. Uszczelki metalowe (rys. 7), właściwie dobrane i zabudowane spełniają najwyższe wymagania – konieczna wysoka dokładność wykonania przyłg.

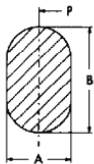
Do uszczelki wysokiej jakości nie mogą być zaliczone:

Uszczelki grafitowe w koszulce (double jackets profil FD41) dla niestabilnych parametrów pracy.

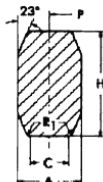
- Wady: duże naciski formujące, brak sprężystości, brak odporności na relaksację przy zmiennych obciążeniach, wysokie wymagania do przyłg.
- Uszczelki z azbestem – nie wolno w ogóle stosować, przecieki przy tych uszczelkach były powyżej 1 mg/m³.

Konstrukcja / Profil

Przekrój owalny RJ 01
(Type R pierścieni owalny wg ASME B 16.20)



przekrój oktagonalny RJ 10
(Typ R pierścieni oktagonalny wg ASME B 16.20)



Legenda:

A szerokość pierścienia; B wysokość pierścienia w pierścieniu owalnym; C długość krawędzi w pierścieniu oktagonalnym; P średnikowa średnica powierzchni nośnej; H wysokość pierścienia oktagonalnego

Rys. 7. Fragment karty katalogowej uszczelki RJ. Zamieszczono dzięki uprzejmości firmy IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH

Uszczelka jest względnie niedrogim elementem systemu instalacji. Przeciek spowodowany uszkodzeniem uszczelki może powodować wyłączenie instalacji i koszty dodatkowej robocizny, które nie mogą być porównywalne do najdroższej uszczelki. W obrocie światowym handlowym można spotkać wyroby uszczelniające podrabiane, łącznie z atestami, bez jakichkolwiek gwarancji, ale po niskiej cenie.

3. Eksploatacja uszczelnień

W latach 80. i 90. ubiegłego wieku w instalacjach Petrochemii S.A. wymieniono uszczelki azbestowe na bezazbestowe. W okresie tym dla połączeń kołnierzowych w USA i w Europie obowiązywała klasa szczelności $L = 0,1 \text{ mg/m}\cdot\text{s}$, taką klasę przyjęto w Petrochemii, przy czym instalacje były zatrzymywane w tym okresie do przeglądu średnio raz w roku. Obecnie instalacje pracują bez remontów 3 do 5 lat.

W instalacjach petrochemicznych i chemicznych są setki tysięcy połączeń kołnierzowo-śrubowych w aparatach i rurociągach oraz dodatkowa ilość armatury, pomp i sprężarek będących źródłem przecieków.

Przykładowo, zakładając podniesienie klasy szczelności z $L = 0,1 \text{ mg/ m}\cdot\text{s}$ do $L = 0,01 \text{ mg/ m}\cdot\text{s}$ dla 1000 połączeń o przeciętnej średnicy nominalnej 250 mm (obwód zewnętrzny uszczelki około 1 mb) przez 1 rok da efekty: $Q = 1000 \text{ połączeń} \times 1 \text{ m} \times 8000 \text{ godz.} \times 3600 \text{ s} \times 0,0001 \text{ g/s} = 2\,800\,000 \text{ g/rok} = \text{około } 2,8 \text{ ton/rok}$ przecieków produktów do atmosfery.

Podawane w katalogach współczynniki do obliczeń wytrzymałościowych ustalane są na urządzeniach laboratoryjnych o idealnych przyłgach. Jednostkowe rzeczywiste przecieki są większe, w okresie 3 do 5 lat eksploatacji w połączeniu kołnierzowym następuje relaksacja naprężeń w poszczególnych elemen-

tach połączenia, trwałe ugięcia uszczelki i kołnierzy, wydłużenia śrub oraz erozja przylg.

Większość instalacji chemicznych i petrochemicznych projektowano i budowano wg przepisów amerykańskich ASME, w których podane współczynniki do obliczeń są dla klasy szczelności $L \approx 0,1$ mg/m \cdot s.

Podsumowanie

Dla zapewnienia ochrony środowiska i poprawienia efektywności ekonomicznej przedsiębiorstwa należałoby:

- Określenie dla zakładów petrochemicznych i chemicznych dopuszczalnych przecieków (klasy szczelności) już w czasie projektowania instalacji oraz ich eksploatacji.
- Przeprowadzenie badań eksploatacyjnych na wybranych instalacjach o długotrwałym ruchu dla określenia rzeczywistych przecieków z uwzględnieniem medium, ciśnienia, temperatury, rodzajów uszczelnień.
- Stosowanie materiałów uszczelniających wysokiej jakości z firm uznanych przez Międzynarodowe Instytuty Badawcze.
- Wprowadzenie bieżących metod kontrolnych alarmujących przekroczenie dopuszczalnych przecieków w połączeniach kołnierzowo-śrubowych z uszczelkami, np. kontrola naciągów śrub lub inne.
- Stosowanie materiałów i rozwiązań konstrukcyjnych połączeń kołnierzowo-śrubowych zapewniających niezmienność właściwości poszczególnych elementów połączenia w czasie długotrwałej eksploatacji (do 5 lat).

Bibliografia

1. Gawliński M., Podkomorzy K., Barszcz R., Rogula J.: Analityczno-eksperymentalne wyznaczenie współczynników obliczeniowych uszczelnień do połączeń kołnierzowych. Raporty Inst. Tech. Ciepl. PWroc.
2. Gawliński M., Podkomorzy K., Rogula J.: Calculation methods of gasket load bolted flange joints. W: Germeticnost, vibronadeznost i ekologiceskaja bezopasnost nasosnogo i kompressornogo oborudowanija. Trudy IX Mezunarodnoj naucno-techniceskoj konferencii GERVIKON-HERVICON '99, Sumy, Ukraina, 7–10 sentjabria 1999.
3. Glossary of Sealing Terms. Part 1. Flanges and Gaskets, ESA Publication Nr 008/97, November 1997.
4. Rizo J.: "EDF Approach to the Design and Maintenance of Leaktight Bolted Assemblies" 13th Int. Conf. of Fluid Sealing, Brugge, Belgium, 1992, BHR Group.
5. Dyrektywy UE-PED 97/23/WE; 92/59/EWG.
6. Norma EN 13445, Norma EN 13555, Przepisy WUDT/UC/2003.
7. Warunki techniczne UDT – DT/UC/90.

8. Prace badawcze IDT i MPA, Przepisy ASME VIII, Przepisy PD5500; BS5500.
9. Przepisy AD-Merkblatt.
10. Normy DIN 28090, DIN V 2505, DIN E 2505.
11. Przepisy TA-Luft VDI 2440; VDI 2200.
12. Katalog firmy IDT.
13. EPERC Bulletin 7-PERL gasket parameters measurement.
14. Norma EN 1514.

Recenzent:

Andrzej BALAWENDER

Environmental and effectivity based aspects of choosing static sealings

Key words

Static sealings, pressure equipment, pressure directive, TA-Luft, gasket, leakage class, flange join.

Summary

The analysis of ensuring leaktightness of flange connections using static seals was considered in the paper. Different gasket types and their properties, advantages and disadvantages were discussed. Polish and Word standards for static seals usage were presented. Cost-effectiveness analysis of actual standards improvement was described.