

# ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA SZYBKOSAMKNIĘCIA ŚLUZY

## STRENGTH ANALYSIS OF QUICK-FASTENER OF MANHOLE

**Robert Czabanowski – Katedra Inżynierii Maszyn Roboczych i Pojazdów Przemysłowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska**

Wykonano obliczenia sprawdzające metodą elementów skończonych zamknięcia śluzy DN900. Określono rozkład naprężeń, odkształceń, w elementach podstawowych zespołu: tulei, pokrywie i półpierścieniu dla dwóch przypadków obciążenia: ciśnienie obliczeniowe  $p_n=8,4\text{MPa}$  oraz ciśnienie próby  $p_p=14,2\text{MPa}$ . Przetestowano również wpływ zacisku wstępnego.

Checking calculations of quick-fastener of manhole are performed using the finite elements method. Determined the distribution of stress, strain, the basic elements of the assembly: bushing, cover and half-ring for two load cases: the design pressure  $p_n=8,4\text{MPa}$  and test pressure  $p_p=14,2\text{MPa}$ . Also tested the impact of clamp load.

### Wstęp

Szybkosamknięcia są stosowane w instalacjach przemysłowych do gromadzenia i przesyłania różnych mediów, głównie gazów, jako elementy służące do rewizji bądź kontroli stanu elementów instalacji, filtrów, śluz itp. W zależności od przeznaczenia, elementy takie muszą spełniać rygorystyczne wymagania odnośnie zmiennych warunków pracy (ciśnienie, temperatura, czasem obecność aktywnych chemicznie substancji), co weryfikowane jest przez odpowiednie jednostki nostryfikujące. Podczas takiej certyfikacji, kontrolowane są nie tylko materiały, technologia wykonania, kwalifikacje wykonawcy, ale również obliczenia wytrzymałościowe i ich zgodność z obowiązującymi normami [1].

### Budowa i warunki pracy szybkosamknięcia DN900

Szybkosamknięcie śluzy DN900 jest elementem zbiornika ciśnieniowego służącego do gromadzenia gazu. Zbudowane jest ono z trzech zasadniczych podzespołów: tulei (1), która jest przyspawana do korpusu zbiornika ciśnieniowego, pokrywy (2) oraz półpierścieni (3), które służą do zaciskania tulei

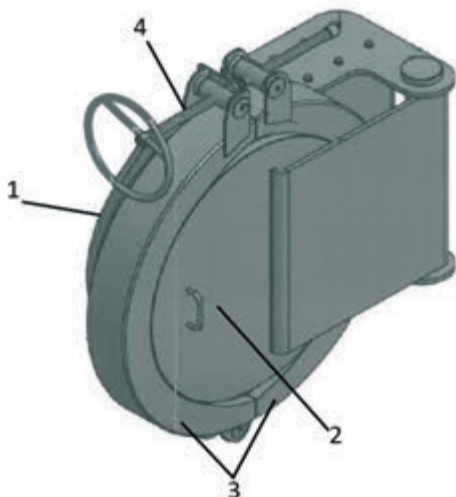
oraz pokrywy. Na rysunku 1 przedstawiono również elementy pomocnicze (4) umożliwiające realizację i regulację zacisku współpracujących powierzchni tulei i pokrywy.

Szybkosamknięcie DN900 jest przeznaczone do pracy przy nominalnym ciśnieniu czynnika roboczego 8,4 MPa, natomiast przewidziane dla tego urządzenia ciśnienie próby wynosi 14,2 MPa.

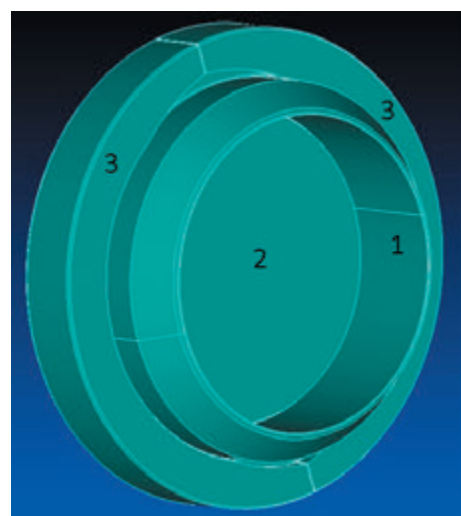
Elementy szybkosamknięcia DN900 wykonane są ze stali przeznaczonej do budowy urządzeń pracujących pod ciśnieniem oraz w podwyższonych temperaturach P355NH [3].

### Model geometryczny i dyskretny szybkosamknięcia DN900

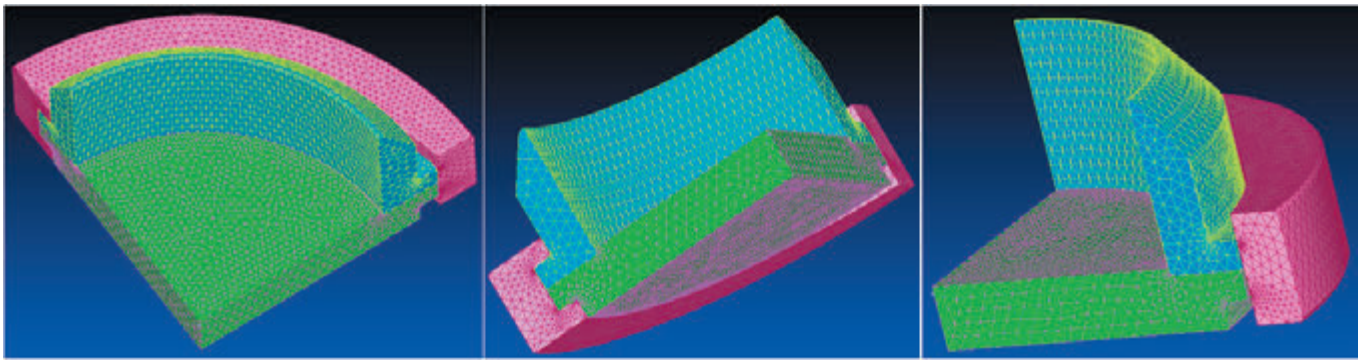
Bazując na dokumentacji konstrukcyjnej [2] sporządzono model geometryczny szybkosamknięcia DN900. Na potrzeby analizy wytrzymałościowej dokonano niezbędnych uproszczeń szczegółów nieistotnych dla poprawnej pracy zespołu, np.: pominięto otwory odpowietrzające w tulei i pierścieniu. Opracowany model geometryczny szybkosamknięcia DN900 przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Szybkosamknięcie DN900 (1 – tuleja, 2 – pokrywa z zawiasem, 3 – półpierścień, 4 – śruba rzymska) [2]



Rys. 2. Model geometryczny szybkosamknięcia DN900 (1 – tuleja, 2 – pokrywa z zawiasem, 3 – półpierścień)



Rys. 3. Model dyskretny szybkozamknięcia DN900

Na potrzeby przeprowadzonych analiz metodą elementów skończonych opracowano model dyskretny szybkozamknięcia DN900. Z uwagi na symetrię zespołu oraz efektywność obliczeń opracowano model numeryczny jako  $\frac{1}{4}$  jego rzeczywistej objętości. Do modelowania wykorzystano elementy bryłowe 10-węzłowe o trzech stopniach swobody w węźle (liczba elementów: 151873, liczba węzłów: 226206). Model dyskretny zespołu przedstawiono na rysunku 3.

#### Analiza numeryczna wytrzymałości szybkozamknięcia DN900

Badania numeryczne wytrzymałości szybkozamknięcia DN900 przeprowadzono metodą elementów skończonych przy użyciu programu NE/Nastran for Windows, rozwiązując zadanie jako statyczne, w zakresie liniowym. Obliczenia przeprowadzono dla warunków normalnych, przy temperaturze 20°C.

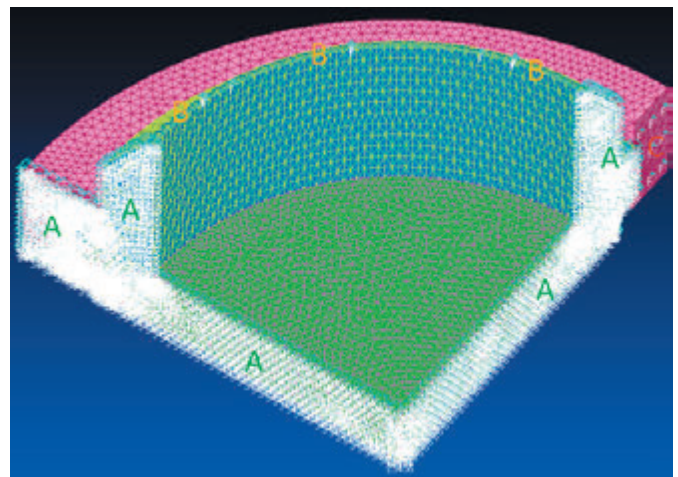
#### Warunki brzegowe i stan obciążenia szybkozamknięcia DN900

Z uwagi na wycinkowy model numeryczny ( $\frac{1}{4}$  objętości) na płaszczyznach symetrii (rys. 4, oznaczenie A) odebrano stopnie swobody tak, aby odzwierciedlić warunki symetrii (przemieszczenie w kierunku prostopadłym oraz obrót wokół dwóch pozostałych kierunków).

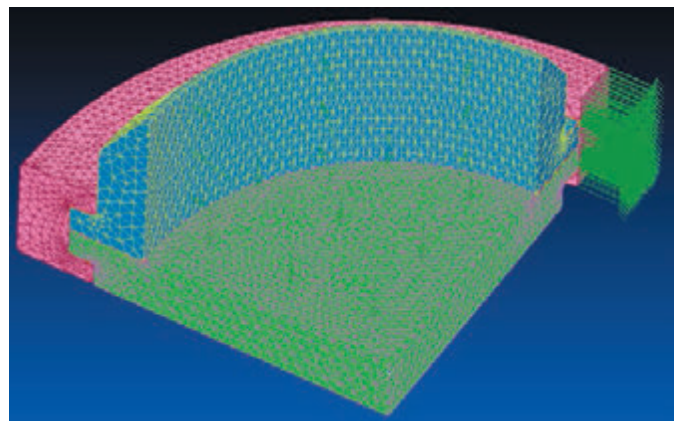
Zespół utwierdzono na powierzchniach tulei DN900 odpowiadających strefie mocowania (spawania) szybkozamknięcia DN900 do korpusu zbiornika (rys. 4, oznaczenie B). Na powierzchniach styku pokrywy z tuleją oraz tulei i pokrywy z półprścieniem zdefiniowano strefy kontaktu, w którym przyjęto współczynnik tarcia równy 0. Powierzchnię czołową półprścienia (rys. 4, oznaczenie C) utwierdzono (odebrano wszystkie stopnie swobody), co przyjęto jako ekwiwalent przyspawanych blach śrubowego mechanizmu napinającego.

Obciążenia zespołu zamodelowano jako ciśnienia (dwa przypadki:  $p_n=8,4$  MPa oraz  $p_p=14,2$  MPa) przyłożone do powierzchni wewnętrznej tulei DN900 oraz powierzchni pokrywy DN900 (rys. 5).

Analizę poszerzono o uwzględnienie wpływu zmian zaciśku wstępnego, który jest realizowany poprzez mechanizm śrubowy, a w modelu uwzględniono to modelując obciążenie dodatkowe na powierzchni C półprścienia (rys. 4) jako wymuszone odkształcenie.



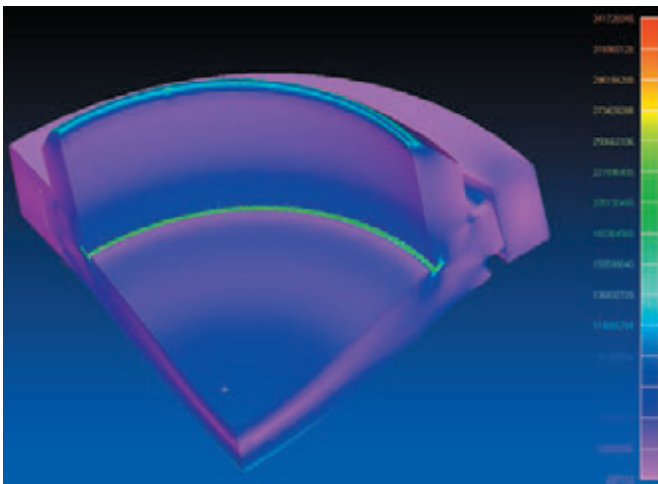
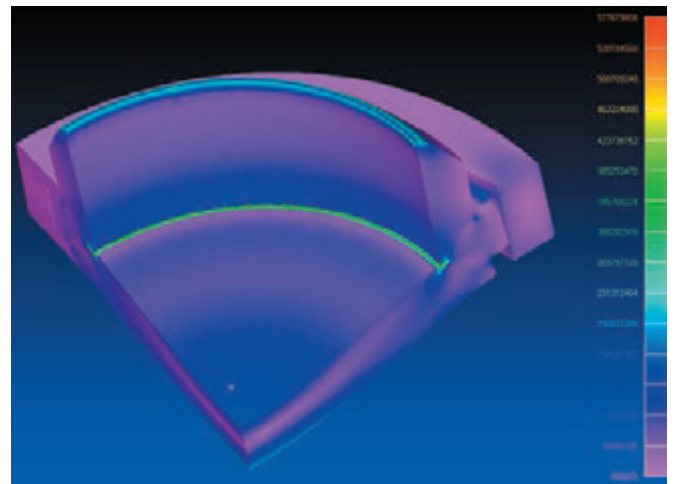
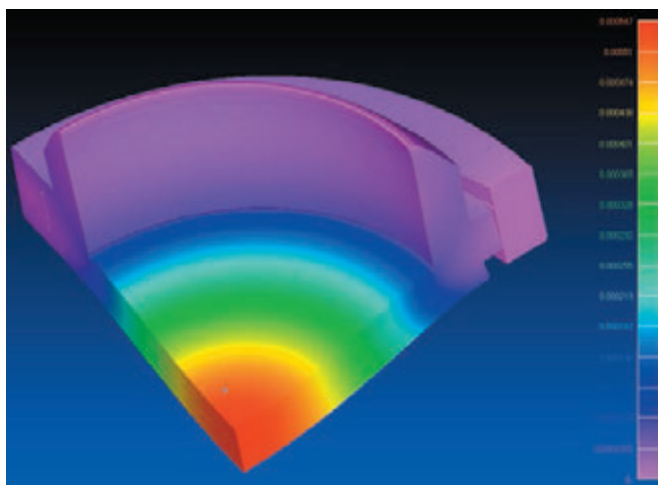
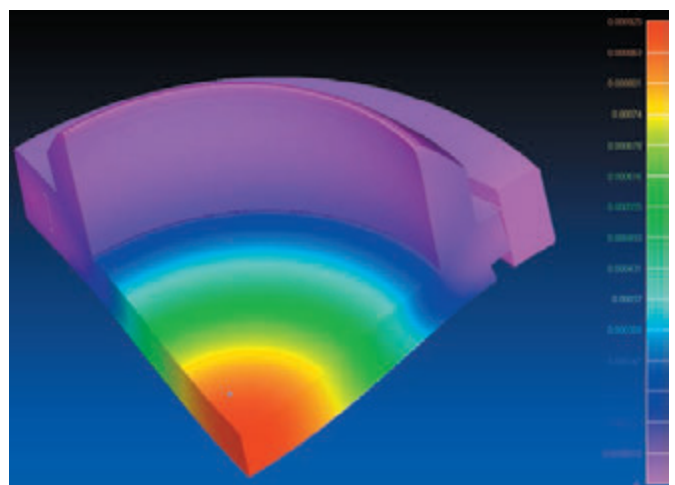
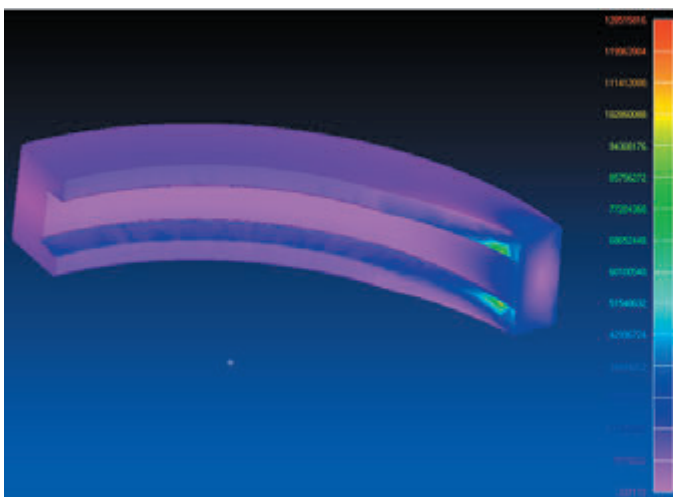
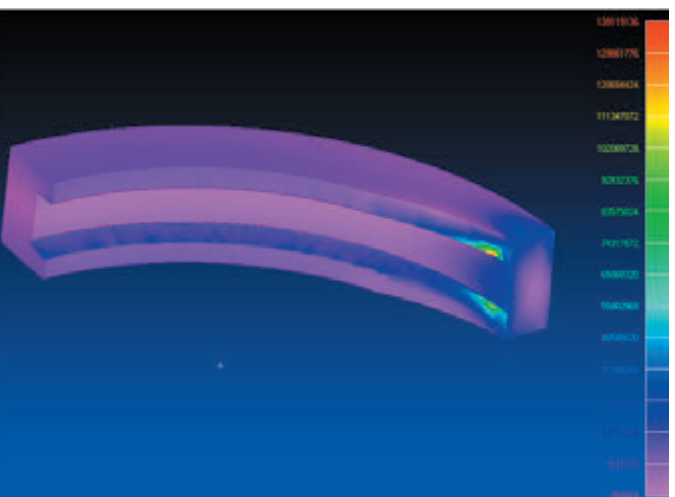
Rys. 4. Warunki brzegowe do analizy wytrzymałościowej szybkozamknięcia DN900



Rys. 5. Analizowane obciążenia szybkozamknięcia DN900

#### Wybrane wyniki obliczeń szybkozamknięcia DN900

Na rysunkach 6–10 zaprezentowano przykładowe wyniki obliczeń (wartości w jednostkach podstawowych układu SI (Pa i m), naprężenia zredukowane według hipotezy Hubera, dla ciśnienia nominalnego  $p_n = 8,4$  MPa oraz dla ciśnienia próby  $p_p = 14,2$  MPa).

Rys. 6. Rozkład naprężeń zredukowanych dla  $p_n=8,4$  MPaRys. 8. Rozkład naprężeń zredukowanych dla  $p_p=14,2$  MPaRys. 7. Odształcenia wypadkowe dla  $p_n=8,4$  MPaRys. 9. Odształcenia wypadkowe dla  $p_p=14,2$  MPaRys. 10. Wzrost naprężeń w półpłaszczyźnie wskutek wprowadzenia dodatkowego zacisku  $u=0,01$ mm od 128MPa do 139 MPa (dla  $p_n=8,4$  MPa)

Tab. 1. Wyniki obliczeń numerycznych podzespołów szybkozamknięcia DN900

Element	Ciśnienie [MPa]	Naprężenia zredukowane [MPa]	Odkształcenia wypadkowe [mm]
Tuleja DN900	8,4	342	0,08
	14,2	578	0,10
Pokrywa DN900	8,4	237	0,55
	14,2	400	0,90
Półpięścię DN900	8,4	128	0,05
	14,2	217	0,10

### Dyskusja wyników obliczeń numerycznych

Wyniki obliczeń numerycznych dla poszczególnych podzespołów szybkozamknięcia DN900 przedstawiono w tabeli 1, obejmują one jedynie wpływ ciśnień  $p_n$  oraz  $p_p$ , bez dodatkowego wymuszonego przemieszczenia.

Zgodnie z normą PN-EN 13445-3 [1] (punkt 6.6.2 tabela 6-1), maksymalne dopuszczalne naprężenia dla elementów poddanych ciśnieniu wynoszą dla stali P355NH:

$$f_d = \min(R_{p0,2/T}/1,5; R_{m/20}/1,875) \quad (1)$$

$$f_{test} = R_{p0,2/Ttest}/1,05 \quad (2)$$

Przyjmując (dla stali P355NH) odpowiednio:  $R_{p0,2/T} = 295$  MPa,  $R_{m/20} = 490$  MPa,  $R_{p0,2/Ttest} = 295$  MPa otrzymujemy:  $f_d = 196,7$  MPa oraz  $f_{test} = 281,0$  MPa.

Według normy PN-EN 13445-3 [1] (punkt C.7.3) zakres naprężeń powinien spełniać warunek (równanie C.7.3-1 wg PN-EN 13445-3):

$$(\Delta\sigma_{eq})_{p+Q} \leq 3f \quad (3)$$

Zgodnie z powyższym równaniem, analogicznie jak w [4], otrzymujemy odpowiednio:  $3f_d = 590,1$  MPa oraz  $3f_{test} = 843$  MPa. Powyższy warunek oraz zalecenia według [4] pozwalają na zaakceptowanie wyników obliczeń numerycznych dla analizowanego zespołu. Należy tutaj dodać, że w badanym zakresie obciążeń dodatkowych, wynikających z wymuszonego przemieszczenia jednej z powierzchni półpięści (ekwiwalent działania mechanizmu śrubowego), stwierdzono jedynie lokalne wzrosty naprężeń zredukowanych w granicach 10-25% na stożkowych powierzchniach kontaktu półpięści z tuleją i pokrywą.

### Podsumowanie

W ramach zrealizowanej analizy wytrzymałościowej szybkozamknięcia DN900 zweryfikowano poprawność jego konstrukcji. Według obowiązującej dla tego rodzaju zespołów (zbiorniki ciśnieniowe) normy PN-EN 13445-3:2009/A1:2012, spełnia ono wymagania wytrzymałościowe. Dodatkowych analiz wymaga ewentualne zastosowanie zespołu w innych temperaturach niż przyjęta w przeprowadzonych obliczeniach.

### Literatura

- [1] Nieogrzewane płomieniem zbiorniki ciśnieniowe – Część 3: Projektowanie. PN-EN 13445-3:2009/A1:2012, Polski Komitet Normalizacyjny, 2012
- [2] Materiały informacyjne firmy CGAS
- [3] Wyroby płaskie ze stali na urządzenia ciśnieniowe – Część 3: Stale spawalne drobnoziarniste normalizowane. PN-EN 10028-3:2010, Polski Komitet Normalizacyjny, 2010
- [4] Staat M., Heitzer M., Lang H., Wirtz K., Direct finite element route for design-by-analysis of pressure components. International Journal of Pressure Vessels and Piping 82, str. 61-67, 2005