

Katarzyna BRUSZEWSKA
Adam BUDZYŃSKI
Wojciech BIENIASZEWSKI

Opiekun naukowy: dr n.t. Elżbieta SZYMCZYK
Wydział Mechaniczny, Zakład Mechaniki Ogólnej WAT

SYMULACJA NUMERYCZNA ZAGADNIENIA KONTAKTU NA PRZYKŁADZIE PRÓBY ZGINANIA RURY

SŁOWA KLUCZOWE: zjawisko kontaktu, GAP, metoda elementów skończonych, deformacje

STRESZCZENIE: *W pracy przedstawiono przykład symulacji numerycznej zginania rury z zastosowaniem elementów kontaktowych. Za pośrednictwem stempla przyłożono do rury siłę, która została rozłożona na pewnej powierzchni rury. W wyniku obliczeń w strefie zginania doszło do powstania płytkich wgłębień. Zbadano wpływ sposobu przyłożenia siły na postać deformacji i rozkłady naprężeń.*

1. WSTĘP

Problemy związane z eksploatacją systemów rurociągowych wytyczają bardzo szeroki zakres problematyki naukowej i technicznej. Rynek paliwowo energetyczny ma strategiczne znaczenia dla gospodarki i obronności państwa zwłaszcza, że jesteśmy uzależnieni od dostaw ropy naftowej i gazu ziemnego. Jednym z elementów tego rynku jest system magazynowania i transportu ropy, gazu i paliw płynnych. Rurociągi narażone są na różnego rodzaju oddziaływania ze strony środowiska, co może powodować ich uszkodzenia i awarie między innymi na skutek dużego i/lub nagłego przemieszczenia rurociągu, wgnieceń i ubytków dla typowego przypadku ułożenia na podporach.

Na podstawie analizy sposobu podparcia i deformacji jakim podlegają rurociągi [4, 5], wykonano test doświadczalny zginania rury, który został opisany w pracy. [6]

W doświadczeniu został użyty stempel za pośrednictwem którego przyłożono do rury siłę. Stempel miał kształt siodła. W rezultacie siła została rozłożona na pewnej powierzchni rury. Wartość siły P wzrastała od 0 do 150 kN. Przy sile 150 kN nastąpiło zniszczenie rury w wyniku jej uplastycznienia.

Eksperyment pokazuje, że w przypadku powłok w warunkach czystego zginania dochodzi do powstania płytkich wgłębień w zwartej strefie. Na wielkość strefy ma wpływ nierównomierny rozkład naprężeń.

Test doświadczalny zginania rury cienkościennej, który został przeprowadzony na maszynie wytrzymałościowej odpowiada rzeczywistemu sposobowi pracy rurociągu przesyłowego ropy lub gazu dla typowego przypadku ułożenia na podporach.

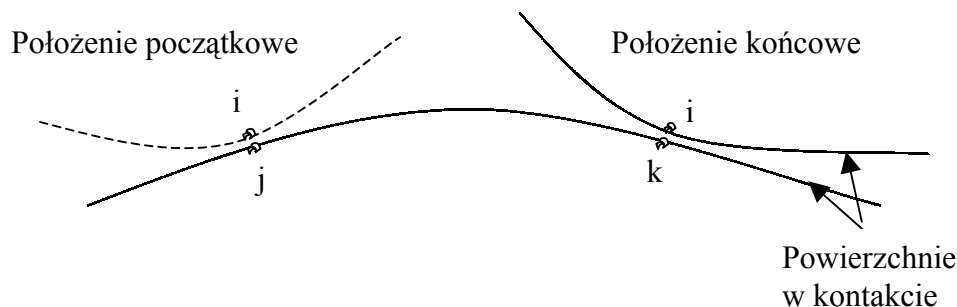
2. SYMULACJA NUMERYCZNA

W pracy przedstawiono przykład symulacji numerycznej z zastosowaniem modelu powłokowego. Obliczenia zostały przeprowadzone za pomocą programu MSC Nastran [1]. Do budowy powłokowego modelu rury w programie Patran użyto elementów czterowęzłowych typu Quad4. Obliczenia wykonano w zakresie sprężystym i sprężysto-plastycznym. Oddziaływanie stempla na rurę można opisać w modelu numerycznym zadając ciśnienie lub narzucając przemieszczenie węzłów rury pod stemplem [6]. W niniejszej pracy szczególną uwagę poświęcono zamodelowaniu zjawiska kontaktu między stemplem, a ścianką rury.

3. MODELOWANIE ZJAWISKA KONTAKTU

Ogólny problem kontaktowy występuje wtedy gdy:

- Kierunek sił w kontakcie nie jest z góry określony
- Punkt kontaktu zmienia się, np. na początku w kontakcie był punkt i i j , a w trakcie przemieszczania punkt i wchodzi w kontakt z punktem k .



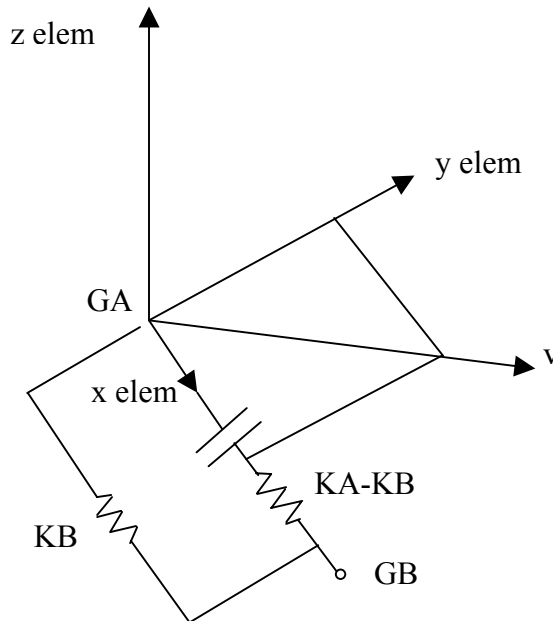
Rys. 1. Ogólne zagadnienie kontaktowe [7]

W zagadnieniu kontaktu zbieżność i dokładność wyników zależy od rozwiązań przyrostowych, gdzie obciążenie przykładane jest stopniowo.

Z uwagi na to, że kontakt występuje między dwoma ciałami jedno z nich określone jest ciałem czynnym, a drugie jako ciało bierne. Obszar kontaktu jest uzależniony od geometrii, zastosowanych obciążeń, własności materiałów i innych uwarunkowań. [1, 7]

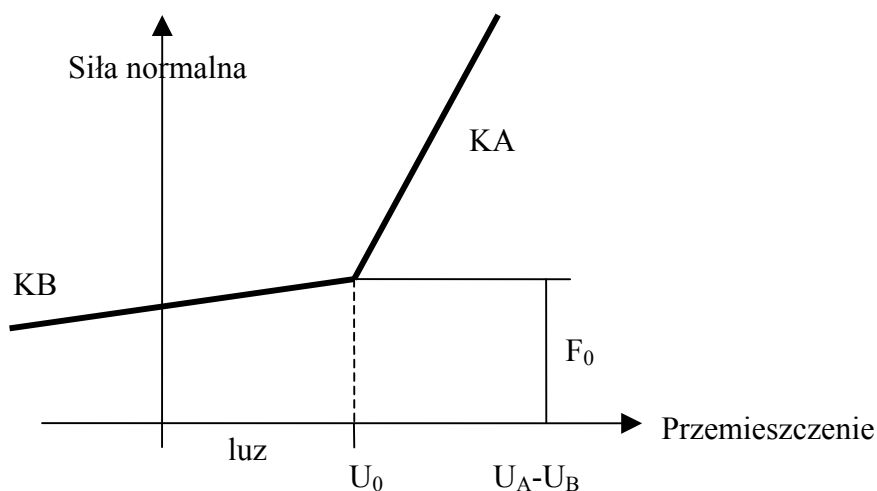
- Obszar kontaktu w ciele czynnym, jest określany przez zbiór punktów, dla których przyporządkowane są jednowęzłowe elementy typu GAP
- Obszar kontaktu w ciele biernym jest zdefiniowany przez ciąg elementarnych linii kontaktowych dla 2-D lub ciągu elementarnych powierzchni kontaktowych dla zagadnień 3-D
- Obszar kontaktu limitowany jest przez pole zdefiniowane przez jednowęzłowe elementy kontaktowe typu GAP. Każdy taki element może wejść w kontakt tylko z jednym z segmentów ciągu linii lub powierzchni zdefiniowanych w ciele biernym.
- Każda powierzchnia (linia) ciała biernego ma określoną stronę dodatnią i ujemną wynikającą z porządku węzłów w opisie elementu. Strona ujemna jest tam, gdzie powinny wejść jednowęzłowe elementy kontaktowe typu GAP.
- Powierzchnie kontaktowe ciała biernego danej grupy powinny stanowić jeden nierozłączny obszar.

Kontakt prosty jest definiowany przez dwa węzły. Kierunek kontaktu jest określony przez linię łączącą te dwa węzły. Odległość między ciałami, wielkość szczeliny jest definiowana jako możliwie maksymalne względne przemieszczenie między tymi węzłami, wzdłuż kierunku kontaktu. (Rys. 2.) W analizie kontaktu stosuje się metodę sił w celu określenia sił wzajemnego oddziaływania w miejscu styku. Każdy styk zastępowany jest siłami o tej samej i kierunku lecz przeciwnego zwrotu, przyłożoną do dwóch węzłów definiujących kontakt [1, 3, 7].

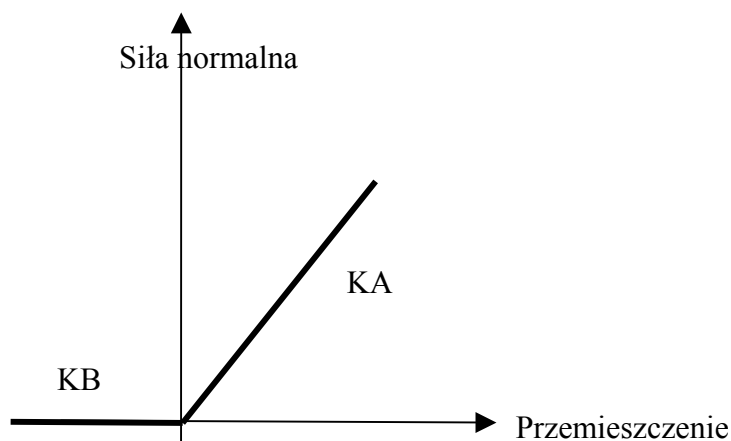


Rys. 2. Element kontaktowy typu GAP [1]

Element kontaktowy dwuwęzłowy ma zastosowanie do zagadnień 2-D i 3-D. Głównym założeniem przy stosowaniu tego typu elementów jest znajomość kierunku siły normalnej w kontakcie, jak i samych punktów kontaktu niezmiennych przez całą analizę. Dwuwęzłowe elementy kontaktowe definiowane są między dwoma węzłami ciał wchodzących w kontakt (po jednym węźle z każdego ciała), przy czym kierunek elementu kontaktowego, reprezentowany przez linię łączącą początkowe położenie dwóch węzłów (przed deformacją) pokrywa się z siłą normalną kontaktu (która jest prostopadła do stycznej w punkcie kontaktu dwóch ciał). Zależnie od typu zagadnienia kontaktowego, element kontaktowy może być określony jako przenoszący ściskanie tzn. ograniczenie zbliżenia się węzłów lub rozciąganie. Charakterystykę elementu kontaktowego, zależność wzajemnych przemieszczeń węzłów od siły normalnej przedstawia Rys. 3. i 4. Tarcie może być uwzględnione zarówno w analizie statycznej jak i dynamicznej (dla kontaktów przenoszących ściskanie). Siły tarcia związane są z elementem kontaktowym leżą w płaszczyźnie stycznej. [7]



Rys. 3. Ogólna charakterystyka GAP-u [1]



Rys. 4. Charakterystyka sztywności GAP-u bez luzu

Zastosowanie elementów typu GAP do odwzorowania kontaktu wymaga równej liczby węzłów oraz ich wzajemnej odpowiedniości na stykających się powierzchniach.

Algorytm tworzenia proponowanego modelu dyskretnego fragmentu rurociągu na podporach i uwzględniający zjawisko kontaktu jest następujący.

- Utworzenie siatki podziału rury z elementów powłokowych czterowęzłowych typu Quad4
- Zamodelowanie podpór przegubowych na końcach rury przy pomocy elementów sztywnych MPC typu RBE2, które dodatkowo zapewniają kołowy kształt przekroju w procesie deformacji
- Stworzenie modelu stempla
- Zdefiniowanie elementów GAP. Węzeł początkowy takiego elementu leży na zewnętrznej powierzchni rury, a końcowy węzeł należy do wewnętrznej powierzchni stempla. Długość elementu GAP odpowiada odległości między rurą, a stemplem. Liczba elementów GAP odpowiada liczbie węzłów stempla.[7]

Zdefiniowanie elementu kontaktowego GAP wymaga podania położenia węzłów W_A i W_B (Rys. 2.) oraz sztywności (Rys. 4.)

Elementy GAP pracują tylko na ścisnienie lub na rozciąganie. Składową stanu naprężenia prostopadłą do kontaktujących się powierzchni możemy zapisać w postaci [3]

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}(1-\nu)\varepsilon_x \quad (1)$$

Naprężenia ściskające możemy wyrazić wzorem

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

gdzie A jest to powierzchnia elementu powłokowego, P- wartość siły normalnej

Odształcenie oblicza się z zależności

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3)$$

gdzie l-wysokość elementu, Δl -zmiana wysokości elementu

Zakładając, że każdy węzeł elementu powłokowego jest jednocześnie węzłem elementu GAP, sztywność tego elementu KA możemy zapisać w postaci

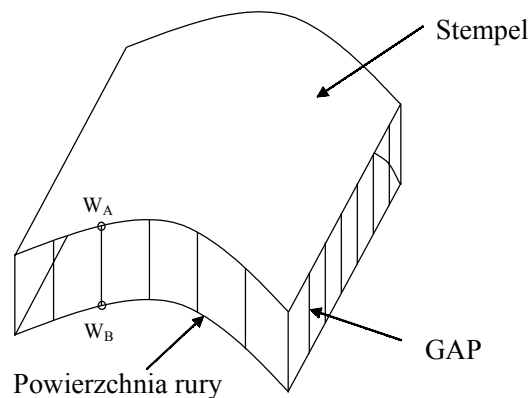
$$KA = \frac{P}{\Delta l} \quad (4)$$

Przekształcając wzory (1-4) otrzymujemy sztywność elementu kontaktowego [3].

$$KA = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \frac{A}{l} \quad (5)$$

4. ANALIZA NUMERYCZNA

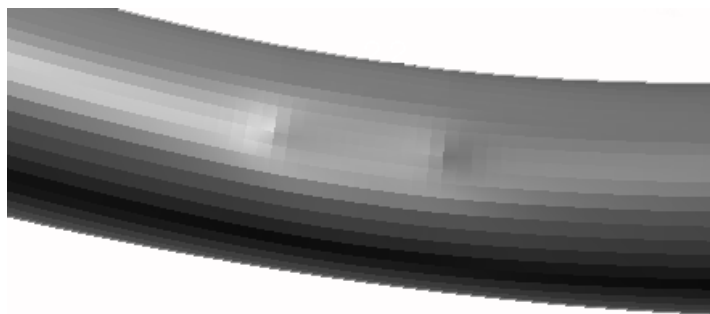
Wykonano model rury, który został podzielony na elementy powłokowe, czterowzłowe typu Quad4. Obliczenia wykonano w zakresie sprężysto-plastycznym. Przyjęto następujące parametry: średnica zewnętrzna rury 274 mm, grubość ścianki 6,5 mm, długość 3,6 m. Założono, że wartości stałych dla materiału, z którego wykonano rurę wynoszą: moduł Younga $E=210 \cdot 10^3$ MPa oraz współczynnik Poissona $\nu=0,3$.



Rys. 5. Elementy kontaktowe typu GAP

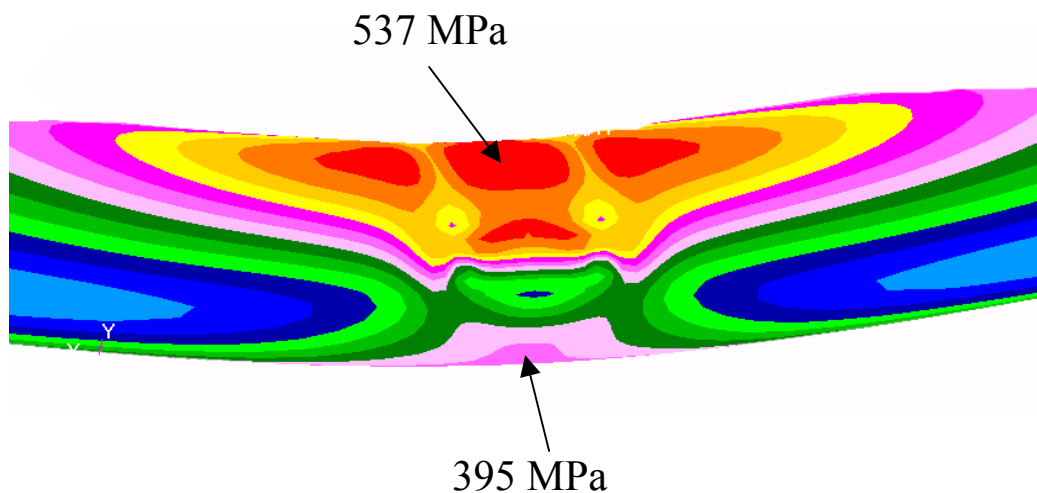
Kontakt został zamodelowany w ten sposób iż stworzono grupę elementów znajdującą się na powierzchni badanej rury, następnie została ona skopiowana i odsunięta na odległość 2 mm. Utworzono dwie listy węzłów. Jedną należącą do stempla, a drugą do badanej rury. Następnie połączono węzły za pomocą jednowymiarowych elementów kontaktowych, (Rys. 5.) przy czym kierunek tych elementów reprezentowany przez linię łączącą początkowe położenia dwóch węzłów pokrywa się z siłą normalną kontaktu. Ten element kontaktowy został określony jako przenoszący ściskanie czyli ograniczający zbliżenia się węzłów.

Sztywność elementu GAP przyjęto na podstawie wzoru (5)



Rys. 6. Deformacja rury dla obciążenia siłą $F=100\text{kN}$ przyłożoną do stempla

W wyniku obliczeń otrzymano dla obciążenia równego 100 kN przemieszczenie środkowego węzła rury równe 0,0406 m. Deformacje rury przedstawiono na (Rys. 6.). Kształt i wielkość deformacji są zbliżone do wyników uzyskanych dla obciążenia kinematycznego [6].



Rys. 7. Naprężenia występujące w rurze dla obciążenia odpowiadającego sile 100kN przyłożonego do stempla.

Z wyników obliczeń otrzymano dla obciążenia równego 100 kN naprężenia występujące na górze rury wyniosły 537 MPa, zaś w dolnej części 395 MPa. (Rys. 7.)

5. PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono symulację numeryczną zginania rury z uwzględnieniem zjawiska kontaktu pomiędzy powierzchnią rury i stemplem. Stempel za pośrednictwem którego przyłożono do rury siłę miał kształt siodła. W rezultacie siła została rozłożona na pewnej powierzchni rury. Wyniki uzyskane w wyniku symulacji są bardzo zbliżone do wyników doświadczenia oraz do symulacji z obciążeniem kinematycznym nie przekraczają one 8%. Stempel pod wpływem przyłożonej siły równej 100 kN wymusił kinematyczne przemieszczenie węzłów rury pod nim. Dla tak przyłożonego obciążenia największe deformacje powstały na krawędziach stempla.

LITERATURA

- [1] The MacNeal – Schwendler Corporation: MSC/Nastran V68 Reference Manual
- [2] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z.: Wytrzymałość materiałów. WNT, Warszawa, 1999
- [3] System-Journal of Transdisciplinary System Science, Volume 9, 2004 Derewońko A., Kiczko A.: Numeryczne modelowanie połączenia sworzniowego.
- [4] Szymczyk W., Niezgoda T., Małachowski J., Bruszevska K.: Numeryczna symulacja doświadczalnego testu zginania rurociągu przesyłowego na podporze, 2004
- [5] Szymczyk W., Niezgoda T., Małachowski J.: Rurociągi – modelowanie numeryczne a rzeczywistość, Przegląd mechaniczny, 2003
- [6] Bruszevska K., Szymczyk E.: Symulacja numeryczna próby zginania rury, 2004
- [7] Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T.: Zastosowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych