

Analizy numeryczne sieci ciepłowniczych

Mikołaj Miśkiewicz¹, Stanisław Burzyński¹, Jacek Chróścielewski¹

¹Katedra Wytrzymałości Materiałów, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska
email: mmisk@pg.gda.pl, staburzy@pg.gda.pl, jchrost@pg.gda.pl

STRESZCZENIE: Praca przedstawiono zakres i wybrane wyniki symulacji numerycznych sieci ciepłowniczej. Zgodnie z zapisami normy PN-EN 13941+A1:2010, w projektowanych rurociągach klasy C wymagane jest przeprowadzenie szczegółowych obliczeń określających stan naprężeń w newralgicznych punktach takich jak łuki na załamaniach trasy sieci w formie kolan, ukosowania rurociągów na połączeniach, trójniki, zwężki. Ze względu na parametry geometryczne rurociągów zauważalny wpływ na sztywność układu i stan wyężenia ma owalizacja przekroju przy zginaniu. W pracy zagadnienie owalizacji oraz paczenia przekroju zostało uwzględnione przez zastosowanie dedykowanych obliczeniom rurociągów jednowymiarowych prętowych elementów rurowych wyższej precyzji.

SŁOWA KLUCZOWE: MES, sieci ciepłownicze, rurociąg

1. Cel pracy, opis konstrukcji

Praca porusza pewne problemy występujące przy obliczeniach MES sieci ciepłowniczych klasy C z użyciem jednowymiarowych dedykowanych analizie rurociągów elementów skończonych typu belkowego ELBOW systemu ABAQUS. Pozwalają one zarówno na wgląd w globalną jak i wystarczająco dokładną, na potrzeby projektowania, lokalną pracę konstrukcji przy niewielkim czasie tworzenia modelu układu i jego obliczeń. Porównanie wyników stosowania elementów skończonych typu belkowego i powłokowego można znaleźć np. w pracach [1, 2].

Analizowano fragment sieci ciepłowniczej ukazanej na rys. 1. Przewody sieci układane w ziemi oraz na estakadach zaprojektowano z rur preizolowanych stalowych ze szwem o płaszczu zewnętrznym z twardego polietylenu PE-HD wysokiej gęstości. Płaszcz PE-HD nad terenem zabezpieczony jest przed promieniowaniem UV osłoną z blachy stalowej ocynkowanej. Odcinki przewodów w miejscach przełączeń sieci z rur preizolowanych do istniejących rurociągów tradycyjnych na estakadach nad terenem zaprojektowano z rur stalowych czarnych ze szwem oraz kolan hamburskich. Promień gięcia na załamaniach przyjęto jako 1,5 D.

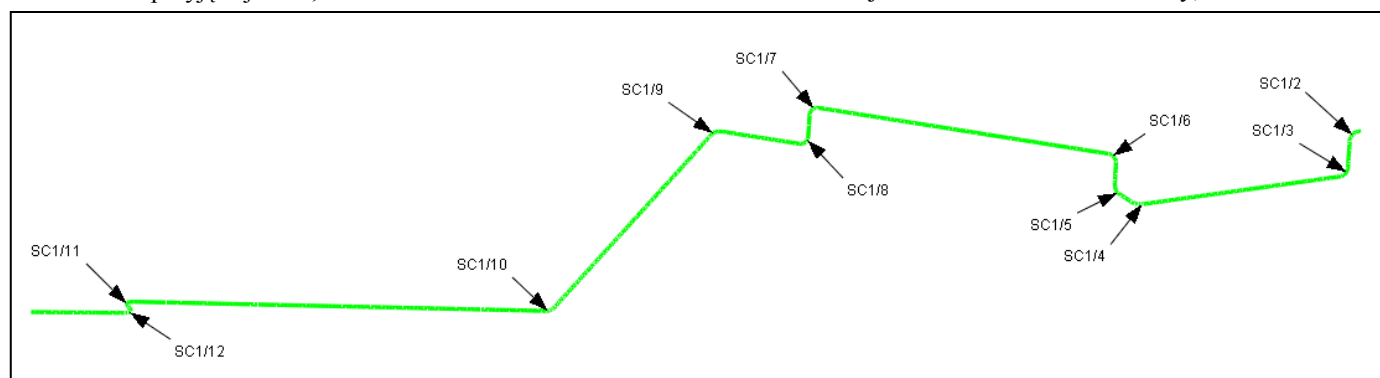
- moduł sprężystości $E = 2,04 \times 10^5$ MPa,
- wsp. rozszerzalności liniowej $\alpha = 1,22 \times 10^{-5}$ K⁻¹,
- gwarantowana szczelność 5,0 MPa.

Tabela 1. Charakterystyki rur sieci ciepłowniczej

Rura przewodowa stalowa			Rura osłonowa PEHD	
Dn	Dz	g	Dzp	gp
mm	mm	mm	mm	mm
700	711,0	8,0	900	8,7
500	508,0	6,3	630	6,6

Według normy PN-EN 13941+A1:2010 „Projektowanie i budowa sieci ciepłowniczych z systemu preizolowanych rur zespolonych” [3], rurociągi sieci ciepłowniczych dzieli się na klasy projektowe zgodnie z tab. 2.

W przypadku klasy projektowej A i B dopuszczalne jest wykorzystanie do obliczeń parametrów podanych przez producenta i dostawcy systemu rur preizolowanych. Natomiast w przypadku sieci w klasie projektowej C wymagane jest przeprowadzenie szczegółowych obliczeń określających stan naprężeń w newralgicznych punktach sieci, takich jak łuki na załamaniach trasy, ukosowania na



Rys. 1. Szkic analizowanej sieci ciepłowniczej wraz z oznaczeniem analizowanych punktów newralgicznych

W obliczeniach założono wykorzystanie rur ciepłowniczych o charakterystykach podanych w tab. 1 i następujących parametrach materiałowych:

- gęstość $\rho = 7850$ kg/m³,
- wytrzymałość na rozciąganie 345÷480 MPa,
- granica plastyczności > 235 N/mm² MPa,

połączeniach, trójniki, zwężki.

2. Modele numeryczne

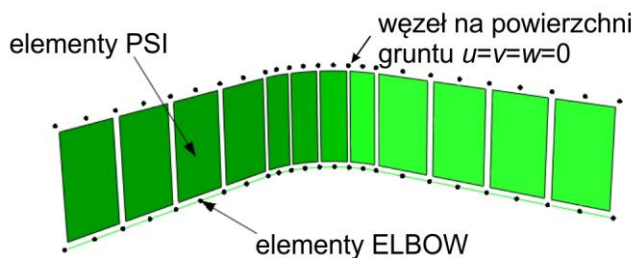
Obliczenia na potrzeby niniejszego opracowania przeprowadzono metodą elementów skończonych (MES). Do opisu rurociągów wykorzystano elementy skończone ELBOW32 [2, 4], które są dedykowane analizom rurociągów prostych i zakrzywionych o przekroju okrągłym. Dają one możliwość symulowania owalizacji

i paczenia przekroju poprzecznego, które to zjawiska mają istotny wpływ na sztywność i rozkład naprężeń w konstrukcji rurociągu. Pozwalają one również na uwzględnienie ciśnienia działającego wewnątrz rurociągu i wpływu tego ciśnienia na sztywność konstrukcji. Użytkownik programu definiuje elementy tak jak klasyczne 3-węzłowe elementy prętowe a wspomniane stany deformacji wprowadzone są z użyciem interpolacji Fouriera [2, 4]. Możliwe jest wprowadzenie specjalnych warunków brzegowych – blokada owalizacji lub paczenia.

Tabela 2. Klasy projektowe rurociągów wg PN-EN 13941+A1:2010

Kl.	Charakterystyka rurociągów sieci ciepłowniczej	σ_{dop} MPa
A	Rurociągi o małych i średnich średnicach $DN \leq 300$ mm. Rurociągi o niskich wartościach naprężeń osiowych ≤ 185 MPa. Rurociągi o niewielkim ryzyku uszkodzenia ciała lub zniszczenia otoczenia. Rurociągi o niewielkim ryzyku strat gospodarczych.	889,0
B	Rurociągi o małych i średnich średnicach $DN \leq 300$ mm. Rurociągi o wysokich wartościach naprężeń osiowych > 185 MPa	782,4
C	Rurociągi o dużych średnicach $DN \geq 350$ mm lub o wysokich wartościach ciśnienia. Rurociągi o wysokim ryzyku uszkodzenia ciała lub zniszczenia otoczenia. Specjalne lub skomplikowane konstrukcje.	594,6

Ponadto w modelu obliczeniowym do uwzględnienia oddziaływań pomiędzy rurociągiem, a sprężysto-plastycznym ośrodkiem gruntowym zastosowano elementy powłokowe 6-węzłowe (PSI36 [2]). Oddzielnie rozpatrywane są tu oddziaływania: w pionie (w dół/w górę), w poziomie i w kierunku osiowym. Użycie tychże elementów umożliwia ujęcie wpływu m.in. głębokości zakopania rury, parametrów gruntu zasypowego, współczynnika tarcia gruntu o rurę, granicznych przemieszczeń rury.



Rys. 2. Model MES fragmentu sieci rurociągu

W obliczeniach uwzględniono następujące dane projektowe:

- głębokość ułożenia - do osi rury H (zmiennie);
- gęstość gruntu zagęszczonego $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$;
- wsp. tarcia między rurą a gruntem $\mu = 0,40$;
- wsp. parcia spoczynkowego $K_0 = 0,46$;
- ciśnienie robocze w rurociągu $\rho_r = 1,6 \text{ MPa}$;
- ciśnienie maksymalne $\rho_{max} = 2,5 \text{ MPa}$;

- minimalna temperatura montażu $t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- woda w sieci w okresie grzewczym $120/55 \text{ }^\circ\text{C}$;
- woda w sieci w okresie letnim $70/42 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Wyniki obliczeń

W analizowanym rurociągu ciepłowniczym m.in. wyznaczono w punktach newralgicznych maksymalne naprężenia zredukowane wg hipotezy Hubera-Misesa-Hencky'ego (zob. tab. 3) oraz przemieszczenia układu.

Tabela 3. Wyniki obliczeń – wartości naprężeń w punktach charakterystycznych.

Oznaczenie	Kąt kolana	σ_{dop} MPa	σ_{obl} MPa	$\sigma_{obl}/\sigma_{dop}$ %
SC1/2	90 st.	594,6	193,5	33
SC1/3	90 st.	594,6	176	30
SC1/4	90 st.	594,6	283,2	48
SC1/5	90 st.	594,6	155,1	26
SC1/6	90 st.	594,6	243	41
SC1/7	90 st.	594,6	175,7	30
SC1/8	90 st.	594,6	226,2	38
SC1/9	90 st.	594,6	286,8	48
SC1/10	115 st.	594,6	412,7	69
SC1/11	90 st.	594,6	306,2	51
SC1/12	90 st.	594,6	292,3	49

4. Podsumowanie

Przeprowadzone obliczenia wykazały, że w żadnym z punktów newralgicznych projektowanego i analizowanego rurociągu sieci ciepłowniczej nie wystąpiły przekroczenia poziomu naprężeń dopuszczalnych wskazanych w [3] oraz nadmiernych deformacji.

W ogólnym przypadku należy stwierdzić, że użycie klasycznych belkowych (prętowych) elementów skończonych nie oddaje rzeczywistego złożonego sposobu pracy konstrukcji rurowej sieci ciepłowniczej klasy C, zaś zastosowanie do jej opisu elementów powłokowych z tworzeniem modeli szczegółowych jest zbyt pracochłonne. Dlatego, jak wykazały obliczenia własne i zgodne z literaturą problemu, dobrym podejściem jest wykorzystanie specjalnych jednowymiarowych, dedykowanych analizie rurociągów, elementów skończonych typu prętowego, uwzględniających efekt owalizacji i paczenia przekroju.

Literatura

- [1] Branicki Cz., Chróścielewski J., Taraszkiewicz Cz., *Analiza statyczna stalowego rurociągu ułożonego w gruncie*, Inżynieria Morska, 1, pp. 27-29, 1984.
- [2] Zeng L., Jansson L.G., Venev Y., *On pipe elbow elements in ABAQUS and benchmark tests*. In: Proceedings of the ASME 2014 Pressure Vessels & Piping Conference, PVP2014, Anaheim, California, USA, July 20-24, 2014.
- [3] PN-EN 13941+A1:2010 „Projektowanie i budowa sieci ciepłowniczych z systemu preizolowanych rur zespolonych.”
- [4] Dokumentacja programu Abaqus v.6.14, Dassault Systems.