

WPLYW ZMIAN GRUBOŚCI PŁYTY PERFOROWANEJ WYMIENNIKA CIEPŁA NA STATECZNOŚĆ KONSTRUKCJI

A. CHUDZIK

Katedra Mechaniki Ogólnej Politechniki Łódzkiej
Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź

J. ŚWINIARSKI

Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Politechniki Łódzkiej
Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź

Jednym z istotnych elementów wymiennika ciepła są dna sitowe – płyty perforowane o znacznej grubości, w których zamocowane są rurki wkładu grzewczego. Dla konstruktorów wymienników ciepła istotna jest analiza wytrzymałościowa połączenia, pozwalająca na określenie stanu naprężeń oraz obliczenie przemieszczeń dna sitowego po zamocowaniu rurek. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że maksymalne naprężenia zredukowane w dnie sitowym są dużo niższe od wartości naprężeń dopuszczalnych. W pracy przedstawiono obliczenia naprężeń i odkształceń dla różnych grubości dna sitowego. Na skutek zmniejszenia grubości dna sitowego zwiększa się jego ugięcie przez co bardziej są narażone rurki wkładu grzewczego na utratę stateczności.

1. WPROWADZENIE

Wymienniki ciepła stosowane są w budownictwie i w przemyśle, głównie w energetyce. Jednym z istotnych elementów wymienników ciepła są dna sitowe – płyty perforowane o znacznej grubości, w których zamocowane są rurki wsadu grzewczego. Liczba rurek, a więc otworów w płycie perforowanej sięga wielu tysięcy, otwory te oddzielone są od siebie cienkim mostkiem. Konstrukcja dna sitowego, jako płyty okrągłej osiowo – symetrycznej, na sprężystym podłożu zachęca do stosowania odpowiednich równań wytrzymałości materiałów i teorii sprężystości. W tym celu od lat wykonuje się obliczenia tzw. sztywności zastępczych, zastępczych własności wytrzymałościowych materiału płyty. Dla płaskiego stanu naprężeń w płycie (np.: rozciąganie tarczowe) wyniki tego przybliżenia są zgodne z wynikami badań doświadczalnych. Dla rzeczywistych warunków pracy – (zginanie płyty) przybliżenie to do dziś nie zostało wykonane dostatecznie dokładnie.

Istotnym problemem w dnach sitowych jest zamocowanie rurek w płycie poprzez rozwalcowanie. W wyniku tego procesu następuje trwałe odkształcenie plastyczne wokół otworów, co ma wpływ na kształt sąsiednich otworów, a następnie na pracę całej płyty i rurek.

W pracy przedstawiono obliczenia naprężeń i odkształceń dla różnych grubości dna sitowego. Na skutek zmniejszenia grubości dna sitowego zwiększa się jego ugięcie przez co bardziej są narażone rurki wkładu grzewczego na utratę stateczności.

2. OMÓWIENIE ZAGADNIENIA

Wymienniki ciepła pracują w bardzo wysokich temperaturach. Występująca różnica temperatur poszczególnych części wymiennika ciepła, jest bardzo często źródłem poważnych trudności konstrukcyjnych.

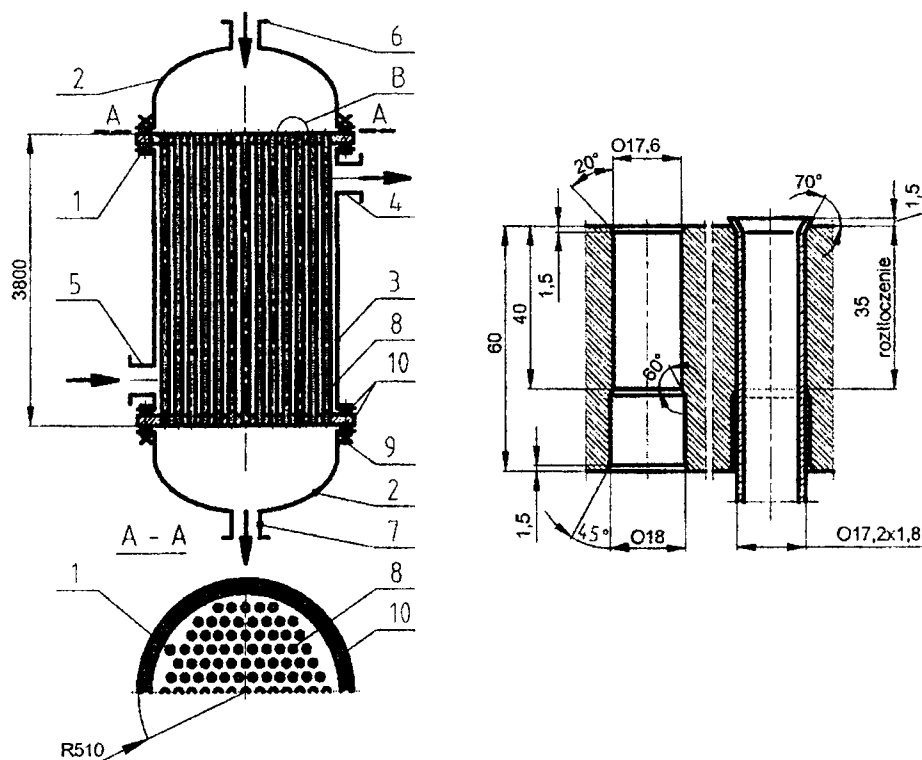
Wiadomo, że objętość materiałów stosowanych w konstrukcji wymienników ciepła zwiększa się przy wzroście temperatury (wymiary płaszcza, płyt sitowych, itd. ulegają zmianie). Są to tak zwane dylatacje cieplne. Nierównomierność temperatur, właściwa każdemu wymiennikowi ciepła powoduje, że rurki wydłużają się inaczej niż płaszczyz, płyta sitowa zmienia swoją średnicę inaczej niż ściana zewnętrzna itd.. Powstające różnice poszczególnych wydłużeń powodują nieraz bardzo poważne naprężenia, mogące doprowadzić do trwałych deformacji materiału, utraty stateczności, a nawet do zerwania.

Płaszcz, rurki wkładu grzewczego z płytą sitową są miejscem wymagającym pod tym względem najwięcej ostrożności. Płaszcz osiąga temperaturę bliską temperatury czynnika, który się z nim styka, rurki zaś mają temperaturę pośrednią między temperaturami obu czynników. Pociąga to za sobą dużą różnicę wydłużeń cieplnych i mogą one być przyczyną dużych naprężeń w materiale rurek, płaszcza i płyty perforowanej.

3. OBLICZENIA METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

3.1. MODEL OBLICZENIOWY

Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla jednobiegowego wymiennika ciepła rys. 1., którego model opracowano na podstawie dokumentacji technicznej podgrzewacza wody zdekarbonizowanej Py-100-020 [8].



Rys. 1. Schemat wymiennika ciepła

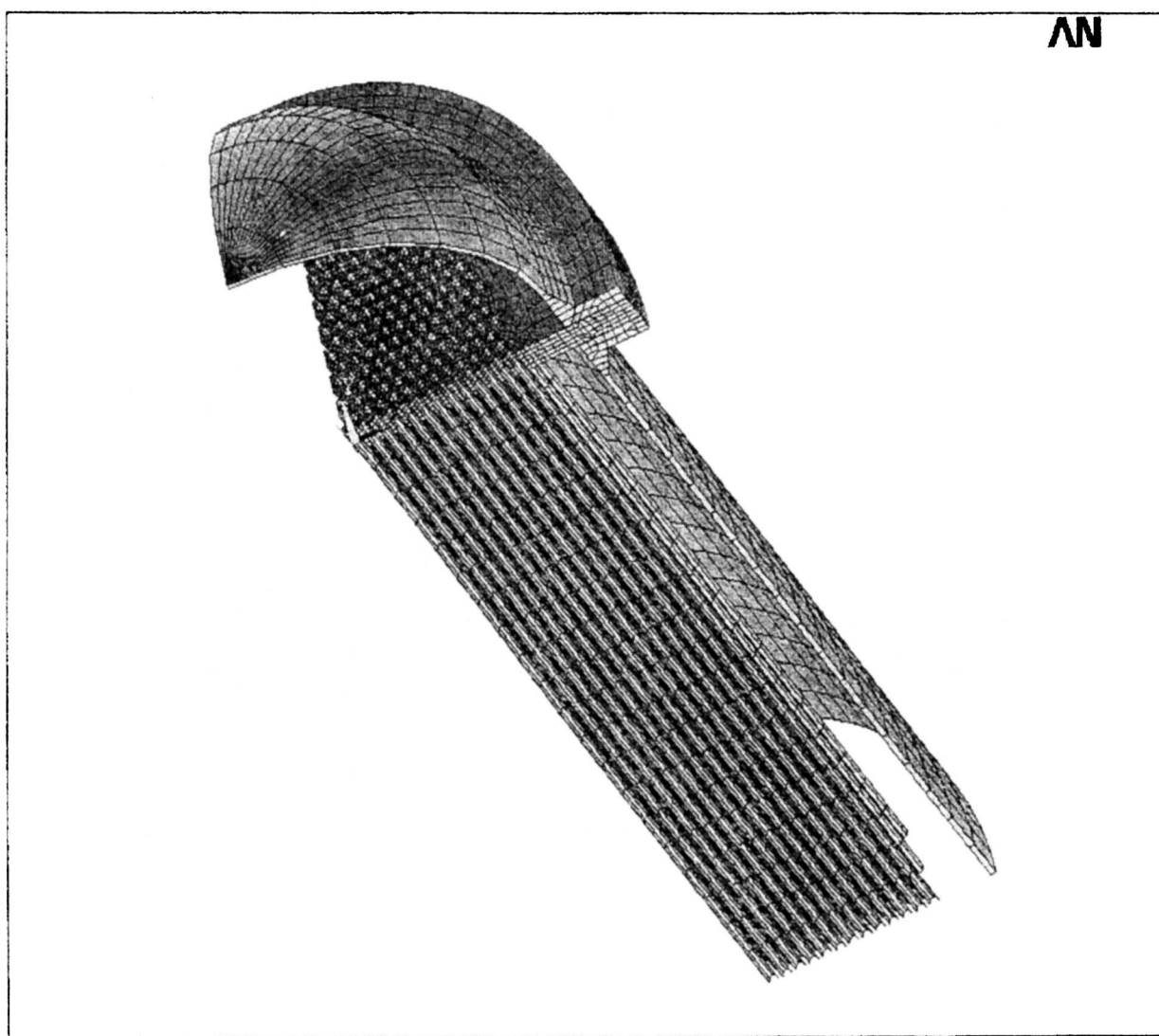
Zasadniczymi elementami wymiennika ciepła są:

- ściany sitowe 1,
- dennice 2,
- płaszcz 3,
- rury wkładu grzewczego 8,
- uszczelki wkładu grzewczego 10.

Ściany sitowe są mocowane do płaszcza i dennic za pomocą śrub łącznych 9. Króćce 6 i 7 doprowadzają i odprowadzają wodę, a króćce 4 i 5 doprowadzają parę. Szczegół „B” pokazuje wymiary otworu w dnie sitowym przed rozwałcowaniem oraz wygląd połączenia rurka – dno sitowe po rozwałczeniu.

3.2. MODEL NUMERYCZNY

Do obliczeń numerycznych zastosowano metodę elementów skończonych stosując konwencjonalne założenia. Wykorzystując warunki symetrii do obliczeń opracowano przedstawiony na rys. 2. model stanowiący 1/8 część wymiennika ciepła. Przyjęto nieliniowy model materiału z liniowym wzmocnieniem. Model ten podzielono na 39243 8-węzłowych elementów typu SOLID45.



Rys. 2. Model numeryczny

- Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono dla dwóch grubości płyty:
1. zgodnie z dokumentacją 60mm,
 2. grubość płyty zmniejszono w stosunku 1:2.
- Obliczenia przeprowadzono dla przypadku awarii i miały one na celu wyznaczenie odkształceń występujących w rurkach , dnach sitowych oraz w płaszczu. Przypadek awaryjny występuje kiedy dopływ i odpływ wody jest zamknięty, natomiast para grzejna w dalszym ciągu zasila wymiennik.

Tabela 1. Własności materiałów przyjęte do obliczeń MES.

	R _e [MPa]	E [MPa]	ν [-]	Wsp. umocnienia
Dennica St36K PN-75/H-92123	196	2·10 ⁵	0,3	0,99
Płaszcz St36K PN-75/H-92123	196	2·10 ⁵	0,3	0,99
Dno sitowe St41K PN-75/H-92123	255	2·10 ⁵	0,3	0,99
Rurki wymiennika I-K10 PN-74/H-74252	235	2·10 ⁵	0,3	0,99
Uszczelka polonit 300 PN-79/M-11022.02	---	0,03·10 ⁵	0,4	---

Nacisk na uszczelkę obliczono na podstawie podanej w dokumentacji technicznej wymiennika ciepła wymaganej wartości napięcia wstępnego śrub połączenia dennica-uszczelka-dno sitowe-uszczelka- płaszcz.

Tabela 2. Wartości obciążeń wynikających z montażu.

Nacisk na uszczelkę	7,1 MPa
Ciśnienie roztłoczenia rurka-dno sitowe	176 MPa

Tabela 3. Awaryjne warunki pracy wymiennika ciepła.

Parametry	Komora wodna	Komora parowa
Ciśnienie	-	p ₀ =1,17 MPa
Temperatura	-	T ₀ =523 K

Tabela 4. Własności współczynników wymiany ciepła

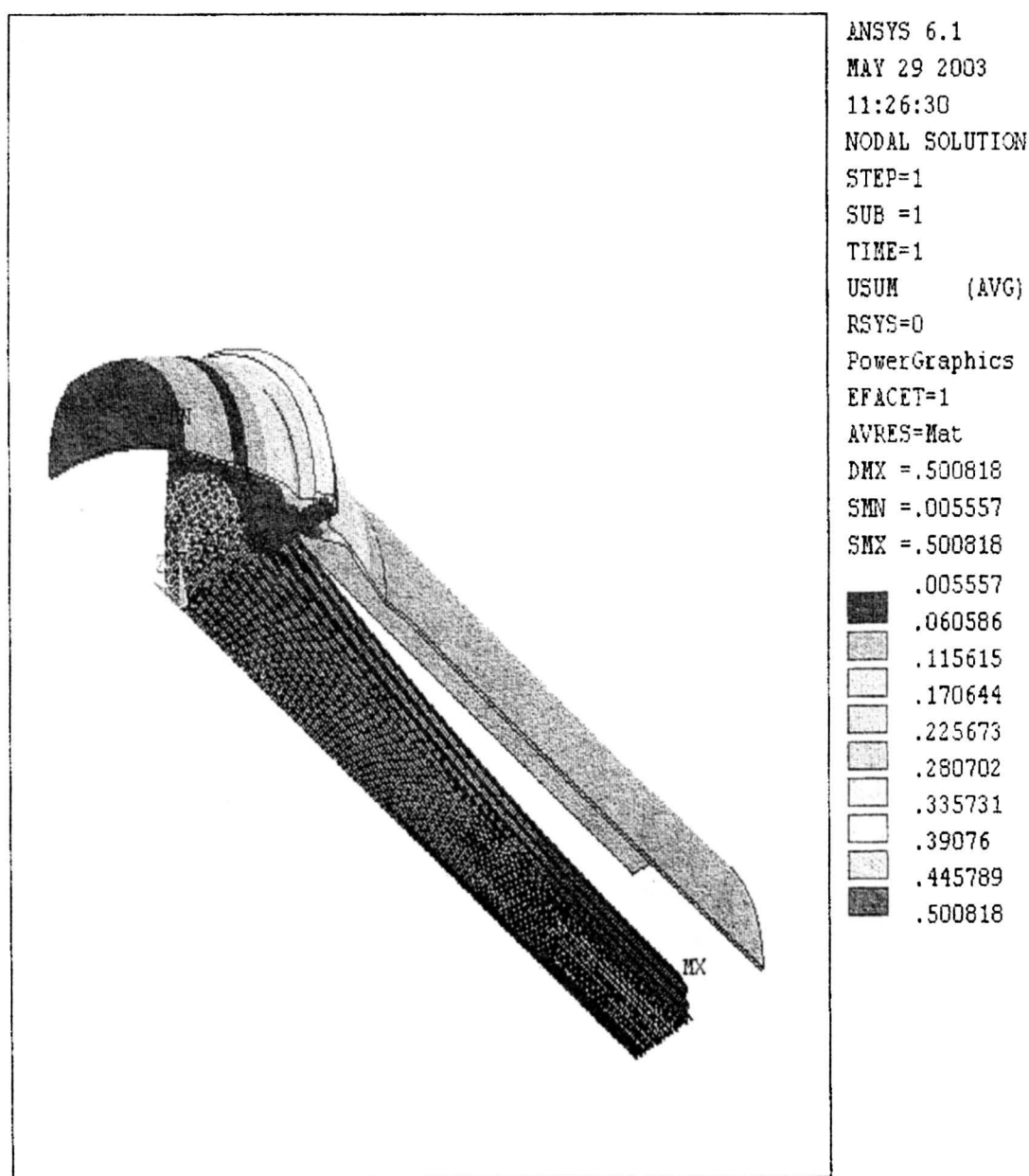
Współczynnik wnikania para-ciecz	α _w =17 W/m ² K
Współczynnik wnikania cieczy	α _w =29 W/m ² K
Współczynnik przewodzenia ciepła przez rury	λ =49 W/mK
Współczynnik przewodzenia ciepła przez dno	λ =47 W/mK
Współczynnik wnikania powietrza	α _w =30 W/m ² K

4. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

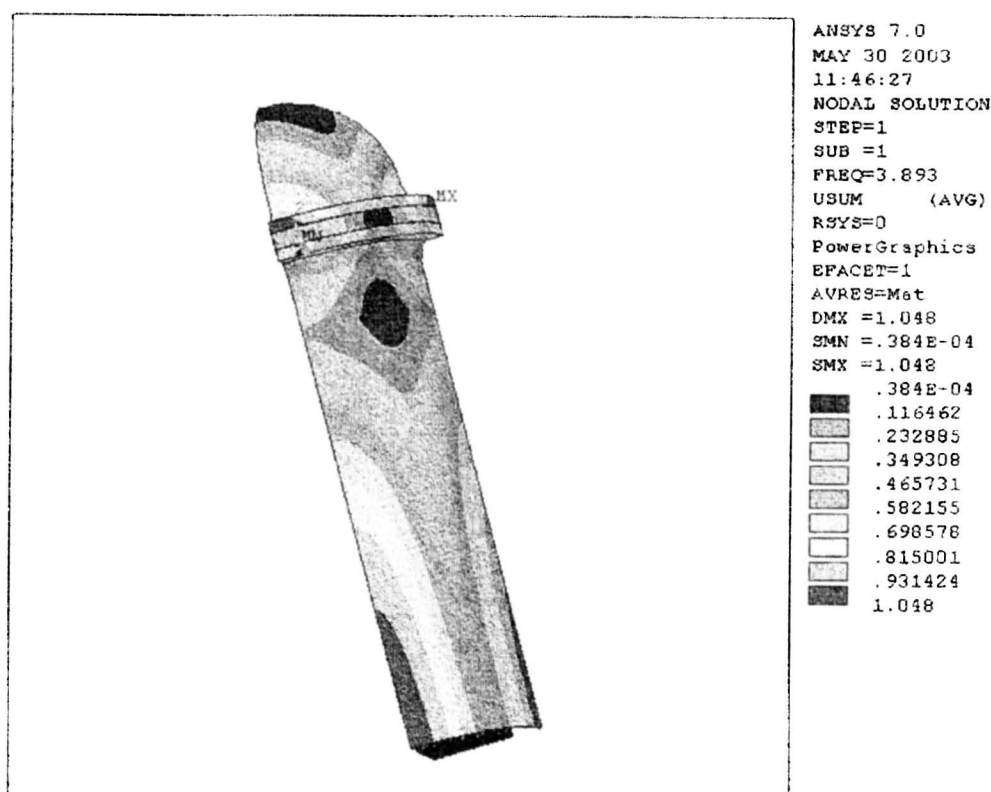
Dla obu przypadków otrzymano rozkłady odkształceń wymiennika ciepła oraz postacie stateczności odpowiadające obciążeniu krytycznemu. Wyniki obliczeń numerycznych dla przypadku pierwszego przedstawia rys. 3 i rys. 4 oraz dla drugiego przypadku rys. 5. i rys. 6.

Na rysunku 3 pokazano odkształcenia wymiennika ciepła w stanie awarii dla grubości dna sitowego wynoszącego 60 mm. Rurki wymiennika ciepła "zapadają" się do środka zbiornika.

Na rysunku 4 przedstawiono pierwszą postać wyboczenia odpowiadającą czterokrotnie większemu obciążeniu niż w momencie awarii dla grubości dna sitowego wynoszącego 60 mm. Dla tych wymiarów płyty wyboczeniu ulega płaszcz wymiennika ciepła.

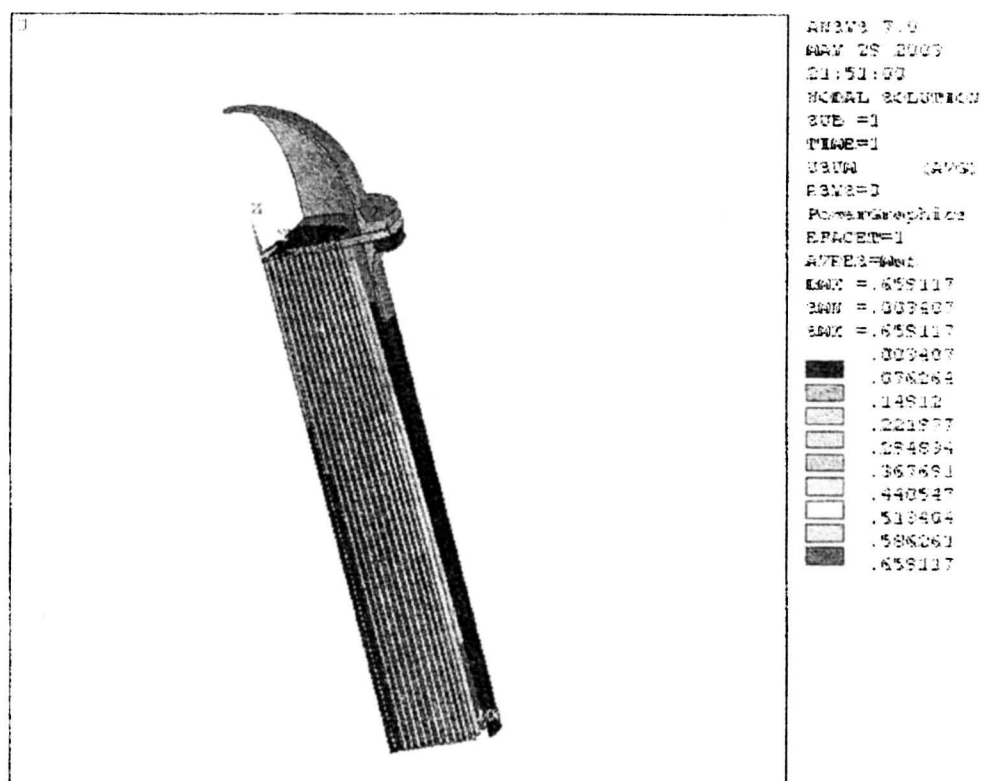


Rys. 3. Całkowite odkształcenia wymiennika ciepła [mm] (przypadek nr 1).



Rys. 4. Postać wyboczenia odpowiadająca najniższemu obciążeniu krytycznemu.

Na rysunku 5 pokazano odkształcenia wymiennika ciepła w stanie awarii dla grubości dna sitowego wynoszącego 30 mm. Rurki wymiennika ciepła odkształcają się w kierunku płaszcza zbiornika.



Rys. 5. Całkowite odkształcenie wymiennika ciepła [mm] (przypadek nr 2).



```

ANSYS 7.0
NEW 29 2005
10:45:52
LOCAL SOLUTION
STEP=1
SUB= 1
PRER=1.317
USUR  (AUX)
PRER=0
PowerGraphics
EPACED=1
AVPR=1mm
LWK =1
SWR =.141E-06
SWR =1
.141E-06
.1011111
.2222222
.3333333
.4444444
.5555555
.6666667
.7777778
.8888889
1

```

5. WYNIOSKI

W przypadku zmniejszenia grubości płyty dna sitowego o połowę zapas obciążenia krytycznego wynosi około 30%, przy czym wyboczeniu w przypadku obciążenia krytycznego ulega rurka najbardziej bliska osi symetrii zbiornika. Pozostałe elementy zbiornika mają czterokrotny zapas w stosunku do obciążenia krytycznego.

- [1] Chudzik A.A., Analiza stanu naprężeń w perforowanych płytach wymienników ciepła z uwzględnieniem stref sprężysto – plastycznych, Praca doktorska, Politechnika Łódzka, 2002.
- [2] Dokumentacja koncesyjna podgrzewacza wody zdekarbonizowanej Py-100-020.

- [3] Niezgodziński T., Chudzik A., Badania płyt perforowanych z wtłoczonymi rurkami, Materiały Konferencyjne XIX Sympozjum Mechaniki Ciała Stałego, Jachranka 2000.
- [4] Hobler. T., Ruch ciepła i wymienniki, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.
- [5] Niezgodziński M.E., Obliczenia den w zbiornikach ciśnieniowych, Przegląd Mechaniczny, Warszawa nr 18, 1977.
- [6] Niezgodziński M. E., Obliczenia naczyń ciśnieniowych w świetle teorii sprężystości, Przegląd Mechaniczny, nr 17, 1972.
- [7] Niezgodziński M. E., Obliczenie den sitowych zbiorników ciśnieniowych, Przegląd Mechaniczny, nr 3, 1973.
- [8] Niezgodziński M. E., Zwoliński W., Obliczenie den sitowych usztywnionych przez płaszczyznę zbiornika, Przegląd Mechaniczny nr 8, 1973.
- [9] Niezgodziński M. E., Niezgodziński T., Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe, PWN, Warszawa, 1996.
- [10] User's Guide ANSYS 6.1, Ansys, Inc., Houston, USA.

EFFECT OF CHANGES IN THE THICKNESS OF A PERFORATED PLATE OF THE HEAT EXCHANGER ON ITS STRUCTURAL STABILITY

One of most important elements of heat exchangers are perforated bottoms - perforated plates of significant thickness, in which heating cartridge pipes are mounted. For the designers of heat exchangers, the strength analysis of the connection, which allows for the determination of the state of stress and the calculation of displacements of the perforated bottom after fixing pipes in it, is of special importance. It results from the computations carried out that maximum reduced stresses in the perforated bottom are significantly lower than the values of admissible stresses. In this paper, the computations of stresses and strains for various thicknesses of the perforated bottom have been presented. As a result of a decrease in the thickness of the perforated bottom, its deflection increases and thus the heating system pipes are more exposed to strains and losses of stability.