



8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECANICA

Cusco, 23 a 25 de Outubro de 2007

ANÁLISE ESTRUTURAL DA PLACA MATRIZ SUPORTE DO NÚCLEO DO REATOR NUCLEAR DE PESQUISA IEA-R1

Miranda, C. A. J. *, Fainer, G. †, Mattar Neto, M. °

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes, 2242 (São Paulo, SP, Brasil)
e-mail: *cmiranda@ipen.br; †gfainer@ipen.br; °mmattar@ipen.br

RESUMO

Nos últimos anos o reator nuclear de pesquisa IEA-R1, tipo piscina, vem sofrendo uma série de intervenções para modernizá-lo e torná-lo apto para gerar uma potência de 5 MW de forma contínua visando de aumentar a produção de alguns radioisótopos. Dentro das atividades de pesquisa desenvolvidas no reator e do seu uso para irradiação se prevê a necessidade de se apoiar, na placa matriz suporte do núcleo do reator, algumas cargas que são substancialmente maiores do que as usuais, isto é, os elementos combustíveis e dos elementos de controle. Esta placa é feita de uma liga de alumínio e contém diversos furos passantes, com dois diâmetros básicos, que auxiliam no apoio e fixação dos elementos combustíveis e é suportada, por sua vez, por um conjunto de parafusos, também de alumínio, fixados em quatro perfis verticais de seção em L. Para confirmar a viabilidade do uso destas cargas adicionais sem comprometimento estrutural do suporte do núcleo foi realizada uma análise de tensões na placa matriz. Como não é possível, na análise, aplicar o Apêndice A-8000 da norma ASME devido à sua suportação, geometria retangular, furos de diâmetros diversos em um arranjo quadrado, utilizou-se um modelo detalhado de elementos finitos 3D da placa inteira, onde as cargas e as condições de contorno foram aplicadas de forma conservadora. Análise semelhante também foi realizada com um modelo de elementos de casca. As propriedades do material foram obtidas da literatura bem como os seus valores admissíveis. Ambos os modelos confirmam, com resultados que aderem muito bem entre si, que o nível máximo de tensão atuante com as novas cargas está substancialmente abaixo do limite admissível conservadoramente adotado para o material da placa.

Palavras-chave: Análise estrutural, Placa perfurada, Alumínio, Reator de pesquisa.

INTRODUÇÃO

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN – CNEN/SP, no qual funciona o reator nuclear de pesquisa IEA-R1, tipo piscina, moderado e refrigerado a água leve, utilizando grafita como refletor, construído em 1956, além de pesquisas na área nuclear em geral, também é um grande produtor de radioisótopos para diversas aplicações dentre as quais despontam aqueles medicinais (radiofármacos), industriais e para a agricultura. Vários radioisótopos são produzidos no reator nuclear IEA-R1. Este, nos últimos anos, vem sofrendo uma série de intervenções para modernizá-lo e torná-lo apto para gerar uma potência térmica de 5 MW de forma contínua como forma de aumentar a produção de alguns radioisótopos. Dentre as intervenções citam-se, entre outras, a modernização da sala de controle e a substituição do trocador de calor do circuito primário de resfriamento do reator IEA-R1. Uma melhor e mais detalhada descrição pode ser obtida em [1] de onde foram obtidas as figuras 1 e 2.

Dentro das atividades de pesquisa desenvolvidas no reator e do seu uso para irradiação se prevê a necessidade de se apoiar, na placa matriz suporte do núcleo do reator, algumas cargas que são substancialmente maiores do que as usuais, isto é, os pesos dos elementos combustíveis e dos elementos de controle. Esta placa é feita de uma liga de alumínio e contém diversos furos passantes, com dois diâmetros básicos, que auxiliam no apoio e fixação dos elementos combustíveis e é suportada, por sua vez, por um conjunto de parafusos, também de alumínio, fixados em quatro perfis verticais de seção em L.

PLACA MATRIZ DO REATOR IEA-R1

Descrição

A piscina onde fica imerso o reator IEA-R1 tem cerca de 9 m de profundidade e contém cerca de 300 m³ de água desmineralizada. O núcleo do reator está situado a cerca de 7 m da superfície da piscina, os elementos combustíveis são do tipo placa, havendo elementos de controle, refletores e posições para irradiação de amostras. A figura 1 ilustra a piscina do reator com seus dois compartimentos e a treliça de sustentação do núcleo. Os elementos são apoiados (encaixados verticalmente) em uma placa matriz retangular de alumínio que é, por sua vez, sustentada por uma treliça conectada a uma plataforma móvel que permite o seu deslocamento ao longo da piscina.



Figura 1. Piscina do reator IEA-R1 com seus dois compartimentos e a treliça de sustentação do núcleo [1]

Na figura 2 se visualiza a placa matriz de sustentação do núcleo do reator com os elementos combustíveis vistos de topo (retangulares) e algumas posições livres (furos circulares). Também é visível um dos perfis verticais de seção em L que sustenta a placa matriz através de parafusos além de tubos sem finalidade estrutural (de instrumentação, por exemplo).

Geometria

A figura 3 apresenta detalhes da geometria retangular da placa matriz de suporte do núcleo do reator juntamente com os perfis que a sustentam e a disposição dos parafusos que conectam os perfis à placa e, marcadas em cores, as posições com cargas maiores. Esta placa é retangular e tem as seguintes dimensões: 830,3 mm, 641,4 mm com 127,0 mm de espessura. Há 80 furos de 61,9 mm de diâmetro e 63 furos de 22,2 mm de diâmetro com espaçamento de 81,0 mm e 77,1 mm, respectivamente nas direções X e Y que servem, basicamente, para apoiar os elementos

combustíveis do reator, elementos de controle, refletores, etc. Adicionalmente há pinos para ajustar a posição e ajudar na fixação dos elementos e chanfros para permitir uma melhor inserção dos elementos.

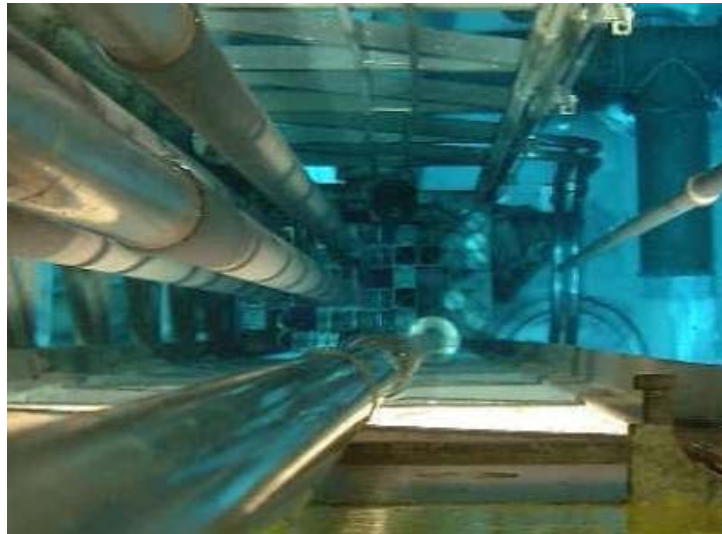


Figura 2. Núcleo do reator IEA-R1 vislumbrando-se a geometria retangular da sua placa matriz e a treliça de sustentação do núcleo com perfil em L [1]

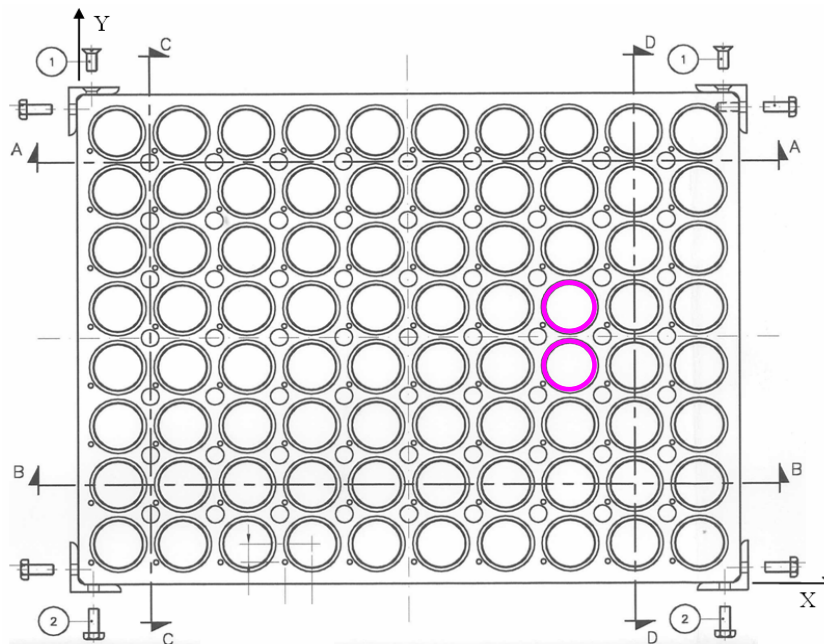


Figura 3. Geometria da placa matriz de suporte do núcleo do reator IEA-R1 [2]

Materiais – Propriedades e limites admissíveis

O relatório na ref. [3] lista as partes estruturais e os respectivos materiais que compõe a estrutura de suportaço do núcleo do reator IEA-R1. Os valores das propriedades dos materiais foram obtidos de [4] e, para o alumínio da placa e dos parafusos foram adotadas as seguintes propriedades: módulo de elasticidade, $E = 73 \text{ GPa}$, coeficiente de Poisson, $\nu = 0.34$, limite de escoamento, $\sigma_{ys} = 25 \text{ MPa}$ e densidade, $\rho = 2800 \text{ Kg/m}^3$. Considerando um coeficiente de segurança $CS = 1,5$ em relação ao limite de escoamento, a tensão máxima admissível de membrana é $S_m = 16,7 \text{ MPa}$ e a de membrana + flexão é $S_m + S_b = 25 \text{ MPa}$. Entende-se que as propriedades bem com os limites adotados sejam conservadores para o tipo de análise e verificação, objetos deste trabalho.

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

Nas modelagens e nas análises foi utilizado o programa ANSYS versão 10.0 [5]. Apesar de haver, simultaneamente, simetria de geometria e de carregamento em relação a um eixo paralelo ao eixo X, decidiu-se por desenvolver modelos completos da placa. Os parafusos de fixação da placa ao perfil em L não foram modelados. Inicialmente foi desenvolvido um modelo de elementos finitos de casca moderadamente espessa com mais de 9600 elementos e quase 12000 nós, que pode ser visualizado parcialmente nas figuras 4, 6 e 7. Como a relação entre as dimensões planas da placa e a sua espessura varia entre cerca de 5,0 e 6,5 decidiu-se, também, por fazer um modelo com elementos 3-D, com várias camadas de elementos na espessura da placa, onde os chanfros não foram modelados, apresentado parcialmente na figura 5. Detalhes deste modelo e da análise 3-D são apresentados na ref. [6].

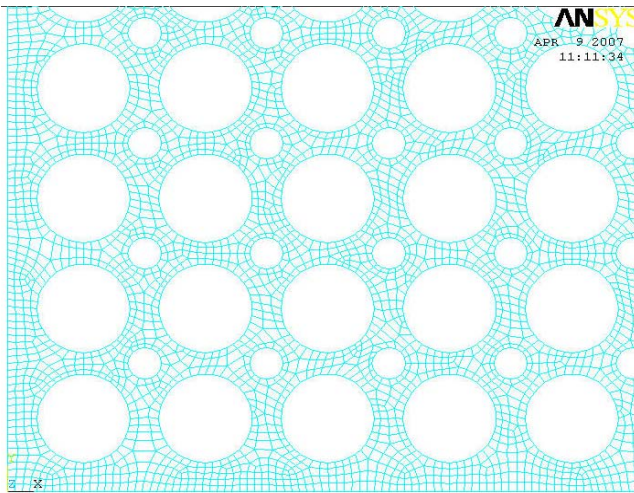


Figura 4. Parte do modelo de elementos de casca

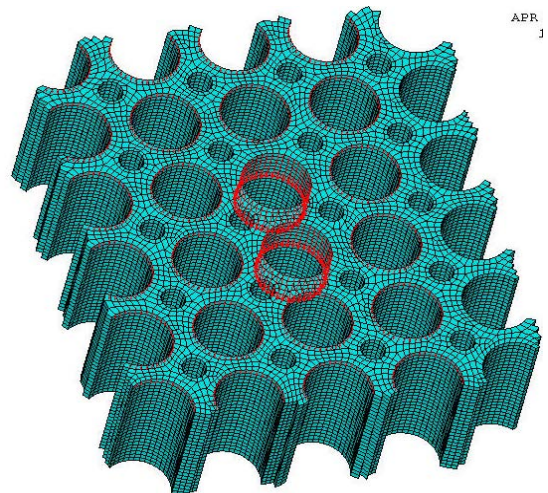


Figura 5. Parte do modelo de elementos 3-D

Carregamento

Há, basicamente, um único tipo de carga: aquela devida ao peso da própria placa e dos elementos combustíveis, elementos de controle, refletores, etc., conservadoramente considerados como 100 N por elemento. No primeiro caso foram aplicadas forças nos nós do bordo de cada furo em que há um elemento e no segundo caso foi definida uma aceleração da gravidade, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ sendo desprezado o empuxo da água. Há duas posições onde são previstas cargas maiores (cerca de 700 N) que representam os pesos de partes apoiadas na placa matriz. Estas cargas também são aplicadas como forças nos nós do bordo dos respectivos furos. A figura 6 apresenta a parte do modelo onde estão as cargas de 700 N.

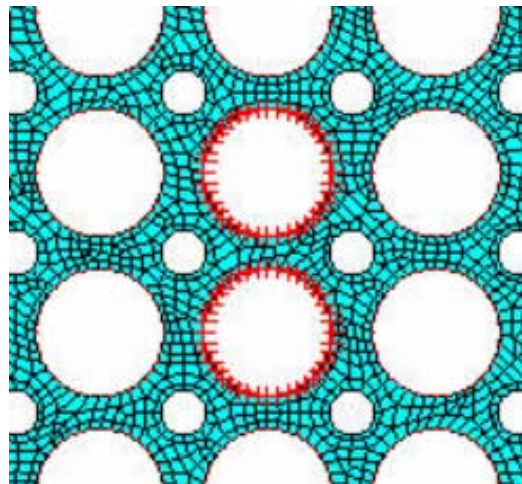


Figura 6. Cargas aplicadas (modelo de casca) na região dos furos que têm as cargas maiores

No modelo 3-D as cargas são aplicadas de forma semelhante e podem ser parcialmente vistas na fig. 5.

Condições de contorno (Deslocamentos impedidos)

No modelo de elementos de casca, todos os nós das posições dos parafusos foram impedidos na direção Z (vertical). Os nós correspondentes aos parafusos em $X = 0$ foram impedidos na direção Y enquanto que os nós das posições dos parafusos em $Y = 0$ foram impedidos na direção X simulando-se, desta forma, no plano XY, a flexibilidade do perfil em L que serve de sustentação para o conjunto do núcleo do reator.

No modelo 3-D os deslocamentos impedidos são semelhantes, à diferença que foram identificados os nós ao longo da espessura da placa correspondentes às posições dos parafusos e só estes nós tiveram algum deslocamento impedido (como descrito acima).

Estas condições de contorno podem ser vislumbradas na figura 7 como símbolos nas proximidades dos cantos da placa.

ANÁLISES – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com cada modelo ‘de casca’ e ‘3-D’ foi feita uma análise linear elástica onde foram controlados: a deformação global da placa, a distribuição de tensões: (a) na espessura da placa, (b) nas superfícies inferior, superior e à meia altura da placa bem como (c) na região mais solicitada (junto às cargas de 700 N).

Resultados

Pelo efeito das cargas consideradas, a placa sofrerá um deslocamento vertical máximo de 0,04 mm próximo ao seu centro. A distribuição de tensões equivalentes ‘de Tresca’, ou ‘Stress Intensity’, SI, no modelo de casca que ocorrem na superfície inferior (BOT) dos elementos é apresentada na fig. 7 enquanto que as tensões SI que ocorrem na superfície média (MID) dos elementos é apresentada na fig. 8. Esta tensão equivalente é definida na ref. [7] como sendo a máxima diferença entre as tensões principais, σ_1 , σ_2 e σ_3 , Eq. (1) e é mais conservadora do que a tensão equivalente de von Mises.

$$SI = \max(|\sigma_1 - \sigma_2|, |\sigma_2 - \sigma_3|, |\sigma_1 - \sigma_3|) \quad (1)$$

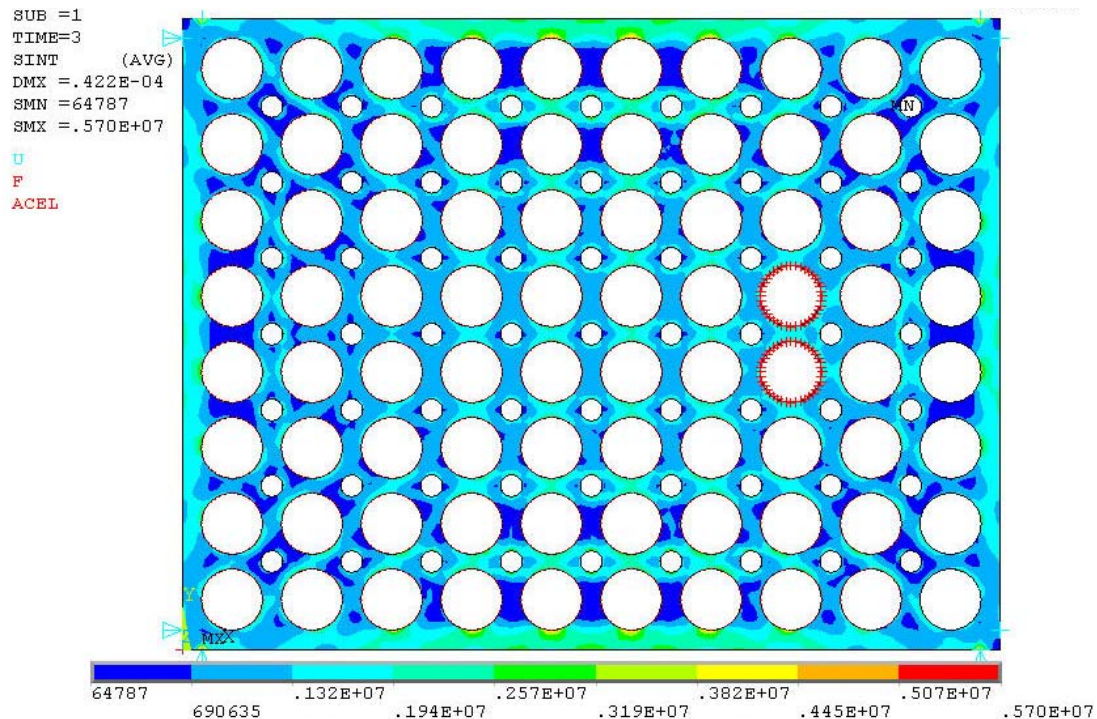


Figura 7. Distribuição de tensões SI na superfície inferior (BOT) dos elementos de casca (N/m²)

As tensões nas figuras 7 e 8 englobam todo o modelo e são mascaradas pelos valores relativamente altos das tensões localizadas nos pontos de conexão (apoio) com os parafusos. Selecionando, inicialmente, os elementos da região dos parafusos (MID) e, depois, da região central (tensões TOP = tensões BOT) onde são aplicadas as cargas maiores, percebe-se que as tensões na 'parte corrente' da placa são baixas (fig. 9a) e os maiores valores estão na região dos parafusos (fig. 9b).

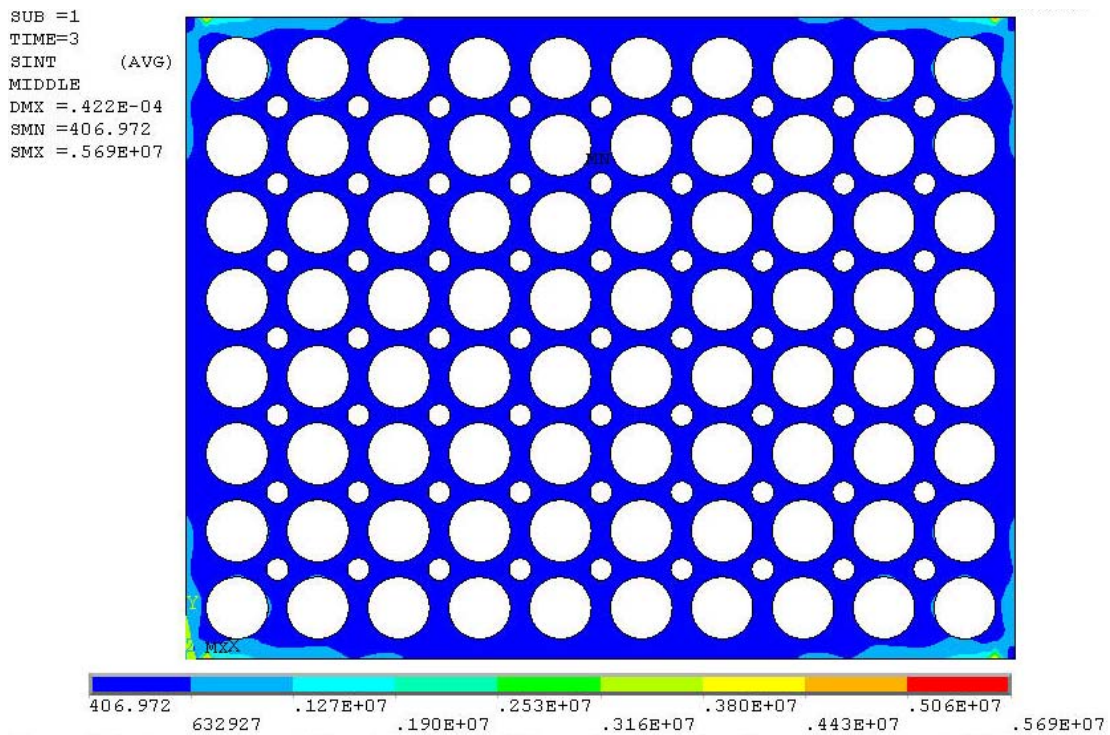


Figura 8. Distribuição de tensões SI na superfície média (MID) dos elementos de casca (N/m²)

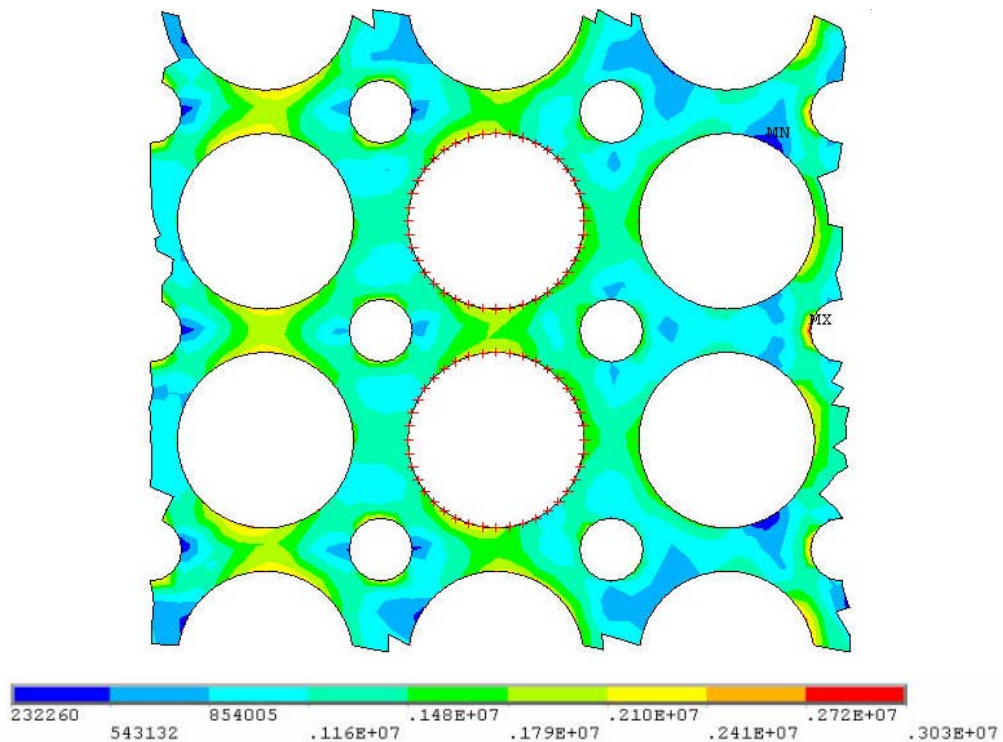


Figura 9.a. Distribuição de tensões SI (TOP) nos elementos de casca, onde são aplicadas as cargas maiores (N/m²)

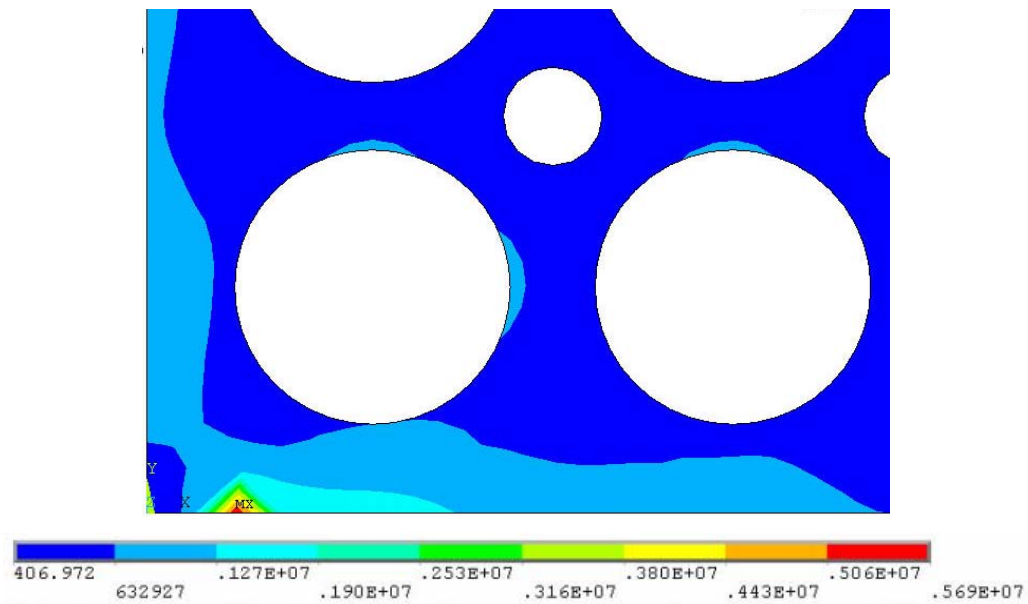


Figura 9.b. Distribuição de tensões SI (MID) nos elementos de casca, região dos parafusos (N/m²)

Discussão

Neste caso, em particular, não é possível aplicar o Apêndice A-8000 da norma ASME [8] devido aos seguintes motivos: (a) geometria retangular e (b) a suportaçoão por meio de parafusos nos cantos da placa, (c) furos de diâmetros diversos e (d) furos em um arranjo quadrado. O citado apêndice trata de placas furadas circulares que ocorrem tipicamente em espelhos de trocadores de calor e geradores de vapor conectados, portanto, a um cilindro na sua parte externa e com os furos de um mesmo tamanho dispostos em um arranjo triangular (que melhor se adapta e aproveita a geometria circular).

Além da óbvia diferença entre as modelagens com elementos de casca e com elementos sólidos, outra discrepância entre os modelos deve ser evidenciada, já que no modelo de casca as restrições (deslocamentos impedidos) se aplicam, implicitamente, ao plano médio da placa enquanto que há algumas posições da placa em que existem dois parafusos dispostos um acima do outro, na mesma vertical e que são ‘captadas’ no modelo 3-D. Portanto os modelos não são comparáveis nas regiões próximas aos parafusos.

As tensões na superfície superior dos elementos (não apresentadas) são muito próximas dos valores apresentados na figura 8 e as tensões na superfície média são praticamente nulas. Estes fatos mostram que, como esperado, predomina o estado de flexão pura na placa matriz sob análise.

Apesar das diferenças óbvias das abordagens com elementos de casca e com elementos sólidos, os resultados obtidos nas regiões afastadas dos pontos de apoio são comparáveis e concordam muito bem entre si e valem cerca de 3,0 MPa. Na região dos apoios, onde ocorrem as tensões máximas, o seu valor pontual é da ordem de 5,7 MPa devido às condições de apoio (parafusos).

Rigorosamente dever-se-ia trabalhar com as componentes de membrana e de membrana+flexão para fazer as verificações preconizadas em [7] onde cada limite está associado a um determinado modo de falha. Dado que o nível das tensões pontuais são inferiores aos limites é possível adotar tais valores pontuais nas verificações.

CONCLUSÃO

As análises mostraram que as tensões máximas pontuais, afastadas das regiões dos parafusos, são da ordem de 3,0 MPa e devem ser classificadas como membrana + flexão sendo, portanto, muito inferiores ao limite admissível correspondente (25 MPa). As tensões de membrana são praticamente nulas. Estas verificações por si só já deveriam ser consideradas conservadoras dadas as hipóteses, implícitas ou não, aplicadas às análises. Ainda que se trabalhe com os valores máximos absolutos pontuais das tensões, encontrados no modelo de casca, associados às posições dos parafusos, 5,7 MPa, tanto o limite das tensões de membrana quanto o limite das tensões de membrana+flexão seriam atendidos. A verificação dos parafusos feita na ref. [6], e não apresentada nesse trabalho, indica que esses componentes também atendem aos respectivos limites admissíveis.

REFERÊNCIAS

1. IPEN-CNEN/SP, Site do IPEN/CR, Centro do reator de pesquisa, Reator IEA-R1, <http://www.ipen.br/sitio/?idc=263>, acessado em 09 de abril de 2007.
2. IPEN-CNEN/SP, desenho CRO-0701/00.00-1-1, rev. 2, CNEN/SP, Placa Matriz – Núcleo do reator IEA-R1, 20/03/2007.
3. C. A. Oliveira, “Avaliação de Estrutura de Suporte do Núcleo do Reator IEA-R1”, PSI.REE.IEAR1.002-RELT.004.R00, Relatório Interno, IPEN-CNEN/SP, 1997.
4. ASTM B209M-06 *Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate*.
5. ANSYS versão 10.0, *ANSYS Structural Analysis Guide & Theory Reference Manual*.
6. G. Fainer e C. A. J. Miranda, “Verificação Estrutural da Placa Matriz do Reator IEA-R1 para Inclusão de Dois Elementos de Irradiação”, PSE.CENM.IEAR1.092.00 INFT.001.00, Relatório Interno, IPEN-CNEN/SP, 2007.
7. ASME *Boiler and Pressure Vessel Code, Section III: Rules for Construction of Nuclear Power Plant Components, Division 1, Subsection NG: Core Support Structures*, The American Society of Mechanical Engineers.
8. ASME, *Boiler and Pressure Vessel Code, Section III Rules for Construction of Nuclear Power Plant, Appendix A Stress Analysis Method, Article A-8000 Stresses in Perforated Flat Plates*, The American Society of Mechanical Engineers.

UNIDADES E NOMENCLATURA

CS	coeficiente de segurança (adimensional)
E	módulo de elasticidade (GPa, 10^9 N/m^2)
g	aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$)
S_m	tensão máxima admissível de membrana (MPa, 10^6 N/m^2)
S_b	tensão de flexão (MPa, 10^6 N/m^2)
$S_m + S_b$	tensão máxima admissível de membrana + flexão (MPa, 10^6 N/m^2)
SI	Intensidade de Tensão (<i>Stress Intensity</i>)
ν	coeficiente de Poisson (adimensional)
ρ	densidade (Kg/m^3)
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	tensões principais (MPa, 10^6 N/m^2)
σ_{ys}	tensão limite de escoamento (MPa, 10^6 N/m^2)
τ_{max}	tensão máxima de cisalhamento (MPa, 10^6 N/m^2)