

# Účinná zbraň pre posúdenie trhlín

**ROEZ Stress Analysis (ďalej RSA)** ako divízia skupiny ROEZ sa zaoberá pevnostnými, únavovými a seizmickými analýzami strojno-technologických zariadení podľa všetkých dostupných medzinárodných predpisov. Zriadenie tejto divízie vyplynulo zo stále sa zvyšujúcich požiadaviek zákazníkov na rozsah a zabezpečenie výpočtovej a analytickej preukaznej dokumentácie, zariadení vo väzbe na zvyšujúce sa požiadavky na prevádzkovú spoľahlivosť a jadrovú bezpečnosť. Ďalším dôvodom je stúpajúci trend úspory nákladov a zvyšovania efektívnosti realizovaných úprav a zmien na prevádzkovaných zariadeniach formou optimalizácie technických riešení na základe preukazných výpočtov a analýz. Dôležitou metodikou v oblasti výpočtov tlakových zariadení je metodika konečných prvkov (MKP). Umožňuje detailné posúdenie technologických zariadení, presné stanovenie životnosti, únavového zaťaženia, zostatkovej životnosti a pôsobenie seizmického budenia na danú konštrukciu. Divízia a jej pracovníci si získali reputáciu v rámci projektu dostavby Jadrovej elektrárne Mochovce 3 a 4 kvalitou spracovanej preukaznej dokumentácie pre zariadenia dodávané skupinou ROEZ a zariadenia iných výrobcov pre tento projekt Návrhové a kontrolné výpočty nádob, ventilov a armatúr pre M034). Zriadením divízie je skupina ROEZ pripravená poskytnúť komplexnejšie riešenie potrieb pri rozhodovaní v smerovaní v oblasti zvyšovania spoľahlivosti, bezpečnosti a hodnotenia životnosti strojnotechnologických komponentov a zariadení. Ako predchádzať vzniku týchto materiálových nedokonalostí je nad rámec tohto článku (*pozn. redakcie: tomuto tématu sa budeme venovať v niektorém z ďalších čísel časopisu All for Power*). Cieľom článku je prezentovať metodiku, akou postupujeme pri posúdení prípustnosti trhlín v rámci divízie RSA.

## Riešenie trhlín

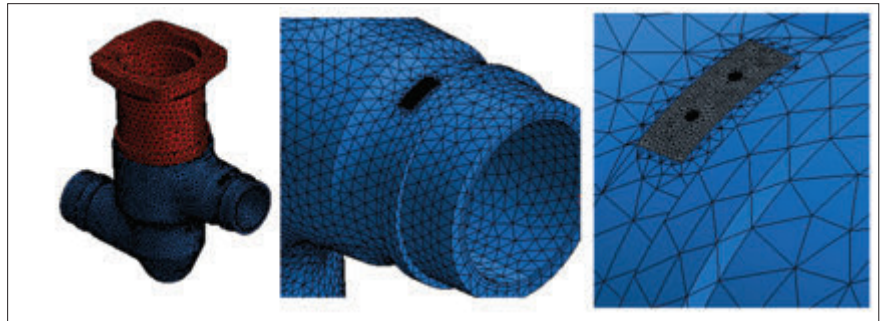
Klasické spôsoby dimenzovania strojno-technologických častí sú založené na porovnávaní napätí v kritických miestach s určitými pravidlami. Vo väčšine prípadov tieto výpočty vyhovovali, nie však vždy. Pri zisťovaní príčin havárií mnohých konštrukcií navrhnutých v súlade s platnými normami a predpismi bolo často zistené, že príčinou poruchy boli trhliny v materiáloch. Prejavil sa tak základný nedostatok klasických pevnostných výpočtov – predstava o materiály ako o homogénnom kontinuu [1].

Trhliny sa iniciujú zvyčajne z chýb metalurgického alebo technologického pôvodu, ďalej z konštrukčných alebo technologických vrubov. Šírka sa kolmo na smer hlavných napätí. Detailnému posúdeniu trhlín sa venuje viacero zahraničných noriem, napríklad Britská BS7910:2005 [3] alebo Americká API579-1/ASME FFS1 [4]. Z napätosti konštrukcie sa vzorcami z noriem určí súčiniteľ intenzity napätí KI, KII, KIII a na základe týchto súčiniteľov, materiálu, teploty a iné sa posudzuje možnosť prevádzkovania zariadenia aj s trhlinou. Problémom je zistiť presný súčiniteľ intenzity napätia pri zložitých konštrukciách, pri priestorových trhlinách, pri trhlinách, kde je problematické určiť smer hlavných napätí, alebo ak podobný tvar konštrukcie a orientáciu trhliny je nemožné v norme, resp. príručke nájsť.

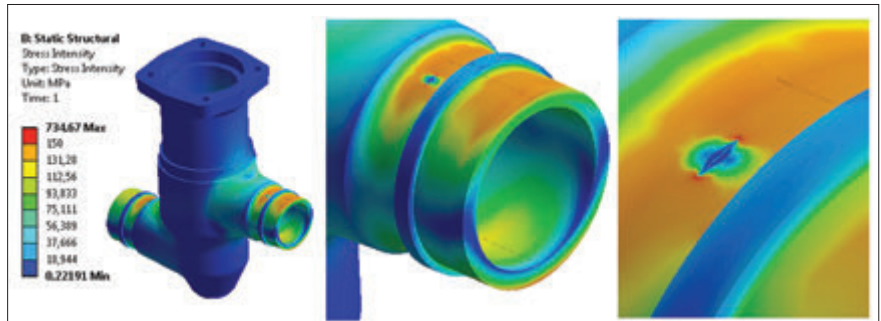
Pri pevnostných výpočtoch používame program ANSYS verzia 13 [2], program na výpočty pomocou metódy konečných prvkov (MKP), aj pre problematiku trhlín v konštrukcii. Nové softvérové možnosti umožňujú modelovať zistené trhliny do zložitých súčiastok (obr. 1). Na základe zadaného zaťaženia je možné vypočítať súčiniteľ intenzity napätia vo všetkých smeroch po celej dĺžke trhliny – potrebné koeficienty pre lineárne elastickú lomovú mechaniku.

Oveľa univerzálnejší je však výpočet pomocou J-integrálu, ktorého hodnoty ide použiť aj pre problematiku elastoplastickej lomovej mechaniky. J-integrál je krivkový integrál nezávislý na integračnej ceste a jeho hodnotu charakterizujú napätové pomery v blízkosti koreňa trhliny (kde je riešenie komplikované), zistené v oblastiach dostatočne vzdialených od koreňa trhliny [1].

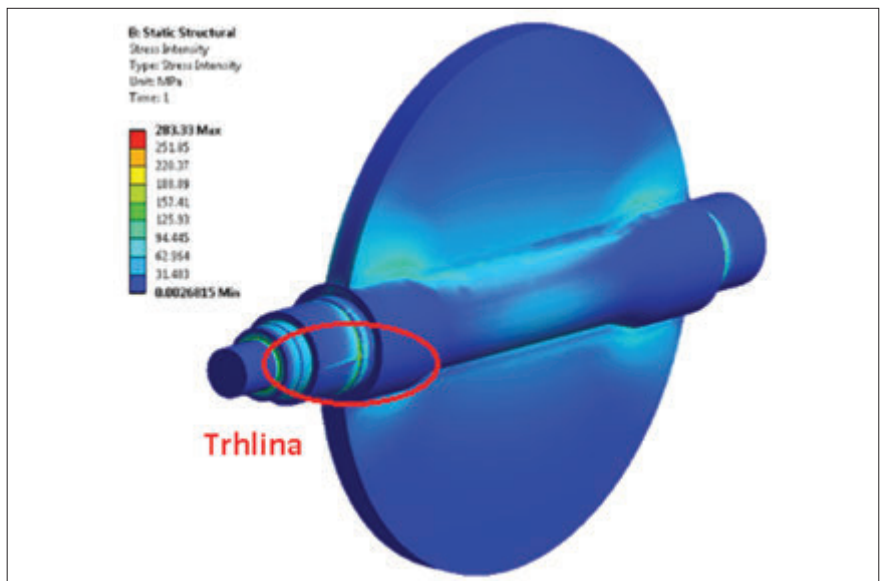
Vypočítaný faktor intenzity napätia, respektíve J-integrál sa porovnáva s kritickou hodnotou



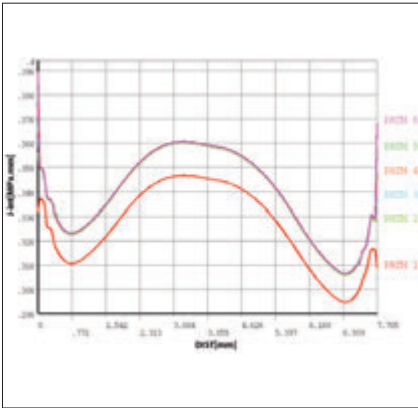
Obr. 1 – Namodelovanie trhliny do hrdla telesa ventilu – postupné približovanie k namodelovanej trhline v konštrukčne zložitej súčiastke (trhlina o rozmere  $a = 3\text{mm}$ ,  $c = 2\text{mm}$ )



Obr. 2 – Intenzita napätia v oblasti trhliny na hrdle telesa ventilu – postupné približovanie k trhline v konštrukčne zložitej súčiastke. Veľké napätia sú v oblasti koreňa trhliny (posledný obrázok sprava)



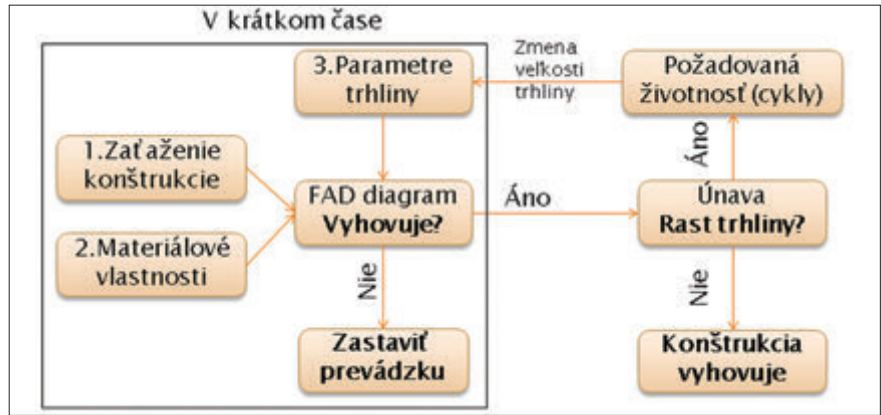
Obr. 5 – Trhlina pozdĺž čapu klapky (DN4500,  $m = 44\,000\text{ kg}$ )



Obr. 3 – Príklad výpočtu J-integrálu pozdĺž celej trhliny

v diagrame posúdenia trhlín (FAD diagram [3]), a na základe toho vieme rýchlo povedať, či trhlina vyhovuje alebo nie, predpovedať ďalšie šírenie trhliny, smer tohto šírenia a určiť zostatkovú životnosť konštrukcie v súlade s používanými normami (obr. 4).

Samozrejme bolo by veľmi neekonomické sa venovať trhlinám pri súčiastkach, kde je oveľa lacnejšia ich výmena. Avšak aplikácie v jadrovej i klasickej veľkej energetike prinášajú výzvy, kde bezpečnosť a spoľahlivosť sú nutnosťou a nie frázou a lacná a rýchla výmena stávajúceho zariadenia nie je možná (obr. 4). Preto môže byť lomová



Obr. 4 – Posúdenie trhliny v zmysle noriem [3] a [4] používané divíziou RSA

mechanika a detailný výpočet veľmi silným pomocníkom pri riešení problémov s trhlínami.

Táto nová softvérová technológia vymodelovanie trhliny a koncepcia J integrálu dáva výpočtárom nové, v minulosti nepredstaviteľné možnosti pre detailne posúdenie prípustnosti trhlín. Vďaka nej dokážeme dávať mnoho presnejšie výsledky. Nie je „všeliekom na problémy“ ale výrazným spôsobom prispieva k optimalizácii riešenia opráv v hesle „EFEKTÍVNE, BEZPEČNE A ÚSPORNE.“

#### LITERATURA:

[1] Vlk, M., Lomová mechanika, porušení tlakových

nádob a výpočet životnosti těles s defektem, SjF Bratislava, 1987

[2] www.ansys.com, ANSYS

[3] BS7910:2005, Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures, British Standard Institution, 2005

[4] API Standard 579-1/ASME FFS-1, Fitness-For-Service, Second Edition, 2007

Ing. Igor Istenes,  
Ing. Ondrej Zsemlye,  
ROEZ, s.r.o., (divízia RSA),  
www.rsa.roez.sk

#### An effective weapon for evaluating cracks

ROEZ Stress Analysis (hereinafter referred to as RSA) as a division of the ROEZ group, deals with strength modifications and seismic analyses of machine-technological equipment in accordance with all available international regulations. The establishment of this division resulted from the permanently increasing requirements of clients for the scope and ensuring the calculation and analytic demonstration documentation of equipment in relation to the increasing requirements for operating reliability and nuclear safety. An additional reason is the increasing trends for saving costs and increasing the efficiency of the implemented modifications and changes to operated equipment by modernising technical solutions using calculations and analysis. A key methodology used in pressure equipment calculations is the finite element method (MKP). This enables a detailed evaluation of technological equipment, exact stating of the service life, fatigue loading, residual service life and affection of the seismic influence on the stated construction. The division and employees gained their reputation within the project for the completion of Mochovce nuclear power plant, 3rd and 4th units due to the quality of the processed demonstration documentation for equipment delivered by the ROEZ Group and equipment from other producers for the project: Design and control calculations of vessels, valves and fittings for MO34. The ROEZ Group can provide the most comprehensive solution to any demands during decision-making for increasing reliability, safety and evaluating the service life of machine-technological components and equipment. How to prevent the origination of these material problems is outside the scope of this article (Note for editorial staff: we will deal with this project in another issue of the All for Power magazine). The objective of the article is to present the methodology used when evaluating the acceptability of cracks within the RSA Division.

#### Эффективный способ для определения трещин

ROEZ Stress Analysis (далее RSA), как отдел группы «ROEZ» занимается прочностью, усталостью и сейсмическими анализами машинно-технологического оборудования в соответствии со всеми доступными международными нормативами. Организация этого отдела была необходима в связи с постоянно повышающимися требованиями заказчиков на объём и обеспечение вычислительной и аналитической документации, связанной с надёжностью и ядерной безопасностью объектов. Следующим доводом был всё более популярный тренд экономии затрат и повышения эффективности реализованных изменений эксплуатируемого оборудования при помощи оптимизации технических решений на основе расчётов и анализа. Важной методикой в области расчётов напорного оборудования является методика конечных элементов (МКР). Она даёт возможность детально проанализировать технологическое оборудование, точно установить сроки эксплуатации, усталость материалов, остаточную пригодность и влияние сейсмической активности на данную конструкцию. Сотрудники отдела получили хорошую репутацию при работе над проектом достройки 3 и 4 блоков АЭС Моховце. Качественно выполненная проектная документация для оборудования, поставяемого группой «ROEZ» и оборудования иных производителей, предлагаемые и контрольные расчёты камер, вентилей и арматур для MO34 получили высокую оценку. Благодаря созданию этого отдела группа «ROEZ» способна предоставить более комплексное решение проблем для принятия решений в области повышения надёжности, безопасности и сроков эксплуатации машинно-технологических компонентов и оборудования. Как предотвратить возникновение этих недостатков - за пределами рассмотрения данной статьи. (Прим. редакции: этой теме будут посвящены статьи в дальнейших номерах журнала «All for Power»). Цель статьи – представить методику, которой мы придерживаемся при определении возможных трещин в рамках отдела RSA.