

ANALÝZA ÚČINKOV TEPLOTNEJ STRATIFIKÁCIE MONITOROVANEJ SYSTÉMOM MONEZ PRI HODNOTENÍ ŽIVOTNOSTI POTRUBNÝCH KOMPONENTOV PRIMÁRNEHO OKRUHU

ANALYSIS OF THERMAL STRATIFICATION EFFECTS MONITORED BY SYSTEM MONEZ IN LIFETIME EVALUATION OF PRIMARY CIRCUIT PIPING COMPONENTS

Ivan Lopoš, Milan Mikuš a Marián Krajčovič

VUJE Trnava, a.s., Okružná 5, 91864 Trnava, Slovenská Republika

Abstrakt

Obsahom príspevku je aplikovanie výsledkov meraní, získaných z nového monitorovacieho systému MONEZ, ako vstupných parametrov vo výpočtových analýzach namáhania a únavového poškodenia vybraných potrubných komponentov primárneho okruhu JE V2 (Jaslovské Bohunice). MONEZ poskytuje údaje o tepelnom zaťažení kontinuálnym monitorovaním vonkajších povrchových teplôt, z ktorých sú vybrané namerané priebehy teplôt reprezentujúce históriu prevádzky počas celej palivovej kampane spojenú aj s výskytom teplotnej stratifikácie. Prezentované výstupy z realizovaných analýz sú zamerané na vyrovnávacie potrubie systému kompenzácie objemu a nátrubok potrubia napájacej vody parogenerátora.

The article contains application of measurement results obtained from a new monitoring system MONEZ as input parameters in computational stress and fatigue damage analyzes of selected primary circuit piping components of V2 power plant (Jaslovské Bohunice). MONEZ providing thermal load data by continuous monitoring of external surface temperatures of which are selected measured time history of temperatures representing the history of operation during the entire fuel campaign also associated with the occurrence of thermal stratification. The presented outputs from the performed analyzes are focused on pressurizer surge line and feed water inlet nozzle of steam generator.

Monitorovací systém MONEZ

Tepelná únava je jedným z dominantných degradačných mechanizmov v potrubíach jadrovej elektrárne (JE), ktorý je potrebné sledovať a následne vyhodnotiť, pretože môže významne ovplyvniť bezpečnosť a spoľahlivosť JE. MONEZ (MOnitorovanie NEšpecifikovaných Zaťažení) umožňuje kontinuálne sledovanie tepelného únavového zaťaženia potrubných systémov primárneho okruhu (PO) JE V2 (Jaslovské Bohunice). Monitoruje rozloženie teplôt prostredníctvom termočlánkov inštalovaných na vonkajšom povrchu potrubných komponentov. Bol nainštalovaný v roku 2015 počas plánovanej odstávky na 3. bloku a o rok neskôr (2016) aj na 4. bloku JE V2. Nahradil pôvodný monitorovací systém, ktorý sledoval tepelné zaťaženie od roku 1996.

Rozsah meraní bol definovaný s cieľom získať nevyhnutné informácie pre komplexné posúdenie tepelného zaťaženia, ktoré môže ovplyvniť životnosť potrubí. Pozornosť sa sústredila na miesta s vysokou pravdepodobnosťou výskytu nešpecifikovaného zaťaženia (teplotnej stratifikácie) a cyklických zmien. Zaťažujúce podmienky vyvolané teplotnou stratifikáciou nie je možné predpovedať, preto je potrebné ich dokladovať realizovaným kontinuálnym meraním tepelného zaťaženia počas prevádzky. Namerané priebehy teplôt slúžia ako vstupné údaje pri následných výpočtových analýzach tepelného namáhania a únavového poškodenia monitorovaných potrubných komponentov PO.

Monitorovanie a výber tepelného zaťaženia

Najvýznamnejšie cyklické zmeny tepelného zaťaženia spojené aj s výskytom stratifikácie boli zaznamenané vo vyrovnávacom potrubí systému kompenzácie objemu (VP KO) a v nátrubkoch potrubia napájacej vody parogenerátorov (NV PG). VP KO bolo monitorované pomocou 31 vertikálnych meracích rovín umiestnených na horizontálnych úsekoch potrubia s piatimi termočlámkami v každej rovine. Okrem toho bola nainštalovaná aj jedna horizontálna meracia rovina na dolnom (vertikálnom) nátrubku KO s dvomi termočlámkami. Celkovo bolo pre VP KO použitých 157 termočlánkov [1].

Potrubia NV PG boli monitorované pomocou 2 vertikálnych meracích rovín, z ktorých prvá (s piatimi termočlámkami) sa nachádzala v blízkosti nátrubku a druhá (s tromi termočlámkami) za prvým kolenom v smere od PG na horizontálnom úseku potrubia. Iba na jednom zo šiestich PG, bola nainštalovala ďalšia (tretia) doplnujúca meracia rovina (s tromi termočlámkami), ktorá mala preveriť prienik média (netesnou spätnou klapkou) v smere od PG. Jedným termočlámkom bola monitorovaná teplota plášťa PG. Celkovo bolo pre šesť potrubí NV PG použitých 57 termočlánkov [1].

Pri definovaní výpočtového zaťaženia hodnotených komponentov PO, sa zdokumentované meranie prevádzkových parametrov zredukovalo na výber niekoľkých významných nameraných priebehov teplôt a spolupôsobiacich tlakov, ktoré mali dostatočne reprezentovať (zmapovať) históriu prevádzky počas celej palivovej kampane. Tieto vybrané priebehy (v konkrétnych časových intervaloch), o ktorých sa predpokladalo, že by mohli mať vplyv na únavové poškodenie, boli charakterizované výraznou variáciou sledovaných parametrov spojenú aj s výskytom teplotnej stratifikácie. Vybrané namerané parametre teploty aj tlaku v identických časových intervaloch predstavovali vstupné parametre (okrajové podmienky) pre výpočtové analýzy namáhania a únavového poškodenia. Zo všetkých vybraných priebehov sledovaných parametrov, bola zostavená postupnosť významných nestacionárnych režimov, ktorá mala simulovať históriu prevádzkového zaťaženia.

Výpočtové hodnotenie účinkov tepelného zaťaženia

Analýza namáhania vybraných komponentov PO od účinkov nameraného tepelného zaťaženia sa realizovala na výpočtových modeloch tranzientnou termo-mechanickou analýzou pomocou metódy konečných prvkov (MKP). Výpočtové modely (VP KO a NV PG) vychádzali zo skutočnej geometrie a rozmerov posudzovaných potrubných komponentov PO pri súčasnom rešpektovaní mechanických a teplo-fyzikálnych charakteristík použitých materiálov. Súčasťou výpočtových modelov bolo aj zadefinovanie mechanickej interakcie s okolím (prvky uloženia: závesy, podpery) a napojenie na nadväzujúcu technológiu PO. Geometria a sieť konečných prvkov bola vygenerovaná pre-procesorom MSC.Patran a analýza namáhania (termo-elastické výpočty) bola realizovaná výpočtovým programom MSC.Marc od firmy MSC.Software. Cieľom výpočtov bolo analyzovať vplyv nameranej prevádzky (sprevádzanej aj výskytom teplotnej stratifikácie) na napätosť a cyklické poškodenie kritických miest hodnotených komponentov VP KO a NV PG.

Výstupom z výpočtových analýz pre každý významný nestacionárny režim (priebeh teplôt a spolupôsobiacich tlakov) boli priebehy napätí, ktoré sa stali podkladom pre vykonanie podrobnej únavovej analýzy. Pri analýze napätosti pre každé vybrané prevádzkové zaťaženie sa vyhodnocovali lokality (najexponovanejšie uzlové body) v analyzovaných výpočtových modeloch (viď. Obrázok č.1 a Obrázok č. 2), kde dochádza k najvýznamnejšiemu cyklovaniu napätí a dôsledkom toho aj k najväčšej kumulácii únavového poškodenia. Pre VP KO a potrubie NV PG bolo vybraných 11 reprezentatívnych uzlových bodov [2]. V každom z týchto uzlových bodov sa vyhodnocoval priebeh napätí v časovom intervale, ktorý prislúchal analyzovanému nestacionárnemu prevádzkovému režimu.

Najnepriaznivejšie hodnoty napätí boli pre VP KO zistené v oblasti dvojnásobnej odbočnice, konkrétne na prechode vnútorného priemeru hrdla VP do hlavného cirkulačného potrubia (uzol 1447) a v okolí T-kusu (na prechode vnútorného priemeru vertikálnej časti do horizontálnej – uzol 46815). Pre potrubie NV PG boli najnepriaznivejšie hodnoty napätí zistené v oblasti pripojenia rúrky (tepelnej chráničky) vnútorného rozvodu NV na nátrubok PG, ktoré boli zapríčinené okrem pôsobiaceho tepelného zaťaženia aj rozdielnymi teplotnými dilatáciami materiálu nátrubku PG a materiálu rúrky vnútorného rozvodu NV. Táto oblasť bola reprezentovaná uzlovými bodmi 17361, 29249 a 29268 [2].

Výsledky analýzy únavového poškodenia

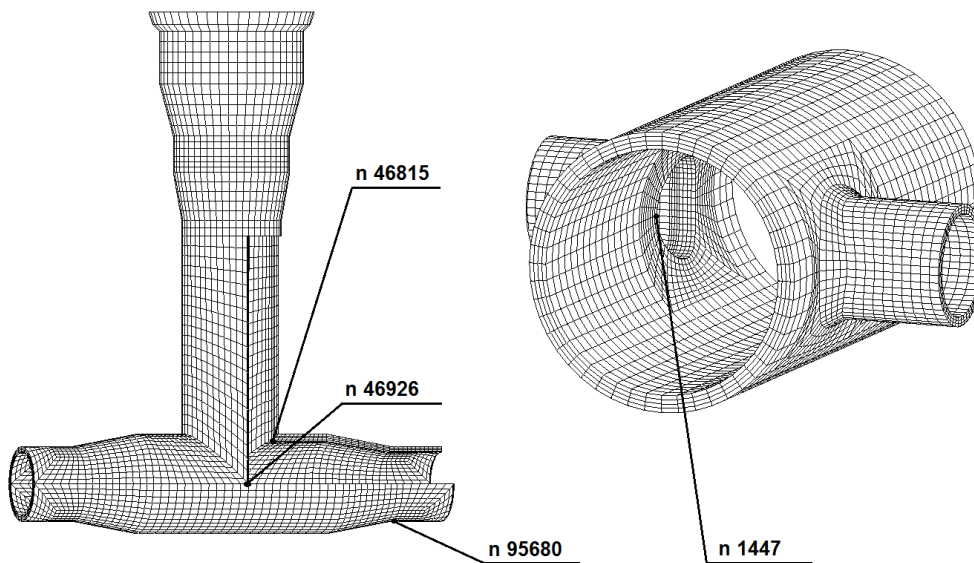
Analýza únavového poškodenia sa realizovala na základe vypočítaných zložiek napätí v reprezentatívnych uzlových bodoch VP KO a potrubia NV PG a zdokumentovanej histórie prevádzky. Výsledky analýzy reprezentujúce 32. palivovú kampaň potvrdzujú, že pre VP KO aj NV PG boli vypočítané minimálne hodnoty únavového poškodenia, ktoré nepresiahli hodnoty stotín percenta (viď. Tabuľka č. 1 [2]). Pre VP KO sa bod s najväčším vypočítaným poškodením nachádza na vnútornom povrchu dvojnásobnej odbočnice (uzol 1447) a pre NV PG na vnútornom povrchu nátrubku v oblasti pripojenia tepelnej chráničky (uzol 29268).

Výsledky výpočtov únavového poškodenia, získané z údajov realistických pevnostných analýz, pri aplikácii teplotných (aj tlakových) okrajových podmienok z nového monitorovacieho systému MONEZ potvrdzujú, že predchádzajúce hodnotenia (do roku 2015) boli realizované za veľmi konzervatívnych predpokladov. Bolo to zapríčinené predchádzajúcim monitorovacím systémom, ktorý vychádzal z meraní len v 6 vertikálnych meracích rovinách pre VP KO a len z jednej meracej roviny pre každé potrubie NV PG. Zvýšenie počtu meracích rovín, ktoré využíva MONEZ, umožnilo podrobnejšie popísať rozloženie teploty po dĺžke monitorovaných potrubných úsekov bez potreby odhadovania teploty vo vzdialenejších miestach od inštalovaných meracích rovín. Namerané parametre prevádzkového zaťaženia, ktoré poskytuje MONEZ sú preto neporovnateľne objektívnejšie a presnejšie ako pri prevádzke starého monitorovacieho systému.

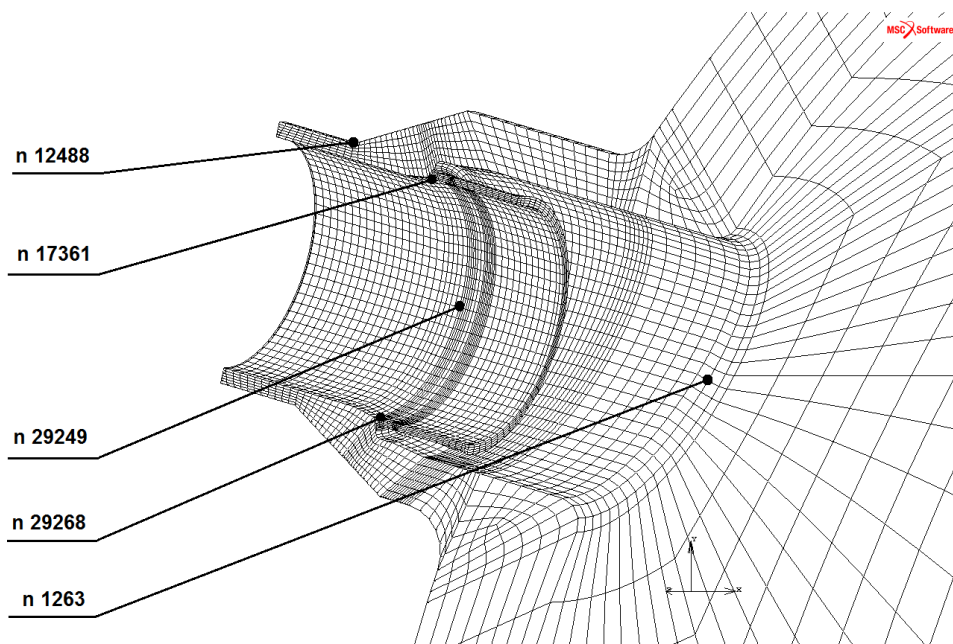
Ďalšia podstatná zmena sa udiala aj v spôsobe definovania zaťaženia a následného určenia únavového poškodenia. V predchádzajúcom období (do roku 2015) sa vyhodnocovanie zaťaženia realizovalo na základe štatistického spracovania meraní a aplikovania výsledkov len niekoľkých modelových pevnostných analýz pre vybrané reprezentatívne (typické) teplotné rozvrstvenia. V nových realizovaných hodnoteniach boli modelované a vyhodnocované skutočné prevádzkové zaťaženia, t.j. tak ako boli namerané (bez štatistickej redukcie). Preto získané výsledky vypočítaného únavového poškodenia sú výrazne presnejšie v porovnaní s predchádzajúcim konzervatívnym systémom vyhodnocovania tepelného zaťaženia.

Potrubný systém PO			
VP KO		NV PG	
Uzlový bod	Poškodenie (%)	Uzlový bod	Poškodenie (%)
1447	0,07258	29268	0,02850
95680	0,02416	29249	0,02520

Tabuľka č. 1 Vypočítané únavové poškodenie v reprezentatívnych uzlových bodoch VP KO a v nátrubku potrubia NV PG počas 32. palivovej kampane



Obrázok č. 1 Lokalizácia reprezentatívnych uzlových bodov výpočtového modelu VP KO



Obrázok č. 2 Lokalizácia reprezentatívnych uzlových bodov výpočtového modelu NV PG

Literatúra

- [1] Lopoš I., Krajčovič M. (2016): *Analýza životnosti vybraných komponentov primárneho okruhu EBO JE V2 pre obdobie dlhodobej prevádzky (VP KO a NV PG)*, Trnava: VUJE, a. s.
- [2] Lopoš I., Mikuš M. (2016): *Analýzy účinkov teplotnej stratifikácie vo VP KO a v nátrubkoch NV PG zaznamenatej systémom MONEZ pre hodnotenie životnosti komponentov PO*, Trnava: VUJE, a. s.