

# TEPLOTNÉ STARNUTIE A JEHO MONITOROVANIE V JE NA SLOVENSKU

## THERMAL AGEING MONITORING IN SLOVAK NPPS

Miloš Baľák, Jana Petzová a Marek Adamech

VUJE, a.s., Oddelenie štrukturálnych analýz

### Abstrakt

Monitorovanie teplotného starnutia materiálov primárneho okruhu jadrových elektrární na Slovensku je problematika riešená len od roku 2010. Tento degradačný mechanizmus ako jeden z hlavných degradačných procesov materiálov bezpečnostne významných komponentov primárneho okruhu je potrebné monitorovať z hľadiska bezpečnej dlhodobej prevádzky elektrární. V tomto príspevku je popísaná koncepcia programu monitorovania teplotného starnutia materiálov primárneho okruhu JE na Slovensku, ako aj realizované činnosti súvisiace s týmto programom do súčasnosti.

### Abstract

The thermal ageing monitoring of nuclear power plant primary circuit materials is the issue solved only since 2010. Monitoring of this degradation process is necessary in aspect of NPPs long-term operation as one from the main material degradation process of the safety important component of the primary circuit. The conception of the thermal ageing monitoring program of nuclear power plant primary circuit materials as well as the realized activities related with this program is described in this paper.

### Úvod

Systematické hodnotenie odolnosti materiálov primárneho okruhu (PO) proti vplyvu teplotného starnutia (TS) pri reálnej prevádzkovej teplote jadrovej elektrárne (JE) sa v slovenských JE nevykonávalo. Napriek tomu je práve tento degradačný mechanizmus materiálov stále viac diskutovanou otázkou aj kvôli tomu, že viac ako 63 % energetických reaktorov je v prevádzke viac ako 30 rokov [1].

Úrad jadrového dozoru (ÚJD) SR a Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (MAAE) vo Viedni požadujú [2, 3, 4], aby prevádzkovatelia JE spracovali a zaviedli tzv. program riadeného starnutia. Z tohto dôvodu bolo vypracovaných viacero detailných analýz, z ktorých je zrejmé, že okrem radiačného krehnutia a korózie je najvážnejším ďalším degradačným mechanizmom materiálov PO JE teplotné starnutie.

Ide o krehnutie, ktoré je známe najmä u ocelí s obsahom uhlíka do 0,2 %, dlhodobo prevádzkovaných pri zvýšených teplotách, pričom súvisí najmä s obsahom dusíka a s tzv. povrchovo-aktívnymi nečistotami.

### Koncepcia programu monitorovania TS

Koncepcia programu monitorovania TS vychádza zo zásadnej požiadavky, ktorou je možnosť monitorovania tohto degradačného mechanizmu pôsobiaceho na materiály primárneho okruhu JE počas prevádzkových podmienok na reálnom prevádzkovanom zariadení.

Nakoľko reaktory na Slovensku majú už za sebou niekoľko desaťročí prevádzky, bolo potrebné celkovú koncepciu zhodnotenia vplyvu teplotného starnutia na hodnotené materiály rozdeliť na dva samostatné celky, a to:

- dlhodobá expozícia blokov materiálov, ktoré sú vystavené rovnakej teplotnej záťaži ako reálne monitorované jadrovo-energetické zariadenia (JEZ), pomocou nosiča vzoriek,
- odber vzoriek materiálu z prevádzkovaných zariadení a ich následná detailná materiálová analýza.

## Dlhodobá expozícia blokov materiálov

Pre expozíciu blokov materiálov dôležitých JEZ bolo po kritickej analýze viacero možností navrhnuté použiť špeciálne vyrobený prstencový nosič vzoriek (obr. 1) pre uloženie blokov jednotlivých materiálov, ktorý je umiestnený na povrchu horúcej vetvy hlavného cirkulačného potrubia (HCP) (obr. 2).

Každá krabička s materiálom pre teplotnú expozíciu priskrutkovaná na nosiči vzoriek obsahuje rozmerovo identický blok materiálu PO (obr. 3), z ktorého sa po navrhovaných dobách expozície, spravidla každých 5-6 rokov, vyrobí jedna kompletná séria skúšobných vzoriek, pričom konkrétnu dobu expozície bude možné upraviť podľa potreby a priebežných výsledkov monitorovania.

Zhotovené skúšobné telieska sú podrobované skúškam mechanických a fyzikálnych vlastností, ako aj hodnoteniu stavu mikroštruktúry a subštruktúry metódami svetelnej optickej a elektrónovej mikroskopie. Medzi tieto skúšky patria:

- skúšky rázom v ohybe,
- statickej skúšky lomovej húževnatosti,
- skúška ťahom,
- SPT skúšky – stanovenie medze sklzu, medze pevnosti a prechodovej teploty,
- skúška náchylnosti ocele k starnutiu po plastickej deformácii,
- meranie tvrdosti (mikrotvrdosť a makrotvrdosť),
- stanovenia obsahu  $\delta$ -feritu,
- stanovenie odolnosti proti MKK (štandardnou metódou a metódou EPR),
- hodnotenie stavu mikroštruktúry a subštruktúry metodikami SOM a TEM,
- hodnotenie lomových plôch použitím riadkovej elektrónovej mikroskopie.

Na základe rozboru špecifikácií jednotlivých materiálov, požiadaviek prevádzkovateľa a odporúčaní ÚJD SR boli pre analýzy hodnotenia teplotného starnutia v prevádzkových podmienkach JE v rámci programu monitorovania TS vybrané nasledovné typy experimentálnych materiálov:

- materiály tlakovej nádoby reaktora (TNR),
- materiály HCP a vyrovnávacieho potrubia kompenzátora objemu (VPKO),
- materiály parogenerátora (PG).

### Odber vzoriek z prevádzkovaných zariadení

Tradičný odber skúšobného materiálu z prevádzkovaných zariadení pre zistenie jeho reálneho stavu predstavuje popri nutných odstavkách najmä nevhodný zásah do celistvosti hodnotenej časti, a to či už sa jedná o odber strojným obrábaním, tepelným delením alebo aj inými spôsobmi. Tieto deštruktívne metódy zvyčajne vyžadujú následnú opravu odobratého miesta, vrátane tepelného spracovania a celého radu nedeštruktívnych kontrol. Často sa pritom práve toto miesto môže stať zdrojom problémov pri ďalšej prevádzke.

Na odber vzoriek v rámci programu monitorovania TS sa používa zariadenie, ktoré je koncipované ako univerzálny systém určený na odber vzoriek bez výrazného ovplyvnenia povrchu a bez nutnosti miesto odberu následne opravovať alebo upravovať. Jedná sa o kvázi nedeštruktívny odber materiálu pomocou zariadenia SSam<sup>TM</sup>-2 od firmy Rolls-Royce [5].

Týmto odberovým zariadením bolo doteraz, v rámci tohto programu MTS odobratých 54 ks vzoriek z nasledovných JEZ primárneho okruhu JE Bohunice a Mochovce:

- tlaková nádoba reaktora,
- teleso kompenzátora objemu (KO),
- teleso parogenerátora,

- hlavné cirkulačné potrubie.

Princíp odberu vzorky zariadením SSam<sup>TM</sup>-2 je založený na rýchlej rotácii rezného nástroja v tvare dutej polgule okolo osi súmernosti a jeho pomalého zasúvania po kruhovej dráhe do rezaného materiálu (obr. 4). Oceľový rezný nástroj je pokrytý tenkou vrstvou kubického nitridu bóru (CBN) a umiestnený v odberovej hlavici (obr. 5).

Veľkosť a tvar odobratých vzoriek závisí na geometrii v mieste odberu. Ukážka odberu ako aj odobratej vzorky z tlakovej nádoby reaktora s následným elektroiskrovým rezaním na malé vzorky SPT je na obr. 6.

Takto vyrezané SPT vzorky sa brúšia na konečný rozmer  $0,5 \text{ mm} \pm 5 \text{ } \mu\text{m}$ . Pomocou progresívnej skúšobnej penetračnej metódy Small Punch Test (SPT) je možné stanoviť na týchto vzorkách nasledovné mechanické vlastnosti:

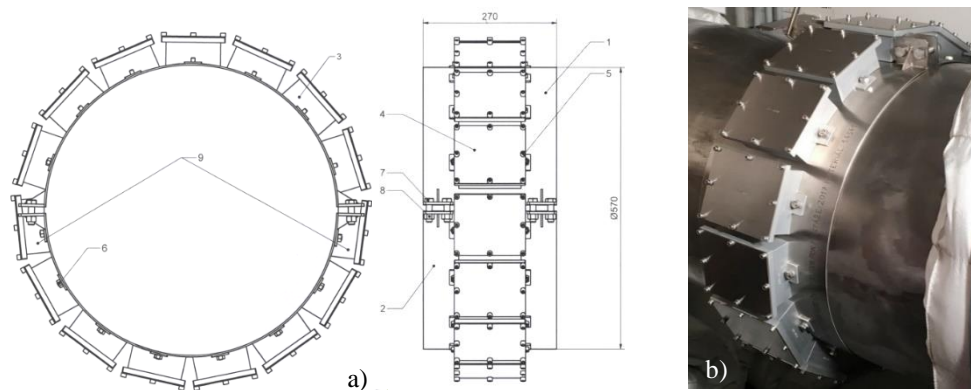
- medzu pevnosti,
- zmluvnú medzu klzu,
- prechodovú teplotu,
- lomovú húževnatosť.

## Záver

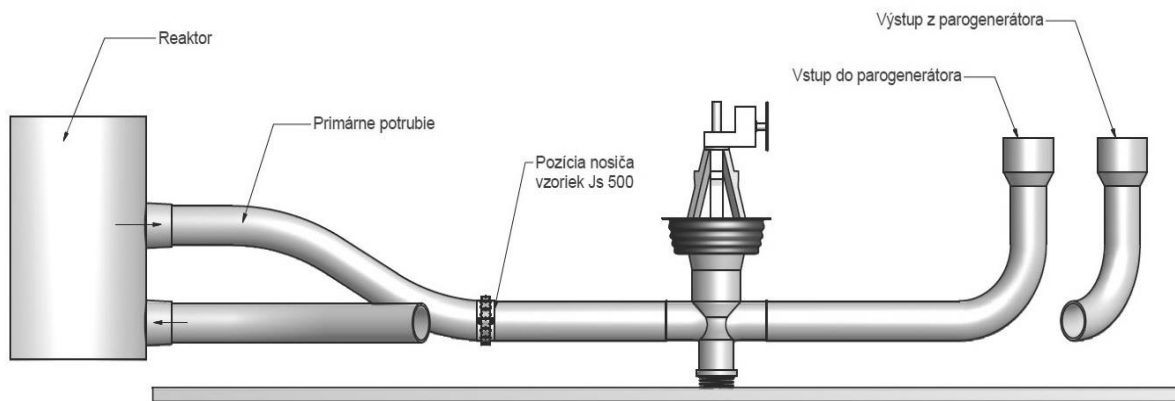
Z uvedenej koncepcie programu monitorovania TS možno konštatovať, že takto navrhnutý a realizovaný program bude spĺňať požiadavky kontrolných úradov, zabezpečí spresnenie informácií o skutočnom stave všetkých dôležitých komponentov PO JE a získa ďalšie spoľahlivé technické argumenty pre dlhodobú prevádzku všetkých slovenských prevádzkovaných jadrových blokov.

## Literatúra

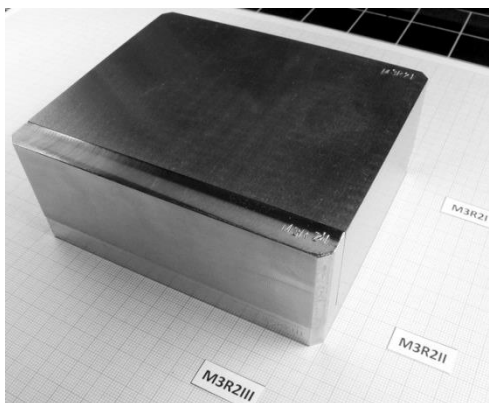
- [1] MAAE (2018): <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalByAge.aspx>, Total Number of Reactors.
- [2] ÚJD SR (2002): *Riadenie starnutia jadrových elektrární. Požiadavky*. Bratislava: BNS 1.9.2/2001.
- [3] MAAE (2005): *Ageing Management for Nuclear Power Plants and Research Reactors*. Vienna: SAFETY GUIDE NS G DS382.
- [4] MAAE (2006): *Safety Aspects of Long Term Operation of Water Moderated Reactors*. Vienna: IAEA-EBP-LTO-20.
- [5] Baľák, J. a kol. (2008): *Využitie systému na odber malých vzoriek pri hodnotení vlastností materiálov prevádzkovaných zariadení*. 11. konferencia: Prínos metalografie pro řešení výrobních problémů, Lázně Libverda.



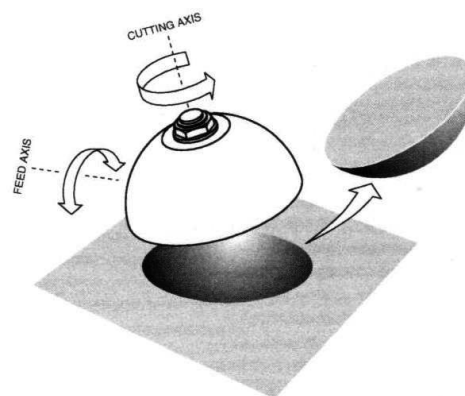
Obr. 1: Nosič vzoriek pre monitorovanie teplotného TS a) konštrukcia, b) montáž v prevádzke



Obr. 2: Umiestnenie nosiča vzoriek na horúcu vetvu hlavného cirkulačného potrubia



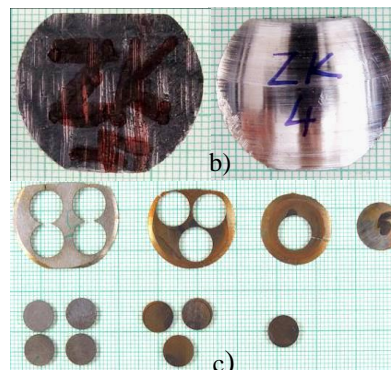
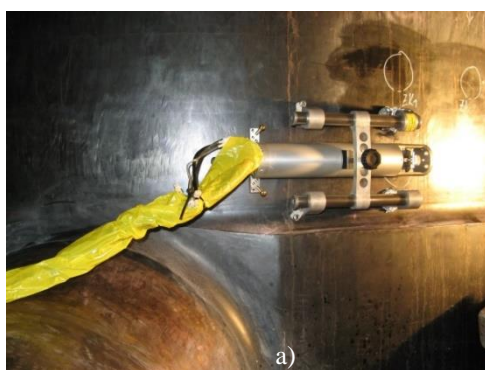
Obr. 3: Experimentálny materiál (48 x 100 x 120mm)



Obr. 4: Princíp odberu vzoriek



Obr. 5: Odberová hlavica zariadenia SSam™-2



Obr. 6: Odber vzorky v prevádzke JE Bohunice a jej rezanie a) odber, b) vzorka, c) rezanie