



ÚRAD JADROVÉHO DOZORU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

EDÍCIA

Bezpečnosť jadrových zariadení

2016

BNS II.3.6/2016

**Pravidlá pre návrh, výrobu a prevádzku systémov monitorovania
degradácie bezpečnostne významných komponentov JZ
Časť 3. Monitorovanie procesov radiačnej degradácie
konštrukčných materiálov JZ**

Pravidlá pre návrh, výrobu a prevádzku systémov monitorovania degradácie bezpečostne významných komponentov JZ

Časť 3. Monitorovanie procesov radiačnej degradácie konštrukčných materiálov JZ

Vydal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Neperiodická publikácia

Spracovatelia: Ing. Ľudovít Kupča, CSc., vedúci Oddelenia štrukturálnych analýz, VUJE, a. s.
Ing. Jana Petzová, PhD., špecialista, VUJE, a. s.

Gestor: Ing. Jozef Balaj, riaditeľ odboru systémov, komponentov a stavebných konštrukcií, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

Recenzenti: Ing. Jana Weisová, Slovenské elektrárne, a. s.
Ing. Ján Borák, Slovenské elektrárne, a. s.

BNS **II.3.6/2016**

ISBN **978-80-89706-14-3**

EAN **9788089706143**

Bratislava, november 2016

Anotácia

Tento bezpečnostný návod Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky určuje základné pravidlá pre návrh, výrobu a prevádzku systémov monitorovania radiačného krehnutia konštrukčných materiálov TNR. Monitorovanie radiačného krehnutia TNR je súčasťou programov riadenia starnutia. Pre zabezpečenie stanovených cieľov je nevyhnutné vypracovať a zaviesť do praxe program monitorovania radiačného krehnutia. Pri jeho zostavovaní sa vychádzalo z normatívno-technickej dokumentácie v oblasti jadrovej energetiky, relevantných smerníc a požiadaviek medzinárodnej agentúry atómovej energie a doterajších skúseností s monitorovaním radiačného krehnutia na JZ v SR a v zahraničí.

bezpečnostný návod, radiačná degradácia, monitorovanie radiačného krehnutia, kritériá monitorovania radiačného krehnutia, riadené starnutie

Abstract

The safety guide of the Nuclear Regulatory Authority of the Slovak Republic specifies basic quality requirements to design, construction and operation of the irradiation embrittlement monitoring systems for RPV structural materials. Irradiation embrittlement monitoring of RPV is a specific part of ageing management programs. A set of the technical documentation, adequate requirements of the IAEA as well as experience with degradation monitoring of the nuclear power plant materials of the VVER 440 type accumulated up to now in Slovakia and abroad have been applied to the compilation of this safety guide.

Safety guide, irradiation degradation, irradiation embrittlement monitoring, criteria of irradiation embrittlement monitoring, ageing management

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 1 |
| 1 Predmet a účel | 2 |
| 2 Rozsah platnosti..... | 2 |
| 2.1 Všeobecné ustanovenia..... | 2 |
| 2.2 Podmienky platnosti | 2 |
| 3 Použité skratky | 3 |
| 3.1 Skratky orgánov a organizácií..... | 3 |
| 3.2 Skratky v oblasti hodnotenia procesov teplotného starnutia..... | 3 |
| 4 Použité pojmy | 3 |
| 5 Monitorovanie procesov radiačnej degradácie | 4 |
| 5.1 Oblasť použitia | 4 |
| 5.2 Kritériá výberu hodnotených materiálov TNR..... | 6 |
| 5.3 Požiadavky na systémy monitorovania radiačnej degradácie | 6 |
| 5.4 Monitorované vlastnosti materiálov TNR | 7 |
| 5.5 Monitorovanie pomocou overovacích vzoriek..... | 8 |
| 5.6 Hodnotenie životnosti TNR | 8 |
| 5.7 Vyhodnocovanie programu overovacích vzoriek..... | 9 |
| 6 Zodpovednosti | 9 |
| 6.1 Prevádzkovateľ | 10 |
| 6.2 Expertná organizácia | 10 |
| 6.3 Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky | 10 |
| 7 Literatúra | 11 |

Predhovor

Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky začal v roku 1995 vydávať vlastné neperiodické publikácie, ako edíciu Bezpečnosť jadrových zariadení, s cieľom zverejňovať vybrané všeobecne záväzné právne predpisy, bezpečnostné požiadavky, odporúčania a návody súvisiace s predmetom činnosti Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.

V rámci edície Bezpečnosť jadrových zariadení Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky vydáva tri skupiny publikácií:

Obsahom prvej skupiny publikácií sú vybrané všeobecne záväzné právne predpisy a medzinárodné zmluvy z oblasti mierového využívania jadrovej energie; sú označené červeným pruhom.

V druhej skupine sú dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti charakteru odporúčaní a návodov, ktoré konkretizujú a dopĺňajú požiadavky všeobecne záväzných právnych predpisov. Odporúčania dokumentov tejto kategórie nie sú všeobecne záväzné, avšak ich dodržiavanie zjednodušuje plnenie požiadaviek Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zo strany dozorovaných organizácií; sú označené zeleným pruhom.

Obsahom tretej skupiny publikácií sú ostatné dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti informatívneho charakteru, sú označené modrým pruhom.

Pri spracovaní dokumentov druhej a tretej skupiny sa využívajú dokumenty Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu vo Viedni a iných medzinárodných organizácií, medzinárodné a národné technické normy, ako aj dokumenty vydané zahraničnými dozornými orgánmi a odbornými organizáciami. Dokumenty sú spracované na základe rozhodnutia predsedu Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zamestnancami úradu alebo externými organizáciami i s využitím vlastných skúseností a podmienok. Pred ich vydaním a zverejnením sú schválené predsedom úradu.

Predmetná publikácia Pravidlá pre návrh, výrobu a prevádzku systémov monitorovania degradácie bezpečnostne významných komponentov JZ, Časť 3. Monitorovanie procesov radiačnej degradácie konštrukčných materiálov JZ je bezpečnostným návodom.

Tento BNS špecifikuje postupy pri monitorovaní degradačných procesov materiálov JZ vplyvom procesov radiačnej degradácie.

Pripomienky a doplnky k tejto publikácii zasielajte na Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky, odbor legislatívno-právny, Bajkalská 27, P. O. Box 24, 820 07 Bratislava 27.

Bezpečnostné návody nie sú právne záväzné, avšak ich dodržiavanie napomáha zabezpečiť podmienky bezpečného využívania jadrovej energie alebo vykonávania činností súvisiacich s využívaním jadrovej energie.

Úvod

Životnosť tlakovej nádoby reaktora (TNR) je okrem vyčerpania plánovanej životnosti podmienená rozsahom poškodenia jej materiálov vplyvom rôznych degradačných procesov počas prevádzky. Najvýznamnejším degradačným mechanizmom materiálov TNR je radiačné poškodenie.

Je známe, že vplyvom neutrónového žiarenia dochádza u konštrukčných materiálov k postupnej zmene hodnôt ich mechanických vlastností, vzrastu medze sklzu a medze pevnosti, vzrastu tvrdosti a poklesu nárazovej práce pri skúške rázom v ohybe a u materiálov s priestorovo centrovanou kubickou mriežkou aj k významnému posunu teploty prechodu ku krehkému porušeniu do oblasti vyšších teplôt.

Mechanizmy radiačného poškodzovania kovovej kryštalickej mriežky v dôsledku reaktorového žiarenia sú veľmi komplexné a súvisia s mnohými parametrami ožarovacieho prostredia i terčového materiálu. Pre účinky žiarenia na kovové materiály sú z celého spektra reaktorového žiarenia najvýznamnejšie neutróny, pretože ich hmotnosť i energia je vysoká a keďže nemajú elektrický náboj, ľahko prenikajú k jadrom atómov.

Radiačné poškodzovanie materiálov TNR je významné len v oblasti okolo aktívnej zóny a prejavuje sa:

- a) posunom prechodových teplôt vrubovej húževnatosti k vyšším hodnotám,
- b) celkovým znížením plastických vlastností ocelí TNR.

Zmena vlastností materiálu TNR sa v konečnom dôsledku prejaví na znížení schopnosti odolávať porušeniu pri rôznych, najmä havarijných podmienkach zaťaženia.

To je hlavnou príčinou, prečo je potrebné pri energetických reaktoroch trvalo zaviesť tzv. „overovacie programy“, ktoré umožňujú sledovať priebežné zmeny prevádzkových parametrov pre konkrétne bloky JE tak, aby bola zaistená jadrová bezpečnosť za nominálnych, ale aj prechodových stavov.

Tieto programy sú však nutné aj z iných hľadísk ako sú:

- a) predĺžovanie prevádzky našich JE VVER-440 až na hranicu 60 rokov,
- b) zvýšenie výkonu blokov,
- c) používania novej generácie jadrového paliva s vyhorievajúcim absorbátorom,
- d) inováciou prístupov pri hodnotení výsledkov zo skúšania ožiarených vzoriek,
- e) zavádzaním nových druhov skúšok na miniatúrnych vzorkách,
- f) monitorovaním vzoriek aj z materiálov vnútorných konštrukcií TNR,
- g) v neposlednom rade aj s uvážením prísnejších kritérií pri hodnotení neštandardných prevádzkových režimov blokov VVER-440.

Súčasným overovacím programom musia rešpektovať postulovanú filozofiu: „Priebežne sledovať radiačne indukované zmeny vlastností ocelí TNR počas celej doby prevádzky blokov“.

1 Predmet a účel

Predmetom tohto bezpečnostného návodu je:

- a) stanoviť metodológiu a postup pri tvorbe overovacích programov pre hodnotenie radiačného krehnutia materiálov TNR,
- b) definovať požiadavky na výber materiálov TNR, ktoré majú byť zahrnuté do týchto programov,
- c) stanoviť metodiky hodnotenia radiačnej degradácie podľa rôznych skúšobných postupov.

Súčasťou dokumentu sú aj odporúčania pre organizačné zabezpečenie overovacích programov v reálnych prevádzkových podmienkach JE.

2 Rozsah platnosti

2.1 Všeobecné ustanovenia

Bezpečnostný návod stanovuje základné požiadavky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky na vypracovanie, zavedenie a realizáciu overovacích programov monitorovania radiačnej degradácie materiálov TNR z hľadiska jadrovej bezpečnosti.

Bezpečnostný návod všeobecne platí pre všetky materiály TNR, pričom sa ich výber do overovacieho programu pre monitorovanie uskutočňuje na základe kritérií popísaných v tomto návode.

Požiadavky tohto bezpečnostného návodu je treba chápať a logicky použiť aj pre iné jadrové zariadenia než sú jadrové elektrárne.

2.2 Podmienky platnosti

Tento bezpečnostný návod sa vydáva bez časového obmedzenia.

3 Použité skratky

3.1 Skratky orgánov a organizácií

| | |
|------------------|--|
| MAAE | Medzinárodná agentúra pre atómovú energiu (angl. IAEA) |
| JE | jadrová elektrárneň |
| SE, a. s. | Slovenské elektrárne, a. s. |
| JE-EBO V2 | Atómové elektrárne Bohunice |
| JE-EMO | Atómové elektrárne Mochovce |
| ÚJD SR | Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky |

3.2 Skratky v oblasti hodnotenia procesov teplotného starnutia

| | |
|------------|------------------------------|
| POV | programy overovacích vzoriek |
| PRS | program riadenia starnutia |
| AZ | aktívna zóna reaktora |
| JZ | jadrové zariadenie |
| TNR | tlaková nádoba reaktora |

4 Použité pojmy

Degradácia je poškodenie materiálu konštrukcie alebo komponentu v dôsledku vplyvu rôznych degradačných mechanizmov počas prevádzky zariadenia.

Degradačný mechanizmus je typ degradačného procesu a spôsob, ako určitý degradačný proces prebieha v závislosti na čase a konkrétnych prevádzkových podmienkach.

Degradačné procesy sú také procesy, spojené so zmenou fyzikálnych vlastností materiálov zariadenia, ktoré vedú k degradácii úžitkových vlastností zariadenia.

Vyhodnotenie degradačných procesov je zisťovanie súvislostí medzi typom degradácie, jej rozsahom, kvalitou okolitého prostredia a spôsobom prevádzky.

Jadrové zariadenie sú zariadenia a objekty, ktorých súčasťou je jadrový reaktor využívajúci štíepnu riadenú reťazovú reakciu, alebo zariadenia a objekty na výrobu, spracovanie a skladovanie jadrových materiálov, prípadne ukladanie vyhoreného paliva alebo rádioaktívnych odpadov.

Stav zariadenia je úroveň charakteristických parametrov konštrukcie alebo komponentu, ktoré môžu mať vplyv na plnenie projektovej funkcie zariadenia.

Riadenie starnutia je súbor inžinierskych, prevádzkových a údržbárskych opatrení na kontrolu a zmiernenie degradácie systémov, konštrukcií a komponentov starnutím a opotrebovaním v akceptovateľných medziach.

Program riadenia starnutia je systém organizačných a technických opatrení na riadenie starnutia, vrátane optimálnej organizačnej štruktúry, stanovenia zodpovedností, vypracovania potrebných metodík, technologických postupov, materiálneho a personálneho zabezpečenia.

Porucha je neschopnosť alebo prerušenie schopnosti systému, konštrukcie alebo komponentu plniť projektovanú funkciu v rámci požadovaných kritérií.

Životnosť je doba od výroby do vyradenia systému, konštrukcie alebo komponentu z prevádzky.

Prevádzková životnosť je skutočná doba od začiatku prevádzky po vyradenie systému, konštrukcie alebo komponentu z prevádzky.

Projektová životnosť je doba, počas ktorej sa očakáva, že systém, konštrukcia alebo komponent bude plniť svoju funkciu v rámci predpísaných kritérií.

Zostatková životnosť je skutočná doba od súčasnosti po vyradenie systému, konštrukcie alebo komponentu z prevádzky.

Radiačné poškodenie sú zmeny vlastností konštrukčných materiálov JZ spôsobené radiačným žiarením.

Indikátor stavu je charakteristika, ktorá môže byť sledovaná a meraná, alebo môže byť sledovaný jej trend pre odhad alebo priame stanovenie súčasnej alebo budúcej spôsobilosti plniť svoju funkciu v rámci požadovaných kritérií.

5 Monitorovanie procesov radiačnej degradácie

5.1 Oblasť použitia

Tento návod je určený pre hodnotenie radiačnej degradácie TNR jadrových elektrární typu VVER, projektovaných, vyrobených a prevádzkovaných podľa bývalých sovietskych predpisov a noriem.

Základným cieľom monitorovania radiačnej degradácie materiálov TNR je zabezpečenie sledovania jej aktuálneho stavu a trendov čerpania životnosti v prevádzkových podmienkach,

pre zabezpečenie prevádzkyschopnosti, spoľahlivosti a bezpečnosti prevádzky z hľadiska jadrovej bezpečnosti po celú dobu prevádzky JE.

Pre zabezpečenie monitorovania procesov radiačného krehnutia je nevyhnutné sledovanie radiačnej degradácie počas celej doby životnosti TNR.

Program monitorovania radiačného krehnutia by mal zahŕňať sledovanie všetkých typov materiálov TNR nachádzajúcich sa v oblasti AZ reaktora.

Program pre monitorovanie radiačného krehnutia materiálov TNR má zahrňovať nasledujúce oblasti:

- a) Zoznam materiálov, ktoré sú vystavené ožarovaniu počas prevádzky TNR.
- b) Kritériá a metodiku výberu materiálov pre monitorovanie procesov radiačného krehnutia TNR.
- c) Databázu materiálových, konštrukčných a prevádzkových údajov, nevyhnutných pre monitorovanie radiačného krehnutia.
- d) Všeobecné zhodnotenie procesov radiačnej degradácie materiálov na základe existujúcich limitných projektových údajov pre jednotlivé konštrukcie a komponenty.
- e) Požiadavky a odporúčania na realizáciu periodického hodnotenia stavu konštrukcií a komponentov, vrátane periodicity hodnotenia.
- f) Metodiky na hodnotenie vplyvu existujúcich, alebo predpokladaných mechanizmov poškodenia.
- g) Návrhy opatrení na odstránenie alebo zmiernenie degradačných prejavov, vrátane zhodnotenia účinnosti predtým prijatých opatrení.
- h) Metodiky a výsledky hodnotenia vplyvu pôsobenia degradačných mechanizmov, respektíve radiačného skrehnutia na zostatkovú životnosť konštrukcií a komponentov.

Pre realizáciu programu monitorovania radiačného krehnutia materiálov TNR je potrebné, aby prevádzkovateľ zabezpečil zber, spracovanie a archiváciu všetkých relevantných údajov a zodpovedal za ich presnosť i priebežnú aktualizáciu.

Periodické výstupy z monitorovacieho programu radiačného poškodenia slúžia ako zásadné podklady pre povolenie ďalšej prevádzky reaktorového bloku.

Kritériá prijateľnosti stavu jednotlivých častí TNR z hľadiska radiačnej degradácie musia vychádzať z požiadaviek príslušnej normatívno-technickej dokumentácie a musia byť v súlade aj s kritériami iných monitorovacích programov.

Program monitorovania radiačného krehnutia rieši spätnú väzbu na prevádzku, údržbu, prevádzkové kontroly a zároveň výstupy z programu monitorovania majú slúžiť ako jeden z dôležitých podkladov pre program modernizácie JE alebo program dlhodobej prevádzky JE.

Všetky činnosti, predpisy a spôsob ich dokumentovania musia byť v súlade so schváleným systémom manažérstva kvality prevádzkovateľa JE.

Cieľom monitorovacieho programu radiačného krehnutia je:

- a) Pochopenie vplyvu mechanizmov degradácie na krehnutie jednotlivých častí TNR počas prevádzky JE.
- b) Priebežné sledovanie trendov v zmenách ich stavu.
- c) Prípadná optimalizácia prevádzkových parametrov pre minimalizáciu očakávaného stupňa degradácie.
- d) Návrh a realizácia nápravných opatrení.
- e) Minimalizácia negatívneho vplyvu procesov radiačného krehnutia na prevádzkovú bezpečnosť JE.

5.2 Kritériá výberu hodnotených materiálov TNR

Výber typov hodnotených materiálov pre monitorovanie radiačnej degradácie TNR sa musí realizovať na základe opodstatnených kritérií. Tieto musia byť založené na bezpečnostných a technických princípoch.

Pri definovaní kritérií výberu by sa mali uvažovať tieto princípy:

- a) Predpísané požiadavky od výrobcu a dodávateľa TNR.
- b) Platné predpisy a normy v danej oblasti monitorovania.
- c) Analýzy dopadu poruchy (porušenia integrity alebo funkčnosti) v danej časti reaktora na jadrovú bezpečnosť.
- d) Skúsenosti z prevádzky iných JE rovnakého alebo podobného typu.
- e) Dostupnosť technických prostriedkov a možností na kontrolu a monitorovanie stavu jednotlivých materiálov.
- f) Požiadavky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.
- g) Odporúčania MAAE.

5.3 Požiadavky na systémy monitorovania radiačnej degradácie

Pre realizáciu programu monitorovania radiačnej degradácie TNR je vhodné, aby prevádzkovateľ vytvoril zodpovedajúcu organizačnú štruktúru a zabezpečil potrebné technické a personálne predpoklady pre výkon všetkých činností.

Systémy monitorovania radiačnej degradácie pomocou programov overovacích vzoriek musia spĺňať nasledujúce požiadavky:

- a) Zabezpečovať priebežné monitorovanie aktuálneho stavu všetkých materiálov TNR po celú dobu životnosti JE.
- b) Zaistiť monitorovanie radiačného poškodenia na základe výsledkov a skúseností z prevádzkovaných blokov ako aj odporúčaní MAAE.

- c) Okrem zmien vlastností materiálov TNR trvale monitorovať aj parametre ožarovacieho prostredia ako sú ožarovacia teplota a fluencia neutrónov.
- d) Schopnosť upozorniť s dostatočným časovým predstihom na potenciálne možné problémy spojené s vplyvom radiačného pôsobenia na materiály TNR.
- e) Umožňovať operatívne modifikovanie obsahu i rozsahu systému monitorovania procesov radiačného krehnutia podľa potrieb prevádzkovateľa a požiadaviek ÚJD SR.
- f) Pre účely riadenia starnutia je vhodné z overovacích programov monitorovania radiačného krehnutia vypracovať databázu získaných výsledkov. Táto by mala okrem reálne nameraných hodnôt obsahovať aj trendy krehnutia pre celú plánovanú dobu životnosti.

5.4 Monitorované vlastnosti materiálov TNR

Základným prejavom vplyvu radiačného pôsobenia počas prevádzky JE je skrehnutie materiálu TNR v oblasti jej aktívnej zóny.

Skrehnutie sa prejaví posunom prechodovej teploty medzi krehkým a húževnatým lomom smerom k vyšším hodnotám.

Vplyvom reaktorového žiarenia stúpne hodnota pevnostných vlastností materiálov, a to medze sklzu, medze pevnosti a tvrdosti.

Počas prevádzky TNR dochádza ku celkovému zhoršeniu lomových vlastností materiálov, hlavne v oblasti pôsobenia vysokého neutrónového toku.

Pre sledovanie zmien vlastností materiálov TNR vplyvom radiačného krehnutia počas prevádzky JE je možné použiť nasledovné typy skúšok:

- a) skúška rázom v ohybe (Charpy-V),
- b) skúška lomovej húževnatosti,
- c) ťahová skúška,
- d) iné overené metódy skúšania.

V prípade nedostatku reprezentatívneho skúšobného materiálu napríklad v prípade úzkych oblastí materiálu ako je tepelne ovplyvnená zóna, je vhodné použiť pre hodnotenie zmien vlastností malé vzorky len z danej oblasti.

Okrem uvedených skúšok mechanických vlastností je v niektorých prípadoch vhodné zaradiť do programov overovacích vzoriek aj také overené skúšobné metódy, ktorými je možné posúdiť zmeny v mikroštruktúre exponovaných materiálov.

5.5 Monitorovanie pomocou overovacích vzoriek

Princípom monitorovania pomocou overovacích vzoriek je exponovanie vzoriek z konštrukčného materiálu v zodpovedajúcom prevádzkovom prostredí pre daný typ hodnoteného zariadenia.

Vzorky sú spravidla vystavené rovnakému typu namáhania ako sledovaný komponent, zvyčajne s vyššími, prísnejšími parametrami.

Súčasťou systému monitorovania pomocou overovacích vzoriek musí byť aj systém merania reálnych parametrov prostredia ako sú ožarovacia teplota a neutrónový tok.

Meranie teploty sa vykonáva pomocou teplotných monitorov, prípadne aj s použitím termočlánkov.

Meranie fluencie neutrónov má byť zabezpečené v jednotlivých puzdrách monitorovacieho programu overovacích vzoriek a aj priamo na vonkajšej stene TNR oproti ožarovacím kanálom.

Je vhodné zabezpečiť jednoznačnú orientáciu ožarovacích puzdiel voči stredu aktívnej zóny reaktora, čo má výrazný vplyv na presnosť určenia fluencií.

Je výhodné zabezpečiť ožarovanie jednotlivých sád overovacích vzoriek s minimálne možným rozptylom fluencie.

Pre výrobu vzoriek je možné použiť:

- a) originálny, alebo archívny materiál sledovaného komponentu,
- b) náhradný materiál s rovnakým chemickým zložením aj tepelným spracovaním,
- c) scitlivený materiál resp. materiál, ktorý má určité odchýlky od predpísaných požiadaviek,
- d) vo svete uznávaný referenčný materiál, pre ktorý sú známe jeho počiatočné vlastnosti.

Program monitorovania radiačného krehnutia pomocou overovacích vzoriek na TNR musí obsahovať:

- a) mechanické skúšky neožiarených vzoriek (tzv. počiatočný stav) všetkých exponovaných materiálov,
- b) vyhodnocovanie exponovaných vzoriek v rôznych časových etapách.

5.6 Hodnotenie životnosti TNR

Hodnotenie životnosti a integrity reaktorových zariadení je založené na lomovej mechanike.

Poškodenie materiálov TNR spôsobené prevádzkovými podmienkami TNR sa vyjadrí pomocou posunu teplotnej závislosti vrubovej húževnatosti charakterizovanej kritickou teplotou krehkosti T_k , alebo statickej lomovej húževnatosti charakterizovanej referenčnou teplotou T_0 , ako dôsledok rôznych prevádzkových parametrov.

Základnými vlastnosťami pre výpočet životnosti sú potom kritická teplota krehkosti T_k a/alebo referenčná teplota T_0 stanovená pomocou referenčnej krivky prístupom „Master Curve“.

V závislosti na množstve a typoch vzoriek v programe overovacích vzoriek môžu byť pre hodnotenie životnosti prístupom „Master Curve“ použité taktiež dva prístupy:

- a) Nepriame určenie lomovo-mechanických vlastností materiálov TNR s použitím skúšok vrubovej húževnatosti (Charpyho skúška rázom v ohybe) a korelačných vzťahov medzi kritickou teplotou krehkosti a teplotnou závislosťou lomovej húževnatosti.
- b) Priame stanovenie lomovo-mechanických vlastností materiálov TNR pre daný okamih prevádzky, t.j. pre danú úroveň degradácie materiálových vlastností. V tomto prípade sa vykonajú skúšky lomovej húževnatosti a teplotná závislosť je stanovená priamo, s použitím skúšok pri jednej alebo viacerých teplotách.

Pri hodnotení integrity TNR sa potom v zásade stanovuje prechodová teplota zodpovedajúca koncu životnosti JE alebo koncu plánovaného predĺženia prevádzky, prípadne sa stanoví trendová krivka posunu teploty.

5.7 Vyhodnocovanie programu overovacích vzoriek

Prevádzkovateľ zabezpečuje periodické hodnotenie programu overovacích vzoriek pre sledovanie radiačného poškodenia TNR podľa spracovaného harmonogramu.

Prevádzkovateľ predkladá ÚJD SR výsledky periodického hodnotenia plnenia programu overovacích vzoriek.

6 Zodpovednosti

Realizáciou programu overovacích vzoriek pre hodnotenie radiačnej degradácie materiálov TNR sa má dosiahnuť:

- a) objektívne hodnotenie technického stavu TNR,
- b) včasná identifikácia veľkosti degradácie a prijatie opatrení na korekciu zisteného stavu.

Za týmto účelom sú stanovené nasledovné zodpovednosti jednotlivých orgánov a organizácií zúčastnených na realizácii programu overovacích vzoriek TNR.

6.1 Prevádzkovateľ

Zabezpečiť vykonávanie programu overovacích vzoriek TNR pre hodnotenie radiačnej degradácie počas celej doby prevádzky JE.

Pravidelne vyhodnocovať výsledky dosiahnuté pri realizácii programu overovacích vzoriek materiálov TNR.

Predkladať priebežné výsledky monitorovania radiačnej degradácie materiálov TNR ÚJD SR.

6.2 Expertná organizácia

Na základe požiadavky prevádzkovateľa, zodpovedá za vypracovanie a realizáciu programov overovacích vzoriek TNR v súlade s požiadavkami tohto návodu.

Zavádza nové progresívne metódy monitorovania overovacích vzoriek TNR.

Vypracováva prípadné návrhy a opatrenia na odstránenie alebo zmiernenie účinkov radiačného pôsobenia na materiály TNR.

Vypracováva návrhy na odstránenie alebo zmiernenie účinkov degradačných procesov na stav systémov, konštrukcií a komponentov JZ.

6.3 Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

Stanovuje požiadavky pre monitorovanie procesov radiačného krehnutia materiálov TNR.

Zodpovedá za posudzovanie výsledkov realizácie a periodického hodnotenia monitorovacieho programu overovacích vzoriek TNR.

7 Literatúra

- /1/ Riadenie starnutia jadrových elektrární - Požiadavky. BNS 1.9.2/2014, Bratislava, ÚJD SR 2014.
- /2/ Safety Reports Series No. 15 Implementation and Review of a Nuclear Power Plant Ageing Management Programme, STI/PUB/1072 English, Vienna 1999.
- /3/ IAEA-TECDOC 1078 Technical Support for Nuclear Power Operations, April 1999.
- /4/ ČSKAE: Rozhodnutí č. 233/92.
- /5/ ASTM E 1921- 16 “Standard Test Method for Determination of Reference Temperature, T₀, for Ferritic Steels in the Transition Range”, 2016.
- /6/ MAAE: Guidelines for Application of the Master Curve Approach to Reactor Pressure Vessel Integrity in Nuclear Power Plants, Technical Report Series No. 429, IAEA Vienna 2005.
- /7/ Unified Procedure for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPPS “VERLIFE” April 2008.