

Vloga Inštituta za kovinske materiale in tehnologije pri remontnih delih v JE Krško

The Role of the Institute of Metals and Technology in the Outages of JE Krško

Vojvodič Gvardjančič J¹, IMT Ljubljana

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije je pooblaščen inštitucija za vrsto strokovnih dejavnosti v zvezi z gradnjo, poskusnim obratovanjem, zagonom in obratovanjem jedrskih objektov. Opisane so dejavnosti inštituta, potrebne za izdajo strokovne ocene za ponovni zagon reaktorja po remontu 1995 in menjavi goriva v Jedrski elektrarni Krško. Opisane so neporušne metode, uporabljene na uparjalnikih in penetracijah na reaktorski glavi, prikazan je primer ugotavljanja erozije/korozije in pripadajoča merila sprejemljivosti.

Ključne besede: jedrska elektrarna, uparjalnik, reaktorska posoda, vzdrževalna dela, metoda vrtnčastih tokov

Institute of metals and technology is an authorised supervising organization for construction, test operation, start, and operation of nuclear power plant. We present Institute activities needed for releasing expertise on repeated start of reactor after outage 1995 and fuel replacement in Nuclear Power Plant Krško. Non-destructive methods applied on steam generators and reactor vessel head penetrations are explained, as well as an example of determination of erosion/corrosion and acceptance criteria.

Key words: nuclear power plant, steam generator, reactor vessel, maintenance, eddy current testing

1. Uvod

Termoelektrarne, hidroelektrarne in jedrske elektrarne bistveno vplivajo na gospodarstvo vsake dežele. Posebno jedrska elektrarna je glede na potrebno zanesljivost in varnost obratovanja pod zelo detajlno tehnično, funkcionalno in varnostno kontrolo, kar velja za projektiranje, izbiro materialov, izgradnjo, obratovanje in vzdrževanje.

Republiška uprava za jedrsko varnost je vse te probleme rešila tako, da je za posamezna tehnična področja z odločbo pooblastila nekatere strokovne institucije. Pooblaščen inštitucije morajo imeti visoko usposobljen in izkušen kader ter sodobno opremo za strokovno in raziskovalno delo.

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije je z odločbo Republiške uprave za jedrsko varnost pooblaščen inštitucija za opravljanje naslednjih nalog s področja jedrske varnosti:

- preverjanje in zagotavljanje kvalitete kovinskih materialov na osnovi kemijskih, mehanskih, mikrostrukturnih in korozijskih preiskav
- zagotavljanje kakovosti in ustreznosti uporabe

kovinskih materialov za dele kovinskih konstrukcij, cevovodov in tlačnih posod.

2. Obratovanje elektrarne

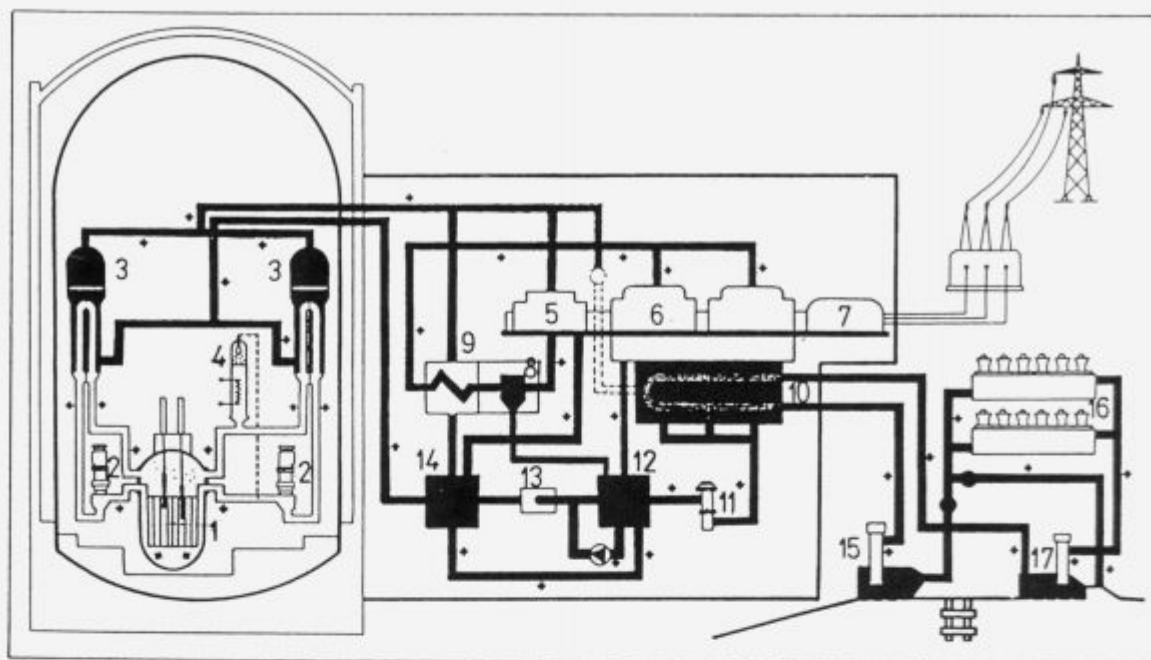
Jedrska elektrarna Krško z močjo na pragu 632 MW je opremljena z Westinghousovim lahkovodnim tlačnim reaktorjem toplotne moči 1882 MW in je pričela obratovati leta 1982. Shema elektrarne je prikazana na **sliki 1**.

Reaktor z dvema hladilnima zankama sestavljajo: reaktorska posoda, dva uparjalnika, dve črpalki reaktorskega hladila, tlačnik, cevovodi, ventili in pomožni reaktorski sistemi. Reaktorska posoda ima zunanji premer 3,69 m, višino 11,9 m in debelino 16,8 cm.

Uparjalnika proizvajata nasičeno paro, ki poganja turbino. Para ekspandira v visokotlačnem delu turbine do tlaka 0,8 MPa, nato pa se po izločitvi vlage in ponovnem pregrevanju ekspandira v dveh nizkotlačnih turbinah do tlaka 5 kPa. Višina uparjalnika je 20,6 m, masa 330 ton, celotna površina prenosa toplote je 4460 m², uparjalnik ima 4674 "U" cevi, zunanji premer teh cevi je 19,05 mm, debelina pa je 1,06 mm. Napajalne črpalke vračajo kondenzat iz turbine skozi grelnike v uparjalnika.

Jedrska elektrarna Krško je proizvedla v letu 1994 na sponkah generatorja 4.609.150 MWh in dobavila porabnikom 4.403.528 MWh električne energije.

¹ Dr. Jelena VOJVODIČ GWARDJANČIČ, dipl. inž. gradb.
Inštitut za kovinske materiale in tehnologije
61000 Ljubljana, Lepi pot 11



- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Reaktor | 10. Kondenzatorji |
| 2. Reaktorski črpalke | 11. Črpalka kondenzatorja |
| 3. Uparjalnika | 12. Nizkotlačni predgrelnik |
| 4. Tlačnik | 13. Napajalne črpalke |
| 5. Visokotlačni del turbine | 14. Visokotlačni predgrelnik |
| 6. Nizkotlačni del turbine | 15. Črpalka hladilne vode |
| 7. Generator elektr. toka | 16. Hladilne celice |
| 8. Ločevalnik par | 17. Črpalke hladilnih celic |
| 9. Predgrelnik pare | 18. Transformator |

Slika 1: Shema elektrarne
Figure 1: Functional diagram

3. Vzdrževalna in remontna dela

Vzdrževalna in remontna dela tečejo po letnih programih⁶, s čimer je zagotovljena visoka razpoložljivost elektrarne in varnost njenega obratovanja. Prednost imajo dela na primarnem sistemu elektrarne in na varnostni opreml.

Republiška uprava za jedrsko varnost izvaja s svojimi inšpektorji redni nadzor programa in samega izvajanja vzdrževalnih del. Pooblašene organizacije so dolžne sproti posredovati jedrski elektrarni Krško in pristojnim upravnim organom vse ugotovitve in zapazjenja med vzdrževalnimi deli, zagonskimi preizkusi ter preizkusi preverjanja doseganja projektno predvidenih parametrov.

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije je med zaustavitvijo JE Krško zaradi menjave goriva kontroliral čiščenje in vrednotenje poškodb reaktorskih vijakov in vijakov tlačnika, kontroliral odprtje, servisiranje in zaprtje vrat za vnos in iznos opreme v zadrževalni hram, kontroliral neporušne metode v primarnem in sekundarnem delu, nadzoroval meritve z metodo vrtničastih tokov na uparjalnikih in

penetracijah reaktorske glave ter spremljal in kontroliral erozijsko-korozijske procese. Inštitut je spremljal tudi izvedbo modifikacije - zamenjavo ventila za kontrolo pretoka tesnilne vode pri reaktorski črpalki^{1,2}.

V nadaljnjem bodo opisane meritve z metodo vrtničastih tokov na uparjalnikih in glavi reaktorske posode in primer ugotavljanja erozije/korozije na cevem kolenu.

4. Rezultati in diskusija

Namen letošnjega pregleda cevi uparjalnikov z metodo vrtničastih tokov je bil pregled aktivnih in na novo začepjenih cevi v celotni dolžini. Meritve je izvedel Inetec iz Zagreba⁵. Za ugotavljanje obsega poškodb sten cevi obeh uparjalnikov so bili izvedeni naslednji pregledi na prvem uparjalniku:

- pregled celotne dolžine cevi s sondo bobbin
- pregled cevni lokov z rotirajočo sondo
- pregled prehodnega področja z rotirajočo sondo
- pregled razširjenih delov cevi na hladni strani z rotirajočo sondo

- preverjanje bobbin indikacij, večjih od 1V in 45 % pri podpornih ploščah na topli strani
- pregled vstavljenih tulcev z rotirajočo sondo.

Na drugem uparjalniku so bili izvedeni:

- pregled celotne dolžine cevi s sondo bobbin
- pregled cevni lokov z rotirajočo sondo
- pregled prehodnega področja z rotirajočo sondo
- pregled razširjenih delov cevi na hladni strani z rotirajočo sondo
- preverjanje bobbin indikacij, večjih od 1V in 45 % pri podpornih ploščah na topli strani
- pregled vstavljenih tulcev z rotirajočo sondo.

Nadzor Inštituta za kovinske materiale in tehnologije je obsegal pregled relevantne dokumentacije, zlasti delovnih postopkov, dokumentov za zagotovitev kakovosti opreme, kvalifikacijo osebja in potrdil o kalibraciji instrumentov.

Ob pregledu v remontu v letu 1994 je bilo začepljenih nekaj dodatnih cevi z večkratnimi aksialnimi indikacijami v prehodnem območju, ki niso presežale dolžinskega kriterija. Le ta dopušča največjo dolžino aksialne razpoke v prehodnem področju 6,0 mm, sicer pa velja merilo čepljenja 45 % poškodbe stene cevi, z izjemo področja cevne stene. Obročne poškodbe so namreč dovoljene samo v cevni steni zunaj področij P* pod vrhom cevne stene.

Izvedeno je bilo tudi čepljenje prekomerno poškodovanih 88 cevi (prvi uparjalnik SG1:30, drugi uparjalnik SG2:58), ker so odkrite indikacije poškodbe presegale merila čepljenja. Največje število indikacij poškodb je bilo odkritih v področju podpornih plošč.

Opravljen je bila tudi zamenjava starih Westinghouse-ovih mehanskih čepov na topli strani uparjalnikov. Zamenjava mehanskih čepov je za mudno opravilo, njihova demontaža je mogoča le, če jih v celoti izrežemo iz cevi. Ker pa so mehanski čepi vstavljeni v cev približno 100 mm globlje, je mogoče nove čepe vstaviti, ne da bi odstranili stare, seveda pa med starim in novim čepom ne sme nastati zračni žep. Nastanek zračnega žepa preprečimo s prevrtanjem starega čepa s svedrom manjšega premera.

Tako je bilo na uparjalniku z oznako SG1 zamenjanih 64, na uparjalniku z oznako SG2 pa 81 čepov. Po opravljeni kontroli je bila začepljenost prvega uparjalnika 18,78 %, z upoštevanjem vpliva cevi s tulci pa je delež začepljenih cevi 18,87 %, začepljenost drugega uparjalnika je bila 15,67 %, povprečen delež začepljenih cevi v obeh uparjalnikih ob upoštevanju vpliva tulcev pa 17,27 %.

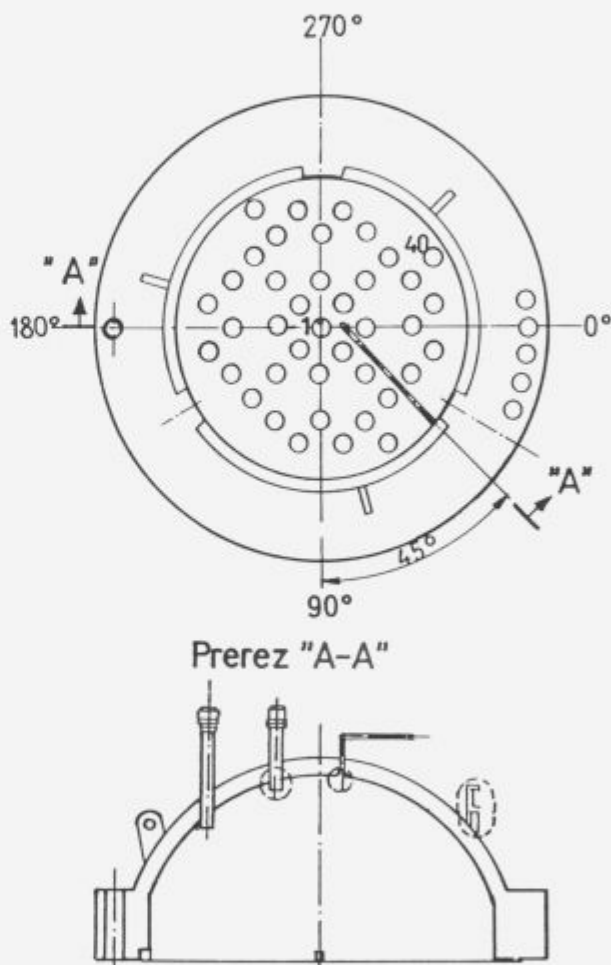
Posebnost letošnjega pregleda cevi je bila uporaba rotirajoče sonde MRPC GPP - Gimbaled Plus Point, ki ima posebno izvedbo navitij. Dve navitji sta postavljeni pravokotno ena na drugo, tako da tvorita obliko križa. Takšna izvedba navitij omogoča zaznavanje vzdolžnih in obodnih indikacij poškodb. Dodatna prednost te sonde pa je gibljiva glava, ki omogoča boljše prilagajanje sonde obliki cevi. S to sondo je bil opravljen pregled tulcev, vstavljenih v cevi v letu 1993, uporabljena je bila tudi sonda I-COIL, ki je omogočila dobre rezultate že v letu 1994 pri pre-

gledu tulcev na dveh ceveh, pri katerih so v letu 1993 ugotovili poškodbe v zvaru.

Poškodba na tulcih ni bilo ugotovljenih. Potrebno pa je bilo začepiti šest cevi z vgrajenimi tulci zaradi prekomerne poškodovanosti stene cevi na drugih mestih.

Neporušna metoda na podlagi vrtničastih tokov pa je bila uporabljena tudi za kontrolo zvara med *reaktorsko glavo in penetracijo*. Pregledanih je bilo vseh 40 penetracij, ki so prikazane na **sliki 2**.

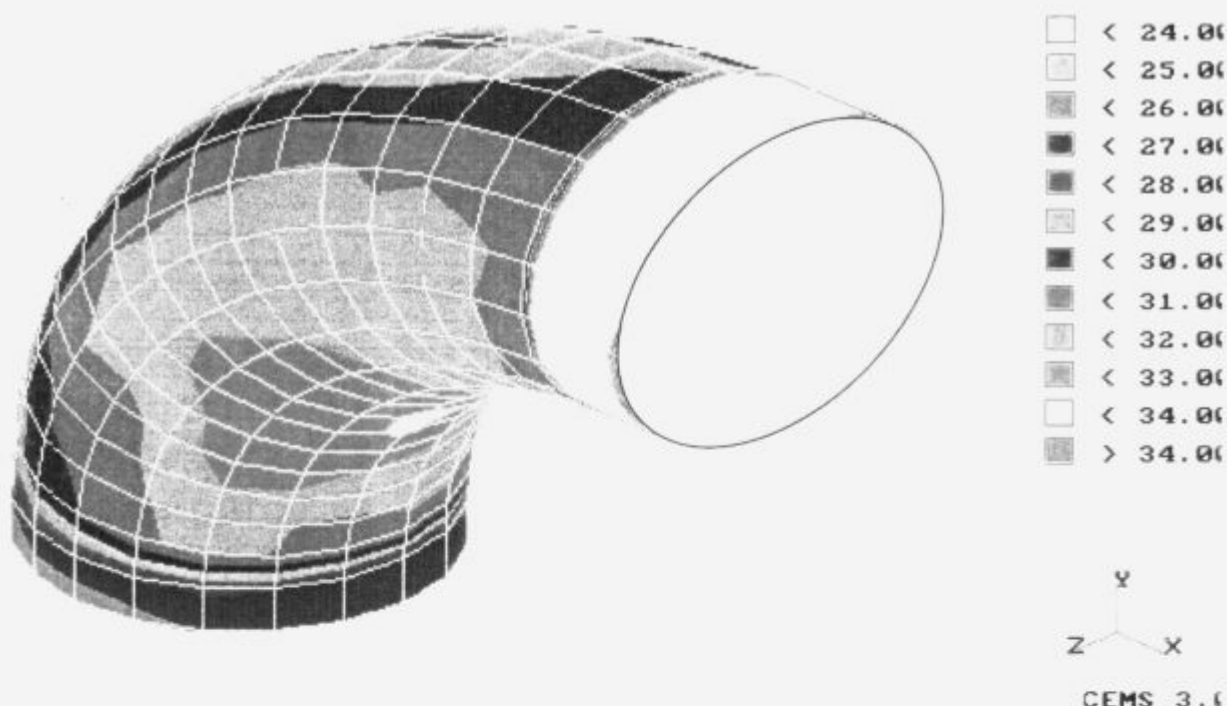
Meritve je opravilo podjetje ABB-Reaktor GmbH, Mannheim¹⁰. Pri pregledu ni bilo ugotovljenih indikacij, večjih od 5V. Ugotovljene so bile le manjše površinske indikacije z amplitudami 3 V, 2,44 V, 3,46 V, 2,27 V in 2,62 V.



Slika 2: Shema glave reaktorske posode s penetracijami
Figure 2: Scheme of reactor vessel head penetrations

Kot zadnje je naveden primer ugotavljanja erozije/korozije na kolenu debeline 26,2 mm. **Slika 3** prikazuje 3D sliko preiskane komponente.

Obdelava meritev je bila izvedena po programu CEMS³. Meritve debeline sten in ultrazvočna kontrola je bila izvedena z digitalnim merilnikom debeline 26 DL Panametrics in ultrazvočnim aparatom USK 7 Krautkraemer po ustreznih delovnih postopkih.



Slika 3: 3 D slika preiskane komponente
Figure 3: 3 D figure of the inspection component

Izmerjene vrednosti so bile z merilnika direktno prenesene v računalniško bazo podatkov in obdelane po preje navedenem programu. Rezultati meritev so bili vrednoteni na osnovi razmerja med dopustno in najmanjšo izmerjeno debelino stene komponente. Pregledanih je bilo 61 komponent.

5. Sklep

Na podlagi strokovnih ocen ter analize opravljenih preskusov ugotavljamo, da so bila remontna dela in menjava goriva opravljena v skladu z veljavno zakonodajo, odobrenimi postopki in dobro inženirsko prakso. Zato pogoji, določeni v tehničnih specifikacijah jedrske elektrarne Krško, niso spremenjeni, kar s stališča jedrske varnosti omogoča obratovanje teh sistemov v skladu s projektnimi zahtevami.

Potrebno bo uparjalnika v doglednem času zamenjati, ker število začepjenih cevi narašča in se približuje veljavni dopustni meji obratovanja jedrske elektrarne s polno močjo.

6. Literatura

¹ Zbirna strokovna ocena remonta in menjave goriva 1995 v NE Krško, *Poročilo Elektroinštituta Milan Vidmar*, 1995

² Zbirna strokovna ocena remontnih del, posegov in preizkusov na pomembnejših sekundarnih sistemih in komponentah 1995 v NE Krško, *Poročilo Elektroinštituta Milan Vidmar*, 1995

³ CEMS Version 3.0 Corrosion - Erosion Monitoring System, Westinghouse Electric Corporation

⁴ Priročnik za zagotovitev kakovosti Inštituta za kovinske materiale in tehnologije, Rev. 2, 1994

⁵ Inspection Report of Eddy Current Testing of Nuclear Power Plant Krško Steam Generator 1 and 2 - ISI 95, *Sklepno poročilo štev. 1/3, 2/3, 3/3, Inetec*, 1995

⁶ JE Krško, Remont 95, *Informativni priročnik*, 1995

⁷ NE Krško, *Standard Technical Specification*, Rev. 41

⁸ 10 CFR 50 App. B, *Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Fuel Reprocessing Plants*, ANSI/ASME/NQA

⁹ *Uradni list štev. 62/84*, Zakon o varstvu pred ioniziranimi sevanji in posebnih varnostnih ukrepov pri uporabi jedrske energije

¹⁰ *Preliminary Report 905 RDB 116*, RPV Head Penetration Inspection Krško, ABB Reaktor GmbH Mannheim, 1995

¹¹ ISI - 5.301 *General Procedure for Eddy Current Inspection of Steam Generators Tubes*, Nuklearna elektrarna Krško