

RAZPOKE ODKRITE PRI MEDOBRATOVALNEM PREGLEDU REAKTORSKE POSODE IN OCENA NJIHOVE SPREJEMLJIVOSTI

THE FLAWS DETECTED BY IN-SERVICE INSPECTION IN REACTOR PRESSURE VESSEL AND ASSESSMENT OF THEIR ACCEPTABILITY

DARKO KOROŠEC¹, J. VOJVODIČ TUMA²

¹Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost, Vojkova 59, 1000 Ljubljana

²IMT, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Predpis, ki obravnava medobratovalno preizkušanje tlačnih posod jedrskih elektrarn (ASME-Pressure Vessels and Boilers, XI Rules for Inservice Inspection), se upošteva tudi pri periodičnih pregledih reaktorske posode v jedrski elektrarni Krško. Reaktorska posoda je ena izmed najbolj pomembnih sestavin primarnega sistema jedrske elektrarne tlačnovodnega tipa. V članku so opisane glavne zahteve standarda ASME glede določanja vrste in oblike razpok, ki se lahko pojavijo v reaktorski posodi. Neporušne preiskave reaktorske posode se izvajajo v glavnem z uporabo ultrazvočne tehnike. Navedena so glavna merila sprejemljivosti napak. Opisani so najpomembnejši rezultati, ugotovljeni pri zadnjem medobratovalnem pregledu reaktorske posode v jedrski elektrarni Krško.

Ključne besede: medobratovalno preizkušanje, reaktorska posoda, razpoke, ASME

By the ASME-Pressure Vessels and Boilers Code, Sec. XI and its specific requirements periodic nondestructive examination of the reactor pressure vessel is required. Reactor pressure vessel is one of the most important pressure boundaries in the pressurized water reactor type. In the present paper the ASME XI code requirements about proper flaw determination regarding their size are described. The nondestructive examination on reactor pressure vessel is performed mainly using ultrasonic technique. The results about most important findings during last inservice inspection of the reactor pressure vessel in nuclear power plant Krško are shortly described.

Key words: In-service inspection, reactor pressure vessel, flaws, ASME

1 REAKTORSKA POSODA JEDRSKE ELEKTRARNE KRŠKO

Reaktorska posoda tlačnovodne jedrske elektrarne je ena izmed najpomembnejših sestavin takega tipa jedrske elektrarne. Podvržena je več vrstam obremenitev (termomehanskim, nevtronskemu fluksu, staranju), njena morebitna degradacija zaradi obratovalnih tranzientov pa pomeni najresnejšo omejitev za nadaljnje varno obratovanje. Obratovalni tranzienti so take spremembe tlaka in temperature, ki so drugačne od normalno predvidenih projektnih vrednosti. V materialu reaktorske posode lahko nastopijo taka napetostna stanja, ki povzročijo rast obstoječih razpok. Periodično pregledovanje integritete materiala in zvarov reaktorske posode je eno najpomembnejših opravil medobratovalnih preizkusov. Medobratovalni preizkusi so tisti, ki jih določa jedrska zakonodaja in se opravljajo med rednimi letnimi zaustavitvami elektrarne zaradi menjave goriva. Takrat je tudi reaktorska posoda, ki je brez sredice (goriva), dostopna za pregled z neporušno metodo - ultrazvokom. Medobratovalni preizkusi nam rabijo za oceno stanja degradiranosti pregledovane sestavine.

Značilnosti reaktorske posode:

- cilindrični zvarjenec z aksialnimi in radialnimi zvari
- polkrožno dno z odprtini za sredično instrumentacijo

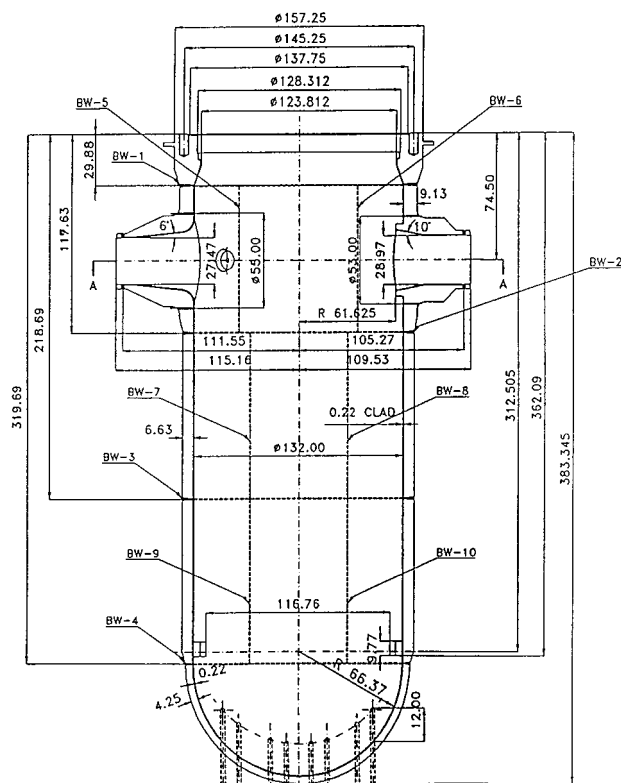
- polkrožni pokrov z vodili za regulacijske palice za kontrolo reaktivnosti
 - prirobnica za pritrditev polkrožnega pokrova s stojnimi vijaki
 - privarjene šobe za vstop in izstop primarnega hladila
 - osnovni material posode je Mn-Mo-Ni jeklo SA 533 Gr.B, Cl.1
 - notranjost je navarjena z oblogo iz nerjavnega jekla
- Slika 1** prikazuje prerez reaktorske posode v NE Krško (dimenzije so v palcih).

Med remontom v maju 1995 je bila reaktorska posoda jedrske elektrarne v Krškem skladno z zahtevami standarda ASME (sekcija XI, Inservice Inspection) pregledana z ultrazvočno metodo in vizualno.

2 CILJI PREGLEDA

Bistven namen periodičnega medobratovalnega pregleda reaktorske posode je:

- ugotoviti stanje notranje površine in predvsem razpoke v zvarjenih spojih
- ugotoviti stanje notranje površine glede korozijske degradacije
- ugotoviti morebitne nanose korozijskih produktov na notranji površini



Slika 1: Reaktorska posoda
Figure 1: Reactor Pressure Vessel

- potrditi, da je reaktorska posoda primerna glede na svoje stanje za nadaljnje varno obratovanje.

Ultrazvočni pregled je bil izveden s posebno daljinsko vodeno pripravo s posebnimi ultrazvočnimi glavami.

Zahteve standarda ASME, Sec.XI, glede sprejemljivosti razpok v reaktorski posodi jedrske elektrarne temeljijo predvsem na ugotovljeni geometriji razpoke in njeni legi glede na celotno debelino preiskovanega mesta.

Vrste razpok po tem standardu so v več členih definirane kot:

- ravninske
- laminarne
- linijske.

Vse vrste razpok so lahko površinske ali pa so v notranjosti materiala. Zaradi zahtev po konzervativnem obravnavanju razpok navedeni standard predpisuje korekcijske faktorje, ki definirajo napake kot površinske.

Glede na debelino stene reaktorske posode (t), globino razpoke (a) in njeno dolžino razpoke (l) so v omenjenem standardu tabelarično obdelana merila sprejemljivosti ugotovljene razpoke glede na:

- debelino stene reaktorske posode
- vrsto osnovnega materiala
- kategorijo zvarjenega spoja glede na obremenitveno pomembnost
- razmerje globine razpoke glede na njeno dolžino (a/l)

- procentualno globino, ki jo je razpoka dosegla glede na celotno debelino stene reaktorske posode (a/t) v %

Da bi lahko po izvedbi periodičnih meritev integritete notranjosti reaktorske posode sprejeli sklep, da ugotovljene razpoke ne pomenijo nevarnosti za nadaljnje obratovanje ob upoštevanju obratovalnih omejitev, je treba:

- upoštevati omejitve, ki jih predpisuje standard ASME XI (člen IWB 3500)
- upoštevati spremembe osnovnih mehanskih lastnosti materiala reaktorske posode zaradi obratovalnega staranja (vpliv termomehanskih obremenitev in premik temperature ničelne žilavosti (RT_{NDT}) k višjim temperaturam zaradi vpliva nevtronskega fluksa in s tem povezanim znižanjem energijskega praga, ki ga je material še sposoben sprejeti)
- upoštevati vpliv cikličnih obremenitev iz obratovalne zgodovine in s tem povezano možnost utrujenostne rasti obstoječih razpok

3 ANALITIČNA EVALVACIJA NAPAK REAKTORSKE POSODE

V primeru, da ena ali več odkritih indikacij presega merila dopustnosti po navedenem standardu ASME IWB-3500, je treba izvesti dodatno analitično evalvacijo sprejemljivosti teh napak (razpok), to je, lomnomehansko analizo.

Če rezultati medobratovnih preizkusov ne omogočajo natančnejše določitve vrste in dimenzije napake, je treba upoštevati napako glede na bolj konzervativna merila.

Merila sprejemljivosti napak, ki presegajo osnovna merila sprejemljivosti se v osnovi delijo na dve skupini:

- merilo velikosti napake (razpoke): največja izračunana globina, do katere bi ugotovljena razpoka v naslednji obratovalni periodi zrasla (a_f), mora biti manjša kot desetina globine minimalne kritične globine razpoke (a_c), ki je izračunana za normalne obratovalne razmere:

$$a_f < 0,1 a_c$$

- merilo dejanskega obratovalnega faktorja intenzitete napetosti:

dejanski faktor intenzitete napetosti K_I mora biti manjši (pri normalnih obratovalnih razmerah, pri preiskusnih pogojih in pri povečani pozornosti) kot še dopusten faktor intenzitete napetosti, pri katerem še nastopi zaustavitev rasti razpoke pri določeni obratovalni temperaturi K_{Ia}

$$K_I < K_{Ia} / 2^{1/2}$$

Za nezgodna obratovalna stanja in tista v sili pa je gornji pogoj zaostren in mora veljati:

$$K_I < K_{Ia} / 10^{1/2}$$

Dejanski faktor intenzitete napetosti K_I ne sme preseči K_{Ia} , ker se v nobenem obratovalnem stanju ne sme pričeti rast razpoke.

4 REZULTATI MEDOBRATOVALNEGA PREGLEDA REAKTORSKE POSODE

Posebna pozornost med zadnjim medobratovalnim pregledom reaktorske posode je bila posvečena radialnim in aksialnim zvarom cilindričnega dela reaktorske posode in pa zvarom, ki spajajo priključke obeh vej (hladne in vroče) cevovoda primarnega hladila.

Na **sliki 1** so zvari v cilindričnem delu reaktorske posode (področje sredice reaktorja) označeni z BW-3, BW-7 in BW-8.

Pregled je potekal z daljinsko vodeno napravo, ki je imela več ultrazvočnih glav.

Rezultati pregleda teh zvarov so pokazali, da ni razpok, ki bi presegale predpisana merila po standardu ASME.

Primerjava ugotovljenih indikacij v letu 1995 s predhodnimi pregledi reaktorske posode v letu 1992 je pokazala, da v področju zvarov ni razpok, ki bi pokazale dimenzijski prirast razpok v vmesnem času obratovanja.

Indikacije, odkrite pri pregledu zvara BW-3, so bile najdene v volumnu zvara in področju prevarjenega osnovnega materiala in so najverjetneje nastale že v fazi izdelave reaktorske posode in niso posledica obratovanja.

Tri indikacije obodnega zvara BW-3 so bile izmerjene s 600 ultrazvočno glavo in so imele naslednje parametre:

Št. napake	s	a/t (%)	a/t dopustno	a/l (max.0,5)	Max.ampl. (% DAC)
1	0,81	0,7	2,9	0,15	26%
2	0,78	1,4	2,2	0,05	36%
3	2,03	0,6	2,5	0,12	50%

DAC: Distance - Amplitude Curve, krivulja umerjanja ultrazvočne naprave

Nobena indikacija ni bila na površini pregledovanega zvara.

Dopustne vrednosti predpisuje ASME IX v členu IWB-3510-1.

Pomemben je korekcijski faktor s, ki ga navedeni standard predpisuje za primer, ko so napake pod površino pregleda. Z lomnomehanskega stališča je napaka, ki

se širi od notranje površine reaktorske posode proti notranjosti materiala najbolj neugodna, zato s tem faktorjem notranjo napako prikažemo in upoštevamo kot površinsko.

Iz gornje tabele je razvidno, da največja razpoka v obodnem zvaru BW-3 doseže le 63,6% dopustne vrednosti. Vse napake v drugih zvarih so pod pragom poročanja ali pa manjše kot zgoraj navedene.

Prav tako so indikacije pri drugih zvarih cilindričnega dela reaktorske posode, ki po standardu ASME niso reportabilne (torej so premajhne), verjetno nastale že v fazi varjenja pri izdelavi zaradi termomehanskih napetosti ali manjših vključkov. Napake, nastale pri izdelavi so reportabilne, to pomeni, da se jih spremlja glede na njihovo morebitno rast, niso pa take velikosti, da bi bile kritične s stališča lomne mehanike in bi jih bilo potrebno sanirati.

5 SKLEP

Medobratovalni pregledi reaktorske posode so zelo pomembni. Rezultati namreč pokažejo, ob upoštevanju zanesljivosti pregleda, kakšno je stanje kritičnih mest reaktorske posode. Vsaka reaktorska posoda jedrske elektrarne je podvržena staranju zaradi vplivov obratovalnih dogodkov in nevtronskega fluksa. V primeru tranzientov z varnostnim vbrizgavanjem za hitro ohlajitev sredice reaktorja je smiselno obravnavati največje odkrite razpoke bolj detajlno z lomnomehanskega stališča, saj so faktorji intenzitete napetosti v konicah razpok takrat največji.

Tudi v normalnih obratovalnih razmerah je pri ohlajanju ali pa segrevanju reaktorja nujno dosledno upoštevanje dopustnih hirosti ohlajanja ali segrevanja pri danem tlaku primarnega hladila. Razpoke in pa zmanjševanje žilavosti osnovnega materiala in zvarov reaktorske posode zaradi nevtronskega fluksa sta dve dejstvi, ki bistveno vplivata na integriteto reaktorske posode tlačno-vodne jedrske elektrarne in s tem neposredno na njeno varno obratovanje.

6 LITERATURA

- ¹ ASME Code: Boilers and Pressure Vessels, Section XI, Rules for In-service Inspection, 1992
- ² Krško NPP Inspection Report for the Reactor Vessel Ultrasonic and Visual Examinations, INETEC Zagreb, Maj 1995