

VIZUALNA KONTROLA REAKTORSKE GLAVE V NUKLEARNI ELEKTRARNI KRŠKO

VISUAL INSPECTION OF THE REACTOR HEAD AT THE KRŠKO NUCLEAR POWER PLANT

Roman Celin¹, Jelena Vojvodič Tuma¹, Aleš Vučajnk², Vladimir Zado³

¹Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, Ljubljana

²Nuklearna elektrarna Krško, Vrba 12, Krško

³INETEC, Koturaška 51, Zagreb
roman.celin@imt.si

Prejem rokopisa - received: 2002-11-20; sprejem za objavo - accepted for publication: 2002-11-27

V Nuklearni elektrarni Krško je bil med remontom 2002 opravljen vizualni pregled reaktorske glave na podlagi Nuclear Regulatory Commission Bulletin 2001-01 "Circumferential cracking of reactor pressure vessel head penetration nozzles". Namen pregleda je bil odkriti morebitne sledove uhajanja reaktorskega hladila. Posledica uhajanja reaktorskega hladila so lahko ostanki kristalov bora na kontroliranih površinah. Za pregled je bila uporabljena kombinacija direktne in indirektno vizualne kontrole. Direktni način vizualne kontrole je bil izveden na dostopnih površinah reaktorske glave in v območju nizke stopnje sevanja. V območju visoke stopnje sevanja in na nedostopnih površinah sta bila uporabljena endoskop in daljinsko vodeni videosistem visoke ločljivosti. Rezultati pregleda so bili dokumentirani z digitalnim fotoaparatom in videoposnetkom. Pri pregledu ni bilo odkritih ostankov reaktorskega hladila ali drugih nedopustnih indikacij.

Ključne besede: reaktorska glava, vizualna kontrola, endoskop, indikacija

During the 2002 shutdown at the Krško nuclear power plant visual inspection of a reactor-vessel head was carried out according to the Nuclear Regulatory Commission Bulletin 2001-01 "Circumferential cracking of reactor pressure vessel head penetration nozzles". The goal of the inspection was to find any traces of reactor-coolant leakage, which are usually found in the form of boric acid crystals. A combination of direct and indirect visual inspection was used. Direct visual inspection was used for easily accessible surfaces of the reactor vessel head with a low level of radiation. For areas with a high level of radiation and inaccessible surfaces the inspection was performed with an endoscope and a high-resolution remote-controlled video system. The results of all the visual inspections are stored on photographs and video tape. During the inspection no traces of reactor coolant or other unacceptable indications were found.

Key words: reactor vessel head, visual inspection, endoscope, indication

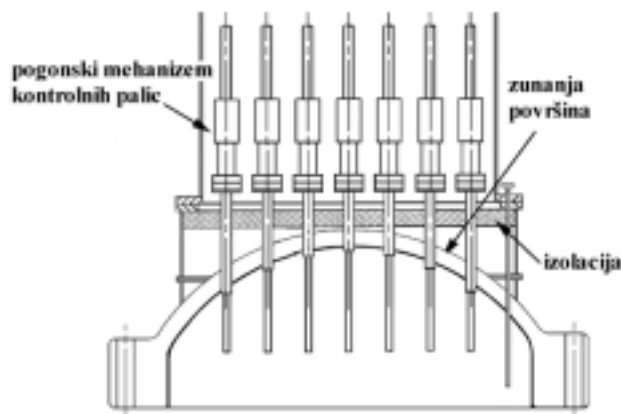
1 UVOD

Vizualna kontrola je najstarejša neporušitvena metoda preiskave materiala in ima izjemno široko uporabo. Namen vizualne kontrole je odkrivanje nepravilnosti, napak in odmikov od predpisanih mer in oblik na kontroliranih površinah. Predmet kontrole so lahko različne varjene konstrukcije, kovani izdelki, strojno obdelane površine ali ulitki. Najpogostejše je vizualna kontrola predhodnica drugih neporušitvenih metod pregleda.

Glede na izvedbo delimo vizualno kontrolo na direktno in indirektno. Standardi opredeljujejo direktno vizualno kontrolo kot pregled s prostimi očmi. Z uporabo dodatnih pripomočkov prehaja vizualna kontrola v indirektno metodo pregleda. Pripomočki pri vizualni metodi pregleda so imajo lahko enostavno konstrukcijo, kot so lupe, ogledala in različna merila. Bolj tehnološko izpopolnjeni pa so boroskopi, endoskopi, fotoaparati in daljinsko vodeni sistemi z videokamero, ki omogočajo analizo zbranih podatkov po opravljeni kontroli.

2 VIZUALNA KONTROLA

V jedrskih elektrarnah je vizualna kontrola zelo razširjena metoda nadzora stanja površin komponent. Kontrola se izvaja v skladu z letnimi inšpekcijskimi programi. Najobširnejši pregledi se izvajajo na reaktorski posodi, reaktorski glavi (**slika 1**), primarnih črpalkah in uparjalnikih. Zaradi visoke stopnje ionizirajočega



Slika 1: Reaktorska glave z vbodi ohišja kontrolnih palic

Figure 1: Reactor vessel head with control-rod housing penetrations



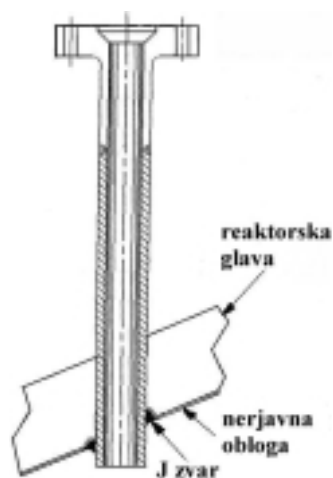
Slika 2: Poškodba reaktorske glave v elektrarni Davis Besse
Figure 2: Damage on Davis Besse reactor vessel head

sevanja je pregled notranjih površin primarnega kroga jedrske elektrarne zahtevna naloga. Pri tem se uporablja indirektna metoda z uporabo daljinsko vodenih manipulatorjev z vgrajeno videokamero. Pogoj za uspešno opravljeno vizualno kontrolo pa je ustrezno usposobljeno osebje, ki to kontrolo izvaja. Skica reaktorske glave z izolacijo in vbodi kontrolnih palic je prikazana na **sliki 1**.

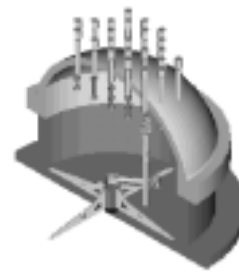
V ASME Section XI so definirane tri različne vrste vizualne kontrole:

- VT-1, za odkrivanje nezveznosti in nepravilnosti na površinah (razpoke, mehanska obraba, korozija in erozija)
- VT-2, za odkrivanje puščanja komponent pod tlakom (ostanki kristaliziranega bora reaktorskega hladila)
- VT-3, za določevanje splošnega stanja cevovodov ter njihovih blažilnikov in podpor.

Nuclear Regulatory Commission (NRC) je izdal Bulletin 2001-01 "Circumferential cracking of reactor pressure vessel head penetration nozzles". Bulletin 2001-01 je bil izdan zaradi odkritja poškodb reaktorskih glav v nekaterih jedrskih elektrarnah v ZDA. Poškodbe so bile odkrite z vizualno kontrolo. Na **sliki 2** je prikazan primer poškodbe na zunanji površini reaktorske glave v



Slika 3: Skica vboda v reaktorsko glavo
Figure 3: Control-rod housing penetration



Slika 4: Manipulator z vgrajeno videokamero
Figure 4: Manipulator with video camera

jedrski elektrarni Davis Besse. Poškodba je nastala zaradi ostankov reaktorskega hladila, ki so se pet let nabirali okoli vboda ohišja kontrolnih palic.

Zaradi dogodkov v ZDA in zahteve NRC (Bulletin 2001-1) je bil v Nuklearni elektrarni Krško med remontom 2002 opravljen vizualni pregled reaktorske glave. Namen pregleda zunanjih in notranjih površin reaktorske glave je bil:

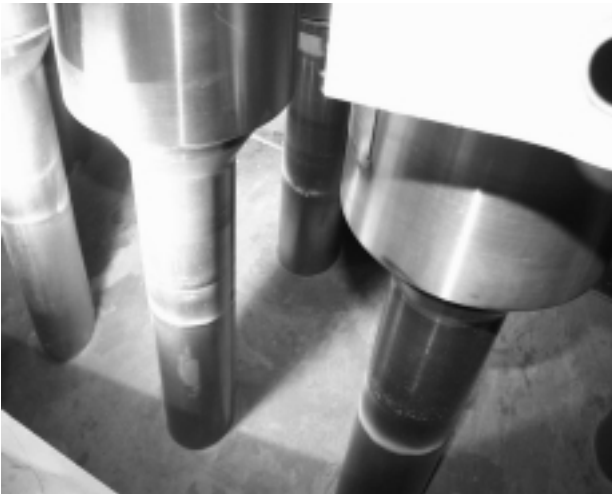
1. odkriti sledove uhajanja reaktorskega hladila (ostanke kristalov bora) z vizualno kontrolo (VT-2) na zunanjih površinah
2. opraviti splošni vizualni pregled stanja zunanje površine reaktorske glave (VT-3)
3. opraviti indirektni vizualni pregled J-zvarov in njihove toplotno vplivane cone (VT-1), označene na **sliki 3**.

3 POTEK IN REZULTATI VIZUALNE KONTROLE

Pri pregledu zunanjih površin reaktorske glave je bila uporabljena kombinacija direktne ter indirektno vizualne kontrole. Ta je bila dokumentirana z digitalnimi fotografijami. Indirektna vizualna kontrola nedostopnih vbodov in zunanjih površin reaktorske glave pa je bila



Slika 5: Površina reaktorske glave okoli kontrolnih palic št. 10, 31, 23, 18 in 22
Figure 5: Reactor surface around control rods 10, 31, 23, 18 and 22



Slika 6: Površina reaktorske glave okoli kontrolnih palic št. 10, 14, 23 in 18

Figure 6: Reactor surface around control rods 10, 14, 23 in 18

izvedena z endoskopom s širokokotnim objektivom. Ta del pregleda je dokumentiran z videoposnetkom.

Z notranje strani reaktorske glave v območju močnega sevanja je bila opravljena indirektna vizualna kontrola. Ta je zajemala pregled površin vseh 40 J-zvarov (**slika 3**) in njihovih toplotno vplivanih con. Ta del kontrole je opravilo podjetje Inetec z daljinsko vodenim manipulatorjem in videosistemom visoke ločljivosti. **Slika 4** prikazuje položaj manipulatorja pod reaktorsko glavo.

Vizualna kontrola je bila izvedena v skladu z delovnimi postopki NEK in podjetja Inetec. Na **slikah 5** in **6** je prikazan del zunanje površine reaktorske glave NEK.

Na **sliki 5** so vidna vodila kontrolnih palic št. 10, 31, 23, 18 in 22. Na stiku s površino reaktorske glave ni bilo opaziti nedopustnih indikacij.

Slika 6 prikazuje površino reaktorske glave okoli kontrolnih palic št. 10, 14, 23 in 18.

Na zunanjih površinah reaktorske glave je bila opravljena direktna vizualna kontrola na 17 vbodih od skupaj 40. Pregled je bil dokumentiran s skupaj 29 digitalnimi fotografijami. Indirektna vizualna kontrola preostalih vbodov pa je bila dokumentirana z videoposnetki. Analiza fotografij in videoposnetka je pokazala, da na zunanjih površinah vbodov reaktorske glave ni sledov kristalov bora, ki bi kazal na uhajanje reaktorskega hladila. Na površini reaktorske glave so bili opaženi tujki, ostanki odmika izolacije. Notranjost reaktorske glave je bila pregledana z daljinsko vodenim videosistemom. Analiza videoposnetkov površin J-zvarov in toplotno vplivane cone ni pokazala nedopustnih indikacij. Vizualni pregled reaktorske glave je pokazal, da je površina le-te v dobrem stanju.

4 SKLEP

Vizualna kontrola je najbolj pogosto uporabljena neporušitvena metoda pregleda. Pogosto se uporablja v kombinaciji z drugimi neporušitvenimi preiskavami. Za uspešno izvedeno vizualno kontrolo mora biti osebje ustrezno usposobljeno. V NEK sta bila med remontom 2002 uporabljena direktni in indirektni način vizualne kontrole površin reaktorske glave. Analiza digitalnih fotografij in videoposnetkov ni odkrila nedopustnih indikacij.

5 LITERATURA

¹ ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components (Section XI), Ed. 1992

² ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Nondestructive Examination (Section V), Ed. 1992