

SODI ZA SHRANJEVANJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV

RADIOACTIVE-WASTE CONTAINERS

¹Roman Celin, ¹Dimitrij Kmetič, ²Matjaž Gričar

¹Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Nuklearna elektrarna Krško, Vrbitna 12, 8270 Krško, Slovenija

roman.celin@imt.si

Prejem rokopisa - received: 2001-05-07; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-05-14

Inštitut za kovinske materiale tehnologije ter Nuklearna elektrarna Krško sta sodelovala pri preizkušanju lahkih in težkih sodov za radioaktivne odpadke. Pri izdelavi so bili upoštevani dokumenti Mednarodne agencije za jedrsko energijo (IAEA) ter tehnične specifikacije Nuklearne elektrarne Krško. Namen preizkušanja je bilo preveriti konstrukcijsko zasnovo sodov. Na sodih za radioaktivne odpadke sta bila opravljena statični in dinamični preizkus, prosti pad z višine 3 m, kontrola tesnosti, preizkus prebojnosti ter metalografske preiskave zvarjenega spoja vzorca, odvzetega s soda. V prispevku so predstavljeni postopki preizkušanja sodov in rezultati preizkusov.

Ključne besede: preizkušanje, radioaktivni odpadki, sodi

The Institute of Metals and Technology together with the Krško Nuclear Power Plant collaborated on the testing of light weight and heavy weight radioactive-waste containers. During the manufacturing process of the containers the documents and recommendations of the IAEA and the technical specifications of Krško Nuclear Power Plant were taken into consideration. The purpose of testing was to check the design and quality of the containers. The containers were subjected to a static and dynamic load, free-fall from a 3-m height, leak test, stack test and metallographic analysis of a welded joint taken from the container. In this paper the testing procedures and testing results are presented.

Key words: testing, radioactive waste, containers

1 UVOD

Jedrska elektrarna z vsemi prednostmi, ki jih ima v primerjavi s termoelektrarnami, hidroelektrarnami in plinskimi elektrarnami, zaradi tehnologije proizvodnje električne energije s seboj prinaša tudi problem radioaktivnih odpadkov. Pri delovanju jedrske elektrarne nastajajo trdni, tekoči in plinasti radioaktivni odpadki, ki zahtevajo obdelavo na način, ki varuje človekovo zdravje ter okolje.

Nizko in srednje radioaktivni odpadki so fisijski produkti, ki nastanejo ob cepitvi atomov v gorilnih elementih. Lahko nastanejo pri obsevanju (aktivaciji) korozijskih produktov, ali pa so posledica vzdrževalnih del na primarnih sistemih elektrarne (orodje, zaščitna oblačila in oprema). Odpadki nastanejo tudi pri projekt-nih spremembah v elektrarni (zamenjane kontaminirane komponente). Radioaktivni odpadek so tudi sredstva, uporabljena pri dekontaminaciji.

Za shranjevanje in transport radioaktivnih odpadkov se uporabljajo različni tovorki. Tovorek je embalaža, ki je napolnjena z radioaktivno vsebino. Znana je delitev tovorkov na več vrst glede na konstrukcijske zahteve in program preizkusov¹. Lahki in težki sod za radioaktivne odpadke, ki sta bila preizkušana pri proizvajalcu, sta bila opredeljena kot tovorka tipa A. To je embalaža, cisterna ali sod, ki vsebuje radioaktivno snov z aktivnostjo, ki ni večja od A_1 , če gre za radioaktivno snov v posebni obliki, ali večja od A_2 , če ne gre za radioaktivno snov v

posebni obliki. Radioaktivna snov v posebni obliki je trdna, nedrobljiva ali tista, ki je tesno zaprta v kapsuli.

Vrednosti za A_1 in A_2 so za nekatere radionukleide podane v **tabeli 1**.

Tabela 1: Mejne vrednosti aktivnosti A_1 in A_2 nekaterih radionukleidov za sod tipa A¹

Table 1: Radionuclide activity A_1 and A_2 for type A package¹

št.	element in atomsko število	simbol radionukleida	A_1 (TBq)	A_2 (TBq)
1.	ogljik (6)	¹¹ C	1	0,5
		¹⁴ C	40	2
2.	kobalt (27)	⁵⁵ Co	0,5	0,5
		⁵⁶ Co	0,3	0,3
		⁶⁰ Co	0,4	0,4
3.	cezij (55)	¹²⁹ Cs	4	4
		¹³² Cs	1	1
4.	iridij (77)	¹⁹² Ir	1	0,5
5.	uran (92)	²³⁰ U	40	1×10^{-2}
		²³² U	3	3×10^{-4}
		²³⁴ U	10	1×10^{-3}

Aktivnost radioizotopa je hitrost razpada atomov oziroma število razpadov v enoti časa. Enota je bekerel (Bq). Tako je 1 Bq en razpad na sekundo.

Zaradi prostorske omejenosti začasnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Nuklearni elektrarni Krško (NEK) je pozornost posvečena zmanjševanju količine in prostornine radioaktivnih odpadkov. S tem namenom je

NEK uvedla sistem obdelave odpadkov, ki nastanejo v obliki gošče pri predelavi tekočih odpadkov, in obdelavo izrabljenih smol ionskih izmenjevalnikov, ki so namenjeni obdelavi tekočin različnih sistemov NEK. Predelava gošče in smol izrabljenih ionskih izmenjevalnikov je poimenovana "In Drum Drying System (IDDS)". Samo ime pove, da gre za sušenje in redukcijo prostornine odpada, ki poteka v sodu. Pri sušenju se vlažna zrna ionskega izmenjevalnika osušijo. S takšnim načinom obdelave je doseženo tudi do 6-kratno zmanjšanje prostornine. Gošča, ki nastane kot produkt predelave tekočih odpadkov, pa se pri tem spremeni v suho trdno snov. V NEK tako napolnijo namesto 30 sodov z goščo sedaj samo en sod s trdno snovjo.

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije ter Nuklearna elektrarna Krško sta sodelovala pri preizkušanju lahkih in težkih sodov za radioaktivne odpadke. Študija je pokazala, da je najprimernejši material za izdelavo sodov nerjavno jeklo.³ Namen preizkušanja je bilo preveriti konstrukcijsko zasnovo sodov ter njihovo kvaliteto izdelave. Pri načrtovanju in izdelavi sodov so bili upoštevani predpisi Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA) ter tehnična dokumentacija Nuklearne elektrarne Krško.

Lahek sod mase 62 kg s prostornino 204,2 l je namenjen za shranjevanje predelane gošče. Težek sod mase 450 kg s prostornino 155,7 litra in debeline stene 30 mm je namenjen za shranjevanje posušenih smol ionskih izmenjevalnikov. Specifikacija zahteva preizkušanje sodov s simulirano vsebino predvidenih radioaktivnih odpadkov. Lahki sod je bil tako pred preizkusi napolnjen s 306 kg mivke, težki sod pa s 116 kg mivke. Razlika v konstrukciji je posledica različnih lastnosti radioaktivnih odpadkov (poreklo, gostota, aktivnost).

2 PREIZKUŠANJE SODOV

Preizkušanje sodov je glavni del postopka ugotavljanja njihove ustreznosti oziroma skladnosti sodov s podanimi zahtevami in specifikacijami. Konstrukcija tovorka (soda) mora biti taka, da lahko prenese vse predvidene okoliščine transporta in skladiščenja brez posledic, ki bi lahko pomenile večjo izgubo vsebine soda ali zmanjšanje učinkovitosti biološkega ščita.

Priporočila IAEA navajajo štiri različne načine za ugotavljanje ustreznosti tovorkov za radioaktivne odpadke:

1. neposredno preizkušanje prototipov tovorkov, ki so napolnjeni z vsebino s podobnimi fizikalnimi lastnostmi kot radioaktivna snov, ki je predvidena za shrambo
2. ocenjevanje lastnosti tovorkov na osnovi rezultatov že opravljenih preizkušanj, ki se ne razlikujejo bistveno po konstrukciji in namenu
3. ocenjevanje lastnosti z modelnim preizkusom
4. izračuni in drugi dokazni postopki, če se zanje dokáže, da so varni (zadosti konzervativni).

Pri proizvajalcu sodov sta bila tako preizkušena lahki in težki sod. Pri obeh sodih za radioaktivne odpadke sta bila opravljena statični in dinamični preizkus, prosti pad z višine 3 m, kontrola tesnosti, preizkus prebojnosti ter metalografske preiskave zvarjenega spoja vzorca odvzete s soda. Preizkušanje je bilo izvedeno v skladu navodilom z Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material¹:

- Preizkus tesnosti

V lahkem sodu je bil vzpostavljen nadtlak 0,2 bar v težkem sodu pa 0,5 bar. Oba soda sta bila postavljena v kad napolnjeno z vodo. Preizkus je trajal eno uro.

- Tlačni preizkus

Lahki in težki sod sta bila 24 ur tlačno obremenjena. Nanju je bil položen jeklen profil mase 1600 kg na lahki sod ter 3000 kg na težki sod.

- Statični preizkus

Lahki in težki sod sta bila dodatno obremenjena z utežmi mase 120 kg (lahki sod) in 150 kg (težki sod). Soda sta obremenjena z dodatnimi utežmi visela v zraku 4 ure.

- Dinamični preizkus

Pri dinamičnem preizkusu sta bila soda napolnjena z mivko. Dodatno sta bila obtežena s 45 kilogrami (lahki sod) oziroma s 65 kilogrami (težki sod). Z obema so bile izvedene podobne manipulacije kot pri transportu in skladiščenju v Nuklearni elektrarni Krško.

- Preizkus prostega pada

Pri preizkusih prostega pada sta bila lahki in težki sod za radioaktivne odpadke napolnjena z mivko, dvignjena na višino 3 m in spuščena na jekleno podlago, vgrajeno v betonsko ploščo. Preizkus prostega pada je bil na posameznem sodu opravljen večkrat, tako da je prišlo do padca obeh sodov v področju zvara plašča na robu dna, padca obeh sodov na plašč ter padca obeh sodov na pokrov. Vijaki na obeh pokrovi so bili priviti z momentnim ključem, z momentom privitja 50 Nm.

- Preizkus prebojnosti

Preizkus prebojnosti je bil izveden le na lahkem sodu, ki je v primerjavi s težkim sodom izdelan iz tanjše pločevine. Jeklana palica mase 6 kg in premera 35 mm je bila z višine 1 m spuščena na sredino pokrova in na plašč lahkega soda.

Preizkusi prebojnosti in prostega pada so bili izvedeni na prostem meseca decembra pri temperaturi zraka 5 °C. Zahteva pri zasnovi konstrukcije soda tipa A pa je upoštevanje temperatur med -40 °C in 70 °C.

3 REZULTATI PREIZKUSOV

Pri statičnem, dinamičnem in tlačnem preizkusu sodov za radioaktivne odpadke ni bilo opaziti poškodb ali deformacij, ki bi vplivale na njihovo tesnost. Pri preizkusih tesnosti na nobenem od preizkušanih sodov ni bilo opaziti puščanja preizkusnega medija na zvarih ali



Slika 1: Poškodbe površine lahkega sode po preizkusu prebojnosti z višine 1 m

Figure 1: Penetration test damage on the surface of the container



Slika 2: Padec težkega sode na rob privijačenega pokrova

Figure 2: Container after free-drop test

na sklopu sod-tesnilo-pokrov. Pri preizkusu prebojnosti je na mestih, kjer je jeklena palica udarila v sod, prišlo do deformacij pokrova in plašča sode. Z vizualno kontrolo (lupa) ni bilo odkritih nobenih razpok na mestu udara.

Pri preizkusih sodov s prostim padom je na mestu udarca sode na betonsko ploščo prišlo do deformacij plašča, dna sode in pokrova. Pri nobenem od preizkusov prostega pada ni prišlo do razsutja vsebine sode. Vizualni pregled deformiranih mest na sodih z lupo ni odkril razpok. Poškodbe na obeh sodih, povzročene pri preizkušanju so prikazane na **slikah 1 do 3**.

Metalografske preiskave vijaka za privijanje pokrova z oznako DG A2-70 so pokazale, da ima vijak mikrostrukturo, ki je ustrezna za avstenitno nerjavno jeklo AISI 316. Navoji vijaka so bili izdelani z valjanjem.

Iz plašča lahkega sode je bil izrezan vzorec vzdolžnega zvara za kemično analizo osnovnega materiala in metalografske preiskave zvarjenega spoja. Kemična



Slika 3: Poškodba lahkega sode pri padcu na rob v področju vzdolžnega zvara

Figure 3: Damage on the edge after free-drop test

analiza pločevine je pokazala setavo elementov: 0,018%C, 0,62%Si, 1,53%Mn, 0,013%P, 0,008%S, 16,64%Cr in 8,3% Ni, kar ustreza kvaliteti jekla AISI 304L.

Metalografske preiskave vzorca pločevine so pokazale, da ima le ta ustrezno velikost kristalnih zrn. V deponiranem materialu in v toplotno vplivani coni zvara pa ni bilo opaziti nobenih posebnosti. Pri izdelavi sode je tako bila uporabljena ustrezna tehnologija varjenja.

4 ZAKLJUČEK

Glavni cilj pri ravnanju in shranjevanju radioaktivnih odpadkov je varovanje človekovega zdravja in okolja. To lahko dosežemo:

- s konstrukcijo embalaže za shranjevanje, ki mora zagotoviti zaščito pred sevanjem in kontaminacijo
- z ustreznim načinom ravnanja z napolnjenimi sodi
- z izborom materiala sodov, ki mora biti mehansko in korozijsko odporen na vplive shranjenih produktov.

Preizkušanje sodov je poleg zagotavljanja kontrole kvalitete med izdelavo glavni korak pri ugotavljanju ustreznosti konstrukcijske zasnove z zahtevami, podanimi v navodilih Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. Oba omenjena sode, lahki za shranjevanje predelane gošče in težki za shranjevanje izrabljenih smol ionskih izmenjevalnikov, sta uspešno prestala vse opravljene preizkuse. Pri nobenem od preizkusov ni bil opažen raztros materiala iz sode ali opažena netesnost.

5 LITERATURA

- ¹ Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition (Revised), IAEA, Vienna
- ² B. Duhovnik, M. Šorli: Transport nizko in srednjeradioaktivnih odpadkov (Študija), Elektroprojekt, Ljubljana 1994

R. CELIN ET AL.: SODI ZA SHRANJEVANJE RADIOAKTIVNIH ODPADKOV

³L. Vehovar, M. Tandler: Izdelava strokovnega mnenja o vplivu produktov IDDS-a na hitrost korozije nerjavnega ali maloogljičnega konstrukcijskega jekla, IMT 1999

⁴IDDS Drum Modification, Project No. 238 - WP - S, Krško Nuclear Power Plant, SP G 386, Rev. 5, 1999

⁵Containers for Packaging of Solid and Intermediate Level Radioactive Wastes, Technical Reports Series No. 355, IAEA Vienna, 1993

⁶NEK ESD-TR-24/99: Analiza učinkovitosti notranjih zaščitnih oblog soda s posušenimi ionskimi izmenjevalniki, NEK 1999