

Observation

## POTREBA UVOĐENJA NADZORA RADIOAKTIVNOSTI U PROCESIMA PROIZVODNJE ČELIKA HRVATSKIH ČELIČANA I LJEVAONICA \*

Tahir SOFILIC<sup>1</sup>, Tihana MARJANOVIĆ<sup>1</sup> i Alenka RASTOVČAN-MIOČ<sup>2</sup>*Valjaonica cijevi Sisak d.o.o.<sup>1</sup>, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu<sup>2</sup>, Sisak, Hrvatska*Primljeno u lipnju 2005.  
Prihvaćeno u veljači 2006.

U posljednjih dvadeset godina zabilježen je značajan broj slučajeva radioaktivnog onečišćenja u metalurškim procesima, iako nije sigurno je li to posljedica porasta nekontroliranog odlaganja otpada koji sadržava radionuklide različitog podrijetla ili povećanog nadzora i kontrole radioaktivnosti u metalnom otpadu namijenjenom uporabi. Stoga su svjetski proizvođači metala pristupili sustavnom praćenju radioaktivnosti u procesima proizvodnje.

S obzirom na moguću prisutnost radioaktivnih elemenata u čeličnom otpadu, poluproizvodima i gotovim proizvodima domaće metalurške i metaloprerađivačke industrije, a na temelju iskustva najpoznatijih svjetskih i europskih proizvođača čelika, postalo je nužno i opravdano uvođenje sustava nadzora i kontrole radioaktivnosti u proizvodnim procesima hrvatskih proizvođača čelika.

Svrha ovog rada bila je upozoriti na potrebu uvođenja sustava za nadzor i praćenje radioaktivnosti u procesima proizvodnje čelika i čeličnih odljevaka te upoznati stručnjake u hrvatskim čeličanicama i ljevaonicama s mogućim rješenjima i postojećim sustavima.

Zbog nedostatka vlastitih normi i propisa kojima bi se regulirala kontrola uvoznoga čeličnog otpada, poluproizvoda (sirovi čelik, toplo valjana i hladno valjana traka), kao i gotovih proizvoda te vlastitog otpada, poluproizvoda i gotovih proizvoda, nužno je započeti s uvođenjem sustava za nadzor i praćenje radioaktivnosti u procesima proizvodnje čelika i čeličnih odljevaka koristeći se postojećim međunarodnim preporukama i propisima, sve dok se ne izgradi vlastiti sustav nadzora i ne donese odgovarajuća legislativa na razini RH.

**KLJUČNE RIJEČI:** čelični otpad, monitoring, radionuklid

Potpuno poznavanje fizikalnih i kemijskih svojstava čeličnog otpada koji kao sirovina u proizvodnim procesima čeličana i ljevaonica ima vrlo veliko značenje, danas podrazumijeva i poznavanje sadržaja radionuklida u ovome materijalu.

Naime, poznato je da pojedine primjese iz uloška elektropeći za vrijeme procesa proizvodnje čelika pri taljenju i rafinaciji potpuno prelaze u trosku (Ca, Al, Si, Ti) ili u plin (Zn, Cd), odnosno da neke samo djelomično prelaze u trosku (Mn, Cr, S, P) ili pak ostaju

u talini (Cu, Ni, Mo, Sn...). Manje je poznato da čelični otpad može sadržavati i primjese iz grupe radioaktivnih metala, i to najčešće <sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>192</sup>Ir, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th i <sup>241</sup>Am, koji se također sukladno svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima za vrijeme trajanja procesa proizvodnje čelika raspodjeljuju između čelične taline, troske i plina.

Radi sagledavanja problema moguće prisutnosti radioaktivnih elemenata u čeličnom otpadu, poluproizvodima i gotovim proizvodima metalurške

\*Preliminarni izvještaj prikazan na VI. simpoziju Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem, Stubičke Toplice, Croatia, 18.-20. travnja 2005.

\*Preliminary report presented at the 6th Symposium of the Croatian Radiation Protection Association with international participation, Stubičke Toplice, Croatia, 18-20 April 2005

i metaloprerađivačke industrije, a na temelju iskustva najpoznatijih svjetskih i europskih proizvođača čelika, nužno je i opravdano uvođenje sustava nadzora i kontrole prisutnosti radionuklida u proizvodnim procesima hrvatskih proizvođača čelika.

Kako je poslovna politika hrvatskih proizvođača čelika i čeličnih odljevaka usmjerena povećanju proizvodnje i izvoza ovih proizvoda na europsko tržište na kojem imaju status provjerenih, kvalitetnih i konkurentnih proizvoda, što nastoje i zadržati, obvezujuće je za sve sudionike u ovoj gospodarskoj grani poduzimanje odgovarajućih mjera u području nadzora i kontrole radionuklida kako u čeličnom otpadu namijenjenom proizvodnji sirovog čelika i čeličnih odljevaka, tako i u uvezenom sirovom čeliku namijenjenom preradi. Ova potreba proizlazi iz sve češćih zahtjeva europskog tržišta za potvrdom kvalitete proizvoda, tj. da on nije načinjen od sirovina koje sadržavaju radioaktivne tvari te tako i sam nije radioaktivan.

Svrha ovog rada bila je upozoriti na potrebu uvođenja sustava za nadzor i praćenje radionuklida u procesima proizvodnje čelika i čeličnih odljevaka u hrvatskim čeličanicama i ljevaonicama, kako bi se unaprijedio sustav upravljanja kvalitetom i okolišem bez kojeg se ne može zamisliti ni jedan suvremeni proizvođač čelika te se istodobno izvršile pripreme za sutrašnji nastup na europskom tržištu koje je sve zahtjevnije glede fizikalnih i kemijskih svojstava čelika i čeličnih proizvoda i sve češće zahtjeva dokaz o (ne)prisutnosti radionuklida u ovoj vrsti proizvoda.

## RADIONUKLIDI U ČELIČNOM OTPADU

Dostupni literaturni podaci upućuju na relativno velik broj zabilježenih slučajeva radioaktivnog onečišćenja čeličnog otpada namijenjenog uporabi u čeličanicama i ljevaonicama.

Zbog vrlo široke primjene (1) radioaktivnih elemenata u industriji, medicini, nuklearnoj tehnici, vojnoj industriji i sl. nastaju različite vrste radioaktivnog otpada u obliku odbačene opreme, koji na različite načine dospijeva u čelični otpad i onečišćuje ga. Kako se kod pripreme čeličnog otpada za potrebe čeličana i ljevaonica primjenjuju različite metode drobljenja, prešanja i rezanja, postoji velika opasnost da eventualno prisutni odbačeni dijelovi opreme koji sadržavaju radionuklide budu na ovaj način uništeni, a sadržani radionuklidi dispergirani, što može predstavljati veliku opasnost za okoliš u cijelosti.

Prema literaturnim podacima (2-15) broj slučajeva radioaktivnog onečišćenja metalnog otpada namijenjenog uporabi u čeličanicama i ljevaonicama posljednjih je godina značajno porastao, iako nije sigurno je li to posljedica povećanog nadzora nad pripravom i uporabom čeličnog otpada ili pak porasta nekontroliranog odlaganja otpada koji sadržava radionuklide različitog podrijetla.

Navedeni literaturni podaci pokazuju da se u čeličnom otpadu najčešće pojavljuju radionuklidi  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{90}\text{Sr}$  koji se tijekom tehnološkog procesa proizvodnje čelika iz ovako onečišćenoga čeličnog otpada raspodjeljuju između čelične taline, troske i elektropećne prašine, a što ovisi o kemijskim i fizikalnim svojstvima prisutnih radionuklida (16, 17).

Iskustva najpoznatijih svjetskih i europskih proizvođača čelika glede kontrole čeličnog otpada i zabilježenih slučajeva otkrivanja prisutnosti radionuklida u otpadu pripremljenom za uporabu u čeličanicama i ljevaonicama, različita su kako u pogledu izrađenih i prihvaćenih normi i propisa koji obuhvaćaju ovu problematiku, tako i u pogledu instalirane opreme i izgrađenih sustava za kontrolu radionuklida u proizvodnim pogonima.

U cilju rješavanja ovog važnog problema proizvođači čelika, a među njima posebno oni iz zemalja članica EU, u posljednjih 10 do 15 godina pristupili su sustavnom praćenju prisutnosti radionuklida u čeličnom otpadu i sirovom čeliku. Glede normi i propisa kojima bi se odredile granične vrijednosti za sadržaj radionuklida u čeličnom otpadu, čeliku i čeličnim proizvodima još postoji neusklađenost i među zemljama članicama EU, iako se intenzivno radi na donošenju jedinstvene legislative, a u međuvremenu se rabe smjernice i preporuke koje je izdala Međunarodna agencija za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency, IAEA).

Stoga grupa specijalista pri UN - Gospodarskom povjerenstvu za Europu (United Nations Economic Commission for Europe, UN-ECE) zadužena za problem radioaktivnog onečišćenja metalurškog otpada sugerira dobrovoljno prihvaćanje kao granične vrijednosti (tzv. *business level*) aktivnost od najviše  $100 \text{ Bq kg}^{-1}$ , iako se u većini europskih zemalja ova vrijednost kreće u intervalu od  $100 \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $300 \text{ Bq kg}^{-1}$ .

Uvoz čeličnog otpada u zemlje članice EU također je pod nadzorom glede radioaktivnosti ove vrste materijala te je uvoz otpada u neke zemlje članice EU moguć samo ako onečišćenost ne prelazi

vrijednosti brzine doze zračenja od  $5 \mu\text{Svh}^{-1}$  mjereno na udaljenosti od 1 m.

U zemljama proizvođača čelika izvan EU također postoji neujednačenost kako u pristupu ovom problemu i njegovu rješavanju, tako i u definiranju graničnih ili maksimalno dopuštenih vrijednosti aktivnosti radionuklida u čeliku i čeličnim proizvodima (npr. Japan  $500 \text{ Bq kg}^{-1}$ , Rusija  $370 \text{ Bq kg}^{-1}$ ).

Imajući u vidu važnost ovog problema i uzimajući u obzir mogućnost pojavljivanja na tržištu kontaminiranoga čeličnog otpada, kako u našoj zemlji, tako i u susjednim zemljama, a zbog nedostatka vlastitih normi i propisa kojima bi se osigurala kontrola uvoznog, a i vlastitog čeličnog otpada, poluproizvoda i gotovih proizvoda, nužno je započeti s aktivnostima u području kontrole i uvođenja sustava za praćenje radionuklida u ovim materijalima uz uporabu postojećih međunarodnih preporuka i propisa, sve dok se ne donese odgovarajuća legislativa na razini RH.

## KONTROLA RADIONUKLIDA U DOMAĆIM METALURŠKIM PROCESIMA I UVOĐENJE MONITORINGA

### *Kontrola radionuklida u domaćim metalurškim procesima*

Na temelju dostupnih literaturnih podataka do sada u Hrvatskoj nije zabilježen slučaj pojave radionuklida u čeličnom otpadu ili drugim materijalima upotrijebljenim pri proizvodnji čelika i čeličnih odljevaka čime bi se ugrozilo zdravlje ljudi i onečistio okoliš.

Prva sustavna istraživanja ovog problema, kao i istraživanje eventualne pojave radionuklida u sirovinama za proizvodnju čelika i samom čeliku provedena su u Željezari Sisak. Rezultati  $\gamma$ -spektrometrijske analize (18, 19) nekih uzoraka čelika proizvedenih u čeličani Željezare Sisak i pri tome upotrijebljenim nemetalnim dodacima te nastaloj trosici i elektropečnoj prašini, upućuju na prisutnost radionuklida koji po podrijetlu i izmjerenim aktivnostima ne predstavljaju opasnost, ali svakako upućuju na potrebu za kontrolom njihova sadržaja u ovim materijalima.

Provedenom  $\gamma$ -spektrometrijskom analizom nekih uzoraka čelika proizvedenih u Željezari Sisak u razdoblju 1992. do 2002. god. utvrđeno je da ni jedan od analiziranih uzoraka nije sadržavao radionuklide umjetnog podrijetla, a aktivnosti identificiranih prirodnih izotopa  $^{40}\text{K}$  i  $^{232}\text{Th}$  bile su na razini osnovnog zračenja.

Određivanjem sadržaja radionuklida u uzorcima elektropečne prašine utvrđena je prisutnost prirodnih izotopa  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  i umjetnog izotopa  $^{137}\text{Cs}$ . Prisutnost pojedinih izotopa i njihova aktivnost izmjerena je za  $^{40}\text{K}$  od  $(219,0 \pm 11,8) \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $(338,3 \pm 15,9) \text{ Bq kg}^{-1}$ , za  $^{232}\text{Th}$  od  $(3,6 \pm 1,0) \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $(5,1 \pm 1,2) \text{ Bq kg}^{-1}$ , za  $^{137}\text{Cs}$  od  $(16,7 \pm 0,8) \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $(30,0 \pm 1,1) \text{ Bq kg}^{-1}$ , za  $^{226}\text{Ra}$  od  $(9,5 \pm 0,9) \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $(19,8 \pm 1,5) \text{ Bq kg}^{-1}$  i za  $^{238}\text{U}$  od  $(9,1 \pm 3,3) \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $(21,3 \pm 5,3) \text{ Bq kg}^{-1}$ . Prisutnost prirodnih izotopa smatra se uobičajenom jer je moguća njihova pojava u sirovinama i pratećim materijalima koji se rabe u procesu proizvodnje čelika.

Cezij ( $^{137}\text{Cs}$ ) kao umjetni izotop identificiran u elektropečnoj prašini upozorio je na mogućnost podrijetla iz čeličnog otpada ili pak ostalog materijala upotrijebljenog u tehnološkom procesu (ferolegure, nemetalni dodaci i sl.) te je načinjena  $\gamma$ -spektrometrijska analiza i ovih materijala. Na temelju dobivenih rezultata potvrđena je teza o podrijetlu prirodnih izotopa identificiranih u uzorcima prašine, tj.  $^{40}\text{K}$  identificiran je u boksitu i grafitnoj elektrodi,  $^{226}\text{Ra}$  u boksitu, fluoritu i vatrootpornom materijalu (obzidu peći), a  $^{238}\text{U}$  u boksitu, fluoritu i grafitnoj elektrodi. Prema rezultatima analize  $^{137}\text{Cs}$  nije identificiran u ovim materijalima te vjerojatno potječe iz upotrijebljenoga kontaminiranog čeličnog otpada.

Čelični otpad koji se rabi za potrebe proizvodnje čelika elektropečnim postupkom u čeličanama i ljevaonicama čeličnih odljevaka obično je vlastiti tehnološki otpad – povrat iz tehnološkog procesa i čelični otpad nabavljen na tržištu. Čelični otpad koji se u obliku tehnološkog otpada vraća u proces proizvodnje najčešće mora zadovoljiti zahtjeve za kemijski sastav u propisanim koncentracijskim granicama pojedinih kemijskih elemenata te biti odgovarajućih dimenzija ovisno o zahtjevima otvora elektropeći i načinu ulaganja.

Otpad se na tržištu nabavlja obično sukladno tzv. tehničkim uvjetima za prijam i pripremu čeličnog otpada koje izrađuje svaki proizvođač prema vlastitim kriterijima ili prema međunarodnoj specifikaciji poput European Steel Scrap Specification (20) oznake E2, E3 ili E40. Ove specifikacije obično obuhvaćaju oblik otpada (tračnice, osovine, dijelovi konstrukcija, karoserije automobila, kućanski aparati, limovi), dimenzije pojedinog komada, najveću dopuštenu težinu pojedinog komada, štetne primjese (obojeni metali, polimeri, nemetali) i nasipnu težinu (za usitnjeni otpad – “šreder”). Osim navedenih zahtjeva ne postoje drugi zahtjevi koje bi čelični otpad trebao zadovoljavati,

a eventualno upozorenje da čelični otpad ne smije sadržavati radioaktivne tvari samo je deklarativne prirode s obzirom na to da se kontrola prisutnosti radionuklida uglavnom ne provodi niti pri skupljanju i pripremi čeličnog otpada za isporuku potrošačima, a isto tako niti kod potrošača pri prijemu odnosno uporabi u proizvodnim procesima.

Postojeći sustavi upravljanja kvalitetom u domaćim čeličanicama i ljevaonicama propisuju aktivnosti u svezi s prijmom i kontrolom čeličnog otpada pri ulazu u skladište, kao i pripreme čeličnog otpada te njegovo ulaganje u elektropeć. Ovakav je sustav u usporedbi sa sustavima europskih proizvođača čelika nedostatan te je nužno pristupiti njegovoj dogradnji i proširenju u dijelu kontrole, tj. uvesti ispitivanje prisutnosti radionuklida u čeličnom otpadu i ostalome materijalu upotrebljavanom u procesu proizvodnje čelika.

#### Sustavi nadzora i praćenja

Izgradnjom sustava za nadzor i praćenje (monitoring) radionuklida u hrvatskim čeličanicama i ljevaonicama osigurala bi se zaštita zdravlja ljudi i uklonila mogućnost onečišćenja okoliša uporabom čeličnog otpada koji sadržava radioaktivne tvari. Istodobno bi se posredno utjecalo i na uvođenje kontrole čeličnog otpada u "dvorištu skupljača", koji je često i isporučitelj tog otpada odnosno dobavljač.

Za nadzor i praćenje radionuklida u čeličnom otpadu, gotovim proizvodima, tehnološkom otpadu (troska, ogorina ili "cunder", elektropečna prašina), kao i materijalima upotrijebljenim u procesu proizvodnje čelika (ferolegure, nemetalni dodaci i sl.), primjenjuju se obično dva osnovna tipa instrumenata, i to mobilni (ručni, prijenosni) i stacionarni automatski uređaji.

Prednost prijenosnih uređaja ogleda se prije svega u cijeni i mogućnosti upotrebe, odnosno, mogućnosti prijenosa i primjene na različitim mjestima u procesu proizvodnje čelika i njegove prerade. Istodobno nedostatak ovog instrumenta je ograničena mogućnost njegove uporabe u kontroli velikih pošiljki čeličnog otpada isporučenog u kontejnerima ili kontrola otpada u kamionskim prikolicama, vagonima i sl.

Najčešći zahtjevi koje trebaju ispunjavati prijenosni uređaji za monitoring radionuklida u čeličnom otpadu prikazani su na tablici 1. Uz ove najčešće zahtjeve koje trebaju ispunjavati prijenosni uređaji za monitoring radionuklida, nerijetko se postavljaju i dodatni zahtjevi koji se uglavnom odnose na mogućnost povezivanja uređaja s računalom, opskrbljenost

dodatkom za spektrometrijsku analizu radionuklida sadržanih u onečišćenju, kao i mogućnost odabira i zamjenjivosti detektora ovisno o vrsti zračenja. U svakom slučaju, ovakvi instrumenti se izvrsno nadopunjuju sa stacionarnim tipom, i to za potrebe detaljnog pretraživanja manjih količina otpada, nakon eventualno utvrđene prisutnosti radionuklida stacionarnim uređajem u otpadu na kamionu ili vagonu.

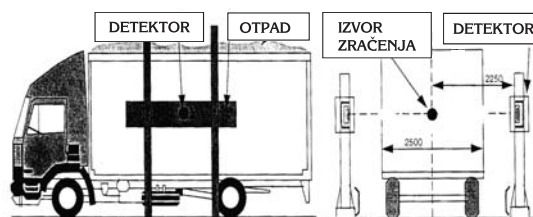
Tablica 1 Najčešći zahtjevi koje trebaju ispunjavati prijenosni uređaji za monitoring radionuklida

| Parametar/<br>karakteristika                                    | Temeljni<br>zahtjev | Optimum    |
|---|---------------------|------------|
| Mjerno područje brzine<br>doze zračenja / $\mu\text{Sv h}^{-1}$ | 0.05-100            | 0.08-10    |
| Pogreška mjerenja / %   | $\leq 20$           | $\leq 15$  |
| Vrijeme mjerenja u<br>jednoj točki / s                          | $\leq 5$            | $\leq 2$   |
| Energija / MeV  | 0.05-3.0            | 0.05-2.0   |
| Masa / kg   | $\leq 5$            | $\leq 2$   |
| Radna temperatura / °C  | -20 do +50          | -20 do +50 |

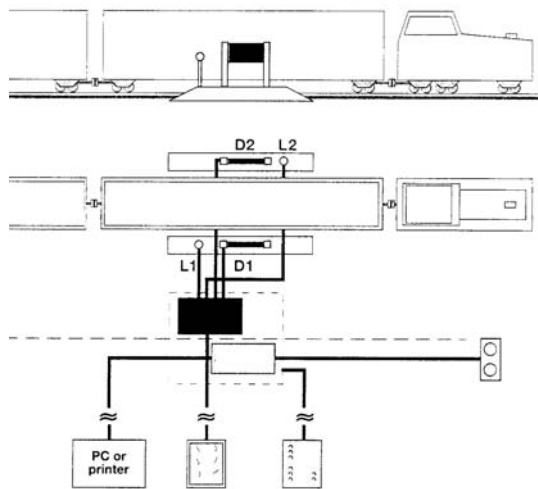
Veliku primjenu u kontroli čeličnog otpada imaju i integrirani dozimetri odnosno radiometri s izmjenjivim detektorima koji se inače rabe za bilježenje  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  i neutronskog zračenja, kao npr.: EXPLORANIUM GR-1107 (Kanada), ESM-FHT 40NBR i FH 40 G-L (Njemačka), TARGET fieldSPEC (Njemačka), EMPOS RM 552 GS (Češka), RADOS TECHNOLOGY RDS-110 (Finska), ASPECT MKS-A02 (Rusija) itd.

Monitoring radioaktivnih tvari u čeličanicama i ljevaonicama obično se temelji na primjeni stacionarnih uređaja (ponekad u kombinaciji s prijenosnim), a što je opravdanim pokazala praksa u vrlo velikom broju europskih čeličana, ljevaonica i tvrtki koje se bave sakupljanjem i pripremom čeličnog otpada za tržište (slika 1 i 2).

Najčešći zahtjevi koje trebaju ispunjavati stacionarni uređaji za monitoring radionuklida u čeličnom otpadu prikazani su na tablici 2.



Slika 1 Shematski prikaz stacionarnog sustava za kontrolu čeličnog otpada u kamionu



Slika 2 Shematski prikaz stacionarnog sustava za kontrolu čeličnog otpada u vagonu (L1 i L2 -senzori, D1 i D2-detektori)

Tablica 2 Najčešći zahtjevi koje trebaju ispunjavati stacionarni uređaji za monitoring radionuklida

| Parametar/karakteristika   | Temeljni zahtjev                   | Optimum                            |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Brzina doze zračenja iznad prirodnog zračenja koja jamči aktiviranje sustava / nSv h <sup>-1</sup> | 3-10                               | 5-7                                |
| Vjerojatnost pojave "lažnog alarma"  |                                    |                                    |
| • Kamioni  | 10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-5</sup> |
| • Željeznički vagoni   | <10 <sup>-5</sup>                  |                                    |
| Energija / MeV   | 0.05-3.0                           | 0.05-2.0                           |
| Brzina kretanja pošiljke / km h <sup>-1</sup>  | 4-7                                | 4-5                                |
| Zapremina (kapacitet) vozila / t   | 1-60                               | 3-60                               |
| Radna temperatura / °C   | -40 do +50                         | -20 do +50                         |
| Automatska obrada podataka uz uračunavanje razine prirodnog zračenja u okolišu                     | +                                  | +                                  |
| Podešavanje sustava s obzirom na brzinu kretanja vozila  | +                                  | +                                  |

Uz ove najčešće zahtjeve koje trebaju ispunjavati stacionarni uređaji za monitoring radionuklida, nerijetko se postavljaju i dodatni zahtjevi koji se uglavnom odnose na mogućnost prijenosa informacija telekomunikacijskim sustavima, mogućnost provjere radnog obujma vozila, mogućnost identificiranja radionuklida prisutnih u onečišćenom otpadu i sl.

Stacionarni uređaji u obliku portala (između kojih se kreće vozilo) ili kranova i rampi (ispod kojih se kreće vozilo) najčešći su oblici koji se danas nalaze instalirani u europskim čeličanicama i ljevaonicama, kao i u tvrtkama koje se bave skupljanjem i pripravom

čeličnog otpada za tržište (tablice 3-5). Uz ovaj oblik nadzora neki su proizvođači uveli i dodatnu kontrolu, odnosno nadzor nad metalnim uloškom u košari koji se podvrgava kontroli prije samog ulaganja u peć.

Danas postoji niz razvijenih i komercijaliziranih sustava stacionarnog tipa za monitoring radionuklida u čeličnom otpadu, a vrlo često se susreću sustavi poput: BICRON ASM III (SAD), NUSCAFE-Puma ES (SAD), EXPLORANIUM GR-510, GR-526, AT-900 (Kanada), BERTHOLD LB-128 (Njemačka), ESM-FHT 1388 (Njemačka), ASPECT-Yantar 2L (Rusija), itd. Među stacionarne uređaje ubrajaju se i oni koji se rabe u kontrolnim laboratorijima metalurške industrije, a služe za analizu radionuklida u uzorcima materijala različitog podrijetla i oblika (prašina, strugotine, folije, ...). Jedan od predstavnika ovog tipa uređaja je EXPLORANIUM GR-320 LAB (Kanada).

#### Instaliranje, mjerenje i dojavljivanje

Poštujući strukturu postojećih sustava nabave čeličnog otpada, njegovu putanju i kretanje u krugu čeličane ili ljevaonice od ulaza do mjesta istovara, zatim kontrolu cjelokupne pošiljke na kamionu i/ili vagonu, istovar i pripremu za ulaganje u košare, a vodeći računa o postojećem rasporedu građevinskih objekata, vaga i prometnica (ceste i željezničke tračnice) raspoređenih u navedenom smjeru kretanja čeličnog otpada, za potrebe kontrole radioaktivnosti preferiraju se stacionarni sustavi. Oprema koja čini stacionarne sustave po svojoj konfiguraciji predstavlja visoko sofisticiranu spregu vrlo osjetljivih detektora za sve vrste zračenja i mikroprocesorsku tehnologiju, a istodobno se odlikuje izraženom jednostavnošću rukovanja.

Mjerenja brzine doze zračenja provode se kontinuirano uz bilježenje i pohranjivanje podataka o razini prirodnog zračenja koje se uzima u obzir u postupku evaluacije izmjenjenog zračenja za danu pošiljku čeličnog otpada. Na temelju izmjerenih vrijednosti radioaktivnog zračenja i usporedbe s referentnim vrijednostima, monitorinški sustav daje upute za nastavak aktivnosti čiji smjer može biti: istovar, vraćanje pošiljke isporučitelju ili dodatna kontrola, što ovisi o razini eventualno utvrđene i izmjerene brzine doze zračenja (slika 3).

Raspored u prostoru pojedinih dijelova monitorinškog sustava obično se izvodi na način sukladan konfiguraciji i rasporedu pojedinih elemenata sustava (zona nadzora, detektori, monitori, uređaj za zapisivanje, uređaj za dojavu) i u uskoj je vezi s

Tablica 3 Pregled nekih korisnika stacionarnih sustava za monitoring radionuklida u čeličanama - instalirani u razdoblju 1994.-2004. god.

| Korisnik/tvrtka         | Godina | Država     | Broj sustava | Vozilo             |
|-------------------------|--------|------------|--------------|--------------------|
| Avesta Polarit          | 1994.  | Švedska    | 2            | kamion+želj. vagon |
| Accieirie Venete        | 1995.  | Italija    | 1            | kamion+želj. vagon |
| Ferriere Nord (Pittini) | 1995.  | Italija    | 1            | željeznički vagon  |
| Corus Steel             | 1995.  | Nizozemska | 1            | kamion             |
| Avesta Polarit          | 1995.  | Švedska    | 1            | kamion             |
| Avesta Polarit          | 1995.  | Švedska    | 2            | kamion+želj. vagon |
| Swedish Steel           | 1996.  | Švedska    | 1            | kamion             |
| Sidenor                 | 1997.  | Grčka      | 2            | kamion+želj. vagon |
| Acc. Bertole Safau      | 1997.  | Italija    | 2            | kamion+želj. vagon |
| Acciaierie Valsugana    | 1997.  | Italija    | 2            | kamion+želj. vagon |
| Alfa Acciai             | 1997.  | Italija    | 1            | kamion             |
| Ferreira Valsabbia      | 1997.  | Italija    | 1            | kamion             |
| Profilatinave           | 1997.  | Italija    | 2            | kamion+želj. vagon |
| Huta Zawiercie          | 1997.  | Poljska    | 1            | željeznički vagon  |
| Marienhütte             | 1998.  | Austrija   | 1            | kamion             |
| Voest Alpine            | 1998.  | Austrija   | 1            | kamion             |
| Acciaierie Cividale     | 1998.  | Italija    | 1            | kamion             |
| Voest Alpine            | 1999.  | Austrija   | 1            | željeznički vagon  |
| Bohumín Steel Works     | 1999.  | Češka      | 1            | kamion+želj. vagon |
| Acroni                  | 1999.  | Slovenija  | 1            | kamion             |
| ACB                     | 1999.  | Španjolska | 1            | kran               |
| Aristrain               | 2000.  | Španjolska | 2            | kamion+želj. vagon |
| Aristrain               | 2000.  | Španjolska | 2            | kamion+želj. vagon |
| Böhler Edelstahl        | 2001.  | Austrija   | 2            | kamion+želj. vagon |
| Stomana Industr.        | 2001.  | Bugarska   | 2            | kamion+želj. vagon |
| KEBAG                   | 2002.  | Švicarska  | 1            | kamion             |
| CEMTAS                  | 2002.  | Turska     | 1            | kamion             |
| Volvo                   | 2003.  | Švedska    | 1            | kamion             |
| Ekinciler               | 2003.  | Turska     | 1            | kamion             |
| Kaptan Steel            | 2004.  | Turska     | 1            | kamion             |

Tablica 4 Pregled nekih korisnika stacionarnih sustava za monitoring radionuklida u ljevaonicama - instalirani u razdoblju 1994.-2001. god.

| Korisnik/tvrtka     | Godina | Država   | Broj sustava | Vozilo       |
|---------------------|--------|----------|--------------|--------------|
| ALMAG               | 1998.  | Italija  | 1            | tekuća vrpca |
| Fonderie di Torbole | 1998.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Fonderie Glisenti   | 1998.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Fonderie Fomm       | 1999.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Fonderie Mora       | 1999.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Rot. Fer. Met       | 1999.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Focrem              | 2000.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Fondal SpA          | 2000.  | Italija  | 1            | kamion       |
| Fondmatic SRL       | 2000.  | Italija  | 1            | kamion       |
| G. Francesco Spa    | 2000.  | Italija  | 1            | kamion       |
| WESLIN              | 2001.  | Mađarska | 1            | kamion       |

**Tablica 5** Pregled nekih korisnika stacionarnih sustava za monitoring radionuklida u industriji skupljanja i pripreme čeličnog otpada - instalirani u razdoblju 1994.-2004. god.

| Korisnik/tvrtka  | Godina | Država       | Broj sustava | Vozilo              |
|------------------|--------|--------------|--------------|---------------------|
| Cronifer bv.     | 1994.  | Nizozemska   | 1            | kamion              |
| Mayer P. Recycl. | 1995.  | V. Britanija | 4            | kamion              |
| STENA Metall.    | 1996.  | Finska       | 1            | kamion              |
| Metalsrot        | 1997.  | Češka        | 1            | kamion + želj.vagon |
| STENA Gotthard   | 1997.  | Švedska      | 2            | kamion + želj.vagon |
| Atlante          | 1998.  | Italija      | 1            | kamion              |
| Ecofer           | 1998.  | Italija      | 1            | kamion              |
| RM Supplies      | 1998.  | V. Britanija | 1            | kamion              |
| ACI Industries   | 1999.  | Estonija     | 1            | kamion              |
| ACI Industries   | 2000.  | Estonija     | 1            | željeznički vagon   |
| EMEX             | 2000.  | Estonija     | 1            | kran                |
| Kuusakoski       | 2001.  | Finska       | 1            | kamion              |
| UNIScrap         | 2002.  | Danska       | 2            | kran                |
| STENA Metall.    | 2002.  | Finska       | 1            | kamion              |
| IM. SA SpA       | 2003.  | Italija      | 1            | kamion              |
| Cronifer         | 2003.  | Nizozemska   | 1            | kamion              |
| Velserkom        | 2003.  | Nizozemska   | 1            | kamion              |
| Hellik Teigen    | 2003.  | Norveška     | 1            | kamion              |
| Polst            | 2003.  | Poljska      | 1            | kamion              |
| ELGHaniel Metals | 2004.  | V. Britanija | 1            | tekuća vrpca        |

karakteristikama detektora radioaktivnog zračenja (dimenzije, vrsta brojača i osjetljivost) te odabirom softwera. Stacionarni monitorinški sustavi najčešće se upotrebljavaju za otkrivanje srednje jakih i jakih  $\gamma$ -emitera uključujući  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  i  $^{241}\text{Am}$ . Pri instalaciji ovih sustava potrebno je voditi računa da detektori budu što bliže vozilu koje se kontrolira (kamion, vagon). Na ovaj se način sprječava smanjenje osjetljivosti za određivanje brzine doze zračenja izvora (onečišćenja) u čeličnom otpadu koja je obično od  $0,2 \mu\text{Sv h}^{-1}$  do  $0,3 \mu\text{Sv h}^{-1}$  ili  $\mu\text{Gy h}^{-1}$  na udaljenosti 1 m od stijenke vagona ili kamiona i jednaka je dvostrukom ili trostrukom višekratniku razine prirodnog zračenja.

Kod odabira sustava vrlo važnu ulogu ima osjetljivost detektora za mjerenje brzine doze zračenja, a što znatno utječe na cijenu samog uređaja. Uz osjetljivost detektora postoji i niz drugih čimbenika koji određuju lokaciju i raspored mjerne opreme u prostoru, a to je obično veličina detektora, razmak među detektorima, razina prirodnog zračenja, vrsta izvora zračenja (onečišćenja) i njegov položaj u vozilu, oblik i veličina pojedinih komada otpada u pošiljci, brzina kretanja vozila kroz zonu mjerenja, dimenzija i oblik vozila itd.

*Ustroj i provedba mjera u slučaju izvanrednog događaja*

U slučaju pojave radioaktivnog onečišćenja čeličnog otpada koje po izmjerenoj razini zračenja znači neposrednu opasnost za zdravlje ljudi u neposrednoj blizini, odnosno pojava poprima oblik izvanrednog događaja, nužno je pokrenuti aktivnosti za slučaj izvanrednog događaja propisane zakonom. Provedba propisanih aktivnosti odnosno mjera određena je aktom društva, tj. opisom posla određenog radnog mjesta i razinom odgovornosti.

Obveza je svakog pojedinca koji je uočio kontaminiranu pošiljku čeličnog otpada da je prijavi u najkraćem mogućem vremenu svom nadređenom te poduzeti prve moguće radnje (za koje je osposobljen) u svrhu sprječavanja razvoja izvanrednog događaja. Pri tome se podrazumijeva uporaba svih potrebnih pomoćnih sredstava i opreme, koja mora biti unaprijed osigurana i pripremljena na pristupačnoj i prikladnoj lokaciji.

Odgovorna osoba u čeličnici ili ljevaonici osigurava potreban stručni kadar, kao i uvjete koji obuhvaćaju financijska i materijalna sredstva za provođenje monitoringa, nabavu i održavanje potrebne opreme,

stručno osposobljavanje radnika te provođenje mjera i poštivanje zakonskih obveza prema zakonskim propisima.

Način zbrinjavanja utvrđenoga kontaminiranog čeličnog otpada ovisi o tome o kojoj se vrsti i količini onečišćenja radi, a sam postupak zbrinjavanja mora biti u skladu s odredbama Zakona o otpadu, Zakona o zaštiti okoliša, Zakona o prijevozu opasnih tvari i ostalih obveza usuglašenih s interventnim mjerama koje se provode temeljem drugih zakona. Kada se u pošiljci čeličnog otpada mjerenjem utvrdi radioaktivnost iznad  $250 \mu\text{Sv h}^{-1}$ , vozilo je potrebno odmah izdvojiti i na propisnoj udaljenosti staviti pod nadzor te označiti i onemogućiti pristup zaposlenicima i drugim osobama.

Kako proizvođač čelika nije ovlašten za promet radioaktivnim materijalom, to je u slučaju utvrđenog povećanog radioaktivnog zračenja u čeličnom otpadu dužan o tome izvijestiti Upravu za sanitarnu inspekciju pri Ministarstvu zdravstva i socijalne skrbi (viši sanitarni inspektor u Odsjeku za zaštitu od ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja) i Državni zavod za zaštitu od zračenja te poštivati izdane naloge i upute u svezi s daljnjim postupanjem s onečišćenim čeličnim otpadom.

## ZAKLJUČAK

S obzirom na iskustva najpoznatijih svjetskih i europskih proizvođača čelika i postojanje opravdane opasnosti od pojave radioaktivnih tvari u čeličnom otpadu, poluproizvodima i gotovim proizvodima metalurške i metaloprerađivačke industrije, nužno je i opravdano uvođenje sustava nadzora i kontrole prisutnosti radionuklida u hrvatskim čeličanicama i ljevaonicama. Uvođenjem sustava za nadzor i praćenje radionuklida u procesima proizvodnje čelika i čeličnih odljevaka u hrvatskim čeličanicama i ljevaonicama unaprijedio bi se sustav upravljanja kvalitetom i okolišem bez kojeg se ne može zamisliti ni jedan suvremeni proizvođač čelika te bi se istodobno osigurala konkurentnost hrvatskih proizvoda na europskom tržištu koje je sve zahtjevnije glede fizikalnih i kemijskih svojstava čelika i čeličnih proizvoda i sve češće zahtijeva podatke o (ne)prisutnosti radionuklida u okviru certifikata o kvaliteti proizvoda.

Budući da norme i propisi kojima bi se odredile granične vrijednosti sadržaja radionuklida u čeličnom otpadu, čeliku i čeličnim proizvodima još uvijek ne

postoje u okviru hrvatske legislative, mogu se rabiti smjernice i preporuke koje je izdala Međunarodna agencija za atomsku energiju.

## Napomena

Rad je nastao u okviru programa TEST - Tehnologijski istraživačko-razvojni projekt uz potporu Ministarstva znanosti i tehnologije (TP-01/0124-01 "Zbrinjavanje otpada crne metalurgije i ispitivanja mogućnosti njegove uporabe").

## LITERATURA

1. Commission of the European Communities, Brussels, 2003-01-24, COM(2003)18 final. Proposal for a Council Directive on the control of high activity sealed radioactive sources [pristup 25. lis. 2005.]. Dostupno na: [http://www.productstewardship.us/supportingdocs/com2003\\_0018en01.pdf](http://www.productstewardship.us/supportingdocs/com2003_0018en01.pdf)
2. Lubenau JO, Yusko JG. Radioactive materials in recycled metals. *Health Phys* 1995;68:440-51.
3. Lubenau JO, Yusko JG. Radioactive materials in recycled metals – an update. *Health Phys* 1998;74:293-9.
4. Mattia M, Wiener R. International measures needed to protect metal recycling facilities from radioactive materials [sažetak]. U: Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap, 26.-28. svibnja 1999; Prag, Češka Republika; Prag: Steel Federation Inc.; 1999. str. 99-30636.
5. Keck R, Krüger B, Kretschmer R. Überwachung von Schrott und Fertigprodukten auf radioaktive Bestandteile. *Stahl u. Eisen* 1994;114:69-77.
6. Werner Ch. Control of radioactivity at the Luxembourg steel – making facilities [sažetak]. U: Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap, 26.-28. svibnja 1999; Prag, Češka Republika; Prag: Steel Federation Inc.; 1999. str. 151-64.
7. Harvey DS. Experiences within British steel since 1989 [sažetak]. U: Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap, 26.-28. svibnja 1999; Prag, Češka Republika; Prag: Steel Federation Inc.; 1999. str. 23-30.
8. Kugeler E, Thierfeldt S. Detection of radioactivity in scrap in Germany [sažetak]. U: Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap, 26.-28. svibnja 1999; Prag, Češka Republika; Prag: Steel Federation Inc.; 1999. str. 165-76.
9. Malatova I, Foltanova S, Rulík P. Contamination of steel produced in the Czech Republic by  $^{60}\text{Co}$  [sažetak]. U: Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap, 26.-28. svibnja 1999; Prag, Češka Republika; Prag: Steel Federation Inc.; 1999. str. 43-56.
10. Thierfeldt S, Hake W, Deckert A, Neukater E, Rojahn



- T. Spezifische Strahlenschutzanalysen in Verbindung mit kontaminierten Schrotten für Zwecke der Ansicht. BS-Aachen und NIS-Hanau. 1997;S-Nr.9508-7:20-1.
11. Von Wachtendonk HJ.  $\gamma$ -Aktivitätsmessung von Stahl. Stahl u. Eisen 1999;119: 61-7.
  12. Marseguerra M, Zio E. Monte Carlo approach to the detectability of a gamma source within a scrap-iron truckload. Nuclear Technol 1998;26:279-88.
  13. Hsi H-W, Wu Ch-H, Chou K-D, Yeh Ch-S. Preventive Measures for Radioactive contamination in Iron and Steel Used as Construction Materials [pristup 25. lis. 2005.]. Dostupno na: <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00194.pdf>
  14. Lagemza J, Majercak S. The radioactivity of the recyclable materials. Acta Metallurgica Slovaca 2001;7:113-6.
  15. Gallini R, Berna V, Bonora A. Radioactivity in scrap recycling [pristup 25. lis. 2005.]. Dostupno na: [http://www.arpalombardia.it/new/live/download/articoli/4cd/agenti\\_fisici/radioactivity.pdf](http://www.arpalombardia.it/new/live/download/articoli/4cd/agenti_fisici/radioactivity.pdf)
  16. Sofilić T, Rastovčan-Mioč A, Cerjan-Stefanović Š. Radioaktivni materijali u čeličnom otpadu. Strojstvo 2001;43:65-70.
  17. Sofilić T, Rastovčan-Mioč A, Cerjan-Stefanović Š, Grahek Ž. Opravdanost praćenja prisutnosti radionuklida u čeličnom otpadu i sirovom čeliku. Strojstvo 2001;43:203-9.
  18. Sofilić T, Cerjan-Stefanović Š, Rastovčan-Mioč A, Mioč B. Application of different analytical methods to the characterization of metallurgical waste. U: Pellei M, Porta A, urednici. Proceedings of the Second International Conference on Remediation of Contaminated Sediments – 2003; 30. rujna – 3. listopada 2003.; Venecija, Italija. Columbus (OH): Batelle Press; 2003. str. G-04.
  19. Sofilić T, Barišić D, Grahek Ž, Cerjan-Stefanović Š, Rastovčan-Mioč A, Mioč B. Radionuclides in metallurgical products and waste. Acta Metallurgica Slovaca 2004;10:29-35.
  20. European Confederation of Iron and Steel Industries. European Steel Scrap Specification. <http://www.eurofer.org/docs/EurSteelScrapSpec.pdf>

### *Summary*

#### RADIOACTIVITY MONITORING OF STEEL PROCESSING IN CROATIAN STEEL MILLS AND FOUNDRIES

The last twenty years have seen a number of cases of radioactive pollution in metallurgical industry. Therefore many metal producers have implemented systematic monitoring of radioactivity in their production processes, especially in steel processing, steel being the most applied construction material with the annual world output of over billion tonnes.

Learning from the experience of the best known steel producers in Europe and the world Croatian steel mills have introduced radioactivity surveillance and control systems for radioactive elements in steel scrap, semi-finished and finished products. This paper argues in favour of radioactivity surveillance and control systems in steel and steel castings production in Croatia, and describes current systems and solutions available.

Since we lack our own standards and regulations to control both domestic and imported steel scrap, semi-finished products (crude steel, hot and cold rolled strip) and finished products, we need to start implementing radioactivity surveillance and control systems in our steel and steel castings production applying the current international recommendations and guidelines, until we build up our own monitoring system and adopt legislation on the national level.

This paper gives an overview of the basic types of radioactivity surveillance and control systems, the most frequent requirements to be met, as well as of the measurement and information flow in their application in steel and steel castings production.

**KEY WORDS:** *monitoring, radionuclide, steel scrap*

#### REQUESTS FOR REPRINTS:

Tahir Sofilić  
Valjaonica cijevi Sisak d.o.o.  
B. Adžije 19, HR-44000 Sisak  
E-mail: [tahir.sofilic@sk.htnet.hr](mailto:tahir.sofilic@sk.htnet.hr)