



## UVOĐENJE SUSTAVA ZA NADZOR RADIOAKTIVNOSTI U PROCESIMA PROIZVODNJE ČELIKA

*Tahir Sofilić<sup>1</sup>, Tihana Marjanović<sup>1</sup> i Alenka Rastovčan-Mioč<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Valjaonica cijevi Sisak d.o.o., 44000 Sisak

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, 44000 Sisak

e-mail: tahir.sofilic@sk.htnet.hr

### UVOD

Potpuno poznavanje fizikalnih i kemijskih svojstava čeličnog otpada koji kao sirovina u proizvodnim procesima čeličana i ljevaonica ima vrlo veliki značaj, danas podrazumijeva i poznavanje sadržaja radionuklida u ovom 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 dimnih plinova. Sagledavajući problem moguće prisutnosti radioaktivnih elemenata u čeličnom otpadu, poluproizvodima i gotovim proizvodima metalurške i metaloprerađivačke industrije, nužno je uvođenje sustava nadzora i kontrole prisutnosti radionuklida i u proizvodnim procesima hrvatskih proizvođača čelika.

### RADIOAKTIVNO ONEČIŠĆENJE ČELIČNOG OTPADA

Zbog vrlo široke primjene radioaktivnih elemenata u industriji, medicini, nuklearnoj tehnici, vojnoj industriji i sl. javlja se i radioaktivni otpad u obliku odbačene opreme, koji na različite načine dopijeva u čelični otpad ("staro željezo") i onečišćuje ga. Kod pripreme čeličnog otpada za potrebe čeličana i ljevaonica primjenjuju se različite metode drobljenja, prešanja i rezanja pa postoji velika opasnost da eventualno prisutni odbačeni dijelovi opreme koji sadrže radionuklide budu razgrađeni, a radionuklidi dispergirani, što može predstavljati veliku opasnost po okoliš. Prema literaturnim podacima [1], broj slučajeva radioaktivnog onečišćenja metalnog otpada namijenjenog uporabi u čeličanama i ljevaonicama, posljednjih je godina značajno porastao, iako nije izvjesno je li to posljedica povećanog nadzora nad pripravom i uporabom čeličnog otpada ili pak porasta nekontroliranog odlaganja otpada različitog podrijetla koji sadrži radionuklide. U čeličnom otpadu se najčešće pojavljuju radionuklidi <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>226</sup>Ra, <sup>192</sup>Ir, <sup>241</sup>Am, <sup>232</sup>Th i <sup>90</sup>Sr koji tijekom procesa proizvodnje čelika bivaju raspodijeljeni između čelične taline, troske i dimnih plinova, a što ovisi o

kemijskim i fizikalnim svojstvima prisutnih radionuklida [1,2]. U cilju rješavanja ovog značajnog problema proizvođači čelika su u posljednjih 10-15 godina pristupili 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 uvijek ne postoji usklađenost niti među članicama EU, iako se intenzivno radi na donošenju jedinstvene legislative. U međuvremenu se koriste smjernice i preporuke koje je izdala Međunarodna agencija za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency, IAEA*). Grupa specijalista pri UN-Gospodarskom Povjerenstvu za Europu (*United Nations Economic Commission for Europe, UN-ECE*) zadužena za problem radioaktivnog onečišćenja metalurškog otpada sugerira dragovoljno prihvaćanje kao granične vrijednosti (tzv. *business level*) aktivnost od najviše  $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , iako se u većini europskih zemalja ova vrijednost kreće u intervalu od  $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  do  $300 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Uvoz čeličnog otpada u zemlje članice EU također je pod strogim nadzorom te je ulaz otpada moguć samo ako onečišćenost radionuklidima ne prelazi vrijednosti brzine doze zračenja od  $5 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  ili vrijednost aktivnosti površine<sup>3</sup> ne prelazi  $0,4 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$  ( $\beta$ - i  $\gamma$ -zračenja) odnosno  $0,04 \text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$  ( $\alpha$ -zračenje). Preporuča se da isti čelični otpad ne sadrži aktivnost iznad  $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . U zemljama proizvođača čelika izvan EU također postoji neujednačenost kako u pristupu ovom problemu i njegovom rješavanju, tako i u definiranju graničnih ili maksimalno dopuštenih vrijednosti [3] aktivnosti radionuklida u čeliku i čeličnim proizvodima (npr. Japan  $500 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Rusija  $370 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Imajući u vidu značaj ovog problema, a zbog nedostatka vlastitih normi i propisa kojima bi se osigurala kontrola uvoznog i domaćeg čeličnog otpada, poluproizvoda i gotovih proizvoda, nužno je započeti s aktivnostima u području kontrole i uvođenja sustava za praćenje radionuklida u ovim materijalima uz korištenje postojećih međunarodnih preporuka i propisa, sve dok se ne donese odgovarajuća legislativa na razini RH.

## **RADIONUKLIDI U DOMAĆIM METALURŠKIM PROCESIMA I NJIHOV NADZOR**

Na temelju dostupnih literaturnih podataka do sada u Hrvatskoj nije zabilježen slučaj pojave radionuklida u čeličnom otpadu ili sirovom čeliku 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 [4,5] nekih uzoraka čelika proizvedenih u čeličani i pri tome upotrijebljenim nemetalnim dodacima, te nastalom tehnološkom otpadu, ukazuju na prisutnost radionuklida koji po podrijetlu i izmjerenim aktivnostima ne predstavljaju opasnost, ali svakako ukazuju na potrebu za kontrolom njihovog sadržaja u ovim materijalima. Čelični otpad koji se koristi za potrebe proizvodnje čelika obično je vlastiti tehnološki otpad tj. povrat iz tehnološkog procesa i čelični otpad nabavljen na tržištu. Otpad nabavljen na tržištu, nabavlja se obično sukladno

tzv. tehničkim uvjetima za prijem i pripremu čeličnog otpada koji uglavnom obuhvaćaju oblik otpada, dimenzije pojedinih komada i štetne primjese. Osim navedenih zahtjeva ne postoje drugi zahtjevi kojima bi čelični otpad trebao zadovoljavati, a eventualno upozorenje da čelični otpad ne smije sadržavati radioaktivne tvari je samo deklarativne prirode s obzirom da se kontrola prisutnosti radionuklida uglavnom ne provodi niti pri sakupljanju i pripremi čeličnog otpada za isporuku potrošačima, kao niti kod potrošača pri prijemu odnosno uporabi u metalurškim procesima. Postojeći sustavi upravljanja kvalitetom u domaćim čeličanicama propisuju aktivnosti u svezi prijema i kontrole čeličnog otpada pri ulazu u skladište kao i pripreme čeličnog otpada te njegovo ulaganje u elektropeć. Ovakav sustav je u usporedbi sa sustavima europskih proizvođača čelika nedostatan te je neophodno pristupiti njegovoj dogradnji uvođenjem kontrole prisutnosti radionuklida u čeličnom otpadu.

### **Sustavi za nadzor**

Izgradnjom sustava za nadzor i praćenje (monitoring) radionuklida u hrvatskim čeličanicama osigurala bi se zaštita zdravlja ljudi i otklonila mogućnost onečišćenja okoliša uporabom čeličnog otpada koji sadrži radioaktivne tvari. Istovremeno bi se posredno utjecalo i na uvođenje kontrole čeličnog otpada u "dvorištu sakupljača", koji je često i isporučitelj toga otpada odnosno dobavljač. Za nadzor i praćenje radionuklida u čeličnom otpadu, gotovim proizvodima, tehnološkom otpadu kao i materijalima korištenim u procesu proizvodnje čelika, primjenjuju se obično dva osnovna tipa instrumenata i to mobilni (prijenosni) i stacionarni automatski uređaji. Prednost prijenosnih uređaja ogleda se prije svega u cijeni i mogućnosti korištenja, odnosno, mogućnosti primjene na različitim mjestima u procesu proizvodnje čelika i njegove prerade. Istodobno nedostatak ovog instrumenta je njegova ograničena mogućnost korištenja u kontroli velikih pošiljki čeličnog otpada isporučenog u kontejnerima, kamionskim prikolicama, vagonima i sl. Najčešći zahtjevi koje trebaju ispunjavati prijenosni uređaji za monitoring radionuklida u čeličnom otpadu prikazani su u Tablici 1.

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

Parametar/karakteristika	Temeljni zahtjev	Optimum
Mjerno područje brzine doze zračenja $\mu\text{Svh}^{-1}$	0,05-100	0,08-10
Pogreška mjerenja, %	$\leq 20$	$\leq 15$
Vrijeme mjerenja u jednoj točki, sek.	$\leq 5$	$\leq 2$
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

Uz navedene zahtjeve koje trebaju ispunjavati prijenosni uređaji za monitoring radionuklida, nerijetko se postavljaju i dodatni zahtjevi koji se uglavnom odnose na mogućnost povezivanja uređaja sa računalom, opskrbljenost sa dodatkom za spektrometrijsku analizu radionuklida sadržanih u onečišćenju kao i mogućnost odabira i zamjenjivosti detektora ovisno o vrsti zračenja. Integrirani dozimetri odnosno radiometri sa izmjenjivim detektorima koji se koriste za bilježenje  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - i neutronskog zračenja kao i identifikaciju  $\gamma$ -emitirajućih nuklida u ovim vrstama materijala relativno veliku primjenu imaju instrumenti 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 sa prijenosnim), a najčešći zahtjevi koje trebaju ispunjavati ovi uređaji prikazani su u Tablici 2.

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

Parametar/karakteristika	Temeljni zahtjev	Optimum
Granica detekcije, $n\text{Svh}^{-1}$	3-10	5-7
Vjerojatnost pojave "lažnog alarma" <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kamioni</li> <li>• Željeznički vagoni</li> </ul>	$10^{-3}$ - $10^{-4}$ $< 10^{-5}$	$10^{-4}$ - $10^{-5}$
Energija, MeV	0,05-3,0	0,05-2,0
Brzina kretanja pošiljke, $\text{kmh}^{-1}$	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 zahtjeve koje trebaju ispunjavati stacionarni uređaji za monitoring radionuklida, nerijetko se postavljaju i dodatni zahtjevi koji se uglavnom odnose na

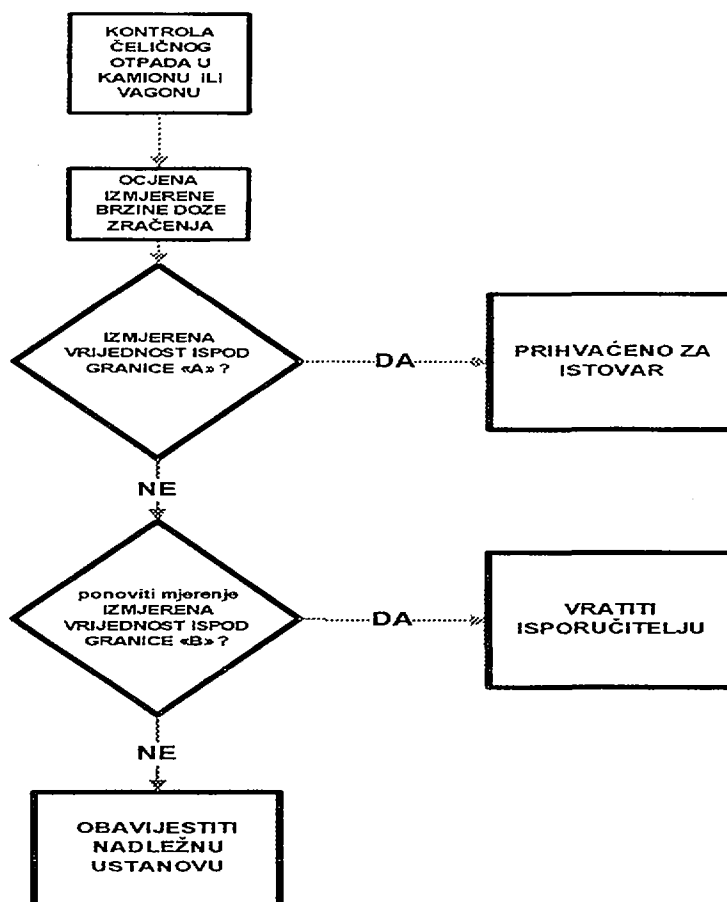
mogućnost prijenosa informacija telekomunikacijskim sustavima, mogućnost provjere radne zapremine vozila, mogućnost identificiranja radionuklida prisutnih u onečišćenom otpadu i sl. Stacionarni uređaji u obliku portala (između kojih se kreće vozilo) ili kranova i rampi (ispod kojih se kreće vozilo) najčešći su oblici koji se danas nalaze instalirani u europskim čeličanicama i ljevaonicama kao i u tvrtkama koje se bave sakupljanjem i pripravom čeličnog otpada. 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 koriste 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**

Oprema koja sačinjava stacionarne sustave po svojoj konfiguraciji predstavlja visoko sofisticiranu spregu vrlo osjetljivih detektora za sve vrste zračenja i mikroprocesorsku tehnologiju uz izraženu jednostavnost za rukovanje. Mjerenja brzine doze zračenja provode se kontinuirano uz pohranjivanje podataka o razini prirodnog zračenja potrebnih za postupak evaluacije izmjerene brzine doze zračenja za danu pošiljku čeličnog otpada. Na temelju provedenog mjerenja sustav daje upute za nastavak aktivnosti: a) istovar, b) vraćanje pošiljke isporučitelju ili c) dodatnu kontrolu, što ovisi o razini eventualno utvrđene i izmjerene brzine doze zračenja (Slika 1). Stacionarni monitoring 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 u čeličnom otpadu koja je obično od 0,2 do 0,3  $\mu\text{Sv h}^{-1}$  ili  $\mu\text{Gy h}^{-1}$  na udaljenosti 1 m od stjenke vagona ili kamiona i jednaka je dvostrukom ili trostrukom višekratniku razine prirodnog zračenja [6].

U slučaju pojave radioaktivnog onečišćenja čeličnog otpada koje po izmjerenoj razini zračenja predstavlja neposrednu opasnost po zdravlje ljudi u neposrednoj blizini, odnosno pojava poprima oblik izvanrednog događaja, nužno je pošiljku odmah izdvojiti i na propisnoj udaljenosti staviti pod nadzor te označiti i onemogućiti pristup zaposlenicima i drugim osobama. O ovome odmah izvijestiti Upravno nadležno tijelo za zaštitu od zračenja pri Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi (Inspektor za zračenje) i poštivati izdane naloge i upute u svezi daljnjeg postupanja sa onečišćenim čeličnim otpadom. Provedba ovih mjera mora

biti propisana i aktom društva kojim se uređuju ponašanja i kod nastanka ostalih mogućih izvanrednih događaja.



Granica „A“ = vrijednost koja ne predstavlja opasnost za ljude ( $0,25 \mu\text{Sv/h}$ )

Granica „B“ = osigurava sprečavanje nastajanja posljedica ( $250 \mu\text{Sv/h}$ )

Slika 1: Shematski prikaz postupka kontrole radioaktivnog Onečišćenja čeličnog otpada

## ZAKLJUČAK

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 niti jedan suvremeni proizvođač čelika, te bi se istovremeno osigurala konkurentnost hrvatskih proizvoda na europskom tržištu gdje se uz uobičajene certifikate o kvaliteti sve češće traže podaci i o (ne)prisutnosti radionuklida u čeliku i čeličnim proizvodima. Kako ne postoje hrvatske norme i propisi o graničnim vrijednostima sadržaja radionuklida u čeličnom otpadu, čeliku i čeličnim proizvodima, predlaže se korištenje smjernica i preporuka izdanih od Međunarodne agencije za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency, IAEA*).

## LITERATURA

- [1] Sofilić T, Rastovčan-Mioč A, Cerjan-Stefanović Š. *Strojarstvo* 2001;43(1-3):65-70.
- [2] Sofilić T, Rastovčan-Mioč A, Cerjan-Stefanović Š, Grahek Ž *Strojarstvo* 2001; 43 (4-6):203-209
- [3] Isakov MG, Valuev NP, Moish YV, Nikonenkov NV: Monitoring and Recovery of Contaminated Metallurgical Scrap, Proc. of the Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap Eds.:UN,ECE, Prague, Czech Republic 26-28 May,1999, 191-197.
- [4] Sofilić T, Cerjan-Stefanović Š, Rastovčan-Mioč, Mioč B. Application of Different Analytical Methods to the Characterization of Metallurgical Waste, M. Pellei and A. Porta (Eds.), Proceedings of the second International Conference on Remediation of Contaminated Sediments - 2003, Eds.: A. Porta, Venice, Italy, 30. Sep-03.Oct 2003, ISBN 1-57477-143-4, Paper G-04, published by Battelle Press, Columbus, OH, <http://www.battelle.org/bookstore>
- [5] Sofilić T, Barišić D, Grahek Ž, Cerjan-Stefanović Š, Rastovčan-Mioč A, Mioč B. *Acta Metallurgica Slovaca* 2004; 10(1): 29-35.
- [6] [http://www.taek.gov.tr/taek/tudnaem/yayinlar\\_pdf/nuclear/Nuclear](http://www.taek.gov.tr/taek/tudnaem/yayinlar_pdf/nuclear/Nuclear)

## INTRODUCING RADIOACTIVITY MONITORING SYSTEMS IN THE PRODUCTION OF STEEL

*Tahir Sofilić<sup>1</sup>, Tihana Marjanović<sup>1</sup> and Alenka Rastovčan-Mioč<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Sisak Tube Mill Ltd., HR-44000 Sisak, Croatia

<sup>2</sup>University of Zagreb, Faculty of Metallurgy, HR-44000 Sisak, Croatia  
e-mail: tahir.sofilic@sk.htnet.hr

Over the last twenty years, a significant number of cases of radioactive pollution has been recorded in metallurgical processes. However, it is not certain whether the pollution was caused by increased uncontrolled disposal of waste containing radionuclides or whether it was the result of increased radioactivity monitoring and control of metallic scrap. Many metal producers in the world have therefore implemented systematic monitoring of radioactivity in their production processes. Special attention was given to monitoring radioactivity in steel making processes, which is still the most applied construction material with an annual output of over billion tonnes all over the world. Drawing on the experience of the best known steel producers in Europe and world, Croatian steel mills find it necessary and justified to introduce radioactivity monitoring and control systems of radioactive elements in steel scrap, semi-finished and finished products. The aim of this paper is to point out the need to introduce the radioactivity monitoring and control in steel and steel-casting production, and to inform experts in Croatian steel mills and foundries about potential solutions and current systems. At the same time, we wanted to demonstrate how implementation of monitoring equipment can improve quality management and environmental management systems. This would render Croatian products competitive on the European market both in terms of physical and chemical properties and in terms of product quality certificates and radioactivity information. 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 apply current international recommendations and guidelines, until we design our own monitoring system and adopt relevant legislation on the national level. This paper describes basic types of radioactivity monitoring and control systems, the most frequent requirements monitoring equipment has to meet, as well as the measurement and information flow in their application in steel and steel casting production.