

MOGUĆNOSTI I EFEKTI KORIŠĆENJA GORIVA DOBIJENOG IZ OTPADA

Aleksandar Jovović

Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, Beograd

Pregledni rad

DOI: 10.5937/termoteh

U savremenom društvu generišu se relativno velike količine otpadnog materijala iz različitih izvora. Zbog većih količina i negativnog uticaja na životnu sredinu, otpad se smatra jednim od najvećih ekoloških problema savremenog društva. Iz otpada energija se može dobiti termičkim tretmanom, tj. direktnim sagorevanjem otpada, ko-sagorevanjem sa fosilnim gorivom, pirolizom i gasifikacijom, kao i biološkim tretmanima, tj. konverzijom organske materije otpada u biogas (anaerobna digestija) i drugim biohemijskim postupcima za konverziju otpada u energiju. Proizvodnja energije iz alternativnih izvora danas predstavlja sastavni deo strategija održivog razvoja. Različite vrste otpada se koriste sa ciljem smanjenja korišćenja fosilnih goriva, ali i energetske troškova u industrijskim i energetskim postrojenjima. Neka pitanja su i dalje otvorena, uglavnom u vezi sa pojedinim procesima predtretmana otpada, odnosno primene primarne separacije otpada kao virtuelnog predtretmana, ali i u vezi sa tim da li je korišćenje goriva iz otpada održivo rešenje.

Ključne reči: Gorivo dobijeno iz otpada (SRF), sagorevanje, ko-sagorevanje, cementna peć, emisije GHG

UVODNA RAZMATRANJA

Tematska strategija EU o prevenciji i reciklaži otpada, poznata kao Tematska strategija EU o otpadu [1], ima za cilj sprečavanje nastajanja otpada, kao i korišćenje otpada kao resursa, pre svega za dobijanje sekundarnih sirovina i energije.

Iako se sistem upravljanja otpadom kontinualno unapređuje u EU, evropska ekonomija i dalje gubi značajne količine potencijalnih sekundarnih sirovina, kao što su metali, drvo, papir, staklo, veštački materijali i sl. U poslednjih deset godina, stepen reciklaže porastao je sa 36% samo do 38,1%, dok je ostalo korišćeno za sagorevanje ili je deponovano. Međutim, procenjuje se da je približno 600 miliona tona tog otpada moglo ponovo da se iskoristi ili reciklira.



Slika 1: Ko-processing (korišćenje otpadnih materijala kao sirovine i energenta) u hijerarhiji otpada [2]

Povraćaj otpada u resurs, ili kao resurs, je jedan od ključeva cirkularne ekonomije. Ciljevi postavljeni EU propisima su ključni pokretači unapređenja upravljanja otpadom, i jedan su od ključnih nosilaca Evropskog Zelenog dogovora (engl. *A European Green Deal*) [3], stimulišući inovacije u reciklaži, ograničavajući korišćenje deponija, kreirajući podsticajne mere za promenu ponašanja potrošača. Ako se više reciklira, ponovo koristi i što više vraća u proces proizvodnje, onda otpad jedne industrije postaje resurs za drugu, i celokupan sistem se značajno pomera u pravcu cirkularne ekonomije gde otpad prestaje da bude otpad i, možda utopijski gledano sa naše strane, nestaje, a postaje efikasno i održivo korišćen resurs. EU pristup zasnovan je na hijerarhiji upravljanja otpadom, koja postavlja određene prioritete, a sve više promovise smanjenje nastajanja otpada, što bi smanjilo problem otpada na samom izvoru.

U skladu sa Sedmim akcionim programom za životnu sredinu [4], prioritetni ciljevi politike o otpadu su smanjenje količine stvorenog otpada, maksimalno povećanje reciklaže i ponovna upotreba, ograničavanje insineracije materijala koji se ne mogu reciklirati, postepeno ukidanje odlaganja otpada koji se ne može reciklirati i otpada koji se ne može ponovo iskoristiti i osiguranje pune realizacije ciljeva politike o otpadu u svim državama članicama, čime postaje uputstvo za evropsku politiku zaštite životne sredine, sa posebnim fokusom na pretvaranju otpada u kvalitetan resurs.

Politika EU o otpadu naglašava razvoj mera kao što su:

- promovisanje čistije proizvodnje,
- uklanjanje opasnih karakteristika otpada tretmanom,
- uspostavljanje tehničkih standarda koji bi ograničili sadržaj određenih opasnih materija u proizvodima,
- promovisanje ponovnog korišćenja i reciklaže otpada,
- primena ekonomskih instrumenata,
- analiza životnog ciklusa proizvoda i
- razvoj sistema eko-obeležavanja.

Ni za jedan tok ili vrstu otpada nema unapred definisanog najboljeg, niti jedinog načina. Postoje samo odgovarajuće tehnike, koje zavise i od vrste otpada, i od količine, i od lokalnih uslova i stanja životne sredine na lokaciji postrojenja, i od raspoloživih sredstava i sl. Sve te tehnike, sada sa obavezujućom primenom, nazivaju se najboljim dostupnim tehnikama za pojedine tipove industrijske proizvodnje (BAT zaključci odgovarajućih BAT dokumenata) [5].

Za pojedine opasne otpade jedina dozvoljena metoda je termički tretman, s obzirom da samo visoke temperature i još neki tehnički uslovi koji vladaju u tim postrojenjima, obezbeđuju uslove razgradnje opasnih komponenti. Za druge otpade prepoznaju se postupci stabilizacije, prečišćavanja, i sl. Međutim, bez ozbiljne tehničko-tehnološke analize više faktora ne može se unapred odrediti vrsta tretmana.

KARAKTERISTIKE I UPOTREBA GORIVA IZ OTPADA

SRF (engl. *Solid Recovered Fuel*), ranije RDF (engl. *Refuse Derived Fuel*) je gorivo proizvedeno uglavnom od neopasnog dela kućnog otpada [6]. To je materijal male mase, male nasipne gustine, dimenzija približno 4 cm, sa udelom vlage manjim od 20%.

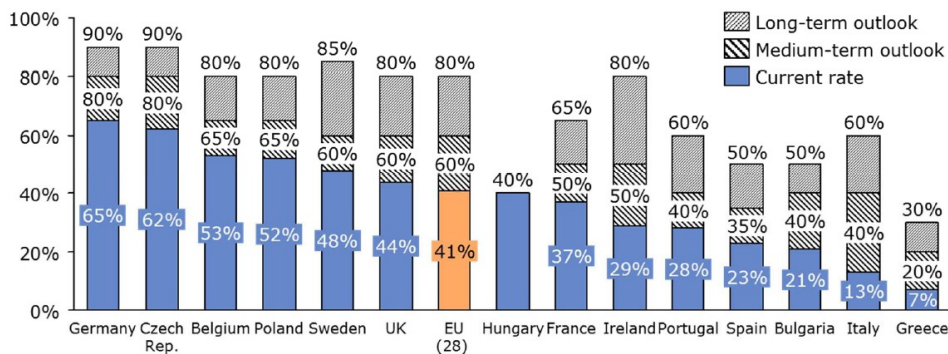
U skladu sa EU Direktivom o otpadu 2008/2010 (engl. *Directive on waste*) [7], definicija tzv. RDF je unapređena i zamenjena novom (pod nazivom SRF), a karakteristike su u skladu sa tehničkim standardom EN 15359:2011 [8], izrađenim od strane CEN/TC 343. SRF je definisan kao čvrsto gorivo proizvedeno od neopasnog otpada odgovarajućim tretmanom, čime je dovedeno do kvaliteta kako bi se omogućila pouzdana trgovina između proizvođača i korisnika u cilju upotrebe kao goriva u postrojenjima za sagorevanje i ko-sagorevanje. Ovaj standard prepoznaje više klasa SRF u zavisnosti od njegovih ključnih karakteristika, prisustva pojedinih komponenata u njemu, posebno hlora i žive, kao i vrednosti donje toplotne moći (Tabela 1). Druge karakteristike, kao što su dimenzije, udeo vlage, pepela, teških metala, gustina i sl. svaka zemlja može dodatno propisati [9-11]. U Republici Srbiji usvojen je ovaj standard preuzimanjem (tj. na engleskom jeziku je) i nosi oznaku SRPS EN 15359:2012, Čvrsta goriva dobijena iz otpada (SRF)-specifikacije i klase [12].

Tabela 1: Klase i karakteristike SRF u skladu sa EN 15359

Indikator	Karakteristika/parametar	Jedinica	Klasa				
			1	2	3	4	5
Ekonomski	Donja toplotna moć	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Tehnički	Udeo hlora	%	≤ 0.2	≤ 0.6	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3.0
Ekološki	Udeo žive	mg/MJ (medijana)	≤ 0.02	≤ 0.03	≤ 0.08	≤ 0.15	≤ 0.50
		mg/MJ (80ti percentil)	≤ 0.04	≤ 0.06	≤ 0.16	≤ 0.30	≤ 1.00

U odnosu na primenjeni kriterijum klasifikacije, moglo bi se zaključiti da karakteristike i kvalitet materijala zavise od lokacije nastajanja otpada, ali još više od načina upravljanja otpadom, posebno nivoa primarne separacije. Ako se, na primer, brižljivo izdvajaju predmeti od PVC ili termometri sa živom, jasno je da će se udeo hlora i žive smanjiti u preostalom otpadu, tj. porašće kvalitet SRF u odnosu na te kriterijume.

Upravo je to bio jedan od glavnih razloga protiv klasifikacije i specifikacije RDF, tj. to da je bio upravljan ulaznim komponentama, odnosno da je njegov kvalitet zavisio od promenljivosti sastava ulaznog otpada čime se nisu mogle garantovati sve karakteristike zahtevane termičkim tretmanom. Nova definicija, klasifikacija i specifikacija SRF je uslovljena zahtevima krajnjeg korisnika, tj. više je tržišno orijentisana čime se pokušava unaprediti tržišnost goriva iz otpada. Na taj način, moguće je u zavisnosti od potreba krajnjeg korisnika (cementne peći, termoelektrane ili postrojenja za termički tretman otpada) npr. imati široku vrednost toplotne moći uz kontrolu tehničkog i ekoloških parametara. Ko-sagorevanju u cementnim pećima odgovara širok opseg SRF klasa, bez uticaja na kvalitet cementa, uz smanjenje emisija zagađujućih komponenata i GHG, u poređenju sa fosilnim gorivima [13-18]. Međutim, korišćenje u termoelektranama zahteva viši kvalitet SRF, uobičajeno klase 1 i 2 za svaki od tri parametra [14], [15], [19]. Na kraju, postrojenja za sagorevanje SRF su sasvim prihvatljiva i za SRF lošijeg kvaliteta [15]. Naravno, izbor u mnogome zavisi od lokalnih uslova, pre svega javnosti, stanja životne sredine, nacionalnih i lokalnih planova upravljanja otpadom i životnom sredinom. U nekim zemljama, a na osnovu „end of waste“ kriterijuma (kriterijum po kome otpad prestaje da bude otpad i postaje proizvod, npr. gorivo) prihvatljive su samo neke kombinacije parametara viših klasa i za samo određene tipove postrojenja (npr. cementne peći, postrojenja za sagorevanje kapaciteta većeg od 50MWth i sl.). U cementnoj industriji u Evropi prosečna stopa zamene fosilnih goriva primenom goriva dobijenog iz otpada iznosi nešto više od 40% [20] (Slika 2) sa idejom da se ovaj udeo u narednim godinama i poveća [21-30].



Slika 2: Stepen supstitucije fosilnih goriva u pojedinim zemljama i regionima [20]

Proizvodnja goriva iz otpada veoma je dobro razvijena u centralnoj Evropi, Italiji i Velikoj Britaniji, ali sa različitim načinima iskorišćenja. Dok se u Nemačkoj i Austriji SRF proizvodi za korišćenje u lokalnim termoenergetskim objektima i cementarama, SRF proizveden u Italiji i Velikoj Britaniji se uglavnom izvozi usled nedostataka kapaciteta za korišćenje.

Način korišćenja, proces izvoza, tj. prekograničnog kretanja, trgovine i transporta, definisan je Bazelskom konvencijom [24]. Da bi se izbegli potencijalni problemi usled lošeg planiranja, a koji mogu dovesti do povišenih emisija ili drugih negativnih uticaja na životnu sredinu, ali i sa proizvodnjom cementa neodgovarajućeg kvaliteta, razvijen je set osnovnih principa pri radu i korišćenju SRF [25].

Osnovni principi su:

- Hijerarhija upravljanja otpadom bi trebalo da uvek bude poštovana;
- Moraju se izbeći dodatne emisije i uticaj na zdravlje ljudi;
- Kvalitet cementa mora ostati nepromenjen;
- Kompanije koje nameravaju da primene ko-procesuiranje moraju se za taj proces kvalifikovati;
- Primena ko-procesuiranja mora biti u skladu sa nacionalnim okolnostima i propisima.

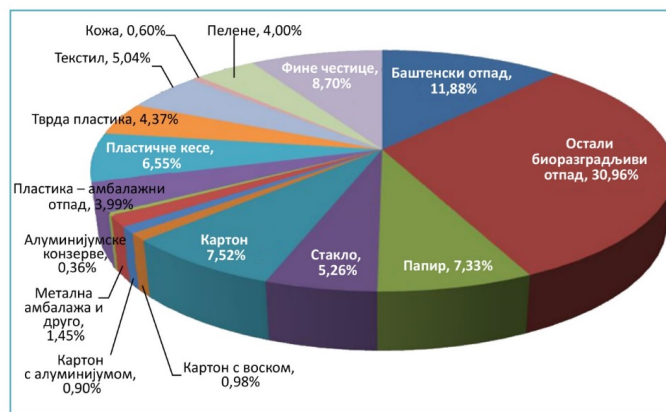
Ovde bi trebalo imati u vidu da je, nezavisno od vrste alternativnog goriva, njegovo korišćenje i emisija u životnu sredinu u državama EU regulisane Direktivom o industrijskim emisijama 2010/75 (engl. *Industrial emission directive*) [26] i primenom odgovarajućeg BAT referentnog dokumenta [27], [18]. U Italiji, na primer, postrojenja za mehaničko-biološki tretman (MBT) mogu da proizvode gorivo od otpada samo ako imaju odgovarajuću dozvolu.

Iako cementne peći igraju ključnu ulogu u energetskoj valorizaciji otpada u mnogim industrijskim zemljama kao što su Norveška, Nemačka, Švajcarska, Japan [29], mnoge zemlje, među kojima i Srbija, i dalje značajno zaostaju. U brojnim izveštajima i radovima je prikazano učešće pojedinih tipova otpada korišćenih kao alternativno gorivo u pet vodećih cementnih kompanija u svetu [30-36].

PRAVNI OKVIR I STANJE UPRAVLJANJA OTPADOM U REPUBLICI SRBIJI I MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE SRF U REPUBLICI SRBIJI

Zakonom o upravljanju otpadom [37] i pratećim podzakonskim aktima na osnovu njega donetim, bliže su uređene odgovornosti i obaveze postrojenja za termički tretman otpada, vrste otpada za koje se vrši termički tretman, tehničke i tehnološke uslove za projektovanje, izgradnju, opremanje i rad postrojenja za termički tretman otpada, postupanje sa ostatkom nakon spaljivanja otpada, kao i druga pitanja od značaja za rad ovih postrojenja.

Prema Agenciji za zaštitu životne sredine, ukupna proizvodnja otpada u Srbiji u 2016. godini bila je 9,2 miliona tona, od čega je 74.000 tona klasifikovano kao opasni otpad, a 1.964 miliona tona kao komunalni otpad. U 2017. godini ova vrednost je iznosila 2,24 miliona tona, od ukupno 11,5 miliona tona, što predstavlja približno 21%. Prema zvaničnim statistikama procenjuje se da je prosečna dnevna količina komunalnog otpada u 2016. godini bila 0,73 kg po stanovniku, a prosečna godišnja količina 270 kg, dok je prosek u EU u 2016. godini bio 483 kg [38]. Prema morfološkom sastavu otpada u Srbiji (Slika 3), u proseku, skoro polovinu komunalnog otpada čini biorazgradiva frakcija (48,8% ili 1,68 miliona tona u 2014.), odnosno, baštenski otpad i otpad od prerade i pripreme hrane. Značajan udeo ima plastika sa 12,3% i papir i karton sa udelom 9,6%. Ostale frakcije, kao što su staklo, metal, tekstil, koža i sl. zastupljene su udelom od 1,5% do 4%. Količina ambalažnog otpada procenjuje se na približno 350 hiljada tona.



Slika 3: Prosečan morfološki sastav mešovitog komunalnog otpada u Srbiji [39]

Uslugom sakupljanja otpada, i uglavnom odlaganja, upravljaju javna komunalna preduzeća, koja su u vlasništvu opština ili organizovana kroz strateška partnerstva. Uslugom sakupljanja, u zavisnosti od lokalne samouprave, pokriveno je 25% do 100% pri čemu je procenjeno da se u proseku u Srbiji organizovano sakuplja oko 82% komunalnog otpada.

Sakupljanje je organizovano pretežno u urbanim oblastima, dok su ruralne oblasti znatno slabije pokrivene. Odvojeno sakupljanje komunalnog otpada se odvija uglavnom kroz neformalni sektor. Postojeći stepen reciklaže, odnosno, iskorišćenja otpada je nedovoljan. U Srbiji je u toku uspostavljanje sistema reciklaže otpada i formiranje sakupljačke mreže što predstavlja važan elemenat u uspostavljanju i unapređenju sistema upravljanja otpadom i zapošljavanja značajnog broja ljudi.

Kao što je opisano u važećim nacionalnim strateškim dokumentima, kao i nacrtom strategije, upravljanje otpadom je zasnovano na regionalnom integralnom sistemu upravljanja. Trenutno postoji samo 10 sanitarnih deponija u skladu sa standardima EU, a tri regionalne sanitarne deponije su u fazi izrade (2017). Prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine, 2017. godine na odgovarajuće sanitarne deponije odloženo je 460.488 tona otpada. Pored toga, u Srbiji postoje 123 kontrolisana neusaglašena odlagališta otpada i oko 3.450 smetlišta. Oko 20% stvorenog komunalnog otpada u Srbiji odlaze se na smetlišta, izvan kontrole javnih komunalnih preduzeća. Mešani komunalni otpad u Srbiji se ne tretira, već se na deponije odlaze netretiran otpad. Druge opcije tretmana otpada (kompostiranje, anaerobna digestija, insineracija i sl.) na žalost se ne koriste, osim zanemarljivih količina koja se ko-sagorevaju u cementarama. Dve fabrike cementa u Srbiji imaju dozvole za termički tretman opasnog i neopasnog otpada, dok je treća fabrika u postupku dobijanja dozvole. Postupci u kojima se otpad koristi kao sirovina i/ili kao izvor energije, i kada otpad zamenjuje prirodne mineralne resurse (reciklaža materijala) i fosilna goriva (proizvodnja energije) koji se koriste u proizvodnji cementa, nazivaju se spregnuta proizvodnja. Cementare u Srbiji prvi put su pristupile postupku spregnute proizvodnje 2006. godine. U periodu između 2006. i 2014. godine, gotovo 210.000 tona neopasnog i opasnog otpada korišćeno je kao alternativno gorivo u srpskim fabrikama cementa. Pored toga, ova industrija u Srbiji kao alternativnu sirovinu koristi više od 300.000 tona neopasnog i opasnog otpada godišnje (najviše letećeg pepela i granulirane šljake iz visoke veći). Na taj način omogućena je supstitucija fosilnog goriva u proseku tek nešto više od 20%.

Vlada Republike Srbije usvojila je 2018. godine revidirani Nacionalni program za usvajanje pravnih tekovina Evropske Unije (NPAA) [40], a sprovođenje zahteva koji su postavljeni u procesu pridruživanja EU u sektoru otpada usklađeni su sa ovim i više nacionalnih strateških dokumenata kao što su:

- Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019.,
- Nacionalna strategija aproksimacije u oblasti zaštite životne sredine iz 2011. godine,
- Strategija aproksimacije za oblast upravljanja otpadom iz 2012. godine (deo Nacionalne strategije aproksimacije) i
- Nacionalni Plan sprovođenja Stokholmske konvencije iz 2015. godine.

U skladu sa tim dokumentima, za ispunjenje obaveza potrebno je između 3 i 17 godina, a u zavisnosti od zahteva pojedinih EU direktiva. Naravno, najsloženije i najzahtevnije direktive odnose se na celokupan sistem upravljanja otpadom i pravila odlaganja otpada na deponijama. U fazi pregovora o pridruživanju, pregovarače se o tim rokovima, tj. saglasnosti EU da odobri da u tom roku usaglasimo svoj sistem sa sistemom EU.

Dosadašnjim nacionalnim strateškim dokumentima prepoznat je značaj termičkog tretmana otpada, a nacrt strategije prepoznaje:

- potrebu za uspostavljanje kapaciteta za insineraciju organskog industrijskog i medicinskog otpada, na kraju kombinovanih sa kapacitetima za pripremu goriva iz ostataka tokova organskog opasnog otpada (~30.000 tona godišnje, delom kroz koinsineraciju u industrijskim postrojenjima) i upotrebom opasnog otpada kao alternativnog goriva (medicinski otpad, otpadno ulje i naftni mulj, gume, rastvarači, drugi organski otpad itd.) i
- uspostavljanje kapaciteta za termički tretman ostatka komunalnog otpada.

Pored toga, dve nove usvojene strategije prepoznaju jasno strateško usmerenje države za transformaciju privrednog modela u pravcu cirkularne ekonomije i smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte, kao i meru podsticanja efikasnije upotrebe materijalnih resursa i energetske efikasnosti u industrijskim procesima, i to:

- Strategija pametne specijalizacije u Republici Srbiji za period od 2020. do 2027. godine [41], koja predstavlja deo nove paradigme inovacione politike koja okuplja donosiocice odluka, akademsku i poslovnu zajednicu i

civilno društvo u cilju podizanja konkurentnosti privrede, privrednog rasta i napretka društva kroz povezivanje istraživačkih, industrijskih i inovacionih snaga i resursa sa ograničenim brojem prioritarnih privrednih oblasti, i

- Strategija industrijske politike Republike Srbije od 2021. do 2030. godine [42], koja podrazumeva podizanje konkurentnosti industrije Srbije sa fokusom na industrijski vođen razvoj koji podrazumeva naprednu proizvodnju i usluge visokog stepena dodate vrednosti, bazirane na tekovinama industrijske revolucije 4.0.

Međutim, morfološki sastav se razlikuje od sredine do sredine, grada do grada, regiona do regiona, tako da je teško generalisati šta bi se sve moglo iskoristiti. Ako se kao primer uzme Grad Beograd, u kome se generiše približno 1.500 tona otpada na dan, onda se može očekivati da približno trećinu otpada čine reciklabilne komponente, trećinu materijal koji se odgovarajućim tretmanom može preraditi u gorivo, dok bi se trećina otpada ili čak i manje odlagala na deponiju. Na osnovu prikazanog sastava otpada (Slika 3), očekivanim količinama sakupljenog otpada, kao i dostupnih podataka o načinima tretmana otpada u cilju proizvodnje SRF, tehnički potencijal u Srbiji se može proceniti na približno 700.000 tona godišnje, što je približno 300.000 ten (engl. *toe*).

EKOLOŠKI I EKONOMSKI DOPRINOSI UPOTREBE SRF

Odlaganjem otpada na deponije bespovratno se gube dragocene materijalne i energetske vrednosti otpada. Zbog toga je dobijanje goriva iz otpada od posebnog značaja kako sa ekološkog, tako i sa ekonomskog aspekta. Primena goriva dobijenog iz otpada donosi sledeće koristi:

- smanjuje se potreba za fosilnim gorivima, naročito ugljem, koja predstavljaju neobnovljiv prirodni resurs,
- smanjuje se količina pepela koja nastaje sagorevanjem uglja, a samim tim i njegova količina na deponijama,
- smanjuje se količina komunalnog i industrijskog otpada koji se odlaže na deponije,
- smanjuju se troškovi za dobijanje energije,
- značajno se smanjuje emisija gasova sa efektom staklene bašte,
- smanjuju se i emisije oksida sumpora i
- otvaraju se nove mogućnosti za razvoj lokalne zajednice.

Iskustva cementara u kojima se koriste alternativna goriva pokazuju da nema povećanja emisija zagađujućih komponenta iznad GVE i opasnosti da će transport i/ili sagorevanje otpadnih materijala pogoršati kvalitet vazduha u bližem i daljem okruženju postrojenja. Uobičajeno je preporučeno da se, iz tehničkih i ekoloških razloga, emisije teških metala održe u sledećim granicama:

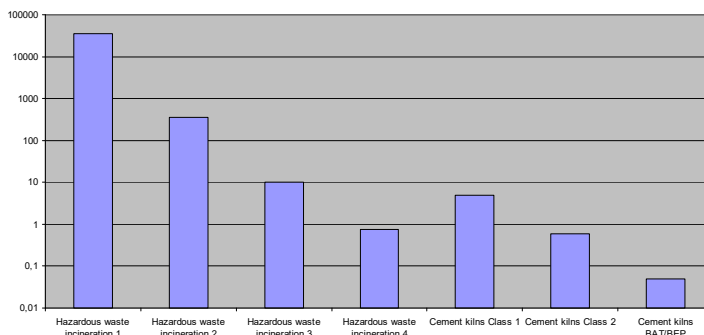
$$H_g + C_d + T_i < 100 \text{ ppm,}$$

$$C_u < 1.000 \text{ ppm za duge i Lepol peći, } < 3.000 \text{ ppm za peći sa pred-kalcinatorom,}$$

$$A_s + N_i + C_o + S_e + T_e + C_r + P_b + S_b + V < 10.000 \text{ ppm, i}$$

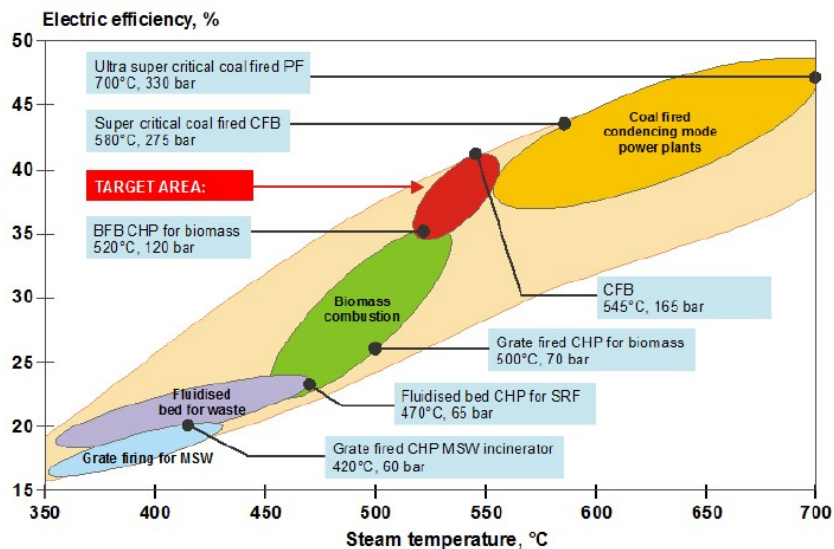
$$C_r < 150 \text{ ppm/frakciji u sirovoj mešavini.}$$

Mnoga istraživanja takođe pokazuju da su emisije dioksina i furana iz više različitih tipova postrojenja koja kao gorivo koriste otpad ili su u pitanju postrojenja za termički tretman otpada za nekoliko redova veličine više nego kada su u pitanju cementne peći.



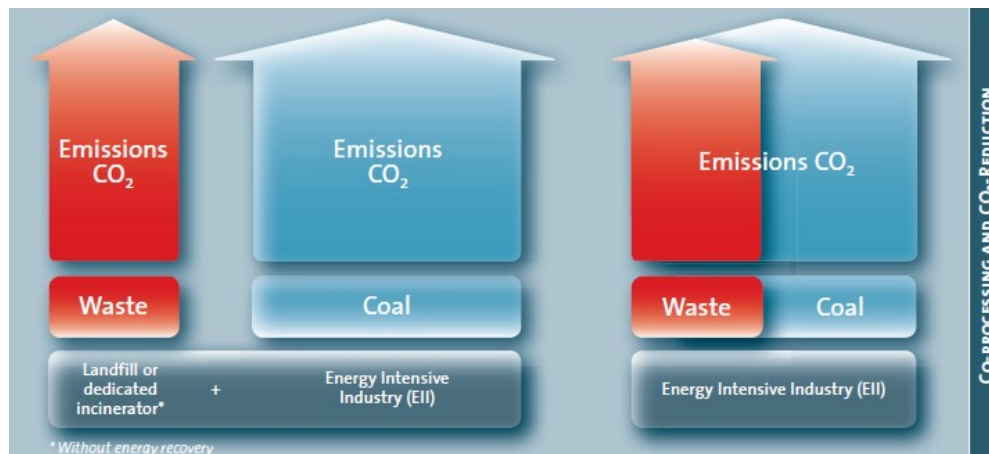
Slika 4: Rezultati merenja dioksina i furana 110 cementnih peći iz 11 zemalja EU (ukupno 230 merenja) [43]

Posebno dobar pokazatelj je rezultat LCA studije urađene od strane JRC, Ispra (Slika 5) koji pokazuje da je u poređenju sa korišćenjem fosilnih goriva, primena SRF ima prednost u svih 15 analiziranih ekoloških karakteristika.



Slika 5: Analiza korišćenja SRF u odnosu na fosilna goriva [44]

Takođe, sa slike 6 i iz Tabele 2 se može sagledati uticaj korišćenja SRF na smanjenje emisije GHG u poređenju sa korišćenjem fosilnih goriva.

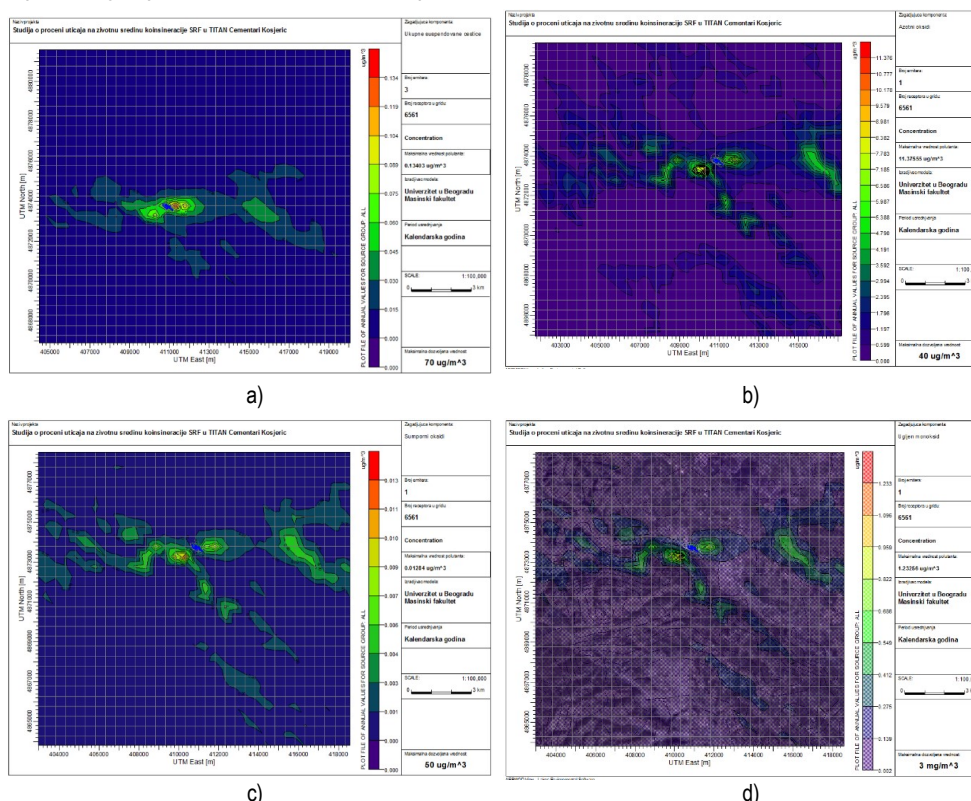


Slika 6: Smanjenje emisija GHG korišćenjem alternativnih goriva [25]

Tabela 2: Uticaj ko-sagorevanja SRF na emisije GHG

Vrsta	Emisija CO ₂	Smanjenje emisije
	kg CO _{2eq}	
Ko-sagorevanje SRF u cementnoj peći	440	1040
Zamena fosilnog goriva procesom ko-sagorevanja	1480	
Ko-sagorevanje SRF u WtE postrojenju	440	460
Smanjenje usled proizvodnje električne i toplotne energije	900	
Ko-sagorevanje SRF u termoelektranama	440	1060
Zamena fosilnog goriva procesom ko-sagorevanja	1510	

Iskustva domaćih cementara su takođe veoma pozitivna. Čak i u slučaju sagorevanja znatno lošijih otpadnih materijala u poređenju sa SRF, izmerene emisije su ispod GVE [46]. Takođe, veoma često se koriste i procesi modelovanja rasprostiranja zagađujućih komponentata u vazduhu kako bi se predvidele maksimalne emisije pri maksimalnom kapacitetu postrojenja i najnepovoljnijim meteorološkim uslovima. Kao primer, na Slici 7 su prikazani rezultati modeliranja iz dimnjaka mlina sirovine i rotacione peći pri korišćenju SRF u fabrici cementa. S obzirom na maksimalne dozvoljene vrednosti za kvalitet vazduha, vidi se da bi potencijalni uticaj postrojenja, uzimajući u obzir pojedine zagađujuće komponente, bio zanemarljiv [47].



Slika 7: Prikaz rezultata modeliranja rasprostiranja: a) čvrstih čestica, b) azotnih oksida, c) sumpornih oksida i d) ugljen-monoksida, iz dimnjaka mlina sirovine i rotacione peći pri korišćenju SRF

ZAKLJUČAK

Zabrana uvoza otpada u energetske svrhe uvedena Zakonom o upravljanju otpadom [37] bila je zasnovana na potrebi da se domaća industrija podstakne na upotrebu otpada generisanog u Srbiji i tako pomogne u rešavanju njegovog zbrinjavanja. Međutim, sistem upravljanja otpadom razvija se sporije nego što se očekivalo i znatno sporije od razvoja u ovoj oblasti u EU. S obzirom na raspoloživost SRF na tržištu, ekonomsku i korist po životnu sredinu u skladu sa iskustvima velikog broja razvijenih industrijskih zemalja, neophodno je omogućiti korišćenje i u Srbiji. Time će se podstaći brže uključanje domaće privrede u proizvodnji i primeni SRF iz domaćeg otpada, od faze transporta, logistike (utovar, istovar, distribucija), proizvodnje opreme, ispitivanja i sertifikacije proizvoda i opreme do krajnjih korisnika, tj. postrojenja za termičko iskorišćenje. Osim toga, korišćenje SRF značajno će relaksirati privredu Srbije u pogledu primene odredaba Evropskog zelenog dogovora.

ZAHVALNOST: ovde prikazani rezultati su rezultat istraživanja podržanog od strane MPNTR Republike Srbije po ugovoru 451-03-9/2021-14/200105 od 05.02.2021. godine

LITERATURA

- [1] <https://ec.europa.eu/environment/waste/strategy.htm>, viewed on 23.03.2021.
- [2] Guidelines for Co-Processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing, WBCSD Report 2014, 978-2-940521-19-7, <https://www.wbcds.org/content/wbcd/download/2429/30121>, viewed on 23.03.2021.
- [3] https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, viewed on 23.03.2021.
- [4] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013D1386>, viewed on 23.03.2021.
- [5] <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference>, viewed on 23.03.2021.
- [6] Garg, A., Smith, R., Hill, D., Simms, N., Pollard, S., Wastes as cofuels: The policy framework for solid recovered fuel (SRF) in Europe, with UK implications, *Environmental Science and Technology* 2007, 41, (14), 4868-4874., <http://dx.doi.org/10.1021/es062163e>
- [7] https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-law_en, viewed on 23.03.2021.
- [8] EN 15359:2011, Solid recovered fuels. Specifications and classes
- [9] Ozkan, A., Banar, M., In Refuse derived fuel (RDF) utilization incement industry by using Analytic Network Process (ANP), 2010, pp. 769-774., <https://doi.org/10.3303/CET1021129>
- [10] Rovira, J., Mari, M., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J. L., Partial replacement of fossil fuel in a cement plant: Risk assessment for the population living in the neighborhood. *Science of the Total Environment* 2010, 408, (22), 5372-5380., [10.1016/j.scitotenv.2010.07.060](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.060)
- [11] Rada, E.C., Andreottola, G., RDF/SRF: which perspective for its future in the EU. *Waste Manage.* 2012, 32 (6), 1059-1060., <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.02.017>.
- [12] <https://iss.rs/sr/Cyrl/publication/show/iss:pub:39945>, viewed on 23.03.2021.
- [13] Di Lonardo, M.C., Franzese, M., Costa, G., Gavasci, R., Lombardi, F., The application of SRF vs. RDF classification and specifications to the material flows of two mechanical-biological treatment plants of Rome: Comparison and implications, *Waste Management* 47 (2016) 195-205., <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.018>
- [14] Garg, A., Smith, R., Hill, D., Longhurst, P.J., Pollard, S.J.T., Simms, N.J., An integrated appraisal of energy recovery options in the United Kingdom using solid recovered fuel derived from municipal solid waste. *Waste Manage.* 2009, 29 (8), 2289-2297., <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.031>
- [15] Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J., Production and quality assurance of solid recovered fuels using mechanical-biological treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2010, 40 (12), 979-1105., <http://dx.doi.org/10.1080/10643380802586980>.

- [16] Kara, M., Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns. *Resour. Conserv. Recycl.* 2012, 68, 21–28., <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.011>.
- [17] Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Albarrán, F., Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *J. Clean. Prod.* 2014, 83, 118–125., <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.085>.
- [18] Samolada, M.C., Zabaniotou, A.A., Energetic valorization of SRF in dedicated plants and cement kilns and guidelines for application in Greece and Cyprus. *Resour. Conserv. Recycl.* 2014, 83, 34–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.013>
- [19] Dunnu, G., Maier, J., Hilber, T., Scheffknecht, G., Characterisation of large solid recovered fuel particles for direct co-firing in large PF power plants. *Fuel*, 2009, 88 (12), 2403–2408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.03.004>
- [20] Status and prospects of co-processing of waste in EU cement plants, Ecofys, 2017, <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/co-processing-waste-eu-cement-plants-status-and-prospects>, viewed on 23.03.2021.
- [21] WBCSD Report, “Guidelines for the Selection and Use of Fuels and Raw Materials in the Cement Manufacturing Process, Fuels and Raw Materials”, December 2005. www.wbcscement.org/pdf/tf2_guidelines.pdf, viewed on 12th October 2011.
- [22] Increasing the Use of Alternative Fuels at Cement Plants: International Best Practice, 2017 International Finance Corporation
- [23] Rahman, A., et al., “Recent Development on the Uses of Alternative Fuels in Cement Manufacturing Process,” *Fuel* 145, 2015, 84–99, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.12.029>
- [24] <http://www.basel.int/>
- [25] The GTZ-Holcim strategic alliance on co-processing waste material in cement production, A success story we can build on, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH and Holcim Group Support Ltd, Frankfurt am Main, Germany, 2009.,
- [26] <https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm>, viewed on 23.03.2021.
- [27] <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/waste-treatment-0>, viewed on 23.03.2021.
- [28] <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/waste-incineration-0>, viewed on 23.03.2021.
- [29] CSI (Cement Sustainability Initiative). “Guidelines for the selection and use of fuels and raw materials in the cement manufacturing process”. World Business Council for Sustainable Development; 2005.,
- [30] Heidelberg Cement Group, Sustainability KPI 2011, <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/912D789C-C7B4-43CC-ABA7-6C0FF837A6A5/0/IndicatorsSustainability2011.pdf>, viewed on 28th July 2012.
- [31] Holcim Ltd. 2011, Corporate Sustainable Development Report 2011, http://www.holcim.com/fileadmin/templates/CORP/doc/SD12/holcim_csd_2011_WEB.pdf, viewed on 28th July 2012
- [32] Italcementi Group, Sustainability Disclosure 2011, http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/1734D444-F2DE-41FA-9914-8A943E385975/0/ITC_Sostenibilita_2011UK.pdf, viewed on 6th June 2012.
- [33] Italcementi Group. Sustainability Report 2010, <http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/613C7701-5A4A-4FCD-BEDD-2400E49C98A5/0/sdReport2010.pdf>, viewed on 19th March 2012.
- [34] Lafarge Group, Sustainability Report 2011, http://www.lafarge.com/05182012-publication_sustainable_development-Sustainable_report_2011-uk.pdf, viewed on 6th June 2012.
- [35] Cemex Group, Sustainable Development Report, 2011, http://www.cemex.com/InvestorCenter/files/2011/CX_SDR2011.pdf, viewed on 6th June 2012.

- [36] Gallestey, E., Castagnoli, D., Colbert, C., New Levels of Performance for the Cement Industry, <http://www02.abb.com/global/gad/gad02077.nsf/lupLongContent/D23B7F13F1201AE7C1256EA7003BF848>, viewed on 10th May 2012.
- [37] Закон о управљању отпадом, Сл. гласник РС, бр. 36/2009, 88/2010, 14/2016 и 95/2018 - др. Закон
- [38] Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011-2017. године; Агенција за заштиту животне средине, 2018.
- [39] Нацрт Националне стратегије управљања отпадом са националним планом управљања отпадом за период 2020-2025. године, 2019.
- [40] Национални програм за усвајање правних тековина Европске уније (НПАА), трећа ревизија, фебруар 2018.
- [41] Стратегија паметне специјализације у Републици Србији за период од 2020. до 2027. године, Сл. гласник РС, бр. 21/2020
- [42] Стратегија индустријске политике Републике Србије од 2021. до 2030. године, Сл. гласник РС, бр. 35/2020
- [43] Karstesten, K.H., Formation, release and control of dioxins in cement kilns, Chemosphere, 70, 2008, 543–560, [10.1016/j.chemosphere.2007.06.081](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.081)
- [44] https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjNkeasS4uztAhUpi8MKHaFyCWQQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.erfo.info%2Fimages%2FFPDF%2FThe_role_of_SRF_in_a_Circular_Economy.pdf&usq=AOvVaw0enj-SRs3ndZQ7_2lebA , viewed on 23.03.2021.
- [45] Resource savings and CO2 reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO2 reduction target in 2020 Prognos AG, Berlin, https://www.researchgate.net/publication/276417019_Resource_savings_and_CO2_reduction_potential, viewed on 23.03.2021.
- [46] Јововић, А., Радић, Д., Станојевић, М., Обрадовић, М., Тодоровић, Д., Радовановић-Јовин, Х., Георгијевић, З., Вујић, Б., Шандин, З., Ђурић, Т., Попин, Д., Елементи животне средине, Ваздух. 2011., Пп. 40-93, у Пузовић, С. и Радовановић-Јовин, Х. (едс.) Животна средина у Аутономној покрајини Војводини: Стање-изазови-перспективе. Покрајински секретаријат за урбанизам, градитељство и заштиту животне средине, Нови Сад
- [47] <https://balkangreenenergynews.com/rs/mogucnosti-efekti-koriscenja-otpadnih-materijala-kao-energenata-u-cementnoj-industriji/> , viewed on 23.03.2021.

POSSIBILITIES AND IMPACT OF SOLID RECOVERED FUELS UTILISATION

by

Aleksandar Jovović

University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16, Beograd, Serbia

Abstract

Modern society generates relatively large quantities of waste material from various sources. Due to its large quantities and negative impact on the environment, waste is considered one of the biggest ecological problems of modern society. Energy can be obtained from waste through thermal treatment, that is, direct waste combustion, co-incineration with fossil fuels, pyrolysis and gasification, as well as through biological treatments, i.e., conversion of waste organic matter into biogas (anaerobic digestion) and other biochemical procedures for conversion of waste into energy. Energy production from alternative sources is today a constituent part of sustainable development strategies. Different types of waste are used with an objective to reduce utilization of fossil fuels and energy costs in industrial and power plants. Certain issues are still open, mostly related to certain waste pre-treatment processes, i.e. application of source separation of waste as virtual pre-treatment, as well as to fuel from waste being a sustainable solution.

Keywords: solid recovered fuel (SRF), combustion, co-combustion, cement plant, emission GHG

Paper submitted: January 01, 2021

Paper revised: March 10, 2021

Paper accepted: March 24, 2021

Copyrights © 2021 Society of Thermal Engineers of Serbia

Published by the VINCA Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia
This is an open access article distributed under the CC BY-NC-ND 4.0 terms and conditions