

Zbrinjavanje električnog i elektroničkog otpada

GOSPODARSKI I OKOLIŠNI POTENCIJALI RECIKLIRANJA OTPADNIH ELEKTRIČNIH VODIČA



Kontinuirani gospodarski rast posljednjih desetljeća nerazdvojiv je od povećanja potrošnje sirovina i količina nastalog otpada, uključujući otpadnu električnu i elektroničku opremu. Procjenjuje se da je u svijetu 2019. godine nastalo 53,6 milijuna t takvog otpada, od čega je samo 17% prikupljeno i reciklirano na odgovarajući način, dok je preostalih 44,5 mil. t završilo na odlagalištima ili je nepropisno zbrinuto. Takav način gospodarenja otpadom uzrokuje gubitak vrijednih sekundarnih sirovina, onečišćenje okoliša i degradaciju ekosustava. Stoga valja procijeniti gospodarski i okolišni potencijal kružnog gospodarenja otpadnim električnim vodičima u Hrvatskoj, s naglaskom na mogućnosti recikliranja, iskorištavanja sekundarnih sirovina te smanjenja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova.

prof. dr. sc.

Slaven Dobrović

Franko Orešković

mag. ing. mech.

Službene evidencije o količinama i vrsti prikupljenih otpadnih električnih vodiča ne postoje pa se njihove količine procjenjuju na temelju tokova otpada koji ih sadrže. Razmotrena su tri glavna izvora otpadnih vodiča:

- otpadna električna i elektronička oprema (tzv. EE otpad)
- građevinski otpad
- industrijski otpad.

Prema dostupnim podacima, u Hrvatskoj je 2022. godine prikupljeno 31 396 t EE otpada, dok je na tržište stavljeno 76 995 t električne i elektroničke opreme, što odgovara prikupljanju 8,1 kg EE otpada po stanovniku. Na temelju procijenjenog udjela vodiča u prikupljenom EE otpadu procjenjuje se da je prikupljeno približno 4022 t otpadnih električnih vodiča.

Količina električnih vodiča koji se mogu izdvojiti iz građevinskog otpada procjenjuju

se na 3465 t, dok se količina otpadnih vodiča nastalih u industriji, prvenstveno tijekom održavanja, modernizacije i demontaže proizvodnih postrojenja i infrastrukturnih sustava, procjenjuje na oko 1500 t godišnje.

Ukupna procijenjena količina prikupljenih otpadnih električnih vodiča u Hrvatskoj stoga iznosi 8987 t. Ta količina predstavlja osnovu za procjenu gospodarskog i ekološkog potencijala njihova recikliranja.

STRUKTURA I SASTAV ELEKTRIČNIH VODIČA

Nakon procjene količina otpadnih električnih vodiča analiziran je njihov materijalni sastav kako bi se procijenile mogućnosti recikliranja i iskorištavanja sekundarnih sirovina.

Električni vodič sastoji se od jedne ili više metalnih žica okruženih električnom izolacijom i zaštitnim slojevima. Njegova osnovna funkcija je prijenos električne energije uz minimalne električne gubitke. Kao materijal vodiča najčešće se koristi bakar zbog izvrsne električne i toplinske vodljivosti, dok se aluminij primjenjuje zbog manje gustoće, dobre vodljivosti i niže cijene. Izolacija vodiča izrađuje se pretežno od polimernih materijala, među kojima prevladavaju polivinil-klorid (PVC) i različite vrste polietilena (XLPE, HDPE i LDPE). Ovisno o namjeni, vodiči mogu sadržavati i zaštitne elemente poput bakrenih zaslona za elektromagnetsku zaštitu i čeličnih armatura za jačanje mehaničkih svojstava vodiča.

U nedostatku evidencija i podataka procijenjena je struktura prikupljenih otpadnih vodiča po vrstama i na temelju uobičajenog sastava izračunati su udjeli glavnih materijalnih konstituenata. Iz toga slijedi da 9000 t prikupljenih otpadnih vodiča sadržava 2202 t bakra i 809 t aluminija, 800 t čelika, 90 t kositra i više od 5000 t različitih polimera, od kojih PVC čini oko 45%.

REFERENTNO POSTROJENJE ZA RECIKLIRANJE ELEKTRIČNIH VODIČA

Recikliranje električnih vodiča započinje prihvatom i razvrstavanjem otpadnih kabela prema vrsti vodiča (bakar ili aluminij) i tipu izolacije (najčešće PVC i XLPE), čime se povećava učinkovitost daljnje obrade. Razvrstani kabeli zatim prolaze kroz niz mehaničkih postupaka koji uključuju operacije kao što su skidanje izolacije, usitnjavanje i granuliranje i magnetska i zračna separacija s ciljem postizanja što veće čistoće odvojenih

materijal	količina, t godišnje	procijenjeni prihod, eura (*)
bakar	2100	9 600 000
aluminij	780	850 000
čelik	800	100 000
kositar	90	1 200 000
ukupno	3770	11 750 000

Legenda:

(*) Prema lme.com (London Metal Exchange), uz korekciju tržišne vrijednosti 0,3 - 0,4.

Tablica 1
Procijenjene godišnje količine reciklata i mogući prihodi od njihove prodaje

frakcija. Dodatno usitnjavanje u turbomlinu, zračno-gravitacijska separacija, separacija potapanjem (eng. sink-float), sušenje i elektrostatska separacija omogućavaju još veće učinkovitosti razdvajanja metala i različitih polimernih materijala. Na kraju procesa dobivaju se čiste frakcije bakra, aluminija, čelika i dvije skupine usitnjene plastike, uz ukupnu učinkovitost odvajanja materijala veću od 98%.

Na temelju provedene analize referentnog rješenja postrojenja za recikliranje otpadnih električnih vodiča procijenjen je tehnički, ekonomski i materijalni potencijal postrojenja projektiranog za obradu oko 9000 t otpadnih vodiča godišnje u dvosmjenskom načinu rada.

Provedeni proračuni pokazuju da bi instalirana električna snaga postrojenja bila nešto veća od 620 kW, uz godišnju potrošnju električne energije za mehaničku obradu i separaciju materijala od 2,3 GW h. Završna separacija PVC-a i sušenje dviju skupina polimernih granula trošilo bi dodatnih 0,3 GW h pa se ukupna potrošnja električne energije postrojenja penje na oko 2,6 GW h godišnje.

Procijenjena vrijednost investicije za izgradnju i opremanje takvog postrojenja iznosi 6 - 8 milijuna eura, ovisno o odabranoj konfiguraciji opreme i stupnju automatizacije procesa. Godišnji operativni troškovi procijenjeni su na 5 - 6 mil. eura, pri čemu se oko polovice odnosi na otkup otpadnih električnih vodiča iz tri spomenuta izvora. Preostali dio operativnih troškova obuhvaća potrošnju energije, radnu snagu, održavanje postrojenja, logistiku i ostale pogonske troškove.

Na temelju procijenjenog sastava otpadnih vodiča moguće je izdvojiti značajne količine sekundarnih sirovina koje ostvaruju veliku tržišnu vrijednost. Potom se mogu procijeniti godišnje količine reciklata i mogući prihodi od njihove prodaje (tablica 1).

Provedena analiza pokazuje da dominantnu ekonomsku vrijednost ostvaruje bakar,

▼ Tablica 2

Sažetak tehničkih, ekonomskih i okolišnih pokazatelja predloženog postrojenja za recikliranje električnih vodiča

pokazatelj	vrijednost
kapacitet postrojenja, t godišnje	9000
instalirana električna snaga, kW	620
godišnja potrošnja električne energije, GW h	2,6
procijenjena investicija, mil. eura	6 - 8
godišnji operativni troškovi, mil. eura	5 - 6
procijenjeni prihod od prodaje sekundarnih sirovina, mil. eura	11,75
procijenjeni povrat investicije, godina	< 1
materijalni tokovi	
izdvojeni bakar, t godišnje	2100
izdvojeni aluminij, t godišnje	780
izdvojeni čelik, t godišnje	800
izdvojeni kositar, t godišnje	90
okolišne koristi	
izbjegnuta eksploatacija rude, t godišnje	262 471
izbjegnuti rudarski otpad, t godišnje	258 562
neto ušteda na energiji, GJ godišnje	274 000
neto smanjenje emisija CO ₂ , t godišnje	25 800

dok značajan doprinos ostvaruje i izdvojeni kositar zbog svoje visoke tržišne cijene. Aluminij i čelik imaju manju pojedinačnu vrijednost, ali doprinose ukupnoj iskoristivosti materijala i dodatno povećavaju ekonomsku opravdanost procesa. Mogući prihodi od izdvojenih granula pročišćenog PVC-a nisu računati.

Uz pretpostavku stabilne dostupnosti ulaznog materijala, tržišnih cijena sekundarnih sirovina i planiranih operativnih troškova, procijenjeno je da razdoblje povrata investicije iznosi manje od jedne godine, što ukazuje na vrlo veliku ekonomsku isplativost ulaganja u postrojenje za recikliranje otpadnih električnih vodiča.

Međutim, osim gospodarskih pokazatelja, recikliranje otpadnih električnih vodiča ostvaruje značajne okolišne koristi zbog očuvanja prirodnih resursa, smanjenja potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova. Budući da se sekundarne sirovine koriste umjesto primarnih, izbjegavaju se eksploatacija velikih količina rudnih sirovina i energetski zahtjevniji procesi njihove prerade. Riječ je o mjerama koje značajno doprinose povećanju održivosti društva.

DOPRINOS ODRŽIVOM RAZVOJU

Proizvodnja metala iz primarnih sirovina, odnosno ruda zahtijeva eksploataciju znatno većih količina rude od mase dobive-

nog metala. Ovisno o vrsti rude i prosječnom sadržaju metala, za proizvodnju 1 t metala potrebno je preraditi od nekoliko do više od 160 t rude, pri čemu nastaju velike količine jalovine i rudarskog otpada. Na temelju procijenjenih količina izdvojenih metala iz otpadnih električnih vodiča izračunato je da se njihovim recikliranjem izbjegava eksploatacija oko 262 500 t rudnih sirovina, čime se istodobno sprječava nastanak oko 258 600 t rudarskog otpada.

Nadalje, proizvodnja metala i polimera iz primarnih sirovina izrazito je energetski zahtjevna i povezana sa značajnim emisijama stakleničkih plinova. Zamjenom primarnih sirovina recikliranim materijalima izbjegavaju se energetski intenzivni procesi proizvodnje bakra, aluminija, čelika i polimera, čiji se doprinos sada neće uračunati. Na osnovi količina izdvojenih metalnih sekundarnih sirovina procijenjeno je da se njihovom uporabom može izbjeći ukupna potrošnja oko 283 300 GJ energije, uz smanjenje emisija za oko 26 100 t ugljikova dioksida.

Rad postrojenja za recikliranje zahtijeva vlastiti utrošak energije za usitnjavanje, separaciju, transport i sušenje materijala. Procijenjena godišnja potrošnja energije postrojenja iznosi oko 9360 GJ, što uz hrvatski višegodišnji prosjek specifičnog faktora emisije CO₂ od 116 g/(kW h) iznosi 301,6 t CO₂.

Ako se ostvarene uštede na energiji i smanjenje emisija korigiraju za vlastitu potrošnju energije i emisije postrojenja za recikliranje, dobivaju se neto okolišne koristi sustava. Kružno gospodarenje, odnosno recikliranje otpadnih električnih vodiča u iznosu od gotovo 9000 t donosi neto uštede na energiji oko 274 000 GJ godišnje i neto smanjenje ili ponor emisija za oko 25 800 t CO₂. Drugim riječima, vlastita potrošnja energije postrojenja čini svega oko 3,4% ukupno ostvarene energetske koristi, dok pripadajuće emisije predstavljaju manje od 1,2% ukupno izbjegnute emisije stakleničkih plinova.

Provedena analiza pokazuje da recikliranje električnih vodiča predstavlja izrazito učinkovit način očuvanja prirodnih resursa i značajno doprinosi dekarbonizaciji industrije i razvoju kružnog gospodarstva (tablica 2). Uz veliku ekonomsku isplativost, ostvaruju se znatne uštede na energiji i smanjenje emisija stakleničkih plinova, čime se recikliranje električnih vodiča potvrđuje kao važna mjera održivog gospodarenja sekundarnim sirovinama. ■