

# Pregled elektro-magnetskih metoda razvrstavanja otpada

---

Ramljak, Tihomir

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:642957>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**PREGLED ELEKTRO-MAGNETSKIH METODA  
RAZVRSTAVANJA OTPADA**

**Završni rad**

**Tihomir Ramljak**

**Osijek, 2018.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 23.09.2018.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Tihomir Ramljak
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	A4212, 22.07.2014.
<b>OIB studenta:</b>	71645298722
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Tomislav Rudec
<b>Sumentor:</b>	Dr.sc. Goran Rozing
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Doc.dr.sc. Anita Katić
<b>Član Povjerenstva:</b>	Dr.sc. Goran Rozing
<b>Naslov završnog rada:</b>	Pregled elektro-magnetskih metoda razvrstavanja otpada
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	U radu opisati najvažnije metode razvrstavanja usitnjenog tehničkog otpada na bazi elektro-magnetskih pojava. Postrojenja prikazati shematski, opisati način rada, kapacitete i financijske pokazatelje primjene. Ukazati na prednosti i nedostatke metoda, te preporuke primjene. Sumentor: Goran Rozing
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	23.09.2018.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 29.09.2018.

**Ime i prezime studenta:**

Tihomir Ramljak

**Studij:**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A4212, 22.07.2014.

**Ephorus podudaranje [%]:**

15 %

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pregled elektro-magnetskih metoda razvrstavanja otpada**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Tomislav Rudec

i sumentora Dr.sc. Goran Rozing

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. GOSPODARENJE OTPADOM .....	2
2.1. Podjela otpada prema svojstvima .....	2
2.2. Podjela otpada prema mjestu nastanka .....	4
3. RAZVRSTAVANJE OTPADA .....	7
3.1. Ručno razvrstavanje otpada .....	7
3.2. Mehanički postupci razvrstavanja .....	8
3.3. Kemijski postupci razvrstavanja .....	12
3.4. Toplinski postupci .....	14
4. ELEKTRO-MAGNETSKE METODE RAZVRSTAVANJA .....	16
4.1. Vrtložne struje u elektrotehnici .....	16
4.2. Razvrstavanje otpada metodom vrtložnih struja .....	17
4.2.1. Separatori na principu vrtložnih struja tvrtke Magnapower .....	19
4.3. Odvajanje jakim magnetskim poljima .....	20
4.4. Elektrostatičko razdvajanje .....	23
4.5. Električno razvrstavanje na principu triboefekta .....	25
5. ZAKLJUČAK .....	26
LITERATURA .....	27
POPIS SLIKA .....	30
SAŽETAK .....	32
ABSTRACT .....	32
ŽIVOTOPIS .....	33

## 1. UVOD

Otpad predstavlja tvar ili predmet koji više kao takav ne može koristiti svojoj prvobitnoj namjeni pa ga je potrebno na adekvatan način zbrinuti. Otpad je posljedica raznih čovjekovih aktivnosti: u kućanstvima, privredi te posebno u industriji.

Gospodarenje otpadom uvijek je bio odraz stupnja civilizacije našega društva [1]. U današnje vrijeme, sa povećanjem broja stanovnika na Zemlji te sa napretkom različitih tehnologija i industrija, dolazimo do točke u kojoj se okoliš kojega kao takvog poznajemo, više neće moći održati. Svjedoci smo brojnih elementarnih nepogoda i katastrofa koje gotovo svakodnevno obasipaju naš planet. Stoga, kao jedna od mogućnosti za zaustavljanje tih loših procesa ili barem njihovo usporavanje, nameće se recikliranje.

Recikliranje ili oporaba (prema engl. *recycle*, od re- + lat. *cyclus* < grč. κύκλος: krug), predstavlja proces obrade otpadnih materijala i iskorištenih proizvoda radi dobivanja sirovina i energije za ponovno iskorištavanje i uporabu. Sve veći pritisak javnosti u pogledu zaštite okoliša, utjecao je na povećanje troškova zbrinjavanja otpada, potičući na taj način i razvoj samih postupaka recikliranja. Kod prerade otpada potrebno je otpadne proizvode, koji se sastoje od raznih vrsta materijala različitih svojstava, razdvojiti te nakon toga razvrstati kako bi se što uspješnije proveo postupak recikliranja [2].

Neki od važnijih karakteristika materijala na kojima se zasniva izbor postupaka razvrstavanja otpada su: magnetska svojstva (da li je materijal jako, slabo ili nemagnetičan), gustoća, mehanička svojstva (čvrstoća, sposobnost preoblikovanja, ponašanje pri lomu i sl.), električna vodljivost, boja površine loma, kemijski sastav određen spektralnom analizom itd. Smanjenje otpada, te maksimiziranje ekološki prihvatljive uporabe zacrtani su ciljevi kojima se teži u gospodarenju otpadom, a tu se još dodaje i promicanje prihvatljivog postupanja s otpadom, pri čemu je važno razvijanje državnih mjera za gospodarenje otpadom [1].

U ovome radu biti će prikazane najznačajnije metode razvrstavanja otpada na bazi elektromagnetskih pojava pomoću različitih separatora za razvrstavanje, ali i načini razvrstavanja otpada te klasifikacija samog otpada.

## 2. GOSPODARENJE OTPADOM

Gospodarenje otpadom predstavljaju sve aktivnosti i radnje potrebne za upravljanje otpadom od njegova nastanka pa do konačnog zbrinjavanja [3]. To, između ostalog, uključuje: skupljanje, transport, obradu i zbrinjavanje otpada, pod njegovim nadzorom i regulacijom samog procesa.

Otpadom se smatra svaki predmet ili tvar koju posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [4]. Također, otpadom se smatra svaki predmet ili tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u cilju zaštite javnog interesa.

### 2.1. Podjela otpada prema svojstvima

Prema svojstvima, otpad se dijeli na:

#### 1) Opasan otpad

Opasan otpad je otpad koji ima barem jedno od sljedećih svojstava: zapaljivost, eksplozivnost, toksičnost, reaktivnost, nadražljivost, nagrizanje, kancerogenost, infektivnost, mutagenost, svojstvo ispuštanja otrovnih plinova kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom [5].

Kao takav, opasan otpad podijeljen je na:

**Radioaktivan otpad** – radioaktivni plinovi (do raspadanja se čuvaju u spremnicima), radioaktivne tekućine te čvrsti radioaktivni otpad (kontaminirane otpadne tvari; zaštitna oprema, filterski ulošci, plastika i sl.) [5]. Na slici 2.1. prikaz je radioaktivan otpad.



Slika 2.1. Bačve sa znakom radioaktivnosti

**Tvari zaraznog djelovanja** – najčešće podrazumijeva otpad iz bolničkog, tj. zdravstvenog sektora (klinički otpad nastao medicinskim tretmanima u bolnicama i klinikama, otpad iz proizvodnje i pripreme farmaceutskih proizvoda, otpadni farmaceutski proizvodi i lijekovi i sl.) [6].

**Korozivne otpadne tvari** – razne kiseline i baze.

**Otrovne otpadne tvari** – spojevi teških metala (kadmij [Cd] – iz akumulatora i polimernih materijala, olovo [Pb] – iz talionice ruda olova, ljevaonice olova i njegovih slitina, termoenergetskih postrojenja, kemijske industrije i sl., živa [Hg] – iz spalionica komunalnog otpada, ložišta na foslina goriva) itd. [7]. Na slici 2.2 prikazan je znak opasnosti za otrovne tvari.



Slika 2.2. Znak opasnosti za otrovne tvari

**Zapaljive otpadne tvari** – zapaljive tekućine (nafta i naftni derivati), zapaljivi plinovi (ukapljeni naftni plinovi, zemni plin te ukapljeni tehnički plinovi) te prašine, tj. krute sitne čestice (prašina nastala kao posljedica tehnoloških postupaka obrade polimera, metala i sl., u rudnicima itd.) [8].

## 2) Inertni optad

Inertni otpad je otpad koji je ne podliježe nikakvim biološkim, fizičkim ili kemijskim promjenama te ne utječe nepovoljno na druge tvari s kojima dolazi u doticaj na način koji može



dovesti do zagađenja okoline ili ugrožavanja života ljudi [9]. Takav otpad je u apsolutnoj suprotnosti opasnom otpadu, tj. ne posjeduje nikakvu njegovu karakteristiku.

## **2.2. Podjela otpada prema mjestu nastanka**

Otpad se, prema mjestu nastanka, dijeli na:

### **1) Komunalni otpad**

Pod komunalnim otpadom se smatra kruti otpad koji je nastao u stambenim naseljima, a uključuje i smeće iz :

- domaćinstva
- industrije i obrtništva
- raznog komadnog otpada
- građevinskog otpada
- ostatke iz obrade komunalnih voda i sl. [5]

Takav otpad je u nadležnosti komunalnih poduzeća.

### **2) Industrijski (tehnološki) otpad**

Industrijski (tehnološki) otpad je otpad, kojemu sami naziv kaže, koji je proizašao iz industrijske proizvodnje ili proizvodnih procesa, ali i iz raznih obrtničkih i uslužnih djelatnosti [10]. Dijeli se na:

- procesni (otpadne tvari koje odlikuju neku industriju)
- neprocesni (uredski otpad, ambalažni otpad) i sl. [11].

### **3) Posebne kategorije otpada**

Posebnim kategorijama otpada pripadaju sljedeće vrste otpada:

***Biootpad*** – otpad iz poljoprivrede, šumarstva, ribarstva, lovstva, proizvodnje vodenih kultura, hortikultura i sl. Svrha odvajanja biootpada iz miješanog komunalnog otpada je da se smanji udio organskih tvari, koje pridonose procesu truljenja, a samim time i oslobađanjem plinova na odlagalištima [12].

**Ambalažni otpad** – predstavlja svaki ambalažni materijal ili ambalažu nakon što se proizvod otpakira i odvoji od ambalaže, isključujući proizvodne ostatke [12]. Ambalažni materijali od koji se pravi ambalaža proizvoda mogu biti od: plastike, kartona, stakla, papira, metala, drveta, višeslojnog miješanog materijala i sl. Na slici 2.3. prikazan je prešani ambalažni otpad.



Slika 2.3. Prešani ambalažni otpad

**Električni i elektronički otpad** – veliki kućanski uređaji (štednjaci, hladnjaci, perilice..), mali kućanski uređaji (glačala, mikseri..), oprema informatičke tehnike (računala, mobiteli..), oprema široke potrošnje za razonodu (glazbeni instrumenti, radio i TV aparati..), rasvjetna oprema, električni i elektronički alati (bušilice, pile..), medicinski uređaji (uređaji za dijalizu, kardiološki uređaji..), instrumenti za nadzor i upravljanje (detektori, termostati..), samoposlužni alati (razni automati) i sl [13]. Prikaz električnog i elektroničkog otpada nalazi se na slici 2.4.



*Slika 2.4. Električni i elektronički otpad*

Od preostalog otpada posebne kategorije, važno je izdvojiti: otpadni tekstil i obuću, otpadne gume, otpadna vozila, otpad koji sadrži azbest, medicinski otpad, građevni otpad, otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje voda, morski otpad, otpadni brodovi [12].

### 3. RAZVRSTAVANJE OTPADA

Kako je ljudski rad skup, a ujedno i ne baš učinkovit za rastavljanje otpada, unaprijeđen je veliki broj postupaka razvrstavanja i usitnjavanja otpada za različite vrste materijala. [1].

Za razvrstavanje otpada se koriste brojna svojstva, kao npr. : magnetska, mehanička (čvrstoća, sposobnost preoblikovanja, ponašanje pri lomu i dr.), električna vodljivost, boja površine, svojstva određena emisijsko – spektralnom i rendgensko - fluorescentnom analizom itd. [1].

#### 3.1. Ručno razvrstavanje otpada

Ručno razvrstavanje predstavlja jedno od elementarnih načina razvrstavanja materijala, ali se u novije vrijeme sve slabije koristi. Najčešće je riječ o vizualnom aspektu određivanja vrste materijala prema boji (tablica 3.1.) [1].

**Tablica 3.1.** Površinske boje neplemenitih metala i njihovih legura

<b>Boja</b>	<b>Metal/legura</b>
crvena, crvenkasta	bakar
žuta do zlatno žuta	legure Cu-Zn, Cu-Sn
plavkasta do tamno siva, plavkasto bijela kod svježeg loma, kasnije postaje tamno siva	olovo, Pb-legure
plavkasto bijela bijela pri svježem lomu; kasnije postaje plavkasto siva	cink, Zn-legure
bijela do svijetlo siva bijela, svijetlo siva oksidirajući sloj	magnezij
bijela do blijedo siva	aluminij, Al-legure
gotovo srebrnasto bijela, sa slabo sivim svjetlećim odsjajem	nikal
gotovo srebrno bijela	kositar, legure Sn, legure Cu-Ni, legure Cu-Ni-Zn

Kada su u pitanju velike količine materijala, najčešće u obzir dolaze transportne trake na kojima se nalaze dijelovi koji se razvrstavaju, ali najprije, ukoliko je potrebno, treba se ukloniti svaki otpad koji predstavlja nekakvu opasnost i sl. Radnici koji rade u pogonu za razvrstavanje otpada, stoje sa obje strane transportne trake kojom se kreće otpad za sortiranje. Pri tome, svaki bi radnik

trebao, u pravilu, imati od 1,5 do 1,8 m širine radnog prostora, dok bi ispred sebe trebao imati barem 0,6 m slobodnog prostora, tako da zbroj širine transportne trake za razvrstavanje otpada bude maksimalno 1,2 m. O samoj složenosti otpada za sortiranje, ovisi i brzina protoka materijala. U pravilu, ona iznosi 0,15 m do 0,2 m. Za radnika koji radi na transportnoj traci, vrlo je važno da jednostavnim, usklađenim pokretima ruku može što lakše odvojiti dijelove koji protječu, uz minimalnu potrošnju svoje snage [1]. Prikaz transportne trake za sortiranje otpada vidljiv je na slici 3.1.



Slika 3.1. *Transportna traka za sortiranje otpada tvrtke Heckolmejec*

Za izbor postupka prerade dotrajalih proizvoda, važan čimbenik predstavlja masa materijala (dijelova) samog proizvoda. Kada je masa dijelova (materijala) povećana, najčešće dolazi do ručnog razvrstavanja, jer je tada smanjena učinkovitost mehaničkog razvrstavanja. Čistoća materijala kod ručnog razvrstavanja mora biti visoka [1].

### **3.2. Mehanički postupci razvrstavanja**

Mehaničko razvrstavanje otpada predstavlja proces korištenja postrojenja za sortiranje otpada na njegove različite komponente. Takva postrojenja koriste različite mehanizme, sa unaprijed propisanim slijedom za razvrstavanje otpada [14].

Mehaničko razvrstavanje sastoji se od tri povezane operacije:

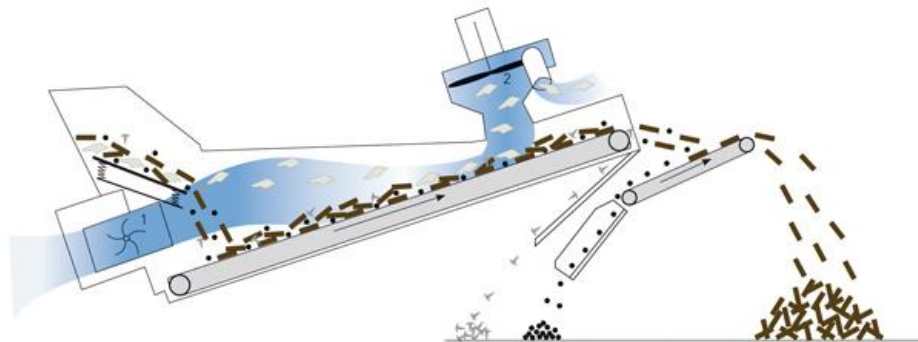
- izdvajanje dijelova, radi pojedinačnog identificiranja
- identificiranje dijelova na temelju određenih razlikovnih obilježja
- odvajanje identificiranih dijelova u odvojene spremnike [1].

Da bi mehaničko razvrstavanje bilo ekonomski opravdano, potrebno je precizno i brzo uočiti različitost među karakteristikama samih materijala.. Npr. kobalt, željezo ili nikal je vrlo lako odvojiti od ostalih materijala pomoću magneta. Polimeri se najbrže mogu razvrstati putem gustoće. Proces se odvija u fluidu, tj. plinu ili tekućini. Kada se određena dva polimera stave u fluid, polimer sa manjom tekućinom lebdjeti, dok će onaj sa većom gustoćom tonuti. Kada su u pitanju dva slična polimera po pitanju gustoće, tada proces razvrstavanja neće davati rezultata [1].

Važniji postupci mehaničkog razvrstavanja:

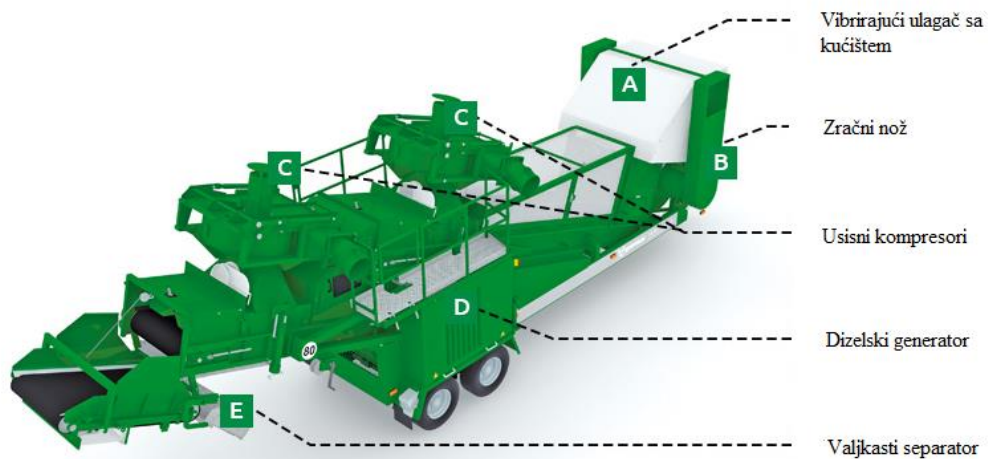
- Propuhivanje (engl. *Wind sifter*)
- Zračni vrtlog (engl. *Gas cyclone*)
- Plivajuće-toneći postupak (engl. *Float-sink technique*)
- Vodeni vrtlog (engl. *Hydrocyclone*) i dr.

**Propuhivanje** (engl. *Wind sifter*) je postupak mehaničkog razvrstavanja otpada pri kojem se krute čestice težinski odvajaju pri strujanju zraka te ono ovisi o dimenzijama, obliku i gustoći samih otpadnih materijala [1]. Na slici 3.2. shematski je prikazano razvrstavanje otpada propuhivanjem.



Slika 3.2. Shematski prikaz razvrstavanja otpada propuhivanjem

U prvom koraku, dovedeni materijal se odvaja pomoću zračnog noža, dok u drugom koraku lagani materijal izvlači snažan usisni ventilator [15]. Na slici 3.3. se nalazi prikaz mobilnog postrojenja za razvrstavanje plastičnog otpada propuhivanjem.

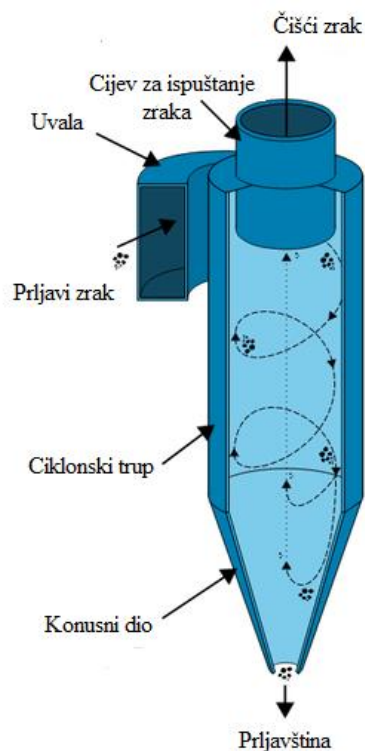


Slika 3.3. Mobilno postrojenje „Hurrikan“ za razvrstavanje plastičnog otpada propuhivanjem, tvrtke Komptech American

Dimenzije postrojenja sa slike 2.3. su  $8130 \times 3000 \times 4100$  mm, ulazna snaga 44/59 kW, dizelski generator 60 / 80,4 kVA, širina punjenja materijalom 1600 mm, visina punjenja materijalom je podesiva od 1950 mm do 2250 mm, ventilator tlaka snage 7,5 kW, ventilator za usisavanje i hlađenje snage 15 kW. Izvedba propusnosti je do  $57 \text{ m}^3/\text{h}$  (ovisno o materijalu) [15].

**Zračni vrtlog** (engl. *Gas cyclone*) je postupak mehaničkog razvrstavanja čvrstih čestica u zračnoj vrtložnoj struji, uz pomoć centrifugalnih sila koje su različite zbog gustoće ili dimenzija čestica. Koristi se najčešće za izvlačenje prašine iz zraka [1].

Uređaj koji se koristi za odvajanje usitnjenog otpada naziva se ciklonski separator (ciklon). Ciklonski separatori poznati su kao predfiltri jer uklanjaju veće dijelove čestica [16]. Takvi separatori mogu djelovati paralelno pa je taj sustav poznat pod nazivom *multicyclone*. Njihova veličina može značajno varirati (od 1,2 do 1,5 m koji spadaju u male ciklone, pa sve do oko 9 m koji spadaju u velike ciklone), jer ovisi o tome koliko se dugo prljavi zrak mora filtrirati pa veća odvajanja zahtijevaju i veće separatore. Shematski prikaz ciklonskog separatora prikazan je na slici 3.4.

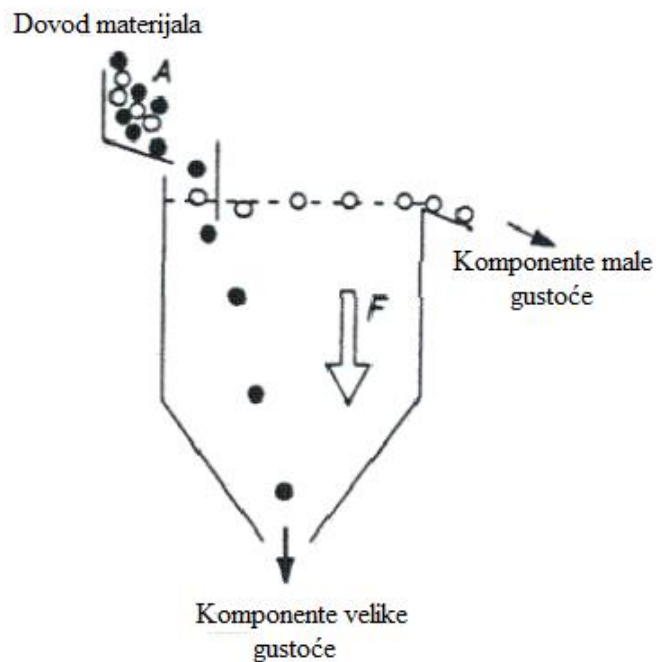


Slika 3.4. *Ciklonski separator*

Ciklonski separatori rade poput centrifuge, ali s kontinuiranim punjenjem prljavog zraka. U separatoru ciklona, prljavi zrak ulazi u komoru. Unutarnja komora stvara spiralni vrtlog sličan tornadu [16]. Struja zraka, u kojoj su prisutne lakše čestice, imaju manju tromost, pa lakše odlaze gore i izlaze u obliku čisteg zraka, dok teže čestice imaju poteškoće sa brzim, spiralnim vrtlogom te pogađaju unutarnje zidove spremnika i padaju dolje kao prljavština. Efikasnost ciklonskih separatora je takva da su u stanju ukloniti od 50 do 99 % svih čestica u prljavom zraku, a to ovisi o veličini čestica. Najefikasniji su kada im se dovodi zrak koji sadrži veće količine težih čestica.

**Plivajuće-toneći postupak** (engl. *Float-sink technique*) spada u skupinu mehaničkog razvrstavanja. To je postupak vodenog odvajanja pri kojem se otpad odlaže u spremnik sa vodom ili nekom drugom tekućinom točno određene gustoće [17]. Tada, lakši dijelovi otpada isplivaju na površinu tekućine, dok teži potonu. Kako bi plivajuće-toneći postupak bio što učinkovitiji, potrebno je da gustoće materijala od kojih je otpad načinjen, budu što više različite, tj. da jedan materijal bude što manje gustoće od tekućine u kojoj se razvrstava, dok drugi bude što veće. Prikaz plivajuće-tonućeg postupka razvrstavanja otpada vidljiv je na slici 3.5.





Slika 3.5. *Plivajuće-toneći postupak razvrstavanja otpada*

**Vodeni vrtlog** (engl. *Hydrocyclone*) također spada u skupinu mehaničkog razvrstavanja. To je postupak koji se koristi za odvajanje čvrstih čestica iz tekućine po principu razlike gustoće i dimenzija, a događa se kada djeluje centrifugalna sila pri gibanju tekućine kroz okruglu cijev [1], [18]. Postupak se koristi i kod odvajanja nečistoća iz tekućine [1].

### 3.3. Kemijski postupci razvrstavanja

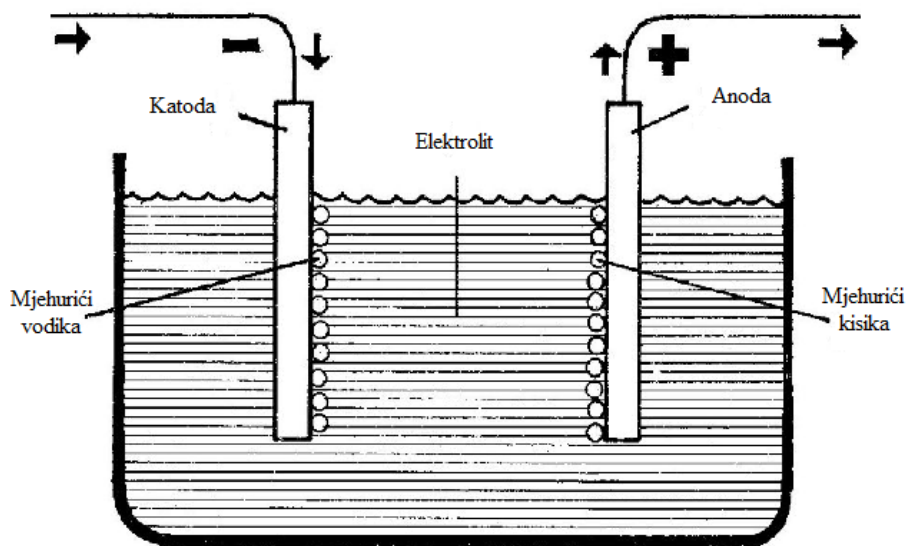
Postupci odvajanja plemenitih metala iz elektroničkog otpada provode se u postrojenjima za filtriranje. Kako se plemeniti metali loše kemijski razgrađuju, postrojenje za filtriranje nudi kao proces za odvajanje, elektrolizu sa taljenjem. Nasuprot suho-mehaničkoj preradi, u elektrokemijskom recikliranju potrebna je voda. Otpadna voda koja nastane se može obraditi u postrojenju s uronjenim ionima, dok se pročišćena voda vraća ponovo u proces. Elektrokemijska obrada plemenitih metala iz elektroničkog otpada zahtijeva vrlo skupa i složena postrojenja, a time su elektrokemijski procesi predočeni kao zatvoreni sustavi sa kružnim tokom, kako bi se spriječilo moguće zagađenje, tj. onečišćenje okoliša [1].

Jedan od primjera razvrstavanja materijala kemijskim postupkom, ukratko će biti objašnjen na primjeru razvrstavanja tiskanih pločica. Tiskane pločice jedne su od najvažnijih komponenti elektroničke opreme [19]. One sadrže većinu vrijednih metala kao što su zlato, srebro, paladij, platina, ali također i puno toksičnog otpada. Razvrstavanje tiskanih pločica odvija se u tri procesa: predobrada, fizikalno razvrstavanje te kemijsko razvrstavanje. Predobrada uključuje odvajanje beskorisnih i toksičnih dijelova te njihovo usitnjavanje ili uništavanje koje je praćeno fizikalnim djelovanjem na njih same. Konačni materijal se na kraju kemijski tretira nekom od kemijskih metoda. Postoji mnogo raznih konvencionalnih i manje konvencionalnih, ali modernijih metoda izvlačenja metalnih i nemetalnih dijelova iz elektroničkog otpada. Neki od njih objašnjeni su u nastavku.

Važniji postupci kemijskog razvrstavanja:

- Elektroliza
- Galvanizacija

**Elektroliza** je elektrokemijska reakcija u kojoj se elektroliti razlažu pod djelovanjem električne struje. Do nje dolazi kada se u otopinu elektrolita urone elektrode izvora istosmjerne električne struje. Tada, ioni nastali elektrolitskom disocijacijom (rastavljanjem) budu privučeni od strane elektrode suprotnog naboja. Anioni (negativno nabijeni ioni) idu prema anodi, tj. pozitivnoj elektrodi, dok kationi (pozitivno nabijeni ioni) putuju prema katodi, tj. negativnoj elektrodi. Anioni tada, u procesu oksidacije, anodi predaju višak elektrona, a kationi na katodi primaju jednak broj broj elektrona (redukcija). Takvim „štanjem“ iona prenosi se elektricitet od jedne elektrode na drugu te otopinom teče električna struja [20]. Na slici 3.6. objašnjena je elektroliza vode.



Slika 3.6. *Elektroliza vode*

**Galvanizacija** je ime dobila po talijanskom fizičaru Luigiju Galvaniju. Predstavlja primjenu istosmjernje električne struje stalne jakosti ili tzv. galvanske struje. Pod galvanotehnikom se smatraju skupovi elektrokemijskih postupaka kojima se metalni sloj nanosi na površinu nekog predmeta [21].

Elektrokemijskom reakcijom, metalni ioni s anode odvajaju se u elektrolit. Otopljeni ioni tada putuju do katode koja je spojena na minus pol strujnog izvora te predstavlja predmet koji se galvanizira. Otopljeni materijal spojen je na plus pol strujnog izvora. Čestice anode, koje su došle do katode, talože se na njoj u kristalnom obliku. Sastav elektrolita se time bitno ne mijenja [1].

### 3.4. Toplinski postupci

Toplinska obrada odvojenog otpada je prikladna i važna metoda za upravljanje otpadom. Važniji ciljevi toplinske obrade otpada su: smanjivanje ostataka otpada ili kontaminacije, smanjenje obujma samog otpada, energetska učinkovitost, proizvodnja sekundarne sirovine i sl. Prva dva navedena cilja spadaju u temeljna načela toplinske obrade [22].

Neki od važnijih toplinskih postupaka razvrstavanja otpada su:

- kriotehnika

- piroliza
- hidroliza i dr.

**Kriotehnika** je postupak hlađenja otpada pri vrlo niskim temperaturama (između  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  i temperature apsolutne nule, koja iznosi  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [23]. Kod elektroničkog otpada, prvi korak je usitnjavanje do točno određene granulacije. Potom se usitnjeni otpad hladi tekućim dušikom pri temperaturi u granicama navedenog. Kada su se dijelovi otpada ohladili, dovode se do postrojenja za usitnjavanje. Materijali od kojeg je otpad građen je tada vrlo krhak te se lagano lomi. Korištenje tekućeg dušika predstavlja ekonomski, ali i ekološki prihvatljiv postupak [1].

**Piroliza** je postupak razgradnje pri povišenoj temperaturi i odsutnosti kisika. Riječ „piroliza“ dolazi od grčkih riječi *pyro* (vatra) i *lysis* (razdvajanje) [24]. Ovaj proces predstavlja pretvorbu otpada u tekuća ili plinovita goriva, uz ostatak čađi, koja se sastoji od nezapaljivog materijala i ugljika. Temperatura koju zahtjeva proces je u rasponu od  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  [25].

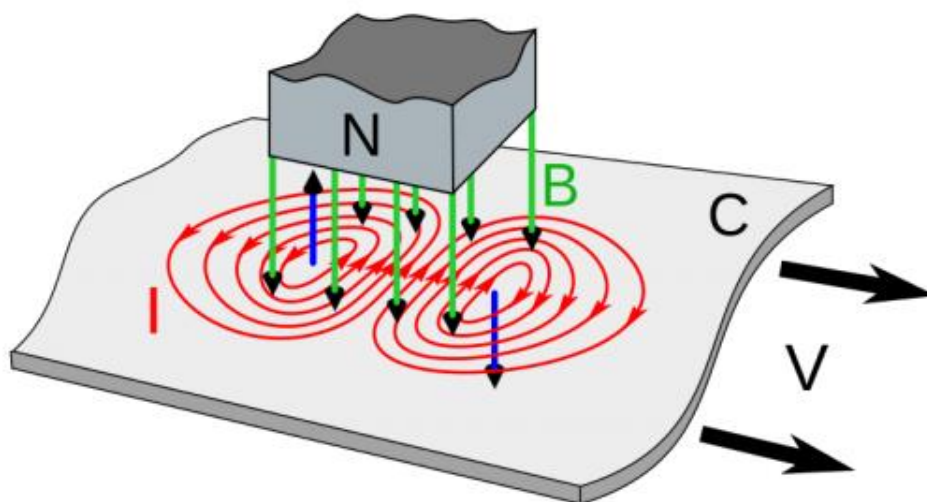
**Hidroliza** je raspad kemijskih spojeva u reakciji s vodom, kidanjem kovalentnih veza [18]. Najčešće se koristi za obradu volumnih pjenastih tvari kao što su poliuretani. Nakon usitnjavanja, umjetne tvari se uz pomoć vodene pare zagrijavaju na  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  te pri tlaku 100 bara razbijaju. Plinovi i ulja koji nastanu koriste se kao sirovine u industriji te kao plin za grijanje [1].

## 4. ELEKTRO-MAGNETSKE METODE RAZVRSTAVANJA

Elektromagnetizam je grana fizike koja proučava uzročno-posljedične veze električnih i magnetskih pojava. U ovom poglavlju biti će objašnjeni na kojim principima rade pojedini separatori za razvrstavanje materijala sa električnim i magnetskim svojstvima. U ta svojstva spadaju: toplinska i električna vodljivost, specifični električni otpor, temperaturni koeficijent otpora i sl., dok magnetska svojstva materijala govore o ponašanju nekog materijala u magnetskom polju.

### 4.1. Vrtložne struje u elektrotehnici

Vrtložne (Foucaultove) struje su struje inducirane u vodičima, kako bi se suprostavile promjeni toka koji ih je generirao. One nastaju kada je vodič izložen promjenjivom magnetskom polju između samog polja izvora i vodiča ili zbog varijacija polja s vremenom [27]. Takve, vrtložne struje, stvaraju inducirana magnetska polja koja se protive promjeni izvornog magnetskog polja zbog Lenzovog zakona, uzrokujući odbojnu ili privlačnu silu između vodiča i magneta. Što je veće izvorno magnetsko polje ili što je veća električna vodljivost vodiča, tada su veće i struje koje se razvijaju te je veće i suprotno polje. Na slici 4.1. prikazan je nastanak Foucaultovih struja pri relativnom gibanju.



Slika 4.1. Stvaranje vrtložnih struja pri relativnom gibanju

Gdje je: N – magnet, B – magnetsko polje, C – vodič, I – vrtložne struje.

Lenzov zakon (prema Heinrich Friedrich Emil Lenzu) kaže da inducirani napon daje struju čiji je izvorni tok suprotan promjeni magnetskog toka [28]. Formula Lenzovog zakona prikazana je pod relacijom (4-1).

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4-1)$$

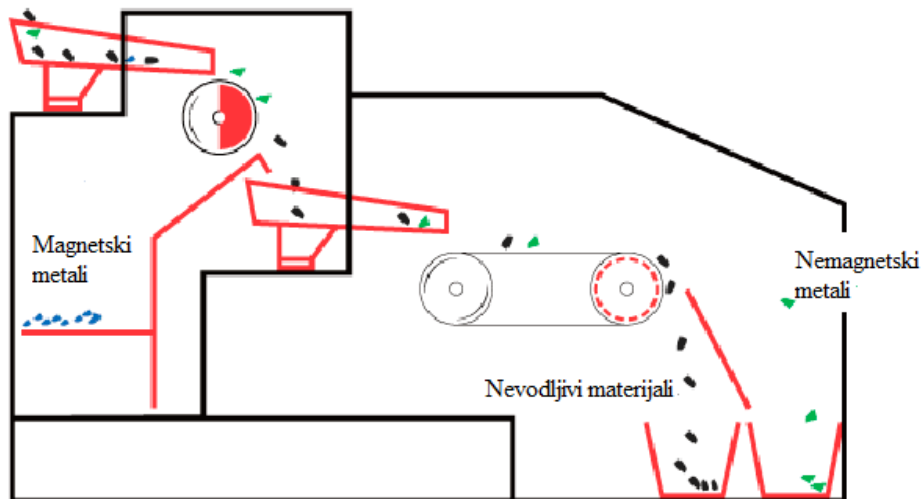
Gdje je:  $\varepsilon$  – inducirana elektromotorna sila,  $\Phi_B$  – obuhvaćeni magnetski tok, t – vrijeme

Vrtložne struje su u električnim strojevima, kao što su transformatori, generatori i sl. , nepoželjne, jer zagrijavaju sami stroj, što uzrokuje veću radnu temperaturu stroja (time i kraći životni vijek stroja), kao i gubitak energije. No, od vrtložnih struja se može imati i koristi, kod elektromagnetskih kočnica, indukcijskih peći i sl. [29].

## 4.2. Razvrstavanje otpada metodom vrtložnih struja

Razvrstavanje usitnjenog otpada separatorom vrtložnih struja (engl. *Eddy Current*) koristi se za izdvajanje metala koji nisu magnetični, kao npr. olovo, cink, bakar, aluminij, iz krutog otpada, ali i za odvajanje njih samih međusobno [30].

Princip razdvajanja prilično je jednostavan. Magnetski rotor, koji se sastoji od magnetnih blokova, bilo standardne feritne keramike ili snažnijih rijetkih magneta, ovisno o primjeni, okreće se pri visokim okretajima kako bi se stvorila „vrtložna struja“ [31]. Potaknuta struja stvara magnetsko polje, koje se suprotavlja polju koje stvara rotor, odbijajući vodljive metale na unaprijed postavljenu razdjelnu ploču. Vrtložna struja reagira s različitim metalima, prema njihovoj specifičnoj masi i otpornosti, stvarajući snagu odbijanja na nabijenoj čestici. Ako je metal lagan, kao npr. aluminij, lako se izbacuje iz toka materijala te se odvaja. Preostali materijali, kao što su plastika, staklo i ostali suhi reciklirani proizvodi, padaju preko rotora odvajajući se od odbijenih metala. Na slici 4.2. shematski je prikazan separator na principu vrtložnih struja.



Slika 4.2. Shematski prikaz separatora na principu vrtložnih struja

Separatori koji se koriste u industriji, najčešće se sastoje od dva bubnja preko kojih je postavljena transportna traka. Stražnji, koji je čeličan, pokreće traku, dok prednji, nemetalni bubanj, sadrži brzo rotirajući magnetni sistem [32]. Ranije navedeni magnetski rotor, rotira se brzinama do  $3000 \text{ min}^{-1}$ , dok se frekvencije magnetskog polja mijenjaju do 1 kHz. Otpad, tj. čestice koje se razvrstavaju separatorom vrtložnih struja, mogu biti veličine od 0,1 cm do 20 cm. Slika 4.3. prikazuje separator tvrtke Mastermagnets.



Slika 4.3. Separator na principu vrtložnih struja tvrtke Mastermagnets

Separatori za razvrstavanje otpada na principu vrtložnih struja na tržištu se mogu pronaći po cijeni od nekoliko desetaka tisuća dolara pa sve do nekoliko stotina tisuća dolara.

#### **4.2.1. Separatori na principu vrtložnih struja tvrtke Magnapower**

Separator na principu vrtložnih struja tvrtke Magnapower je vodeći svjetski separator nemagnetičnog metala. Dizajniran je i proizveden u Velikoj Britaniji sa ciljem osiguravanja najvišeg mogućeg postotka obnavljanja nemagnetičnih metala iz otpada [33]. Njihovi visokofrekventni rotori odlikuju se odličnom prilagodbom u bilo kojoj primjeni, gdje je potrebno odvojiti nemagnetične metale. Separator je prikladan za različite veličine materijala, od malih čestica pa do većih, odrezanih metalnih dijelova. Također, izuzetnu učinkovitost pokazuje pri razvrstavanju aluminijskih limenki iz mješovitih tokova otpada te kućnog suhog recikliranog materijala.

Najčeće karakteristike ovakvih separatora su sljedeće:

- separator pogoni dizelski generator snage 20 kVA
- širina punjenja materijalom je 1,6 m, dok je visina punjenja 3,1 m
- radna visina separatora najčešće 1,95 m
- duljina samog separatora 8,185 m, širina 2,55 m, visina 2,6 m
- težina ovisi o opremi, oko 11,5 t
- protok materijala je moguć do 160 m<sup>3</sup>/h.

Neke od značajki separatora su:

- visoke performanse visokofrekventnog rotora
- ekcentrični dizajn kako bi se povećala kontinuirana izvedba
- vrlo niski zahtjevi održavanja
- visokobrzinski remen za veće propusnosti
- remeni širine od 30 cm do 2 m

Magnapower izvozi opremu širom svijeta, a najviše u SAD, na Bliski Istok te diljem Europe [34]. Separator navedene tvrtke prikazan je na slici 3.3.





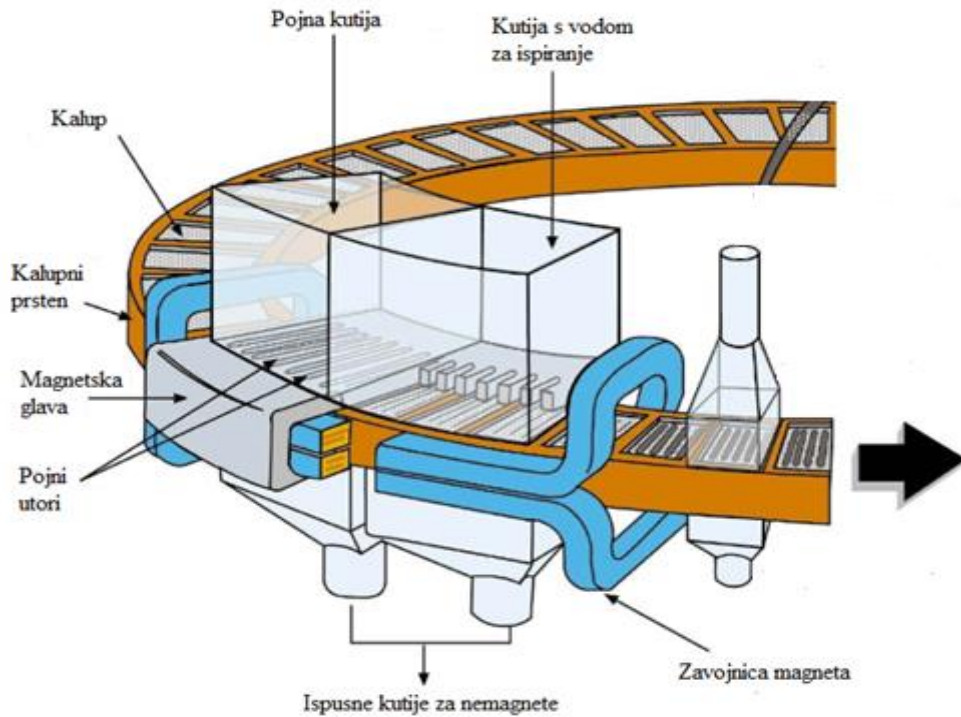
Slika 4.4. *Separator na principu vrtložnih struja tvrtke Magnapower*

Magnapower izvozi opremu širom svijeta, a najviše u SAD, na Bliski Istok te diljem Europe.

### **4.3. Odvajanje jakim magnetskim poljima**

Odvajanje jakim magnetskim poljima (engl. *High gradient magnetic separation*) je metoda za odvajanje i sakupljanje magnetskih materijala na temelju razlika u magnetskim svojstvima između čestica [35].

Konvencionalni magnetski separatori sposobni su za razdvajanje jakih magnetskih materijala čije su čestice veličine od 0,1  $\mu\text{m}$  do 1 mm. Separator za odvajanje jakim magnetskim poljima sadrži magnet koji ima kalupe, koji su napravljeni od feritnog, korozijski postojanog čelika [36]. Magnet je okružen zavojnicom. Konstrukcijska izvedba zavojnice prevladava mnoga ograničenja rada unutar zračnog rasporeda konvencionalnog magneta u obliku potkove. Prva prednost takve izvedbe je da se poprečni presjek glave magneta može povećati kako bi se zadovoljile veće snage polja bez magnetske zasićenosti. Druga prednost je u tome što smjer magnetizacije postaje paralelan sa protokom materijala i homogen je cijelom duljinom kutije. Treća prednost je smanjenje „zalutalog“ magnetskog polja oko postrojenja dok je u pogonu. Shematski prikaz magneta sa zavojnicom prikazana je na slici 4.5.



Slika 4.5. Shematski prikaz magneta sa zavojnicom

Princip rada je takav da se magnetske čestice privlače od strane magnetskog kalupa te se prenose do kutije s vodom za ispiranje. Tada se nemagnetske ili manje magnetske čestice ispuštaju kroz ispusne kutije dok magnetske čestice ostaju na površini [37]. Na slici 4.6. prikazan je separator za odvajanje jakim magnetskim poljem tvrtke Outotec.



Slika 4.6. Separator za odvajanje jakim magnetskim poljima tvrtke Outotec

Primjena separatora za odvajanje jakim magnetskim poljima je kod većih količina željeznih ruda, ilmenita, kromita i drugih paramagnetskih materijala. Također, koriste se i kod pročišćavanja nemetalnih minerala poput feldspata i pijeska silicijevog dioksida. Separatori za odvajanje jakim magnetskim poljima na tržištu se mogu pronaći po cijeni od nekoliko desetaka tisuća dolara pa sve do nekoliko stotina tisuća dolara.

Budući da separatori dolaze u više različitih izvedbi, u tablici 4.1. biti će prikazane opće karakteristike za pojedine izvedbe separatora.

**Tablica 4.1.** Opće karakteristike separatora za odvajanje jakim magnetskim poljem prema različitim modelima

Model	Duljina (mm)	Širina (mm)	Visina (mm)	Max. broj mag.glava	Snaga po mag.glavi (kW)	Težina postrojenja (t)	Dodatna težina po glavi (t)	Kapacitet obrade po glavi (t/h)
120	2600	2200	2800	2	75	4	4	6
120	2600	2200	2800	2	175	4	6	6
185	4100	3700	4100	2	65	9	13	36
185	4100	3700	4100	2	85	9	19	36
185	4100	3700	4100	2	200	9	33	36
250	6300	5100	4600	2	40	20	22	107
250	6300	5100	4600	2	75	20	32	107
250	6300	5100	4600	2	120	20	54	107
250	6300	5100	5600	2	260	20	95	107
350	7000	7200	4600	3	87	40	26	150
350	7000	7200	4600	3	160	40	29	150
350	7000	7500	4600	3	165	40	66	150

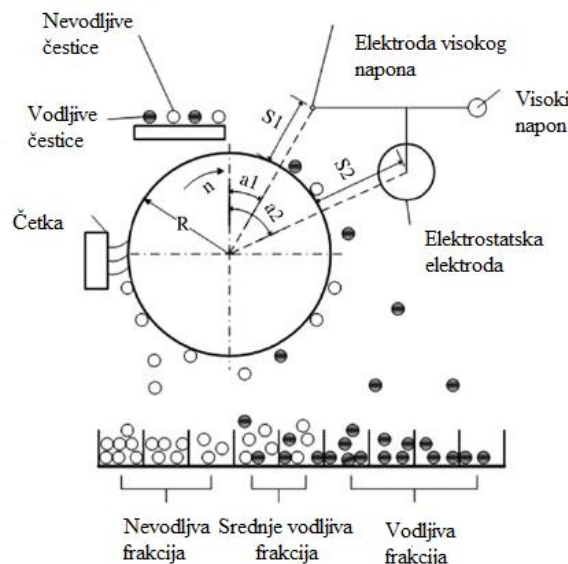
Prednosti ovakvih separatora su:

- široki raspon primjena
- obrada finih čestica
- visoka učinkovitost odvajanja
- jednostavan, pouzdan dizajn
- jednostavno izdvajanje magnetskih čestica
- niska, specifična potrošnja energije
- nizak trošak održavanja

- dugovječne komponente
- minimalan nadzor nad radom
- veliki kapacitet samog procesa i dr. [36]

#### 4.4. Elektrostatičko razdvajanje

Elektrostatičko razdvajanje definirano je kao sortiranje nabijenih ili polariziranih tijela, čestica u električnom polju, predstavljajući ponajprije učinkovit način recikliranja metala i plastike iz otpada električne i elektroničke opreme. Najčešći separator kod kojeg se zahtjeva elektrostatičko razdvajanje je separator u obliku svitka [39]. Takav tip separatora najčešće ima nekoliko elektroda: rotirajuće-valjkastu te druge aktivne elektrode priključene na visoki istosmjerni napon. Točno granulirana smjesa razdvaja se na površini rotirajućeg valjka pri određenoj brzini i prolazi kroz električno polje koje se stvara između valjkaste i aktivne elektrode. Nakon intenzivnog „ionskog bombardiranja“, nevodljive čestice su nabijene i pričvršćene na površinu rotirajuće-valjkaste elektrode pomoću električne sile, dok su vodljive čestice nabijene elektrostatskom indukcijom i privučene elektrostatskom elektrodom. Shematski prikaz takvog razdvajanja prikazan je na slici 4.7.



Slika 4.7. Postupak elektrostatičkog razdvajanja usitnjenog tehničkog otpada (tiskanih pločica) posredstvom separatora u obliku svitka

Na elektrostatično odvajanje utječu mnogi čimbenici, kao što su: konfiguracija separatora, viskonaponska razina, karakteristike materijala, brzina punjenja materijalom, veličina granula, uvjeti okoline te izbor separatora, kao najvažnijeg čimbenika [39]. Separator u obliku svitka učinkovito se koristi za različite vrste recikliranja metala i plastike, optimiziranjem parametara.

Na slici 4.8. prikazan je separator HB1500 tvrtke Haibao Separator za elektrostatično odvajanje plastike.

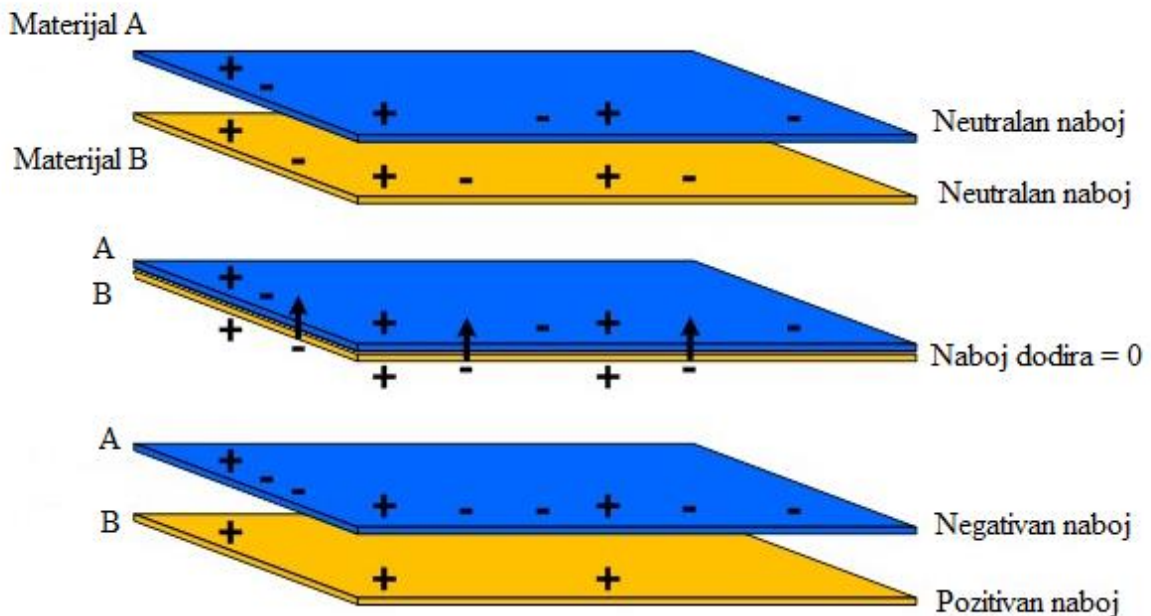


*Slika 4.8. Separator HB1500 tvrtke Haibao Separator za elektrostatično odvajanje plastike*

Duljina ovakvog tipa separatora može biti do 10 m, širina 4m, dok je visina 5,75 m. Separator HB1500 primjenjuje se za miješanu plastiku [40]. Čistoća razdvojenog materijala doseže 98% i na više. Ne proizvodi dodatan otpad te je u potpunosti siguran sa ekološke strane. Cijena separatora varira, najčešće je u rasponu od nekoliko desetaka tisuća dolara pa sve do stotinjak tisuća dolara.

## 4.5. Električno razvrstavanje na principu triboefekta

Triboelektrični efekt (triboelektrifikacija) proces pojave električnih naboja suprotnih polariteta pri kontaktu dvaju površina koje pripadaju različitim materijalima. Proces prenošenja naboja prikazan je na slici 4.9.



Slika 4.9. Proces prenošenja naboja

Broj prenesenih naboja ovisi o odnosu samih polariteta materijala koji dolaze u doticaj [41]. Za različite materijale, koji su na početku nenabijeni i na potencijalu zemlje, prijenos male količine električnog naboja odvija se od jednog materijala do drugog kada uspostavljaju kontakt. Ta dva materijala postaju suprotno nabijeni. Površina na kojoj se nalaze materijali stječe električni naboj, kao posljedicu električnog polja nastalog između njih. Takav proces, u konačnici, naziva se triboelektrični efekt, tj. triboelektrifikacija.

## 5. ZAKLJUČAK

Na Zemlji, koja svakim danom postaje dom sve većem broju ljudi te tehnologijama koje se razvijaju rapidnom brzinom, nužno je primjeniti koncept održivog razvoja, dok je još uvijek moguć. Svakim novim iscrpljivanjem sirovina koje „pokreću“ ovaj svijet, čini se kao da sami sebi činimo „medvjedu uslugu“. Ali, ako već sebi ne možemo pomoći po tom pitanju, trebali bismo misliti o onima koji dolaze poslije nas. Jer Zemlja ne prašta. Svjedoci smo brojnim negativnim promjenama koje se događaju na Zemlji. Sve je to posljedica (ne)brige samog čovjeka. I upravo zato, kao jedan od prvih koraka, nužan je proces recikliranja materijala iz dotrajalih proizvoda, kako bi se smanjilo/zaustavilo trošenje prirodnih Zemljinih resursa, kojih je preostalo minorno malo. U ovom radu su prikazani brojni postupci razvrstavanja usitnjenog tehničkog otpada, no naglasak je bio na elektro-magnetske metode razvrstavanja otpada. Također su, na što jednostavniji način, opisani principi na kojima se zasniva rad pojedinih separatora za razvrstavanje, shematski prikazi, njihove dimenzije, prednosti, kapaciteti i sl. Opisan je i utjecaj Foucaultovih (vrtložnih) struja kod separatora koji rade na principu vrtložnih struja, njihove mane, ali i prednosti. U posljednjem poglavlju opisan je kompletan tijek oporabe EE otpada, od njegovog skupljanja do konačnog razvrstavanja. Recikliranje otpada i njegovo ponovno korištenje je jedan, ako ne i jedini put oporavka Zemljinog života i naša je dužnost da joj pomognemo što bolje, više i jače možemo, kako bi ona, naposljetku, pomogla nama samima. Ako ne baš nama, onda onima koji dolaze poslije nas.

## LITERATURA

- [1] M. Kljajin, M. Opalić, A. Pintarić, Recikliranje električnih i elektroničkih proizvoda, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Zagreb, Osijek, 2006.; 03.06.2018
- [2] Vaško T. Postupci razvrstavanja otpada kod postupka recikliranja proizvoda; 03.06.2018.
- [3] [https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF\\_67E.pdf](https://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_67E.pdf); 03.06.2018.
- [4] <https://www.mzoip.hr/hr/otpad/otpadxx.html>; 03.06.2018.
- [5] [http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/katedra4/Inzenjerstvo\\_zastite\\_okolisa/9.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zastite_okolisa/9.pdf); 04.06.2018.
- [6] Zbrinjavanje medicinskog otpada – zakonodavstvo i njegova provedba; Natalija Marinković, Ksenija Vitale, Nataša Janev Holcer, Aleksandar Džakula; 04.06.2018.
- [7] [http://bib.irb.hr/datoteka/743709.Tahir\\_Sofilic\\_EKOTOKSIKOLOGIJA.pdf](http://bib.irb.hr/datoteka/743709.Tahir_Sofilic_EKOTOKSIKOLOGIJA.pdf); 05.06.2018.
- [8] <http://www.hvz.hr/opasnost-od-lako-zapaljivih-tekucina-plinova-i-prasina/>; 05.06.2018.
- [9] <http://www.biljanatrifunovicifa.com/2015/05/vrste-i-klasifikacija-otpada/>; 06.06.2018.
- [10] [http://www.bef-de.org/fileadmin/files/Publications/Waste/Waste\\_management\\_HR.pdf](http://www.bef-de.org/fileadmin/files/Publications/Waste/Waste_management_HR.pdf); 06.06.2018.
- [11] [http://repositorij.fsb.hr/4569/1/Barkovi%C4%87\\_2015\\_diplomski.pdf](http://repositorij.fsb.hr/4569/1/Barkovi%C4%87_2015_diplomski.pdf); 07.06.2018.
- [12] <https://hrcak.srce.hr/file/265071>; 07.06.2018.
- [13] <http://www.ee-otpad.com/ee-otpad-u-hrvatskoj.pdf>; 08.06.2018.
- [14] Design and Development of Waste Sorting Machine; S.J. Ojolo, J.I. Orisaleye, Adelaja, A.O., Kilanko, O; 09.06.2018
- [15] <http://komptechamericas.com/hurrikan.php>; 09.06.2018.
- [16] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone\\_separator](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Cyclone_separator) 11.06.2018.
- [17] [http://www.rsd.tfbor.bg.ac.rs/download/arhiva\\_radova/2012/5\\_MilanTRUMIC\\_ST.pdf](http://www.rsd.tfbor.bg.ac.rs/download/arhiva_radova/2012/5_MilanTRUMIC_ST.pdf); 11.06.2018.



- [18] Disassembly and recycling of electronic consumer products: an overview; Ad de Ron and Kiril Penev; Manufacturing Technology Group, Faculty of Industrial Engineering and Management Science, Eindhoven University of Technology, The Netherlands; 11.06.2018.
- [19] A review on various electronic waste recycling techniques and hazards due to its improper handling; Shubham Gupta, Gaurav Modi ,Rahul Saini, Vijaya Agarwala; 12.06.2018.
- [20] <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17624>; 14.06.2018.
- [21] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Galvanizacija#Galvanotehnika>; 14.06.2018.
- [22] [homepages.hs-bremen.de/office-ikrw/invent/elearning\\_Dateien/Handbook\\_chapters/chapter\\_5.pdf](http://homepages.hs-bremen.de/office-ikrw/invent/elearning_Dateien/Handbook_chapters/chapter_5.pdf); 15.06.2018.
- [23] <https://www.britannica.com/science/cryogenics>; 20.06.2018.
- [24] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Piroliza>; 24.06.2018.
- [25] Latest technologies of municipal solid waste management in developed and developing countries: A review; Wajeeha Saleem, Ayesha Zulfiqar, Muneeba Tahir, Fatima Asif, Ghazala Yaqub; 25.06.2018.
- [26] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroliza>; 27.06.2018.
- [27] <https://electrical-engineering-portal.com/what-is-the-eddy-current/>; 03.08.2018.
- [28] <http://struna.ihjj.hr/naziv/lenzovo-pravilo/8526/>; 05.08.2018.
- [29] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=20293>; 07.08.2018.
- [30] Efficiency of metal scrap separation in eddy current separator; Gordan Bedeković, Branko Salopek , Ivan Sobota; 15.08.2018.
- [31] <https://www.jkmagnetic.com/eddy-current-separator/>; 16.08.2018.
- [32] J. Svaboda, Magnetic Techniques for the Treatment of Materials, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004.; 19.08.2018.
- [33] <https://www.komptech.com/en/products-komptech/pdetails/metalfex.html>; 01.09.2018.
- [34] <https://www.magnapower.co.uk/eddy-current-separators/>; 02.09.2018.

- [35] Magnetic matrices used in high gradient magnetic separation (HGMS): A review; Wei Ge, Armando Encinas, Elsie Arujo, Shaoxian Song; 08.09.2018.
- [36] <https://www.metso.com/products/separation/high-gradient-magnetic-separator-hgms-continuous/>; 10.09.2018.
- [37] <https://www.outotec.com/products/physical-separation/vertically-pulsating-high-gradient-magnetic-separator/>; 12.09.2018.
- [38] <https://www.metso.com/products/separation/high-gradient-magnetic-separator-hgms-continuous/>; 12.09.2018.
- [39] Optimization of key factors of the electrostatic separation for crushed PCB wastes using roll-type separator; Wu Jiang, Li Jia, Xu Zhen-ming; 12.09.2018.
- [40] <https://www.haibaoseparator.com/electrostatic-plastics-separator-hb1500.html>; 13.09.2018
- [41] [https://www.researchgate.net/publication/248475697\\_Electrical\\_separation\\_of\\_plastic\\_materials\\_using\\_the\\_triboelectric\\_effect](https://www.researchgate.net/publication/248475697_Electrical_separation_of_plastic_materials_using_the_triboelectric_effect); 15.09.2018.

## POPIS SLIKA

- 2.1. <https://www.vecernji.ba/media/img/09/0c/edb8af46eff2bb025404.jpeg>; 03.06.2018.
- 2.2. <https://matrixworldhr.files.wordpress.com/2012/02/111otrov.gif>; 03.06.2018.
- 2.3. [http://www.unija-nova.hr/upload/2013/ambalazni\\_otpad\\_2.jpg](http://www.unija-nova.hr/upload/2013/ambalazni_otpad_2.jpg); 04.05.2018.
- 2.4. [https://ip.index.hr/remote/indexnew.s3.index.hr/images2/PXL\\_060217\\_15512325.jpg?width=765&height=509](https://ip.index.hr/remote/indexnew.s3.index.hr/images2/PXL_060217_15512325.jpg?width=765&height=509); 05.06.2018.
- 3.1. <http://www.heckolomejec.com/procesne-i-transportne-trake/>; 07.06.2018.
- 3.2. <http://komptechamericas.com/hurrikan.php>; 09.06.2018.
- 3.3. <http://komptechamericas.com/hurrikan.php>; 09.06.2018.
- 3.4. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Cyclone\\_separator.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Cyclone_separator.svg); 11.06.2018.
- 3.5. [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1446212698-0-rm3-postupci\\_12.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1446212698-0-rm3-postupci_12.pdf); 11.06.2018.
- 3.6. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=17624>; 14.06.2018.
- 4.1. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Foucaultove\\_struje#/media/File:Eddy\\_currents\\_due\\_to\\_magnet.svg](https://hr.wikipedia.org/wiki/Foucaultove_struje#/media/File:Eddy_currents_due_to_magnet.svg); 05.09.2018.
- 4.2. <https://www.jkmagnetic.com/eddy-current-separator/>; 16.08.2018.
- 4.3. [http://www.mastermagnets.com/product/eddy-current-separators/#prettyPhoto\[product-gallery\]/15/](http://www.mastermagnets.com/product/eddy-current-separators/#prettyPhoto[product-gallery]/15/); 19.08.2018.
- 4.4. <https://www.alanross.biz/equipment/32074>; 02.09.2018.
- 4.5. <https://www.metso.com/products/separation/high-gradient-magnetic-separator-hgms-continuous/>; 10.09.2018.
- 4.6. <https://www.outotec.com/products/physical-separation/vertically-pulsating-high-gradient-magnetic-separator/>; 12.09.2018.
- 4.7. Optimization of key factors of the electrostatic separation for crushed PCB wastes using roll-type separator; Wu Jiang, Li Jia, Xu Zhen-ming; 12.09.2018.

4.8. <https://www.haibaoseparator.com/electrostatic-plastics-separator-hb1500.html>; 13.09.2018.

4.9. [http://chenesan-intl.eu/Labeling/emi\\_emds\\_tribocharging.html](http://chenesan-intl.eu/Labeling/emi_emds_tribocharging.html)

## SAŽETAK

U ovom završnom radu prikazane su najznačajnije metode razvrstavanja usitnjenog EE otpada na bazi elektromagnetskih pojava. Detaljnije su objašnjeni postupci odvajanja usitnjenog EE otpada putem vrtložnih (Foucaultovih) struja, jakih magnetskih polja te elektrostatičkim načinom. Prikazani su principi djelovanja separatora za navedene postupke, njihovi kapaciteti, dimenzije, prednosti, cijene te preporuke primjene.

**Ključne riječi:** recikliranje, usitnjeni EE otpad, separator, vrtložne struje, jako magnetsko polje, elektrostatičnost, triboelektrifikacija.

## ABSTRACT

In this thesis, the most important methods of classifying crushed EE waste are shown, based on electromagnetic base. More specifically, procedures of separating the crushed EE waste are shown through eddy (Foucault) currents, strong magnetic field and electrostatic ways. Principles of acting for these procedures are presented; their capacities, dimensions, benefits, prices and application recommendations.

**Key words:** recycling, crushed EE waste, separator, eddy current, strong magnetic field, electrostatic, triboelectric.

## ŽIVOTOPIS

Tihomir Ramljak rođen je u Vinkovcima 3. srpnja 1995. godine. 2002. godine kreće u Osnovnu školu „Vladimir Nazor“ Vinkovci. Nakon završene osnovne škole, 2010. godine upisuje Tehničku školu „Ruđer Bošković“ Vinkovci, smjer elektrotehničar. Po završetku srednje škole, 2014. godine upisuje Preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer Elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek (tadašnji Elektrotehnički fakultet).

Tihomir Ramljak

---

(Vlastoručni potpis)