

# Korištenje metoda oplemenjivanja mineralnih sirovina u mehaničkoj obradi komunalnog otpada

---

Škrlec, Alojzije

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:547726>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Korištenje metoda oplemenjivanja mineralnih sirovina u mehaničkoj obradi komunalnog otpada

---

Škrlec, Alojzije

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:547726>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-10-22**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ALOJZIJE ŠKRLEC

KORIŠTENJE METODA OPLEMENJIVANJA MINERALNIH  
SIROVINA U MEHANIČKOJ OBRADI KOMUNALNOG  
OTPADA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

KORIŠTENJE METODA OPLEMENJIVANJA MINERALNIH  
SIROVINA U MEHANIČKOJ OBRADI KOMUNALNOG  
OTPADA

KANDIDAT:

Alojzije Škrlec

MENTOR:

dr.sc. Vitomir Premur, v. pred.

VARAŽDIN, 2018.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem daje završni rad pod naslovom

### **KORIŠTENJE METODA OPLEMENJIVANJA MINERALNIH SIROVINA U MEHANIČKOJ OBRADI KOMUNALNOG OTPADA**

---

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom prof. dr.sc. Vitomir Premura.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 06.09.2018.

**SAŽETAK:**

IME I PREZIME AUTORA: Alojzije Škrlec

NASLOV RADA: Korištenje metoda oplemenjivanja mineralnih sirovina u  
mehaničkoj obradi komunalnog otpada

U ovom radu navedene su neke od metoda za mehaničku obradu komunalnog otpada. Ukratko je objašnjeno što je to gospodarenje otpadom i način gospodarenja otpadom. Općenito je objašnjeno Oplemenjivanje mineralnih sirovina i neke temeljne operacije. Navedene su i objašnjene metode za mehaničku obradu otpada. Cilj rada je prezentirati vrste metoda za obradu komunalnog otpada te prikazati načine s kojima je to moguće.

**Ključne riječi:** Gospodarenje otpadom, mehanička obrada otpada, oplemenjivanje mineralnih sirovina

## **SADRŽAJ:**

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GOSPODARENJE OTPADOM.....</b>	<b>2</b>
2.1. Načela gospodarenja otpadom.....	2
2.2. Način gospodarenja otpadom.....	3
2.3. Europska direktiva.....	3
<b>3. OPLEMENJIVANJE MINERALNIH SIROVINA ( OMS ).....</b>	<b>4</b>
3.1. Svrha Oplemenjivanja mineralnih sirovina.....	4
3.2. Postupci Oplemenjivanja mineralnih sirovina.....	5
<b>4. MEHANIČKA OBRADA OTPADA ( MO ).....</b>	<b>13</b>
4.1. Postupak mehaničke obrade otpada ( MO ).....	13
4.2. Oprema za mehaničku obradu otpada.....	13
4.3. Prosijavanje krutog otpada (sita).....	14
4.4. Razdvajanje komponenti otpada/separiranje.....	16
4.5. Probiranje.....	18
4.6. Kompaktiranje.....	20
4.7. Transport.....	21
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>23</b>
<b>6. POPIS LITERATURE.....</b>	<b>24</b>
<b>7. POPIS TABLICA I SLIKA.....</b>	<b>27</b>

## 1.UVOD

Današnji problem gospodarenja otpadom odnosi se na očuvanje okoliša i iskorištavanje različitih vrsta otpada prvenstveno u industrijske i energetske svrhe. Uz goriva, otpad se može iskoristiti i u ratarske svrhe dobivanjem kvalitetnog komposta izravno iz organskog dijela otpada ili posredno kao nusprodukt prilikom proizvodnje bioplina. Uz što kvalitetniju proizvodnju komposta i zamjenskog goriva, bitno je najprije kvalitetno odvajanje otpada tj. kvalitetno izdvajanje različitih vrsta reciklata kao dijela otpada koji se ne može iskoristiti u ogrijevne svrhe jer bi njihovo korištenje bilo neopravdano u ekološkom i/ili ekonomskom smislu. Kvaliteta odvojenog ostatnog otpada za korištenje u ogrijevne svrhe također ovisi o metodi odvajanja otpada [1].

Loše gospodarenje otpadom pridonosi klimatskim promjenama i zagađenju zraka te tako utječe na cijeli ekosustav. Odlagališta otpada zbog anaerobnog efekta ispuštaju metan koji je snažan staklenički plin, a zagađuju se i tlo i podzemne vode ispuštanjem raznih kemijskih spojeva. Otpad utječe na okoliš i neizravnim putem. Otpad koji se ne reciklira je gubitak korisnih sirovina u daljnjoj proizvodnji i potrošnji. Prema tome, odlaganje otpada na odlagalište samo ekološki već i gospodarski gubitak koji se povećava jer količina komunalnog otpada s vremenom raste. Diljem cijele Europske unije sve se više otpada reciklira i sve je manje otpada na odlagalištima. Što se tiče komunalnog otpada, udio recikliranog i kompostiranog otpada u EU povećao se s 31% u 2004. godini na 41% u 2012. godini i taj trend se nastavlja. Sljedeća tablica predstavlja približni sastav pojedinih frakcija u komunalnom otpadu (prosječna kanta za smeće u Europi, 2012.) [1].

Tablica 1. Približni sastav kante za ostatni komunalni otpad [1]

Drvo	Papir i karton	Tekstil	Kuhinjski otpad	Plastika	Vrtni otpad	Metal	Staklo	Inertni otpad	Ostalo
1%	27%	3,5%	26,5%	26%	4%	1%	3,5%	1%	6,5%



## **2. GOSPODARENJE OTPADOM**

Gospodarenje otpadom vrlo je složena djelatnost koja zahvaća sve grane gospodarstva, proizvodnje i potrošnje, a sadrži čitav niz postupaka i tehnologija od kojih se velik dio primjenjuje u različitim oblicima[2].

### **2.1.Načela gospodarenja otpadom**

Gospodarenje otpadom temelji se na uvažavanju načela zaštite okoliša propisanih zakonom kojim se uređuje zaštita okoliša i pravnim dostignućem Europske unije, načelima međunarodnog prava zaštite okoliša te znanstvenih spoznaja, najbolje svjetske prakse i pravila struke, a osobito na sljedećim načelima:

- 1) "načelo onečišćivač plaća" – proizvođač otpada, prethodni posjednik otpada, odnosno posjednik otpada snosi troškove mjera gospodarenja otpadom, te je financijski odgovoran za provedbu sanacijskih mjera zbog štete koju je prouzročio ili bi je mogao prouzročiti otpad.
- 2) "načelo blizine" – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš.
- 3) "načelo samodostatnosti" – gospodarenje otpadom će se obavljati na samodostatan način omogućavajući neovisno ostvarivanje propisanih ciljeva na razini države, a uzimajući pri tom u obzir zemljopisne okolnosti ili potrebu za posebnim građevinama za posebne kategorije otpada.
- 4) "načelo sljedivosti" – utvrđivanje porijekla otpada s obzirom na proizvod, ambalažu i proizvođača tog proizvoda kao i posjed tog otpada uključujući i obradu

## **2.2. Način gospodarenja otpadom**

Gospodarenje otpadom se provodi na način koji ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i koji ne dovodi do štetnih utjecaja na okoliš, a osobito kako bi se izbjeglo sljedeće:

- 1) Rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti
- 2) Pojava neugode uzorkovane bukom ili mirisom
- 3) Štetan utjecaj na područja kulturno-povijesnih, estetskih i prirodnih vrijednosti te drugih vrijednosti koje su od posebnog interesa
- 4) Nastajanje eksplozije ili požara

Gospodarenjem otpadom mora se osigurati da otpad koji preostaje nakon postupaka obrade i koji se zbrinjava odlaganjem ne predstavlja opasnost za buduće generacije [2].

## **2.3. Europska direktiva**

U Europskoj uniji svake se godine baci oko 3 milijarde tona otpada i ta se količina konstantno povećava na godišnjoj razini. Zbog toga su zemlje članice potaknute na donošenje zakonodavnog okvira o gospodarenju otpadom te je izmijenjenom Okvirnom direktivom o otpadu (Direktiva 2008/98/EC) određena osnovna predodžba u vezi gospodarenja otpadom. Direktivom je postavljen i plan o recikliranju otpada prema kojem bi do 2020. godine zemlje članice Europske unije trebale reciklirati 50 posto komunalnog otpada i 70 posto građevinskog otpada, a uz to se zemlje članice obvezuju donijeti planove prevencije i planove gospodarenja otpadom [1].

Republika Hrvatska je prije pristupa Europskoj Uniji potpisala EU direktive o odlagalištima i o otpadu iz kojih proizlaze obveze koje će se zakonski regulirati. Jedna od važnijih obaveza je smanjenje odlaganja otpada na odlagališta. Biorazgradivi otpad čine drvo, tekstil, papir i karton, zeleni otpad i kuhinjski otpad, a što se tiče smanjenja odlaganja, naglasak je na papiru i kartonu kojeg ima više od 25% u ostatnom komunalnom otpadu. Za potrebe odvojenog prikupljanja korisnog otpada uspostavljen

je sustav „zelenih otoka“ koji se sastoji od specijalnih kontejnera, gdje je poseban kontejner za papir, karton i tetrapak, zatim za staklo i na kraju za plastiku, a sav korisni otpad predaje se ovlaštenim oporabiteljima. Odvoz miješanog ostatnog komunalnog otpada organiziran je jednom tjedno kao i odvoz odvojenog korisnog otpada (npr. plastike) dok je odvoz glomaznog otpada dva puta godišnje [1].

### **3. OPLEMENJIVANJE MINERALNIH SIROVINA**

Oplemenjivanje mineralnih sirovina je preradba čvrstih mineralnih sirovina fizikalnim, fizikalno-kemijskim ili kemijskim postupcima radi dobivanja njihovih korisnih sastojaka. U mineralne se sirovine ubrajaju prirodna mineralna goriva, rude mnogobrojnih metala, drago kamenje, kuhinjska sol, mineralna gnojiva, vatrostatne sirovine, pigmenti i punila te različiti minerali (građevni, keramički, brusni, za cementnu industriju, izolacijski, optički, staklarski i dr.). Mineralne sirovine obično nisu dovoljno čiste, jer osim korisnih sadrže i nekorisne sastojke, pojedini minerali međusobno su srasli i treba ih razdvojiti, a granulaciju prilagoditi potrebama korisnika. To se postiže na temelju razlika u fizikalnim svojstvima (boja, sjaj, oblik i veličina zrna, tvrdoća, žilavost, krtost, gustoća, kvašljivost, magnetska susceptibilnost, električna provodnost, radioaktivnost) i kemijskim svojstvima pojedinih komponenata [3].

#### **3.3. Svrha oplemenjivanja mineralnih sirovina**

Oplemenjivanje se može svesti na dvije temeljne operacije: raščin (otvaranje, oslobađanje) i odvajanje (separacija, koncentracija). Najčešće se primjenjuju obje operacije, i to redom kako su navedene. Raščin se postiže sitnjenjem (drobljenje, mljevenje), a odvajanje različitim oplemenjivačkim postupcima (gravitacijska koncentracija, magnetska separacija, elektrostatska separacija, flotacija, elektroničko sortiranje). Svrha je raščina potpuno razdvajanje sraslih mineralnih komponenata u smjesu slobodnih zrna dviju ili više komponenata (korisne i nekorisne), koje se zatim postupno izdvajaju iz smjese nekim od separacijskih ili koncentracijskih postupaka. U sklopu tih dviju temeljnih operacija razlikuje se nekoliko skupina: sitnjenje, klasiranje, koncentracija, odvodnjavanje i otprašivanje, kojima se obično pribrajaju i pomoćni radovi: uzorkovanje, skladištenje, transport, doziranje, miješanje, mjerenje i sl. Da bi se

dobio konačan proizvod, često je dovoljno samo klasiranje i pranje ili klasiranje i sitnjenje (građevni šljunak i pijesak, tehnički kamen), ali je većinom potrebno primijeniti i koncentraciju i odvodnjavanje (rude pojedinih metala, neki nemetali). Krajnji proizvodi oplemenjivanja mineralnih sirovina su koncentrat, jalovina i ponekad međuproducti [3].

### **3.1. Postupci oplemenjivanja mineralnih sirovina**

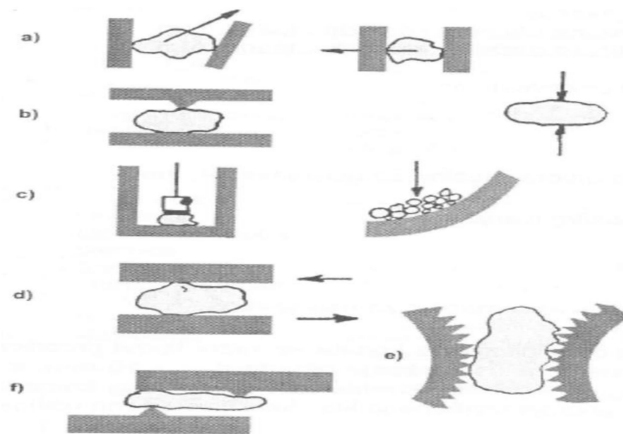
#### SITNJENJE

Mineralne sirovine usitnjavaju iz razloga da bi se došlo raščine i dobivanja sitnijih granulata, pogodnih za daljnje oplemenjivačke postupke.

Sitnjenje se obično provodi u dvije faze od kojih je prva faza drobljenje, a druga mljevenje. Drobljenje je postupak u kojem se zrno sitni uslijed gnječenja između dviju čvrstih površina ili uslijed udara u neku čvrstu površinu. U prvom slučaju nanošenje sile je relativno sporo, a u drugom brzo. U mljevenju se zrno sitni uslijed abrazije i udara pod djelovanjem drobećih tijela u obliku kugle ili štapa, koja se kreću unutar prostora drobljenja. Kao drobeća tijela mogu se koristiti i krupniji komadi rude (autogeno mljevenje), valutice kvarca, te drugi oblici izrađeni od čelika, stakla i keramike [14].

Drobljenje je suh proces koji se obično provodi u dva stupnja, rjeđe u tri. Treći stupanj koristi se kad je ruda iznimno čvrsta i žilava ili kad je nepoželjno prekomjerno stvaranje sitnih čestica. Komadi rude veličine i do 1500 mm mogu se u prvom stupnju usitniti na veličinu od 100 do 200 mm, a u drugom na približno od 5 do 20 mm [14].

Mljevenje je u većini slučajeva mokar proces, no može biti i suhi kao npr. mljevenje cementa, ugljena, nekih punila, pigmentata i dr. To je završna faza sitnjenja, u kojoj se zrna veličine od 5 do 250 mm mogu usitniti na približno od 0,3 do 0,01 mm. Ponekad neku sirovinu možemo jednako uspješno usitniti samo drobljenjem ili samo mljevenjem, no troškovi drobljenja su približno 50% niži od troškova mljevenja [14].



Slika 1. Metode usitnjavanja čvrstih materijala [5]:  
 a) gnječenje, b) cijepanje c) udar, d) trljanje, e) kidanje, f) savijanje

Tablica 2. Strojevi (drobilice i mlinovi) za usitnjavanje [5]

Vrsta	Stupanj usitnjavanja		
	Grubi	Srednji	Fini
<b>Tvrđi i srednje tvrđi građevinski šut i slični materijali</b>	- čeljusna drobilica - konusna drobilica - udarno-rotacijska drobilica	- konusna drobilica - udarna drobilica - udarno-rotacijska drobilica - autogeni mlin	- mlin s kuglama - udarni mlin
<b>Srednje tvrđi i mekani materijali</b>	- drobilica s čekićima - udarno-rotacijska drobilica	- mlin s čekićima - udarni mlin	- udarno rotacijski mlin
<b>Metali</b>	- shredder - škare za otpad - rotacijske škare	- shredder - mlin sa sjekačima	- mlin sa sjekačima - drobilica za špenu
<b>Meki, srednje tvrđi, elastični i žilavoelastični materijali</b>	- rotacijske škare - grebenjak - spiralni mlin	- rotacijske škare - spiralni mlin - mlin s čekićima - jednoosovinski usitniivač	- jednoosovinski usitnjivač - spiralni mlin - mlin s čekićima
<b>Žilavoelastični materijali</b>	- rotacijske škare	- jednoosovinski usitnjivač	- mlin sa sjekačima

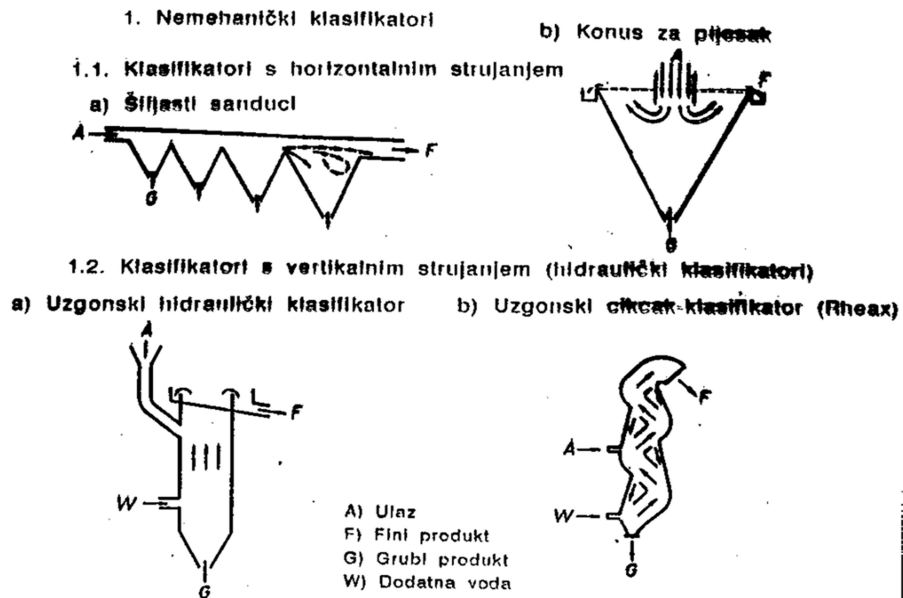
## KLASIRANJE

Klasiranje (prema klasa), separacijska operacija procesne tehnike; služi za razdvajanje zrnatih tvari ili materijala na frakcije (klase) prema veličini, a odvija se prosijavanjem ili u fluidu. Klasiranje prosijavanjem u industrijskoj se praksi primjenjuje uglavnom za zrna veća od 1 mm, dok klasiranje u fluidu obuhvaća granulacijski raspon od 4 do 0,5 mm, iznimno i od 0,5 do 0,1 mm [4].

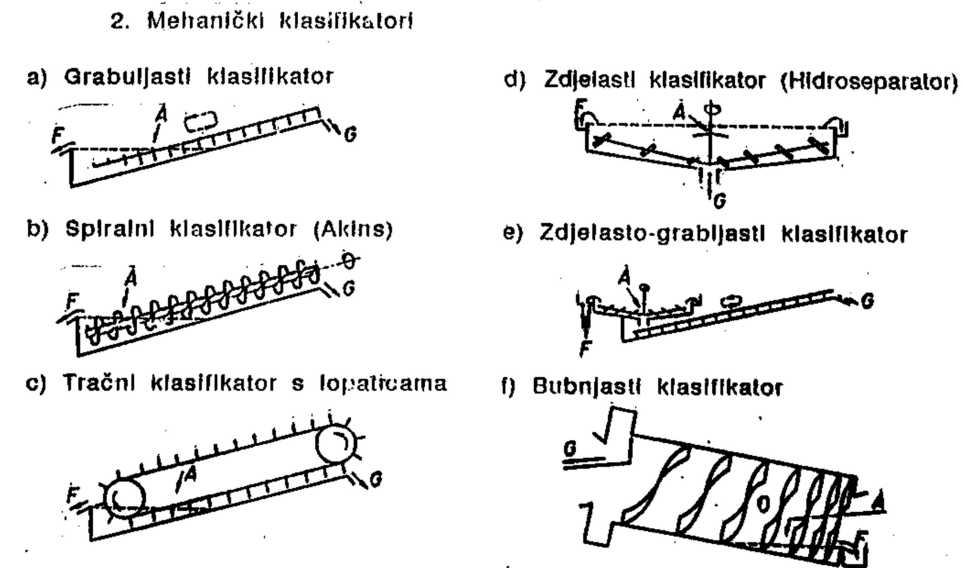
Klasiranje prosijavanjem s pomoću sita može biti suho ili mokro. Prosjevne površine sita izvedene su od šipaka, perforiranih ploča ili mreže od upletene žice, s otvorima određene veličine. Zrna manja od otvora propadaju kroz sito kao prosjev, a veća zrna zaostaju na situ kao osjev. Sita mogu biti nepomična ili pomična, a tvari ili materijali mogu se po prosjevnoj površini sita kretati kotrljanjem ili odbacivanjem [4].

Klasiranje u fluidu (u kapljevitom ili plinovitom mediju) temelji se na brzini padanja zrna, koje je u početku jednoliko ubrzano, a nakon nekog vremena, zbog trenja, prelazi u jednoliko neubrzano. Tako zrna postižu konstantnu konačnu brzinu padanja, koja ovisi o njihovoj gustoći i veličini, pa se zrna jednake konačne brzine (supadna zrna) mogu odijeliti u frakcije. Odvajanje po veličini može se provesti samo iz kolektiva zrna jednake gustoće, jer veću brzinu imaju veća zrna. Slično, odvajanje po gustoći može se provesti samo iz kolektiva zrna jednake veličine (sortiranje), jer veću brzinu imaju gušća zrna. Uređaji za klasiranje u fluidu najjednostavnije se, prema polju primijenjene sile, dijele na gravitacijske i centrifugalne.. Gravitacijski uređaji za klasiranje dijele se i na mehaničke i nemehaničke, ovisno o načinu uklanjanja grube frakcije iz uređaja. Centrifugalni su uređaji hidrocikloni, ili općenito cikloni [4].

**GRAVITACIJSKI KLASIFIKATORI: Shematski prikaz**



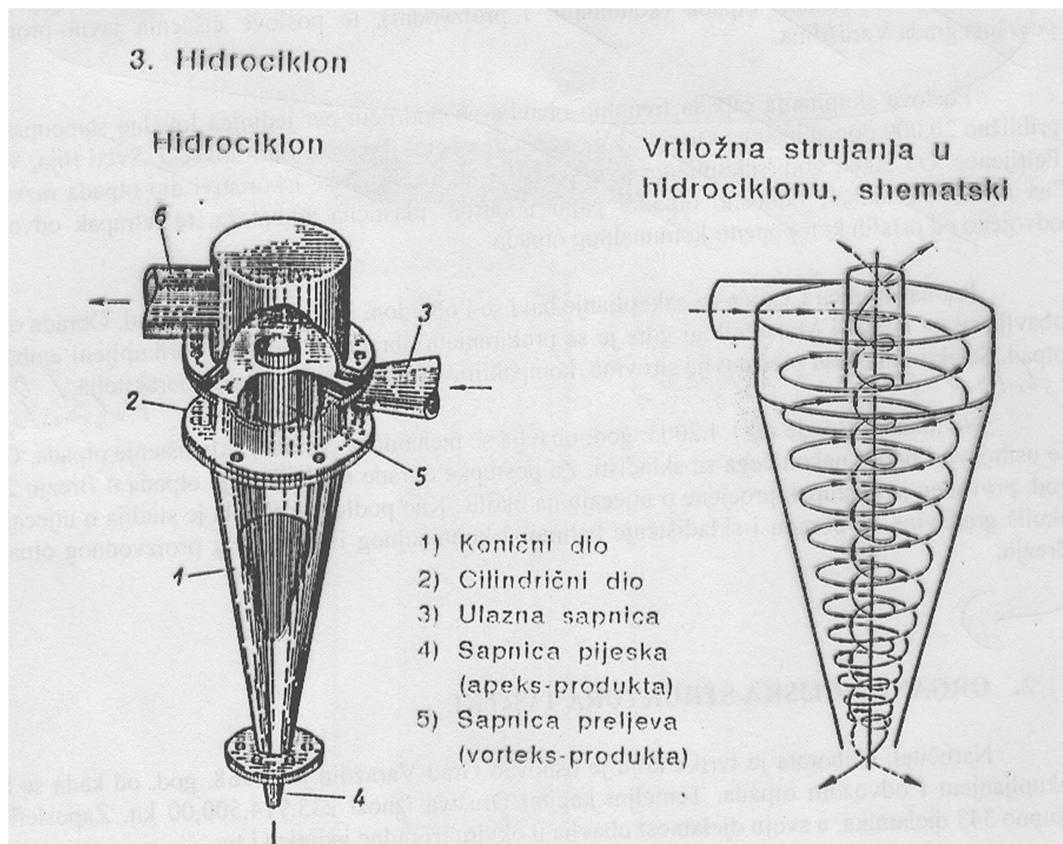
Slika 2. Gravitacijski klasifikatori [6]



Slika 3. Mehanički klasifikatori [6]



Slika 4. Cik cak separator [6]



Slika 5. Hidrociklon [6]

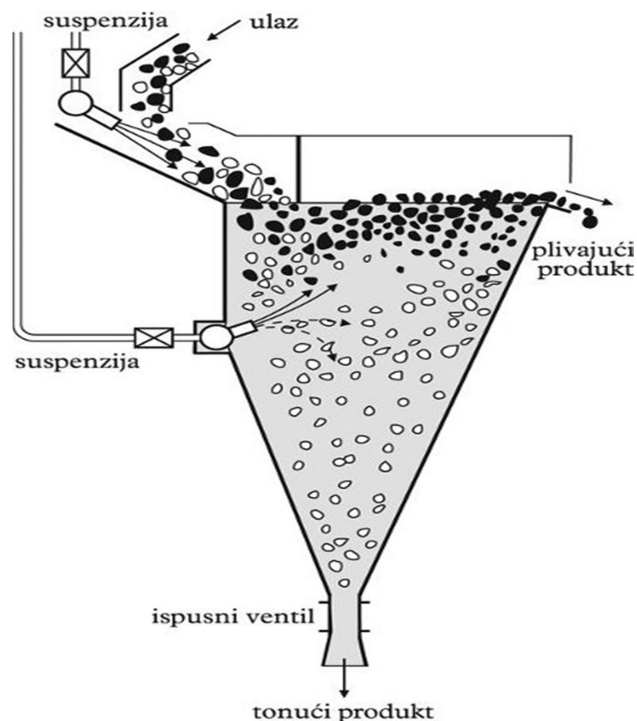


## KONCENTRACIJSKE METODE

Koncentracija se provodi kako bi se dvije ili više mineralnih komponenti iz jedne mineralne sirovine razdvojilo u zasebne proizvode. Da bi se to postiglo, koriste se razlike u značajkama pojedinih mineralnih komponenti. Razdvajanje se postiže kada određeno polje sile svojim selektivnim djelovanjem (zbog različitih značajki komponenti) izdvoji jednu od mineralnih komponenti. Koncentracijske metode razvrstavaju se s obzirom na značajke minerala i polje sile koje se koristi da bi se razdvajanje postiglo [3].

### Gravitacijska koncentracija

Kod gravitacijske koncentracije do razdvajanja dolazi uslijed razlike u gustoći pojedinih mineralnih komponenta u gravitacijskom polju sile. Uređaji koji se najčešće koriste u gravitacijskoj koncentraciji su plakalice, koncentracijski stolovi i žljebovi. Ako se postupak separiranja ne provodi u zraku ili vodi, već u suspenziji tada govorimo o PT (pliva-tone) koncentraciji (separacija u teškom mediju, separacija u teškoj sredini), a uređaji koji se pri tome koriste su različiti PT separatori [3].



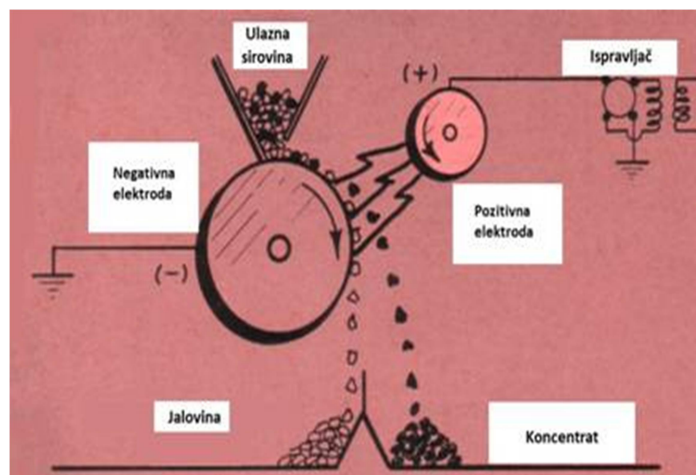
Slika 6. Uređaj za koncentraciju u suspenzijama [7]

### Magnetska koncentracija

Kod magnetske koncentracije do razdvajanja dolazi uslijed razlike u magnetskim značajkama (susceptibilnosti i permeabilnosti) mineralnih komponenti u magnetskom polju sila. Uređaji koji se pri tome koriste su različiti tipovi visoko i niskointenzivnih magnetskih separatora koji mogu raditi suho ili mokro (kao medij se koristi zrak ili voda) [3].

### Elektrostatička koncentracija

U elektrostatičkoj koncentraciji do razdvajanja dolazi uslijed razlike u električnoj vodljivosti i/ili dielektričnosti između komponenata sirovine tj. razlike u kretanju električki nabijenih čestica u električnom polju sila, pri čemu naboj na čestici miruje. Uređaji koji se pri tome koriste su elektrostatički separatori s valjkom i korona separatori [3].



Slika 7. Princip rada korona elektrostatičkog separatora [8]

### Flotacija

U flotaciji do razdvajanja dolazi pomoću zračnih mjehura u vodi zbog razlike u površinskim značajkama (močivosti, kvašljivosti) mineralnih komponenti. Čestice hidrofobne komponente prihvatit će se za zračne mjehure i s njima isplivati na površinu pulpe formirajući pjenu (koncentrat), a čestice hidrofilne komponente neće, te odlaze u otok (jalovina) flotacijske ćelije. Značajke hidrofilnosti i hidrofobnosti najčešće nisu

dovoljno izražene, pa se u pulpu dodaju flotacijski reagenti koji te značajke pojačavaju [3].

### Otprašivanje

Proizvodni procesi u većini industrijskih djelatnosti generiraju nusproizvode u obliku čestica prašine različitih geometrijskih oblika i izmjera, kao i u formi maglica i dimova.

Bilo da je prašina korisna, kao materijalni ulaz u proizvodni proces (npr. u metalurgiji, kod prerade polimera, u proizvodnji boja i sintetskih materijala, u proizvodnji farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda), ili samo nusproizvod, uvijek ima negativan utjecaj na čovjekovo zdravlje i okolinu.

Od posebne je važnosti uklanjanje prašine sa uređaja, strojeva i pomoćne opreme kao i iz cjelokupnog prostora, što se postiže implementacijom odgovarajućih postupaka otprašivanja, kao što su [9]:

- 1) Usisavanje prašine nastale brušenjem, pri transportu praškastih tvari i materijala, a koja je pala i nataložila se na pod, stroj, itd.
- 2) Uklanjanje lebdećih čestica iz prostora.



Slika 8. Otprašivanje industrijskih prostora [9]

## **4.MEHANIČKA OBRADA OTPADA**

### **3.4. Postupak mehaničke obrade**

Mehanički procesi obrade obuhvaćaju: usitnjavanje, drobljenje, mljevenje, prosijavanje, paletiranje i druge mehaničke metode te separaciju.

Mehaničkom obradom otpada ne mijenjaju se kemijska svojstva otpada koji se obrađuje, već se samo izdvajaju pojedine komponente ili frakcije iz ulaznog toka, odnosno mijenja se stanje usitnjenosti smjese. Cilj je učinkovita separacija komponenata otpada kako bi se dobilo što više kvalitetnih frakcija za daljnju uporabu. Najvažniji materijali čija se separacija odvija unutar mehaničkih procesa obrade su staklo, plastika, papir i metali [5].

### **4.2. Oprema za mehaničku obradu otpada**

Osnovna oprema za mehaničku obradu otpada koja se najčešće koristi u tehnološkim shemama i postupcima za obradu otpada su: bunkereri, člankasti dodavači, kranski uređaji i sl.;strojevi za usitnjavanje (drobljenje i mljevenje) otpada, uređaji za prosijavanje (klasiranje) otpada - razne vrste rešetki i sita; uređaji za izdvajanje magnetičnih metala iz otpada – magnetni izdvajajući; uređaji za razdvajanje otpada u zračnoj struji - pneumatski izdvajajući; uređaji za razdvajanje otpada u tekućini – klasifikatori; uređaji za optičko sortiranje otpada; uređaji za transport otpada i druge specijalni strojevi [5].

#### Bunkereri i uređaji na bunkerima

Bunkereri koji se koriste u tehnološkim shemama i postupcima za obradu otpada moraju zadovoljiti tri osnovna uvjeta: prijem dopremljenih i istresenih količina otpada, privremeno odlaganje otpada, ravnomjerno doziranje otpada za naredne procese obrade. U sastav bunkera kao tehnološke cjeline ulaze najčešće sljedeći uređaji: pločasti transporter, kranski uređaj.

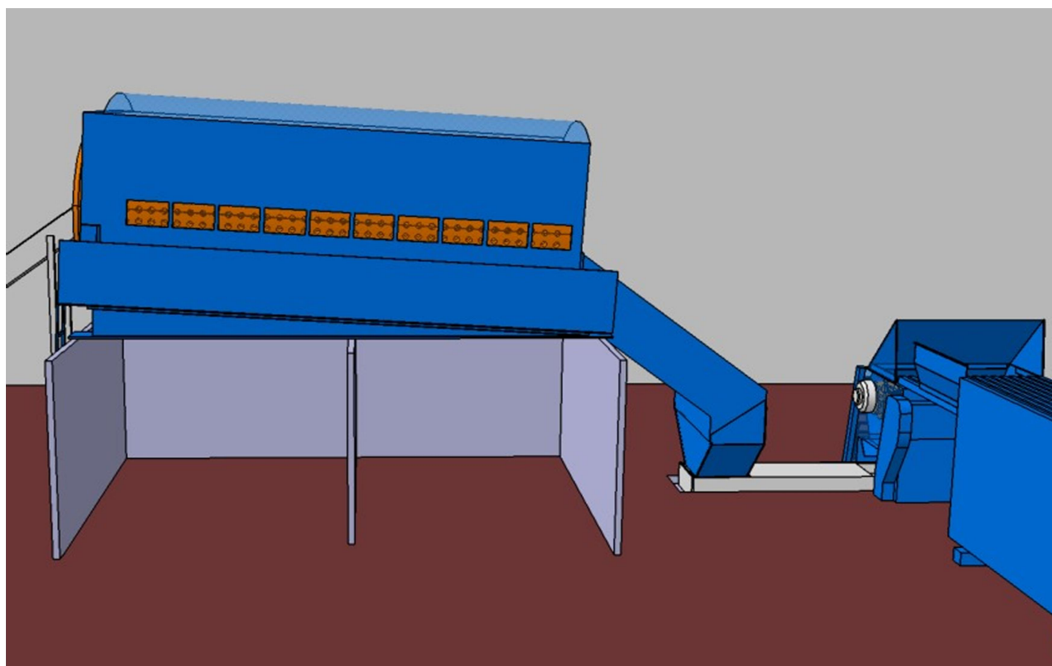
### Oprema za usitnjavanje čvrstog otpada

Otpad se usitnjava iz razloga da bi se došlo do postizanja što bolje obrade otpada, npr. kod kompostiranja i sagorijevanja. No, kod nekih procesa obrade otpada usitnjavanje ima negativan utjecaj, tako npr. pri sortiranju u prvom stupnju obrade otpada.

Usitnjavanje čvrstog otpada vrši se s ciljem: smanjenja krupnoće zrna, povećanja specifične površine zrna otpada, odvajanja pojedinih komponenti iz međusobno spojene mase otpada, konfekcioniranja za naredne korake obrade otpada. Usitnjavanje otpada vrši se u strojevima za usitnjavanje pod djelovanjem vanjskih sila. Za sekundarno sitnjenje komunalnog otpada koriste se šrederi, drobilice koje sitne sječenjem, odnosno rezanjem materijala. Koriste se za završno sitnjenje kada daju proizvod za tržište ili kada slijedi izrada goriva od otpada, odnosno komposta. Ukoliko se koriste, onda je to obično nakon primarnog sijanja otpada. Kod sitnjenja metalnog otpada to su i jedine drobilice iz razloga što se metal relativno lako izdvaja iz ostalog otpada [5].

### **4.3. Prosijavanje krutog otpada (klasiranje)**

Prosijavanje je proces razdvajanja materijala po krupnoći, koji se zasniva na geometrijskoj uporedbi oblika i veličine zrna s oblikom i veličinom otvora prosjevne površine. Prosjevna površina je pričvršćena na noseću konstrukciju uređaja za prosijavanje koje se naziva sito. Materijal se kreće po prosjevnoj površini zahvaljujući njenom nagibu ili kretanju. U tehnološkim šemama za obradu otpada, uređaji za prosijavanje (sita) koriste se na različitim mjestima: pretprosijavanje za izdvajanje finog ili grubog otpada, prosijavanje usitnjenog otpada za razdvajanje pojedinih frakcija materijala po krupnoći ili izdvajanje neusitnjenih dijelova tog otpada, izdvajanje gotovih komponenti materijala za postizanje bolje kvalitete (npr. kod kompostiranja - izdvajanje finog komposta) i dr. Osnovni problem pri prosijavanju otpadnih materijala je začepljenje otvora na prosjevnoj površini vlažnim materijalima, odnosno materijalima s dugim vlaknima ili tekstilom. Sita za prosijavanje otpada trebala bi biti što duža kako bi put kretanja otpada, a tim i vrijeme prosijavanja, bilo što duže. Postoje više vrsta sita, ali u praksi se najčešće koriste: rotacijska sita i vibracijska sita [5].



Slika 9. Rotacijsko sito s pregradama za odvojene frakcije



Slika 10. Vibracijsko troetažno sito [10]

#### 4.4. Razdvajanje komponenti otpada/separiranje

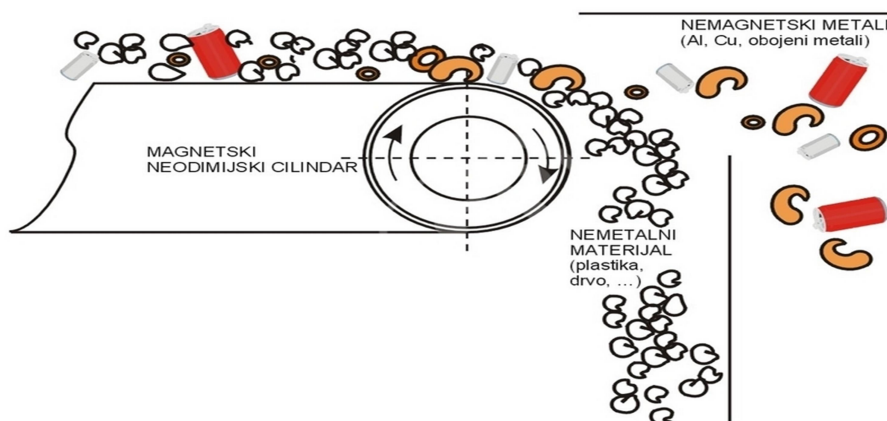
Separiranje je postupak za diobu većih ili manjih komada (zrna) krutih tvari na "kase" u zračnoj ili vodenoj struji. Izdvojene grupe zrna - "sutaložne klase" predstavljaju zrna iste konačne brzine padanja u nekom fluidu [5].

U mehaničkoj obradi otpada koriste se razni separatori od kojih se najviše upotrebljavaju: magnetski separator, zračni separator te NIR separator.

#### MAGNETSKO SEPARIRANJE

Magnetični metalni dijelovi u otpadu predstavljaju korisnu sirovinu, zbog čega ih je korisno izdvojiti iz otpada. Međutim, metalne dijelove treba izdvojiti i radi zaštite ostalih mašina i uređaja koji se nalaze u tehnološkoj liniji obrade otpada. Pored toga u nekim postupcima obrade otpada (npr. kompostiranje otpada) metalni dijelovi su nepoželjni. Zbog navedenih razloga u svim postrojenjima za obradu otpada postavljaju se uređaji za izdvajanje magnetičnih metala, odnosno magnetni izdvjači.

Koriste se za izdvajanje magnetičnih materijala (željezo, čelik) od nemagnetičnih. Pod djelovanjem magnetskog polja magnetični materijali bit će izdvojeni od ostalog otpada i izlaskom iz magnetskog polja past će u odjeljak za "magnetsku komponentu". Nemagnetični materijali bit će iznjeti ili izbačeni iz magnetskog polja u odjeljak za "nemagnetsku komponentu" [5].



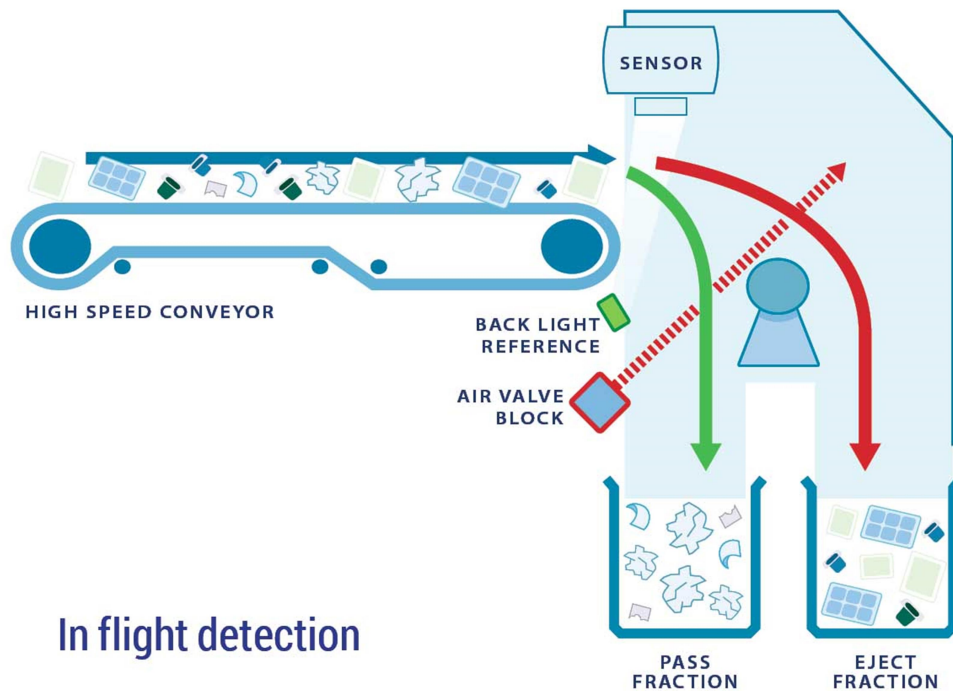
Slika 11. Separator s vrtložnim strujama [5]

### Zračni separator

Zračnim separatorom se odvaja teška i laka frakcija. Teška frakcija predstavlja inertne materijale veće težine kao što je kamenje, staklo i beton, a ostali materijal manje težine transportira se dalje kao potencijalna frakcija za proizvodnju zamjenskog goriva. Zračni separator radi na principu strujanja zraka koji odnosi lake predmete dok teži predmeti zaostaju i odvajaju se u posebne kontejnere [1].

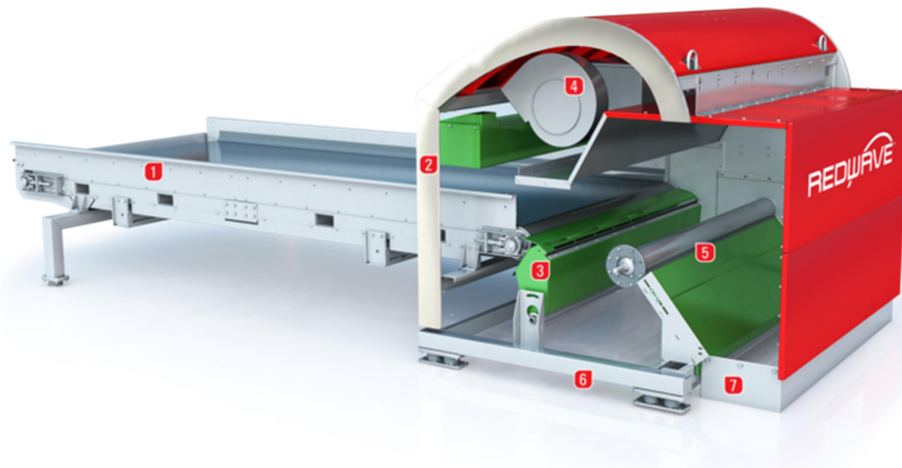
### NIR separator

NIR (Near Infrared) separator, u prijevodu separator sa infracrvenim zračenjem, koristi se za odvajanje plastike. Zračno odvojena laka frakcija trakom se transportira do NIR separatora koji služi prvenstveno za odvajanje klorirane plastike (PVC – Polivinilklorid) koje u ukupnoj masi ostatnog komunalnog otpada ima u prosjeku oko 0,7%, a praktično je moguće izdvojiti oko 50% takve plastike pomoću ovog tipa separatora što povećava kvalitetu goriva. Odvojena klorirana plastika nije isplativa za daljnju uporabu ni svojom kvalitetom, a ni količinom [1].



Slika 12. Postupak izdvajanja plastike [16]





Slika 13. NIR separator [11]

#### 4.5. Probiranje

Probiranje je postupak za izdvajanje pojedinih komponenti materijala iz smjese na temelju njihovih razlika u optičkim svojstvima od kojih su najvažnija boja, sposobnost propuštanja svjetla i reflektiranja svjetla. Postoji ručno ili strojno sortiranje. Uređaji za sortiranje pojedinačnih većih ili manji komada otpada temelje se na mjerenju fizičkih svojstva materijala (propusnost i refleksija svjetlosnih zraka, boja, vodljivost i fluorescencija).

Najveći dio sortiranja još se uvijek provodi ručno, posebno na manjim pogonima. Najčešće se provodi na probirnim trakama ili na podu prostorije gdje se istresa otpad. Radnici na platou na gomili otpada ili na probirnoj traci prepoznaju pojedine vrste otpada, ručno ih izdvajaju i ubacaju u odgovarajuće spremike.

Sortiranje na traci obavljaju radnici obučeni da prepoznaju jednu ili dvije vrste materijala koje uklanjaju s trake i odbacuju u spremnike koji se nalaze sa strane. Ovisno o satavu (veličini) materijala i broju komponenti (vrsti otpada) brzina probirne trake kreće se od 5 do 15 m/min [5].



Slika 14. Ručno sortiranje [5]



Slika 15. Stroj za sortiranje komunalnog otpada [13]

#### 4.6. Kompaktiranje

U cilju postizanja manjeg volumena prije transporta, provodi se kompaktiranje otpada. Stupanj kompaktiranja, masa odnosno volumen kompaktiranog materijala, ovisi o tržišnim specifikacijama, načinu i cijeni transporta. Za kompaktiranje se koriste različiti aparati i uređaji ovisno o vrsti otpada. Otpad se obično sabija, u neku određenu formu (kocka, paralelopiped) i prema potrebi učvršćuje omatanjem u foliju, povezuje žicom ili plastičnom vrpcom. Kod nekih materijala također je vrlo bitna i granulacija, tako npr. usitnjeno staklo na -12,5 mm ima gustoću približno 1067 kg/m<sup>3</sup>, a usitnjeno na -6 mm ima gustoću 1600 kg/m<sup>3</sup> [5].

Tablica 3. Gustoća nekompaktiranog i kompaktiranog otpada [5]

Vrsta otpada	Nekompaktirani otpad [kg/m <sup>3</sup> ]	Kompaktirani Otpad [kg/m <sup>3</sup> ]
Novine	356	534
Karton	89	652
PET	17	447
HDPE	15	412
Aluminijske limenke	30	385
Kruti otpad	237	712
Mješoviti papir	356	534

Kompaktori su uređaji koji služe za kompaktiranje (sabijanje, baliranje) otpada. Otpad se obično kompaktira nakon sortiranja, ali npr. stari automobili i bijela tehnika mogu se odmah kompaktirati. Kompaktori generalno mogu biti vertikalni i horizontalni



Slika 16. Vertikalni i horizontalni kompaktori [5]

#### 4.7. Transport

Transport se obično obavlja transportnim i utovarnim strojevima te tračnim i cijevnim transporterima. Tračni transporteri koriste se za horizontalni i vertikalni transport pri čemu je transportna traka izrađena od metalnih elemenata ili gume. U gravitacijskom transportu mogu se koristiti razni tipovi žlijebova i skliznica, dok se pneumatski transport ponekad koristi za transport lakših vrsta otpada (plastika, papiri). Najčešće se koriste transporteri s gumenom trakom jer su relativno jeftini i tihi u radu. Mana im je što su osjetljivi na oštre, abrazivne i teške komade otpada. Za transport grubih i teških komada metalnog otpada kao npr. starih automobila, dijelova strojeva i sl., ili kad otpad pada na traku s veće visine, prednost se daje člankastim transporterima[5].



Slika 17. Transport komunalnog otpada utovarnim kamionom [12]



Slika 18. Transportna traka [15]

## 5. ZAKLJUČAK

Nastajanje otpada neminovan je produkt civilizacijskog razvoja društva. Međutim neadekvatno gospodarenje otpadom predstavlja veliku opasnost za okoliš i ne racionalno gospodarenje prirodnim resursima. Stoga se mora nastojati da nastaje što manje otpada, da se nastali otpad iskoristi materijalno i energetske, a tek preostali dio zbrine odlaganjem ili na neke druge načine. Otpad sadrži i vrlo vrijedne komponente koje se ponovno mogu upotrijebiti u proizvodnji odnosno zamijeniti prirodne sirovine. Postupak izdvajanja korisnih komponenti vrlo je sličan postupku odvajanja korisne komponente od jalovine iz ruda, odnosno postupku oplemenjivanja minealnih sirovina. Stoga se u mehaničkoj obradi otpada koriste metode i uređaji za sitnjenje istovjetni uređajima korištenim u oplemenjivanju minealnih sirovina. Ista stvar je i u postupcima klasiranja gdje se za klasiranje otpada koriste sita preuzeta iz oplemenjivanja mineralnih sirovina. Specifičnost sijanja komunalnog otpada je upotreba, u oplemenjivanju, zastarjelih bubnjasih sita. Dio oplemenjivačkih koncentracijskih metoda primjenjuje se i u razdvajanju komponenti otpada. U gospodarenju otpada za koncentracijske metode uvriježen je termin „separiranje“. Kao najprimitivnija metoda u separiranju otpada koristi se ručno probiranje koje se pokazalo efikasnim. Razvoj tehnologije donio je i uređaje za strojno razvrstavanje otpada na osnovu njegovih optičkih svojstava. Postupci odvajanja u magnetskom polju i u električnom polju vrlo često su korišteni kako u oplemenjivanju mineralnih sirovina tako i u mehaničkoj obradi otpada. Flotacijske metode upotrebljive su za obradu širokog spektra industrijskog otpada i pročišćavanje otpadnih voda, ali zbog postupka provedivog u vodi ne koristi se u mehaničkoj obradi komunalnog otpada. Pomoćni postupci kao transport, baliranje, skladištenje, vaganje, doziranje i sl. istovjetni su postupcima korištenim u oplemenjivanju mineralnih sirovina. Specifičnost je potreba za manje robusnim uređajima uslijed male gustoće otpada. U OMS zračni separatori se koriste za klasiranje, dok se u MO koriste kao gravitacijski koncentracijski uređaji. Ovakva primjena proizlazi iz heterogenosti otpada odnosno zakonitosti gdje brzina taloženja ovisi kako o veličini čestica, tako i o njenoj gustoći i aerodinamičkom obliku. Pomoćni postupak kao što je otprašivanje bez izmjena je preuzet iz OMS s izuzetkom korištenja mokrih otprašivača.

## 6. LITERATURA

1. Markovinović B. *Projektiranje postrojenja za mehaničko biološku obradu ostatnog komunalnog otpada*. Završni rad. Veleučilište u Karlovcu, Strojarski odjel  
Dostupno na: [markovinovic\\_branimir\\_vuka\\_2015\\_zavrs\\_struc](#)  
Datum pristupa: 15.7.2018.
2. Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Održivo gospodarenje otpadom.  
Dostupno na: <http://www.mzoip.hr/hr/otpad/odrzivo-gospodarenje-otpadom.html>  
Datum pristupa: 15.7.2018.
3. Oplemenjivanje mineralnih sirovina.  
Dostupno na: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Oplemenjivanje\\_mineralnih\\_sirovina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Oplemenjivanje_mineralnih_sirovina)  
Datum pristupa: 15.7.2018.
4. Klasiranje.  
Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=45269>  
Datum pristupa: 15.7.2018.
5. A. Anić Vučinić. *Osnove gospodarenja otpadom 2. Dio*.  
Dostupno na: [OGO\\_SKRIPTA\\_2.dio](#)  
Datum pristupa: 15.7.2018.
- 6.V. Premur. *Oplemenjivanje mineralnih sirovina*. Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet, ak.g. 2016/17.  
Dostupno na: <https://moodle.srce.hr/2016-2017/course/view.php?id=16035>  
Datum pristupa: 17.7.2018.
7. M. Krleža. Leksikografski zavod. *Uređaj za koncentraciju u suspenzijama*.  
Dostupno na: [Gravitacijska koncentracija.jpg](#)  
Datum pristupa: 17.7.2018.

8.Seminarski rad iz tehnoloških sistema.

Dostupno na:Tehnologija reciklaze elektricnog i elektronskog otpada

Datum pristupa: 17.7.2018.

9.Otprašivanje industrijskih prostora.

Dostupno na:Otprašivanje - Domes.html

Datum pristupa: 17.7.2018.

10.Vibracijsko troetažno sito.

Dostupno na: Vibracijsko sito 3x1m, troetažno - Oprema Vrbovec.html

Datum pristupa: 17.7.2018.

11.Redwave NIR za sortiranje papira i plastike.

Dostupno na:REDWAVE NIR.html,

Datum pristupa: 17.7.2018.

12. Skupljanje i prijevoz komunalnog otpada.

Dostupno na: Skupljanje i prijevoz komunalnog otpada.html

Datum pristupa: 17.7.2018.

13. Strojevi za selekciju komunalnog otpada.

Dostupno na:[http://pinova.hr/hr\\_HR/galerija/4000/289/2792/Stroj+za+sortiranje](http://pinova.hr/hr_HR/galerija/4000/289/2792/Stroj+za+sortiranje)

Datum pristupa: 29.8.2018.

14. B. Salopek, G. Bedeković.*Sitnjenje – prvi stupanj u OMS*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište Zagreb.

Dostupno na:SITNJENJE\_PRVI\_STUPANJ\_U\_OPLEMENJIVANJU

MINERALNIH SIROVINA

Datum pristupa: 29.8.2018.



15. Gumena transportna traka.

Dostupno na:<https://strojarstvo-calopek.hr/kategorija-proizvoda/transportne->

Datum pristupa: 29.8.2018.

16. *Optical separation.*

Dostupno na:<http://www.cpgrp.com/optical-separation/>

Datum pristupa: 29.8.2018.

## 7. POPIS TABLICA I SLIKA

### Popis tablica:

Tablica 1. Približni sastav kante za ostatni komunalni otpad.

Tablica 2. Strojevi ( drobilice, mlinovi ) za usitnjavanje

Tablica 3. Relativne gustoće nekompaktiranog i kompaktiranog otpada

### Popis slika:

Slika 1. Metode usitnjavanja čvrstih otpada

Slika 2. Gravitacijski klasifikatori

Slika 3. Mehanički klasifikatori

Slika 4. Cik cak separator

Slika 5. Hidrociklon

Slika 6. Uređaj za koncentraciju u suspenzijama

Slika 7. Princip rada korona elektrostatičkog separatora

Slika 8. Otprašivanje industrijskih prostora

Slika 9. Rotacijsko sito s pregradama za odvojene frakcije

Slika 10. Vibracijsko troetažno sito

Slika 11. Separator s vrtložnim strujanjima

Slika 12. Postupak izdvajanja plastike (NIR separator)

Slika 13. NIR separator

Slika 14. Ručno sortiranje

Slika 15. Stroj za sortiranje komunalnog otpada

Slika 16. Vertikalni i horizontalni kompaktori

Slika 17. Transport komunalnog otpada utovarnim kamionom

Slika 18. Transportna traka