



AKADEMIJA
TEHNIČKO-VASPITAČKIH
STRUKOVNIH STUDIJA

RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I

dr Boban Cvetanović
dr Petar Đekić



dr Boban Cvetanović
dr Petar Đekić

Reciklažne tehnologije I

Skripta je urađena u okviru projekta “Primena koncepta zelenih praksi u razvoju programskih sadržaja – GREENP EDU”, Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja republike Srbije -programska aktivnost Razvoj visokog obrazovanja (2021-22).

Niš, 2022.

Izdavač
Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija
Odsek Niš

Autori:
dr Boban Cvetanović
dr Petar Đekić

Prelom:
Goran Milosavljević

ISBN – 978-86-81912-15-7

SADRŽAJ

PREDGOVOR	7
POGLAVLJE 1: KOLIČINE GENERISANOG OTPADA....	9
Podela otpada	10
Količine generisanog otpada	10
POGLAVLJE 2: UPRAVLJANJE OTPADOM.....	15
Tretman otpada u EU.....	21
Tretman otpada U Srbiji	23
Tretman komunalnog otpada u EU.....	25
Tretman komunalnog otpada u Srbiji	26
POGLAVLJE 3: RECIKLAŽA	31
Istorijski razvoj reciklaže	31
Benefiti reciklaže	32
Znak za reciklažu – Mobiusova petlja	33
Podela reciklažnih tehnologija.....	34
Mehaničke reciklažne tehnologije	34
Hemijske reciklažne tehnologije	36

Biološke reciklažne tehnologije	37
POGLAVLJE 4: SEPARACIJA OTPADA	39
Ručna separacija	40
Gravitaciona separacija	41
POGLAVLJE 5: DROBLJENJE I MLEVENJE OTPADA ...	51
Drobnice	52
Mlinovi	58
POGLAVLJE 6: SABIJANJE OTPADA	51
Presovanje	
Briketiranje	
Peletiranje	
LITERATURA	

PREDGOVOR

Ovaj udžbenik ima za cilj da, sa tehničko-tehnološkog aspekta, predstavi osnove reciklažnih procesa koji se koriste pri reciklaži pojedinih otpada ili frakcija u otpadu. S obzirom da se radi o obimnoj problematici, u udžbeniku nisu mogle da se analiziraju sve postojeće tehnologije, koje se koriste pri reciklaži svih vrsta otpada, već su izabrane one koje su "najinteresantnije" za stanovništvo, a to su pre svega reciklabilne frakcije u komunalnom otpadu.

Udžbenik je označen kao prvi deo i u njemu su date opcije upravljanja otpadom i generalne karakteristike reciklaže, kao i podela reciklaže sa aspekta vrste procesa, koji se pritom koriste. Detaljnije su objašnjene neke mehaničke tehnologije. U drugom delu, koji će predstavljati nastavak, analiziraće se reciklažne tehnologije sa aspekta vrste otpada.

Iako udžbenik može da bude interesantan širokoj populaciji, on je namenjen, pre svega, studentima koji izučavaju optimalne tretmane otpada, u konkretnim uslovima. S obzirom da se reciklaža analizira sa aspekta korišćenih tehnologija i opreme, skripta može biti interesantna i studentima mašinstva i industrijskog inženjerstva jer je to kadar koji tu opreme treba da projektuje i konstruiše.

Udžbenik je nastao kao rezultat rada autora, na projektu "Primena koncepta zelenih praksi u razvoju programskih sadržaja", koji se finansira od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS, u okviru programske aktivnosti "Razvoj visokog obrazovanja".

Autor



POGLAVLJE 1: KOLIČINE GENERISANOG OTPADA

Prema Zakonu o upravljanju otpadom Republike Srbije “otpad su pokretne stvari koje vlasnik ili držalac želi da odbaci ili je odbacio i čije je sakupljanje i tretiranje kao otpad u javnom interesu”.

Užurbani razvoj ljudskog društva, kao i visok demografski rast i porast standard, uzrokovali su generisanje sve većih količina otpada, koje je trebalo na odgovarajući način tretirati.

Interesovanje za kvalitetno i efikasno upravljanje otpadom počinje tek 70-tih godina prošlog veka, kada su količine otpada postale toliko velike da su postale da ugrožavaju normalno funkcionisanje ljudskih naselja. Razvijene zemlje su do tada otpad odlagale na deponijama sa nasipanjem ili su ga kontrolisano sagorevale (bilo je i izvesnog recikliranja), dok su nearzvijene zemlje tretman vršile uglavnom spaljivanjem na otvorenom prostoru ili bacanjem na deponije.

Po više aspekata, otpad je ogroman problem koji nije lako rešiti. Iako se najčešće spominje ekološki i sanitarni aspekt, ne treba zaboraviti da je otpad i građevinski, urbanistički, energetski i tehnološki problem. Sa druge strane, benefiti izbora optimalnog tretmana su ogromni i ogledaju se, pre svega, usmanjenju eksploatacije izvora primarnih sirovina i energije (otpad se koristi kao sirovina), a smanjuje se generisanje otpada (i opterećenje deponija), što za posledicu ima kva-

litetniju životnu sredinu.

Podela otpada

Može se vršiti po različitim aspektima. Najpoznatija je podela prema sastavu, odnosno prema frakcijama koje se pojavljuju u otpadu (staklo, plastika, papir, organski otpad, metali, guma itd.).

Vrlo često se koristi i podela prema mestu nastanku, odnosno prema vrstama ljudskih aktivnosti koje generišu otpad. Tako imamo podelu na: komunalni¹, industrijski, ambalažni, poljoprivredni, građevinski, medicinski i drugi otpad.

S obzirom na rizike koje nosi opasan otpad, značajna je i podela prema toksičnosti i to na: opasni, neopasni i inertni.

Otpad bi trebalo da se što kraće zadržava na mestima za sakupljanje (odlaganje), pre svega zbog lošeg uticaja na životnu sredinu. Sa druge strane, učestalost sakupljanja mora da bude takva da proces sakupljanja ima ekonomsku opravdanost (dobra popunjenost kamiona za transport otpada do lokacije za istovar).

Količine generisanog otpada

Prema podacima Eurostata, u 2018. godini, u EU je generisano oko 7,05 tona otpada po glavi stanovnika. Interesantno je da je najveća količina otpada stvorena u Estoniji (27,25 t/st), a najmanje u Letoniji (1,62 t/st). Da generisanje otpada nema previše veze sa razvijenošću privrede (odnosno da najbogatiji

¹Komunalni otpad je, uglavnom, čvrsti otpad koji je složen i heterogen, a nastao je raznovrsnim aktivnostima ljudi i koji se odbacuje kao nekoristan ili nepoželjan. Čini ga neopasni otpad iz domaćinstva i komercijalni otpad.

najviše i zagađuju) pokazuju i podaci o količinama otpada u najrazvijenijim evropskim državama, u Nemačkoj 6,76 t/st, Francuskoj 6,6 t/st i Velikoj Britaniji 4,25t/st.

Srbija generiše više otpada od proseka u EU. U 2020.godini, u našoj zemlji je stvoreno oko 66 miliona tona otpada ili preko 9 tona po glavi stanovnika (podaci Eurostata).

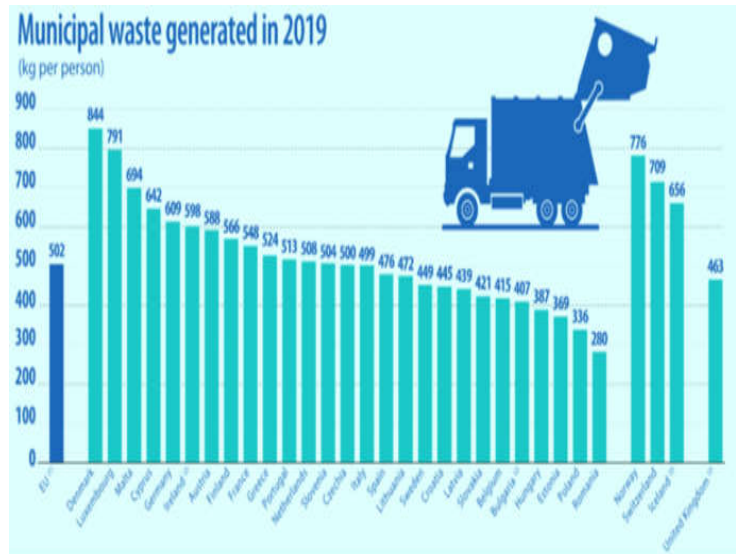
Najveće količine otpada u EU, generisane su u oblasti građevinarstva (izgradnje i rušenja) i to čak 34,7%. Nakon toga dolazi otpad iz rudarstva (eksploatacije ruda i mineralnih sirovina) i to 28,1%. Komunalni otpad čini samo 8,3%. U našoj zemlji iz rudarstva dolazi preko 80% otpada (čak 53 miliona tona, od 66 miliona ukupno generisanog), iz industrije (najviše energetskog sektora) oko 14,5% (oko 9,6 miliona tona), a iz domaćinstava 4,4% otpada.

Iako je generisani komunalni otpad količinski gotovo zanemarljiv u odnosu na celokupno stvoren otpad, on je većini stanovništva "najzanimljiviji", naročito u pogledu njegovog kvalitetskog sakupljanja i odvoženja. Razlog, verovatno, leži u činjenici što se taj otpad nalazi u našem neposrednom okruženju i svakodnevno ga generišemo u našim domaćinstvima, pa se javnom mnjenju čini i većim problemom, naročito tamo gde ne postoje adekvatan tretman te vrste otpada. Sa druge strane, ostale vrste otpada (industrijski, građevinski, medicinski i dr.), sakupljaju se i odvoze van vidokruga većine ljudi, na tačno određenim lokacijama, koje su izolovane i bez mogućeg prisustva lica koje nisu zadužena za upravljanje ovom vrstom otpada.

U 2019.godini svaki stanovnik EU, prosečno je generisao 502 kg komunalnog otpada (505 kg-2020.god.). Na vrhu liste su Danci sa 844kg po glavi stanovnika, dok su najmanje otpada, u

EU, proizveli Rumuni (280kg).

Srbija je generisala 338 kilograma komunalnog otpada po glavi stanovnika, što je stvorilo količinu od 2,9 miliona tona. Vrlo važno je napomenuti da je izveštavanje o komunalnom otpadu u Srbiji nepouzđano, a razlog tome treba tražiti u činjenici da godinama unazad veliki broj lokalnih samouprava ne dostavlja tražene podatke Agenciji za zaštitu životne sredine. Tako je na primer, za 2016. godinu podatke dostavilo svega 95 od 145 samouprava. Prema međunarodnoj metodologiji koju priznaje i Eurostat, za nedostavljene podatke vrše se procene, ali ovo umanjuje pouzđanost.



Generisani komunalni otpad u EU 2019.god. (kg/stanovniku)

Inače, vodeći generatori komunalnog otpada, u svetu, su Sjedinjene Američke Države i Kina. SAD, kao vodeća svetska ekonomska sila, proizvede 254 miliona tona komunalnog otpada

godišnje (blizu 700 hiljada tona dnevno), što čini gotovo 20% ukupno stvorenog komunalnog otpada, u svetu, pri čemune treba zaboraviti da stanovništvo SAD čini samo 5% svetske populacije. U samo godinu dana, stanovnici SAD bace 26,8 miliona tona hrane, 8,5 miliona tona nameštaja, 6,3 miliona tona odeće i obuće i tone drugog otpada. Iza SAD, na listi najvećih generatora komunalnog otpada je Kina, koja godišnje stvori 190 miliona tona otpada, sa populacijom koja je četiri puta veća od populacije SAD².

Za kvalitetnu analizu stanja, u pogledu generisanja komunalnog otpada, važan podatak je da stanovnici urbanih sredina, po pravilu, stvaraju veće količine otpada, od onih koji žive u ruralnim sredinama. U poslednjih nekoliko decenija urbanizacija se povećala, pa tako danas više od polovine svetske populacije živi u urbanim sredinama. Do 2050. godine gradski stanovnici će verovatno činiti 86% stanovništva u razvijenim zemljama i 64% populacije u zemljama u razvoju. Brzi rast urbane populacije rezultirao je brojnim izazovima korišćenja zemljišta i infrastrukture, uključujući i upravljanje komunalnim otpadom. Nacionalne i opštinske vlasti često nemaju dovoljno kapaciteta ili finansija kako bi zadovoljile rastuće potrebe za uslugama upravljanja čvrstim otpadom, mada je upravljanje čvrstim otpadom najveća budžetska stavka za mnoge gradove.

²Čak 80% svih proizvoda, koji se naprave u SAD, koriste se samo jednom, a zatim odbacuju kao otpad. Pri tome, 95% plastike i 50% aluminijumskih limenki koje se bacaju, nikada se ne recikliraju. Sa druge strane, u SAD se čak 69% otpada odlaže na deponije, a samo 31% iskorišćava (7% u energiju i 24% se reciklira).



POGLAVLJE 2: UPRAVLJANJE OTPADOM

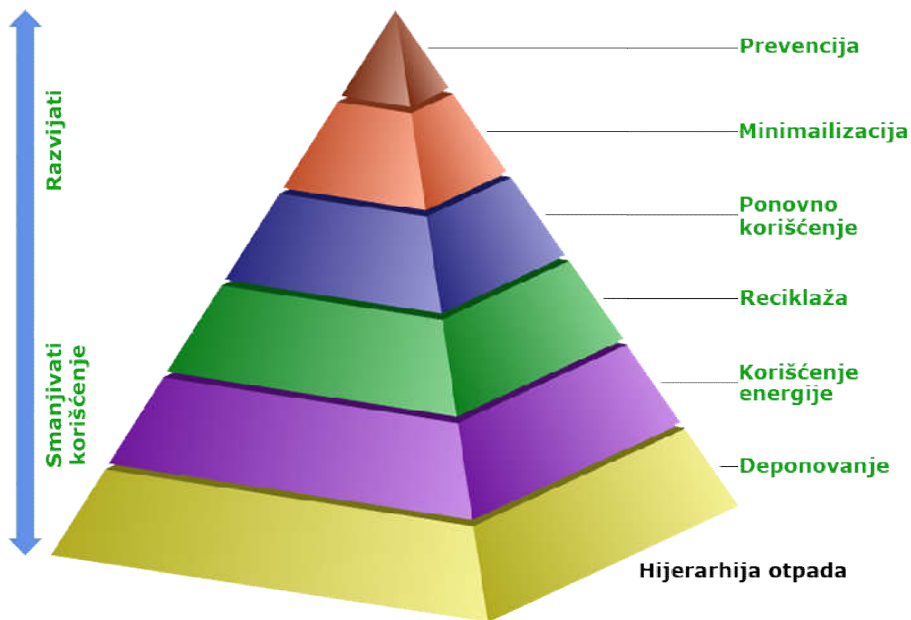
Prema Zakonu o upravljanju otpadom Republike Srbije "upravljanje otpadom je sprovođenje propisanih mera za postupanje sa otpadom u okviru sakupljanja, transporta, skladištenja, tretmana, odnosno ponovnog iskorišćenja i odlaganja otpada, uključujući i nadzor nad tim aktivnostima i brigu o postrojenjima za upravljanje otpadom posle zatvaranja i aktivnosti koje preduzima trgovac i posrednik.

Prema istom zakonu, prioritetan redosled aktivnosti u upravljanju otpadom je:

1. prevencija i minimalizacija,
2. ponovna upotreba,
3. reciklaža,
4. ostale operacije ponovnog iskorišćenja (npr. u cilju dobijanja energije),
5. odlaganje.

Prevenција su aktivnosti usmerene na sprečavanje nastajanja otpada, dok minimalizacija su aktivnosti smanjenja nastajanja otpada. Praktično prevencija i minimalizacija su srodne aktivnosti.

S obzirom na današnje potrošačko društvo i ubrzani (umesto održivi) razvoj, generisanje otpada se ne može (ili bolje reći ne želi) izbeći, a često ni smanjiti. Kao opcija se tada pojavljuje ponovno, odnosno višestruko korišćenje predmeta za istu namenu (eng. *reuse*).



Hijerarhijski model upravljanja otpadom

Ukoliko se predmeti prilagođavaju nekoj drugoj nameni, naš Zakon o upravljanju otpadom, to smatra reciklažnim procesima (iako su neke od tih aktivnosti relativno proste i ne zahtevaju dodatnu opremu za njihovo izvođenje).

Neke od predmeta (proizvoda) nije moguće ponovo koristiti zbog njihovog oštećenja (gubljenja funkcije), ali bi ih mogli iskoristiti postupcima recikliranja, što predstavlja sledeću opciju u tretmanu otpadom. Prema Zakonu o upravljanju otpadom „reciklaža je svaka operacija ponovnog iskorišćenja

kojom se otpad prerađuje u proizvod, materijale ili supstance, bez obzira da li se koriste za prvobitnu ili drugu namenu, uključujući ponovnu proizvodnju organskih materijala, osim ponovnog iskorišćenja u energetske svrhe i ponovne prerade u materijale koji su namenjeni za korišćenje kao gorivo ili za prekrivanje deponija”.

Kao i prevencija i ponovno korišćenje proizvoda, i reciklaža pruža benefite kao što su drastično smanjenje količina otpada na deponijama i usporavanje iscrpljivanja prirodnih resursa. Naravno, ne treba zaboraviti na finansijske mogućnosti koje reciklaža pruža. Za uspešnu reciklažu, od izuzetnog značaja je selekcija reciklabilnih frakcija u otpadu, po mogućstvu već na mestu generisanja otpada (tzv.primarna selekcija). U centrima za separaciju otpada, vršiće se dodatno odvajanje, tzv. sekundarna selekcija, čime će se dobiti kvalitetna sirovina za proizvodnju novih proizvoda.

Iako ne spada u klasične reciklažne tehnologije, kao mogući tretman organskog otpada postoji i kompostiranje, pri čemu se kao izlaz iz tretmana pojavljuje kompost, materija slična humusu. Kompost poboljšava strukturu, teksturu zemljišta, a dodavanjem komposta zemljištu sprečava se erozija, poboljšava njegova plodnost i stimuliše razvoj zdravog korena biljke.

S obzirom na velike količine generisanog organskog otpada u Srbiji i relativno mala finansijska ulaganja u proces, ovaj tretman je vrlo perspektivan za naše uslove.



Proces kompostiranja

Otpad koji se ne može reciklirati, a poseduje zadovoljavajući energetski potencijal (toplotnu moć), može se koristiti kao emergent (u inostranoj literature ovaj tretman je poznat kao *recovery*). Pomenuti Zakon o upravljanju otpadom, ovu opciju tretiranja otpada definiše kao “termičke tretmane otpada u postrojenjima sa ili bez iskorišćenja energije proizvedene sagorevanjem, čija je primarna uloga termički tretman otpada”.

Ovim tretmanom otpada može se dobiti toplotna i električna energija, pri čemu se zapremina otpada smanjuje oko 95%. Termički tretmani su, za neke vrste otpada, kao što je opasan otpad, najoptimalnije rešenje jer se toksini uništavaju na visokim temperaturama sagorevanja. Treba istaći da se radi o kontrolisanom spaljivanju u postrojenjima za termički tretman, u kojima su postavljeni sistemi za prečišćavanje dimnih gasova.



Kontrolisano spaljivanje otpada u spalionicama

Kada se govori o korišćenju otpada za dobijanje energije, ne treba zaboraviti i anaerobnu digestiju, gde se od organskog otpada dobijaju korisne materije organsko đubrivo i biogas.

Otpad koji se nije mogao istretirati krozpomenute aktivnosti, treba odložiti na deponiju otpada. To je poslednja i najgora, ali i dalje najčešća opcija jer je najjeftinija³. Međutim i prilikom odlaganja otpada na deponije treba praviti razliku da li se radi o odlaganju na sanitarne (uređene) ili nesanitarne deponije.

Sanitarna deponija je isplaniran, izgrađen i opremljen prostor, na kome se otpad odlaže sa minimalnim posledicama na životnu sredinu. Na njima se prate štetni uticaji odloženog otpada na životnu sredinu.

³ Prosečna cena tretmana zbrinjavanja otpada odlaganjem na deponiju je oko 30 evra po toni otpada, dok je na primer cena zbrinjavanja otpada u spalionici 120 evra po toni.



(a)



(b)

Sanitarna (a) i nesanitarna (b) deponija

Nesanitarnе deponije su deponije opštinskih ili gradskih komunalnih preduzeća, koje su lokalne samouprave odredile za odlaganje otpada, ali koje nemaju sisteme i mehanizme za sprečavanje širenja zagađenja, kao što je to slučaj sa sanitarnim deponijama.

Najgora varijanta je odlaganje otpada na divlje deponije ili bacanje u rečne tokove, što se i danas vrlo često dešava u državama sa nerazvijenim sistemima za upravljanje otpadom i blagom kaznenom politikom.



Bacanje medicinskog otpada u reku (Peru)

Iako se u našem zakonodavstvu, kao tretman, ne spominje nasipavanje (eng. backfilling), to je takođe često korišćen tretman, naročito u EU.



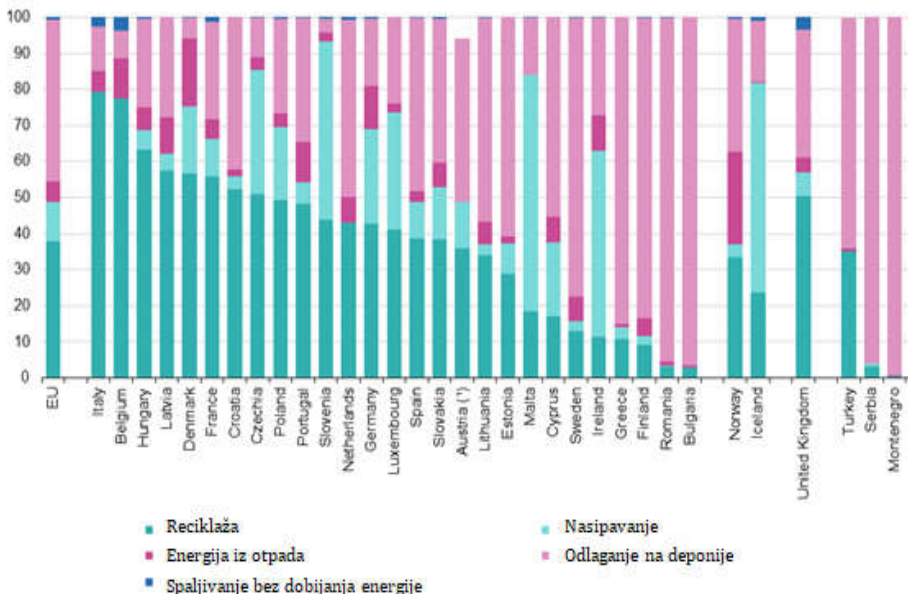
Nasipavanje kao opcija tretiranja otpada

Radi se o postupcima tretmana građe-vinskog otpada, koji se ponovo koristi za nasipavanje i popunu temelja i drugih prostora. Nasipavanje može da se svrsta u tretman ponovnog korišćenja ili reciklaže, u zavisnosti da li je bilo potrebno prethodno preduzeti neke reciklažne aktivnosti (npr. drobljenje otpada).

Tretman otpada u Evropskoj Uniji

Prema podacima Eurostata, u EU je, u 2018.godini, više od polovine otpada (54,6 %) tretirano kroz prihvatljive tretmane i to: u operacijama reciklaže 37,9 % ukupno obrađenog otpada, kroz zatrpavanje 10,7 % i za dobijanje energije kroz kontrolisano spaljivanje 6 %.Preostalih 45,4 % je tretirano na neefikasan način i to najviše kroz odlaganje na deponije (38,4 %), a mnogo manje kroz spaljivanje bez dobijanja energije (0,7 %) ili zbrinjavanje na neki drugi način (6,3 %).

Iako vlada mišljenje da se u EU malo otpada odlaže na deponije, zvaničnipodaci ukazuju da je za većinu država EU, ovaj tretman i dalje najlakši i najjeftiniji. Treba istaći da na visok procenat ovako tretiranog otpada u EU, najviše uticaja imaju Bugarska i Rumunija, koje su među poslednjima postale članice Unije. Ove zemlje i petnaest godina nakon pristupanja Uniji, više od 90% otpada odlažu na deponije. Ipak dok se Bugarska se i dalje bori sa istim problemima, sa neizvesnim krajnjim ishodom, Rumunija je danas po nekim aspektima upravljanja otpadom, primer čak i mnogo razvijenim evropskim zemljama, što pokazuje da kvalitetan pristup upravljanju otpadom, ne zavisi samo od finansijskih mogućnosti, već i spremnosti da se problemi reše.



Tretman ukupnog otpada u EU u 2018.godini

Iznenadujuće deluje podatak da se u grupi zemalja sa velikom količinom otpada koji se odlaže na deponije, nalaze i Švedska i Finska.

Sa druge strane, neke države su tradicionalno okrenute recikliranju. Tako na primer, vrlo visoke stope recikliranja (preko 70% ukupnih količina otpada) već godinama imaju Italija i Belgija.

Kada je reč o nekim drugim tretmanima, kontrolisano spaljivanje otpada, u cilju dobijanja energije, najviše je prisutno u Norveškoj, koja nije članica EU (preko 35% ukupnih količina otpada) i u Danskoj (oko 20%). Nasipavanje je najprisutnije u Irskoj i Malti, gde se preko 35% otpada ovako tretira.

Tretman otpada u Srbiji

Situacija u pogledu tretiranja otpada u našoj zemlji je nepromenjena poslednjih godina. Prema podacima Eurostata, aktivnosti se, uglavnom, svode na deponovanje otpada (preko 97%), vrlo mali deo se reciklira (ispod 3%), dok je zanemarljiv procenat otpada koji se spaljuje u cilju dobijanja energije (za sada se to obavlja samo u cementarama u Beočinu i Paraćinu, s obzirom da Srbija nema elektranu za pretvaranje otpada u energiju).⁴

Posebno veliki problem predstavlja elektrofilterski pepeo (tzv. leteći pepeo), koji nastaje kao nusproizvod u procesu dobijanja energije iz termoelektrana. Prema izveštaju „Upravljanje industrijskim otpadom” Državne revizorske institucije, termoelektrane su u Srbiji, tokom 2018. Godine, proizvele 7,5 miliona tona letećeg pepela, što je činilo čak 80 odsto ukupnog industrijskog otpada. Prema istom izvoru, na pepelištima termoelektrana Elektroprivrede Srbije nataloženo je 200 miliona tona pepelai to je trenutno najzastupljeniji neiskorišćeni otpadni materijal u našoj zemlji (zauzima 1400 hektara obradive zemlje). Inače, vrednost pepela, kao proizvodne sirovine, procenjena je na milijardu evra, a sa druge strane, Elektroprivreda Srbije za održavanje deponija i deponovanje pepela izdvaja 50 miliona evra godišnje.

⁴ U septembru 2017.godine, potpisan je ugovor o izgradnji spalionice na deponiji Vinča (Beograd), ali je projekat još daleko od realizacije.



Pepelište oko TE Nikola Tesla u Obrenovcu

Po sistemu klasifikacije otpada u Srbiji, leteći pepeo je, dugo, bio označen kao opasan otpad, što je otežavalo njegovu upotrebu. Uredbom naše vlade iz 2015.godine, ovaj pepeo je postao otpad sa upotrebom vrednošću i dozvoljena je njegova upotreba u građevinarstvu za objekte javne namene: puteve, nasipe, brane, ali ne i za izradu čitave palete proizvoda i građevinskih materijala⁵. U građevinarstvu bi se, upotrebom pepela, moglo uštedeti od 30 do 80 odsto materijala, kao što su pesak, kamen, šljunak i zemlja. Veća upotreba pepela bi smanjila korišćenje šljunka i peska, čija je neodgovorna eksploatacija često dovođila do erozija, devastacije okolnog zemljišta i spuštanja rečnih korita. U Holandiji i Češkoj, većina putnih deonica se gradi od letećeg pepela.

I pored toga, trenutno je upotreba pepela, u našoj zemlji, sporadična i neplanska, i uglavnom se odvija u oblasti proizvo-

⁵ Razlog je bojazan od radioktavnosti letećeg pepela.

dnje cementa. Elektrofilterski pepeo iz TE Kostolac koristi se kao sirovina za cementaru u Popovcu u obimu od 30.000 tona godišnje.

Prema procenama, u putogradnji bi se moglo godišnje da se iskoristi oko 10.000 tona elektro-filterskog pepela, a u hidrogradnji (za gradnju brana) 100 do 200 hiljada tona. Iako ove količine čine samo 2,7% godišnje generisanih količina pepela, ipak predstavljaju dobar početak za veće korišćenje u budućnosti.⁶

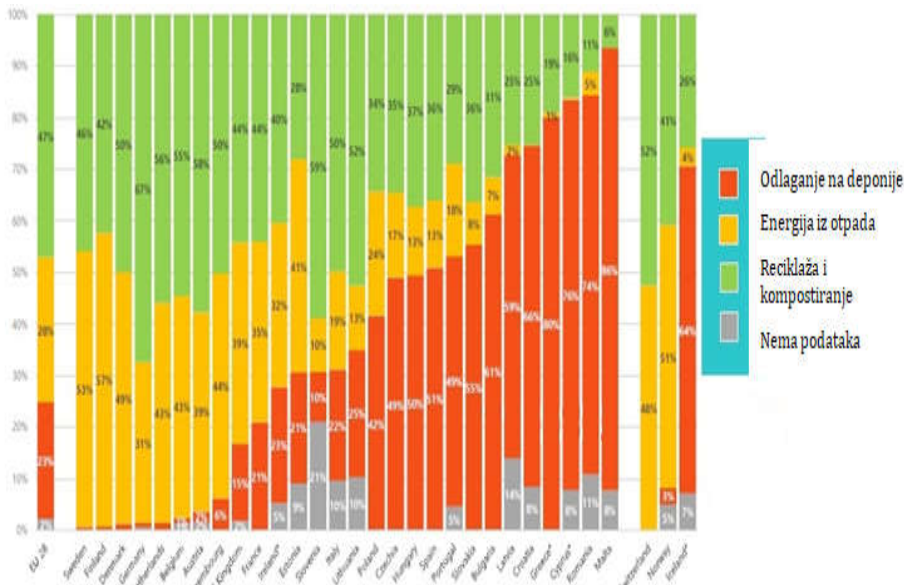
Tretman komunalnog otpada u Evropskoj Uniji

Najveći deo tretiranog komunalnog otpada u EU je recikliran i kompostiran (ukupno 47%, od čega reciklirano oko 30%). Kontrolisano je spaljeno, radi dobijanja energije 28% ukupnog komunalnog otpada. Oko četvrtine komunalnog otpada (23%) je odložena na deponije.

Interesantno je da Švedska i Finska koje preko 80% svog ukupnog otpada odlažu na deponije, samo 1% komunalnog otpada odlažu na deponije. Rekord je Malta sa 86% komunalnog otpada koji odlaže na deponije.

Iako, gledajući ukupne količine otpada, nisu veliki procenti njegovog termičkog tretmana, to nije slučaj i sa komunalnim otpadom. Gotovo sve ekonomski najrazvijenije zemlje Evrope, kontrolisano spaljuju komunalni otpad u spalionicama, u cilju dobijanja toplotne i električne energije. Lideri su Švedska i Finska koje preko 50% svog komunalnog otpada spaljuju, u cilju dobijanja energije.

⁶U 15 zemalja Evropske unije godišnje se utroši oko 18 miliona tona pepela i to za izgradnju puteva i proizvodnju betona i cementa



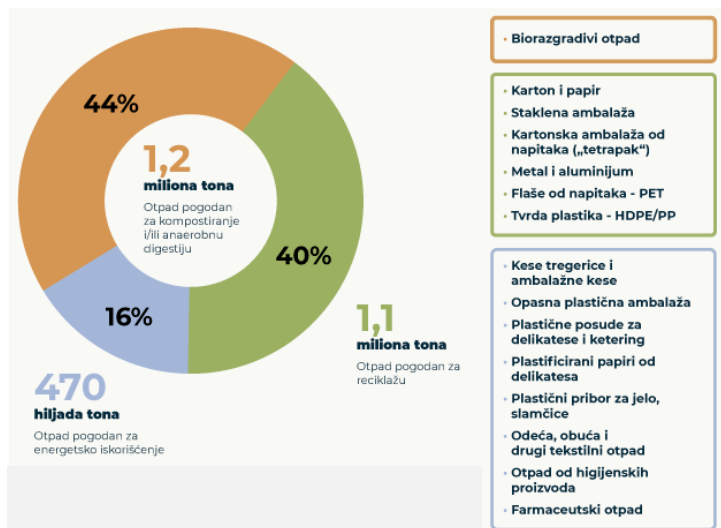
Tretman komunalnog otpada u Evropi 2018.godine

Tretman komunalnog otpada u Srbiji

Prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine, Srbija je tretirala nešto preko 80% svog komunalnog otpada (2,34 miliona tona od 2,9 miliona). Ovo znači da oko 20% ili skoro 600 hiljada tonakomunalnog otpada, uopšte nije ušlo u sistem tretiranja, čak ni kroz odvoženje na zvanične deponije⁷. Iako su tokovi tog dela komunalnog otpada nepoznati, najverovatnije je završio na divljim deponijama (kojih u Srbiji ima blizu 3.500) ili u rečnim vodotokovima.

⁷Oko 13 odsto teritorije Srbije, najvećim delom ruralni predeli, nije pokriveno komunalnom uslugom sakupljanja otpada, pa on završava na divljim deponijama.

Analizirajući morfološki sastav komunalnog otpada u našoj zemlji⁸, uočava se da bi 44% ovog otpada, koji je biorazgradiv, moglo da se iskoristi za kompostiranje i anaerobnu digestiju. Čak 40% komunalnog otpada moguće je reciklirati, a 16% pogodno je za proizvodnu energije. Teoretski, ostale bi vrlo male količine komunalnog otpada, koji bi završilo na deponiji.



Morfološki sastav komunalnog otpada u Srbiji, 2022.g.

U stvarnosti, međutim, situacija je potpuno drugačija. Veliki problem predstavlja činjenica da se većina komunalnog otpada odvozi na deponije, a vrlo mali deo ulazi u reciklažne tokove. Srednjoročni ciljevi EU, kojima bi i Srbija trebalo da teži, su da se do 2035. godine reciklira 65% komunalnog otpada, a manje od 10% komunalnog otpada odlaže na deponije.

Čini se da će ovo biti vrlo težak zadatak, s obzirom da je naša

⁸Istraživanje je sprovedeno februara 2022.godine, od strane Green Loop-a, Geografskog fakulteta Univerziteta u Beogradu i JKP Higijena Pančevo.

zemlja 2020.godine, reciklirala tek 15,7% svog komunalnog otpada, a da napredak u količinama recikliranog otpada ide veoma sporo (ovaj procenat je gotovo isti poslednje tri godine).

Važno je naglasiti da je podatke o količini recikliranog komunalnog otpada, dala Agencija za zaštitu životne sredine, prema Metodologiji za proračun ukupne količine komunalnog otpada i stepena reciklaže. Ova metodologija jeste usklađena sa Direktivom 2008/98/EZ o upravljanju otpadom, ali je čini da su dobijeni procenti previše optimistični i ne odgovaraju realnom stanju.

Iako daleko od praktične primene u našoj zemlji, možda treba razmišljati i o opciji kontrolisanog spaljivanja otpada u cilju dobijanja energije. Od 2,9 miliona tona generisanog komunalnog otpada godišnje, oko 470.000 tona ne može biti upotrebljeno na drugi način osim za dobijanje energije (oko 50 odsto tog otpada čini plastika). Naime, značajna količina onoga što je u teoriji reciklabilno je izuzetno teško ili skupo izdvojiti za reciklažu, pa je za takav otpad kontrolisano spaljivanje možda i jedino rešenje. Ovaj tretman je, među stanovništvom Srbije, najmanje popularan i većina građana ga stavlja kao poslednju mogućnost, čak goru i od deponovanja⁹. Čini se da potpuno pogrešna argumentaciju javnog mnjenja o štetnosti spaljivanja otpada i velikom zagađenju, pre svega vazduha, dolazi pre svega zbog njihovog neshvatanja da se radi o kontrolisanom spaljivanju u specijalnim postrojenjima za ovakav tretman. Realna argumentacija protiv ovakvog tretiranja je visoka cena izgradnje i rada spalionica, naročito kada sa druge strane imate

⁹Veliki otpor i nepoverenje među stanovništvom ima izgradnja buduće spalionice Vinča u Beogradu, između ostalog i zbog nedostataka pravih informacija o ekonomskom, ekološkom i energetskom uticaju ovog postrojenja za grad Beograd i njegove građane.

izuzetno nisku cenu deponovanja tog istog otpada.

Takođe, postoji realna opasnost da spaljivanje otpada potisne reciklažu i onemogućiti postavljene ciljeve u pogledu količina recikliranog otpada.

Trenutna situacija sa tretiranjem komunalnog otpada u Srbiji jedodatto loša zato što se ovaj otpad u manjoj meri odlaze na sanitarne deponije, kojih u Srbiji ima samo 11, a mnogo višena nesanitarne iliopštinskedeponije (čak 138). Zvanični podaci govore da se od pomenutih 2,9 miliona tona, na sanitarnim deponijama 2020.godine završilo samo 558.568 tona. Iako je Strategija upravljanja otpadom RS, koja je važila do 2019. godine, predviđala, da pre njenog isteka,Srbija dobije ukupno 29 regionalnih sanitarnih, broj je i nekoliko godina kasnije gotovo tri puta manji.

Na kraju, ali možda i najznačajniji problem sa upravljanjem otpadom, u našoj zemlji, je nedostatakinteresovanja građana za postupke reciklaže, u prvom redu zaprimarnu selekciju otpada. Neophodno je podstaknuti i promovisati različite opcije za uspostavljanje sistema razvijanja javne svesti o upravljanju otpadom.Postojanje politike za razvijanje ove svesti omogućava strateško planiranje i stalne konsultacijesa svim zainteresovanim stranama u lokalnoj zajednici.

Ovakav sistem donosi dodatnu korist pri rešavanju problema upravljanja otpadom kroz izgradnju novih, kvalitetnijih odnosa između lokalne samouprave i njenih strateških partnera na lokalnu, kao i kroz uvođenje javno - privatnih partnerstava za pružanje različitih vrsta usluga. Ona omogućava stalne kanale komunikacije sa građanstvom i pokušava da princip hijerahije upravljanja otpadom postavi kao redovan model ponašanja svih aktera u upravljanju otpadom.



POGLAVLJE 3: RECIKLAŽA

Prema Zakonu o upravljanju otpadom Republike Srbije “reciklaža je prerada otpadnih materijala u proizvode, materijale i supstance za prvobitnu ili drugu namenu, ali isključuje korišćenje otpada u energetske svrhe”.

Primenom odgovarajućih reciklažnih tehnologija, otpad se može transformisati u sirovine za dalju preradu ili direktno postaje ulazna sirovina za proizvodnju novih proizvoda.

Treba znati da ma koliko proces recikliranja bio uspešan, i nakon njega će deo ostati otpad koji se mora negde deponovati.

Lider po procentu recikliranog otpada u Evropi je Italija sa 79% otpada koji je ovako tertiran. Kada je u pitanju komunalni otpad, njega najviše reciklira Nemačka ito 67%¹⁰.

Istorijski razvoj reciklaže

Recikliranje je bila uobičajena praksa tokom većeg dela ljudske istorije, a prvi zabeleženi slučajevi recikliranja sežu još iz četvrtog veka pre nove ere.

U predindustrijsko doba, staro gvožđe i drugi metali sakupljani u Evropi i topljeni radi ponovne upotrebe. Recikliranje papira

¹⁰Eurostatovi podaci o procentima recikliranog komunalnog otpada, podrazumevaju količine koje su reciklirane i kompostirane.

prvi put je zabeleženo 1031. godine kada su japanske radnje prodavale repulpirani papir. U Britaniji su prašinu i pepeo sakupljali i reciklirali kao osnovni materijal za izradu cigle. Glavni pokretač reciklaže bila je ekonomska prednost korišćenja reciklirane, umesto nabavke novih sirovina, kao i uklanjanje javnog otpada, u sve gušće naseljenim područjima.

Porodica Ritenhouse, 1690. godine osniva prvu fabriku za reciklažu papira u okolini Filadelfije. Godine 1813. u Engleskoj je postojao proces reciklaže krpa i otpadne vune, a tako nastali material se kombinovao sa novom vunom. Industrijalizacija je podstakla potražnju za pristupačnim materijalima, pre svega za metalima jer ih je bilo jeftinije nabaviti od novoiskopane rude.

Železnice su u 19. veku otkupljivale i prodavale metalni otpad, a rastuća industrija čelika i automobila otkupljivala je otpad početkom 20. veka. Boce od pića su reciklirane uz povraćaj depozita kod nekih proizvođača pića u Velikoj Britaniji i Irskoj, oko 1800. godine. Zvanični sistem recikliranja sa povraćajnim depozitima za boce, uspostavljen je u Švedskoj 1884¹¹.

Benefiti reciklaže

Dobici usled kvalitetno obavljene reciklaže su ogromni i to u ekonomskom, ekološkom i energetsom pogledu.

Reciklažom se:

¹¹18. marta, obeležava se Svetski dan reciklaže, ustanovljen 2015. godine na Svetskoj konvenciji recikliranja, održanoj u Dubaiju. Prvi put je je obeležen 2018. godine, na sedamdesetu godišnjicu od osnivanja Bureau of International Recycling (BIR).

- štede energetske resurse
- smanjuju troškove deponovanja
- smanjuje zapreminsko opterećenje deponija i produžava njihov životni vek
- smanjuju zagađenja nastala pri eksploataciji i proizvodnji osnovne sirovine
- ostvaruju dobre ekonomske rezultate, plasmanom reciklabilnih materijala na tržište
- smanjuje zagađenje okoline korišćenjem recikla-bilnih materijala umesto osnovne sirovine
- poboljšava kulturu i estetske uslove življenja
- omogućava otvaranje novih radnih mesta

Reciklažna industrija daje prostor za zapošljenje velikog broja ljudi. Procene govore da bi samo u Evropi, oko 200.000 ljudi moglo da nađe posao u reciklažnoj industriji.

Uštede ostvarene zamenom primarnih sirovina sekundarnim od otpada (%)

	papir	staklo	čelik	aluminijum
energija	23—74	4—31	47—74	90—97
zagađenje vazduha	74	20	85	95
zagađenje vode	35	—	76	97
potrošnja vode	58	50	40	—

Znak za reciklažu – Mobiusova petlja

Simbol za recikliranje, tzv. Mobiusova petlja, sastoji se od tri strelice koje označavaju tri važne faze recikliranja:

- Sakupljanje i sortiranje različitih vrsta reciklabilnih materijala

- Prerada odvojeno sakupljenih materijala i izrada novih proizvoda
- Kupovina i korišćenje ovih proizvoda



Mobiusova petlja

Podela reciklažnih tehnologija

Podela primenjenih tehnologija na frakcijama iz otpada, najčešće se vrši prema vrsti procesa, koji se koristi pri postupku reciklaže. Vrlo često pojedine frakcije otpada, pri reciklaži, zahtevaju kombinaciju nekoliko različitih postupaka, na primer, hemijskog i mehaničkog postupka. Prema ovoj podeli, sve tehnologije možemo svrstati u tri grupe:

- mehaničke
- biološke
- hemijske

Mehaničke reciklažne tehnologije

Ove tehnologije podrazumevaju upotrebu mehaničke energije (sile) za reciklažu različitog otpada.

Najčešće primenivane mehaničke reciklažne tehnologije

(proces) su:

- separacija
- sečenje, drobljenje i mlevenje
- sabijanje



Separacija je odvajanje ili selekcija otpada prema veličini, vrsti materijala, boji itd. Ovo je obavezna ulazna aktivnost pri reciklaži bilo kog otpada.



Sečenje, mlevenje i drobljenje su aktivnosti smanjenja dimenzija otpada, radi efikasnijeg transporta, skladištenja i iskorišćenja.



Sabijanje je smanjenje zapremine delova otpada međuproizvoda ili proizvoda radi efikasnijeg transporta, skladištenja i iskorišćenja.

Mehaničke reciklažne tehnologije

Hemijske reciklažne tehnologije

Primenjuju se za neutralizaciju štetnih materija u otpadu, koji se dalje prerađuje uobičajenim načinima, kao i za preradu otpada u sekundarnu sirovinu.

Dele se na:

- procese reciklaže neorganskog otpada
- procese reciklaže organskog otpada

Hemijski procesi reciklaže neorganskog otpada

Ovde spadaju:

- Hidrometalurgija
- Pirometalurgija
- Odcinkovanje
- Topljenje

Hidrometalurgija je pretvaranje metala iz čvrstog otpada u rastvor. Korisna materija iz rastvora dobija se koagulacijom ili kristalizacijom.

Pirometalurgija je dobijanje metala iz ruda na višim temperaturama. Ovaj postupak se može primeniti kod prerade muljeva.

Odcinkovanje je dobijanje cinka elektrolizom iz otpada (pocinkovani pleh za konzerve).

Topljenje je prerada metalnog otpada sa visokim sadržajem raznih neželjeznih metala, zahvaljujući razlici u temperaturama topljenja pojedinih metala.

Hemijski procesi reciklaže neorganskog otpada

Ovde spadaju:

- Piroliza
- Hidroliza
- Kontrolisano spaljivanje (inseneracija)

Piroliza je kontrolisano razlaganje organskog otpada na visokim temperaturama, bez prisustva kiseonika za dobijanje sekundarnih sirovina-ugljenika, katrana, smole, lakih ulja, organskih rastvarača i sl. Hidroliza je reakcija vode sa rastvorivom materijom. Koristi se za razgradnju celuloznih sastojaka otpada, ali i kod degradacije plastike i sl. Spaljivanje je iskorišćenje energetskog potencijala otpada. To je klasičan termički tretman otpada.

Biološke reciklažne tehnologije

Primeri ovih tehnologija su:

- Kompostiranje
- Anaerobna digestija
- Mikrobiološko luženje

Kompostiranje je proces truljenja organske materije, pod kontrolisanim uslovima, uz prisustvo kiseonika. Glavni proizvod kompostiranja je humus.

Anaerobna digestija je proces razlaganja biorazgradivog otpada, u kontrolisanim uslovima, bez prisustva kiseonika.

Mikrobiološko luženje je iskorišćenje otpada dejstvom mikrobioloških procesa. Primer ovog procesa je luženje metala mikroorganizmima u vodenom rastvoru otpada i mulja.



POGLAVLJE 4: SEPARACIJA OTPADA

To je proces razdvajanja jednog toka otpada na dva ili više tokova, u skladu sa jednom ili više karakteristika otpada. Jednostavnije rečeno, to je odvajanje otpada prema tipu.

Procesi separacije zasnivaju se na različitim osobinama komponenti otpada:

- dimenzijama delova,
- gustini,
- magnetnim osobinama,
- električnoj provodljivosti,
- rastvorljivosti,
- drugim fizičko-hemijskim osobinama.

Vrste separacija

- Ručna (manuelna)
- Gravitaciona (hidro ili pneumatska)
- Magnetna
- Elektrostatička
- Optička
- Flotacija
- itd.

Ručna separacija



Uprkos svim razvijenim tehnologijama, ručno sortiranje i dalje predstavlja jedan od najpouzdanijih metoda za izdvajanje sekundarnih sirovina iz mešovitog toka otpada.

Za ručno sortiranje potrebni su radnici, koji su u bliskom kontaktu sa otpadom pa su izloženi uticaju hemikalija, patogenih organizama i toksinima, kao i mehaničkim povredama oštrim predmetima. U ručnoj separaciji, postoje dva načina odvajanja:

- da se željene frakcije odvajaju u odgovarajuće kante, a ostatak na traci predstavlja neželjeni otpad.
- da se neželjeni otpad odvaja, a željena frakcija (ili frakcije) ostaje na traci.

Ručna separacija

Optimalna kombinacija je da se pre ručnog sortiranja, obavi mehaničko presortiranje na nekom uređaju, pri čemu se omogućava veća brzina radnika na traci i time povećava efikasnost čitavog procesa.

Gravitaciona separacija

Zasniva se na razvrstavanju čestica različite gustine (u tečnoj ili gasovitoj sredini) ili različite granulacije. Najprostija gravitaciona separacija je prema veličini čestica, odnosno njihovoj granulaciji.



Gravitaciona separacija prema veličini delova

Složeniji je pristup separacije prema gustini. Kod razdvajanja u tečnostima (suspenzijama) velike gustine, materija manje gustine od gustine suspenzije, ispliva na površinu, dok materija veće gustine od gustine suspenzije, tone ka dnu. Zato se ovi postupci zovu često i “pliva – tone” postupci. Da bi separacija u tečnoj sredini po principu različite gustine bila efikasna neophodno je da se gustine materijala koje želimo da razdvojimo veoma razlikuju. Upravljanje ovim procesom je jako teško, jer moraju da se dodaju hemikalije u fluid zbog regulacije gustine ili se koriste određene teške tečnosti (kao što su bromoform, tetrabrometan i metilen jodid). Teške tečnosti su veoma toksične, zahtevaju stroge uslove zaštite na radu, a dobijeni prečišćeni otpad je kontaminiran tim tečnostima i treba se

dodatno očistiti.

Vrste gravitacionih separatora

- Sita
- Balistički separatori sa transportnom rešetkom
- Balistički separatori sa vazdušnom strujom
- Hidrocikloni
- Itd.

U narednom delu će se objasniti neki od gravitacionih separatora.

Sita

Odvajaju materijale različitih veličina na osnovu specifične granulacije čestica (karakteristična za svaku od frakcija u otpadu). Rade po principu odbijanja materijala dok ne pronađe otvor sita i padne kroz njega.

Sejanje se obavlja izdvajanjem čestica na osnovu veličine otvora na situ, pri čemu čestice manje od otvora prolaze kroz sito i postaju fina frakcija.

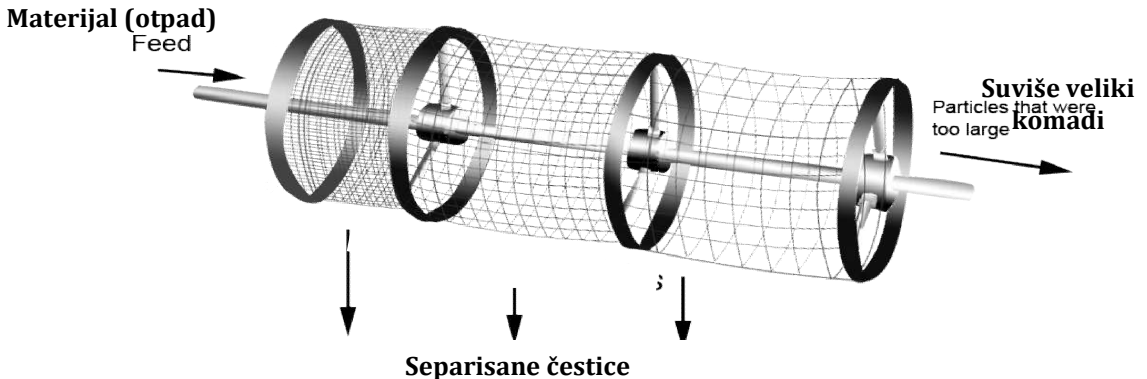


Sita

Često se dešava da se neki procenat sitne frakcije zadrži u krupnoj i to najčešće zbog zaglavljivanja čestica istih dimenzija kao i otvori na situ.

Posebno veliki problem je pri sejanju vlažnog i lepljivog otpada jer se smanjuje otvor iz sita (začepljenje otvora).

Jedna od karakterističnih konstrukcija sita je Tromel sito. U pitanju je rotacioni uređaj za prosejavanje koji se sastoji od perforiranog cilindričnog bubnja koji je podignut na mestu punjenja (hranjenja) uređaja otpadom.



Tromel sito

Razdvajanje različitih frakcija po veličini, postiže se kada se mešani otpad spusti na rotirajući bubanj, pri čemu materijal manji od otvora prolazi kroz otvore na bubnju, a veći materijal izlazi na drugom kraju bubnja. Osim gravitacione sile, odlučujuću ulogu ima i centrifugalna sila.

Balistički separator sa transportnom rešetkom

Koristi se za efikasno izdvajanje izmešanog komunalnog otpada, pri čemu se kao izlaz dobijaju visoko reciklabilni materijali kao što je papir i plastika.



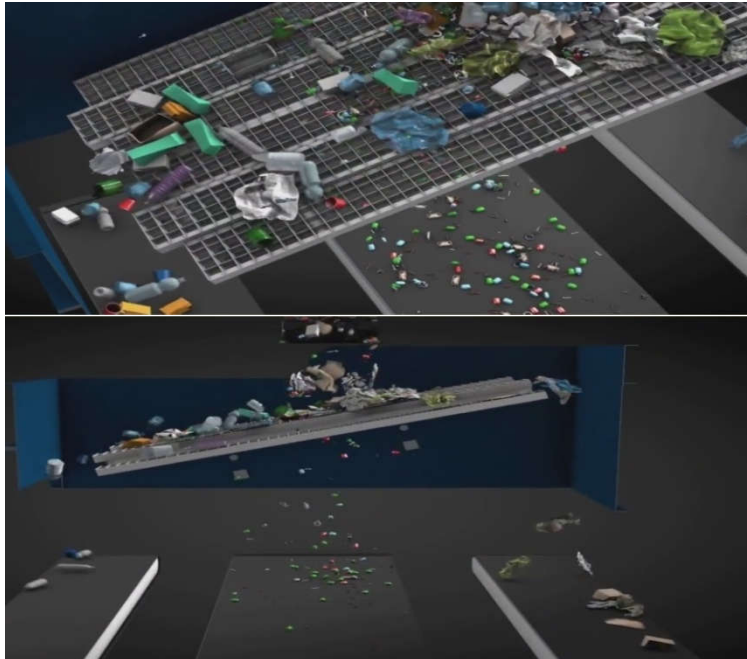
Balistički separator sa transportnom rešetkom

Koristi nekoliko karakteristika čestica: veličinu, gustinu i krutost. Vršiti separaciju otpada u tri frakcije: tešku, laku i

finu.

Transportna rešetka je nagnuta i sastoji se iz segmenata koji vibrijuju i kreću se kašnjenjem jedan u odnosu na drugi.

Delovi otpada koji zbog oblika - obli delovi (boce, tegle) ili velike mase (stakleni i metalni delovi) podležu uticaju gravitacije, kotrljaju se niz traku i padaju sa nje. Delovi pločastog oblika (papir, karton) i delovi male težine (plastične folije i vreće) ostaju na transportnoj traci i padaju sa gornjeg dela. Sitni delovi (hrana, prašina), propadaju kroz zatore između pokretnih delova trake.

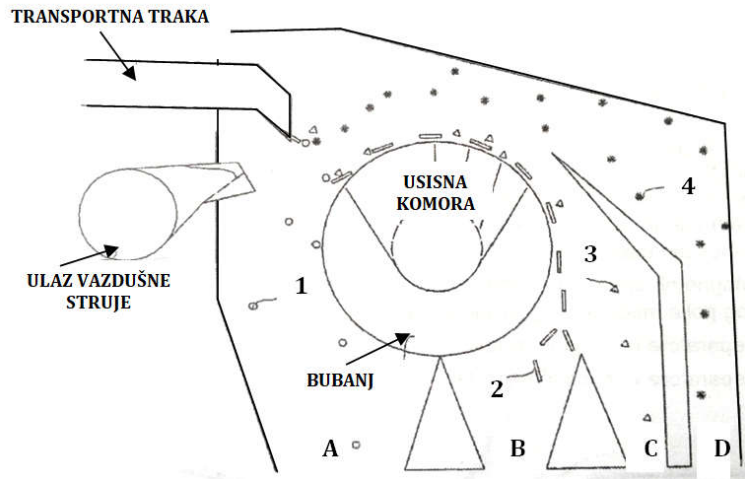


Prikaz principa rada balističkog separatora

Balistički separator sa vazdušnom strujom

Transportna traka uvodi delove više vrsta materijala, koji se razlikuju po obliku i težini, u separacionu komoru. Vazдушna struja se uvodi u separacionu komoru kroz otvor ispod mestagde delovi otpada padaju sa transportne trake.

Princip je da materijali manje težine (papir plastika, suve i lake materije) budu u gornjoj struji vazduha, a materijali veće težine (vlažni materijali, metali, kamenje i sl.) padaju na dno, zbog nemogućnosti da budu nošeni strujom vazduha.

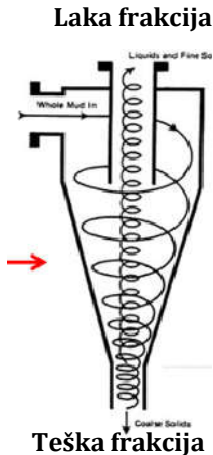


Šematski prikaz rada balističkog separatora sa vazdušnom strujom

Delići veće mase (1), ne podležu uticaju vazdušne struje i padaju u prvu sakupljačku zonu A (npr. delići stakla, metala i plastike velike gustine). Delići srednje težine i pločastog oblika,

kao što su usitnjeni plastični delovi (2), pod velikim su uticajem usisne komore i zbog toga prijanjaju za cilindrično kućište usisne komore. Izvan perforiranog dela, usisavanje ne postoji, te delovi (2) padaju u drugu sakupljačku zonu B iznad zadnjeg dela bubnja. Delovi srednje težine, ali ne i pločastog oblika (3), manje podležu uticaju usisne komore i pristižu u treću sakupljačku zonu C. Lakši delovi (4) transportuju se iza bubnja gornjom vazдушnom strujom i talože u četvrtoj sakupljačkoj zoni D u zadnjem delu separacione komore (npr. delovi tekstila sa sedišta automobila). Sakupljačke zone A, B, C i D su odvojene pregradama. Pregrada koja odvaja C i D zonu je produžena u gornjem delu, tako da je njen gornji deo viši nego osa rotacije bubnja, a nagnuta je ka bubnju u cilju efikasnijeg odvajanja lakših delova (4) i delova srednje mase (3).

Hidrocikloni



Za razliku od prethodnih separatora koji su spadali u grupu pneumatskih separatora, hidrocikloni spadaju u hidraulične separatore. Najviše se koriste se za separaciju različitih tipova plastike iz granularne smeše uz pomoć centrifugalne sile koja se stvara pomoću ciklona.

Ciklon stvara spiralni unutrašnji vrtlog naviše koji nosi laku frakciju, dok spoljašnji vrtlog spirale nosi tešku frakciju naniže.

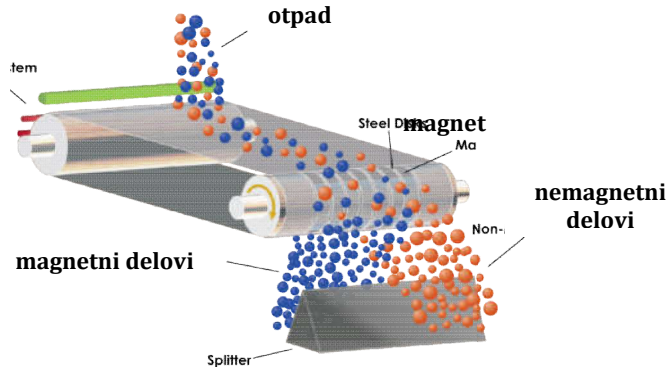
Hidrociklon

Magnetna separacija

Delovanjem sila magnetnog polja komadi magnetičnih metala, kreću se prema jednom od polova magnetna, dok ostali komadi otpada napuštaju magnetno polje.

Magnetni separatori rade u suvoj ili vlažnoj sredini i koriste se za izdvajanje magnetičkih metala iz izmešanog otpada (papir, plastika, drvni otpad, šljaka, pepeo itd.).

U magnetnom polju komadi privučeni magnetnim polovima, nazivaju se paramagnetičnim, a odbijeni diamagnetični. Vrlo jaki paramagnetični metalni komadi zovu se feromagnetni.

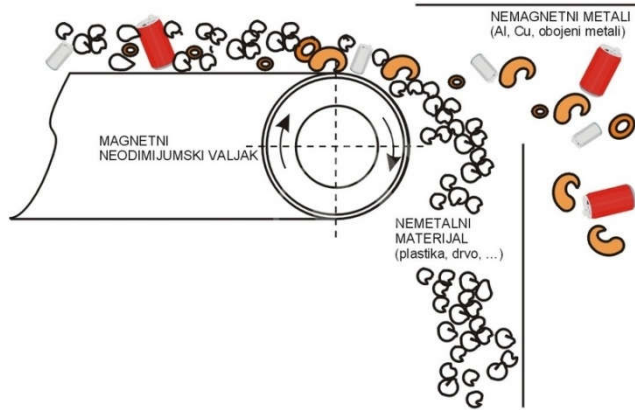


Magnetni separator

Magnetni separator nemagnetnog metala (Eddy current separator) je zastupnik nove generacije magnetnih separatora i omogućava odvajanje nemagnetičnih metala od magnetičnih metala i ostalih nemetalnih čestica.

Separator se sastoji od transportera na čijem kraju je smešten magnetični indukcijski cilindar. Ovaj cilindar je opremljen

veoma jakim neodimijskim (NdFeB) magnetima.



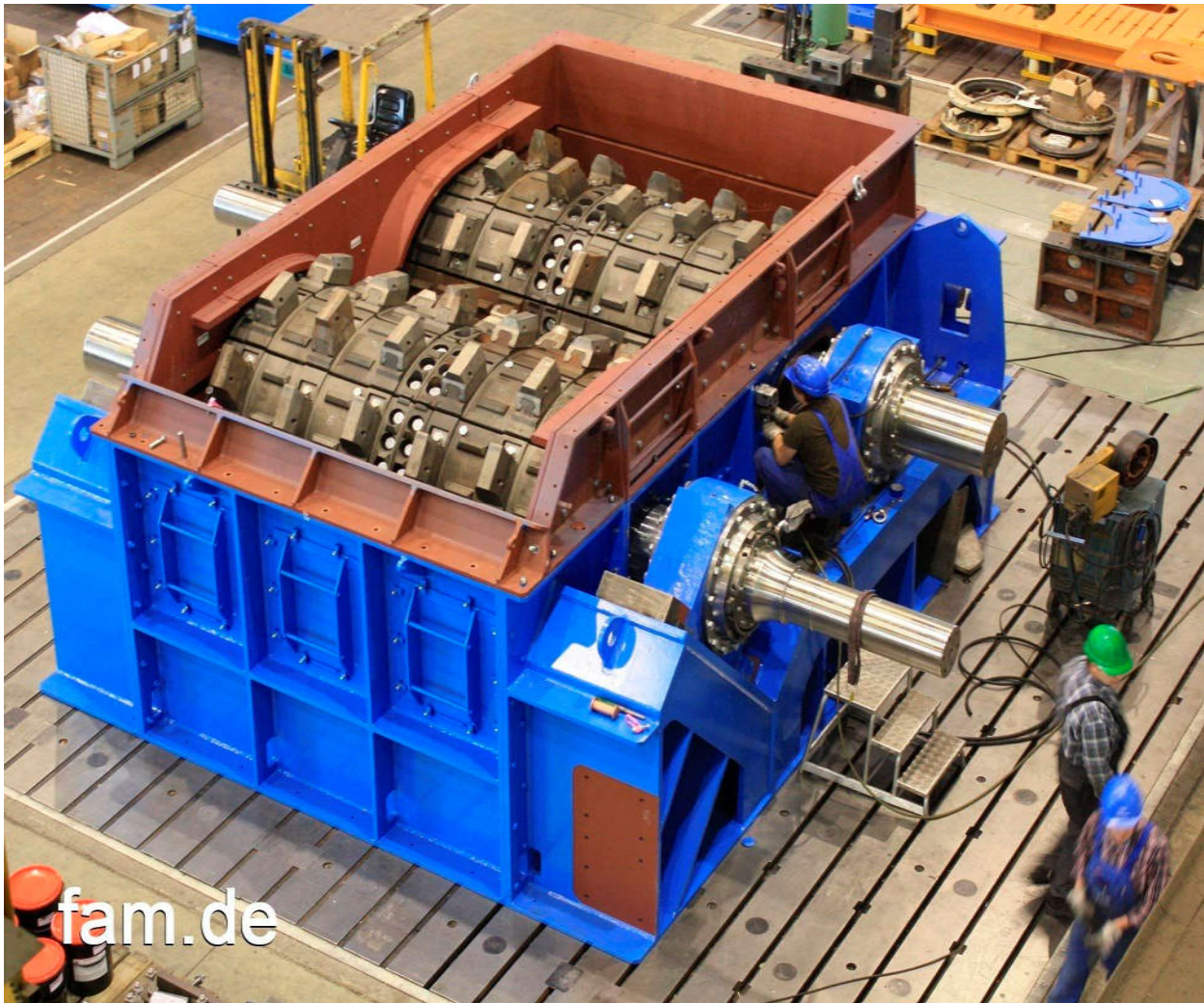
Eddy current separator

Kod okretanja magnetičnog cilindra nastaju vrtložne struje, koje nemagnetične metale „odbacuju“ od magnetičnog cilindra. Nemetalni materijal iz transportera normalno otpada. Magnetični metali su izvlačeni iza ose magnetičnog cilindra, gde dolazi do njihovog oslobodjenja.

Optička separacija

Princip rada se zasniva na tome da svaki tip materijala, kada se izloži zračenju talasnih dužina blizu infracrvenog zračenja, apsorbira ili reflektira zračenje specifičnih talasnih dužina. Kako svaki materijal emituje jedinstveni spektar, na temelju detekcije emitovanog zračenja moguće je snimiti spektar, te prepoznati ciljane materijale.

Optički separatori se koriste za razvrstavanje različitih materijala kao što su plastika, papir, staklo i sl.



POGLAVLJE 4: DROBLJENJE I MLEVENJE OTPADA

Procesi usitnjavanja materijala važan su deo tehnološkog postupka, najviše u rudarstvu, ali takođe u industriji ceme-nta, građevinarstvu, keramičkoj, farmaceutskoj, hemijskoj industriji i reciklažnoj industriji.

Koriste se za smanjenje veličine i promenu oblika delova materijala (otpada).

Granicu između drobljenja i mlevenja određuje veličina delića posle usitnjenja. Kao praktična granica može se uzeti veličina od nekoliko milimetara, obično 5 mm.

Jedna od glavnih tehničkih osobina drobilica i mlinova je stepen drobljenja ili mlevenja:

$$s = z_1 / z_2$$

gde je:

s-stepen drobljenja

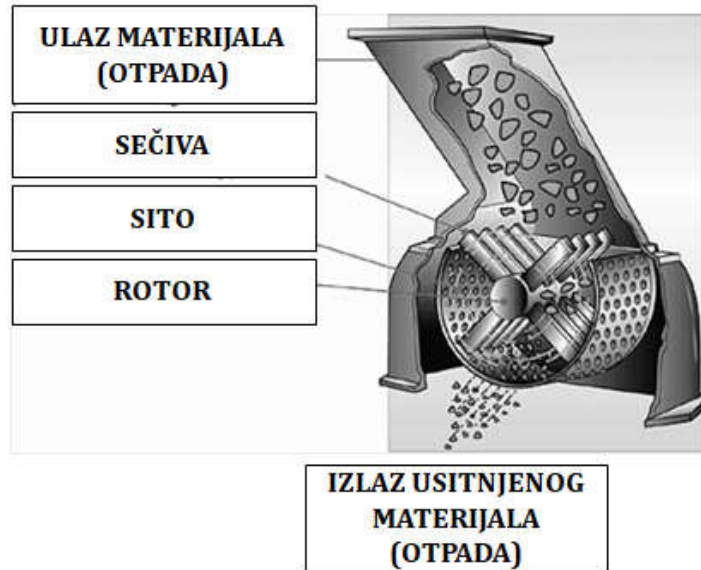
z_1 -maksimalna veličina zrna pre drobljenja

z_2 -maksimalna veličina zrna posle drobljenja

Generalni princip rada drobilica i mlinova

Droбилice i mlinovi rade na osnovu uticaja spoljašnjih sila čije dejstvo vodi usitnjavanju materijala pritiskom, sečenjem, udarima, savijanjem, uvrtnjem, trenjem ili njihovom kombi-

nacijom.



Princip rada drobilica i mlinova

Droбилice

Postoje dva tipa drobljenja:

- Drobljenje pritiskom (dominantna kompresiona, tj. sila pritiska), proizvode se delovi različitih veličina.
- Drobljenje udarom (dominantna udarna sila) dobija sematerijal jednake veličine i oblika.

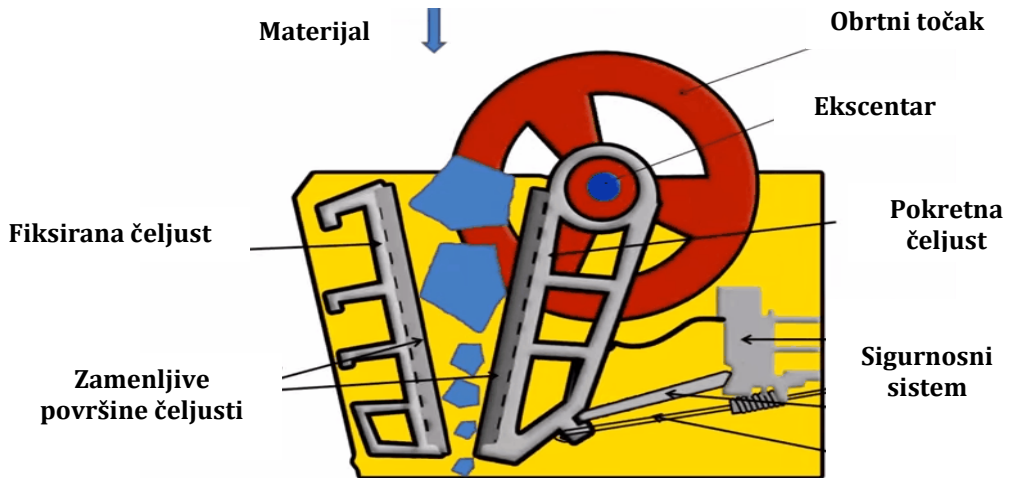
Najčešći tipovi kompresionih (pritisnih) drobilica su: čeljusne, konusne i valjkaste, a udarnih: refleksiona, sa čekićima irasipna

drobilica.

Čeljusne drobilice

Služe za grubo drobljenje uglavnom kamenih materijala (otpad iz kamenoloma i rudnika), bez obzira na njihova fizičko-mehanička svojstva, zatim čvrstog i elastičnog otpada.

Drobe otpad u prostoru između pokretne i fiksirane čeljusti. Drobljenje se obavlja približavanjem pokretne čeljusti nepokretnoj, a pražnjenje njenim udaljavanjem od iste.



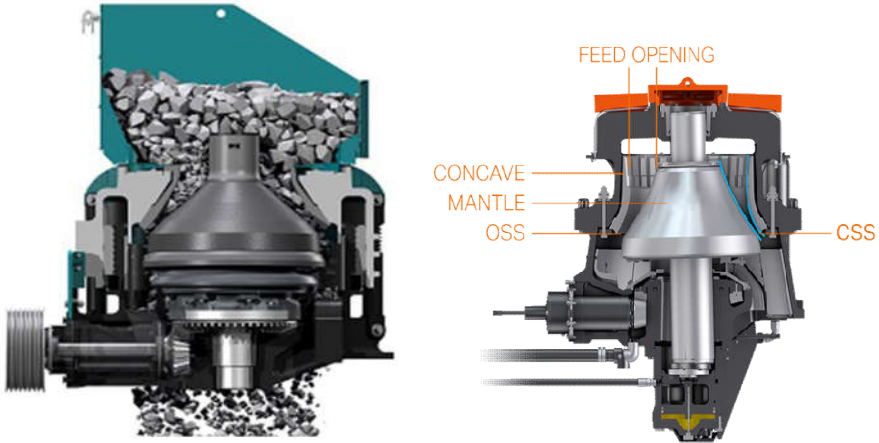
Čeljusna drobilica

Čeljusne drobilice imaju puni (radni) hod kad se pokretna čeljust približava nepokretnoj i dolazi do drobljenja materijala, i prazan hod kada se pokretna čeljust odvoja, a materijal prazni, odnosno ispada pod dejstvom gravitacije. U slučaju prevelikog ili suviše tvrdog komada, reaguje sigurnosni sistem i zaustavlja mašinu, kako ne bi došlo do loma čeljusti.

Konusne (rotirajuće) drobilice

Drobe otpad u prostoru između rotirajućeg konusa i fiksi-ranog spoljašnjeg omotača.

Otpad ulazi sa gornje strane, pri čemu se delovi lome više puta, jednom na početku, a zatim pošto postaju manji, padaju na niže pozicije, gde se lome na još manje delove.



Konusna drobilica-princip rada

Veliki procenat proizvoda redukuje se na veličinu manju od otvora konusa već prilikom prvog udara. Taj deo se odmah ispušta u izlazni kanal.

Pojedinačna neredukovana zrna proizvoda se centrifugalno izbacuju na zid komore uz koji se zatim spiralno penju. Delovanje rotora na zidove komore stvara veliku smicajnu silu, koja deluje na proizvod.

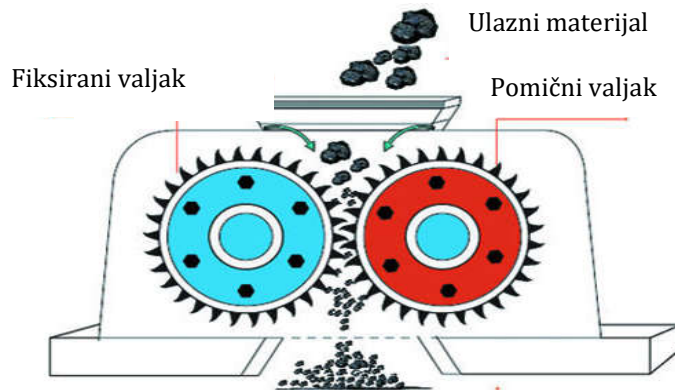
Izlazni kanal je konstruisan tako da obezbedi maksimalni slobodni prostor za materijal koji izlazi i tako spreči moguće nagomilavanje.

Konus se ekscentrično pomera, stvarajući različit prostor između samog konusa i omotača (OSS-najveći prostor, CSS-najmanji prostor). Proces se nastavlja sve dok delovi nisu dovoljno usitnjeni da propadnu kroz otvor na dnu drobilice.

Valjkaste drobilice

Ove drobilice su pogodne za trošne, vlažne i lepljive materijale za koje čeljusne i rotirajuće drobilice nisu odgovarajuće. Sa druge strane, ove drobilice imaju mali protok materijala.

Mogu imati jedan ili dva valjka. Kod jednovaljkaste drobilice postoji jedan nazubljeni valjak i naspram njega ploča, dok kod dvovaljkastih postoje dva valjka koji mogu biti glatki ili nazubljeni. Kada su valjci glatki onda je dominantna sila pritiska.



Valjkasta drobilica-princip rada

Pomičnim valjkom se reguliše zazor između valjaka, odnosno veličina izlaznog materijala, na dnu dobilice. Materijal pada između dva valjka (koji se okreću u suprotnim smerovima), kroz otvor za dovod i usitnjavaju se dejstvom valjaka, a zatim prirodno padaju.

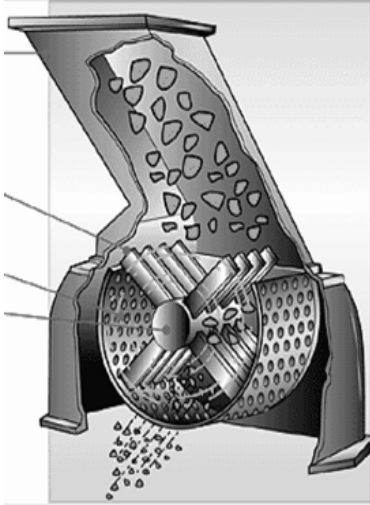
U slučaju pretvrdog ili nezgnječenog materijala, pomični valjak se može automatski povući delovanjem hidrauličnog cilindra ili opruge, kako bi se povećao razmak između valjaka i ispustio tvrdi ili nerazmrvljeni material. Na ovaj način se drobilica štiti od oštećenja.



Valjkasta drobilica-sa nazubljenim i glatkim valjcima

Zubi ovih drobilica su izrađeni od visoko kvalitetnog materijala, otpornog na habanje, pri čemu je često svaki zub vezan posebno za doboš, što omogućava da se u slučaju oštećenja pojedinog zuba, on relativno lako i brzo zameni.

Udarne drobilice



Imaju komoru za drobljenje, obloženu odbijajućim površinama. U ovoj komori je rotor sa metalnim kracima koji mogu biti u obliku čekića, ploča, šipki...

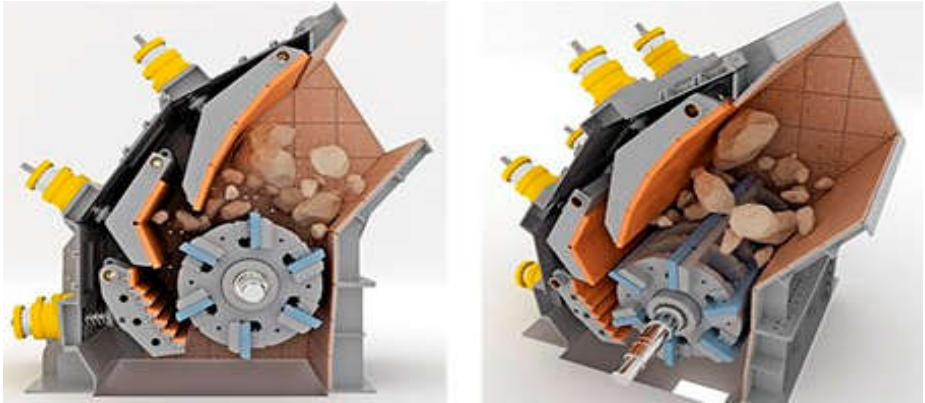
Osovina na kojoj je rotor može biti horizontalna ili vertikalna. Udarne drobilice sa čekićima drobi otpad udarima čekića, koji se nalaze na obodu rotora.

Udarne drobilice

Koristi se za drobljenje ishabanih autokaroserija i drugog otpada većih dimenzija.

Refleksiona udarne drobilice je slična drobilici sa čekićima, osim što umesto čekića, na nosaču rotora ima čvrste listove.

Materijal koji se usitnjava pada u radnu zonu drobilice gde ga udara rotor udarnim kracima (listovima) i odbacuje na odbojne ploče.



Refleksiona udarna drobilica

Zazor između odbojnih ploča i udarnih kraka, koji se reguliše pomeranjem odbojnih ploča, određuje dimenzije usitnjenih delova koji će izaći iz drobilice.

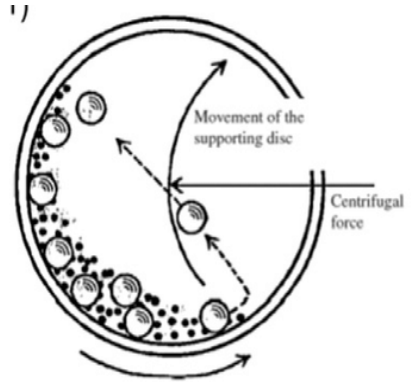
Veliki uticaj na stepen usitnjavanja ima brzina kretanja rotora (obodna brzina rotora obično iznosi do 50m/s).

Mlinovi

Mogu biti bez punjenja gde materijal sam sebe melje međusobnim udarima i trenjem delova materijala ili sa punjenjem, koje može biti u vidu kamenja, kamenih, gvozdениh ili čeličnih kugli, šipki, diskova.

Materijal se melje do željene veličine, trenjem i udarima cirkulišućim predmetima (kamene ili metalne kuglice, šipke itd.)

Plášť bubnja je izveden u obliku sita tako da kroz njega prolaze dovoljno usitnjene čestice.



Mlin



POGLAVLJE 5: SABIJANJE OTPADA

To je tehnologija smanjenja zapremine i oblikovanje čvrstog otpada, korišćenjem mehaničke sile.

Sabijanje se vrši radi lakše manipulacije i prerade, ali pre svega zbog pogodnijeg transporta od centra za separaciju otpada do fabrike za reciklaži.

Zajednička osobina ovih tehnologija je da se materijal-otpad presuje pod velikim pritiskom, obično bez dodavanja aditiva za spajanje delića u stabilnu celinu.

Važni parametri pri izboru tehnologije sabijanja su: vrsta otpada i zahtevana veličina, gustina i oblik otpada.

U ove tehnologije spadaju:

1. Presovanje
2. Briketiranje
3. Peletiranje

Presovanje

Obavlja se hidrauličnim presama (vertikalnim i horizontalnim). Prese su pogodne za sabijanje kartona, folije, PET flaša, lakog čeličnog otpada itd.

Stepen sabijanja zavisi od vrste materijala (npr. kod presovanja PET ambalaže izvrši se smanjivanje 12 - 15 puta).



Presna za otpad

Briketiranje

Najrasprostranjenija tehnologija sabijanja, zbog relativno niskih investicionih troškova po jedinici proizvodnje. Često se primenjuje kod čeličnih opiljaka koji se presuju hladni u briketirajućim presama na valjkaste brikete prečnika 150 do 200mm i mase 20 do 50kg.

Produkti su briketi prizmatičnog ili valjkastog oblika. Briketiranje sa prethodnim zagrevanjem ulazne sirovine je energetski zahtevnije, ali se dobija kvalitetnija sekundarna sirovina.



Briketiranje

Briketiranje biomase

Postupak pri kojem se usitnjeni materijal pod velikim pritiskom pretvara u kompaktnu formu, velike zapreminske mase (gustine), pogodnu za dalje korišćenje.

Briketiranje se vrši visokim pritiskom (obično od 0,5 do 20 MPa), a temperatura alata prese je 90°C (pri ovim uslovima nisu potrebna dodatna vezivna sredstva), pri čemu klip pritiska suhu biomasu.

Kompresijom se povećava temperatura biomase na 120°C, pri čemu se topi lignin iz drvnog materijala. Pritisak potiskuje vruć materijal kroz kalup, pri kontrolisanoj brzini. Kako se pritisak smanjuje, lignin se hladi i očvršćava se, spajajući masu u čvrste brikete.

Pri presovanju biološkog materijala zapremina se smanjuje oko 10 puta, pri čemu se postiže gustina briketa 800 do 1200 kg/m³. Toplotna vrednost briketiranog materijala je 16 do 18,5

MJ/kg.



Briketi od biomase

Optimalan sadržaj vlage u materijalu za briketiranje je 10 do 15% i tada je potrebno oko 4m³ drvnih ostataka, za 1 tonu briketa. U zavisnosti od procenta vlažnosti sirovine (drvnog ostatka) zavisi i potrebna količina drvnog ostatka za dobijanje jedne tone briketa. Tako je za 35% vlažnosti potrebno 6m³, a preko 50% vlažnosti drvnog ostatka, potrebno je čak 9m³ (naravno da bi se moglo izvršiti briketiranje, ovi procenti se moraju smanjiti na 15% i niže).

Prema sastavu dele se na:

- jednokomponentne brikete, načinjeni samo od biomase bez dodatnih vezivnih sredstava, gde može biti zastupljena samo jedna ili više vrsta mase biljnog porekla
- kompozitne brikete, kada se osnovnoj biomase mogu dodavati jedna ili više aditivnih komponenata koje nisu biljnog porekla u cilju poboljšavanja termičkih, fizičkih, mehaničkih ili

estetskih svojstava

Peletiranje

To je proces sastavljanja finodisperznih delića otpada, manjih od 1mm.

Često se koristi za sabijanje izdrobljene isušene drvene mase pri veoma visokom pritisku.

Prednost postupka je što omogućava sabijanje drvnog otpada sa visokim sadržajem kore i drugih čvrstih nečistoća.

Osnovni parametri peleta od drvnog otpada koji se koriste kao gorivo su: prečnik 8 do 14mm, dužina 10 do 20mm i gustina 800kg/m³.



Pelet



LITERATURA

- [1] Zakon o upravljanju otpadom, Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010, 14/2016 i 95/2018
- [2]https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics
- [3] Cvetanović, B. Sakupljanje i transport otpada-skripta, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Nišu, Niš, 2017.
- [4]Hodolič J. i dr., Reciklaža i reciklažne tehnologije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2011.
- [5]Cvetanović, B., Ristić, M., Đekić, P. Analiza stanja i potencijali reciklaže u Republici Srbiji, Četvrti naučno-stručn skup Politehnika, , Beograd, 2018.
- [6]Cvetanović, B., Ristić, M., Đekić, P. Analiza stanja i potencijali reciklaže u Republici Srbiji, Četvrti naučno-stručni skup Politehnika, Beograd, 2018.
- [7]Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije. Upravljanje otpadom u Republici Srbiji u periodu 2011-2016. godine, Beograd,2017.
- [9] Branković, B. Postupci i uređaji za recikliranje otpadnog materijala, Posebna izdanja: Knjiga 8, Uprava za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zdravlja i zaštite životne okoline RS, Beograd, 2002.

