

Školska 2024/25

Studijski program:
INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Osnovne strukovne studije



Predmet: **RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE**

Nastavnik: dr Boban Cvetanović
Saradnik: Natalija Petrović



MEHANIČKE RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE-SELEKCIJA OTPADA

Predavanje 6

SEPARACIJA

(razvrstavanje, sortiranje, selekcija)

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.



Bez obzira na kvalitet mašina za separaciju i celog procesa separacije, ona nikada **nije idealna i stoprocentno uspešna!**

BITNI PARAMETRI za ocenjivanje uspešnosti separacije

- ▶ **Iskorišćenje ciljne frakcije**
- ▶ **Čistoća ciljne frakcije**

Iskorišćenje

$$P = 100 (x_1/x_0) (\%)$$

gde je:

x_1 - ciljna frakcija u izlaznom toku

x_0 - ciljna frakcija u ulaznom toku

Čistoća

$$R=100 \cdot x_1 / (x_1 + y_1) (\%)$$

gde je:

x_1 - ciljna frakcija

y_1 - kontaminirana frakcija u izlaznom toku

Vrste separacija

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

1) 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.**



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.

2) 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.



Složeniji je pristup separacije prema gustini.

Kod razdvajanja u **tečnostima (suspencijama) 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).

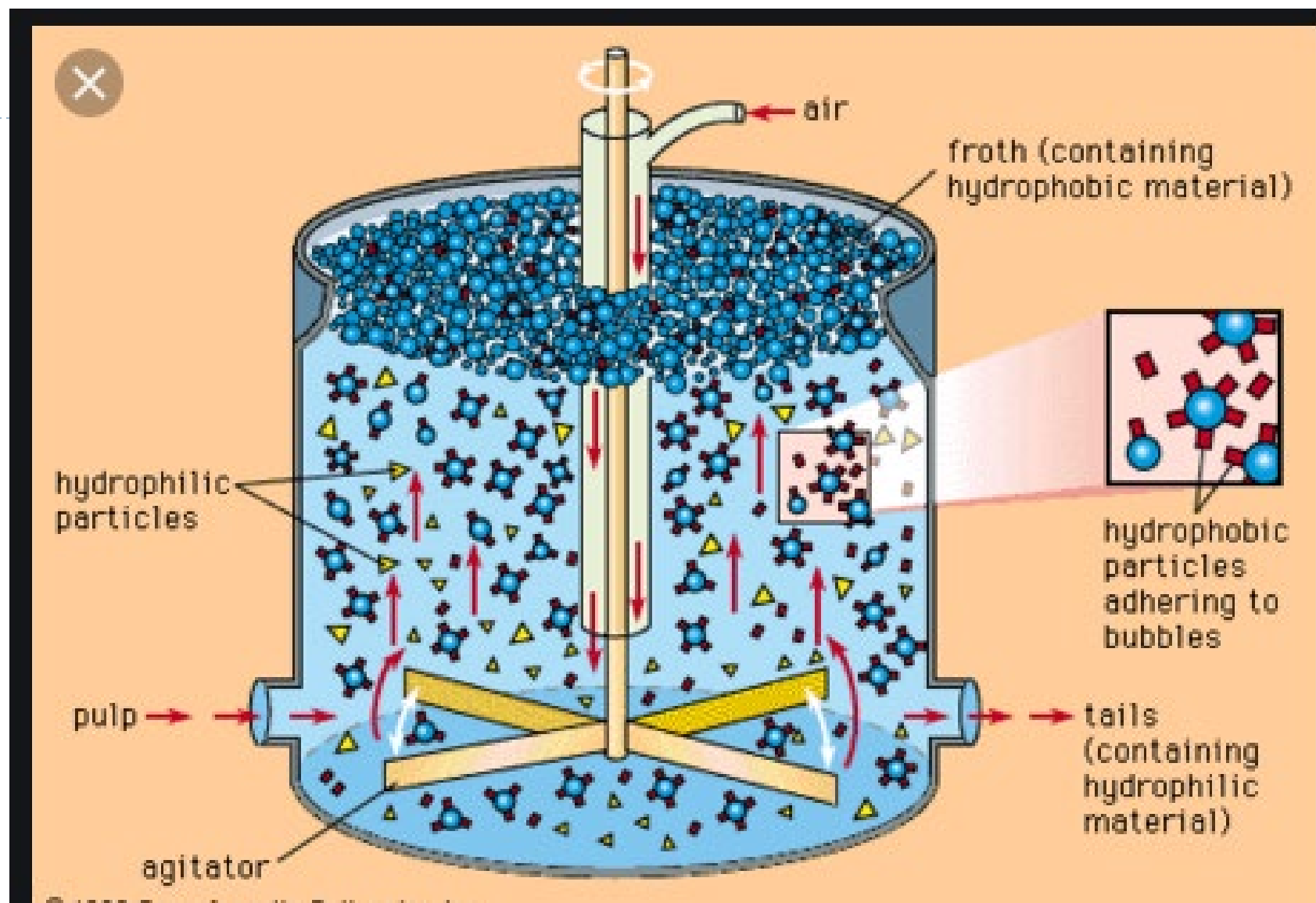
Teške tečnosti su veoma toksične, zahtevaju stroge uslove zaštite na radu, zahtevaju smanjenje izloženosti radnika i dobijeni prečišćeni otpad je kontaminiran tim tečnostima i treba se dodatno očistiti.

3) FLOTACIJA

Jedna od vrsta hidroseparatoracija je FLOTACIJA, koja se koristi prevashodno za uklanjanje nečistoća, u procesu odmašćivanja otpadnog papira.

Komadi otpada koji se ne kvase vodom (hidrofobni) prijanjaju uz mehuriće vazduha obrazujući sistem komad otpada – mehurić, koji je manje gustine od gustine tečnosti u kojoj se nalaze i isplivavaju na površinu tečnosti, odakle se uklanjaju.

Drugi komadi otpada koji se kvase vodom (hidrofilni) ne prijanjaju za mehuriće i ostaju u vodi.





klažne tehnologije

Kod **pneumatskog razdvajanja**, reciklabilni materijali se izdvajaju u vazdušnoj struji.

VRSTE GRAVITACIONIH SEPARATORA

- ▶ Sita
- ▶ Balistički separatori sa transportnom rešetkom
- ▶ Balistički separatori sa vazdušnom strujom
- ▶ Hidrocikloni
- ▶ itd

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.**

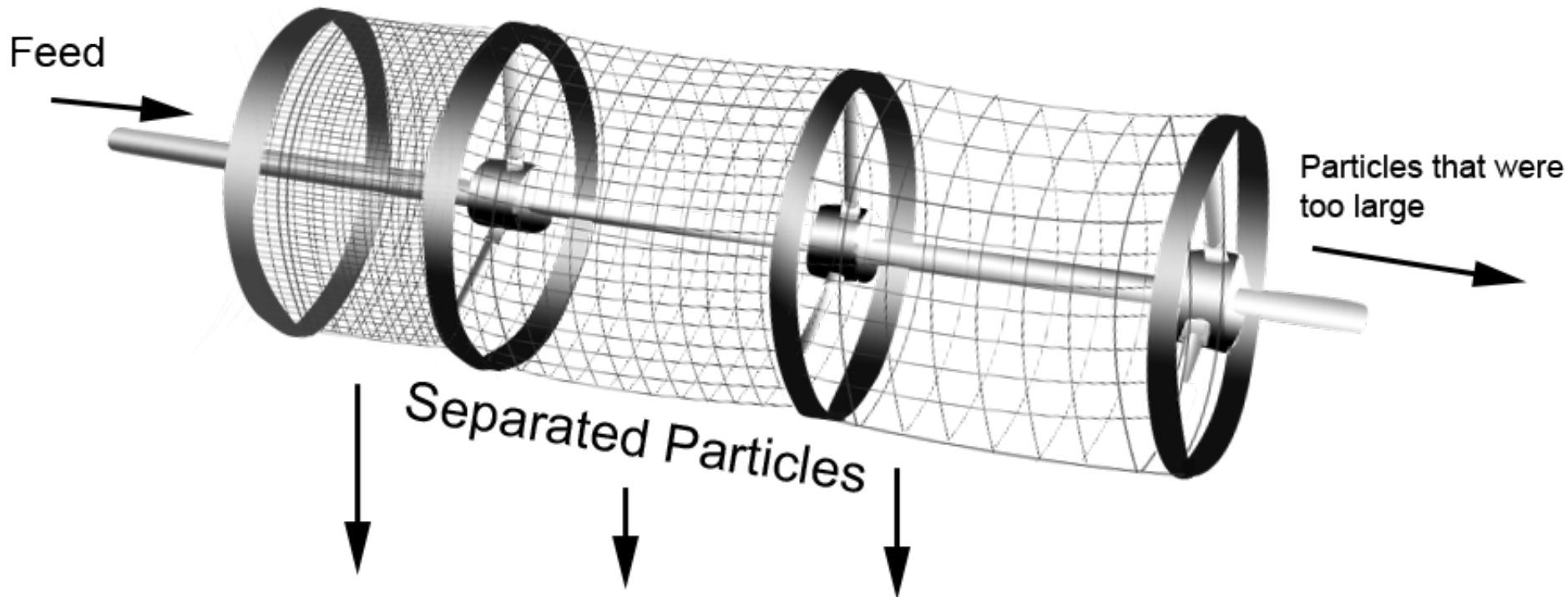
Sejanje se obavlja izdvajanjem čestica **na osnovu
veliĉine otvora na situ**, pri ĉemu čestice manje od
otvora prolaze kroz sito i postaju fina frakcija.

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).

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.**



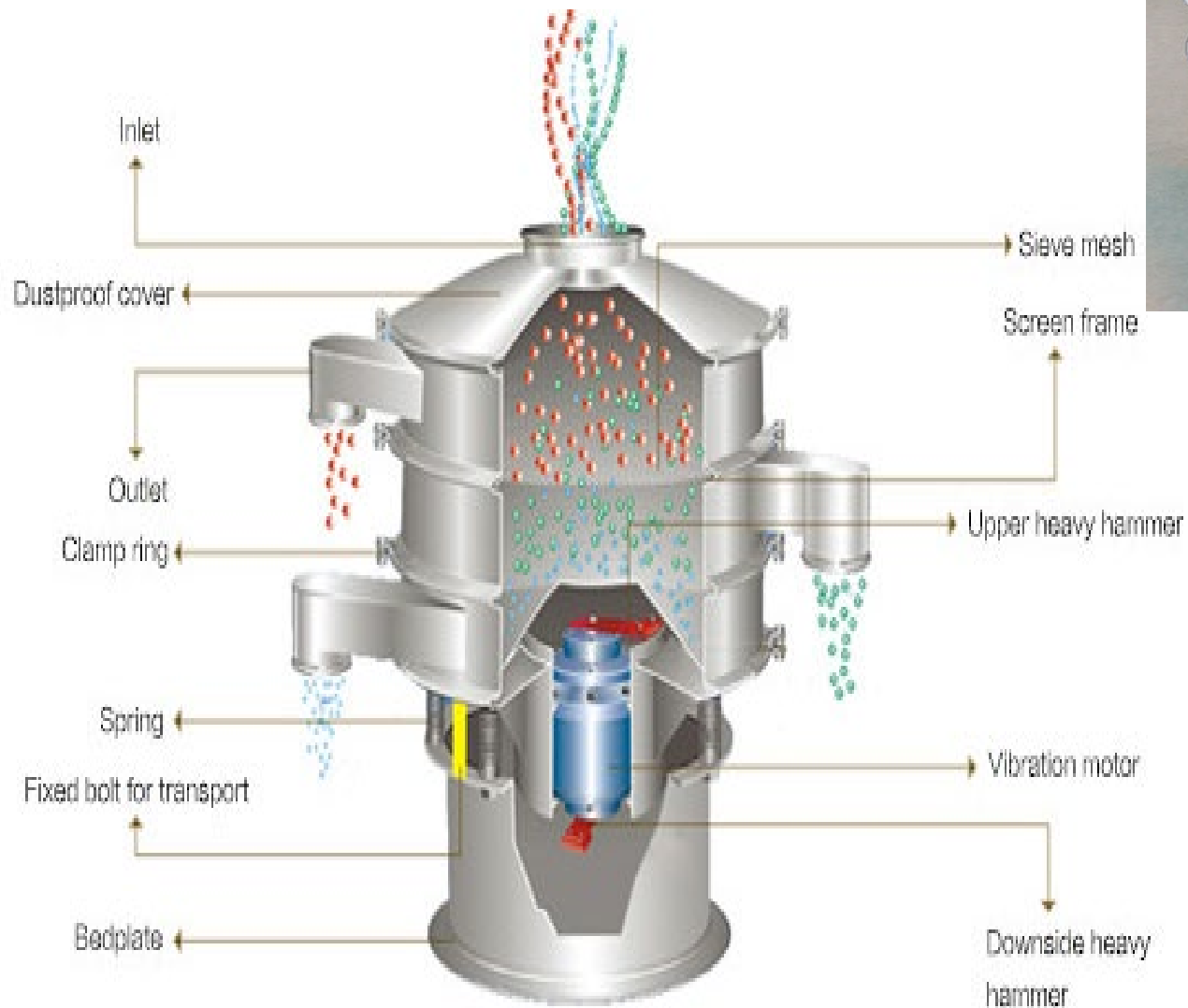


<https://www.youtube.com/watch?v=4I0NrXJITrs>

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.**

Vibrirajuće sito



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.



Koristi nekoliko karakteristika čestica: **veličinu, gustinu i krutost.**

Vrši separaciju otpada 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.**

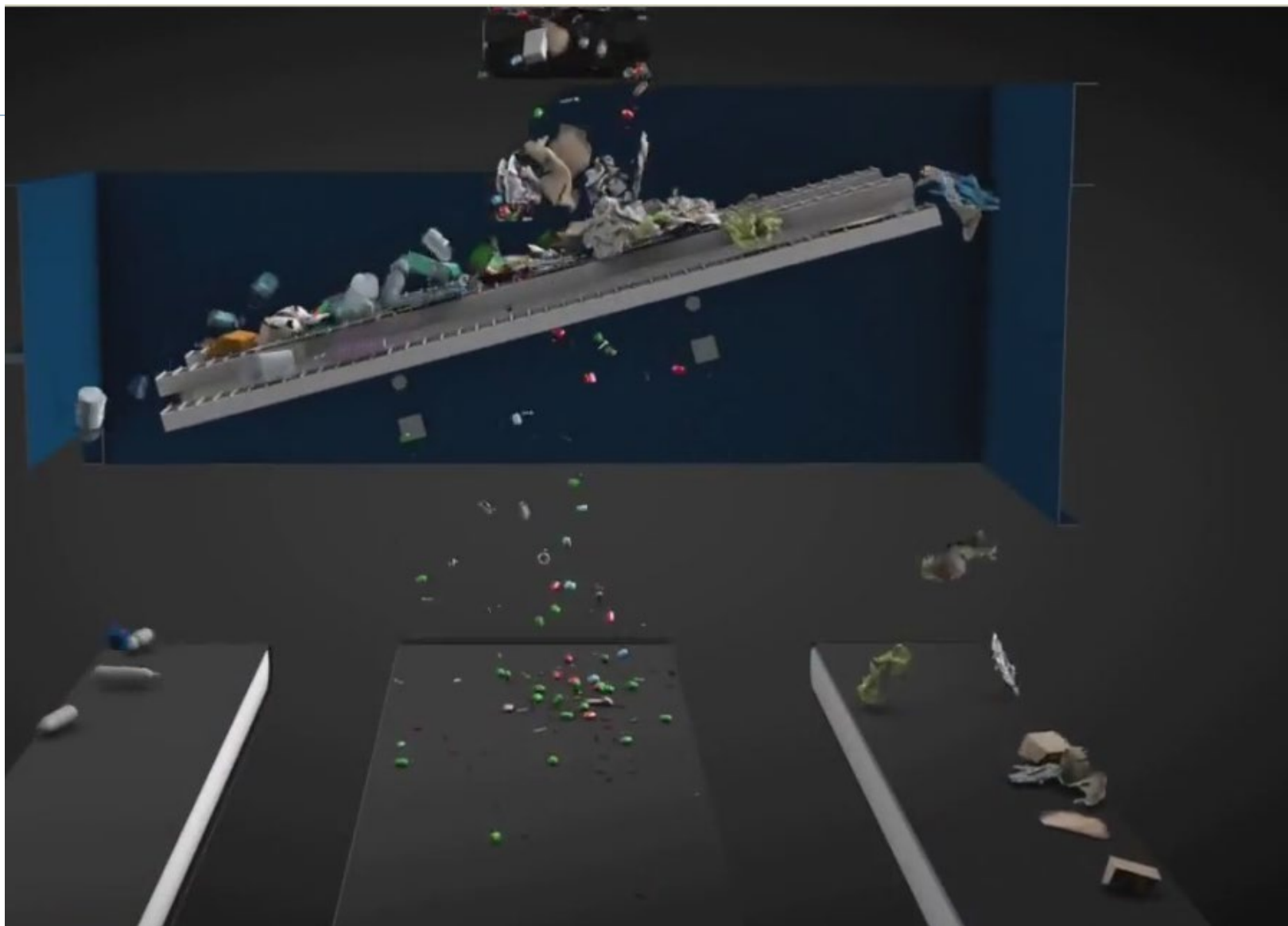
Otpad se transportuje prema višem delu.

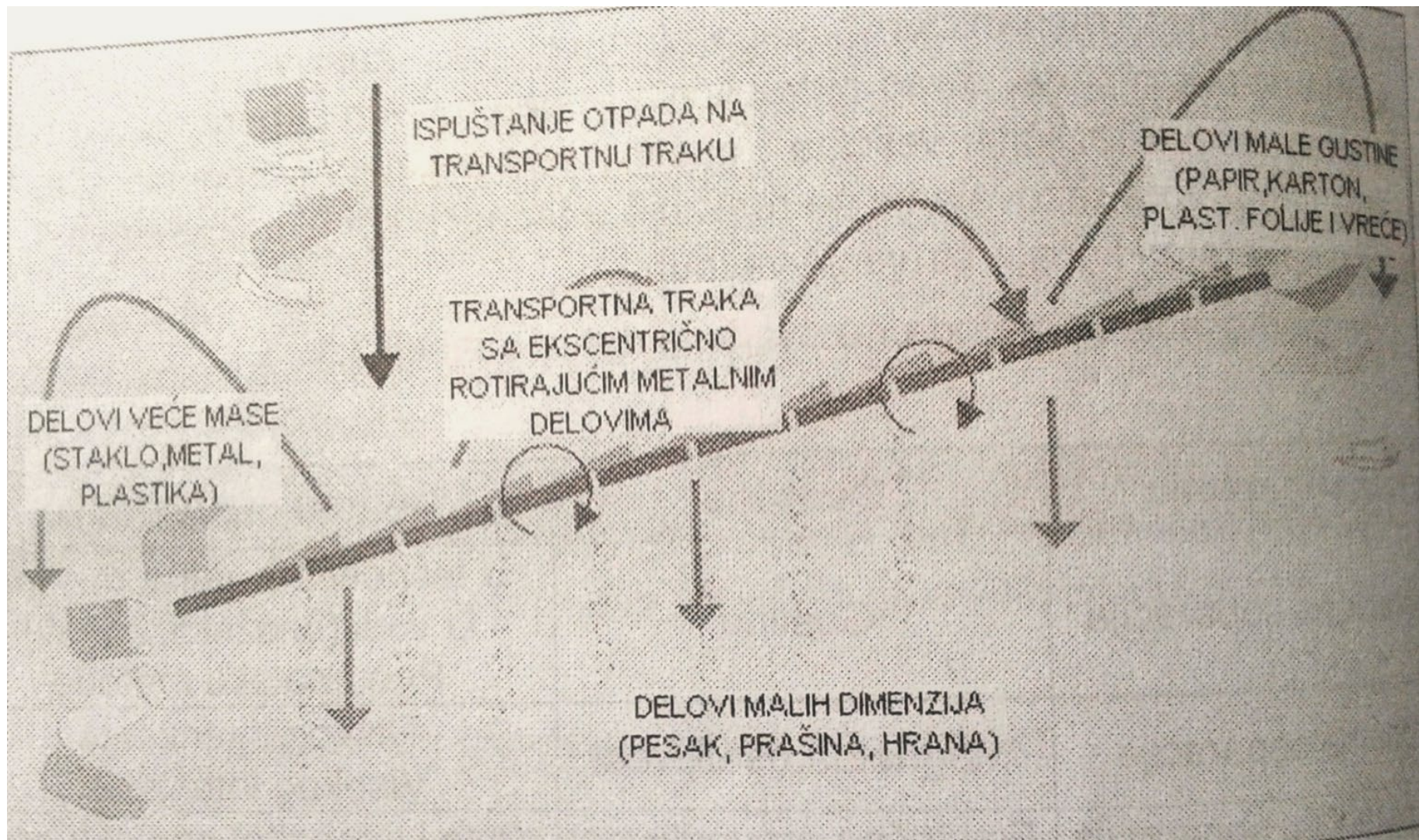
Segmenti
rešetke





<https://www.youtube.com/watch?v=PJEgwLXe3es>





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.**

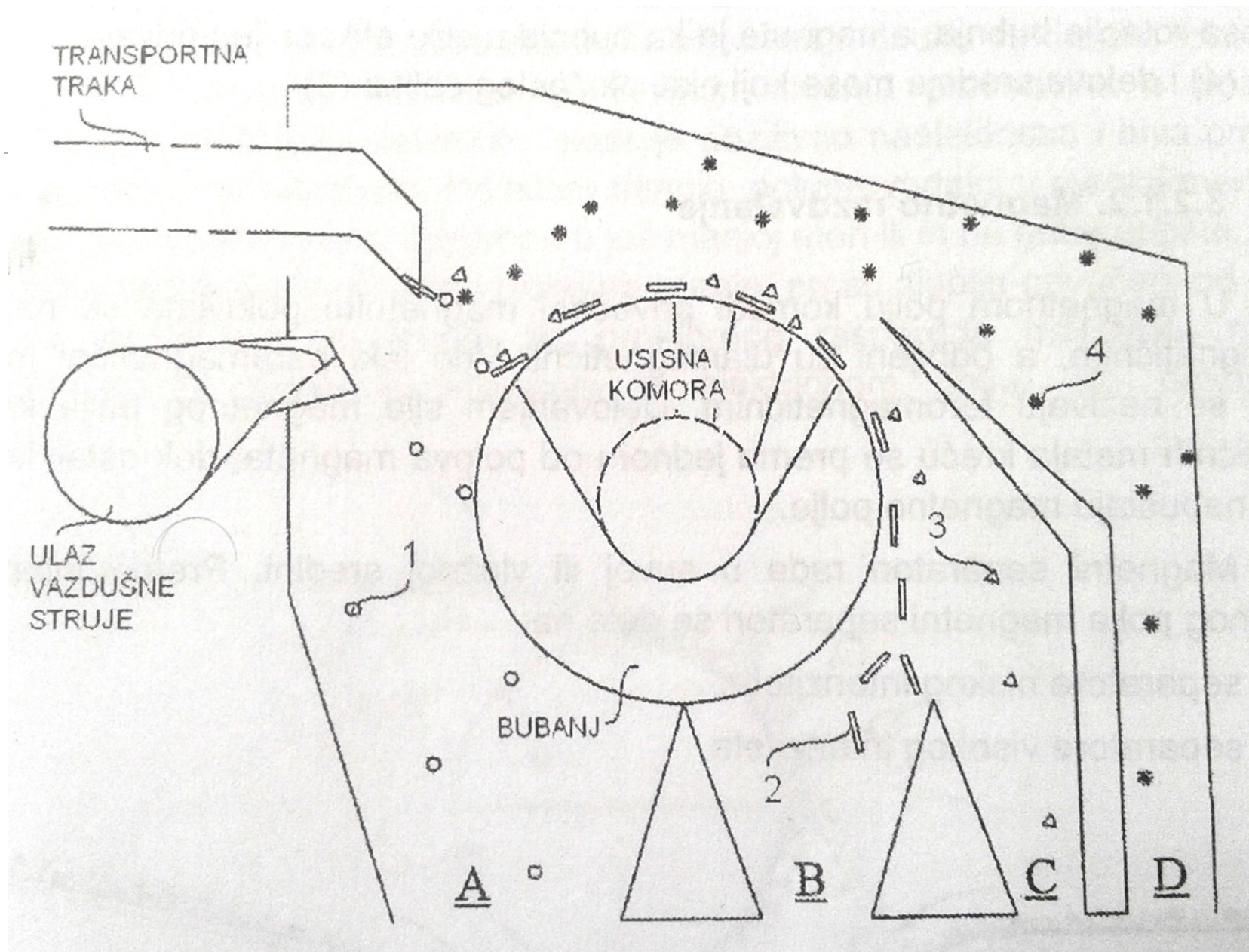
Sitni delovi (hrana, prašina), **propadaju kroz** zazole između pokretnih delova trake.

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 mesta gde 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**.



-
- ▶ **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.**

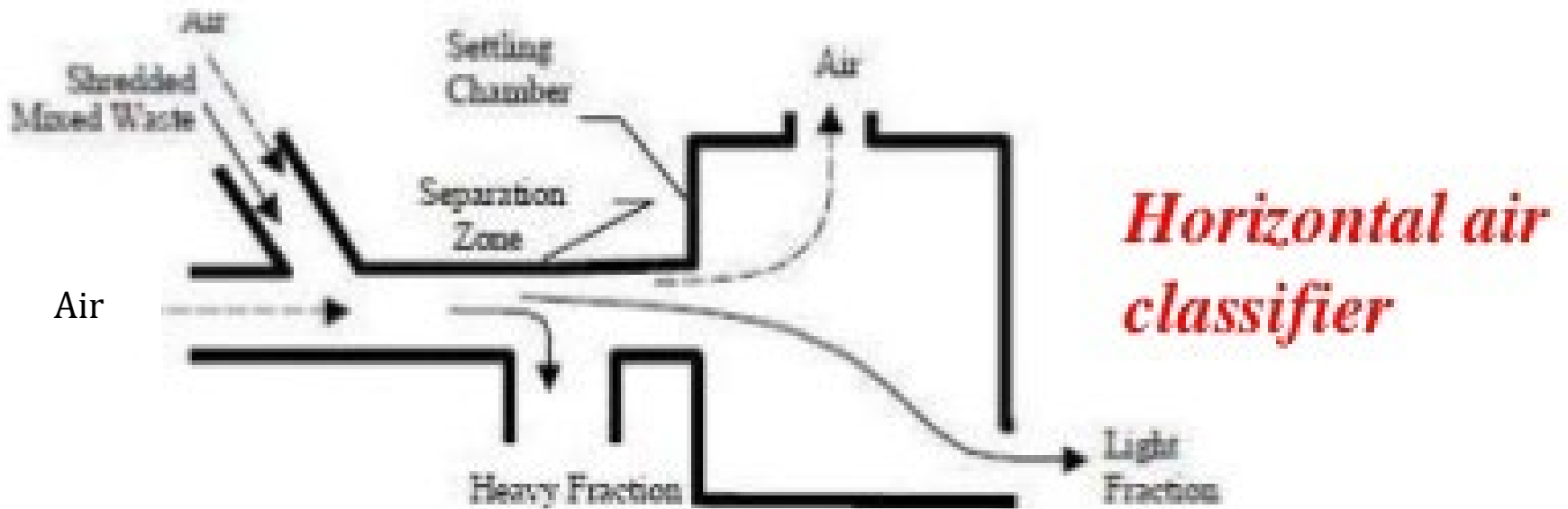
-
- ▶ **Lakši delovi (4) transportuju se iza bubnja gornjom vazдушnom strujom i talože u četvrtoj sakupljačkoj zoni D u zadnjem delu separacione komore (npr. delovi tekstila sa sedišta automobila)**
 - ▶ **Sakupljačke zone A,B, C i D su odvojene pregradama.** Pregrada koja odvaja C i D zonu je produžena 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)

Varijantna izvođenja balističkog separatora sa separatori sa vazdušnom strujom - horizontalni, vertikalni i cik cak

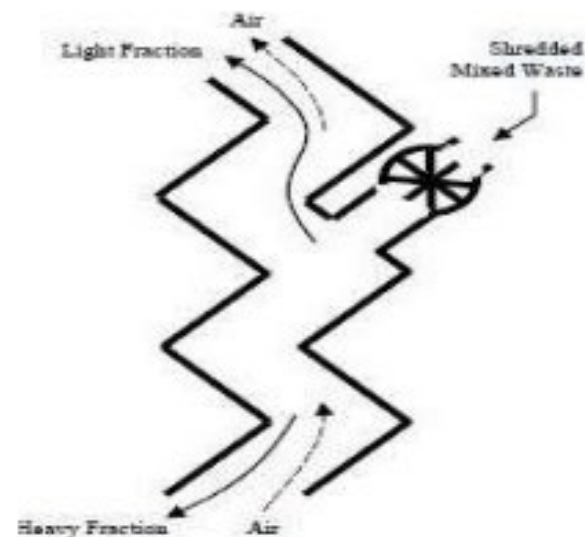
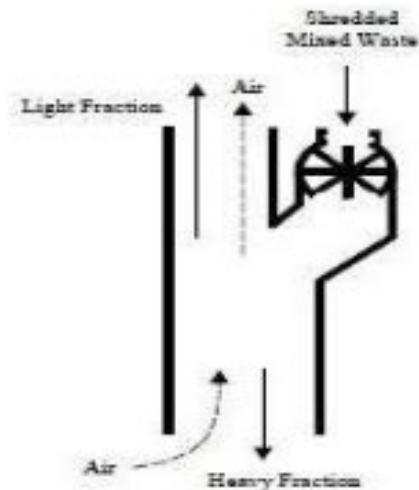
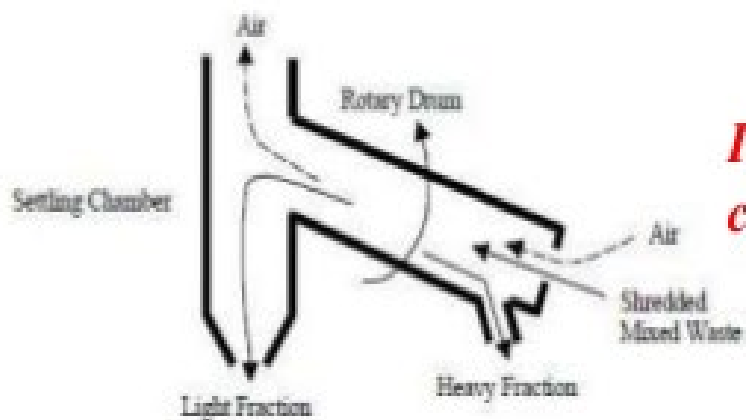
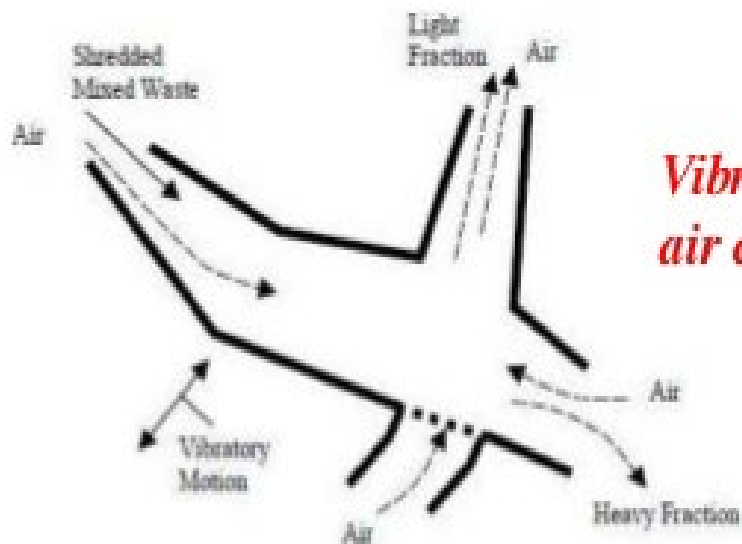
Otpad se uvodi u horizontalni, vertikalni ili cik cak deo uređaja, dok se vazduh uduvava sa donje strane ili sa strane.

Usled dejstva vazdušne struje i naravno pod uticajem gravitacije, dolazi do odvajanja teških od lakih frakcija.

horizontalni



vertikalni i cik-cak



*Types of vertical air
classifiers*

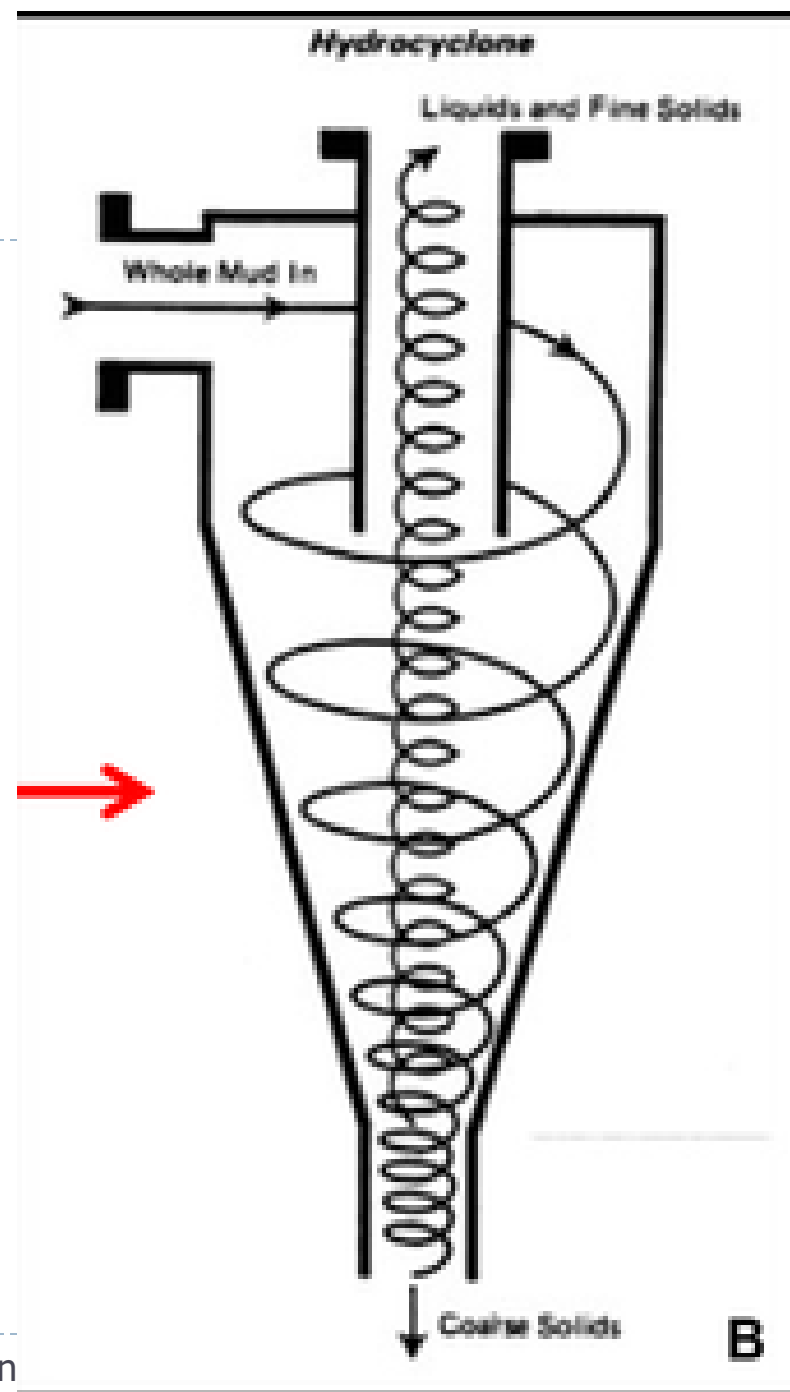
Hidrocikloni

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.





MAGNETNA SEPARACIJA

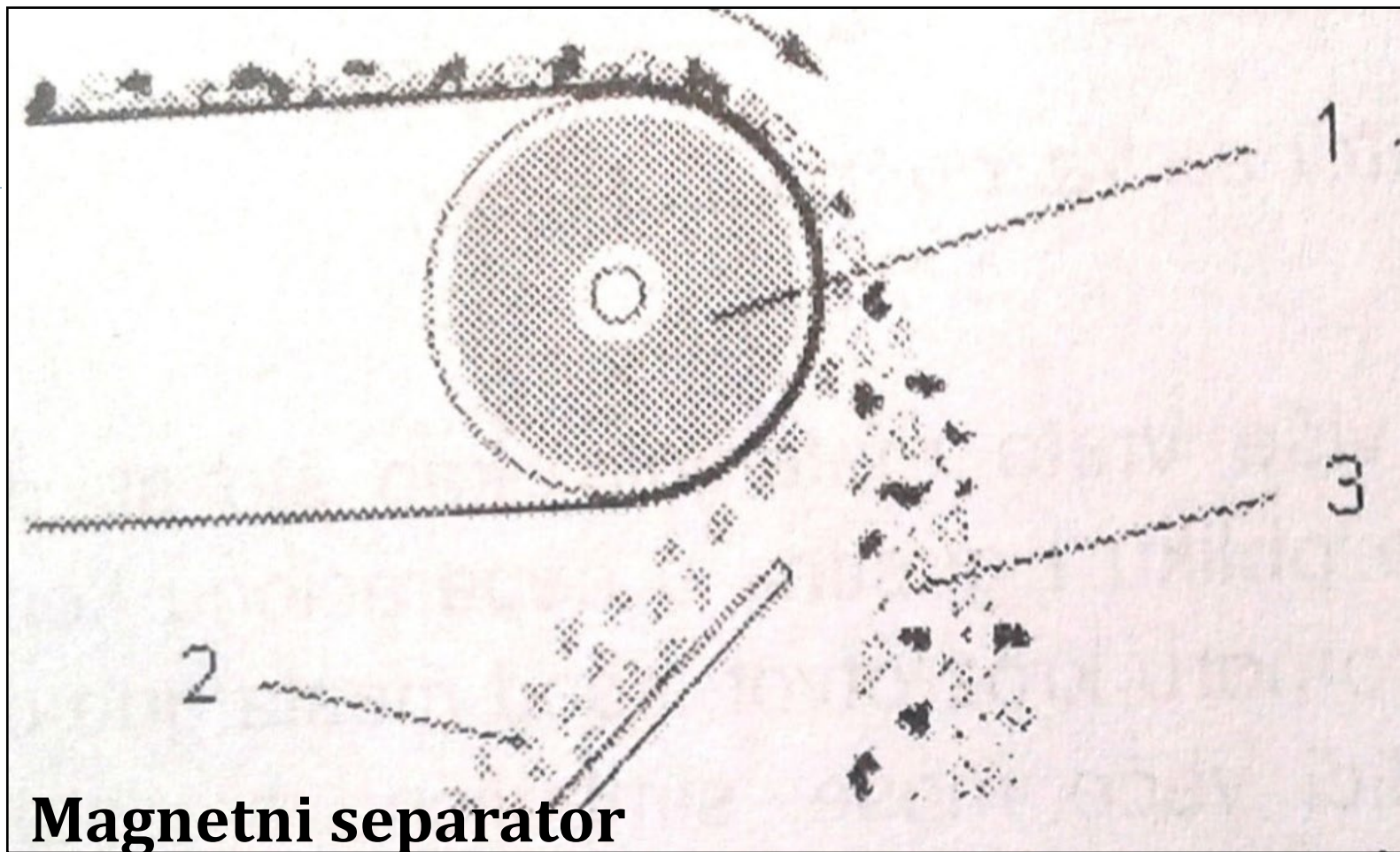
Delovanjem sila magnetnog polja **komadi magnetičnih metala, kreću se prema jednom od polova magneta, dok ostali komadi otpada napuštaju magnetno polje.**

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**.

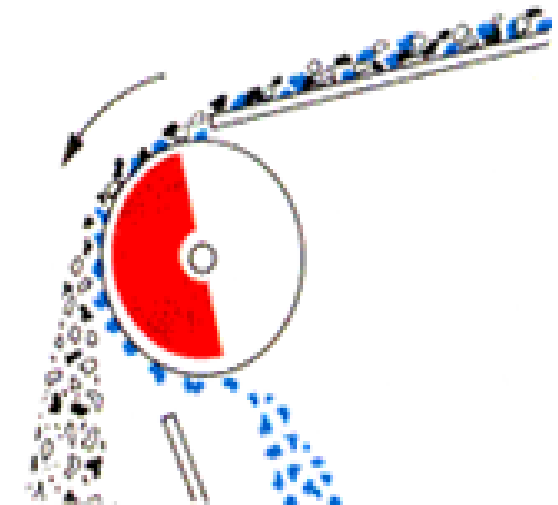
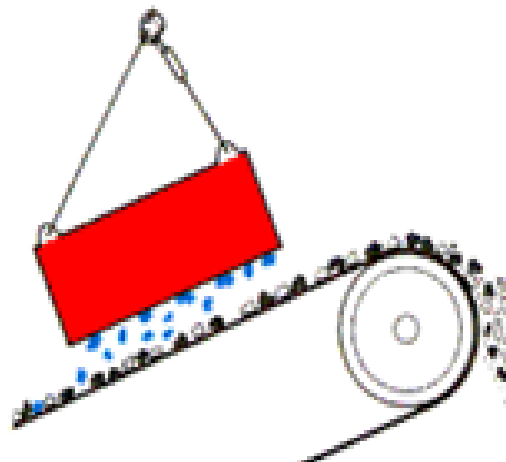
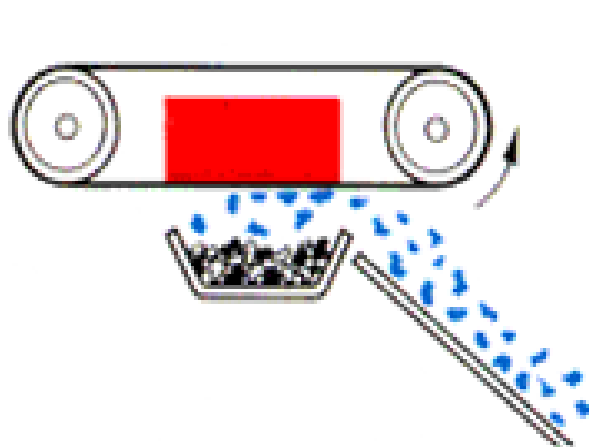
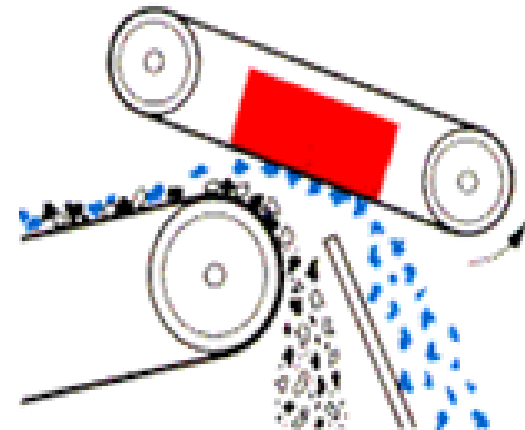
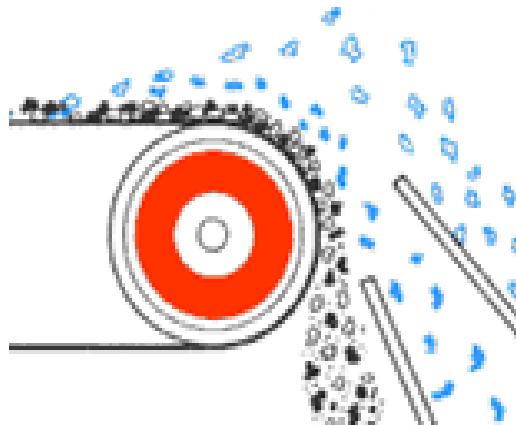
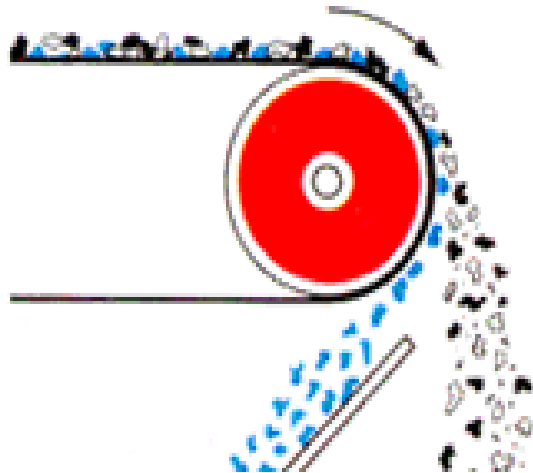
<https://www.youtube.com/watch?v=QJjQfhDfybs>

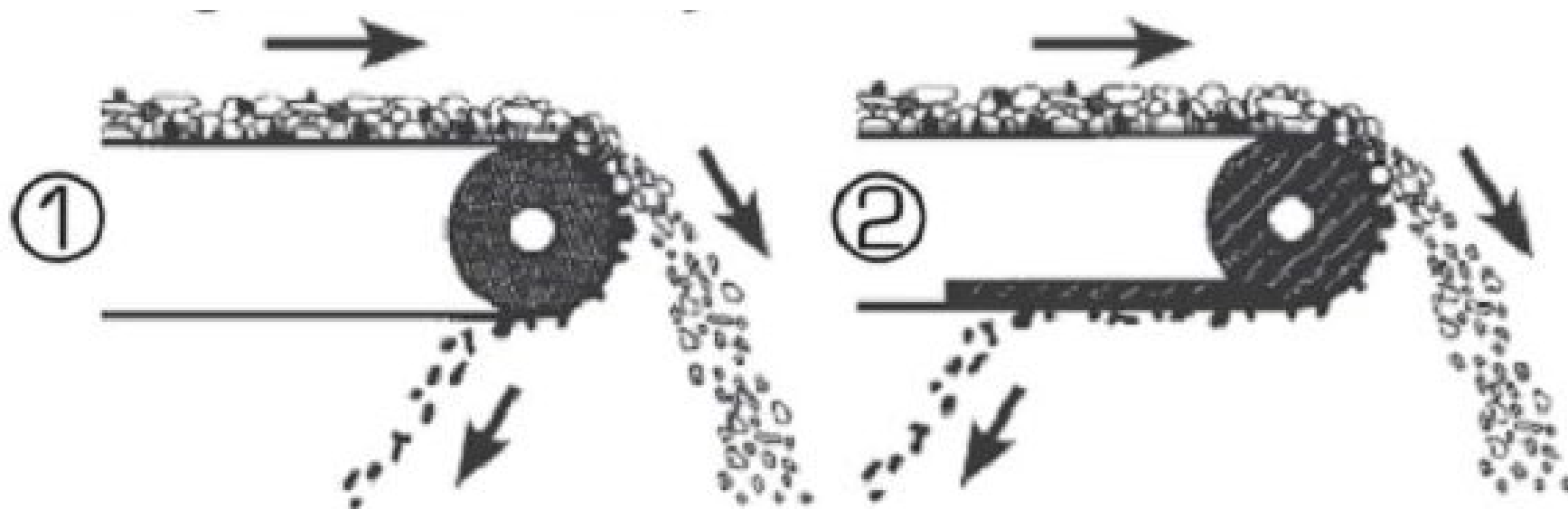


Magnetni separator

- 1- magnetni valjak,
- 2- magnetni materijal,
- 3- nemagnetni materijal

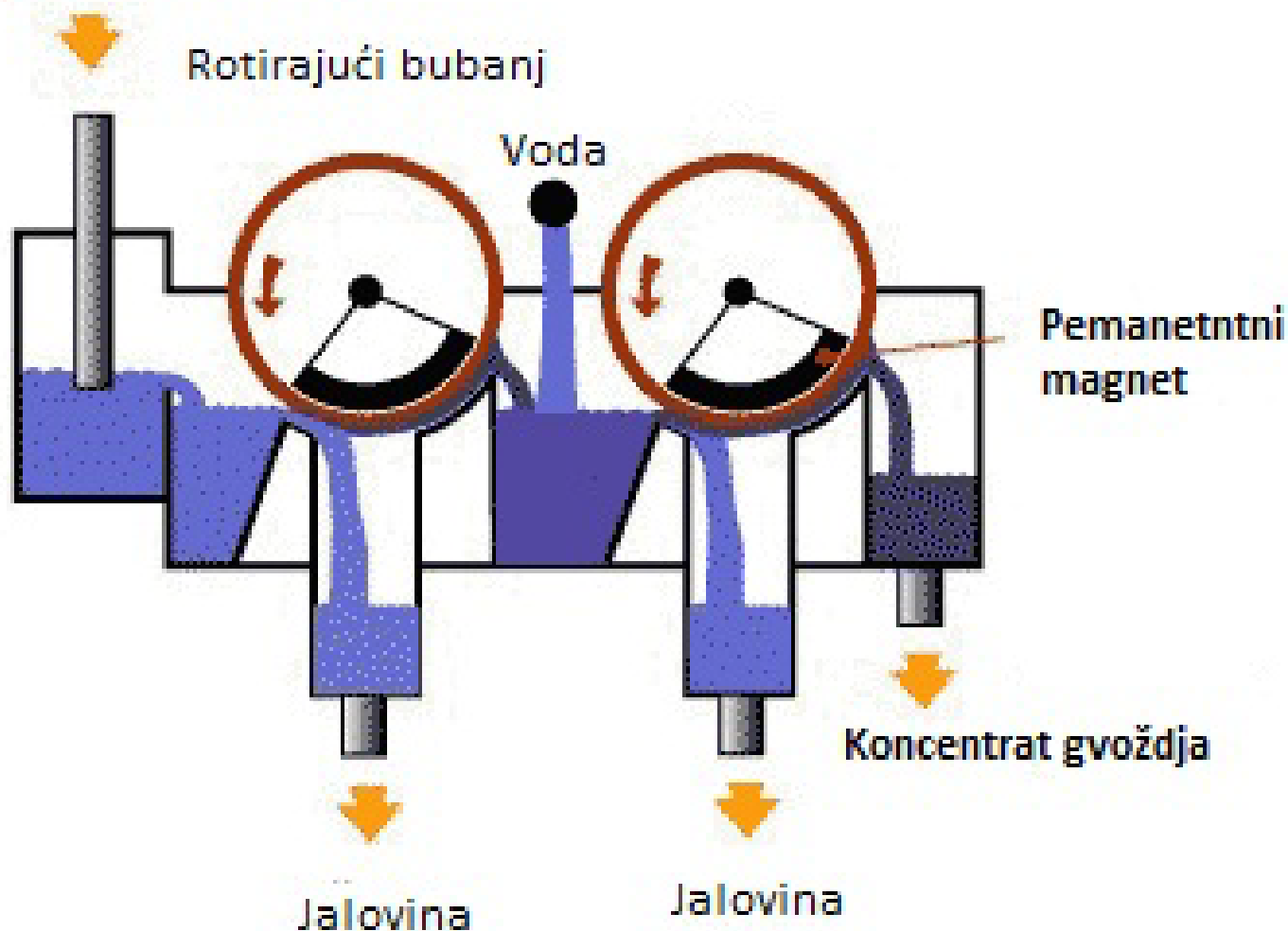
Konstruktivna izvođenja magnetnih separatora





Primer upotrebe magnetnog separatora: **magnetna separacija sljake**

Usitnjena šljaka

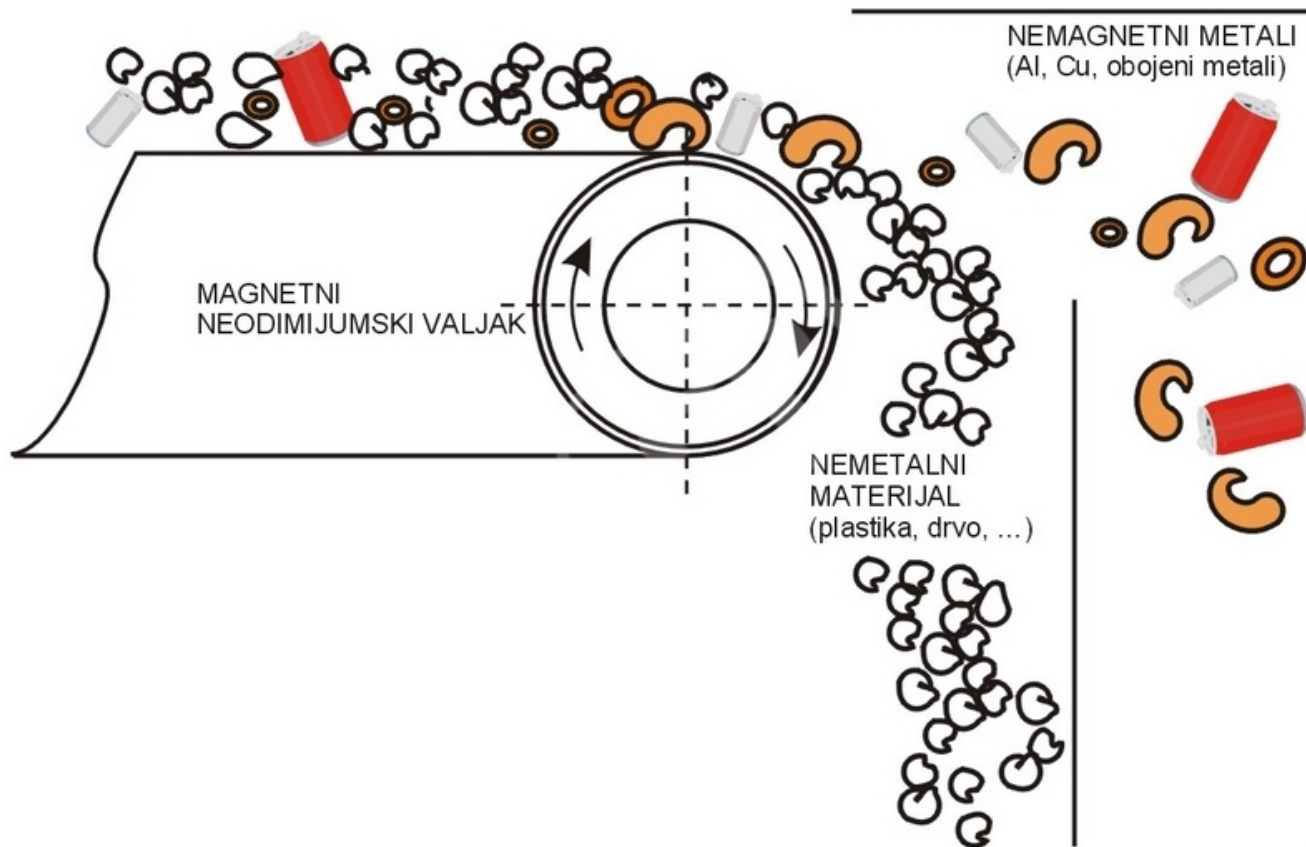




Magnetni separator nemagnetnog metala (Eddy current separator)

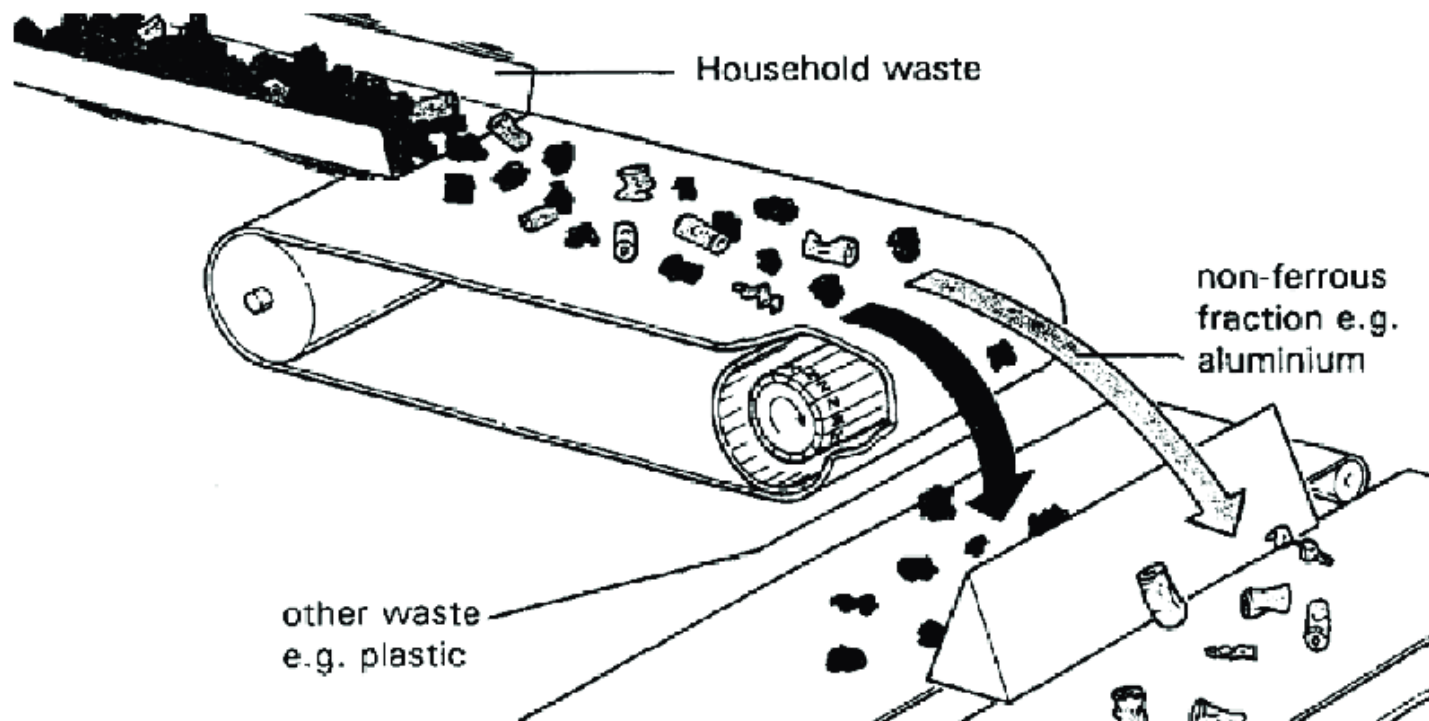
Ovaj separator je zastupnik nove generacije magnetnih separatora i omogućava odvajanje **nemagnetičnih metala od magnetičnih metala i ostalih nemetalnih čestica.**





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

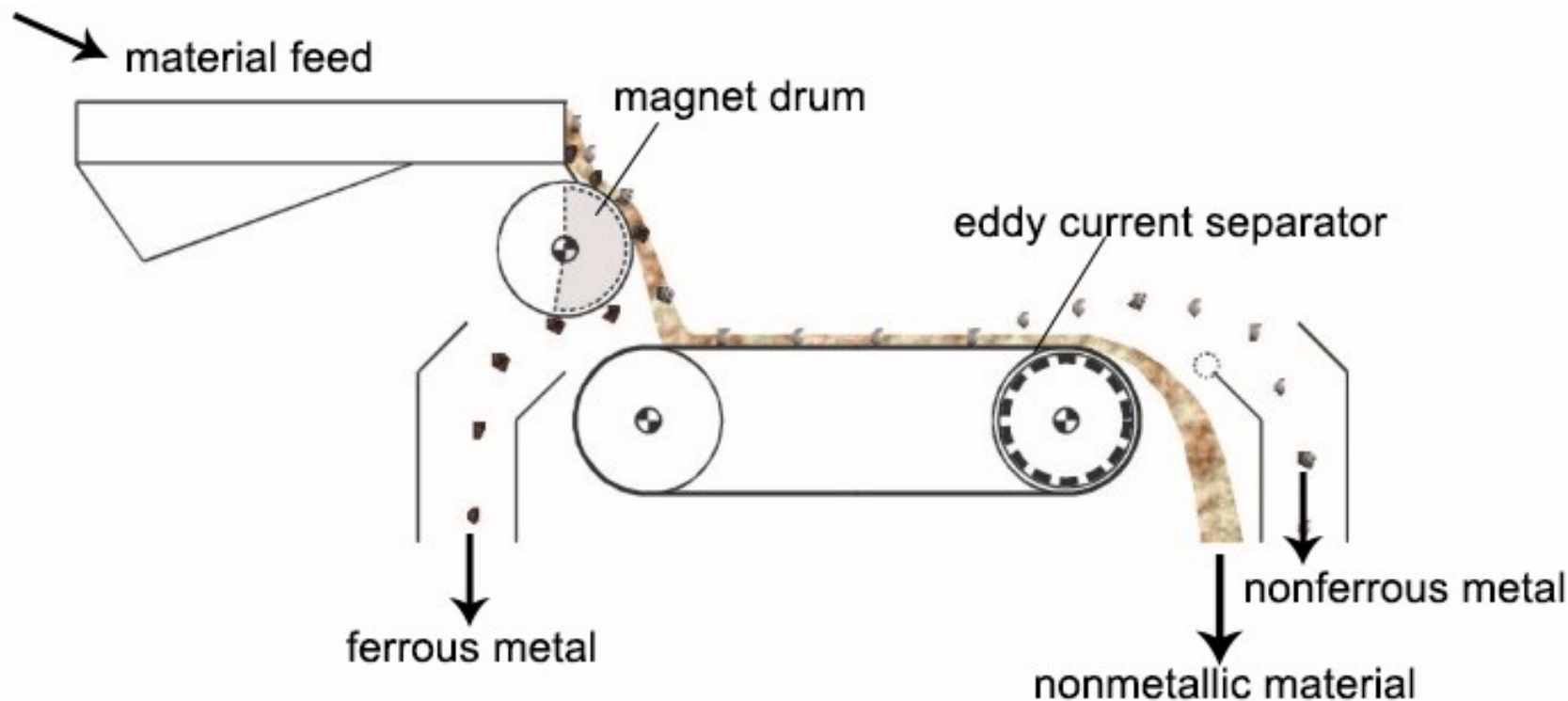
Ovaj cilindar je opremljen veoma jakim **neodimijskim** (NdFeB) magnetima.



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 oslobođenja.



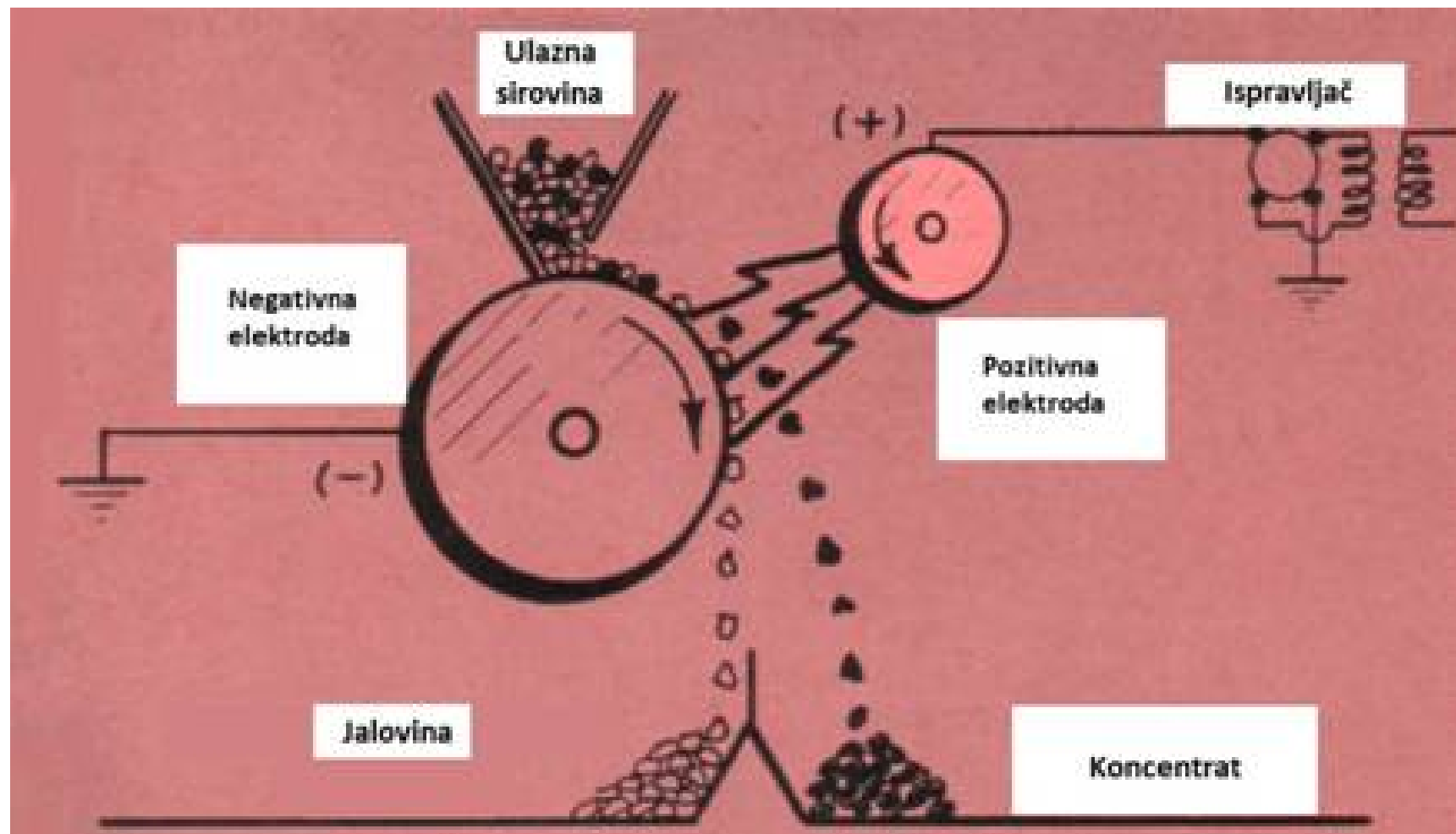
Postoje i varijantna izvođenja gde su odvojene operacije odvajanja magnetnog materijala (na magnetnom valjku) i nemetala i nemagnetnih materijala (na Eddy current separatoru)

ELEKTROSTATIČKA SEPARACIJA

Elektrostatičko sortiranje se koristi za separaciju **sitnih frakcija metala i nemetala (dimenzija manjih od 5mm)**.

Primenjuje se kod separacije materijala iz otpadnih kablova, elektronskog otpada, kompozitnih materijala, za izdvajanje metala iz šljake, pepela itd.

PRIMER PRIMENE ELEKTROSTATIČKOG SEPARATORA



OPTIČKA SEPARACIJA

Princip rada se zasniva na tome da svaki tip materijala, kada se **izloži zračenju talasnih dužina blizu infracrvenog zračenja, apsorbuje ili reflektuje zračenje specifičnih talasnih dužina.**

Kako svaki materijal emituje jedinstveni spektar, na temelju detekcije emitovanog zračenja moguće je snimiti spektar, te prepoznati ciljane materijale.



Najčešće se koristi za sortiranje stakla. Prostor sortiranja u boji napravljen je od četiri bloka. Koristi se komprimovani vazduh i čestice stakla se odvajaju sledećim redom: zeleno, braon i neprovidno (keramika, porcelan...).

Čistoća frakcija ide do 99,7%.