

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

ZBRINJAVANJE POLIMERNOG OTPADA

Studij: **EKOINŽENJERSTVO**

Predmetni nastavnik:

Dr. sc. Zlata Hrnjak – Murgić, red. prof.
zhrnjak@fkit.hr

Priprema plastike za recikliranje

PROCEI:

USITNJAVANJA, ZGUŠĆIVANJA, ZBIJANJA

FILTRIRANJA TALJEVINE

USITNJAVANJE POLIMERNOG OTPADA

Postupci usitnjavanja najčešće se kombiniraju s postupcima:

- pranja, razdvajanja i recikliranja do granula.

Postupak usitnjavanja polimernog otpada ujedno omogućuje uklanjanje (izdvajanje) ostalih materijala iz proizvoda.

Npr. kompozitni materijal usitni se na veličinu na kojoj plastični i drugi materijal više nisu međusobno povezani.

Zatim, započinje razdvajanje uz strujanje zraka na

- principu različite gustoće i
- oblika čestica.

Na "zračnom stolu" lakše čestice će lebdjeti a teže čestice ostati ležati na stolu i pokretna traka ih nosi dalje.

Ovakva metoda je naročito prikladna za odvajanje gume ili aluminijske od termoplasta, tj. različitih vrsta materijala, različitih gustoća.

Mehaničke tehnike usitnjavanja su:

- mljevenje i granuliranje,
- zgušnjavanje i zbijanje,
- mljevenje u prah

MLJEVENJE I GRANULIRANJE

Granulator (shredder)

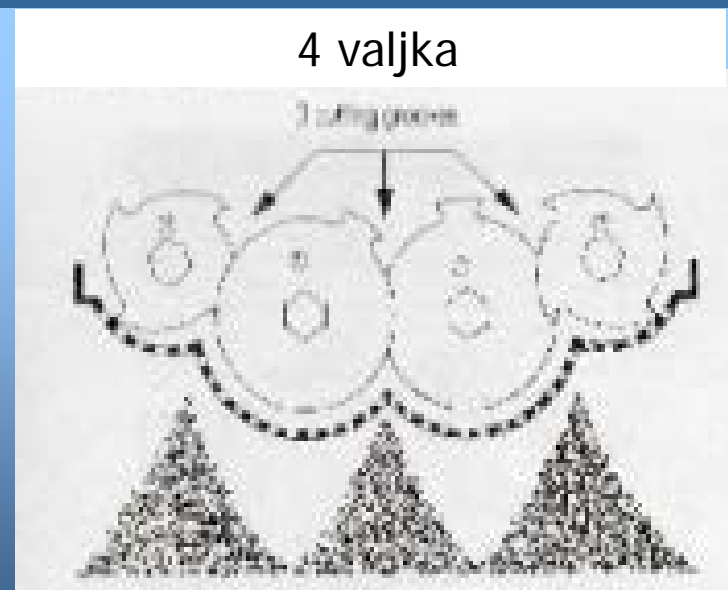
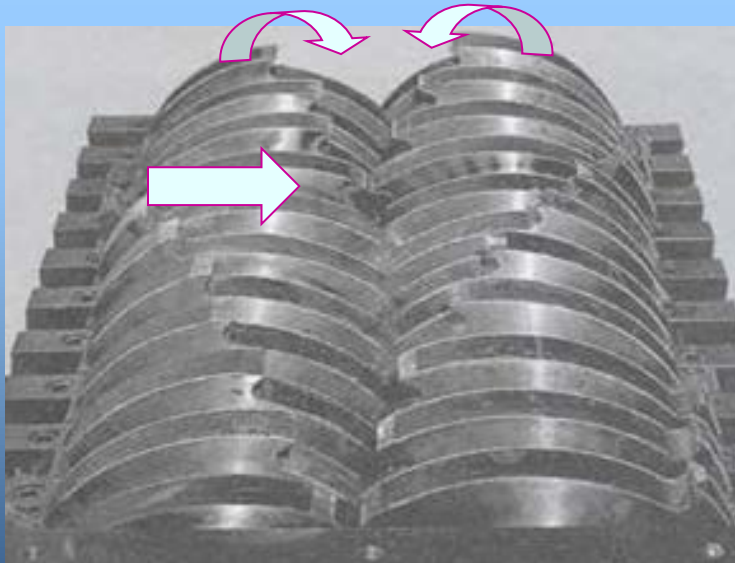
-princip rada ovog postupka se osniva na radu:

2 ne sinkronizirana ili

4 sinkronizirana

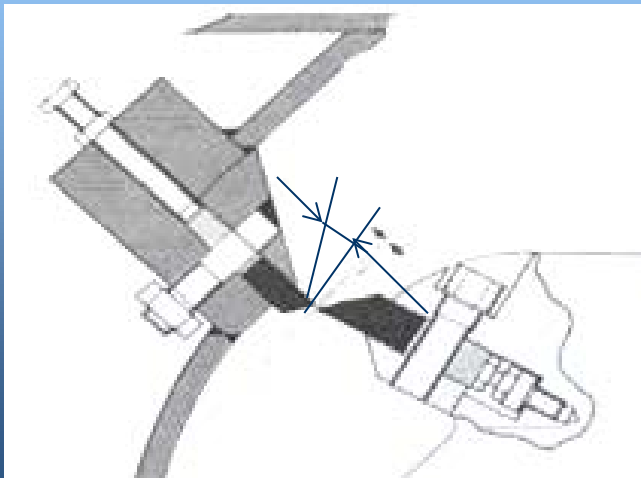
kontra-rotirajuća valjka koji imaju mogućnost rezanja

(moguće je podešavanje veličine čestica nastalih mljevenjem).



<https://www.youtube.com/watch?v=T40quUYF4qo>

<https://www.youtube.com/watch?v=XyAzp08jAkY>



Rotirajući nož za rezanje

Jedan od najčešće korištenih strojeva za usitnjavanje plastičnog otpada naziva se još i **granulator s križnim škarama** (cross-scissor cut granulator) ili **nožni mlin** (knife mill).

Karakteriziraju ga **višestruki rotirajući noževi** i **3-4 fiksna noža**.

Manji razmak između noževa - **manja veličinu čestice** usitnjene plastike - **niži troškovi recikliranja**.

Tipičan razmak noževa je od **0,2-0,3 mm**, a može biti i **do 0,8 mm**.

Prikladan za usitnjavanje svih vrsta filmova i folija (deblje od filmova).

MOKRO USITNJAVANJE

Granulator za pranje.

Tijekom **usitnjavanja** ujedno je moguće i **pranje** u vodi.

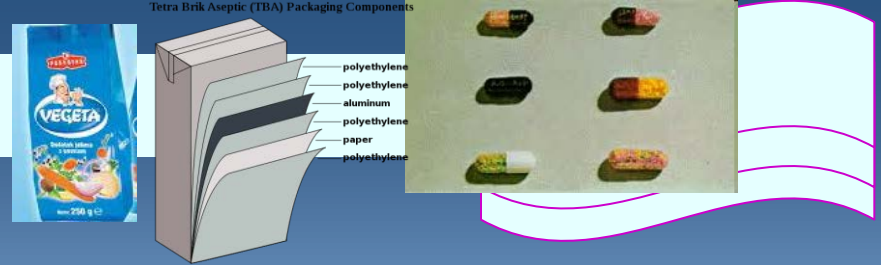
PRANJE je vrlo učinkovito zbog **jakog trenja i frikcija** koje se javljaju tijekom granuliranja / usitnjavanja.

Prednost je što **ne dolazi do zagrijavanja** plastike tijekom usitnjavanja, voda ih hladi

Pogodno za usitnjavanje **tankih filmova**



Usitnjavanje laminata



Polimerni laminati (PL) su **višeslojni filmovi** koji se koriste: u farmaciji kao ambalaža za tablete, tube paste za zube, ambalaža za hranu ...

Tehnika **mehaničkog razdvajanja PL na zasebne materijale** znatno je efikasnija od usitnjavanja PL, klasičnim mljevenjem, a zasniva se na vrlo brznoj rotaciji PL.

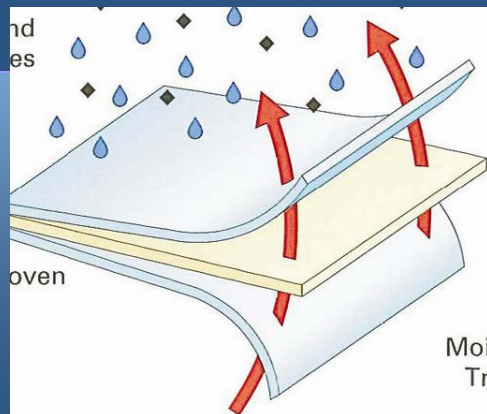
Postoji više različitih modela **usitnjavanja**, jedan je da se prvo provede rezanje PL na **trake**, a **potom razdvajanje u akceleratoru**.

Npr. **Al- folija** će se **zarolati** u okruglu kuglicu, **PE** se **formira** u ljuske, **PS** u **čips**, a **PVC** u **kocke**.

Ovim postupkom dolazi **do razdvajanja pod utjecajem velike brzine rotiranja**, tj. centrifugalne sile koja različito oblikuje materijale različite gustoće.

Daljnje **razdvajanje** tako dobivenih različitih oblika provodi se **kombinacijom** struje zraka i razdvajanje po obliku

- prosijavanjem ili
- flotacijom, suhim ili mokri postupkom.
- dobiju se vrlo čite frakcije materijala
- od 90 do 97%



Građa elektrovodiča

- Energetski kabeli izvode se s: 1, 2, 3, 4 ili 5 vodiča
- Materijal za izradu vodiča: bakar (Cu) ili aluminij (Al)
- Oblik presjeka može biti: okrugli, sektorski, cijevni (ili šuplji)

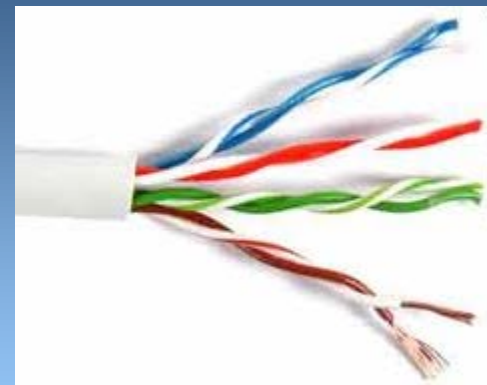
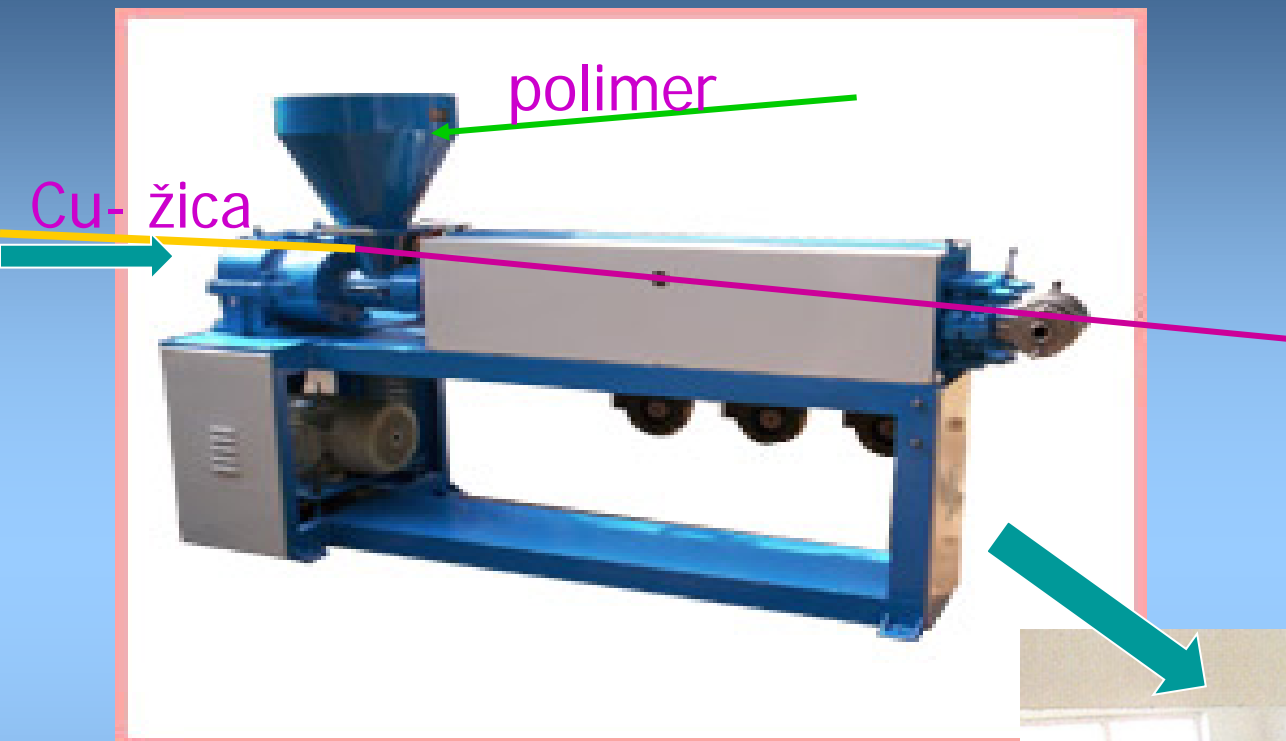
Kao izolacija kabela upotrebljavaju se:

- Termoplastični materijali (PVC, HDPE)
- Elastomeri (umjetne i prirodne gume)



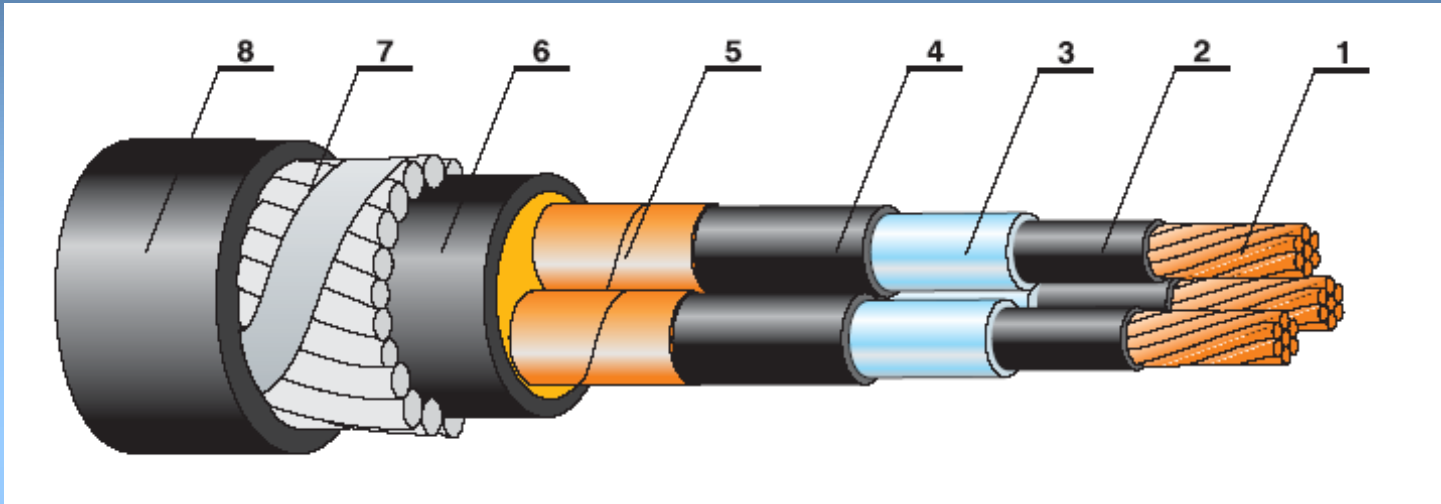
Sektorski oblik presjeka vodiča

Ekstruder za nanošenje kabelaške izolacije



Linija za kontinuiranu vulkanizaciju XLPE

Konstrukcija:



Opis konstrukcije:

1. Vodič: bakreno ili aluminijsko uže, zbijeno

2. Ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču

3. Izolacija: XLPE

4. Ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji

5. Električna zaštita/ekran: od bakrene trake

6. Unutrašnji plašt + ispuna: PVC

7. Armatura: od čelične pocinčane okrugle žice i zavojnica od poc. čelične trake

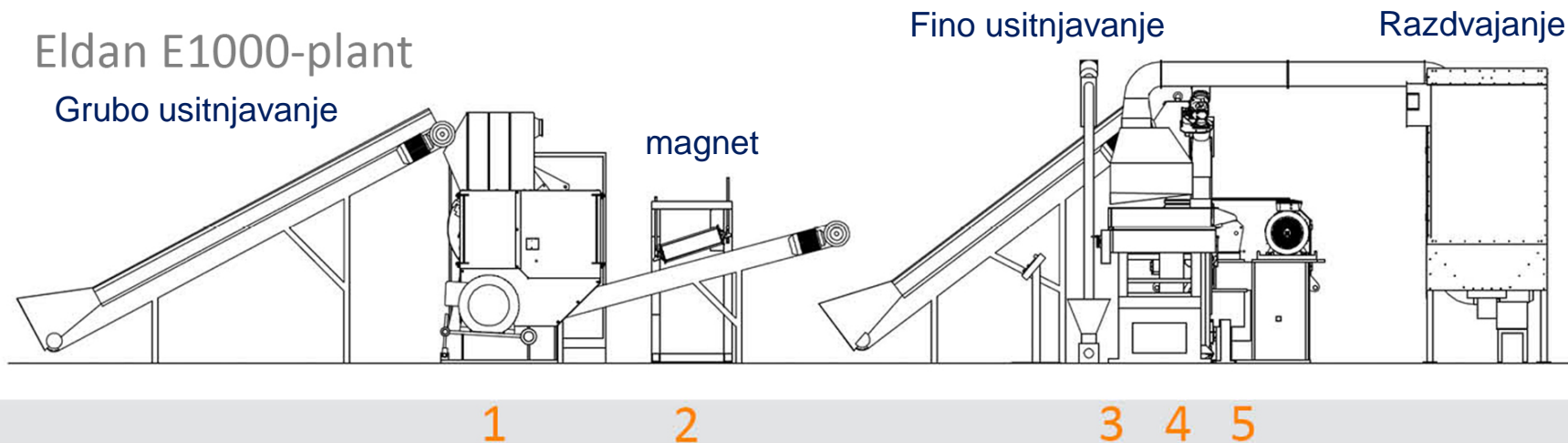
8. Vanjski plašt: PVC

Postrojenje za recikliranje energetskih kabela

mehaničko recikliranje kablenskog otpada je ekonomski isplativ i po okoliš bezopasan način zbrinjavanja otpada.

Izdvajaju se vrijedne sirovine: bakar, aluminij, čelik i polimeri

ELDAN Cable Granulation & Separation Systems - the possibilities are numerous
Linija za recikliranje električnih kabela, ELDAN - Danska



1. Rasper, 2. Overband Magnet, 3. Fine Granulator (behind 5), 4. Silo (behind 5), 5. Separation Table

Dijelovi postrojenja – Usitnjavanje kabela



Šreder

Dijelovi postrojenja – Grubo granuliranje



Grubi granulator

Dijelovi postrojenja

– Izdvajanje čelične armature



Trakasti elektromagnet



Čelična žica
(kabelska armatura)

Dijelovi postrojenja – Fino granuliranje

Dijelovi postrojenja – razdvajanje laka/teška frakcija



Fino granulator



Zračni separator

Dijelovi postrojenja – sortiranje Al od Cu granula



Optička sortirka **LED tehnologije** - TITECH, Njemačka

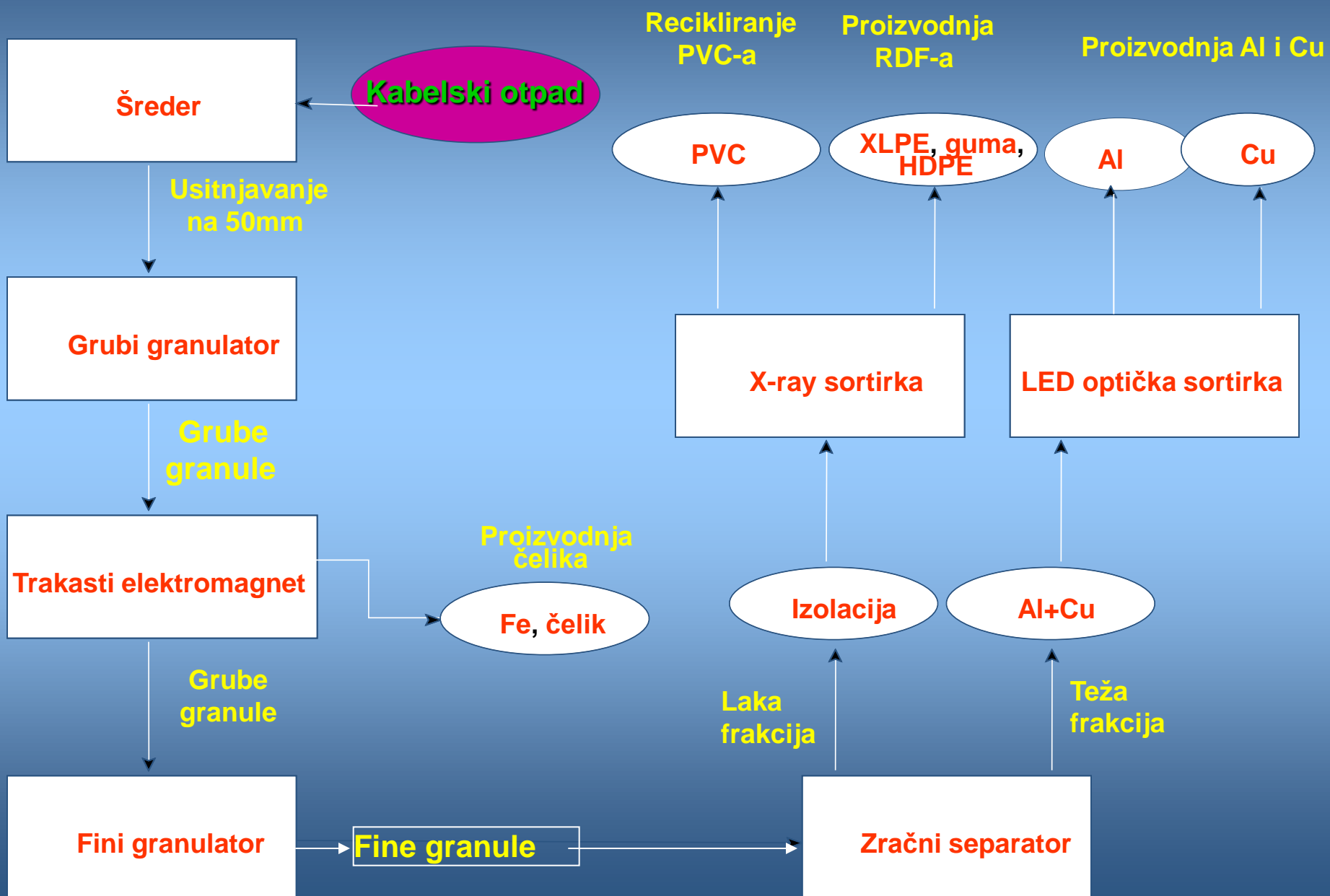
Dijelovi postrojenja

– Izdvajanje **PVC-a** iz smjese polimernih granula



Sortirka **X-Ray tehnologije** - TITECH, Njemačka

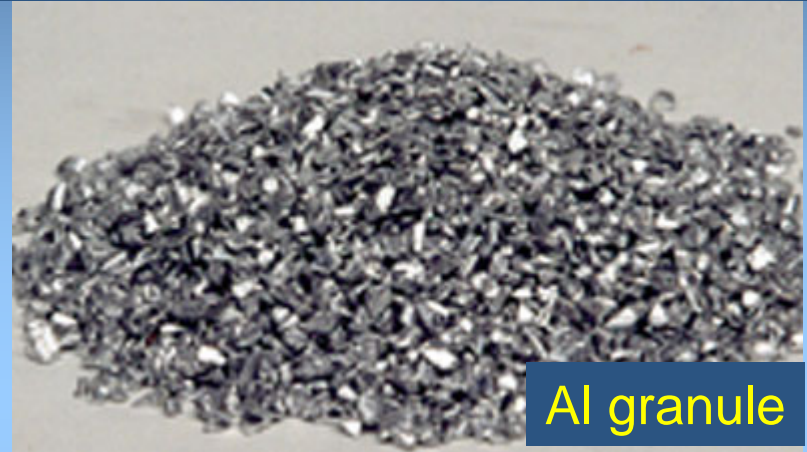
Dijagram toka procesa recikliranja kabelskog otpada (kapacitet 40 t/dan)



Izgled **izdvojenih frakcija** materijala nakon izlaska iz procesa recikliranja kabela:



Cu granule



Al granule

Izdvojene frakcije su – **sekundarna sirovina** - oporabljeni materijal, visoke čistoće, koji se dalje koristi u primarnoj proizvodnji (metali) ili slijedi postupak recikliranja polimera.



Mljevenac plastike

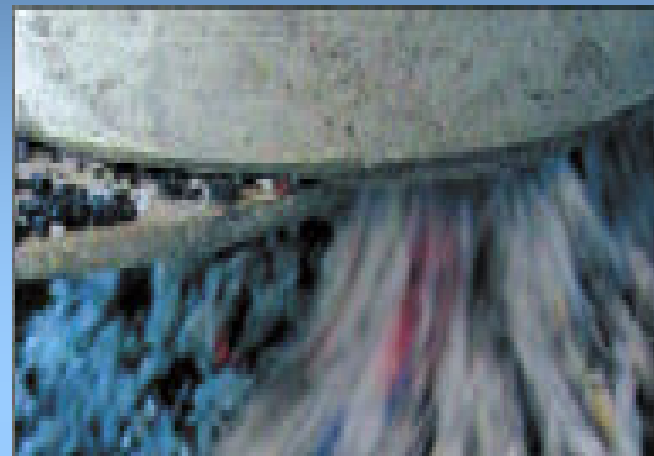
PRIMJER ODVAJANJA **PP** IZ OLOVNO-KISELIH BATERIJA

- Svaki olovni **akumulator** ima **plašt izrađen od PP** što zapravo čini **3%** ukupne mase akumulatora.
- Nakon odvajanja i granuliranja dobiva se **PP** čija je **čistoća 95%**.
- PP se iz olovnih akumulatora odvaja postupkom separacije plastike.

- Prikaz postrojenja za odvajanje PP iz odpadnih akumulatora



postrojenje za razdvajanje



reciklirani granulati PP



- skladišni prostor za PP

DOBIVANJE RECIKLIRANOG POLIPROPILENA U POSTROJENJU ZA RECIKLAŽU OLOVNIH AKUMULATORA

- PP koji se izdvaja prilikom postupka razdvajanja akumulatora **dodatno se pere i suši** te potom transportira u posebno skladište.
- Tako pripremljen granulat **veličine granula cca. 1 cm** odlazi na daljnju preradu tj. **ekstrudiranje**.
-
- Tijekom ekstrudiranja **polipropilen se tali, pročisti se filtriranjem da se dobiva zadovoljavajuća kvaliteta ekstrudiranog materijala.**
- Za dobivanje željene boje granulata dodaju se boje.

- **Konačni proizvod** je polipropilenska sirovina, tj. **reciklirani PP crne ili sive boje** koji se koristi za proizvodnju različitih **polipropilenskih proizvoda**.
- Prema izračunima **iz 25.000 tona otpadnih akumulatora** dobiva se cca 750 tona PP čistoće 95%.
- Prihvatljiv način zbrinjavanja PP je i **kemijsko recikliranje kao i energetski opravak**.

Proces zgušćivanja i zbijanja - povećanje gustoće

Plastični otpad: **filmovi**, tekstilna vlakna i **spužve** jako su **voluminozni** moraju se **zgnusnuti** da bi se preveli u granule.

Gustoća ovih materijala je – 40 kg/m^3 , potrebno ih je prevesti u materijal gustoće od 400 kg/m^3 .

Procesi **aglomeriranja** podrazumijevaju

- **zagrijavanje** polimera do **točke mekšanja**, ali
- **ne do točke taljenja**

Ovaj postupak **zgušćivanja** se **primjenjuje** kada nije moguć proces **zbijanja tlačanjem**. Ovim postupkom moguć je postupak **razdvajanja** na principu temp. mekšanja.

Prednosti **aglomeriranja** i **zbijanja** **plastičnih otpada** su:

- ❖ smanjenje **prostora skladištenja** kod prikupljanja
- ❖ **značajno smanjenje troškova transporta**
- ❖ **poboljšanje svojstava tečenja**
- ❖ **nema prašine.**

Tri su osnovna principa na osnovu kojih se povećava gustoća plastičnog otpada:

- Zgušćivanjem
- Zbijanjem
- Trešnjom

Zgušćivanje

Voluminozna plastika;

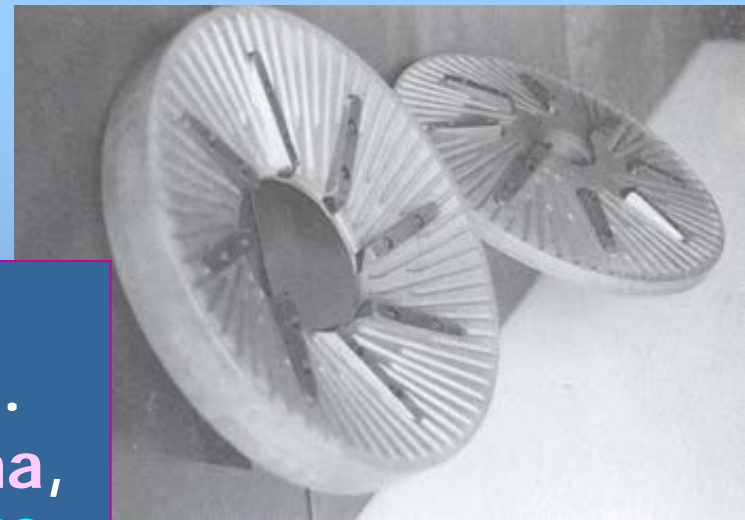
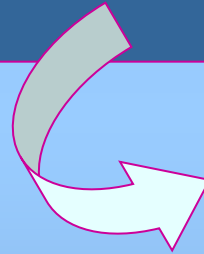
- tanki poliolefinski filmovi,
- PP i poliamidna vlakna,
- PP vrpce, PS ili PE pjene

mogu se zbijati zgušćivanjem pri blago povišenim temp., tako da ih se provede smične diskove (friction disk compaunder) pa onda u granule pomoću kompaudera

Mikser-kompaunder (MWK plasticoder)

Pretvara polimer u **slobodno lebdeće visoko zgušćene granule** pritom se plastika blago zagrije, što omogućuje njezino **zbijanje**, a ne dolazi do termičke degradacije.

Nastaje zbijena plastika u obliku diskova



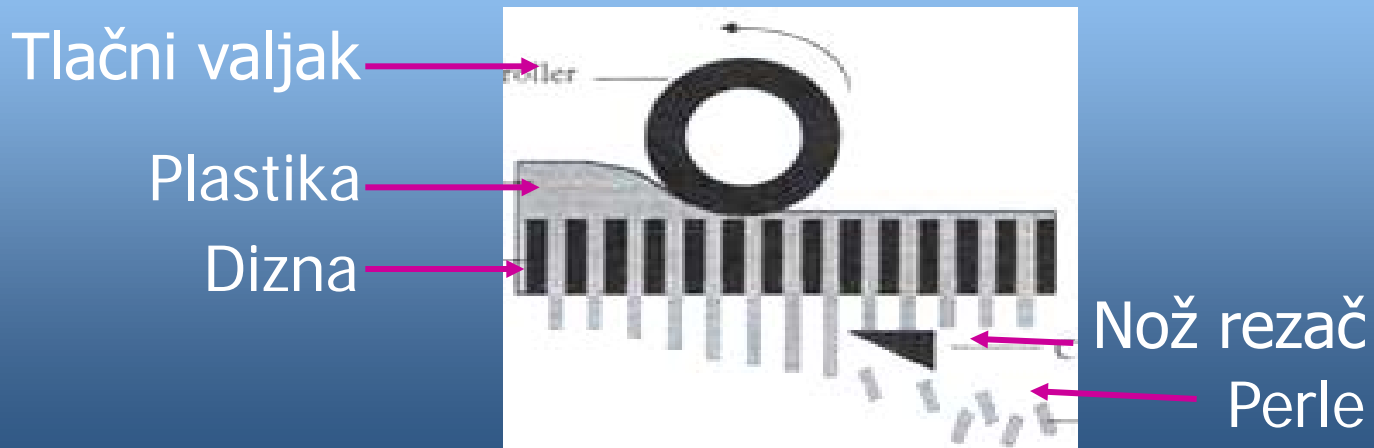
Tako zgušćeni diskovi dalje se usitnjavaju sjeckanjem u **granule**. Na taj način se zgušćuju **PP vlakna**, **poliesterski filmovi**, **PS pjene** i **PVC filmovi**.

Zbijanje

Zbijanje podrazumijva **tlačenje materijala** do te mjere da nastaje stabiln i **čvrst materijal**.

Prvi korak ovog postupka je da se **polimerni otpad stavlja u prešu s više dizni** i zatim se ta preša **uključi i tlači plastiku koja zbijena i izlazi kroz dizne u obliku štapića** (špagete) koji se potom nožem režu i dobiju se granule / perle.

Na ovaj način se zbija PU pjene (spužve).



Mljevenje u prah

Mljevenjem se **čisti / homogeni** plastični otpad prevodi u prah.

Praškasti materijal karakterizira:

- ❖ **odlično taljenje**
- ❖ **visoka gustoća**
- ❖ **uska raspodjela veličine čestica**
- ❖ **homogen sastav**

Mlinovi za prah kao što su **pin-mill** i **disk-mill** koriste se za usitnjavanje polimera **osjetljivih na toplinu**, a nastale veličine čestica praha manje su **od 50 μm** .

-mljeveni prah se **direktno preša u plahte –folije kao u slučaju PVC-a i UHDPE-a** dakle mehanički se reciklira taljenjem jer se dobiva gotov proizvod, folije

- mljeveni prah koristi se i kao punilo za druge plastične proizvode, što također predstavlja mehaničko recikliranje, bez taljenja.

Takvi **mlinovi** su idealni za **mljevenje** polimera kao što su:

- poliolefini, poliamidi, poliesteri, poliuretani, kruti i fleksibilni PVC.

Mljevenje u prah je korisna tehnologija za **uklanjanje nečistoća iz plastike**, kada to nije moguće konvencionalnim tehnikama.

Nedostatak ovog postupka je u tome što se **mlin često pregrijava** uslijed frikcija pa se **prah tali** i zadržava na rubovima noževa što im **smanjuje efikasnost mljevenja-rezanja**.

FILTRIRANJE TALJEVINE

Većina naprednih procesa mehaničkog recikliranja uključuje filtriranje taljevine;

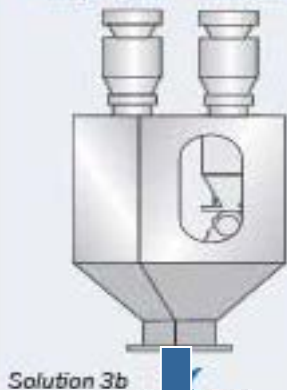
- da se uklone čestice onečišćenja,
- da se poveća kvaliteta recikliranog materijala.

Tehnika filtriranja taljevine za recikliranje plastike je preuzeta iz primarne industrije proizvodnje čistih polimera gdje se ona koristi da poboljša:

- miješanje,
- izdvajanje gela,
- dispergirane aglomerate i
- uklanjanje onečišćenja.

PE polimera

Base polymer Masterbatch



Ispredanje PE vlakana

- **gel-spinning procesom**, spinning je proces proizvodnje polimernih vlakana ekstruzijom.

Neophodno filtriranje taljevine u postupku proizvodnje.

