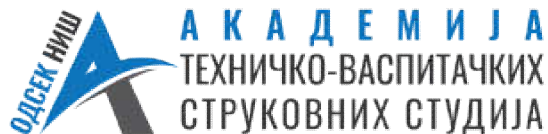


Školska 2022/23

Studijski program:
INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Osnovne strukovne studije



Predmet: **RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE**

Nastavnik: dr Boban Cvetanović

Saradnik: Natalija Petrović

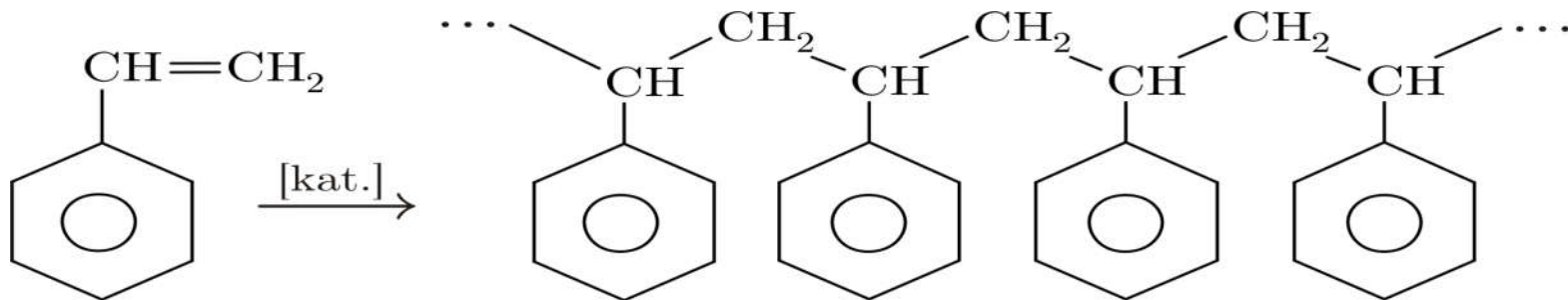


RECIKLAŽA PLASTIKE

Predavanje 10

Šta je PLASTIKA?

- Plastika je materijal koji se ne može naći u prirodi.
- Stvara se hemijskim procesom **polimerizacije**.
- Polimerizacija je hemijska reakcija kojom se molekuli nekog jednostavnog spoja (monomera) međusobno spajaju tako da nastane spoj (polimer) istog sastava, ali veće molekulske težine.



- Polimeri su dugi lanci molekula sastavljeni od manjih ponavljajućih delova.
- Ovi delovi su obično kombinacija ugljenika i vodonika.
- Drugi elementi poput kiseonika, hlora, fluora, silicijuma, fosfora i sumpora takođe se mogu dodavati u molekularne lance polimera kako bi se uticalo na njihova svojstva.

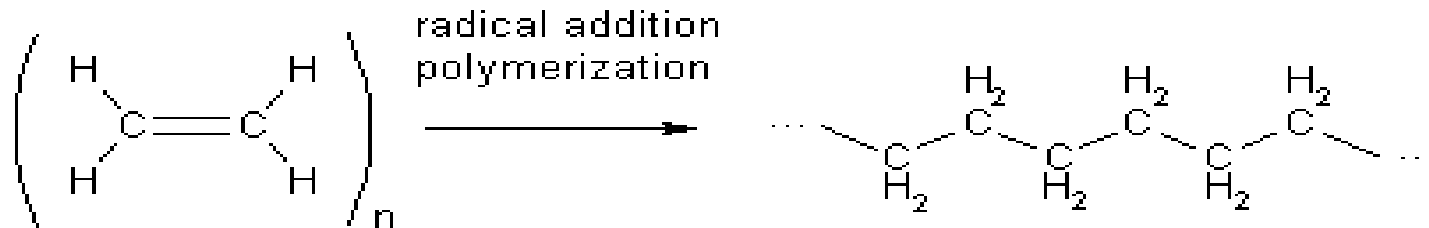


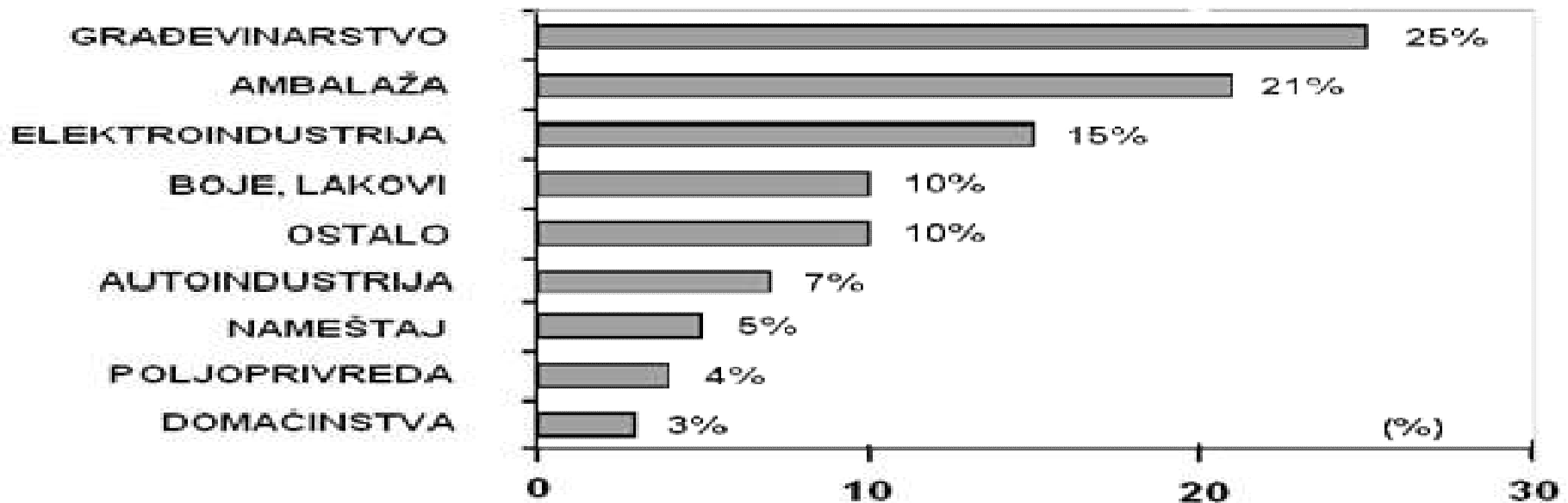
Fig 1: The polymerisation of ethene into poly(ethene)

- Plastika je lagana što je korisno kod transporta (jedan od razloga zašto je plastična potisnula staklenu ambalažu)
- Ona je i izdržljiva, otporna na rasprskavanje i vlagu, a može se reciklirati
- Sa druge strane, plastika **sadrži opasne hemikalije** kao što su: kadmijum, olovo, PVC i drugi polutanti u formama veštačkih boja, stabilizatora idr.



Primena plastike

Kako su se tehnologije za dobijanje plastike razvijale, ona je postala praktično univerzalni materijal koji uspešno zamenjuje neke druge materijale istih ili nižih upotrebnih karakteristika, ali znatno više cene. Postala je, praktično, nezamenljiv material u raznim granama industrije



Označavanje plastičnih masa



“DOBRA” plastika
2,4,5



“LOŠA” plastika
1,3,6,7

oznaka	engleski naziv	srpski naziv	karakteristika	upotreba
1-PETE	polyethylene terephthalate	polietilen tereftalat	Ima veliku čvrstinu, a opet prilično je otporan na pucanje. Ima staklastu providnost.	Najčešće se prave boce za različite vrste napitaka.
2-HDPE	high density polyethylene	polietilen velike gustine	Za ovu plastiku se smatra da je najmanje verovatno da ispušta hemikalije u hranu i vodu.	Koristi se za kontejnere gde se čuva hrana, ali i gorivo.
3-PVC	polyvinyl chloride	polivinilhlorid	Ima dobra mehanička, ali ne i termička svojstva (nije otporna na toplotu).	Često se koristi za pravljenje boca.
4-LDPE	low density polyethilen	polietilen male gustine	Ne ispušta hemikalije u vodu.	Od nje se prave plastične kese za namirnice.
5-PP	polypropylen	polipropilen	Obično je bela plastika ili poluprovidna.	Od nje se prave čaše za mlečne proizvode (jogurt).
6-PS	polystyrene	polistiren	Dobar je toplotni izolator.	Koristi se za čaše za tople napitke koje kupujemo i nosimo sa sobom.
7-PC	polycarbonate (other)	polikarbonat (druga oznaka znači „ostalo“)	Najlošija plastika za prehrambene proizvode jer su neki ogledi pokazali da ima uticaja na procese u organizmu.	Koristi se za izradu CD i DVD, kao i laboratorijskih zaštitnih naočara.

PLASTIČNA AMBALAŽA (PET)

Staklena ambalaža više od 100 godina bila je odlično rešenje za čuvanje tečnosti.

Međutim, moderno doba zahteva jeftiniju ambalažu, koja se lako transportuje i većeg je volumena.

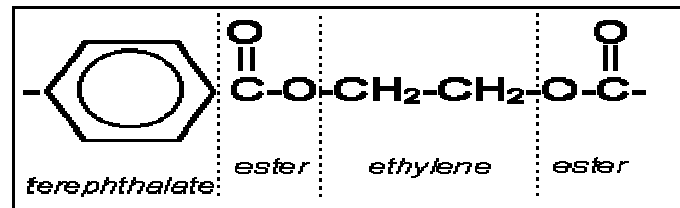
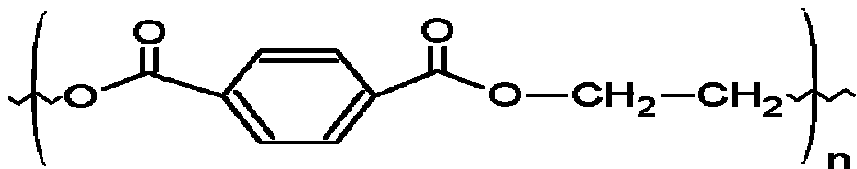
To je dovelo do razvoja plastične ambalaže.

Jedna od najpoznatijih vrsta plastike koja se svakodnevno koristi u domaćinstvu je *polietilen tereftalat* ili PET (često se označava i PETE).

Polietilen tereftalat je termoplastični polimer iz grupe poliestera koji se koristi u proizvodnji različitih vrsta ambalaža.

To je jak, ali lagan polimer koji se sastoji od dugih lanaca ponavljajućih jedinica koje sadrže ugljenik, kiseonik i vodonik.

Povećanjem molekularne mase, koja se obično kreće od 100-200, poboljšavaju se svojstva ovog polimera



Strukturna formula PET-a

Osobine PET plastike



PET materijal je nelomljiv, otporan za mehanička oštećenja,
izdržljiv i otporan na vlagu

Pogodan je za dizajniranje i dekoriranje i zato popularan kao
ambalažni materijal raznih proizvođača

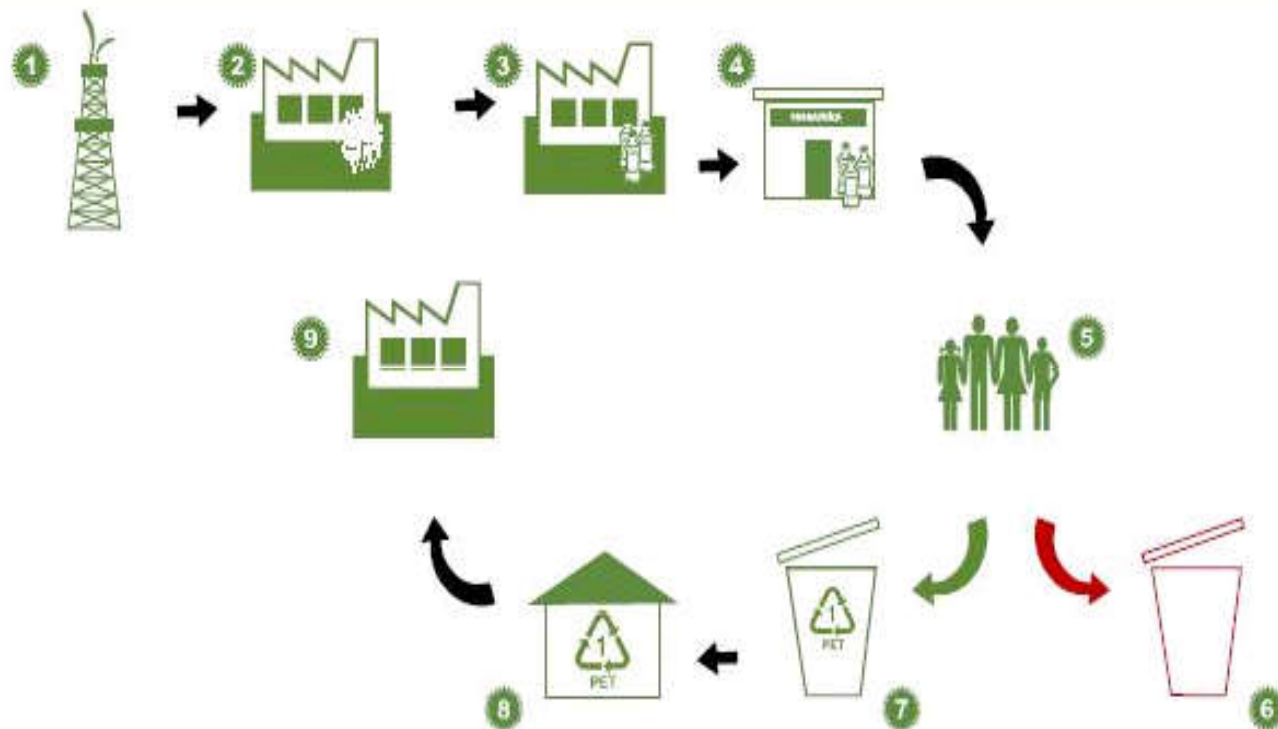
Uz to je lagan, pa tako PET boca zapremnine 1.5 l teži samo 35g.

Nakon što mu se smanji volumen, PET deponovan na otpadu je
stabilan, inertan i bez rizika od proceđivanja i zagađenja
podzemnih voda. Zbog te stabilnosti, PET ambalaža i ostali
plastični materijali se razgrađuju od 100 do 1000 godina.



- U Republici Srbiji plastična ambalaža čini 8% kućnog otpada.
- U svetu se godišnje proizvede gotovo 1,7 milijardi novih PET boca.
 - PET ambalažu je moguće reciklirati u proizvodnji nove ambalaže, odeće, vlakana i izolacije.
- Zaprljana plastična ambalaža koja se ne može reciklirati, može se kontrolisano spaljivati u cilju dobijanja energije.

Životni ciklus PET boce



- 1 Sirova nafta
- 2 Proizvođač granulata i predformi
- 3 Proizvođač proizvoda koji se pune u PET ambalažu
- 4 Prodavnice
- 5 Potrošač
- 6 Kanta za đubre (obična)
- 7 Kanta za reciklirani PET
- 8 Reciklažni centar
- 9 Fabrika (za proizvodnju novih proizvoda)

Od prerađenog PET-a se dobijaju sintetička vlakna (poliester) koja imaju široku primenu u izradi odeće, tepiha, kofera, torbi, kao i drugih upotrebnih predmeta. Reciklirani PET se koristi za dobijanje plastične ambalaže proizvoda za kućnu hemiju, voće, kutija za CD itd.

Proizvodnja PET-a

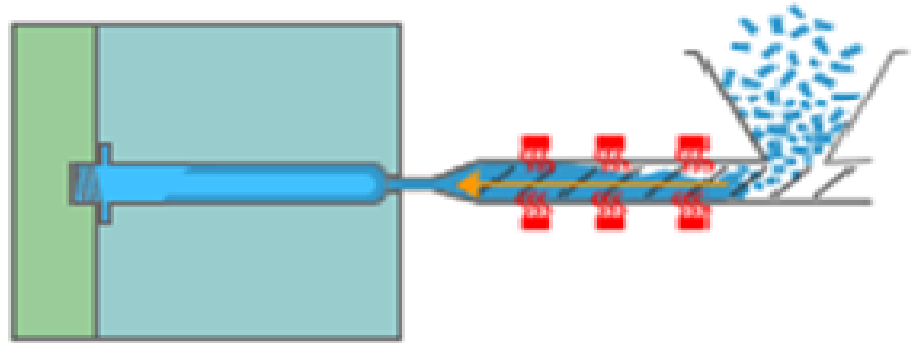
Proizvodi se postupkom polikondenzacije od približno ekvivalentne količine etilenglikola (koji se dobija iz nafte ili zemnog gasa) i tereftalne kiseline .

Dobija se u obliku granulata iz koga se odgovarajućim postupcima dobijaju boce, folije ili vlakna.

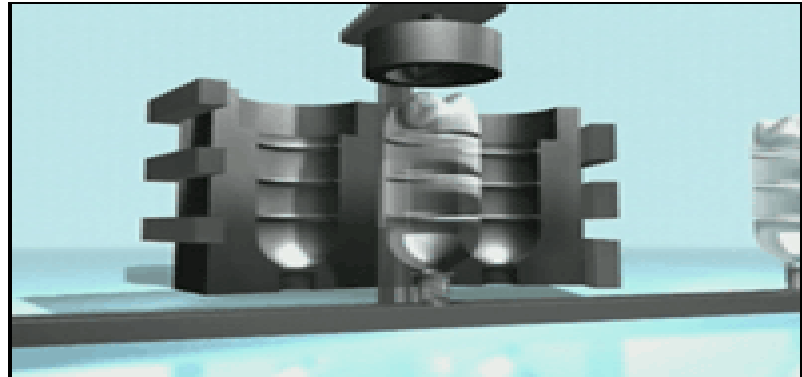
PET plastika je 100% produkt sirove nafte ili prirodnog gasa.

Prema industrijskim podacima, za dobijanje 1 kg ovog materijala potrebno je 1,9kg sirove nafte.

PET u obliku granulata se prvo topi i ubrizgava u odgovarajući kalup gde se dobija predforma.



Drugi korak proizvodnje boce je proces koji se naziva „duvanje ambalaže”



Na tržištu je dostupna: bezbojna, plava, zelena i braon PET ambalaža.

Izvanredna fizička i hemijska svojstva, kao i velika mogućnost modifikacije doprinose sve većoj upotrebi ovog materijala na stranom i domaćem tržištu .

Danas se proizvodi 20 puta više plastike nego pre 50 godina, a potrošnja raste 4% godišnje, u Evropi

Trend porasta potrošnje PET-a se beleži i kod nas.

RECIKLAŽA AMBALAŽNE PLASTIKE

Postupak reciklaže je prioritetan metod u upravljanju čvrstim otpadom.

Recikliranjem se smanjuje količina otpada koja se mora sanitarno deponovati.

Tri su glavna razloga zašto recikliranje plastičnog otpada nije doživelo pun zamah kao drugi materijali:

1. Plastika sadrži **različite polimere** koji su obično međusobno inkompatibilni i zato se moraju **razdvajati pre ponovnog korišćenja**. Proces odvajanja zahteva sofisticirane tehnike da bi se postigli čisti, potpuno odvojeni polimeri, što je relativno **skupo**.
2. Zbog male težine, plastični otpad je teško sakupljati u isplativim količinama.
3. Plastični otpad, kao i ostali otpadi, **sklon je zagađenju**. Mnogi polimeri apsorbuju zagađivače, pa je često vrlo teško ponovo uspostaviti njihovo prvobitno stanje. Zato se izbegava korišćenje obnovljenog plastičnog otpada u aplikacijama za prehrambene proizvode.

AKTIVNOSTI U PROCESU RECIKLIRANJA PET-a

- **Prikupljanje:** izdvajanje materijala pogodnih za recikliranje iz generalnog toka otpada.
- **Prerada:** od otpadnog dobija se novi materijal korišćenjem neke poznate tehnologije i postrojenja.
- **Proizvodnja:** obuhvata dobijanje istih ili različitih proizvoda od materijala dobijenog procesom prerade
- **Prodaja:** tržište ima svoje zakone ponude i potražnje koji zavise od razlika u ceni i kvalitetu između novih i recikliranih materijala. Ukoliko za recikliranim materijalima ne postoji potreba na tržištu, do recikliranja neće ni doći.

PRIKUPLJANJE PET PLASTIČNE AMBALAŽE

Plastični otpad koji se nađe u čvrstom komunalnom otpadu je zaprljan i pomešan sa ostalim vrstama materijala

Izdvajanje korisnih plastičnih materijala iz otpada može se organizovati na dva načina:

- od strane samih građana (u domaćinstvima, školama, trgovinama, neproizvodnim preduzećima, na ulicama...)
- centralizovanim sistemom prikupljanja u posebnim postrojenjima - fabrikama sa kompletnim tehnološkim linijama.

Postoji pet glavnih najčešće korišćenih načina prikupljanja PET otpada:

- ***Bottle Bills*** je zakonski propisani način sakupljanja plastičnog otpada od strane države (sistem depozita)
- Metod **kaucije**
- **Sakupljanje plastičnog otpada sa trotoara (*curbside collection*).**
- **Centri za odlaganje (*drop-off*).**
- **Centri za otkup (*buy-back centers*).**

Presortiranje i baliranje PET ambalaže

Posle prikupljanja u centrima za predaju ili otkup koji se nalaze u naseljima, PET materijal se prevozi do privremenog centra za pretovar tzv. **transferna stanica** ili odmah do **reciklažnog centra** na *pre-sortiranje* i *baliranje* pre nego što se pošalje proizvođaču reciklata na konačnu preradu u nove proizvode

Da bi se recikliranjem dobile visoko kvalitetne plastične mase, trebalo bi prerađivati samo istovrsne plastične materijale. Kvalitetnim primarnim presortiranjem postižu velike ekonomske uštede u narednim tehnološkim koracima.

Prikupljene PET boce mogu se presortirati:

- Ručnim odvajanjem boca koje nisu PET i drugog nepoželjnog otpada iz toka materijala na pokretnim trakama. Radnici na liniji na osnovu izgleda prepoznaju i uklanjaju otpad koji nije za preradu.
- Automatizovanim linijama opremljenim X-ray ili NIR detektorima, čija je namena prepoznavanje plastičnih boca koje nisu od PET materijala i njihovo uklanjanje iz toka otpada. Instaliranje ovakvih linija je skupo ali se za kapacitete sortiranja od 1 t/h dobija ušteda od oko 25% energije. Automatske linije već duže vremena se praktično koriste u SAD, Francuskoj, Nemačkoj, UK, Italiji i Švajcarskoj

Nakon primarnog sortiranja, PET otpad koji zbog svojih fizičkih karakteristika zauzima veliku zapreminu u odnosu na svoju težinu, šalje se u presu za baliranje

Izbor specifične opreme za baliranje zavisi od vrste programa reciklaže, budžeta i tehničkih karakteristika instaliranog postrojenja za recikliranje PET otpada

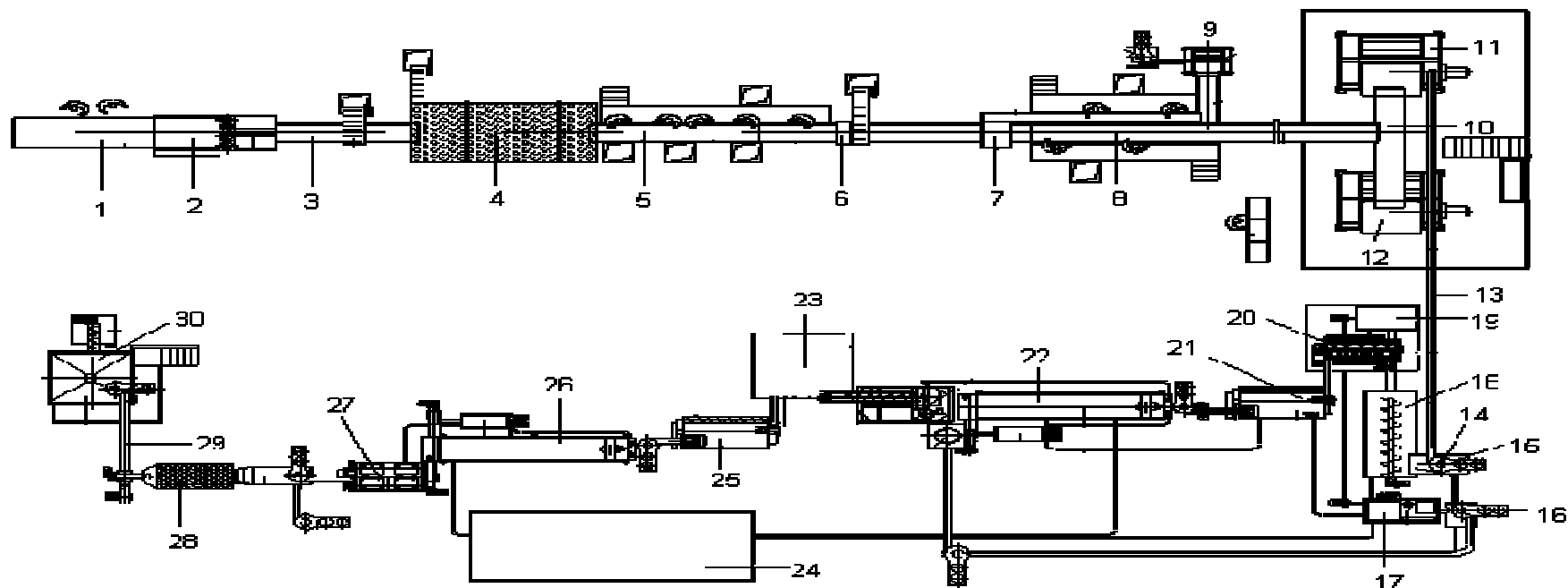
Balirani PET otpad se viljuškarima sa prese odvozi u zatvorene magacine ili na otvorena skladišta i spreman je za transport do reciklera.

PET bale bi trebalo skladirati u zatvorenom, suvom i čistom prostoru sa ograničenim dejstvom sunčeve svetlosti koja može izazvati tzv. *UV degradaciju* plastike. Ukoliko ne postoje uslovi za takvo odlaganje, balirani materijal treba pokrivanjem zaštititi od dejstva svetlosti.

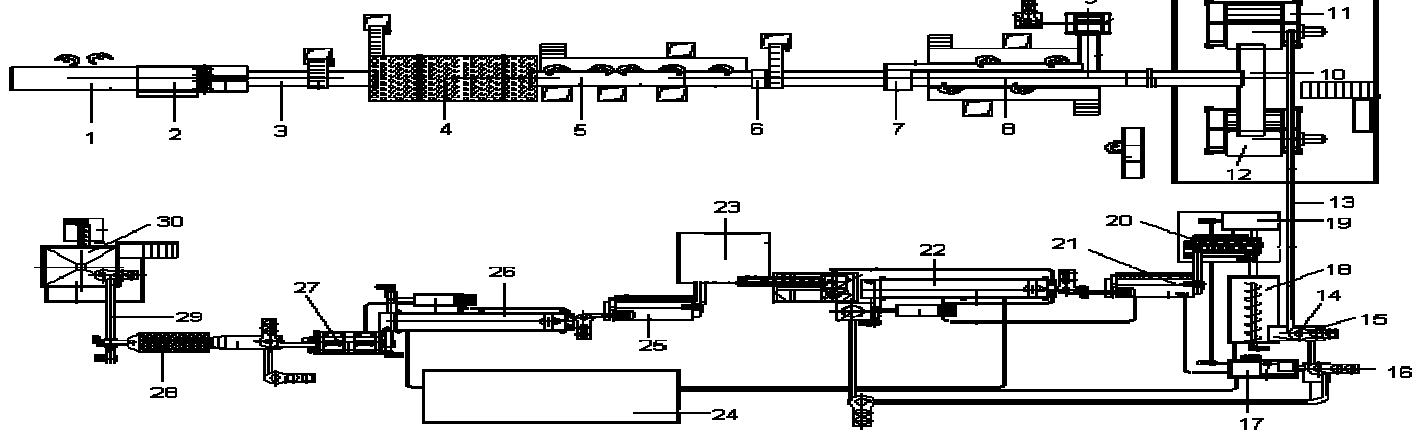
PRERADA PET AMBALAŽE

Sa aspekta inženjerske konstrukcije procesnih uređaja, PET otpad posmatra se kao polazna inženjerska sirovina, dok finalni produkt (granulat) mora imati precizirane karakteristike da bi se dalje koristio.

Počinje se od gomile otpada pokupljenog sa ulica, sakupljačkih stanica i deponija, a granulat koji bi trebalo da dobijemo mora biti 100% (oko 99,99995% ili 50 ppm) očišćen od ostalog otpada, jer samo takav granulat može se koristiti u ponovnoj proizvodnji PET boca



Linija za reciklažu PET otpada



1. Pokretna traka	16. Dozer
2. Razbijač bala	17. Uređaj za predpranje (wash-dryer)
3. Pokretna traka	18. Rezervoar za flotaciju
4. Rotaciono sito	19. Hidrociklon
5. Sortirna pokretna traka	20. Atriciona mešalica
6. Pokretna traka sa NIR uređajem	21. Agitator
7. X-ray separacija PVC plastike	22. Ispiranje i sušenje (rinse-dryer)
8. Traka za finalnu inpekciju	23. Magacin za ljuupe
9. Traka sa detektorom metala	24. Sistem za filtriranje
10. Traka za razvođenje do granulatora	25. Aglomerator
11. Granulator 1	26. Ekstruder
12. Granulator 2	27. Peletizator
13. Pneumatski transport	28. Vibrirajuća ploča
14. Separator nalepnica	29. Pneumatski transport
15. Separator	30. Magacin za granulat

Sortiranje

Otpadne balirane PET boce koje dolaze iz sakupljačkih centara dopremaju se na početak linije.

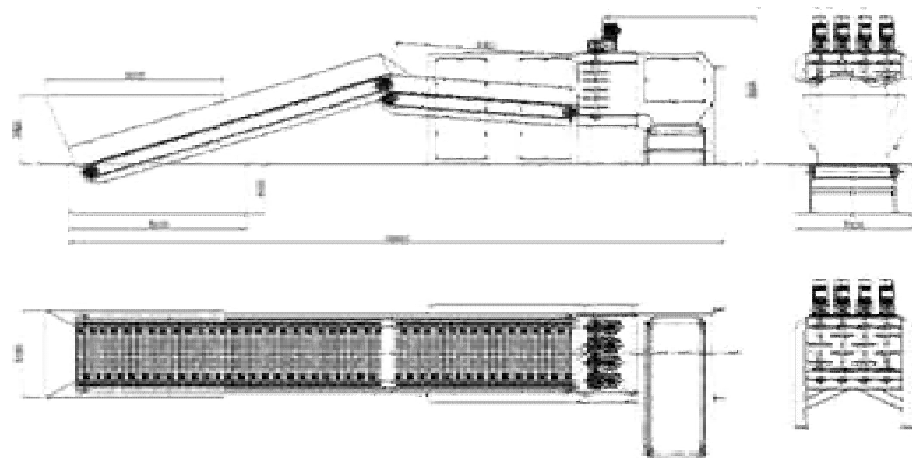
U takvom otpadu se normalno, uzimajući u obzir to odakle je sakupljen, nalaze PET boce 96-97%, providne, zelene, plave i drugih boja, PVC boce oko 1,5%, poneka HDPE boca, aluminijske limenke, a možda i neka staklena boca koja nije oštećena baliranjem.

Da bi se dobio kvalitetan, čist granulat, moraju se odstraniti sve primese i PET boce odvojiti od njih, za šta se koristi veoma složeni sistem za odvajanje.

Praktikuje se da pre baliranja postoji separacija nepoželjnih plastičnih materijala, jer svaka nečistoća i neistorodnost može napraviti zastoje u procesu i dovesti do neželjenog pada kvaliteta granulata

Razbijač bala

Prva mašina u liniji je razbijač bala, koji služi da otpakuje dopremljene presovane boce. Konstrukcija uređaja sastoji se iz pokretne trake za dopremanje presovanih bala do mosta na kome su postavljena 3-4 valjka za “grebanje” sa međusobno nezavisno, elektomotorno gonjenim vratilima.

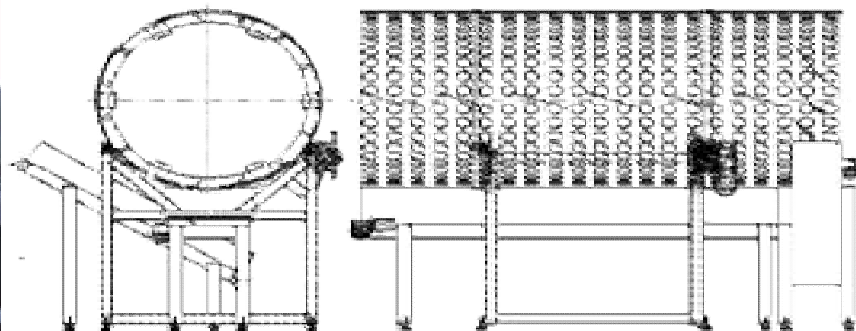


Mašina za razbijanje baliranog otpada (bales breaker)

Rotaciono sito

Rotaciona sita imaju veliki broj funkcija.

Prva od njih je odvajanje malih komadića stakla, kamena i sitnih PVC otpadaka nastalih raspadom ovih materijala na suncu.



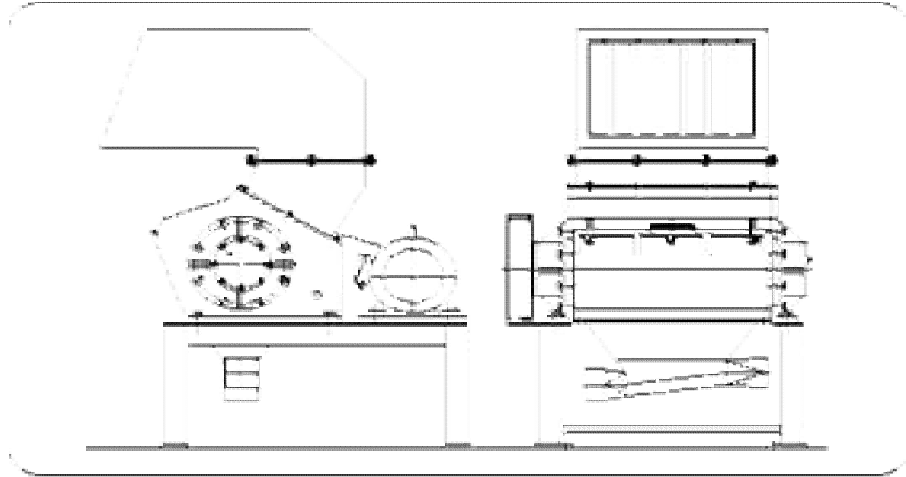
Granulacija

Granulacija je mlevenje PET otpada u granulatorima , da bi se dobili komadići plastike (ljuspe) veličine 6-12mm, što je standard.

Jedan je od osetljivijih delova procesa zbog konstruktivnih karakteristika samog granulatora čija se sečiva brzo habaju i traju veoma kratko, pa se češće moraju menjati. Noževi moraju biti oštri jer će u protivnom komadi materijala posle mlevenja imati nepravilno isečene i neravne ivice za koje se lepe nečistoće što kasnije otežava njihovo pranje u tankovima za flotaciju i separaciju.

Vrsta, dimenzije i kapacitet granulatora koji se koristi za mlevenje plastičnog otpada projektuju se na osnovu potreba linije.

Postoje dve vrste granulacije, mokra i suva, a razlikuju se po tipu upotrebljenog granulatora za mlevenje otpada.



U zavisnosti od upotrebljenog granulatora, postoje:

- **vodeni granulator**
- **suvi granulatori**

Pranje (PET flakes washing)

Kada je PET materijal odvojen od drugih tipova plastike, metala, većeg dela nalepnica i samleven, ide na liniju za



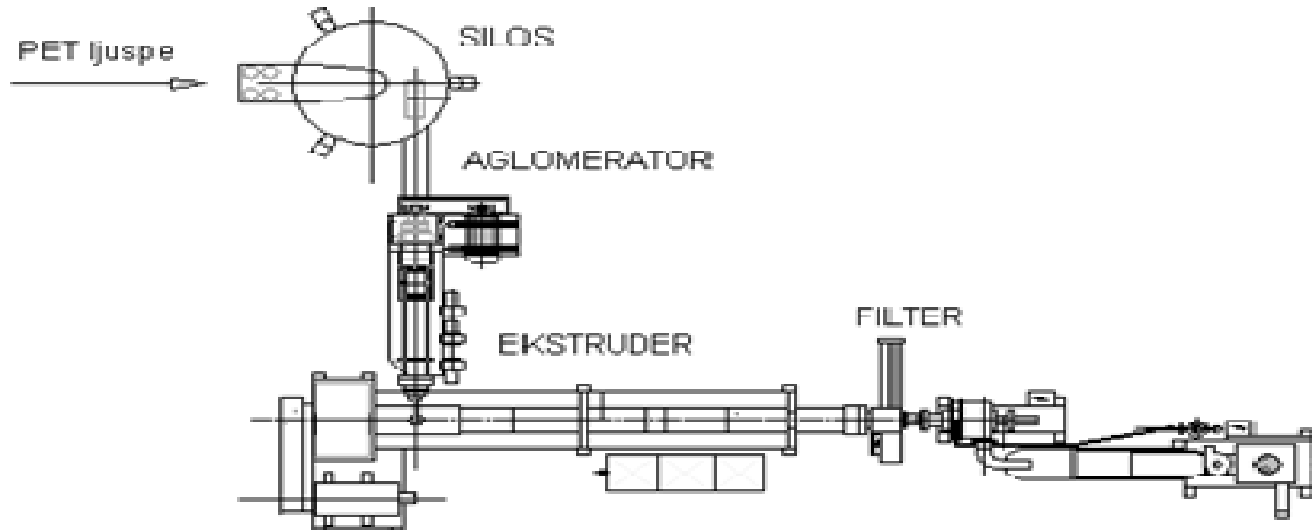
Linija ima različite elemente u zavisnosti od toga koliko čist granulat treba da se dobije na kraju procesa. Cena linije pri kupovini direktno zavisi od kvaliteta granulata. Većina proizvođača opreme za recikliranje PET-a ima u ponudi gotove linije za pranje ljuspi, a njihova konstrukcija zavisi od toga da li se dobijeni granulat koristi u proizvodnji vlakana, folija ili novih boca.

Najprostijom, smatra se linija za pranje mlevenih PET ljuspi koje se koriste u proizvodnji vlakana.

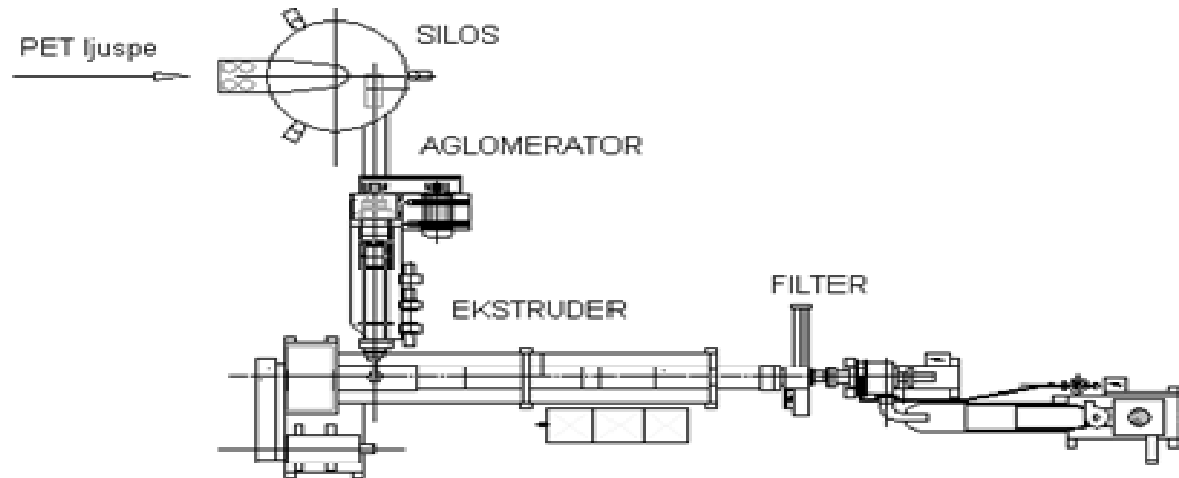
Složenija od nje je „bottle to bottle” linija kod koje se više pažnje poklanja pranju primarnog materijala jer od toga direktno zavise karakteristike finalnog granulata.

Peletiziranje

Peletiziranje je krajnji postupak na reciklažnoj liniji za dobijanje sirovih, amorfnih, providnih PET granula (pellets). Sastoji se iz termičkog i mehaničkog tretiranja čistih ljuspi koje smo dobili na izlazu sa linije za pranje .



PET ljupe prvo idu u aglomerator gde se fino melju, zatim se u ekstruderu zagrevaju do tačke topljenja, propuštaju kroz fino sito radi otklanjanja eventualnih mehaničkih primesa i na kraju izvlače u štapove koji se hlade i seku u cilindrične granule željenih dimezija. Kao rezultat dobija se pretopljena PET plastika koja služi kao sirovina za dalju preradu.



Prvi uređaj na liniji za paletiziranje je aglomerator, mlin koji služi da ljupe samelje u sitnije komade povećavajući pri tome nasipnu gustinu materijala do 500 kg/m³.

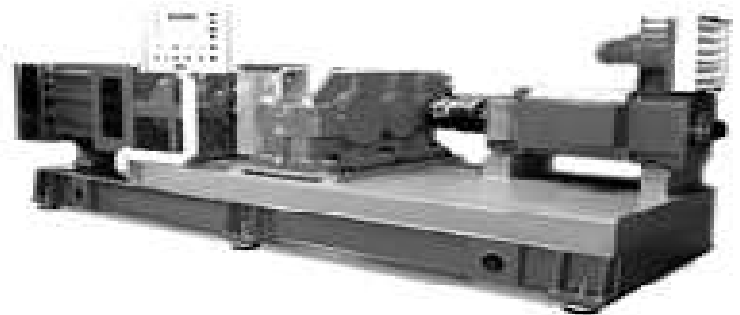
Ovim uređajem vrši se mehanička i delom termička priprema PET materijala da bi operacije u ekstruderu bile efikasnije.

Konstrukcija aglomeratora sastoji se iz cilindra sa noževima na dnu slično mlinu za mlevenje kafe.

Prilikom rada, usled trenja materijal se delimično zagreva i potpuno oslobađa i najmanjeg dela vlage u sebi, pa nije potrebna ugradnja dodatnih uređaja za sušenje.

Glavni nedostatak je velika potrošnja energije, buka i vibracije koje prate rad ove mašine.

Postoje dva tipa aglomeratora, sa šaržnim i kontinualnim punjenjem, odnosno sa periodičnim i kontinualnim radom



Sledeća i najvažnija mašina u delu linije za paletiziranje je ekstruder koji mora imati sistem ventila za odušak i ventilaciju, jaku vakuum pumpu koja bi trebala da izvuče sva isparenja, grejače koji će obezbediti temperaturu topljenja, kao i dobre karakteristike mešanja materijala prilikom topljenja.



Vitalni delovi ove mašine su: dugo spiralno vreteno prečnika 130-180 mm, koje rotira i perajima potiskuje istopljenu plastiku u kalup, uz istovremeno mešanje, i barel u koji su ugrađeni grejači za zagrevanje plastike do temperature topljenja.

Na linijama za peletiziranje plastike mogu biti instalirani ekstruderi sa jednim ili sa dva vretena.

UPOTREBA RECIKLIRANOG PET GRANULATA

Uspešnost sprovođenja celokupnog programa reciklaže PET otpada ne zavisi samo od prikupljanja i prerade već i od upotrebnih vrednosti dobijenog regranulata.

Od njegovog kvaliteta i čistoće, ali i potreba proizvođača plastike zavisi za koje će se proizvode kasnije koristiti kao polazna sirovina.



U odnosu na novi materijal, regranulat ima približna svojstva, ali oko 30% nižu cenu, pa je njegovo korišćenje u stalnoj ekspanziji što je rezultat upotrebe savremenih tehnologija u recikliranju plastičnog otpada

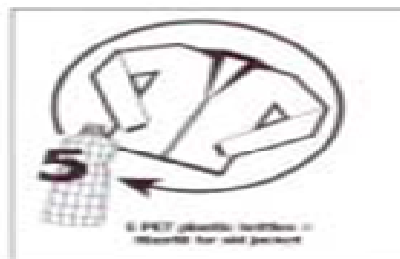
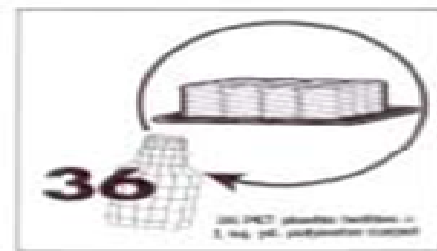
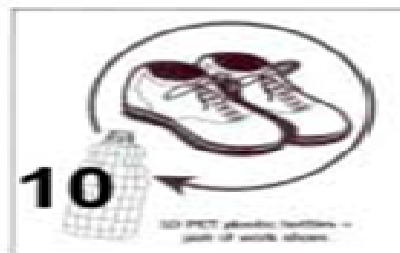


Postoji nekoliko kategorija proizvoda kod kojih se regranulat koristi kao bazna sirovina:

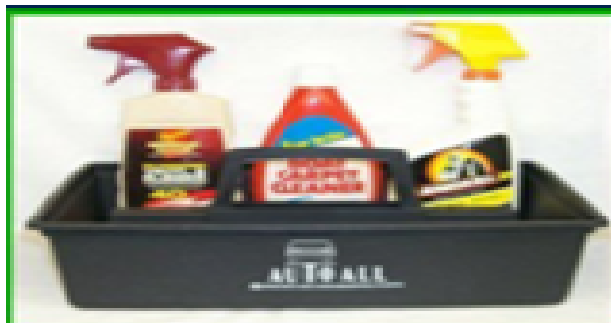
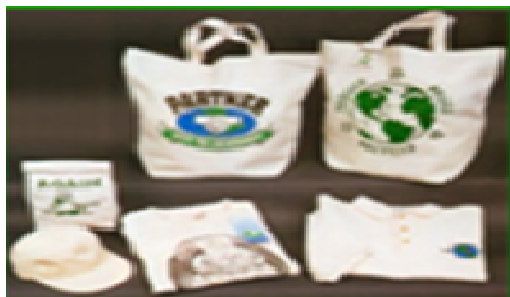
Vlakna – oko 70% reciklirane PET plastike u Evropi koristi se u proizvodnji poliesterskih vlakana za tekstilnu industriju. Dobijeni regranulat se topi i pod pritiskom izvlači u niti čija dužina i debljina zavisi od proizvoda u koji će biti ugrađeni.



Vlakna dužine 5-150 mm koriste se kao osnova pri tkanju tekstila, dok se vlakna veće dužine i neravnomerne debljine koriste kao materijal za punjenje vreća za spavanje, igračaka, zimske garderobe i nameštaja.



Pakovanja – granulat dobijen reciklažom PET otpada široko se koristi u izradi različitih vrsta ambalažnih pakovanja u svim granama industrije



Konstruktivni materijali – za primenu u građevinarstvu i autoindustriji.

Folije od regranulata su 40% jeftinije od novih aplikacija, a prepoznaju se po tamnijoj sivoj boji. Ostale mehaničke karakteristike izdržljivosti i postojanosti su iste pa se koriste se za izradu džakova, kesa za smeće i hidroizolacionu zaštitu.



ZAKLJUČAK

Proizvodi od plastike, kao jednog od „materijala budućnosti“, nakon isteka svog upotrebnog veka u mnogome doprinose opštem negativnom stanju životne sredine jer je proces razgradnje plastike od 200 do 500 godina, pa se kao takav veoma teško razgrađuje u prirodi.

Najveći napredak u razvoju PET reciklažnih tehnologija je tzv. „zatvaranje kruga“ tj. upotreba recikliranog PET granulata za proizvodnju novih boca.

U Srbiji reciklaža otpadnih materija nije u potpunosti zaživela, prvenstveno zbog nepostojanja zakonskih regulativa, vezanih za ovu vrstu otpada.

Edukacijom, izgradnjom infrastrukture za sakupljanje i reciklažu otpadnih materija, kao i donošenjem odgovarajućih zakona, po ugledu na ekonomski razvijenije zemlje, doprinelo bi opštem poboljšanju kvaliteta života u zemlji.

HVALA NA PAŽNJI!

