

"Oporaba plastičnih materijala i ekstrudiranje"



Program stručnog osposobljavanja



Prof. dr. sc. Mladen Šercer



Europska unija
"Zajedno do fondova EU"



EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDovi



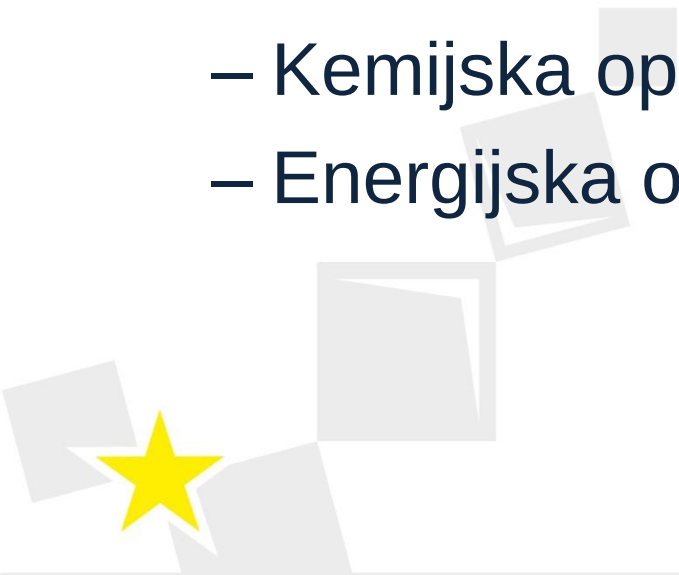
ESF
UČINKOVITI
LJUDSKI
POTENCIJALI

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.
Sadržaj ovog materijala isključiva je odgovornost Udruge VISOKI JABLANI.



Sadržaj

- Oporaba plastičnog otpada
 - Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom
 - Mehaničko recikliranje
 - Kemijska oporaba
 - Energijska oporaba



Vijek trajanja plastičnih proizvoda

Tvorevina	Vijek trajanja
• ambalaža za hranu • boce, spremnici • neki filmovi	kraće od dvije godine
• bijela tehnika • proizvodi za domaćinstvo • dijelovi automobila	od dvije do deset godina
• cijevi • konstrukcijski proizvodi (npr. profili od PVC-a, kableske izolacije)	dulje od deset godina



Plastika i zaštita okoliša

- Za široku javnost bitan kriterij izbora materijala je zaštita okoliša.
- Nakon uporabe plastični se proizvodi mogu **oporabiti** (ponovno upotrijebiti).
- Njihovim usitnjavanjem (mehaničko recikliranje) moguće ih je vratiti u proizvodni proces. To nije uvijek opravdano zbrinjavanje jer se troši ogromna količina energije za usitnjavanje.



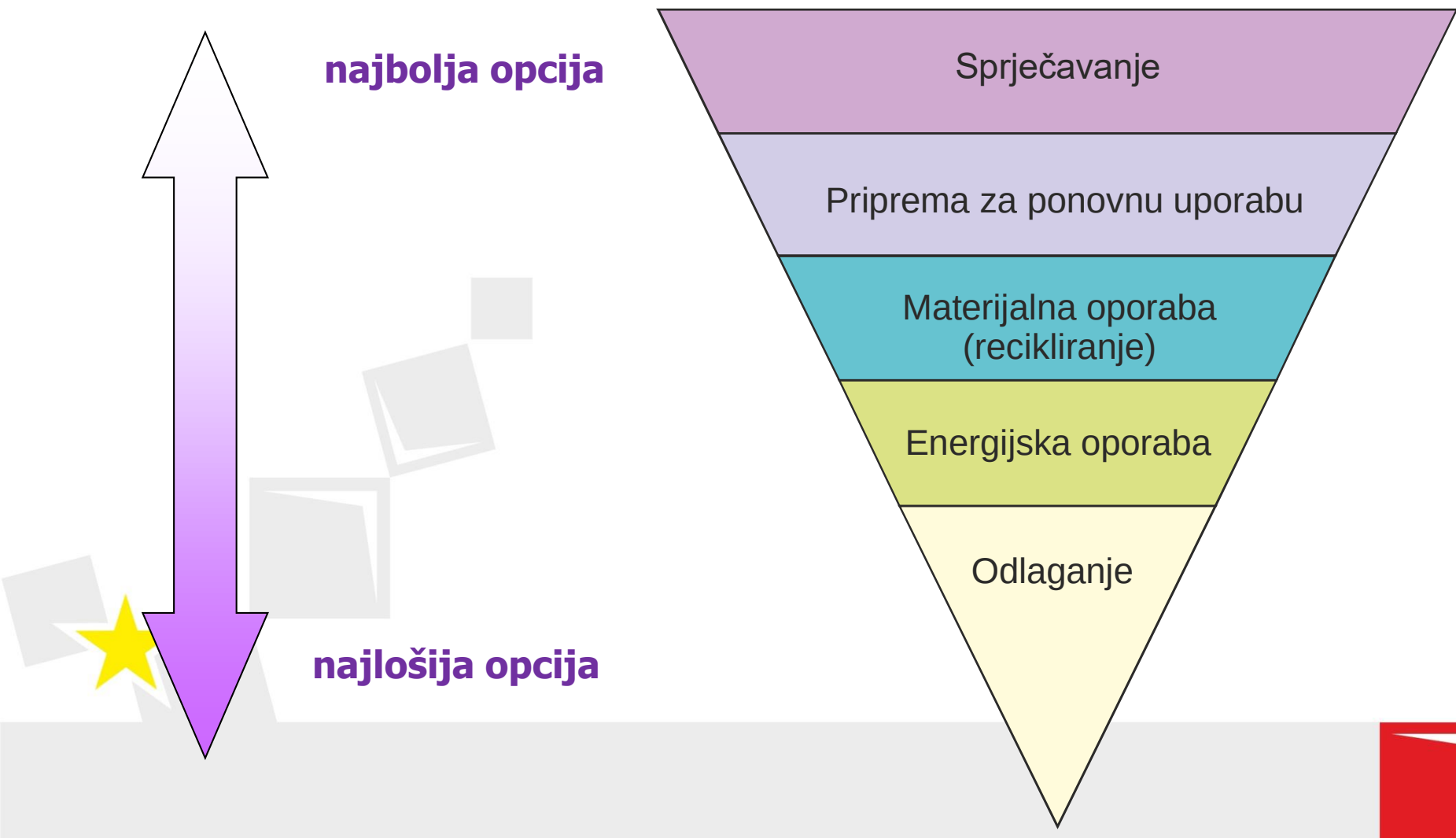
Pravni okvir EU

Direktiva o otpadu 2008/98/EC

- pravni okvir za zbrinjavanje otpada u EU
- svrha: zaštita okoliša i zdravlja ljudi kroz sprječavanje štetnih efekata nastajanja otpada kao i gospodarenja otpadom
- definira prioritete odnosno hijerarhiju postupanja s otpadom:
 - sprječavanje
 - priprema za ponovnu uporabu otpada
 - recikliranje
 - druge vrste oporabe, posebno energijska oporaba
 - odlaganje.



Opcije gospodarenja otpadom



Sprječavanje otpada

- Mjere koje se primjenjuju prije nego što proizvod postane otpad, a koje smanjuju:
 - količinu otpada ponovnom uporabom ili duljom uporabom proizvoda
 - štetan utjecaj otpada na ljudsko zdravlje i okoliš
 - sadržaj štetnih tvari u materijalima i proizvodima



Priprema za ponovnu uporabu

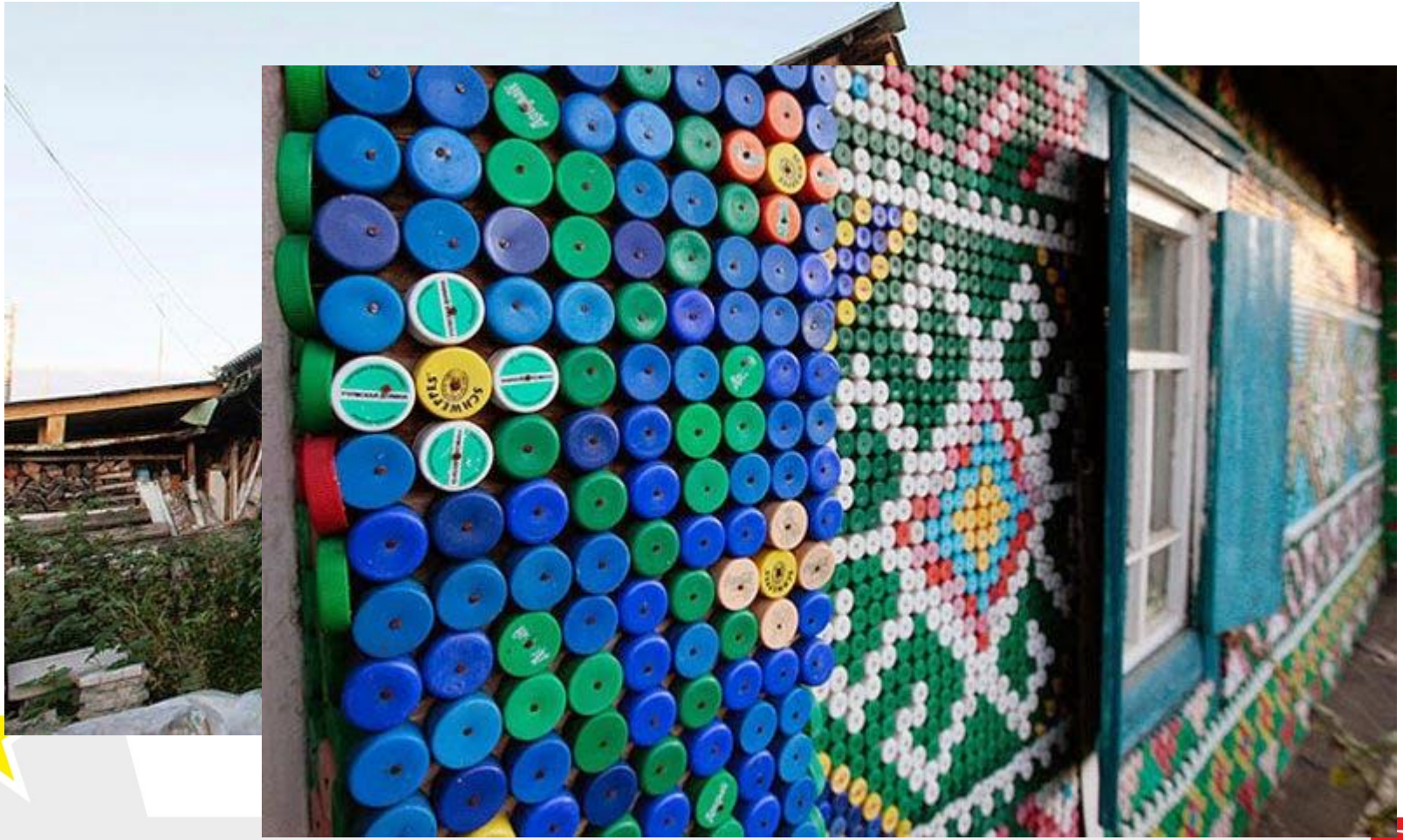
- proizvodi i materijali koji nisu otpad → ponovna uporaba za istu namjenu
- sakupljanje, čišćenje, popravak, obnova











Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom

- sadrži osnovna načela **izbjegavanja nastanka otpada**, **vrednovanja otpada** čiji se nastanak nije mogao izbjeći te **odlaganja otpada** koji se ne može drugačije iskoristiti.
- sustav obuhvaća razne materijale, otpad iz raznih izvora ili iz raznih područja primjene
- svrha: smanjenje na najmanju moguću mjeru nepovoljnog utjecaja otpada na okoliš zbog njegova napuštanja, odbacivanja ili nekontroliranog odlaganja → održivi razvoj



Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom

- **ekološka** održivost – smanjenje svih ekoloških opterećenja optimiranjem potrošnje resursa i stvaranja emisija
- **gospodarska** održivost – cjelokupni troškovi gospodarenja otpadom prihvatljivi za sve dijelove društva (kućanstva, privredu i državnu upravu)



Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom

- Nema sveukupno najboljeg postupka postupanja s otpadom → određeni postupak najbolji je za **određenu vrstu otpada**, ovisno o specifičnim okolišnim, ekonomskim i socijalnim uvjetima.
- Metoda procjene postupaka postupanja s otpadom – **LCA** (procjena životnog ciklusa otpada → od odbacivanja proizvoda do njegova zbrinjavanja, bilo putem energijske oporabe, recikliranja ili odlaganja) → izbor puta koji najmanje opterećuje okoliš → olakšavanje izbora metode gospodarenja otpadom.



Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom

- Izbor opcija za gospodarenje otpadom ovisi o:
 - karakteristikama otpada
 - djelotvornosti sakupljanja otpada i preradbe
 - dostupnosti i blizini tržišta za oporabljene proizvode
 - normama prema kojima su postrojenja za gospodarenje otpadom projektirana (emisije, itd.)
 - isplativosti zaštite okoliša ovisno o izboru opcije gospodarenja otpadom
 - socijalnim prioritetima zajednice.



Sprječavanje, ponovna uporaba, oporaba

Oporabljeni materijali

Kondicioniranje tla (kompost)

Biološka razgradnja

Biorazgradljivi materijali

Komunalni čvrsti otpad

Opasni otpad

Posebno zbrinjavanje

Odvojeno sakupljanje

Oporabljeni materijali

Izvoz ili prerada

Miješani otpad

Toplinska obrada

RFD (gorivo iz otpada)

MBO

Ostatci

Odlagalište

Ostatci

Oporaba i prodaja energije



Vrste otpada po mjestu nastanka

- **komunalni** - iz kućanstava, čišćenjem javnih površina, otpad sličan otpadu iz kućanstava koji nastaje u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima
- **industrijski** - nastaje u proizvodnim procesima u gospodarstvu, ustanovama i u uslužnim djelatnostima
- **ambalažni**
- **građevinski** - gradnja, održavanje i uklanjanje građevina
- **električki i elektronički**
- **otpadna vozila i gumeni pneumatici**



Vrste otpada po svojstvima

- **Opasni otpad** → sadrži tvari koje su: eksplozivne, reaktivne, zapaljive, nadražljive, štetne, toksične, infektivne, kancerogene, mutagene, teratogene, ekotoksične, posjeduju svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja, svojstvo otpuštanja otrovnih plinova kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom
- **Neopasni otpad** – otpad koji nema niti jedno od svojstava opasnog otpada
- **Inertni otpad** – neopasni otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama → netopljiv u vodi, nije goriv, niti na koji drugi način reaktivan, nije biorazgradljiv

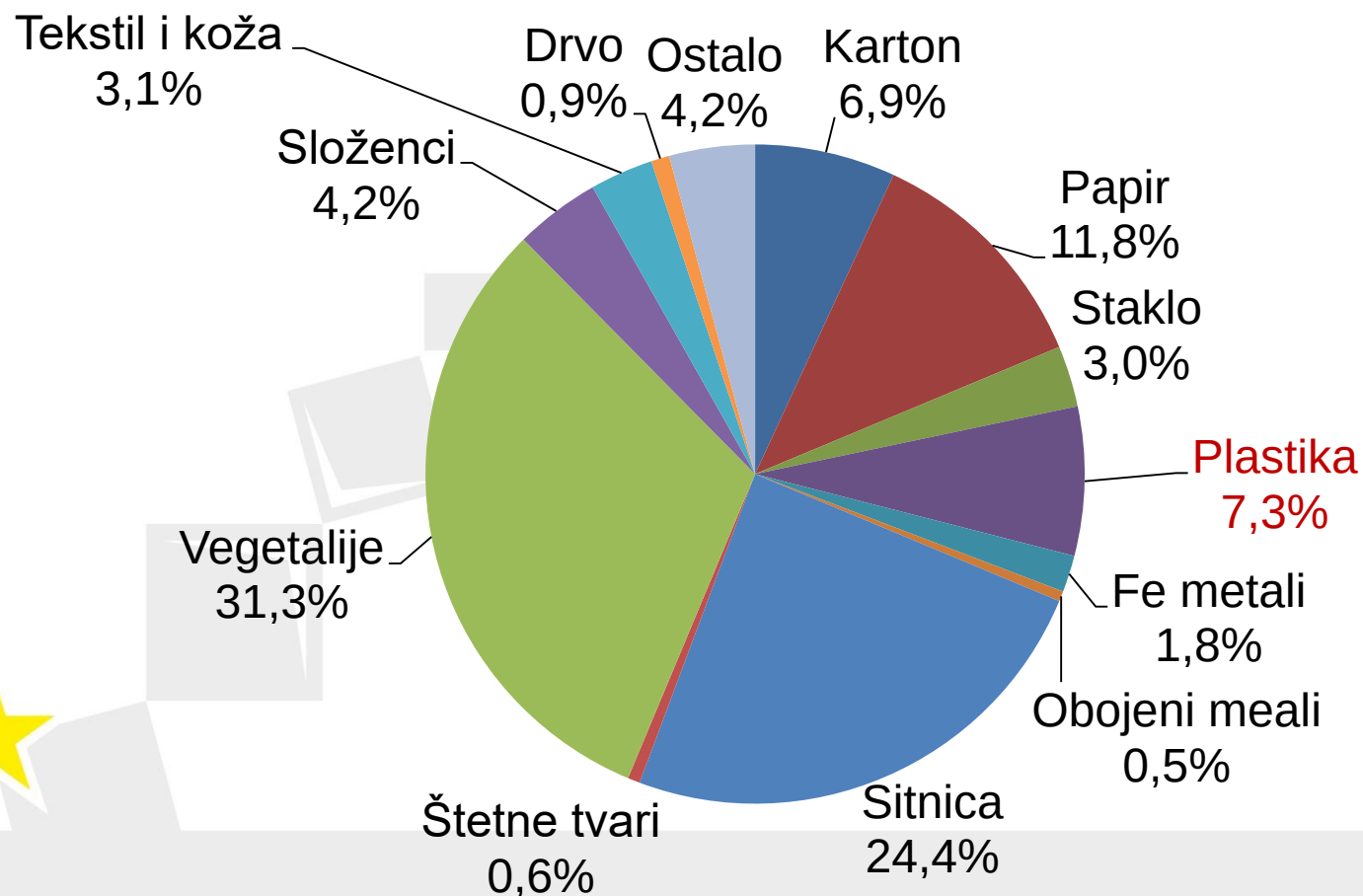


Sastav komunalnog otpada

- biootpad – biorazgradljivi ostaci tvari (kuhinjski otpad, vrtni otpad – otkosi trave, otpad s tržnica,...)
- papir i karton
- plastika
- staklo
- metali
- koža i tekstil
- elektronički otpad
- kućni opasni otpad - ostaci kemikalija zajedno s ambalažom (pesticidi, herbicidi, boje, lakovi, sredstva za čišćenje, otapala, ljepila), baterije, sprejevi, motorno ulje (filtri i ambalaža), ostatci lijekova, živini termometri, istrošeni akumulatori...
- krupni otpad - bijela tehnika, namještaj, automobili, automobilske pneumatici...



Analiza kućnog otpada grada Zagreba (1997.)



Mogućnosti postupanja s komunalnim otpadom

- **Odlaganje** neobrađenog otpada → bez predobrade ili uz vrlo malu predobradu. Biorazgradljivi dio KO → anaerobna razgradnja → metan → globalno zatopljanje.
- **Spaljivanje** s oporabom energije ili bez nje (samo el. energija ili kombinacija topline i el. energije), gorivo iz otpada (RFD), piroliza, rasplinjavanje...
- **Mehaničko-biološka obrada** – predobrada KO prije odlaganja → usitnjavanje, prosijavanje, kompostiranje → smanjenje biološke aktivnosti i nasipnog volumena. Dobiveni materijal – odlaganje ili pokrivanje i uređivanje odlagališta otpada → **NE** za poljoprivrednu proizvodnju. MBO prije odlaganja → smanjenje emisije metana.

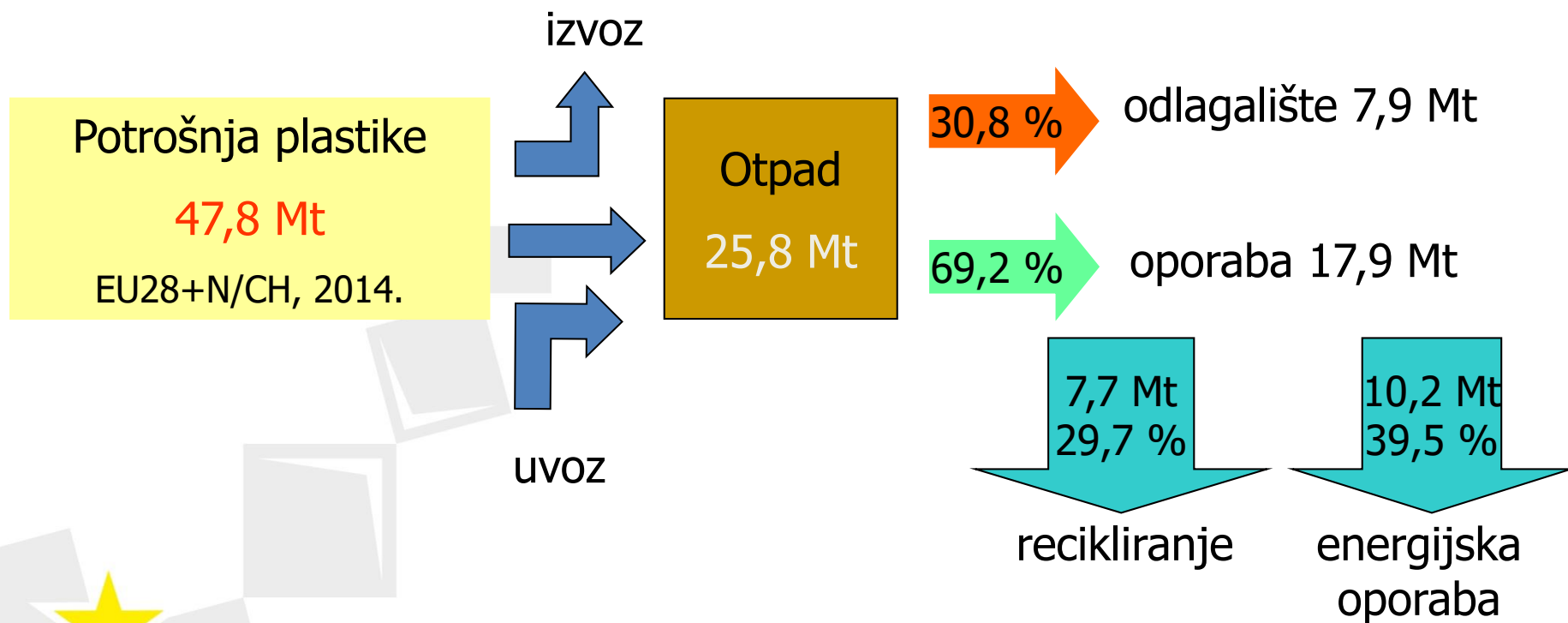


Mogućnosti postupanja s komunalnim otpadom

- **Kompostiranje** – biološka razgradnja vrtnog i kuhinjskog otpada dobre kvalitete → mikroorganizmi → CO_2 i H_2O + ostatak – humusna tvar → oplemenjivanje tla (gnojivo), **DA** za poljoprivrednu proizvodnju.
- **Anaerobna fermentacija** → kompost za primjenu u agrikulturi i hortikulturi. Otpad fermentira u anaerobnim uvjetima → bioplin bogat metanom → gorivo.
- **Recikliranje** – papir, staklo, metali, plastika, tekstil, otpadna elektronička oprema – odvajanje iz otpadnih tokova → preradba u sekundarnu sirovinu.



Gospodarenje plastičnim otpadom u EU 2014.

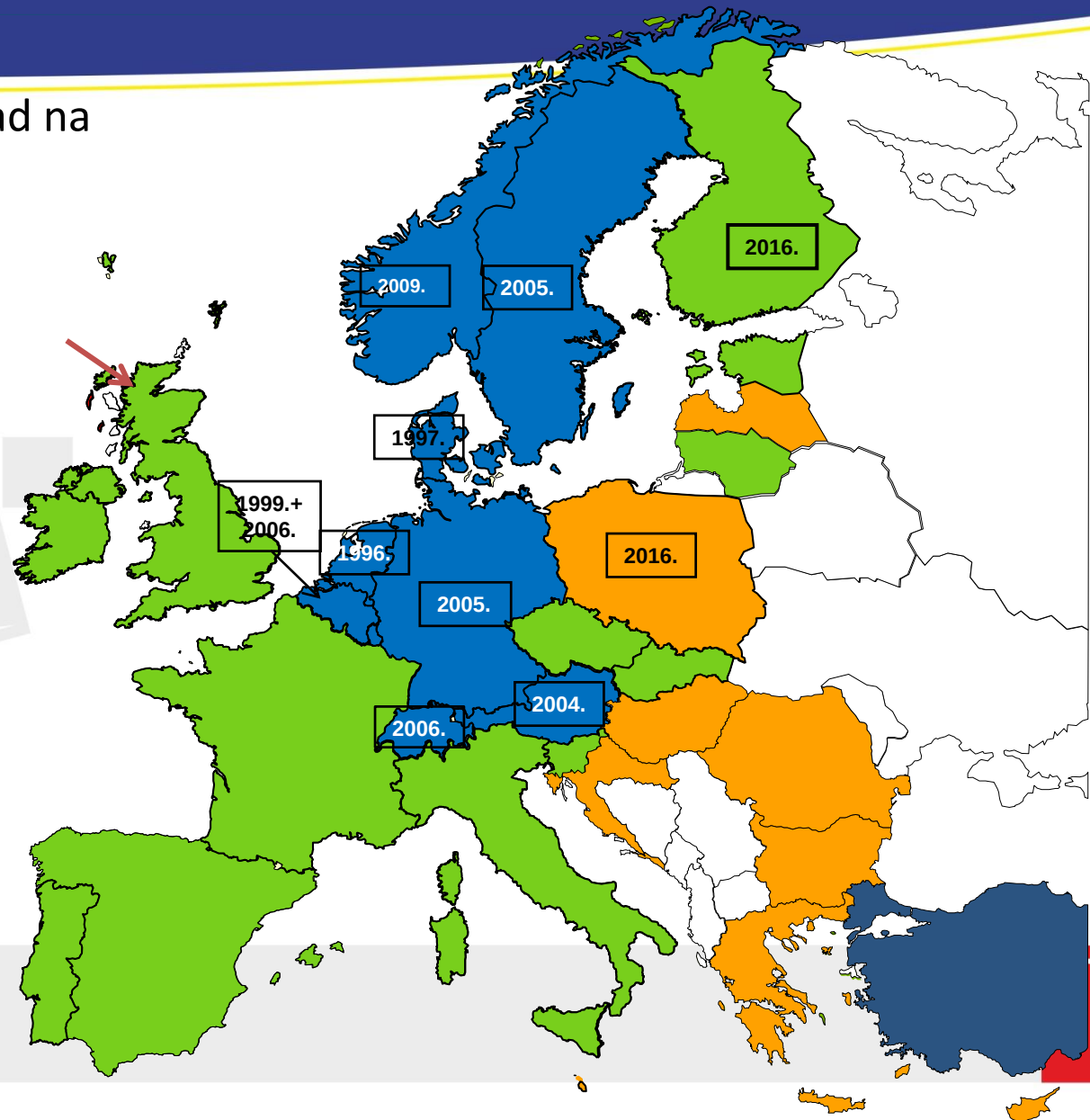


Izvor: PlasticsEurope

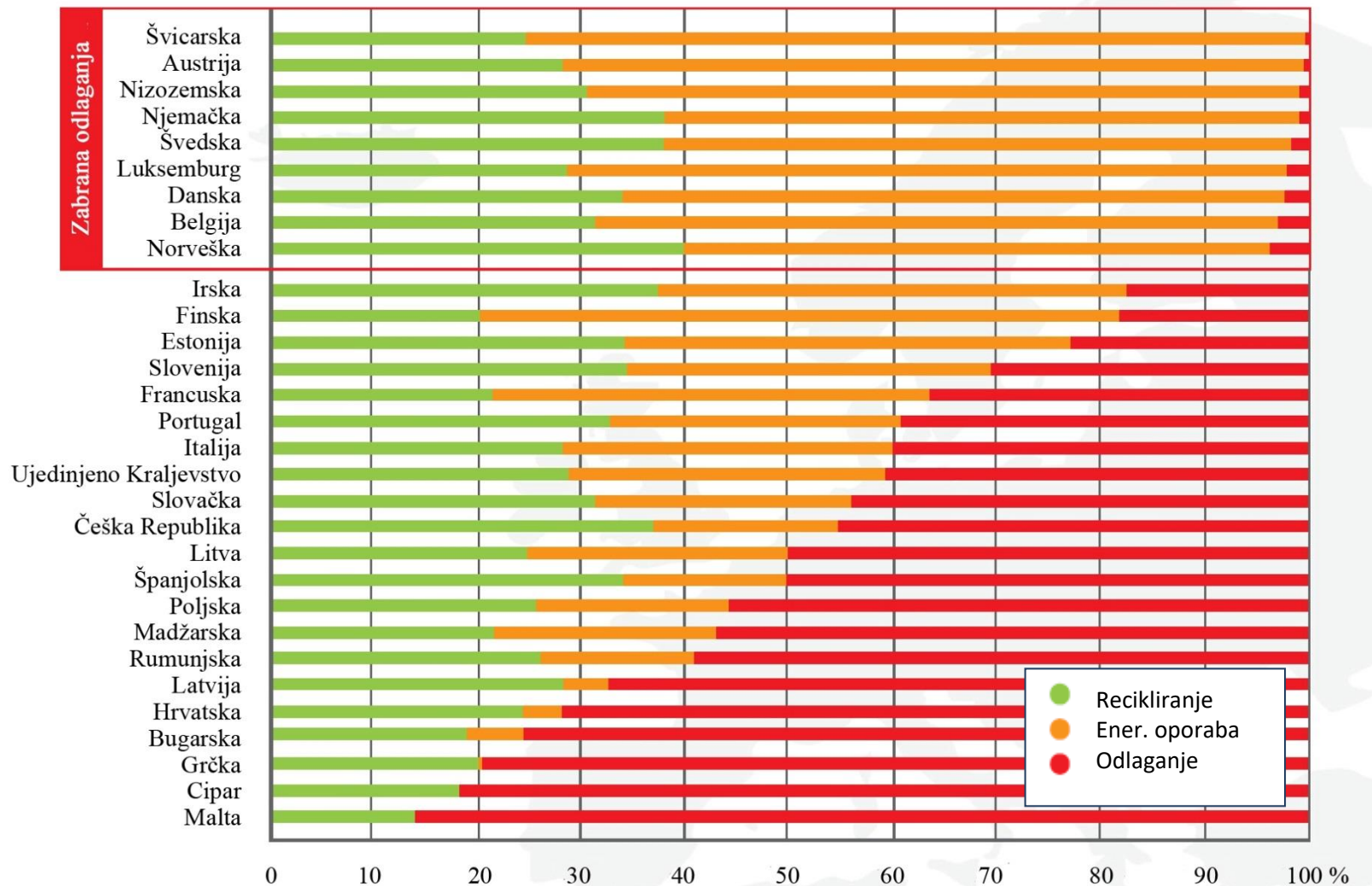




Datum uvođenja zabrane odlaganja



Gospodarenje plastičnim otpadom u EU, 2014.



Oporaba plastičnog otpada

- **materijalna oporaba** (mehaničko recikliranje, kemijska oporaba, organska ili biološka oporaba)
- **energijska oporaba** (dobivanje energije u obliku topline, pare ili el. energije iz plastičnog otpada ili goriva iz otpada)



Mehaničko recikliranje

- **Primarno recikliranje** čistoga plastičnog otpada radi ponovne preradbe (npr. recikliranje otpada s proizvodne linije)
- **Sekundarno recikliranje** uporabljenih proizvoda radi dobivanja plastike (homogene ili heterogene) za ponovnu preradbu.



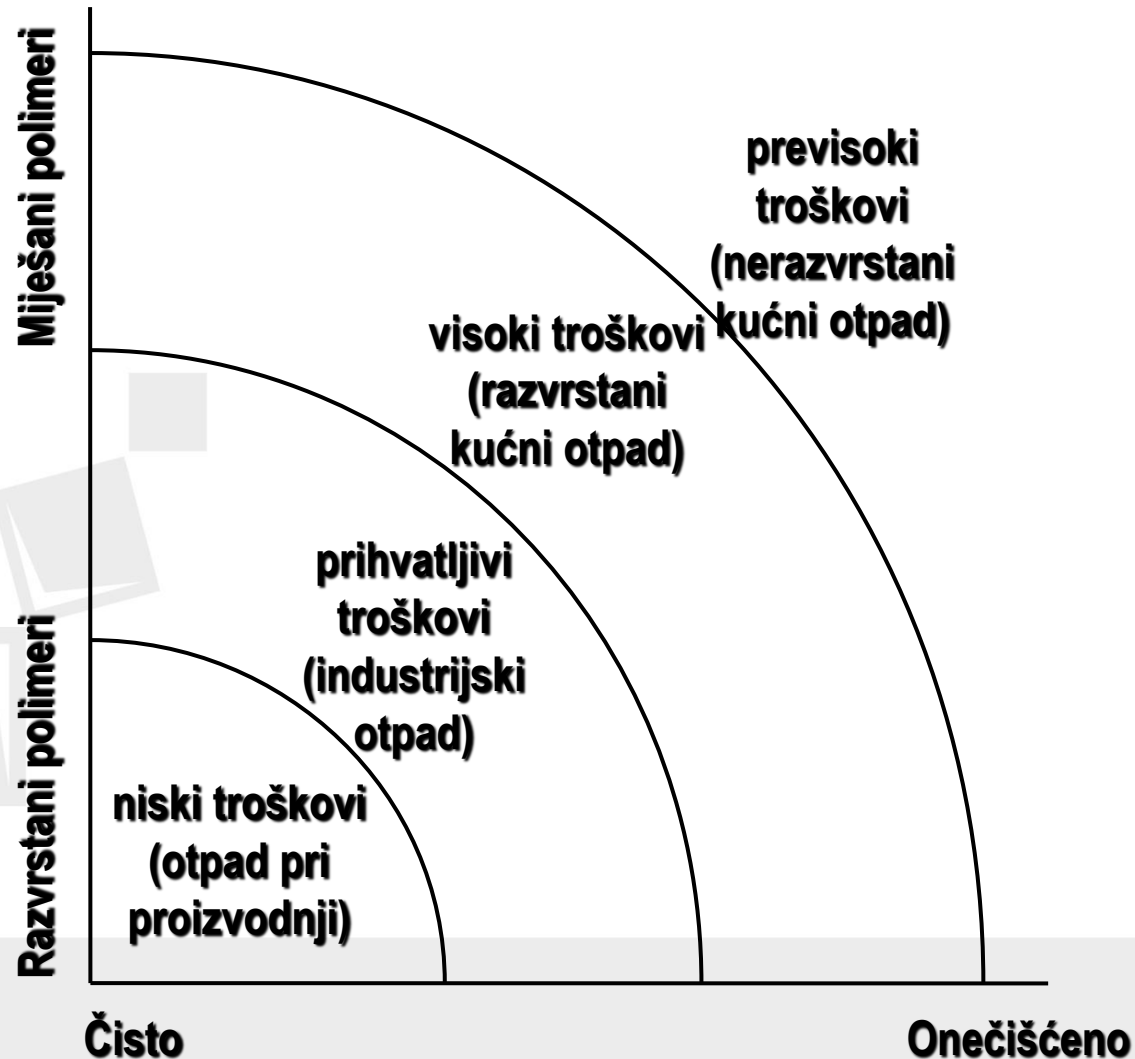
Mehaničko recikliranje

- Ekonomija razmjera → potrebne su velike količine otpada da bi sustav bio održiv; plastični proizvod u praksi nije oporabljiv ukoliko nema dovoljnih količina otpada iste vrste → recikliranje miješanog plastičnog otpada bez razvrstavanja → niža kvaliteta reciklata (e. *downcycling*) → klupe, stupovi, ograde





Troškovi mehaničkog recikliranja



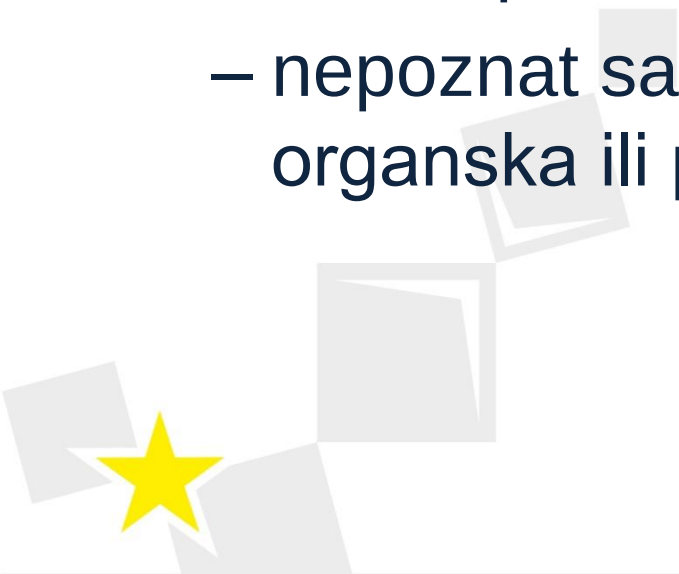
Mehaničko recikliranje

- Svojstva reciklata ovise o proizvodnoj prošlosti polimera.
- Problem pri recikliranju heterogene plastike - inkompatibilnost različitih polimera prisutnih u otpadu (PE, PVC, PET itd.) - samo nekoliko polimernih parova je kompatibilno.
- Nije moguće predvidjeti fizička svojstva smjese ili mješavine koja sadrži reciklirani materijal → pri uporabi recikliranih polimera preporučuje se njihovo dodavanje u ograničenim količinama, ako se žele održati mehanička svojstva izvornog polimera.



Mehaničko recikliranje

- Problemi:
 - procesi razgradnje tijekom recikliranja
 - nekompatibilnost među polimerima
 - nepoznat sastav reciklata – anorganska, organska ili polimerna onečišćivala.



Mehaničko recikliranje

- Operacije:
- sakupljanje → identifikacija → razvrstavanje → mljevenje → pranje → odvajanje → smješavanje → granuliranje
- Razvrstavanje
 - ručno: prema vrsti plastike i prema boji; prema identifikacijskim kodovima
 - automatsko razvrstavanje – optički, srednje infracrveno, blisko infracrveno, itd.



Odvajanje

- Mokro: odvajanje prema gustoći (flotacija) – taložnica ili hidrociklon → teško razdvajanje materijala sličnih gustoća (PP, PE-LD, PE-HD)

Materijal	Gustoća, g/cm ³	Materijal	Gustoća, g/cm ³
PP	0,9 – 0,91	PC	1,08 – 1,20
PE-LD	0,91 – 0,94	PA 6	1,14
PE-HD	0,94 – 0,97	PMMA	1,22
ABS	1,03 – 1,07	PET	1,38
PS	1,04 – 1,07	PVC	1,39 – 1,43



Odvajanje

- Suho: odvajanje strujom zraka – npr. razdvajanje plastičnog filma i papira od mljevine
- Elektrostatičko razdvajanje – triboelektrični naboj → pozitivno i negativno nabijeni materijali → razvrstavanje padom kroz električno polje
- Identifikacija materijala → spektroskopija, infracrvena analiza...



Sakupljanje
materijala

Brza kontrola

Mljevenje

Veliki metalni
komadi

Elektrostatičko
razdvajanje

Sušenje i
razdvajanje
zrakom

Pranje i
razdvajanje prema
gustoći

Filmovi, papir, tekstil, otpjenci

Teški materijali (PET,
PVC, PS, metali, ...)

Ekstruzijsko smješavanje
s filtriranjem taljevine

PE + PP

Ekstruzijsko smješavanje
s filtriranjem taljevine

PP

Regranulat

Ekstruzijsko smješavanje
s filtriranjem taljevine

PE



Recikliranje PET boca

- prihvati i razvrstavanje PET boca
- pranje i mljevenje (linija za pranje i mljevenje) → mljevina
- regranuliranje (linija za regranuliranje) → regranulat
- izrada predoblika
- puhanje boca.



1. Prihvat i razvrstavanje

- Linija za razvrstavanje - transportne trake
→ ručno izdvajanje pojedinih vrsta
plastične ambalaže u zasebne silose.
- PET boce razvrstavaju se po boji na
prozirne, plave, zelene i ostale PET boce.
- PET boce odlaze na liniju za pranje i
mljevenje, a ostala ambalaža na baliranje.













2. Mljevenje i pranje

- Pranje uz izdvajanje etiketa i ostalog materijala koji nije PET.
- Dodatno razvrstavanje (obavezno odvajanje PVC boce i boce s PVC etiketama).
- Boce s čepovima, ali bez etiketa, nakon toga se melju → dobivena PET mljevina boca i čepova ide u taložnicu, gdje se PET mljevina odvaja od čepova.
- PET mljevina je više gustoće nego voda → pada na dno taložnice, a mljevina čepova ispliva na površinu i prelijeva se u vibracijsko sito, gdje se ocijedi od vode.
- ★ PET mljevina s dna taložnice se intenzivno pere te slijede: ispiranje, sušenje i spremanje u velike vreće.

















3. Regranuliranje

- PET mljevina → pužnim transporterom u sušnik na kontinuirano sušenje, dalje u podtlačni (vakuumski) kristalizator te se zatim zagrijava u ekstruderu na potrebnu temperaturu taljevine od 280 °C.
- Rastaljeni materijal u obliku rezanaca se hladi i odvodi do rotacijskog noža → izrezivanje u granule.









SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
KATEDRA ZA PRERADU POLIMERA

4. Izradba predoblika

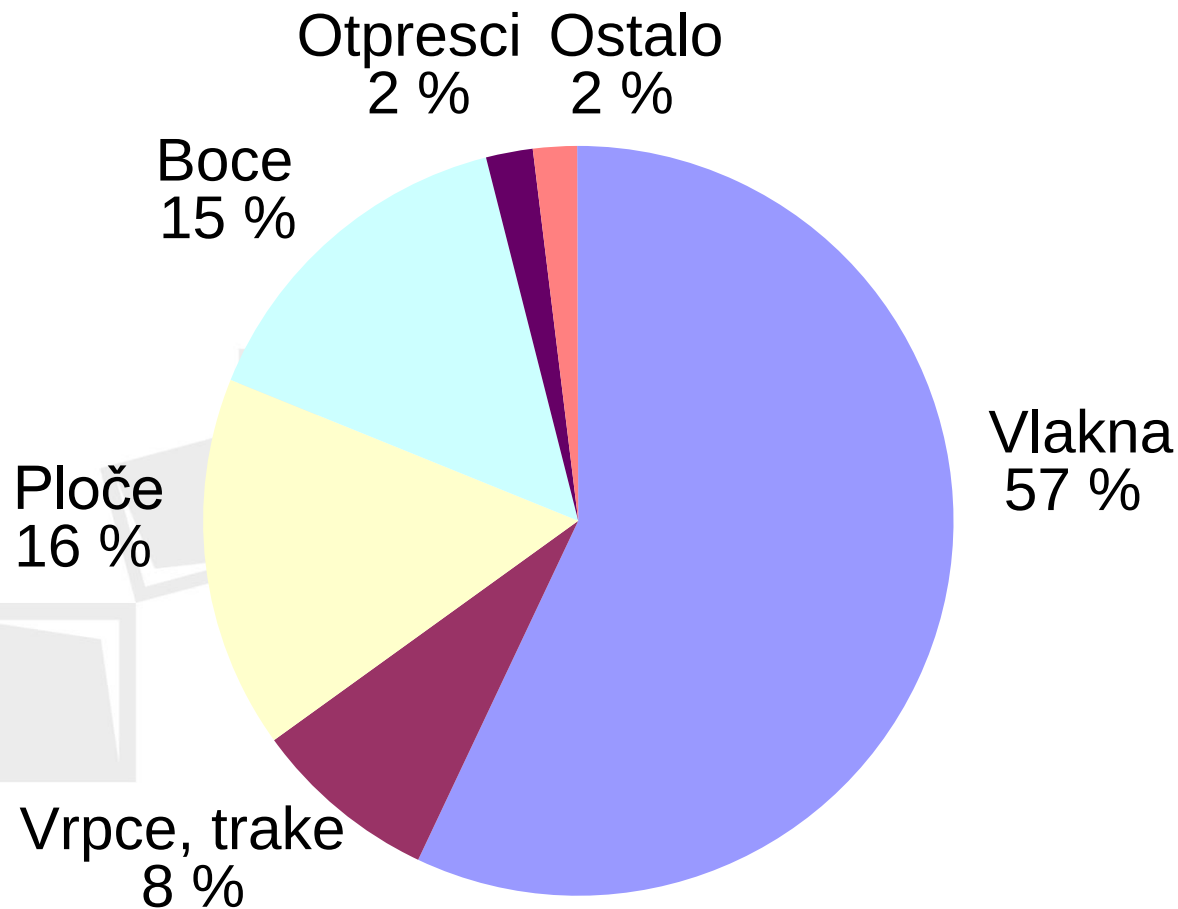
- PET regranulat se od linije za regranuliranje doprema do prihvatnih lijevaka linije za izradu predoblika PET boca, gdje se miješa sa svježim granulatom i pigmentom.
- Smjesa se nakon sušenja dovodi do pužnoga vijka ubrizgavalice. Rastaljeni se i homogenizirani materijal ubrizgava u kalupe temperirane vodom.



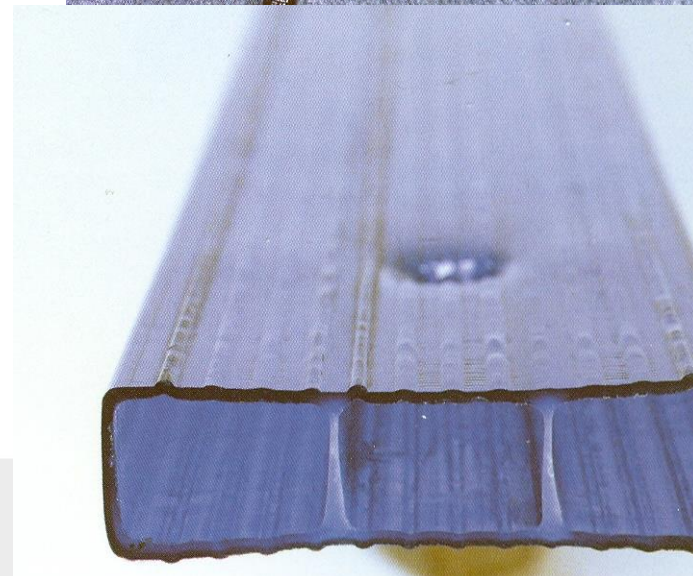
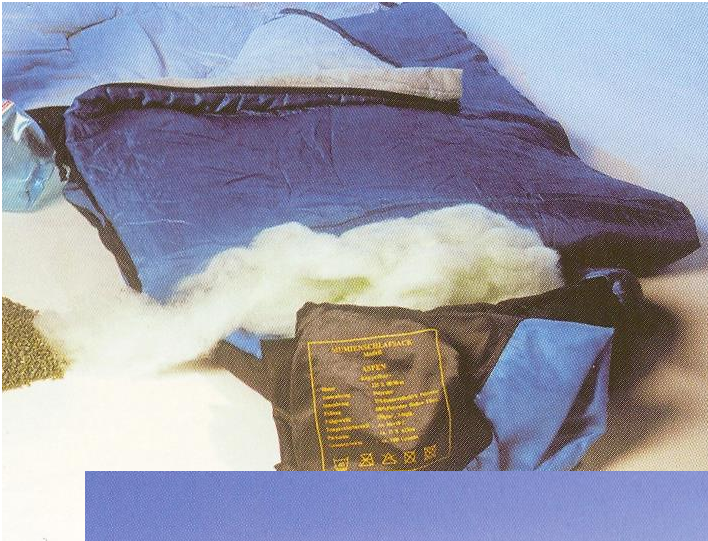




Primjena reciklata PET-a



Primjena reciklata PET-a



Kemijska uporaba

- Kemijskim postupcima mijenja se molekularna struktura polimera → struktura polimera se razgrađuje do niskomolekulnih tvari koje se zatim rabe u rafinerijama ili kemijskim postrojenjima
- Prikladni su svi polimeri: duromeri, elastomeri, elastoplastomeri i plastomeri.



Prednosti

- nije nužno razvrstavanje prema vrsti polimera (za razliku od mehaničkog recikliranja) – prikladno za jako onečišćeni otpad i miješani plastični otpad
- aditivi i ostala onečišćivala ne predstavljaju problem → dobiju se čisti monomeri od kojih se mogu proizvesti novi polimeri za primjenu u dodiru s hranom



Prednosti

- nema problema sa zasićenjem tržišta – oporabljeni proizvodi se lako uvode u novi proizvodni ciklus
- moguća je i uporaba nekih duromera
- ekonomski opravdano u slučajevima kada nije nužno daljnje pročišćavanje dobivenih proizvoda prije ponovne uporabe



Nedostatci

- u usporedbi s mehaničkim recikliranjem (primarnim i sekundarnim), vrijednost koja je vezana uz makromolekulnu prirodu plastičnog otpada gubi se tijekom kemijske uporabe
- kada su nužni oštriji uvjeti (jake kiseline ili lužine i visoke temperature) da bi se uništio polimerni lanac, postrojenje za kemijsku uporabu mora biti sagrađeno od visokokvalitetnih, vrlo skupih materijala



Nedostatci

- visoki troškovi investicije
- obrada i uporaba vode, otapala i reaktivnih tvari za kemijsku uporabu, te uklanjanje nusproizvoda uporabe može biti vrlo skupo
- postrojenje za kemijsku uporabu mora biti dovoljno veliko da bi se smanjili troškovi uporabe, no kontinuirana dobava velikih količina plastičnog otpada konstantne kvalitete može uzrokovati visoke troškove sakupljanja
- monomeri i korisni oligomeri mogu se dobiti od ograničenog broja polimera



Kemijska uporaba

- Depolimerizacija
 - hidroliza
 - glikoliza
 - alkoholiza
 - acidoliza
 - aminoliza.
- Termoliza (toplinska razgradnja) – kemijska razgradnja uzrokovana toplinom
 - rasplinjavanje (kontrolirana atmosfera kisika)
 - piroliza (bez prisutnosti kisika)
 - hidriranje (atmosfera vodika).



Energijska uporaba

- Toplinska vrijednost plastike u otpadu ~ 35 MJ/kg
- Plastični otpad u prosjeku razvija najmanje jednaku količinu topline kao kameni ugljen, uz nižu emisiju CO₂ → opravdana je njegova energijska uporaba
- Energijska uporaba je najjeftiniji, najperspektivniji, ali društveno najneprihvatljiviji postupak uporabe plastičnog otpada



Toplinska vrijednost

Materijal	Energija oslobođena izgaranjem, MJ/kg
Prirodni plin	53,4
Propan	50
PS	46
PE	46
Benzin	45,9
Drveni ugljen	33,7
Metanol	22,7
PVC	18,9
Papir i drvo	16 – 16,8

Energijska uporaba

- Suvremena postrojenja za spaljivanje otpada su sigurna (emisije u graničnim vrijednostima, posebno dioksina i furana) i neizbježna
- Energijska uporaba plastičnog otpada se provodi:
 - u spalionicama komunalnog otpada (zajedno s ostalim otpadom) u svrhu dobivanja topline i električne energije
 - suspaljivanjem razvrstane plastike u cementnim pećima ili termoelektranama gdje zamjenjuju dio goriva.



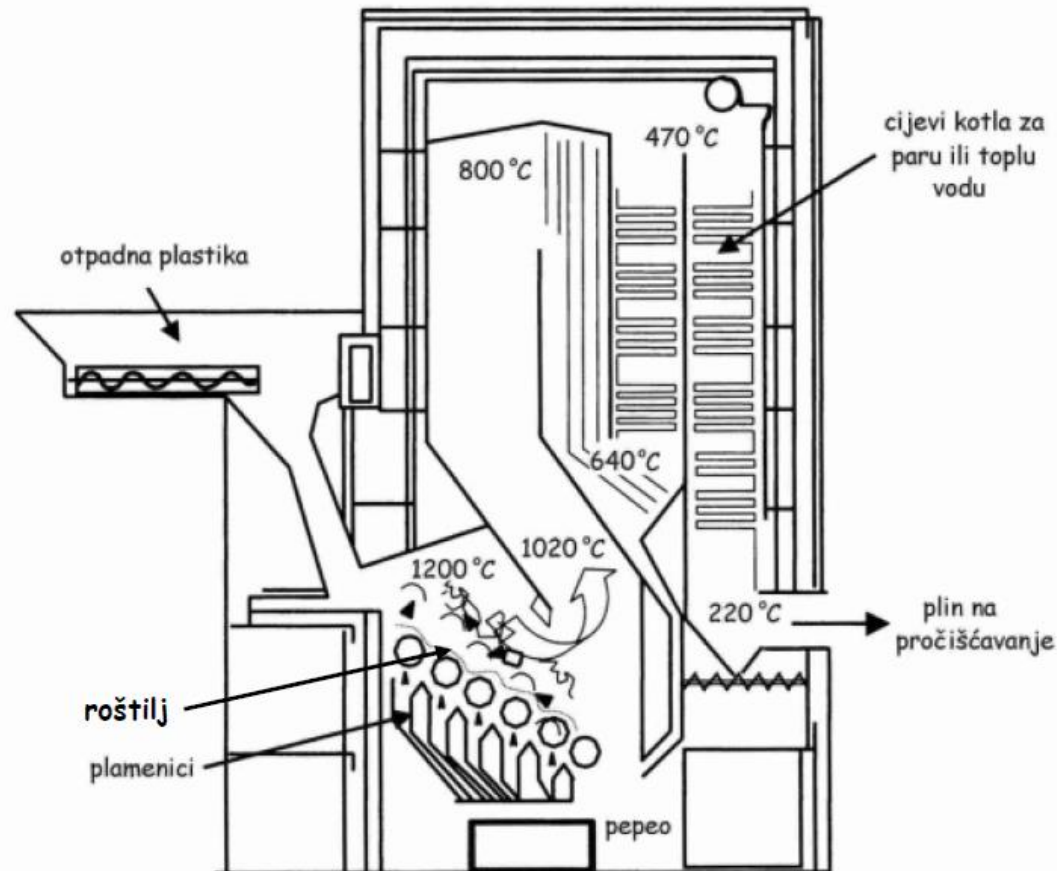
Energijska uporaba

- Efikasnost energijske uporabe i emisije u okoliš ovise o vrsti sustava (peći) za spaljivanje
- U praksi su najčešća tri tipa spaljivanja:
 - spaljivanje na roštilju
 - spaljivanje u rotacijskoj peći
 - spaljivanje u vrtložnom sloju.



Spaljivanje na roštilju

- najstariji i najčešći tip spaljivanja komunalnog (plastičnog otpada)



Spaljivanje na roštilju

- Roštilj (pokretna rešetka) je osnovni dio ovog postrojenja:
 - valjkasti roštilj – nagnut prema naprijed za 30° → ne gura otpad, nego ga prenosi s valjka na valjak – slabo miješanje, ali dobro kretanje prema naprijed → najčešći (kapaciteti 8 – 20 t/h)
 - ravni roštilj s djelovanjem prema naprijed – nagnut 3 do 18° - slabije miješanje i guranje, dobro kretanje prema naprijed → za manje učine (< 8 t/h)
 - ravni roštilj s djelovanjem prema natrag – dobro guranje i miješanje, slabije kretanje prema naprijed → za velike učine (> 20 t/h).



Suspeljivanje s fosilnim gorivima

- RDF (*e. Refuse Derived Fuel*) – uklonjeni nezapaljivi otpad (metali, staklo) iz komunalnog otpada: ogrjevna vrijednost 15 – 17 MJ/kg
- PDF (*e. Packaging Derived Fuel*) – papirnata i plastična ambalaža: ogrjevna vrijednost 20 MJ/kg
- PF (*e. Plastic Fuel*) – odvojeno sakupljeni ili razvrstani plastični otpad: ogrjevna vrijednost 30 – 40 MJ/kg



Polimeri kao sirovine za proizvodnju goriva

Vrsta polimera	Opis	Primjeri
Polimeri koji sadrže ugljik i vodik	Tipična sirovina za proizvodnju goriva zbog visoke ogrjevnice moći i čistih ispušnih plinova	PE, PP, PS
Polimeri koji sadrže kisik	Niže ogrjevnice vrijednosti od gornjih polimera	PET, fenolna smola, PVAL, POM
Polimeri koji sadrže dušik i sumpor	Gorivo od ovih vrsta plastike je izvor opasnih komponenata kao što su NO _x ili SO _x , nužno je čišćenje dimnih plinova kako bi se izbjegla emisija opasnih komponenata u ispušnim plinovima	Dušik: PA, PUR Sumpor: PPS (poli(fenilen-sulfid))
Polimeri koji sadrže halogene elemente (klor, brom ili fluor)	Izvor opasnih i korozivnih dimnih plinova tijekom toplinske obrade i spaljivanja	PVC, PVDC, usporavala gorenja koja sadrže brom, fluorougljični polimeri

Emisije iz ENO

- Ovisi o odabranom procesu i vrsti otpada.
- Opće pravilo - što je potpunije sagorijevanje, čistije su emisije.
- Postrojenje za pročišćavanje emisija - serija stupnjeva za pročišćavanje (ciklonski separatori, vrećasti filtri i/ili filtri od aktivnog ugljena).
- Progresivno stroža legislativa tijekom posljednjih desetljeća dovela je do toga da su emisije iz energana vrlo čiste.
-  Moderni sustavi za pročišćavanje emisija - smanjuju čestice u emisijama na vrlo nisku razinu → energane pročišćavaju okolišni zrak koji prolazi kroz njih.



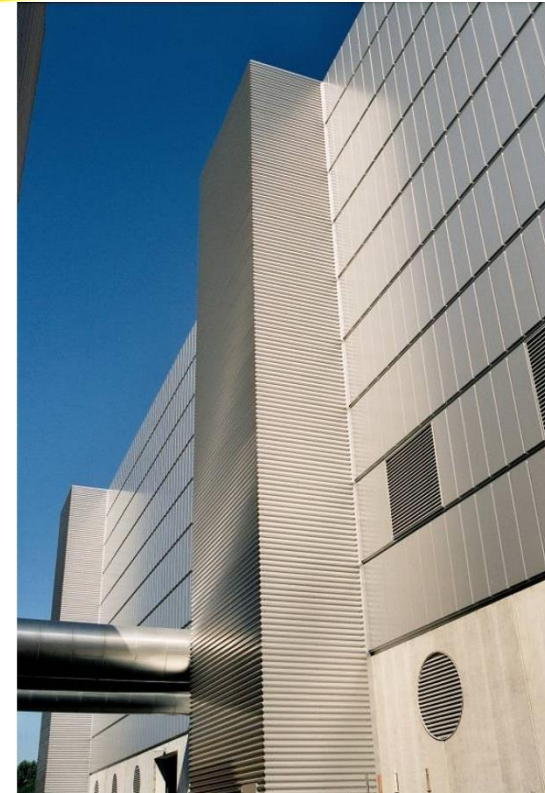
Spittelau, Austrija



Osaka, Japan



Danska



Preporučene opcije uporabe za različite vrste polimernog otpada

Vrsta polimernog otpada	Mehaničko recikliranje	Kemijska uporaba	Energijska uporaba
Razvrstani, čisti polimeri	++	+	+
Miješani polimeri	+	++	++
Miješani polimeri s papirom, itd.	–	–	++
Polimeri u komunalnom otpadu	–	–	++

– nije preporučeno

+ prikladno

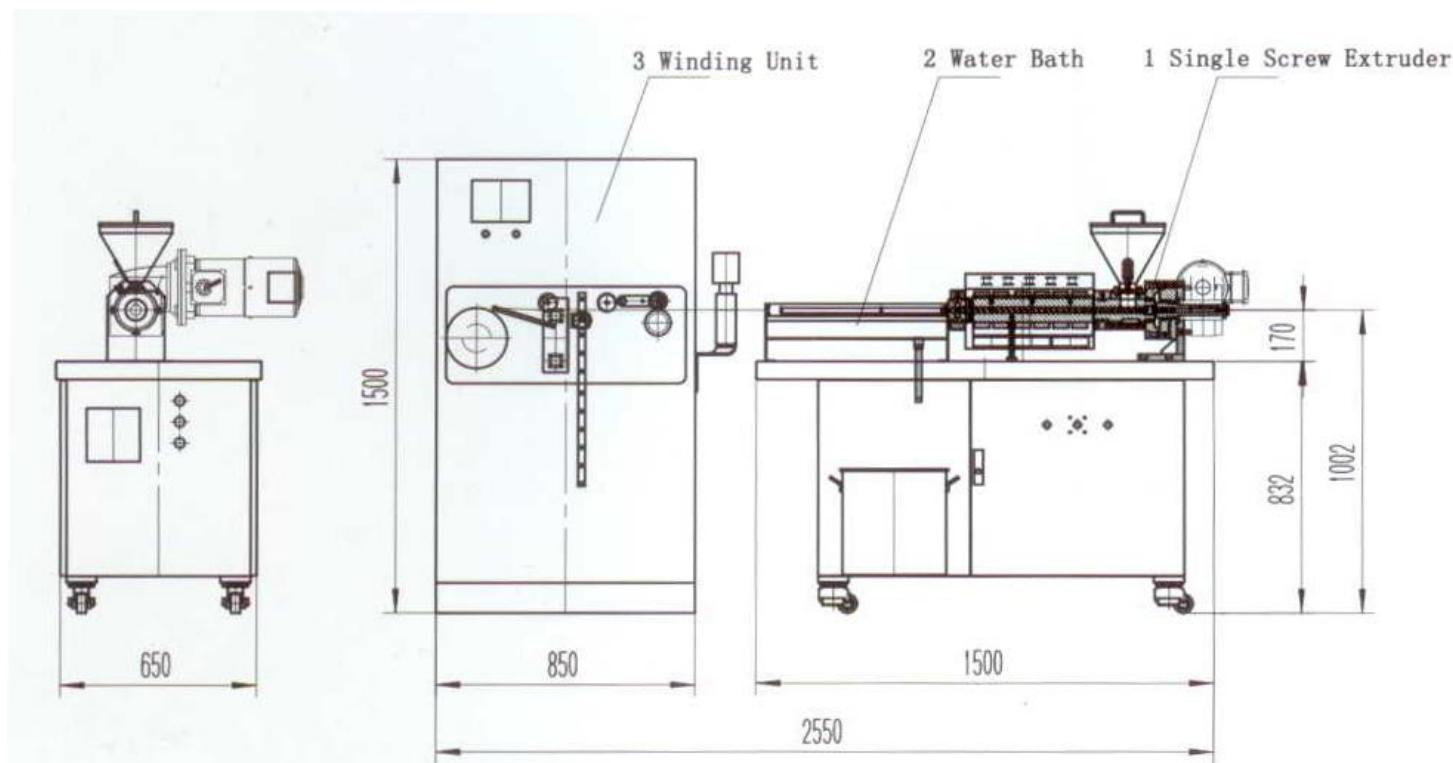
++ preporučeno



Mini ekstruder za izradu filamenta za 3D ispisivanje



Mini ekstruder za izradu filamenta za 3D ispisivanje



Promjer filamenta: 1,75 mm / 3 mm

Učin: 1 – 2 kg/h

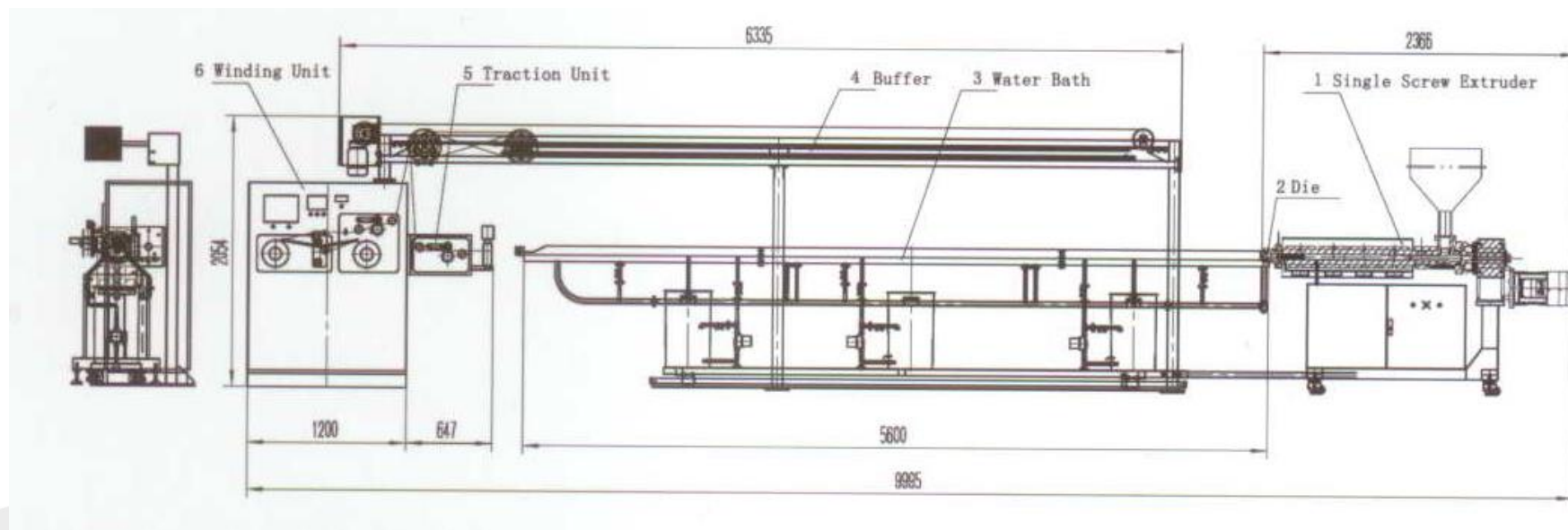
Materijali: PLA, ABS, PC, PA, PP, TPU



Ekstruder za izradu filamenta za 3D ispisivanje



Ekstruder za izradu filamenta za 3D ispisivanje



Promjer filamenta: 1,75 mm / 3 mm

Učin: 15 – 20 kg/h

Materijali: PLA, ABS, PC, PA, PP, TPU



Hvala na pažnji!!!



Europska unija
"Zajedno do fondova EU"



EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDovi



ESF
UČINKOVITI
LJUDSKI
POTENCIJALI

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.
Sadržaj ovog materijala isključiva je odgovornost Udruge VISOKI JABLANI.

