

# Projektiranje i isplativost implementacije postrojenja sortirnice komunalnog otpada u Prelogu

---

Pongrac, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:314082>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-02**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Strojarstva**



DIPLOMSKI RAD br. 019/STR/2020

**PROJEKTIRANJE I ISPLATIVOST**  
**IMPLEMENTACIJE POSTROJENJA SORTIRNICE**  
**KOMUNALNOG OTPADA U PRELOGU**

Student:

Mateo Pongrac, 0939/336 D

Mentor:

doc. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović

Varaždin, listopad 2020. godine

## **Sažetak**

Na početku rada stavljen je osvrt na zagađenje okoliša otpadom, vrstama otpada, načinima obrade te načinima zbrinjavanja istog. Naglasak je stavljen na mehaničku obradu otpada jer se ona kao metoda i koristi u sortirnici otpada koja je detaljno obrađena u eksperimentalnom dijelu. Svrha istraživanja je bila projektiranje i dokazivanje isplativosti sortirnice otpada za rad GKP PRE-KOM d.o.o. U svrhu projektiranja osmišljena je linija (navedeni i pobrojeni strojevi od kojih bi se linija za sortiranje otpada sastojala s njihovim karakteristikama), te je izračunata njena isplativost prema karakteristikama i količini otpada za GKP PRE-KOM d.o.o. Rezultat istraživanja je projekt linije sortirnice s rokom isplativosti od 17,5 godina.

**Ključne riječi:** miješani komunalni otpad, projektiranje sortirnice, mehanička obrada

## **Summary**

My master thesis begins with a review of environmental pollution by waste, types of waste, methods of its treatment as well as methods of its disposal. Special importance is given on the mechanical treatment of waste, because it is used as a method in waste sorting, which will be treated in detail in the experimental part. The purpose of the research was to design and prove the profitability of the waste sorting plant for the work of GKP PRE-KOM d.o.o. For design purposes a line was invented (listed and enumerated machines of which the waste sorting line would consist with their characteristics), and its cost-effectiveness was calculated according to the characteristics and amount of waste for GKP PRE-KOM d.o.o. The result of the research is a sorting line project with a payback period of 17,5 years.

**Keywords: mixed municipal waste, sorting plant design, mechanical treatment**

# ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj obitelji, djevojci i prijateljima na podršci, srpljenju i razumijevanju iskazanom tijekom mog petogodišnjeg studiranja.

Zahvaljujem se Sveučilištu Sjever na omogućenom diplomskom studiju strojarstva u Varaždinu, zahvale idu i mojoj mentorici doc. dr. sc. Lovorki Gotal Dmitrović na savjetima, stečenom znanju iz kolegija koje mi je predavala i velikoj pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Htio bih se zahvaliti još i firmi Tehnix d.o.o. i direktoru Đuri Horvatu koji mi je omogućio i dao autorska prava za izradu eksperimentalnog dijela moga rada.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojstvo

PRISTUPNIK Mateo Pongrac

MATIČNI BROJ 0939/336 D

DATUM 15.09.2020.

KOLEGIJ Inženjerstvo zaštite okoliša

NASLOV RADA PROJEKTIRANJE I ISPLATIVOST IMPLEMENTACIJE POSTROJENJA SORTIRNICE  
KOMUNALNOG OTPADA U PRELOGU

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU DESIGN AND COST-EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION OF  
THE MUNICIPAL WASTE SORTING PLANT IN PRELOG

MENTOR doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Tomislav Veliki - predsjednik povjerenstva

2. prof.dr.sc. Živko Kondić - član

3. doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović - članica

4. doc.dr.sc. Matija Bušić - zamjenski član

5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 019/STR/2020

OPIS

- Diplomski rad mora se bazirati na planiranju, projektiranju te isplativosti sortirnice otpada.
- U teoretskom dijelu važno je naglasiti potrebu za takvom sortirnicom s naglaskom na održivost gospodarenja otpadom, kao i zaštitu okoliša te važnost mehaničke obrade otpada.
- Objasniti vrste otpada prema fizikalno-kemijskim karakteristikama, ali i mjestu nastanka otpada.
- Opisati planiranu tehnologiju linijske obrade otpada te izračunati njenu isplativost prema karakteristikama i količini otpada za Grad Prelog.

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

Sveučilište  
Sjever

VZ KC

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

MMI

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MATEO PONGRAC (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~ica~~ završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROJEKTIRANJE I ISPLATIVOST IMPLEMENTACIJE POSTROJENJA SORTIRNIČE KOMUNALNOG OTPADA U PRELOGU (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Mateo Pongrac  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MATEO PONGRAC (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~a~~ s javnom objavom ~~završnog~~ diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PROJEKTIRANJE I ISPLATIVOST IMPLEMENTACIJE POSTROJENJA SORTIRNIČE KOMUNALNOG OTPADA U PRELOGU (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Mateo Pongrac  
(vlastoručni potpis)

## Popis korištenih kratica

RDF	eng. Refuse derived fuel
HDPE	Polietilen visoke gustoće
LDPE	Polietilen niske gustoće
MKO	Miješani komunalni otpad
MO	Mehanička obrada
TO	Toplinska obrada
BO	Biološka obrada
JLS	Jedinica lokalne samouprave
GKP	Gradsko komunalno poduzeće
MBO	Mehaničko biološka obrada
BMO	Biološka mehanička obrada

GIO, SRF (end. Solid recovered Fuel) označava GIO pripremljeno prvenstveno mehaničkom obradom prema zahtjevu konkretnog postrojenja



# Sadržaj

1.	Uvod .....	1
2.	Postupci obrade komunalnog otpada.....	2
2.1.	Mehaničko-biološka obrada komunalnog otpada (MBO) .....	2
2.1.1.	Biološka obrada .....	8
2.1.2.	Mehanička obrada .....	9
2.2.	Toplinska obrada komunalnog otpada (TOO) .....	10
2.2.1.	Spaljivanje .....	10
2.2.2.	Piroliza .....	11
2.2.3.	Rasplinjavanje .....	12
2.3.	Kružno gospodarstvo .....	13
3.	MO-BO-TO tehnologija .....	15
4.	Projektiranje sortirnice za GKP PRE-KOM d.o.o.....	26
4.1.	Statistika kućanstva i količine prikupljenog otpada.....	26
4.2.	Ulazni parametri za proračun kapaciteta sortirnice .....	30
4.3.	Proračun potrebnih radnika u sortiranju otpada.....	32
4.4.	Kompostiranje.....	35
4.5.	Troškovi, prihodi i isplativost sortirnice kapaciteta do 10 t/h .....	37
4.6.	Ukupna cijena izgradnje i opremanje postrojenja sortirnice i kompostane .....	40
5.	Zaključak .....	41
6.	Literatura .....	43

# 1. Uvod

Otpad je svaka tvar ili predmet određen kategorijama otpada koje posrednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpad je danas ekološki problem, a njegovo zbrinjavanje postaje briga i obaveza svih zemalja svijeta. [5]

Gomilanje i proizvodnja otpada rezultat je masovne proizvodnje koja danas u modernom društvu održava masovna potrošnja. Otpad je globalni problem i njihove količine iz dana u dan rastu.

U razvijenijim zemljama količina otpada u kućanstvu je puno veća s obzirom na slabije razvijene zemlje gdje je taj broj manji. To potvrđuje i podatak prema kojem su Sjedinjene Američke Države na prvom mjestu po proizvodnji otpada po stanovniku u svijetu. Zadnjih 30 godina u SAD-u se proizvodnja otpada udvostručila. Stanovnici SAD-a čine udio od 3% od ukupne svijetske populacije, a stvaraju 30% svjetskog otpada. [18]

Obrada otpada je postupak kojim se mijenjaju svojstva otpada u svrhu smanjivanja količine i/ili svojstava te olakšavanja rukovanja te se povećava iskoristivost otpada. [1] U području obrade otpada koriste se uporaba i recikliranje otpada.

Oporaba otpada je svaki postupak ponovne uporabe otpada u korisne svrhe (materijalne ili energetske) odnosno kada otpad zamjenjuje druge sirovine. Recikliranje otpada je ponovna uporaba otpada u proizvodnom procesu osim uporabe otpada u energetske svrhe. [11,6]

Kao postupci obrade otpada koriste se fizikalno-kemijske, mehaničke, biološke i termičke metode. Poseban postupak je kondicioniranje, koji služi kao predpostupak. Pravilno sortiranje kreće od svakog pojedinca kod kuće. Svaka vrsta otpada odvojeno se sakuplja.

## 2. Postupci obrade komunalnog otpada

Prema fizikalno-kemijskim karakteristikama postoje 3 vrste otpada koji svojim svojstvima djeluju na zdravlje ljudi i okoliša. A klasificiraju se i dijele na inertni, neopasni i opasni otpad.

Inertni otpad je onaj otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama. Takav otpad nije topljiv, nije zapaljiv, nije biorazgradiv i ne reagira fizikalno ili kemijski. U doticaju s različitim tvarima ne djeluje štetno da bi utjecalo na zdravlje ljudi, životinjskog i biljnog svijeta.

Neopasni otpad je svaki onaj koji nije eksplozivan, oksidirajući, visoko zapaljiv, zapaljiv, nadražujući, opasan, otrovan, kancerogen, nagrizajući ili infektivan.

Opasan otpad je svaki otpad koji je po sastavu i svojstvima određen kao opasan otpad po svojstvima ranije nabrojanim kod neopasnog otpada. [4, 14]

Osnovni ciljevi tehnologija obrade otpada bez obzira na vrstu i tip tehnologije su:

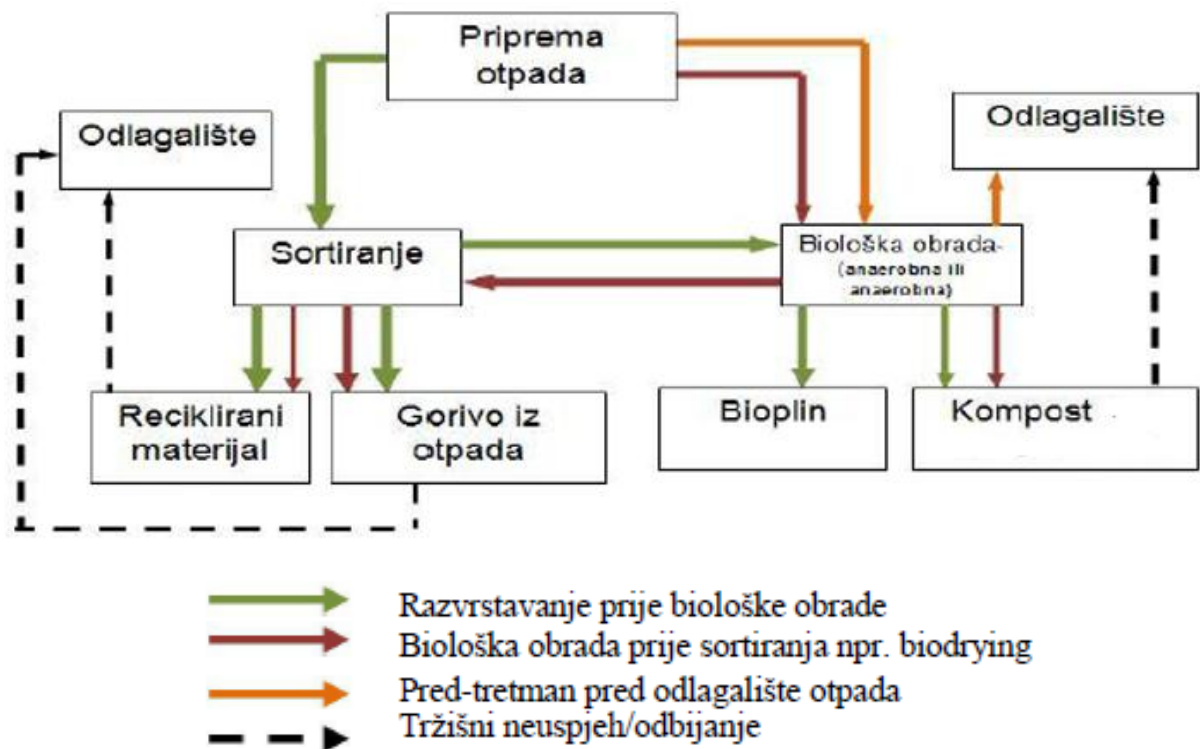
1. Smanjenje količine otpada za finalno odlaganje
2. Smanjenje negativnog utjecaja na okoliš još neobrađenog otpada

### 2.1. Mehaničko-biološka obrada komunalnog otpada (MBO)

Mehaničko-biološka obrada (Slika 1) čvrstog otpada skup je različitih postupaka ili procesa obrade u kojima se otpad podvrgava jednoj ili više mehaničkih operacija s ciljem da se pripremi i razdvoji frakcija za neki od procesa ponovne uporabe ili recikliranja kroz materijalnu ili energijsku uporabu. Na dio otpada koji je biorazgradiv primjenjuju se biološki postupci obrade. [1,2]

MBO otpada potječe iz Njemačke s ciljem da se smanji ukupna količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na odlagališta. Takva tehnologija sortiranja i uporabe otpada je vrlo raširena u Zapadnoj Europi te trenutno postoje tvrtke kao što je npr. ZenRobotics Ltd iz Finske ili Švedska grupacija Envac koje se bave razvojem, daljnjim unaprjeđenjem i proizvodnjom uređaja za sortirnice otpada. [6] Tvornica koja razvija i proizvodi vlastitu sortirnicu komunalnog i biorazgradivog otpada u Republici Hrvatskoj zove se Tehnix d.o.o. i nalazi se Donjem Kraljevcu.

Mehaničko-biološka obrada otpada se temelji na mehaničkoj pripremi ulazne količine otpada i biološkoj obradi biorazgradivog dijela komunalnog otpada. Najveći problem kod rukovanja, ali i skladištenja (pa tako i odlaganja otpada) je biorazgradiva komponenta komunalnog otpada koja je reaktivna.



Slika 1. Potencijalne opcije mehaničko-biološke obrade otpada [15,2]

Mehanički procesi obrade obuhvaćaju usitnjavanje, drobljenje, mljevenje, prosijavanje i druge mehaničke procese te na kraju separaciju. Temelje se na fizikalno-kemijskim svojstvima otpada (Tablica 1).

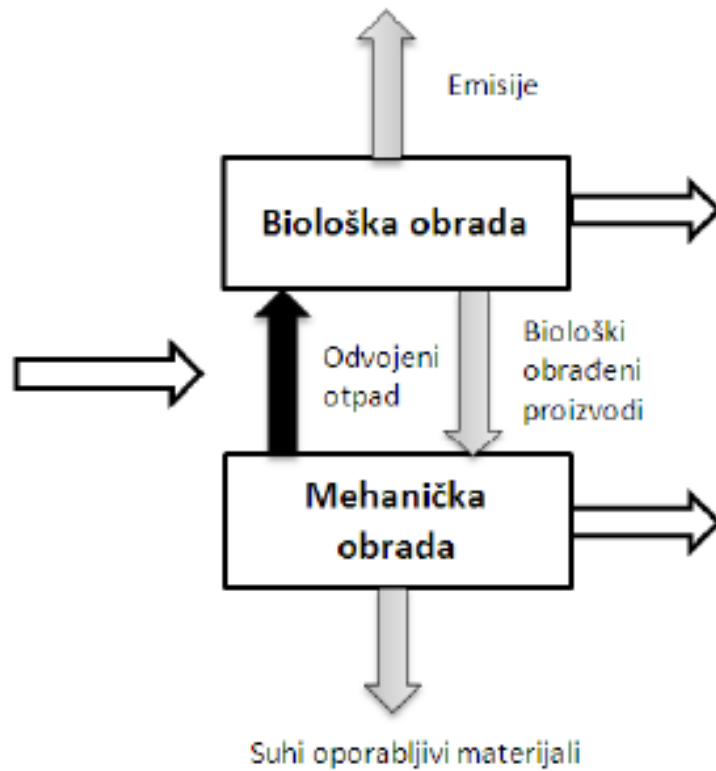
Tablica 1. Fizikalno-kemijska svojstva tvari i metode mehaničke obrade [1]

FIZIKALNO-KEMIJSKO SVOJSTVO	OSNOVNA MEHANIČKA OPERACIJA NA KOJOJ SE TEMELJI
Tvrdoća	Drobljenje
Čvrstoća	Usitnjavanje, rezanje
Veličina i oblik čestica	Prosijavanje
Gustoća / specifična težina	Odjeljivanje u zraku
Svojstvo kotrljanja	Balistička separacija
Magnetičnost	Magnetska separacija
Električna svojstva tvari	Triboelektrična, vrtložna separacija
Atomska gustoća	X – zrake
Elementarni sustav	Fourescentne X – zrake
Svojstva obojenosti, slika	CCD kolor kamera Vidljiva spektometrija
Spektralna svojstva	Bliska infracrvena spektrofotometrija Laserska spektrofotometrija

Proces obrade se sastoji od dva procesa čiji redosljed se može promijeniti [14]:

- MBO (Mehaničko-Biološki) procesi – to su procesi u kojima otpad prvo podliježe mehaničkoj obradi, a nakon toga se transportira na biološki proces obrade,
- BMO (Biološko-Mehanički) procesi – to su procesi suprotnog smjera nego u MBO, prvo se odvija biološki proces obrade, a zatim mehanički.

Na slici 2 dat je shematski tok redosljeda procesa.



Slika 2. Opća shema MBO/BMO procesa [14]

Mehanička se obrada koristi otkada se čovječanstvo susreće s problemom otpada. Nekada su ju najčešće obavljali ljudi lošeg imovnog stanja jer su u otpadu nalazili za njih korisne predmete (slika 3). Nažalost, još dan danas u slabo razvijenim i nerazvijenim zemljama za neke je to način preživljavanja.



Slika 3. Ljudi za traženjem korisnih stvari iz otpada [1]

Prvenstveni je cilj svakog postupanja s otpadom postizanje veće kakvoće tj. čistoće izlaznog proizvoda. Zbog toga jer učinkovitost reciklaže i kvaliteta dobivenih produkata prvenstveno ovisi od kakvoće mehaničkih postupaka. To je i razlog uvođenja sve većeg broja novih tehnika i tehnologija koje upotpunjuju i/ili zamjenjuju ručne tehnike mehaničke obrade.

Mehanička obrada se pojavljuje u svim segmentima predobrade i obrade, u početnoj i u kranjoj fazi postupaka. [1, 5]

- POČETNO – na početku nastajanja otpada provodi se mehaničko razdvajanje otpada prema veličini, tipu ili obliku. Prije biološke, fizikalno-kemijske i termičke obrade otpada, otpad se mora usitniti.
- TIJEKOM – tijekom obrade prikupljenog otpada izdvaja se reciklabilan otpad. Tijekom kompostiranja (biološka obrada), brazde se mehanički prevrću radi aerobne razgradnje.
- ZAVRŠNO – na samom kraju postupaka obrade ili uporabe, radi se mehanička obrada npr. ostatka termičke obrade (prosijavanje šljake i pepela) ili na kraju biološke obrade prosijavanje komposta kad se frakcije > 20 mm vraćaju natrag u proces.

Prema mjestu nastanka otpada može se podijeliti u dvije osnovne vrste:

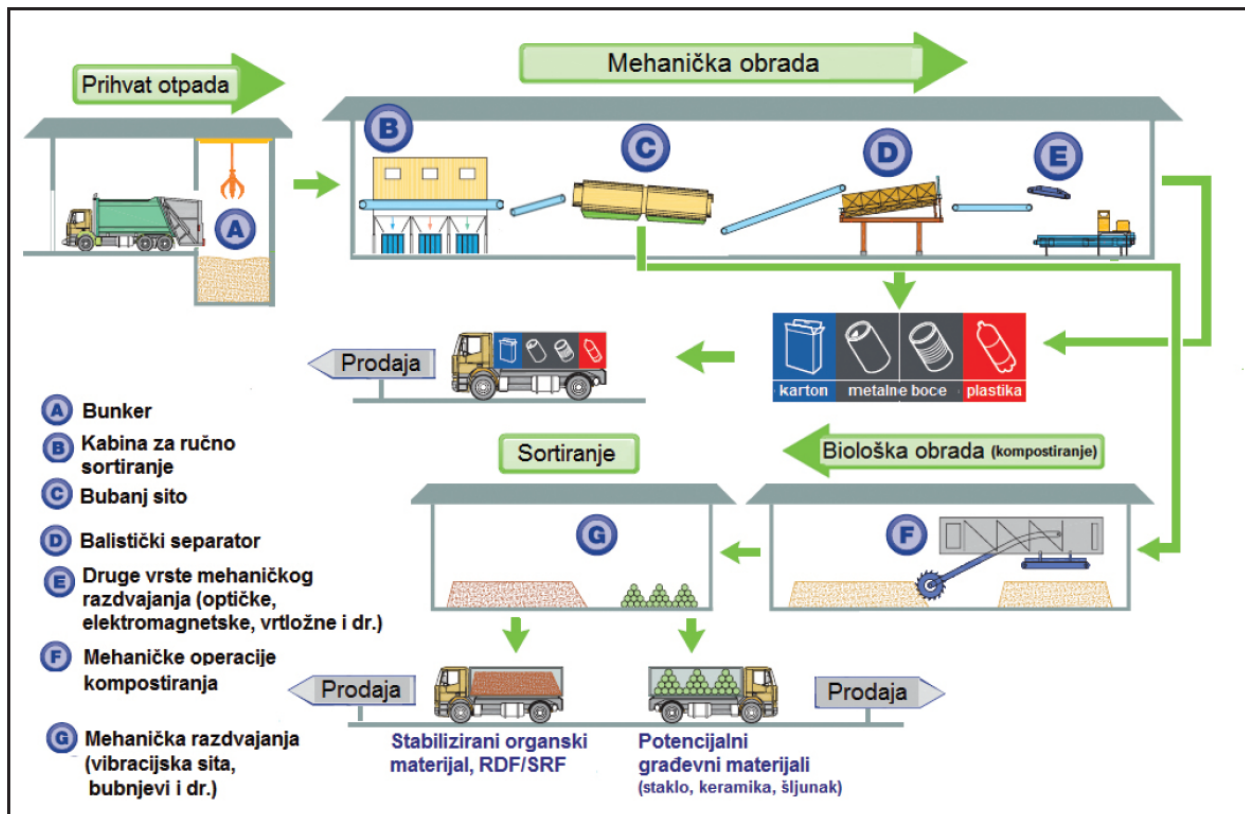
- Komunalni otpad
- Tehnološki (industrijski) otpad

Komunalni otpad je onaj otpad koji se proizvede u kućanstvu, koji nastane čišćenjem javnih površina te otpad koji je sličan otpadu iz kućanstva, a nastane u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima. Takav otpad se redovito prikuplja od strane lokalnog komunalnog poduzeća i zbrinjava u okviru komunalnih djelatnosti.

Tehnološki otpad je otpad koji nastaje u proizvodnim procesima u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima, a po količinama, sastavu i svojstvu razlikuje se od komunalnog otpada. Za nadzor toka i zbrinjavanje tehnološkog otpada propisane su procedure ovisno o vrsti industrije, odnosno vrsti otpada. [27]

Unatoč sve obuhvatnijem sustavu odvojenog skupljanja, u Republici Hrvatskoj se još uvijek veći dio (više od 80%) miješanog komunalnog otpada odlaže na odlagališta. Zbog toga je njegova sustavna mehanička obrada posebno važan zadatak i obveza.

Mehanička obrada zahtjeva primjenu različitih strojeva odnosno mehaničkih operacija koje se izvode u odgovarajućim postrojenjima za mehaničku ili mehaničko-biološku obradu (MO ili MBO). U njima je ona ključna za proizvodnju tržišno prihvatljivih sekundarnih sirovina i goriva iz otpada, GIO tj. RDF-a odnosno SRF-a. Jedno je takvo postrojenje otvoreno 2015. u mjestu Basildon, Essex, Engleska, a prikazano je shematski na slici 4. [1, 13, 15]



Slika 4. Shema postrojenja za mehaničku obradu [1]

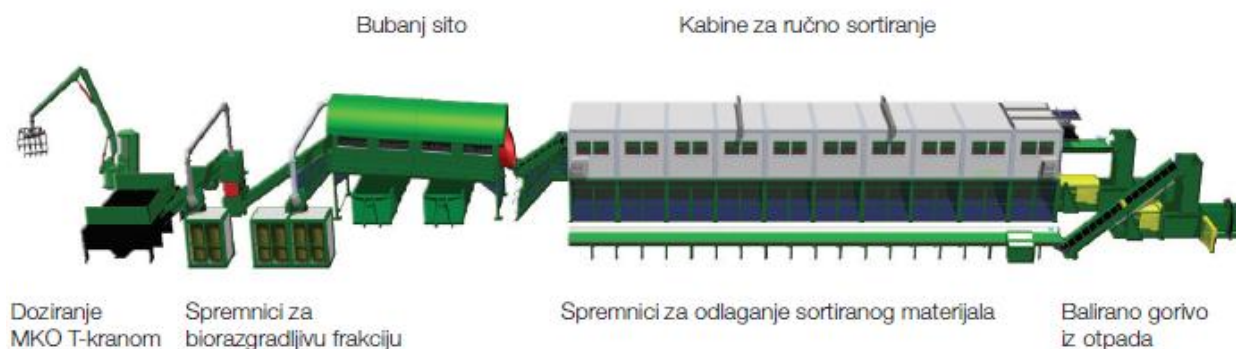
Na slici je prikazana tehnološka shema obrade miješanog komunalnog otpada, koja započinje ručnim sortiranjem, nastavlja se s rotacijskim sitom, a završava primjenom niza mehaničkih uređaja i kompostiranjem s ciljem dobivanja proizvoda prihvatljivih tržištu.

Industrijska postrojenja tj. sortirnice otpada za mehaničku obradu miješanog i sortiranog komunalnog otpada već dugi niz godina u RH proizvodi tvrtka Tehnix. Takve sortirnice su prilagodljive svakoj lokalnoj sredini te je moguća naknadna automatizacija pogona ako je potrebno.

Kod takovog tipa postrojenja, slijed operacija prilagođava se vrsti otpada. Za MKO tvrtke GKP PRE-KOM d.o.o. tehnološki proces započinje dovozom otpada. Slijedi odvajanje biorazgradive frakcije pomoću bubanj sita.



U procesu odvajanja biorazgradive frakcije otpad se prosušuje i otprašuje što olakšava rad radnicima na ručnom sortiranju koje slijedi nakon toga. Biorazgradiva frakcija se zatim transporterom ili u kontejneru otprema na biološku obradu (aerobnu i/ili anaerobnu). Onaj otpad koji se ne uspije sortirati, balira se i čini gorivo iz otpada (RDF). Shema takvog postrojenja prikazana je na slici 5.



Slika 5. Shema postrojenja za mehaničku obradu miješanog komunalnog otpada tipa Tehnix [1]

### 2.1.1. Biološka obrada

Biološki procesi obrade dijeli se na 2 dijela.

- Aerobna biološka obrada u što spada bio-sušenje i kompostiranje te
- Anaerobna biološka obrada u što se ubraja anaerobna digestija tj, anaerobna fermentacija.

#### *Aerobna biološka obrada*

Proces u kojem se organski dijelovi otpada razgrađuju pomoću mikroorganizama u okruženju zraka tj. uz prisustvo kisika. U aerobnu biološku obradu spadaju biosušenje i kompostiranje.

Biosušenje je proces koji se bazira na biorazgradnji organskih spojeva koji su lakše razgradivi unutar već usitnjenog otpada, ali primarna funkcija biosušenja jest da se izdvoji voda iz otpada. Takav proces se odvija u temperaturama od 50 do 70 °C i energetski je isplativiji od kompostiranja.

Kompostiranje je aerobni proces biološke obrade gdje se organski materijal kontroliranom mikrobiološkom razgradnjom razgradi i kao izlazni proizvod nastaje kompost tj. humus. Prilikom takvog procesa nastaje ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>), voda (H<sub>2</sub>O) i toplina (Q).

Tijekom cijelog procesa kompostiranja, koji se odvija u uvjetima koji su povoljni za rast i razmnožavanje mikroorganizama, smanji se masa u ovisnosti na ulaznu količinu biootpada za 40-60%. Sam postupak nije brz, traje od 10 do 12 mjeseci i podijeljen je u 3 faze.

Prva faza je razgradnja u kojoj mikroorganizmi razgrađuju kompostnu masu i oslobađa se velika količina topline (do 70°C).

Druga faza je faza kad se temperatura smanjuje iako mikrobiološka aktivnost i dalje postoji i razvijaju se gljivice, kvasci, plijesni i dr.

U trećoj fazi u kompostu se razvijaju višestanični organizmi kao što su gliste, crvi itd. koji miješaju, usitnjavaju materijal i svojom probavom stvraju komposte grudice. [14, 3]

### ***Anaerobna biološka obrada***

Anaerobna digestija je postupak razgradnje organskog otpada ili tvari bez prisustva zraka (kisika) gdje je izlazni proizvod bioplin i biognojivo. Gospodarski je najisplativija obrada biootpada, a ovom metodom zbog nedostatka kisika u procesu razgradnje organske tvari ne nastaje ugljikov (IV) oksid (CO<sub>2</sub>). Uvjeti u kojima se provodi anaerobna digestija je da se odvija na temperaturi oko 35°C u trajanju od 30 dana pri tlaku od 2,5 kPa do 4 kPa. [14, 3]

## **2.1.2. Mehanička obrada**

Ukupni cilj mehaničke i biološke obrade je dobivanje kvalitetnog komposta te visoko kvalitetnog goriva (krutog i/ili biogorivo) [7, 14]. Za njihovo dobivanje otpad se mora obraditi, uključujući izdvajanje problematičnog otpada (opasan otpad iz kućanstva), kao što su stare baterije, lijekovi, lakovi i boje i sl. Ova mehanička separacija može se odvijati prije ili poslije biološke obrade.

Svi postupci obrade uključuju mehaničke operacija obrade koje se provode uz pomoć odgovarajućih strojeva ili uređaja u svakom dijelu procesa obrade. Tako obrada građevnog otpada nije moguća bez usitnjavanja, drobljenja ili prosijavanja te nam je mehanička operacija najvažnija u kvalitetnom sortiranju. Kvalitetnije i brže se sortira koristeći tehnologije na bazi balističkih, magnetnih, NIR i vrtložnih separatora i dr. [1]

Najveći nedostatak mehaničke obrade je povećano miješanje otpada, a kao posljedica toga jest smanjene mogućnosti recikliranja. Drugi nedostatak je što mehanička obrada smanjuje mogućnost korištenja otpada kao sekundarne sirovine. Uslijed mehaničke obrade dolazi do emisije buke i lokalnog onečišćenja zraka prašinom. [1]

## 2.2. Toplinska obrada komunalnog otpada (TOO)

Toplinska obrada otpada obuhvaća skup postupaka kojima se smanjuje volumen otpada pri čemu se dodatno izdvajaju i/ili uništavaju potencijalno opasne tvari iz otpada. Tim se postupkom omogućuje iskorištavanje energetske vrijednosti otpada.

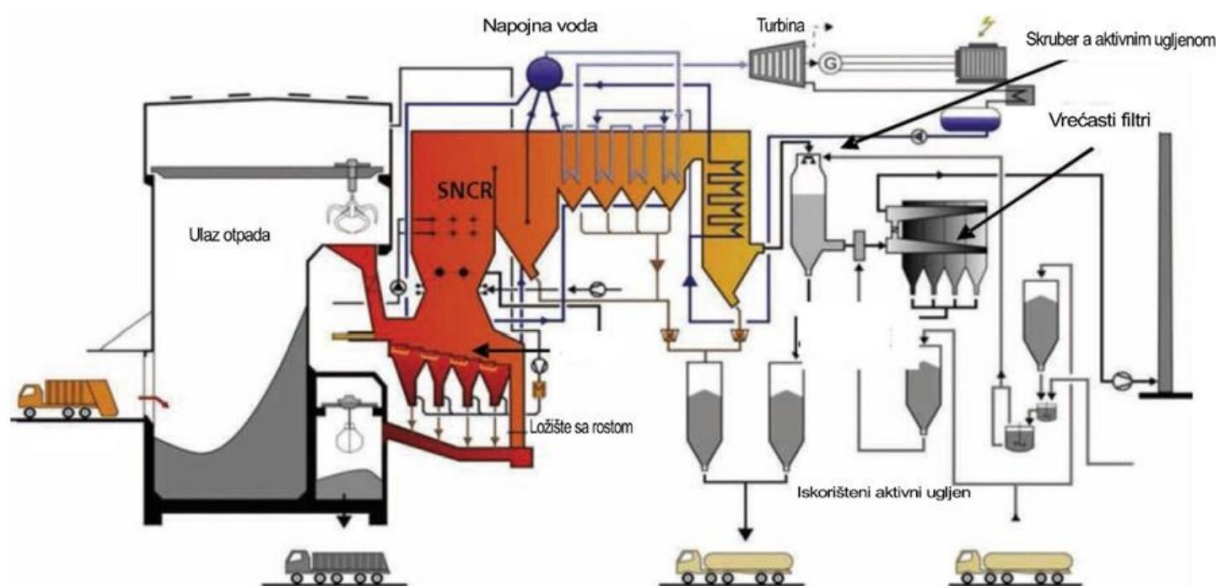
Postupci koji spadaju u termičku obradu otpada su spaljivanje, piroliza, rasplinjavanje s ili bez plazme, termička depolimerizacija, sušenje itd. Prije samog procesa toplinske obrade otpada izvaja se reciklabiran otpad i vlaga radi lakšeg gorenja. [3,10,12]

### 2.2.1. Spaljivanje

Spaljivanje je proces termičke obrade otpada koji uključuje izgaranje organskih tvari u otpadnim materijalima. Drugim riječima se može opisati da je to oksidacija zapaljivih tvari u otpadu pri kojoj organska komponenta otpada prelazi u pepeo i dimni plin, u tkz. krutu i plinovitu komponentu.

Spaljivanje se odvija na temperaturi od oko 850 °C. Spaljivanjem volumen otpada se smanjuje za 95–96%. Sam proces se sastoji od 4 faze: sušenje, rasplinjavanje, izgaranje i dogrijavanje.

Na dnu komore se nalazi prostor za otpremu šljake koja se dalje razdjeljuje uz pomoć elektromagnetskog odjeljivala od ostataka feromagnetnih metala na lebdeći pepeo i šljaku. Unutar dijela komore za izgaranje nalaze se cijevi s vodom koja se pretvara u paru i koristi za proizvodnju električne energije (Slika 6). [3, 10, 12]



Slika 6. Shema spaljivanja otpada [10]

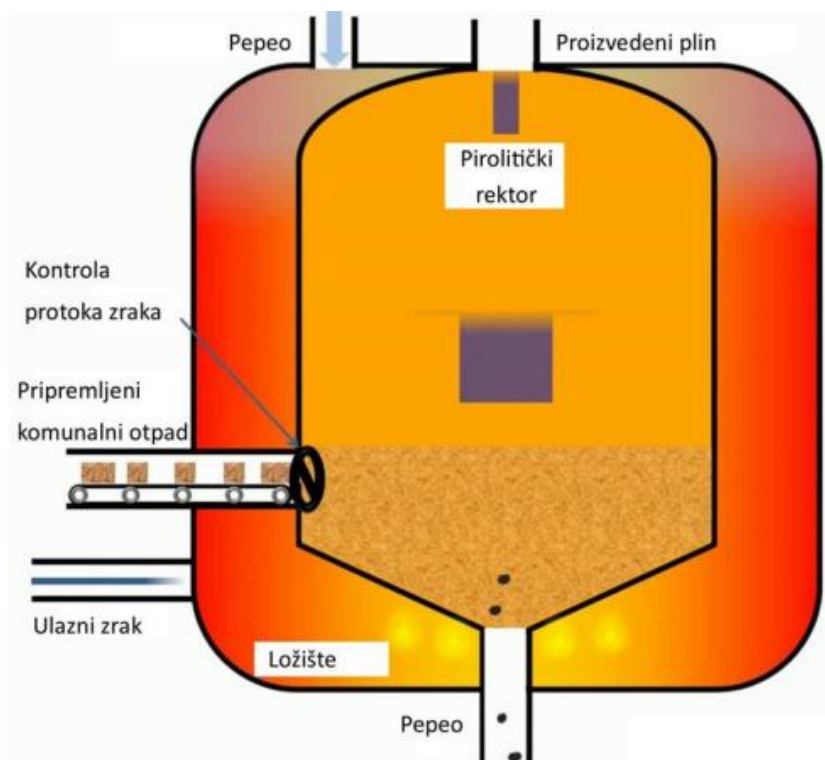
Nus produkt spaljivanja je dimni plin. Prije ispuštanja u atmosferu, dimni plin se pročišćuje. Drugi nus produkt je pepeo koji se sastoji od anorganskih sastojaka otpada, a često spada u opasan otpad.

### 2.2.2. Piroliza

Piroliza je termokemijski proces pretvorbe biomase koji se provodi na temperaturama od 100 do 1200 °C, a proizvod takvog procesa je bio-ulje kao tekućina, plinovi kao pirolitički plin i ugljik i kao krutina dobiva se tzv. gar. Piroliza je prva faza izgaranja i uplinjavanja biomase u kojoj se odvija potpuna ili djelomična oksidacija primarnih proizvoda.

Postoje 3 varijante pirolize s obzirom na temperaturu. Niskotemperaturna piroliza se odvija pri temperaturama do 500 °C, srednjetemperaturna piroliza se odvija na temperaturama od 500 °C do 800 °C, te postoji još i visokotemperaturna piroliza i ona je na temperaturama iznad 800 °C. Kako se temperatura povećava, tako se povećava i udio pirolitičkog plina kao produkt, dok se udio krute i tekuće faze smanjuje.

Pirolitički plin se spaljuje, a kruta faza rasplinjuje. Nastale dimne plinove moguće je također uvesti u generator pare gdje se generirana para koristi za grijanje i pokretanje turbine za proizvodnju električne energije (Slika 7). [3, 10, 12]



Slika 7. Shema pirolize [10]

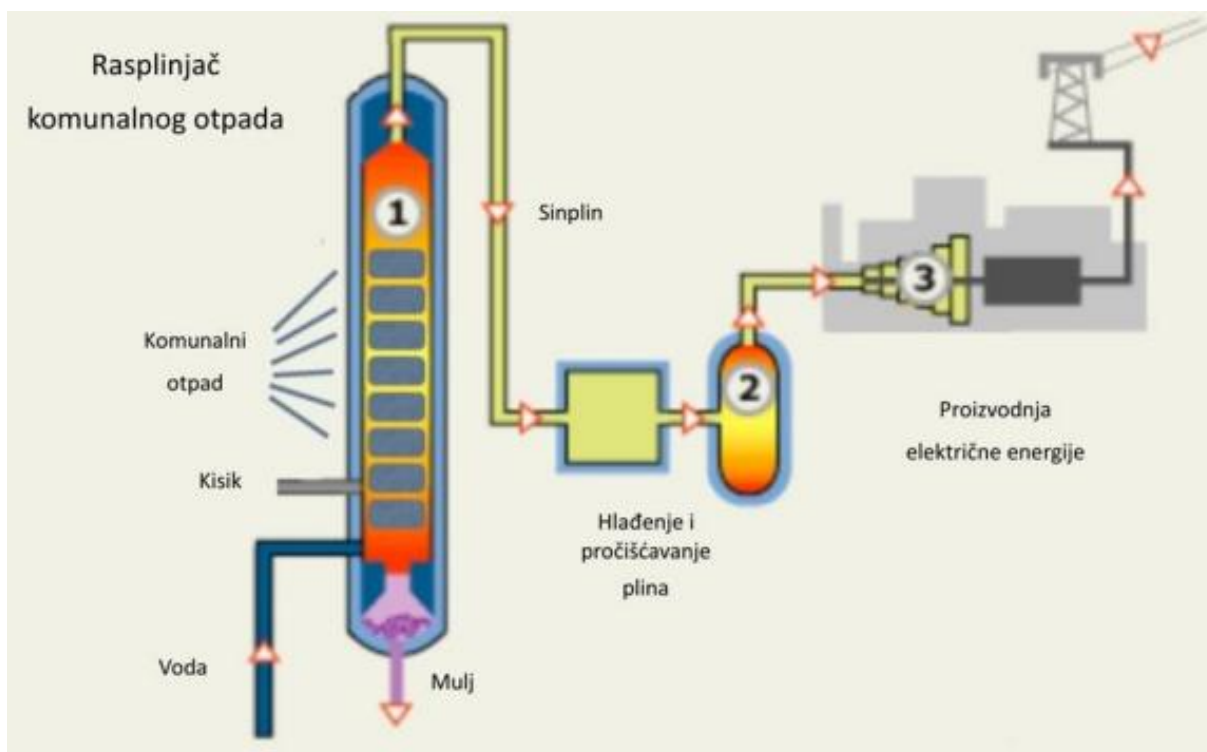
Materijali kao što su plastika, guma, koža i slično podvrgavaju se procesu pirolize jer u procesu pirolize dolazi do destilacije organskog dijela materijala te im se kidaju kemijske veze zbog velikih molekula.

### 2.2.3. Rasplinjavanje

Rasplinjavanje (Slika 8) je proces pri kojem se na povišenoj temperaturi ( $>700^{\circ}\text{C}$ ) u reaktor s gorivom bogatim ugljikom dovodi kisik, vodena para, zrak, ugljikov (IV) oksid itd. Kao produkt rasplinjavanja nastaje mješavina plinova tkz. sintetski plin. Rasplinjavanje može biti plazmom ili toplinsko.

Postupak nije raširen u termičkoj obradi otpada zbog toga što gorivo mora biti većeg homogenog sastava. Za komunalni otpad to znači da je potreba preobrada.

Rasplinjavanje se može primijeniti na komunalni otpad nakon pirolize kao metoda za naknadnu obradu krutih faza. Uloga plazme u procesu rasplinjavanja može biti upotrebljena za rasplinjavanje organske komponente ili može biti za pročišćivanje nastalog plina kao produkta spaljivanja.



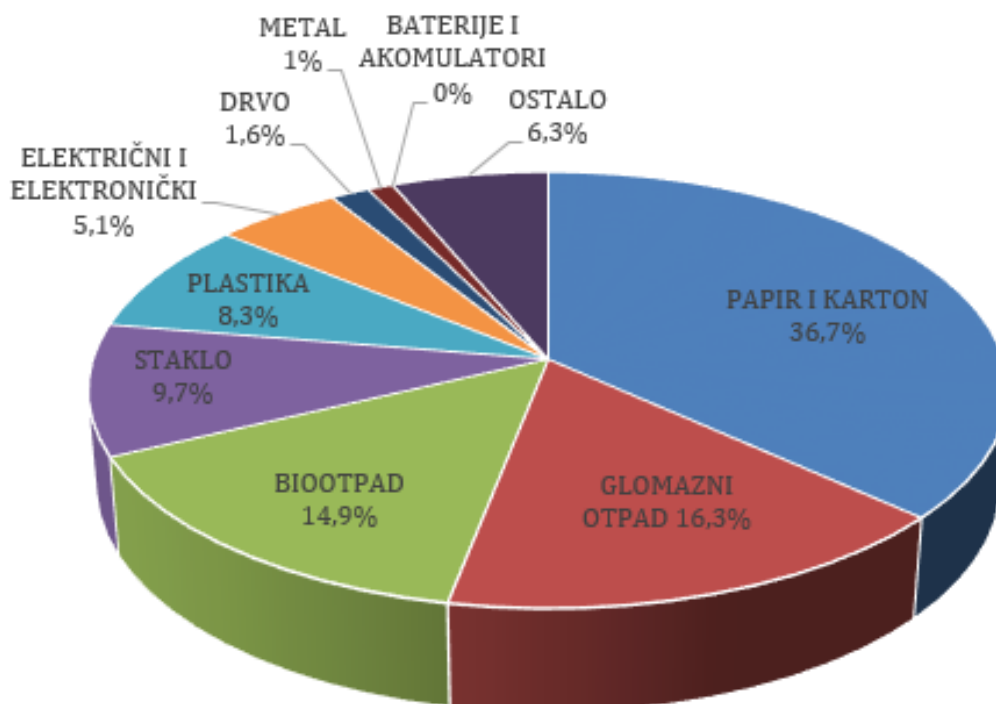
Slika 8. Shema rasplinjavanja [10]

Pošto je temperatura plazme između 5 000 - 15 000°C dolazi do taljenja anorganskih komponenti i razlaganja organskih. U plinovitoj fazi dolazi do razgradnje organskih molekula što iz toga proizlazi da se u potpunosti eliminiraju štetne emisije u zrak i to je najveća prednost plazma postupka. [3, 10, 12]

### 2.3. Kružno gospodarstvo

Princip kružnog gospodarstva temelji se na tome da se resursi zadržavaju u gospodarstvu nakon kraja uporabnog vijeka proizvoda, bez stvaranja otpada kako bi se ponovno produktivno upotrebljavali i time stvarali nove vrijednosti. Svake se godine u Europi proizvede 2,7 milijardi tona ukupnog otpada, a tek oko 40 % se reciklira. Cilj Europe je taj postotak povećati.

U Hrvatskoj je 2015. g., prikupljeno 391.635 t miješanog komunalnog otpada, a najveći udio ima papir od 36,7 % (Slika 9.). Iz toga proizlazi da su papirnate stvari iz miješanog komunalnog otpada veliki neiskorišteni potencijal. [7]



Slika 9. Postotni udjel mase odvojeno sakupljenog otpada u RH 2015. godine [1]

Suština kružnog gospodarstva je recikliranje, a ne odvojeno sakupljanje. Odvojeno sakupljanje je tehnika koja pomaže da se korisne komponente pripreme za ulazak u proces ponovne uporabe i recikliranja.

Bitno je poštivati obveze sustava odvojenog prikupljanja papira, metala, plastike i stakla na mjestu nastanka. Shodno tome, potrebno je sakupljeni otpad očistiti od primjesa tj. od sastojaka koji su bili unutar ambalaže za pridobivanje tržišno prihvatljivih sekundarnih sirovina.

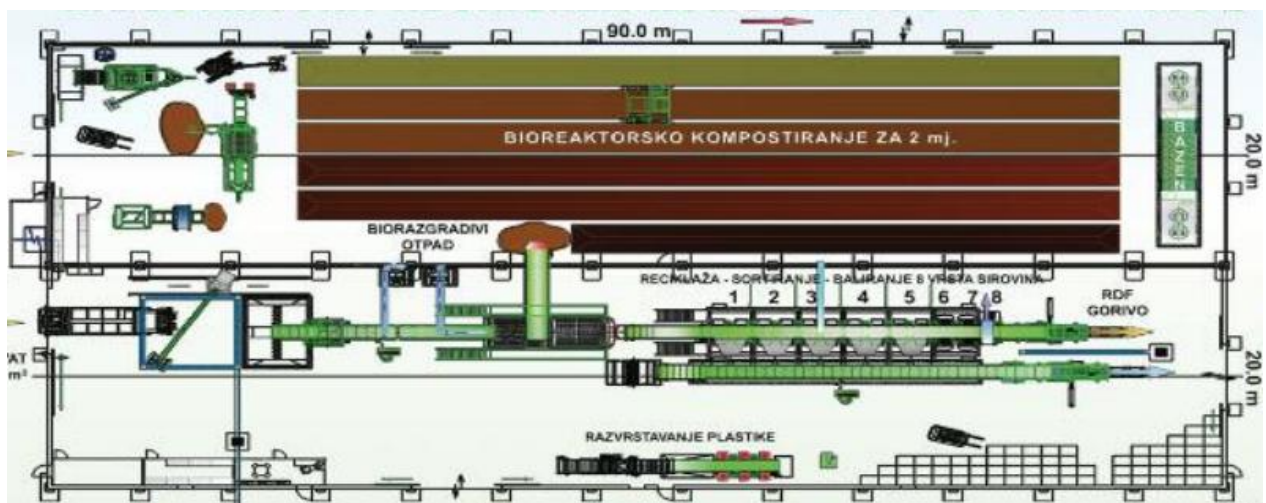
Drugim riječima, potrebno ga je pripremiti za ponovnu uporabu i recikliranje. Mehaničku obradu to čini neizostavnom i ključnom tehnologijom u sustavu gospodarenja otpadom kakavom iziskuje kružno gospodarstvo i preduvjetom njena ostvarenja.

### 3. MO-BO-TO tehnologija

Reciklirani otpad može se ponovno upotrijebiti kao sirovina za daljnji proizvod. Recikliranjem se također dobije više sirovina, a preradom biootpada stvara se kompost te se ostatak nerazvrstanog otpada koristi kao gorivni otpad (RDF) kao energent u proizvodnji energije.

Na ovaj način postiže se održiv razvoj i cirkularno kružno gospodarstvo. Tehnologija koja se primjenjuje za recikliranje i obradu komunalnog otpada, kompostiranje i proizvodnju RDF-a naziva se MO-BO-TO (Mehanička obrada-Biološka obrada-Termička obrada), a omogućuje izdvajanje svih frakcija koje se nalaze u komunalnom otpadu.

MO – BO – TO tehnologija u proizvodnom procesu otpad obradi mehanički, biološki i termički (Slika 10 i 11). Kapacitet je adaptivan, pa varira od 5 t/h, 10 t/h, 15 t/h, 20 t/h, 40 t/h i 80 t/h.



Slika 10. Tlocrt sortirnice [22]





Slika 11. 3D prikaz sortirnice i kompostarne [22]

Komunalni otpad prolazi kroz više faza, od dovoza otpada u sortirnicu do baliranja gotove sirovine za daljnu upotrebu ili do komposta iz bio otpada. Dovož otpada u sortirnicu obavlja se pomoću komunalnih vozila koja kipaju otpad u grotlo (Slika 12).



Slika 12. Kipanje prikupljenog otpada u prihvatno grotlo sortirnice [22]

Dozirnim kranom otpad hvata i stavlja na pokretnu traku. Komunalna vozila tipa Tehnix su različitih zapremnina od 5 pa do 22 m<sup>3</sup>.

Dovezeni otpad kipa se u prihvatno grotlo sortirnice koji ima kapacitet prihvata 30 m<sup>3</sup>. U grotlo je ugrađen dozator koji transportira otpad do otvarača vreća. Pošto je proces diskontinuirani (šaržni), postavlja se dozirni kran (Slika 12) koji svojom „rukom“ tkz. grajferom hvata otpad i stavlja na dozirnu traku gdje ide u daljnje procese, najprije, mehaničke obrade.

Druga metoda doziranja otpada jest da se na dno grotla ugrade 2 pužna transportera koji bi svojom vrtnjom dozirali otpad na transportnu traku. Takvi dozatori ne trebaju ni bager ni utovarivač čime se štedi gorivo i ne zagađuju prostor unutar hale. Sve to radi dozirni kran koji je pogonjen električnom energijom snage 4 kW te zahvatom od 10 m. (Slika 13) [23]



Slika 13. Dozirni kran [22]

U tablici 2 su navedene tehničke specifikacije grotla i dozirnog kрана.

Tablica 2. Tehničke specifikacije dozirnog grotla i dozatora Tehnix [22]

PROCESNI KAPACITET	5	10	15	20
DUŽINA, mm	5.600	5.800	6.000	6.000
ŠIRINA, mm	3.600	3.600	3.600	3.600
VISINA, mm	2.000	2.000	2.000	2.000
PUŽNI TRANSPORTER				
DUŽINA, mm	1.500	1.500	1.500	1.500
PROMJER, mm	500	500	500	500
INSTALIRANA POGONSKA SNAGA, kW	4.0	4.0	5.5	5.5
DIMENZIJE DOZIRNOG TRANSPORTERA				
ŠIRINA, mm	1.150	1.350	1.550	1.550
KORISNA ŠIRINA, mm	1.000	1.200	1.400	1.400
UKUPNA DUŽINA, mm	9.000	9.000	9.000	9.000
LOPATICE, mm	50	50	50	50
POGONSKA SNAGA, kW	5.5	5.5	7.5	7.5

Komunalni otpad, prije sortiranja, potrebno je izvaditi iz vreća i kutija kako bi ga se moglo dalje obrađivati. Otvaranje vreća se vrši u otvaraču vreća pomoću dva seta noževa.

Prvi set noževa pogonjen je elektromotorom kojem je moguće mijenjati brzinu vrtnje. Drugi set noževa, tzv. češalj je fiksni i pričvršćen je za stranicu stroja. (Slika 14)



Slika 14. Noževi u stroju za otvaranje vreća [22]

Budući da se pri otvaranju vreća oslobađaju čestice prašine, na vrhu stroja nalazi se ventilacijski priključak promjera 500 mm kojim je otvarač vreća spojen na usisnu filter stanicu (Slika 15) u kojoj se filtrira onečišćen zrak. Prilikom otvaranja vreća, eventualna voda nakupljena u vreći se cijedi i odvodi. Otvarač vreća je kapaciteta od 5 - 20 t/h s mogućnošću otvaranja vreća mase od 5 - 50 kg. [23]



Slika 15. Filterska stanica [22]

Filterska stanica radi na principu usisavača, a onečišćeni zrak upuhuje u velike filterske vreće za filtriranje. Kapacitet isisavanja sustava za ventilaciju i filtriranje iznosi do 600 m<sup>3</sup>/h zraka.

Otpad se doprema do dvostrukog roto sita ili tzv. separat rotora, koji služi za izdvajanje sitnih komada i nereciklabilnog materijala iz komunalnog otpada. Uz to što izdvaja biološki otpad od ostalog otpada, svrha mu je još i sušenje otpada tj. otklanjanje eventualne vlage ako postoji, ali otpašivanje i filtriranje otpada ventilacijskim sustavom.

Otpad se odvaja rotacijom rupičastog bubnja raznih veličina otvora. Prvi dio bubnja ima okrugle otvore, dok druga polovica rotacijskog bubnja ima pravokutne otvore te na taj način separira otpad.

Bubanj je nakošen pod kutem od 3° prema izlazu roto sita kako bi se materijal mogao nesmatano gibati kroz sito. Unutar bubnja nalazi se i spirala koja svojom rotacijom bubnja vodi otpad prema kraju sita. U slučaju da je još neka vreća ili zamotani paket ostao uslijed prolaska kroz otvarač vreća, na početku roto sita postavljaju se šiljci za naknadno zasijecanje.

Roto sito je povišeno i smješteno na metalni okvir da se odvojene frakcije otpada mogu utovariti ispod u spremnike (kontejnere) za određenu vrstu otpada ili u transportere za daljnji transport izdvojenih frakcija. (Slika 16) Uslijed ovog procesa dolazi do prašenja te je i roto sito priključeno na filtersku stanicu za pročišćavanje onečišćenog zraka. [23] Roto sita su različitog kapaciteta (Tablica 3).



Slika 16. Separator rotor s kontejnerom ispod njega [23]

Tablica 3. Tehničke specifikacije roto sita [22]

TIP ROTOSITA	KAPACITET [t/h]	DIMENZIJE BUBNJA [mm]	DUŽINA [mm]	ŠIRINA [mm]	VISINA [mm]	DIMENZIJE PERFORACIJE [mm]	INSTALIRANA SNAGA [kW]
RS 3	Do 3	ø 2400 x 4000	6000	2990/4600	3250/4200	ø 55 / ø□ 55 x 120	5,5 + 3,0
RS 5	Do 5	ø 2400 x 6000	8000	2990/4600	3250/5700	ø 55 / ø□ 55 x 120	2 x 5,5 + 4,0
RS 10	Do 10	ø 2400 x 8000	10 000	2990/4600	3250/5800	ø 55 / ø□ 55 x 120	2 x 5,5 + 2 x 4,0
RS 15	Do 15	ø 2400 x 10000	12 000	2990/4600	3250/5900	ø 55 / ø□ 55 x 120	2 x 11,0 + 2 x 5,5
RS 20	Do 20	ø 2400 x 12000	14 000	2990/4600	3250/6000	ø 55 / ø□ 55 x 120	2 x 11,0 + 2 x 5,5

U tablici je vidljivo da ima više tipova rotosita, različitih veličina i kapaciteta obrade. Po potrebi kapaciteta obrade, uzima se adekvatno roto sito.

Otpad iz roto sita transportira se u kabine gdje se ručno ili pomoću senzora i robota razvrstava. Sortirne kabine se izvode iz kontejnerskih jedinica spojenih jedan do drugog. Prvi i zadnji kontejner u nizu su zatvoreni te je ostavljeni otvor za proizvodnu traku kojom se otpad transportira.

S jedne i druge strane transportera nalaze se ispusni boksevi s otklopnim dnom, po dva boksa za svakog radnika na liniji (Slika 17 i 18).



Slika 17. Sortirna kabina [23]



Slika 18. Radna mjesta u kabini [23]

Ispusni boksevi se koriste kako bi se ispustio ručno izdvojeni otpad u sortirne prostore ispod kontejnera. Princip sa otklopnim dnom osigurava da ne propusti otpad u potisnu ploču balirke kada je u pogonu.

Na kraju linije, nalazi se magnet koji dodatno odvaja magnetni i nemagnetni nesortirani metal. Otpad koji je nesortiran i nakon magneta na kraju linije, završava kao RDF (*eng. Refuse Derived Fuel*) gorivo. [23]

Sortirani otpad se ubacuje u ispusne bokseve iz kojih se ispušta u balirku. Balirka preša sortirani otpad i omata ga vodonepropusnom folijom, u kockaste bale za lakši daljnji transport. Preše su verikalne (Slika 19 i 20) i horizontalne (Slika 21), različitog kapaciteta (Tablica 4).

Tablica 4. Specifikacija preša za baliranje [22]

TIP PREŠE	SNAGA [V/kW]	POTISAK [t]	MASA BALE [kg]	DIMENZIJE BALE [DxŠxV, mm]	VANJSKE MJERE [DxŠxV, mm]
VPB – 10	220 V / 2,2 kW	10 t	Do 100 kg	600 x 510 x 550	950 x 800 x 2440
VPB – 15	380 V / 3,0 kW	15 t	Do 200 kg	700 x 710 x 650	1100 x 1050 x 2870
VPB – 20	380 V / 4,0 kW	20 t	Do 250 kg	1000 x 710 x 650	1100 x 1250 x 2870
DVPB – 10	220 V / 2,2 kW	10 t	Do 100 kg	600 x 510 x 550	1600 x 880 x 2300
DVPB - 15	380 V / 3,0 kW	15 t	Do 200 kg	700 x 710 x 650	1820 x 1150 x 2500
HPB - 25	380 V / 11 kW	25 t	Do 250 kg	1100 x 800 x 800	5230 x 1210 x 2315
HPB – 35	380 V / 11 kW	35 t	Do 350 kg	1100 x 800 x 800	5230 x 1210 x 2315



Slika 19. VPB [22]



Slika 20. DVPB [22]



Slika 21. Horizontalna preša (HPB) [22]

Biorazgradivi otpad se iz separator rotora transportira u kompostanu, u kojoj se miješa s ostatkom biorazgradivog otpada (granje, lišće, korjenje, drveća, biljke, trava itd...). Biološki otpad prolazi prvo kroz shredder (Slika 22) koji ga usitnjuje, pa se zatim transportira u roto sito gdje se razvrstava po veličini granula.



Slika 22. Kompost roto shredder [23]

Specifikacije kompost roto shreddera navedene su u tablici 5.



Tablica 5. Tehničke specifikacije shredder-a [22]

DIMENZIJA UREĐAJA (DxŠxV) [mm]	11000 x 2480 x 3000
PROMJER ROTORA S NOŽEVIMA [mm]	Ø 2500
DUŽINA ROTORA [mm]	2500
BROJ NOŽEVA	23
ŠIRINA NOŽA [mm]	50
VISINA UBACIVANJA [mm]	2400
VISINA IZBACIVANJA SHREDDIRANE FRAKCIJE [mm]	2630
ŠIRINA TRAKE TRANSPORTERA IZLAZNE FRAKCIJE [mm]	1000
SNAGA POGONSKOG DIESEL AGREGATA [kW]	130
DOSEG DOZIRNOG KRANA (min / max) [m]	2,5 / 5,5
ŠIRINA ZAHVATNE KOŠARE (otvoreno / zatvoreno) [mm]	700 / 1650

Na kraju procesa kompostiranja, dobiveni kompost se još jednom prosijava kroz kompost roto sito (Slika 23) koji krupne frakcije izdvaja iz komposta, a sitne frakcije komposta transportira na pakiranje. Krupne frakcije koje se nisu dovoljno razgradile dalje se kompostiraju. Specifikacije stroja kompost roto sita navedene su u tablici 6.



Slika 23. Kompost roto sito [23]

Tablica 6. Tehnička specifikacija kompost sita [22]

KOMPOST SITO	
DIMENZIJA STROJA (DxŠxV) [mm]	10400 x 5400 x 2930
POGONSKA SNAGA HIDRAULIČKOG SUSTAVA [kW]	11
PROMJER BUBNJA ZA PROSIJAVANJE [mm]	1910
DUŽINA BUBNJA ZA PROSIJAVANJE [mm]	2400
VISINA UBACIVANJA [mm]	2360

Usitnjeni biološki otpad formira se u brazde te se na taj način lakše obrađuje. Idealna veličina brazde je širine 2,5 m i visine 1,4 m. Vrijeme kompostiranja traje od 8 - 10 tj. [14, 20] Za vrijeme kompostiranja biomasu, treba obogaćivati s kisikom (prevrtanjem) radi održavanja aerobnih uvjeta te vlažiti.

Kompostder (Slika 24) prevrće brazde. U toku okretanja suhe i vlažne zone su pomiješane, a razina vlage je izjednačena. [14] U tablici 7 navedene su tehničke karakteristike kompostdera.



Slika 24. Kompostder [21]

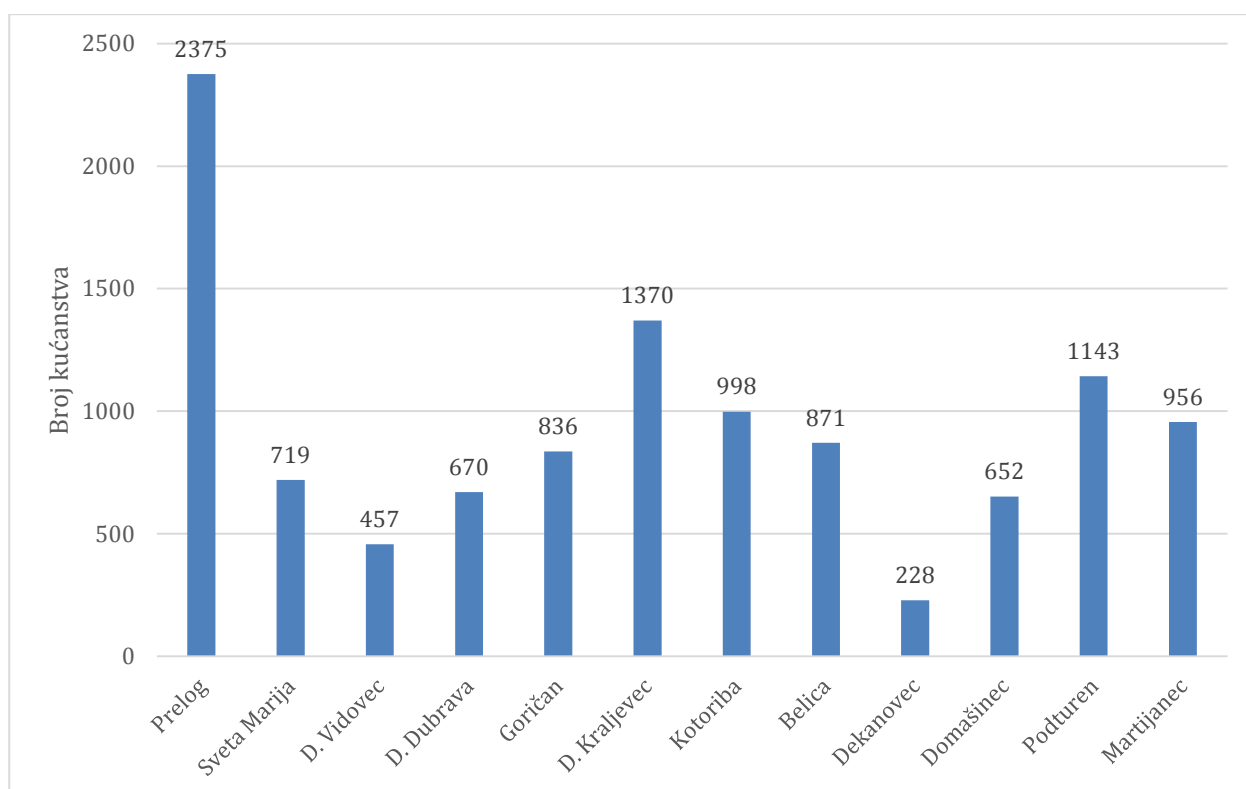
Tablica 7. Tehničke specifikacije kompostera. [21]

TIP TEHNIX	DIMENZIJE (DxŠxV) [mm]	SNAGA MOTO RA [kW/ks]	VOLUMEN BIOAKOM ULATORA [L]	BRZINA [m/min]	PROMJER ROTORA [mm]	ŠIRINA BRAZDE [mm]	VISINA BRAZDE [mm]	KAPACI TET OBRADJE [m <sup>3</sup> /h]
2300 / 45	2965x3200x2630	45/60	700	4 – 60	300	2300	1000	570
2800 / 82	3065x3520x3740	82/110	1000	4 – 60	400	2800	1250	845
3500 / 97	3065x4220x4140	97/130	2000	4 - 60	500	3500	1500	1235

## 4. Projektiranje sortirnice za GKP PRE-KOM d.o.o.

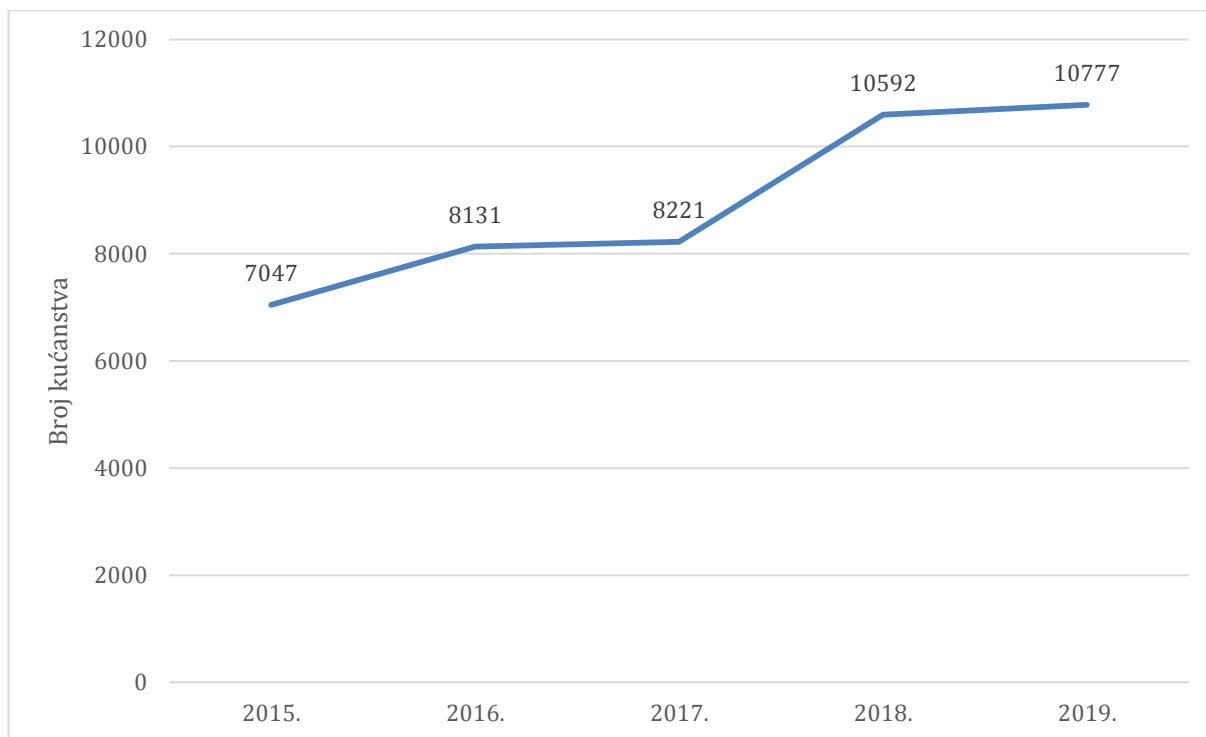
### 4.1. Statistika kućanstva i količine prikupljenog otpada

Za projektiranje sortirnice komunalnog otpada, kao ulazni podaci potrebne su količine sakupljenog otpada. GKP PRE-KOM d.o.o iz Preloga sakuplja otpad u 12 JLS (jedinica lokalne samouprave): Prelog, Donja Dubrava, Sveta Marija, Donji Vidovec, Goričan, Donji Kraljevec, Kotoriba, Dekanovec, Domašinec, Podturen i Martijanec. Na slici 25 prikazan je broj kućanstva u pojedinom mjestu sakupljanja za 2019. g.



Slika 25. Broj kućanstva u pojedinom mjestu sakupljanja otpada u 2019. g. [8]

U obzir se mora uzeti i predviđen rast broja kućanstva (Slika 26.). Regresijom je predviđen da trenutni broj kućanstava iznosi 10 777, što je potvrđeno i istraživanjem.



Slika 26. Ukupni broj kućanstva od 2015. do 2019. godine [8]

Broj kućanstva će u budućnosti biti veći te je to dobar pokazatelj, a time će rasti i broj prikupljenog otpada za što je potreba za novom sortirnicom koja bi prikupljeni otpad obrađivala. Trend rasta je pozitivan i takav je u svim zemaljama, osim u onim slabo ili nerazvijenim.

Potreban kapacitet sortirnice dobiva se prema količini sakupljenog miješanog komunalnog otpada godišnje kroz zadnjih 5 g. (Tablica 8).

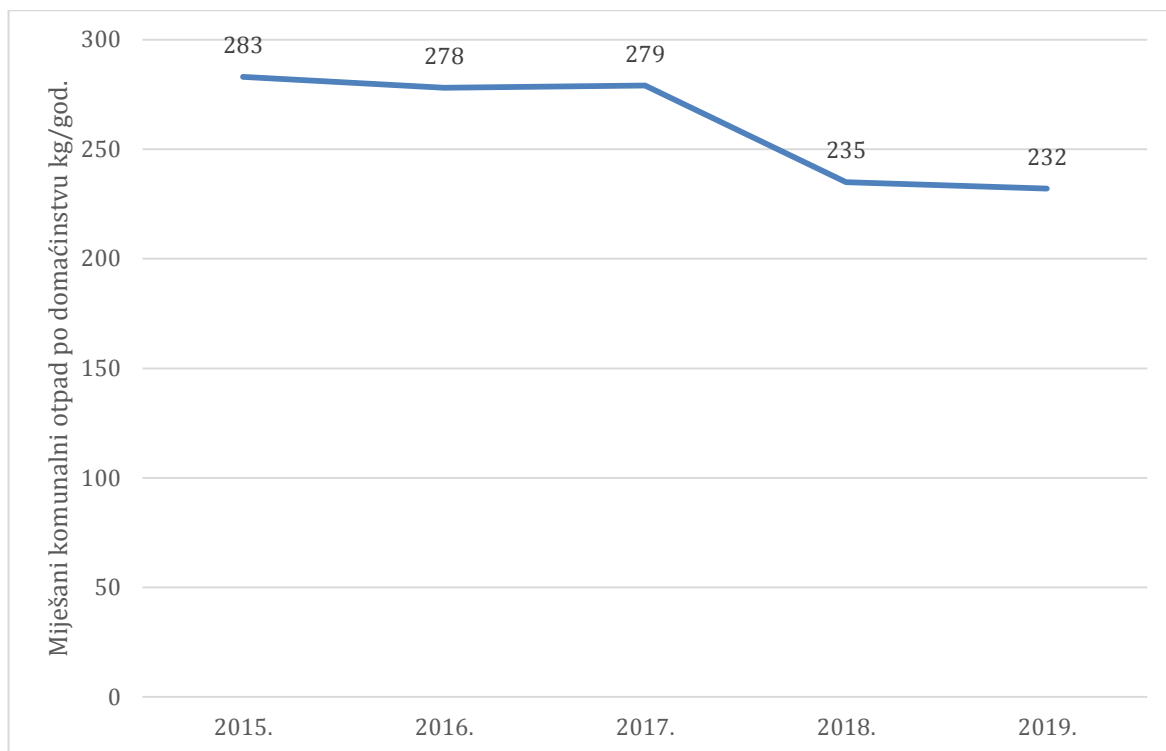
Tablica 8. Statistika sakupljenog otpada navedenog područja u razdoblju od 2015. - 2019. g. [8]

VRSTA OTPADA	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.
Miješani komunalni otpad, kg *	1 994 620	2 073 180	2 292 840	2 239 270	2 501 210
Komunalni otpad, kg **	457 830	553 730	665 647	764 200	635 620
Glomazni otpad, kg	304 790	196 400	294 890	347 680	624 200
Biorazgradivi komunalni otpad, kg	1 931 114	2 026 220	2 410 280	3 031 722	3 358 030
Drvo uporaba, kg	0	243 370	182 780	250 520	225 170
Papir, kg	293 360	288 980	384 970	398 248	494 474
Plastika, kg	137 400	182 383	309 329	408 571	291 530
Metal, kg	125 105	123 816	121 848	134 568	227 320
Tetrapak, kg	46 920	40 750	44 180	53 920	43 180
Gume, kg	12 180	19 320	17 960	23 890	25 710
Otpad sa groblja koji nije biorazgradiv, kg	37 363	41 315	21 470	58 180	313 960
Staklo, kg	99 400	115 870	196 950	233 845	271 785
El. otpad, kg	16 651	24 120	23 568	26 930	38 360
Problematicni otpad (baterije i sl.), kg	1 178	801	525	735	555
Tekstil, kg	10 730	10 470	11 809	11 248	22 633
Građevinski otpad + keramika i sanitarije, kg	0	196 800	45 310	172 750	84 960
<b>UKUPNO, kg</b>	<b>5 468 641</b>	<b>6 238 715</b>	<b>7 024 356</b>	<b>8 156 277</b>	<b>9 158 697</b>

\* Miješani komunalni otpad je otpad koji nastaje u kućanstvu, u tvornicama tj. industriji, u trgovini i ustanovama te je po sastavu sličan otpadu iz kućanstva, ali iz kojeg nisu izdvojeni materijali kao što su papir, staklo, plastika itd..

\*\* Komunalni otpad je otpad koji nastaje u kućanstvu, ustanovama, u trgovinskim i proizvodnim djelatnostima te je sastavom i sličan kućanskom otpadu uključujući odvojeno sakupljene sastojke otpada. Također uključuje građevinski otpad, vrtni otpad, ostatke komunalnih otpadnih voda itd..

U 2015. godini sakupljeno je 1 994 620 kg komunalnog miješanog otpada. Kad se taj podatak podijeli sa 7 047 (ukupnih broj domaćinstva), dobije se podatak da u prosjeku svako domaćinstvo proizvede oko 283 kg/g. otpada. Na isti način napravljen je izračun za ostale godine. (Slika 27) [8]



Slika 27. Količina miješanog komunalnog otpada u domaćinstvima po godinama [8]

Na svu sreću taj je broj u opadanju što bi značilo da su ljudi počeli sve više sortirati otpad u kućanstvu te počinju biti ekološki osvješteniji i svijesniji trenutne situacije zbrinjavanja otpada. Ukupnom analizom postojeće tablice izračunavaju se predviđene vrijednosti ukupne količine pojedinog otpada sortiranog od strane komunalnog poduzeća, a s time i ostali faktori vezani uz kapacitet sortirne linije kao i broj radnih mjesta za rad sortirnice.

## 4.2. Ulazni parametri za proračun kapaciteta sortirnice

U poglavlju 3. MO-BO-TO navedeno je da postoje 6 tipova sortirnica kapaciteta od 5 - 80 t/h obrade komunalnog otpada. Za početak projektiranja kapaciteta sortirnice prolazi se kroz 4 bitna segmenta (Tablica 9.).

Prvi parametar je količina sakupljenog otpada prema vrstama, odnosno potreban kapacitet sortirnice. Drugi važan parametar je efektivno radno vrijeme sortirnice. Slijedi pregled lokacije, prostorni plan te infrastruktura. Kao četvrti parametar su posebni zahtjevi naručitelja.

Tablica 9. Ulazni podaci za izradu projekta postrojenja za industrijsku reciklažu komunalnog otpada

PRIKUPLJENI KOMUNALNI OTPAD	SPECIFIČNA MASA OTPADA		kg / m <sup>3</sup>
	GODIŠNJE		t/g.
	DNEVNO		t/d.
	BIORAZGRADIVI OTPAD		t/g.
	PLASTIKA		t/g.
	PAPIR		t/g.
	KARTON		t/g.
	PET AMBALAŽA		t/g.
	AL AMBALAŽA		t/g.
	TEKSTIL		t/g.
	STAKLO		t/g.
	METAL		t/g.
RADNO VRIJEME	BROJ RADNIH DANA NA GODINU		
	BROJ SMJENA		
	BROJ RADNIH SATI PO SMJENI		
RASPOLOŽIVI PROSTOR I INFRASTRUKTURA	DUŽINA ČESTICE		m
	ŠIRINA ČESTICE		m
	POVRŠINA ČESTICE (1ha=10 000 m <sup>2</sup> )		ha
	POVEZANOST NA PROMETNU INFRASTRUKTURU		
	POVEZANOST NA KOMUNALNU INFRASTRUKTURU		
	PRIKLJUČAK NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU		kW
ZAHTIJEVI NARUČITELJA	OBRADA MKO	DA / NE	
	OBRADA ODVOJENO PRIKUPLJENOG KO	DA / NE	
	OTVARANJE VREĆA SA OTPADOM	DA / NE	
	PROSIJAVANJE OTPADA	DA / NE	
	OTPRAŠIVANJE OTPADA	DA / NE	
	BALIRANJE SIROVINA	DA / NE	
	BALIRANJE RDF-a	DA / NE	

Prema izračunu iz poglavlja 4.1. pretpostavka je da će odvojeno sakupljenog otpada i miješanog komunalnog otpada u narednim godinama biti sakupljeno do 9 000 t/g., a biorazgradivog otpada do 4 000 t/g.

Procijenjeni broj radnih dana je 190 d./g. Od ukupnog broja radnih dana u godini oduzimaju se 3 ljetna mjeseca lipanj, srpanj i kolovoz zbog smanjenog kapaciteta rada zbog godišnjih odmora te neradni dani zbog održavanja sortitnice.

Zbog nedostatka radnika predviđa se jednosmjenski rad, 8 h/d., ali 1 h otpada na pauzu (30 min) i male stanke tijekom dana, pa se efektivno radi 7 h/d. Za 47 t/d., odnosno potreban satni kapacitet je 6,8 t/h. (Tablica 10)

Tablica 10. Proračun radnih sati i količine otpada

PROCIJENJEN BROJ RADNIH DANA U GODINI	PROCIJENJEN BROJ RADNIH SATI NA DAN		PROCIJENJEN BROJ RADNIH SATI GODIŠNJE		POTENCIJALNA KOLIČINA OBRAĐENOG OTPADA	
	190	Broj sati po smjeni	7	Broj sati godišnje	1330	t/h
Broj smjena		1	t/d.			47
			t/g.			9 000

Takav kapacitet je prihvatljiv i izvediv te je odabrana sortirница kapaciteta obrade komunalnog otpada od 10 t/h.

Budući da naručitelj traži obradu MKO (miješani komunalni otpad) i obradu odvojenog prikupljenog komunalnog otpada (papir, plastika, staklo, metal...), potrebni su : vreće otvarač, roto sito za izdvajanje biootpada i manjih frakcija prije ručne obrade sortiranja, sustav za pročišćavanje onečišćenog zraka te otprašivanje otpada i balirka kojom će se sortirani reciklabilni otpad prešati i balirati.



### **4.3. Proračun potrebnih radnika u sortiranju otpada**

Sortiranje otpada biti će ručno. U tablici 11. prikazane su vrijednosti proračuna za sortirnicu kapaciteta 10 t/h..

Iz tablice je vidljivo da je za sortiranje folije potrebno 3 radnika, za sortiranje papira 4 radnika, za PET ambalažu je potrebno isto 4 radnika, za MET 3 radnika, za staklo 2 radnika, za tekstil 1, za tetrapak 1, te za HDPE, LDPE i gumu je potrebno po 2 radnika što u konačnici daje 24 potrebna radnika na sortirnoj traci.

U početku je prikazan ukupni postotak sitnica iz korisnog otpada koje se u roto-situ odstrane prije trake za sortiranje kroz različite veličine frakcije. Takav otpad u sitnim frakcijama transporterom se otprema u kompostanu gdje se zajedno s ostalim biorazgradivim otpadom kompostira i pretvara u kompost.

Tablica 11. Proračun sortiranja pojedinih vrsta otpada na godinu i potrebni ukupni broj radnika u procesu sortiranja otpada u sortirnici kapaciteta 10 t/h

SORTIRNO MJESTO	SORTIRANI MATERIJAL / KORISTAN OTPAD	GODIŠNJA KOLIČINA KORISNOG OTPADA (t/g)	UDIO KORISNOG OTPADA U UKUPNOJ KOLIČINI (%)	UDIO IZDVOJENOG KORISNOG OTPADA U UKUPNOJ KOLIČINI (%)	KOLIČINA IZDVOJENOG KORISNOG MATERIJALA (t/g)	ZAHTIJEVANI KAPACITET OBRADE PO SATU (kg/h)	PROCIJENJEN KAPACITET OBRADE PO RADNIKU (kg/h/radnik)	UKUPAN POTREBAN BROJ RADNIKA (ukupno radnika)
ROTO-SITO	SITNICA IZ KORISNOG OTPADA	1.170,0	13 %	13 %	1.170,0	879,7		
KABINA 1	FOLIJA	540,0	6 %	5,4 %	486,0	365,4	135	3
KABINA 2	KARTON/PAPIR	1.710,0	19 %	17,1 %	1.539,0	1.157,1	300	4
KABINA 3	PET	1.350,0	15 %	13,5 %	1.215,0	913,5	250	4
KABINA 4	MET	720,0	8 %	7,2 %	648,0	487,2	190	3
KABINA 5	STAKLO	450,0	5 %	4,5 %	405,0	304,5	220	2
KABINA 6	TEKSTIL	90,0	1 %	0,9%	81,0	60,9	100	1
KABINA 7	TETRAPAK	360,0	4 %	3,6 %	324,0	243,6	250	1
KABINA 8	HDPE	225,0	2,5 %	2,25%	202,5	152,3	150	2
KABINA 9	GUMA	270,0	3 %	2,7 %	243,0	182,7	150	2
KABINA 10	LDPE	225,0	2,5 %	2,25 %	202,5	152,3	100	2
	MAGNETIČNI METALI	540,0	6 %	5,4 %	486,0	365,4		
	OSTALO	1.350,0	15 %	21,5 %	1.935,0	1.454,9		
	<b>UKUPNO</b>	<b>9.000</b>	<b>100 %</b>	<b>99,3 %</b>	<b>8.937</b>	<b>6.719,5</b>		<b>24</b>

U tablici se može vidjeti još postotak određene vrste otpada s obzirom u ukupnoj količini miješanog komunalnog otpada. Npr. folija se u ukupnoj količini miješanog komunalnog otpada nalazi u postotku od 6%, karton/papir u iznosu od 19%, staklo 5%, tetrapak 4%, staklo 1% itd.

Za svakog radnika se predviđa koliko bi kilograma on mogao ručno izdvojiti pojedini otpad, te koliko se kilograma očekuje da se obradi na dan. Ti podaci služe za dobivanje broja potrebnih radnika za određenu vrstu otpada.

Na kraju sortirne trake, stavlja se magnetni separator koji prikuplja magnetični materijal u otpadu i pomaže da se metalni materijali ne nađu u otpadu tj. u RDF gorivu koji bi smetali pri spaljivanju otpada. Nadalje, na sortirnoj traci se sortira posebno folija, karton tj. papir, PET i MET ambalaža, staklo, tekstil, tetrapak, HDPE (polietilen visoke gustoće), LDPE (polietilen niske gustoće), guma, magnetični metali, a ostatak nerazvrstanog otpada se balira i koristi se kao RDF gorivo.

Nakon izračuna za sortirnicu, izračunava se proračun kapaciteta balirke. Za proračun je korištena balirka APB-60 (automatska preša balirka potisne snage od 60 t). U tablici 12 prikazani su podaci za baliranje.

Tablica 12. Proračun kapaciteta automatske preše balirke APB - 60

MATERIJAL ZA PREŠANJE	GODIŠNJA KOLIČINA MATERIJALA ZA BALIRANJE (t/g)	PROSJEČNA DNEVNA KOLIČINA MATERIJALA ZA BALIRANJE (kg/d)	PROSJEČNA MASA BALE (kg)	DNEVNI BROJ BALA (kom)	UKUPNI DNEVNI BROJ BALA (kom)
KARTON/PAPIR	1.539,0	8.100	400	21	80
PLASTIKA	2.106,0	11.084	260	43	
NEMAGNETIČNI METAL	486,0	2.558	250	11	
TETRAPAK	324,0	1.705	450	4	
TEKSTIL	81,0	426	500	1	

Ukupne količine pojedinog baliranog materijala prikazane su u tablici, te bi se baliralo 80 bala/d. Iz toga proizlazi da za godišnju količinu papira tj. kartona dnevno iz sortirnice izlazilo 21 bala s papirom, ako se uračuna da je prosječna masa bale papira 400 kg.

Plastike bi se najviše obradilo i sakupilo te bi dnevno izlazilo 43 bala iz sortirnice uz prosječnu masu bale od 260 kg i tako za svaku vrstu otpada. Tekstila ima namanje u miješanom komunalnom otpadu i izlazila bi eventualno jedna bala na dan. Potrebne bi bile 3 automatske preše balirke koje bi sortirani otpad balirale.

#### 4.4. Kompostiranje

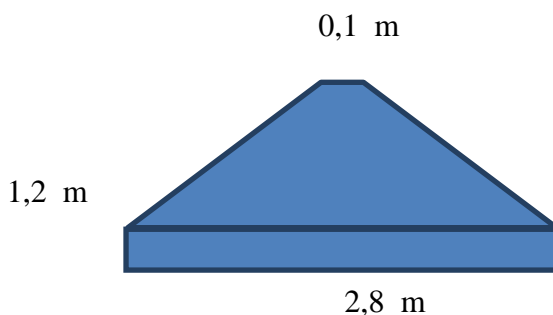
Uz sortirnicu komunalnog otpada, projektirano je i bioreaktorsko postrojenje za kompostiranje. Prema vrijednostima u poglavlju 4.1., oko 4 000 t/g. bio otpada se prikupi te se ta vrijednost koristi i za projektiranje.

Proračunom vrijednosti po specifični masi od 4 000 t dovezenog bio otpada i neprosijanim ostatkom od prethodnog ciklusa dolazi se do brojke od 6 607 m<sup>3</sup> ukupne količine otpada u kompostani. (Tablica 13) Stroj za obradu bio-razgradivog otpada odabran je kompostder 2500/82 kojim će se brazde bio otpada prozračivati i prskati vodom.

Tablica 13. Godišnja količina bio-razgradivog otpada

	GODIŠNJA KOLIČINA (t/god)	SPECIFIČNA MASA (t/m <sup>3</sup> )
KOLIČINA DOVEZENOG BIO- RAZGRADIVOG OTPADA	4 000	0,65
NEPROSIJANI OSTATAK OD PRETHODNOG CIKLUSA OD UKUPNE KOLIČINE PRETHODNOG CIKLUSA (5 %)	200	0,35
<b>GODIŠNJI KAPACITET POSTROJENJA</b>	<b>4 200</b>	<b>0,64</b>
	<b>6607 m<sup>3</sup>/god</b>	

Optimalna brazda je širine 2,8 m i visine 1,2 m (Slika 28). Između brazdi mora biti minimalni razmak od 0,7 m da se nesmetano i što lakše mogu obrađivati brazde kompostderom [20]



Slika 28. Shema brazde sa dimenzijama

Specifični volumen brazde je  $1,88 \text{ m}^3/\text{m}$ , vrijeme jednog ciklusa traje 8 tjedna i ciklus se ponavlja 6 put godišnje. Kompostder ima kapacitet po ciklusu od  $1\ 101 \text{ m}^3$ .

Za dimenzioniranje veličine prostora za kompostiranje, potreban je podatak iskoristivosti površine za kompostiranje. Taj broj proizlazi kada se specifični volumen ( $1,88 \text{ m}^3/\text{m}$ ) podijeli zbrojem širine brazde (2,8 m) i razmaka između brazdi (0,7 m) te se dobije da je iskoristivost površine jednaka  $0,54 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

U tablici 14 izračunate su vrijednosti potrebne površine postrojenja za kompostiranje željenog kapaciteta obrade.

Tablica 14. Površina bio-reaktorskog postrojenja

	DIMENZIJA HALE		UKUPNA POVRŠINA ZA INDUSTRIJSKU PROIZVODNJU KOMPOSTA
	ŠIRINA (m)	DUŽINA (m)	
POVRŠINA ZA PRIHVAT I PREDTRETMAN DOVEZENOG BIO-RAZGRADIVOG OTPADA	ŠIRINA (m)	25	500
	DUŽINA (m)	20	
POVRŠINA ZA BIO-REAKTORSKO KOMPOSTIRANJE	ŠIRINA (m)	25	2056
	DUŽINA (m)	82	
	ŠIRINA = 25 m	DUŽINA = 102 m	2556 $\text{m}^2$

Površina za kompostiranje ( $2\ 056 \text{ m}^2$ ) dobije se izračunom kada se podijeli kapacitet obrade po ciklusu ( $1\ 101 \text{ m}^3$ ) sa iskoristivošću površine ( $0,54 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ). Rezultat se zaokružuje na prvi veći cijeli broj bez ostatka. Također iz tablice je vidljivo da je potrebna dužina od 82 m, a ona se dobije dijeljenjem ukupne površine ( $2056 \text{ m}^2$ ) sa širinom (25 m) te se zaokružuje na prvi bliži cijeli broj.

#### 4.5. Troškovi, prihodi i isplativost sortirnice kapaciteta do 10 t/h

Sortirnica otpada radila bi pod opterećenjem od 7 t/h te se sa tim podatkom ulazi u tablicu i proračun prihoda iste. (tablica 15)

Tablica 15. Proračun prihoda sortirnice i kompostane na godinu

OPIS RADNIH OPERACIJA	CIJENA (€/t)	UDIO U SASTAVU OTPADA	€/sat	€/mjesec 172 h/mjesec	€/godinu
CIJENA OBRADE MIJEŠANOG KOMUNALNOG OTPADA	50,00	100 %	350,00 €	60.200,00 €	541.800,00 €
PROSJEČNA CIJENA RECIKLIRANOG MATERIJALA (folija, papir, PET, MET, plastika, metal, staklo...)	50,00	40 %	140,00 €	24.080,00 €	216.720,00 €
BALIRANI GORIVI MATERIJAL RDF ZA SPALIVANJE U CEMENTARAMA ILI ENERGANAMA	10,00	35 %	24,50 €	4.214,00 €	37.926,00 €
OBRADA BIORAZGRADIVOG OTPADA U POGONU ZA KOMPOSTIRANJE cca 25%	40,00	25 %	70,00 €	12.040,00 €	108.360,00 €
<b>PRIHOD OD OBRADE PO TONI MIJEŠANOG KOMUNALNOG OTPADA IZNOSI =</b>	<b>44,00 €</b>	<b>PRIHODI UKUPNO</b>	<b>584,50 €</b>	<b>100.534,00 €</b>	<b>904.806,00 €</b>

Ukupan prihod sortirnice kapaciteta 7 t/h je 904.806,00 €/g. Cijena obrade miješanog komunalnog otpada iznosi 50 €/t, pa pomnožen s kapacitetom sortirnice od 7 t/h i udjelom u sastavu otpada, dobiva se prihod sortirnice od 350 €/h odnosno 541.800,00 €/g. ako se radi 9 mjeseci u godini.

Nadalje, sortirani i balirani reciklabilan otpad se prodaje po 216.720,00 €/g. ako je u prosjeku cijena recikliranog materijala 50 €/t. Ostali nerazvrstani otpad također se balira te se prodaje kao RDF gorivo za spaljivanje u cementarama ili energanam po cijeni od 10 €/t što iznosi prihod od 37.926,00 €/g.

Prihod od obrade po toni miješanog komunalnog otpada iznosi 44,00 €.

U sklopu sortirnice nalazi se i kompostana koja proizvodi kompost koji se prodaje po cijeni od 40 €/t odnosno 108.360,00 €/g..

Zbrojem svih vrsta prihoda dolazi se do iznosa od 904.806,00 €/g.

Troškovi sortirnice prikazani su u tablici 16. Troškovi su podijeljeni u 6 područja. Uz 24 radnika koji rade u sortirnici, potrebno je minimalno 6 radnika koji će prikupljati i transportirati otpad s 2 kamiona i 4 radnika koji rade na kompostiranju. Prosječna bruto satnica je 7 €/h, što znači da je za plaću radnicima potrebno 368.424,00 €/g.

Potrošnja je do 90 kW/g. što iznosi oko 20.898,00 €/g. Voda, radna odijela i zaštitna sredstava za 34 radnika iznosi oko 52.632,00 €/g.

Radni strojevi (kompostder, viličar, kamioni za dovoz) troše u prosjeku 35 l/h, što uz godišnji servis iznosi oko 72.240,00 €/g. Za baliranje razvrstanog otpada potrebna je žica za vezivanje, za održavanje strojeva potrebna su maziva i alat što iznosi oko 32.508,00 €/g.

Sortirnicom upravljaju rukovoditelj, a potrebni su i radnik na vaganju te portir. Oni neposredno utječu na tijek sortirnog procesa, oni su i više plaćeni te za njih treba isplatiti oko 51.600,00 €/g.

U cijenu ukupnog troška ulaze i remont i rezervni dijelovi, opći troškovi, naknade i pristojbe razne što u prosjeku iznosi 36.000,00 €/g.

Ukupni trošak iznosi oko 634.302,00 €/g.

Trošak od obrade po toni miješanog komunalnog otpada iznosi 30,00 €.

Tablica 16. Proračun ukupnih troškova sortirnice i kompostane na godinu

OPIS TROŠKA	PARAMETRI					€/ sat	€/ mjesec	€/ godina
TROŠKOVI RADNIKA	SORTIRANJE	UNUTARNJI TRANSPORT	KOMPOSTI RANJE	TROŠAK ZAPOS- ENIKA (€/h)	RADNI SATI NA MJESEC	238,00 €	40.936,00 €	368.424,00 €
	24	6	4	7,00	172			
TROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE (potrošnja do 90 kW)	CIJENA STRUJE (€/kWh)	POTROŠNJA STRUJE (kW/h)				13,50 €	2.322,00 €	20.898,00 €
	0,15	90			172			
TROŠAK VODE, RADNIH ODIJELA, ZAŠTITNIH SREDSTAVA I OSTALOG	PO ZAPOSLENOM (€/zaposlenom)	ZAPOSLENIKA				34,00 €	5.848,00 €	52.632,00 €
	1,00	34			172			
TROŠAK GORIVA ZA POGON RADNIH STROJEVA (kompostder, viljuškar, kamion za dovoz...)	UKUPNA POTROŠNJA (L/h)	FAKTOR RADA	CIJENA GORIVA I SERVISA (€/L)			35,00 €	6.020,00 €	72.240,00 €
	35,0	50 %	2,0		172			
ŽICA ZA VEZIVANJE BALA NA APB-60, MAZIVA I OSTALA SREDSTVA ODRŽAVANJA	BROJ PREŠA	CIJENA ŽICE (fi 3,2) (€/h/APB)				21,00 €	3.612,00 €	32.508,00 €
	3	7,00			172			
TROŠKOVI RUKOVODITELJA, PORTIRA, RADNIKA NA VAGANJU	ZAPOSLENIKA	TROŠAK POSLOVOĐA (€/h)	TROŠAK OSTALIH ZAPOSLENIKA (€/h)			25,00 €	4.300,00 €	51.600,00 €
	3	10,00	7,50		172			
TROŠKOVI ODRŽAVANJA I REZERVNIH DIJELOVA, TE GODIŠNJEG REMONTA						14,53 €	2.500,00 €	22.500,00 €
OPĆI TROŠKOVI, NAKNADE,...						8,72 €	1.500,00 €	13.500,00 €
<b>TROŠAK OBRADE PO TONI MIJEŠANOG KOMUNALNOG OTPADA =</b>			<b>30,00 €</b>	<b>TROŠKOVI UKUPNO =</b>		<b>389,76 €</b>	<b>67.038,00 €</b>	<b>634.302,00 €</b>



#### **4.6. Ukupna cijena izgradnje i opremanje postrojenja sortirnice i kompostane**

Cijena izgradnje sortirnice kapaciteta 10 t/h od temelja do puštanja u pogon iznosi 4.771.000,00 €. (Tablica 17)

Tablica 17. Ukupna cijena instalacije kompletne sortirnice i kompostarne po principu ključ u ruke

GRAĐEVINSKI RADOVI SORTIRNICE I KOMPOSTANE	1.703.500,00 €
OPREMA ZA SORTIRANJE	1.458.500,00 €
OPREMA ZA KOMPOSTIRANJE	834.000,00 €
ISPORUKA, MONTAŽA I PUŠTANJE U POGON SORTIRNICE I KOMPOSTARNE	775.000,00 €
UKUPNO	4.771.000,00 €

U građevinske radove spada izvođenje zemljanih i građevinskih radova na izgradnji hale postrojenja za reciklažu komunalnog otpada i hale postrojenja za biorektorsko kompostiranje, upravne zgrade te skladišta/deponije, ali i izrada i montaža metalne pocinčane konstrukcije hale za sortirnicu i kompostanu pokrivena izolacijskim panel pločama, a okolo ograđeno s ciglama.

Na popisu opreme za sortiranje nalazi se prihvatno dozirno grotlo za doziranje komunalnog otpada ili pedsortiranog komunalnog otpada, kran za doziranje, dva lančana transportera, stroj za otvaranje plastičnih vreća i kutija s komunalnim otpadom koji je priključen na ventilacijsku stanicu za otprašivanje, separator rotor za izdvajanje biološke mase iz komunalnog otpada i transporter koji odvojenu frakciju transportira u kompostanu. U daljnjem procesu potrebna je sortirna linija sastavljena iz 10 kontejnera, čelični boksevi s otklopnim dnom za odvajanje otpada, dvije balirke i svi ostali pripadajući pomoćni elementi i instalacije.

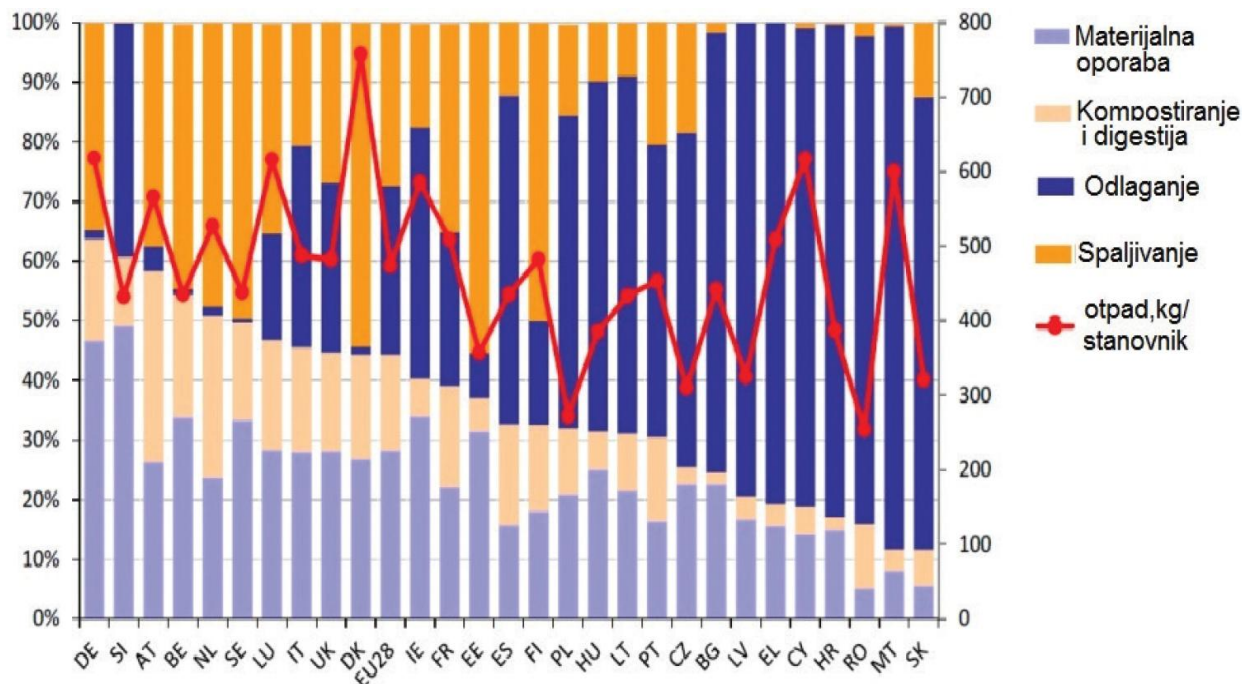
U opremu za kompostiranje spada bio-shredder koji bio otpad usitnjava i izdvaja željenu veličinu frakcije iz njega, kompostder koji će pomoći pri prevrtanju brazdi, kompost sito za prosijavanje komposta i izdvajanje krupnih elementa, sustav za vaganje i pakiranje komposta u vreće, cijelo ožičenje, viličar, skladišni kontejner itd.

Godišnja dobit od sortirnice bi iznosila 270.504,00 €, a ukupna cijena izgradnje i puštanja u pogon jedne takve sortirnice iznosi 4.771.000,00 €. Iz toga proizlazi da bi se takva sortirnica isplatila nakon 17,5 godina.

## 5. Zaključak

Otpad je danas jedan od glavnih problema svih zemalja. Svaka država se bori i ulaže sredstva u zbrinjavanje svih vrsta otpada na adekvatan i na najmanje štetan način. Hrvatska po pitanju zbrinjavanja jako zaostaje za ostalim članicama Europske unije i među najlošijima je.

Gotovo više od 80 % količine otpada koja se prikupi u Hrvatskoj se deponira, dok se oko 15 % ukupne količine otpada ponovno oporabi. Znatno manja količina se također i kompostira (Slika 29).



Slika 29. Usporedba načina gospodarenja otpadom i količine komunalnog otpada u EU zemljama (zemlje naznačene službenim kraticama EU) [1]

Prema fizikalno-kemijskim karakteristikama postoje 3 vrste otpada koji svojim svojstvima djeluju na zdravlje ljudi i okoliša, a klasificiraju se i dijele na inertni, neopasni i opasni otpad. Prema mjestu nastanka otpada, otpad se dijeli na komunalni i tehnološki (industrijski) otpad.

Mehaničko-biološka obrada otpada skup je različitih postupaka ili procesa obrade u kojima se otpad podvrgava jednoj ili više mehaničkih operacija s ciljem da se pripremi i razdvoji frakcija za neki od procesa ponovne uporabe ili recikliranja kroz materijalnu ili energijsku uporabu, dok se na biorazgradiv dio otpada primjenjuju se biološki postupci obrade.

Toplinska obrada otpada je proces u kojem se otpadu smanjuje volumen za 95% i time se rješava problem gomilanja otpada. Toplinskom obradom otpada može se dobiti potrebna električna i toplinska energija procesima kao što su piroliza, rasplinjavanje i spaljivanje.

Kružno gospodarstvo je ključ gospodarenja otpadom i rješenje takve vrste gospodarstva je MO-BO-TO tehnologija koja omogućava da se sav iskoristivi dio otpada pravilno sortira i obradi te ponovno upotrijebi u neku drugu svrhu bez odlaganja na deponije.

Otpad u svom procesu obrade prolazi kroz više faza. Svaka faza obrade bitna je za što bolju izlaznu kvalitetu recikliranog materijala i temelje na mehaničkoj obradi. Biološki otpad se usitnjuje i kompostira, dok se komunalni otpad prvo separira za odvajanje sitnih frakcija, sortira po vrsti materije te balira. Bale plastike, PET boca, metala, papira koriste se kao sirovina za daljnju upotrebu dok ostali nerazvrstani balirani otpad čini gorivo iz otpada (RDF).

U eksperimentalnom dijelu su uzeti statistički podaci ukupne sakupljene količine otpada i ukupni broj domaćinstva od strane GKP PRE-KOM d.o.o. u 12 JLS prema kojim se projektirala i računala financijska isplativost sortirnice miješanog komunalnog otpada. Sakupljena količina otpada i broj kućanstva prati svjetski trend rasta za što je i potrebna sortirnica takve vrste.

Prema prikupljenim i obrađenom podacima kroz 5 godina o količini otpada koje se zbrinjava i načinu rada sortirnice zaključak je da sortirnica mora imati kapacitet od 10 t/h kako bi stigla obrađivati dovezeni otpad. Otpad je miješani, komunalni otpad i biorazgradivi. Za potrebe rada obrade otpada potrebno bi bilo zaposliti 37 radnika.

Za takvu vrstu projekta, od temelja do puštanja u pogon, za početak potrebno je uložiti 4.771.000,00 € i opremiti je strojevima kao što su shredderi i roto sita za što lakšu i bolju obradu otpada. Uz sve prihode i rashode koji prate rad sortirnice, povrat investicije sortirnice otpada kapaciteta 10 t/h iznosi 17,5 godina.

## 6. Literatura

- [1] Zlatko Milanović, Dinko Sinčić: Mehanička obrada čvrstog otpada, Tehnix d.o.o., Donji Kraljevec, 2018.
- [2] Dr. sc. Branimir Fuk, dipl. ing. rud.: Gorivo iz otpada- Rješenje ili problem, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb, 2019.
- [3] Dobrović S., Schneider R.D.: Energija iz otpada, FSB, Zagreb
- [4] Denis Barković: Automatsko razvrstavanje otpada, Diplomski rad, FSB, Zagreb, 2015.
- [5] Sathish Paulraj Gundupalli, Subrata Hait, Atul Thakur: A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling, Indija, 2015.
- [6] Vjekoslava Kaučić: Nove metode u razvrstavanju otpada, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2018.
- [7] Udruga stanara i suvlasnika zgrada, HGK, Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko Goranske županije: Održivo gospodarenje otpadom – kružna ekonomija
- [8] <https://www.pre-kom.hr/>, dostupno 22.6.2020.
- [9] Karlo Stojkov: Istraživanje mogućnosti unapređenja proizvodnog programa opreme za obradu otpada, Završni rad, FSB, Zagreb, 2019.
- [10] Tomislav Lukić: Spaljivanje otpada (waste to energy Wte) – usporedna analiza, Listopad, 2015.
- [11] Vinko Šestak: Sastav komunalnog otpada, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, 2016.
- [12] Marin Grčić: Termička obrada otpada, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Strojarski odjel, Karlovac, 2017.
- [13] Ivan Mihaljević: Kompostiranje kao mjera ublažavanja klimatskih promjena, Završni rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2016.
- [14] Matea Levanić: Biološka svojstva otpada, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, 2016.
- [15] Mateo Jakeljić: Metode obrade i recikliranja komunalnog otpada u Hrvatskoj, Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.
- [16] <https://optolov.ru/hr/otdelka-sten-v-detskojj/preimushchestva-ispolzovaniya-karbamida-v-kompostnoi-yame-video-kak-prigotovit-pravilnyi-kompost-ud.html>, dostupno 15.7.2020.
- [17] <https://www.interceptorproject.hr/nabava-komunalnih-vozila-za-odvojeno-prikupljanje-otpada>, dostupno 15.7.2020.

- [18] <https://www.novilist.hr/Vijesti/Svijet/Malezija-vraca-plasticni-otpad-i-SAD-u-i-ostalim-zemljama-Necemo-bit-i-odlagaliste-smeca/>, dostupno 15.7.2020.
- [19] Skoko i sur., 2010. prema DERFA, 2007.
- [20] Tehnix katalog: Tehnologije i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, str. 24. – 26., 2020.
- [21] Tehnix katalog: Ekomunal suvremena vozila, 2020.
- [22] Tehnix katalog: Eko industrija, Donji Kraljevec- Hrvatska, 2020.
- [23] <https://tehnix.hr/proizvodi/>, dostupno 17.7.2020.
- [24] <https://uspirg.org/blogs/blog/usp/america-has-trash-problem>, dostupno 17.7.2020.
- [25] <http://www.ekootokkrk.hr/blog/kratki-osvrt-na-medijske-objave-o-cijeni-regionalnih-centara-za-gospodarenje-otpadom>, dostupno 15.7.2020.
- [26] [https://www.nytimes.com/2010/04/13/science/earth/13trash.html?pagewanted=all&\\_r=0](https://www.nytimes.com/2010/04/13/science/earth/13trash.html?pagewanted=all&_r=0), dostupno 11.9.2020.
- [27] [https://gos.hr/edukacija/vrste\\_otpada/](https://gos.hr/edukacija/vrste_otpada/), dostupno 8.9.2020.
- [28] <http://www.zelene-stope.hr/page/view-page/naslov/smece-kao-smisao-zivota>, dostupno 10.9.2020.

## Popis slika

Slika 1. Potencijalne opcije mehaničko-biološke obrade otpada [15,2] .....	3
Slika 2. Opća shema MBO/BMO procesa [14] .....	5
Slika 3. Ljudi za traženjem korisnih stvari iz otpada [1] .....	5
Slika 4. Shema postrojenja za mehaničku obradu [1].....	7
Slika 5. Shema postrojenja za mehaničku obradu miješanog komunalnog otpada tipa Tehnix [1].....	8
Slika 6. Shema spaljivanja otpada [10].....	10
Slika 7. Shema pirolize [10].....	11
Slika 8. Shema rasplinjavanja [10] .....	12
Slika 9. Postotni udjel mase odvojeno sakupljenog otpada u RH 2015. godine [1] .....	13
Slika 10. Tlocrt sortirnice [22].....	15
Slika 11. 3D prikaz sortirnice i kompostarne [22].....	16
Slika 12. Kipanje prikupljenog otpada u prihvatno grotlo sortirnice [22].....	16
Slika 13. Dozirni kran [22] .....	17
Slika 14. Noževi u stroju za otvaranje vreća [22].....	18
Slika 15. Filterska stanica [22].....	19
Slika 16. Separator rotor s kontejnerom ispod njega [23] .....	20
Slika 17. Sortirna kabina [23] .....	21
Slika 18. Radna mjesta u kabini [23].....	21
Slika 19. VPB [22].....	22
Slika 20. DVPB [22] .....	22
Slika 21. Horizontalna preša (HPB) [22].....	23
Slika 22. Kompost roto shredder [23].....	23
Slika 23. Kompost roto sito [23].....	24
Slika 24. Kompostder [21].....	25
Slika 25. Broj kućanstva u pojedinom mjestu sakupljanja otpada u 2019. g. [8].....	26
Slika 26. Ukupni broj kućanstva od 2015. do 2019. godine [8] .....	27
Slika 27. Količina miješanog komunalnog otpada u domaćinstvima po godinama [8].....	29
Slika 28. Shema brazde sa dimenzijama.....	35
Slika 29. Usporedba načina gospodarenja otpadom i količine komunalnog otpada u EU zemljama (zemlje naznačene službenim kraticama EU) [1].....	41

## Popis tablica

Tablica 1. Fizikalno-kemijska svojstva tvari i metode mehaničke obrade [1] .....	4
Tablica 2. Tehničke specifikacije dozirnog grotla i dozatora Tehnix [22] .....	18
Tablica 3. Tehničke specifikacije roto sita [22] .....	20
Tablica 4. Specifikacija preša za baliranje [22] .....	22
Tablica 5. Tehničke specifikacije shredder-a [22] .....	24
Tablica 6. Tehnička specifikacija kompost sita [22] .....	25
Tablica 7. Tehničke specifikacije kompostera. [21] .....	25
Tablica 8. Statistika sakupljenog otpada navedenog područja u razdoblju od 2015. - 2019. g. [8].....	28
Tablica 9. Ulazni podaci za izradu projekta postrojenja za industrijsku reciklažu komunalnog otpada.....	30
Tablica 10. Proračun radnih sati i količine otpada.....	31
Tablica 11. Proračun sortiranja pojedinih vrsta otpada na godinu i potrebni ukupni broj radnika u procesu sortiranja otpada u sortirnici kapaciteta 10 t/h .....	33
Tablica 12. Proračun kapaciteta automatske preše balirke APB - 60 .....	34
Tablica 13. Godišnja količina bio-razgradivog otpada .....	35
Tablica 14. Površina bio-reaktorskog postrojenja .....	36
Tablica 15. Proračun prihoda sortirnice i kompostane na godinu .....	37
Tablica 16. Proračun ukupnih troškova sortirnice i kompostane na godinu.....	39
Tablica 17. Ukupna cijena instalacije kompletne sortirnice i kompostarne po principu ključ u ruke .....	40