

Izgradnja sortirnice za odvojeno prikupljeni komunalni otpad u Gradu Zagrebu

Trputec, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:849465>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Karlo Trputec

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Irena Žmak

Student:

Karlo Trputec

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici prof. dr. sc. Ireni Žmak na prihvaćanju mentorstva, savjetima te stručnoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog rada.

Također zahvaljujem djelatnicima tvrtke Zagrebački centar za gospodarenje otpadom d.o.o., direktoru Igoru Zgombi i savjetnici direktora Vesni Lubin, na susretljivosti i pružanju svih potrebnih informacija za izradu ovog diplomskog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji te prijateljima i kolegama na podršci tijekom cijelog studija.

Karlo Trputec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske radove studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa:	602-14/22-6/1
Ur. broj:	15-1703-22-

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **KARLO TRPUTEC**

Mat. br.: 1191240538

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Izgradnja sortirnice za odvojeno prikupljeni komunalni otpad u Gradu Zagrebu**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Project of municipal waste sorting plant in the City of Zagreb**


Opis zadatka:


Sustav gospodarenja komunalnim otpadom uključuje prikupljanje i odvoz kako miješanog komunalnog otpada, tako i odvojeno prikupljenog otpada, njihovo recikliranje, uporaba ili odlaganje, kao najmanje poželjno rješenje. Sortiranjem odvojeno prikupljenog otpada povećava se kvaliteta odvojeno prikupljenih sirovina, a i time i tržišna vrijednost tih sirovina. Osim toga, odvojenim prikupljanjem i sortiranjem tog otpada olakšava se recikliranje materijala, povećava kvaliteta reciklata i smanjuje odlaganje. Za Hrvatsku je kroz program Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020. iz europskog Kohezijskog fonda alocirano 47 233 468,28 eura za izgradnju i/ili opremanje postrojenja za sortiranje odvojeno prikupljenog otpadnog papira, kartona, metala, plastike i drugih materijala. Projekt izgradnje sortirnice na zagrebačkom Žitnjaku, vrijednosti 391 920 000 kuna, predviđa izgradnju postrojenja za obradu 120 000 tona otpada godišnje. U okviru diplomskog rada potrebno je proučiti stanje komunalnog otpada u Gradu Zagrebu, količine, omjer i sastav miješanog u odnosu na odvojeno prikupljeni komunalni otpad, prikazati predviđene sustave i tehnologije za razdvajanje materijala, planirane količine pojedinih vrsta izlaznih materijala i očekivane financijske rezultate. U radu je potrebno osvrnuti se na stavove građana o odvojenom prikupljanju komunalnog otpada. U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
29. rujna 2022.

Rok predaje rada:
1. prosinca 2022.

Predvideni datum obrane:
12. prosinca do 16. prosinca 2022.

Zadatak zadao: 
prof. dr. sc. Irena Žmak

Predsjednica Povjerenstva:

prof. dr. sc. Biserka Runje

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. GOSPODARENJE OTPADOM.....	3
2.1. Uvod.....	3
2.2. Podjela otpada.....	5
2.3. Ekološki utjecaj.....	8
2.4. Hijerarhija gospodarenja otpadom	10
3. STANJE KOMUNALNOG OTPADA U GRADU ZAGREBU	11
4. SORTIRNICA GRADA ZAGREBA	22
4.1. Uvod.....	22
4.2. Radovi	26
4.3. Predviđene tehnologije za razdvajanje materijala.....	28
4.3.1. Mosna dizalica s grabilicom	28
4.3.2. Otvarači vrećica	29
4.3.3. Rotacijska sita	31
4.3.4. Balistički separatori	32
4.3.5. Optički separatori.....	34
4.3.6. Magnetski separatori	42
4.3.7. Separatori nemagnetičnih metala	44
4.3.8. Preše za baliranje	47
4.4. Ekonomičnost.....	49
5. STAVOVI GRAĐANA O ODVOJENOM PRIKUPLJANJU KOMUNALNOG OTPADA	52
5.1. Uvod.....	52
5.2. Istraživanje o odvajanju otpada.....	54
6. ZAKLJUČAK.....	60
LITERATURA.....	61

POPIS SLIKA

Slika 1.	Oznaka na proizvodu koji se može reciklirati [2]	1
Slika 2.	Shematski prikaz hijerarhije gospodarenja otpadom [14]	10
Slika 3.	Zeleni otok [16]	13
Slika 4.	Kante za otpad u Gradu Zagrebu [18]	15
Slika 5.	Vrećice za biootpad u Gradu Zagrebu [19]	16
Slika 6.	Grafički prikaz sakupljenog papira [20]	17
Slika 7.	Grafički prikaz sakupljenih polimernih materijala [21]	17
Slika 8.	Grafički prikaz sakupljenog stakla [22]	18
Slika 9.	Grafički prikaz sakupljenog biootpada [23]	18
Slika 10.	Žute vrećice za odvojeno prikupljanje polimerne i metalne ambalaže [24]	19
Slika 11.	Model sortirnice [25]	22
Slika 12.	Solarni paneli [29]	23
Slika 13.	Mosna vaga [31]	24
Slika 14.	Detektor radioaktivnosti [33]	25
Slika 15.	Radovi na uklanjanju postojećih građevina [34]	26
Slika 16.	Radovi na izgradnji javnog kanala sanitarne i oborinske odvodnje [35]	27
Slika 17.	Mosna dizalica s grabilicom [36]	28
Slika 18.	Otvarač vrećica [37]	29
Slika 19.	Noževi otvarača vrećica [37]	30
Slika 20.	Rotacijsko sito [39]	31
Slika 21.	Balistički separator [41]	32
Slika 22.	Shematski prikaz balističkog separatora [40]	33
Slika 23.	Optički separator [43]	34
Slika 24.	Prikaz valnih duljina i frekvencija zračenja [43]	36
Slika 25.	Shematski prikaz NIR optičkog separatora [45]	37
Slika 26.	Prikaz refleksije polimernih materijala pri različitim valnim duljinama [45]	37
Slika 27.	Shematski prikaz XRF-a [47]	38
Slika 28.	Sortiranje optičkim separatorom tijekom leta [49]	39
Slika 29.	Optički separator sa senzorom iznad pokretne trake [49]	40
Slika 30.	Detektiranje PET-boce unatoč naljepnici [49]	41
Slika 31.	Magnetski separator [50]	42
Slika 32.	Shematski prikaz magnetskog separatora iznad pokretne trake [51]	43
Slika 33.	Shematski prikaz magnetskog separatora iznad mjesta pražnjenja [51]	43
Slika 34.	Separator vrtložnim strujama [54]	44
Slika 35.	Shematski prikaz separatora vrtložnim strujama [55]	46
Slika 36.	Preša za baliranje papira [57]	47
Slika 37.	Preša za baliranje polimernih materijala [58]	48
Slika 38.	Uzorak ispitanika prema spolu	54
Slika 39.	Uzorak ispitanika prema životnoj dobi	54
Slika 40.	Navika odvajanja komunalnog otpada općenito	55
Slika 41.	Navika odvajanja otpadnog papira u kućanstvu	56
Slika 42.	Navika odvajanja otpadnih polimernih materijala	56
Slika 43.	Navika odvajanja otpadnog ambalažnog stakla	57
Slika 44.	Navika odvajanja otpadne metalne ambalaže	57
Slika 45.	Koliki problem stvara odvajanje komunalnog otpada u kućanstvu	58

Slika 46.	Stavovi o tome koliko je bitno odvajati otpad.....	58
Slika 47.	Stavovi o tome pomaže li se odvajanjem otpada u očuvanju okoliša	59

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prosječni sastav komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj [11].....	7
Tablica 2. Ukupno nastala količina otpada na području Grada Zagreba [15].....	11
Tablica 3. Udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada kroz sustav sakupljanja komunalnog otpada u Gradu Zagrebu [15]	11
Tablica 4. Pregled ukupnih količina komunalnog otpada sakupljenog kroz sustav sakupljanja komunalnog otpada [15].....	12
Tablica 5. Udio komunalnog otpada prikupljenog iz kućanstava [15].....	13
Tablica 6. Količina prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava [15]	14
Tablica 7. Udio prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava [15]	14
Tablica 8. Vrste i količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada iz kućanstava [15] ...	15
Tablica 9. Komunalni otpad odvojeno sakupljen putem spremnika na javnim površinama [15]	16
Tablica 10. Sumarni prikaz rezultata analize sastava otpadnog polimernog materijala u Gradu Zagrebu [11]	20
Tablica 11. Ponderirani sastav odvojeno prikupljenih otpadnih polimernih materijala [11] ...	21
Tablica 12. Količine onih vrsta odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u Gradu Zagrebu u 2021. godini koje će se sortirati u sortirnici [60]	49
Tablica 13. Prosječne cijene pojedinih vrsta otpadnih materijala u 2020. godini [61]	50
Tablica 14. Cijene određenih vrsta otpadnih metala nakon procesa sortiranja [62]	50
Tablica 15. Cijene određenih vrsta otpadnih polimera nakon procesa sortiranja [62].....	51
Tablica 16. Učestalost odvajanja određenih vrsta otpada [65].....	53

POPIS KRATICA

Kratika	Opis
GČ	Gradska četvrt
HDPE	Polietilen visoke gustoće
LDPE	Polietilen niske gustoće
PET	Poli(etilen-tereftalat)
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Poli(vinil-klorid)

SAŽETAK

Tema ovog diplomskog rada je izgradnja sortirnice za odvojeno prikupljeni komunalni otpad u Gradu Zagrebu. Ovaj rad prikazuje stanje komunalnog otpada u Gradu Zagrebu, odnosno kolike su količine prikupljenih otpadnih materijala poput papira, polimernih materijala, stakla itd. te koliki je udio odvojeno prikupljenog komunalnog otpada u Gradu Zagrebu. Nadalje, dane su općenite informacije o budućoj sortirnici Grada Zagreba te već obavljenim radovima. Također su prikazane tehnologije razdvajanja otpadnog materijala pomoću kojih je između ostalog moguće: razvrstavati otpad prema veličini i obliku uz korištenje rotacijskih sita i balističkih separatora, razvrstavati polimerni materijal prema vrstama i staklo prema boji pomoću optičkih separatora te razvrstavati željezne i neželjezne metale prema magnetičnosti, odnosno električnoj vodljivosti. Naposljetku, još su prikazane vrijednosti određenih otpadnih materijala te stavovi građana o odvojenom prikupljanju komunalnog otpada.

Ključne riječi: komunalni otpad, odvajanje otpada, Grad Zagreb, sortirnica, recikliranje, očuvanje okoliša

SUMMARY

The topic of this master's thesis is the project of municipal waste sorting plant in the City of Zagreb. This thesis shows the statistical data on municipal waste in the City of Zagreb, that is, the amount of collected waste materials such as paper, polymeric materials, glass, etc., and the proportion of separately collected municipal waste in the City of Zagreb. Furthermore, general information is given about the future sorting plant of the City of Zagreb and already completed works on the construction site. Technologies for separating waste materials are also presented, with the help of which, among other things, it is possible to: sort waste according to size and shape using rotary sieves and ballistic separators, sort polymeric materials according to types and glass according to colour using optical separators, and sort ferrous and non-ferrous metals according to magnetic properties of metals and electrical conductivity. Finally, the values of waste materials and the views of citizens on the separate collection of municipal waste are also presented.

Key words: municipal waste, waste separation, City of Zagreb, waste sorting plant, recycling, environmental protection

1. UVOD

Sve veći fokus usmjeren prema očuvanju okoliša doveo je do značajnih promjena u politikama gospodarenja komunalnim otpadom diljem svijeta. Europska unija je postavila ciljeve za recikliranje komunalnog otpada na najmanje 55 % do 2025., 60 % do 2030. i 65 % do 2035. godine. Otpad je potrebno razvrstavati u najranijoj mogućoj fazi kako bi se smanjila kontaminacija tijekom procesa recikliranja [Slika 1]. Nepravilno razvrstavanje može dovesti do kontaminacije različitih materijala što umanjuje čistoću reciklata i na taj način se smanjuje njegova vrijednost [1].



Slika 1. Oznaka na proizvodu koji se može reciklirati [2]

Prijelaz na kružno gospodarstvo, s ciljem produljenja korisnog vijeka trajanja materijala promicanjem recikliranja uz smanjenje upotrebe resursa, postao je prioritet u viziji Europske unije o održivom gospodarskom rastu i globalnoj konkurentnosti. Europska unija namjerava povećati stope recikliranja i oporabe ambalažnog otpada, kojeg se godišnje u Europi proizvede 73 milijuna tona. To uključuje i ambalažni i neambalažni papir, karton, polimerni materijal, metal, kompozitni materijal i staklo. Stoga su nametnuti zajednički ciljevi recikliranja za ambalažni otpad koji se moraju postići do 2030. godine, a to su stope recikliranja od: 85 % za papir, 55 % za polimerne materijale, 60 % za aluminij, 80 % za željezne metale i 75 % za staklo [3].

Uz to što je potrebno povećati odvajanje i recikliranje otpada na 65 % prema direktivi Europske unije također je potrebno i smanjiti odlaganje otpada na 10 % do 2035. godine [4].

Ako postoji jedan dio procesa recikliranja koji je kompliciran i težak, to je dio odvajanja i sortiranja materijala koji se može reciklirati. Učinkovito recikliranje oslanja se na djelotvorno i učinkovito razvrstavanje. Odvajanje različitih elemenata koji se nalaze u tokovima otpada ključno je za oporabu vrijednih materijala, smanjenje količine materijala koji se šalje na odlagališta i omogućavanje materijalima koji se mogu reciklirati da pronađu novu svrhu. Danas na tržištu postoji širok raspon tehnologija sortiranja i odvajanja [5].

Odvajanje otpada je proces razdvajanja otpada na različite elemente. Razvrstavanje otpada može se obaviti ručno u kućanstvu i prikupljati ili automatski odvajati u postrojenjima za oporabu materijala. Ručno razvrstavanje bila je prva metoda korištena u povijesti razvrstavanja otpada [5].

Odvajanje otpada bitan je korak prije zbrinjavanja otpada. Odvajanjem se može razvrstati vrijedan otpad za recikliranje i ponovnu upotrebu, poput različitih polimernih materijala, papira, stakla itd. Odvajanjem otpada za recikliranje poboljšava se razina iskorištenja resursa i smanjuje količina otpada na odlagalištima [5].

2. GOSPODARENJE OTPADOM

2.1. Uvod

Zaštita okoliša i održivost jedna je od glavnih briga u današnjem svijetu. Kontinuirano ispuštanje štetnog otpada i zagađivača zbog nepravilne industrijalizacije i nekontrolirane urbanizacije predstavlja najveću prijetnju čovječanstvu izravno, kratkoročno i dugoročno, a također stavlja ogroman pritisak na prirodne resurse. Neznatno i loše gospodarenje komunalnim i industrijskim otpadom i zagađivačima izuzetno nepovoljno utječe na okoliš i ugrožava održivost [6].

Brza urbanizacija, industrijska revolucija i ogroman pritisak stanovništva na prirodne resurse stavlja veliki stres na globalni okoliš. Različite neznanstvene aktivnosti moderne civilizacije generiraju ogromne količine otpada koji dovode do zagađenja. Štoviše, povećana potrošnja sirovina u velikim industrijama rezultira odlaganjem ogromnih količina kemijskih kontaminanata i radioaktivnog otpada u okoliš, što dovodi do nepopravljive štete cjelokupnoj biosferi. Stvaranje otpada glavni je čimbenik za gubitak materijala i energije te povećava ekološke posljedice i troškove za društvo za njegovo prikupljanje, obradu, odlaganje i cjelokupno upravljanje [6].

Otpad može biti kruti, tekući i plinoviti ili otpadna toplina. Otpad se klasificira prema mjestu nastanka i karakteristikama [6].

Proizvodnja komunalnog otpada je neizbježna posljedica ljudske aktivnosti te gospodarenje otpadom izravno utječe na zdravlje ljudi i okoliš koji ga okružuje. Globalno, ljudi odbacuju sve veće količine otpada, a njegov sastav je složeniji nego ikad prije. Ova dva trenda predstavljaju izazov gradovima u pogledu gospodarenja otpadom [7].

Otpad svojom proizvodnjom i upravljanjem utječe na kvalitetu zraka, vode i javnog zdravlja te pridonosi klimatskim promjenama. Otpad kojim se nepravilno upravlja može utjecati na okoliš u različitim razmjerima. Gospodarenje otpadom također emitira niz stakleničkih plinova, a najznačajniji izvori su odlagališta koja ispuštaju metan razgradnjom organskog otpada. Budući da otpad predstavlja prijetnju ljudima i okolišu, pružanje usluga gospodarenja otpadom često pada na gradove. Globalni trendovi u proizvodnji otpada te sve veća količina i složenost komunalnog otpada kompliciraju izazov čineći gospodarenje otpadom jednim od najvećih izazova urbanog svijeta [7].

Gospodarenje otpadom se može podijeliti u šest funkcionalnih elemenata koji opisuju put koji otpad prolazi od stvaranja do zbrinjavanja:

- nastajanje otpada
- rukovanje otpadom na mjestu nastanka
- sakupljanje otpada
- transport
- obrada
- zbrinjavanje [7].

Jedan od postupaka obrade otpada je recikliranje. Recikliranje je ponovna obrada odbačenih materijala u nove proizvode. Ekološke koristi od recikliranja proizlaze iz uštede netaknutih prirodnih resursa i energije. Recikliranje zahtijeva ponudu (sakupljeni, odvojeni materijali) i potražnju (tržište za reciklirani proizvod). Lanac recikliranja razlikuje se u formalnostima diljem svijeta, ali postoji sve više globalizirano tržište materijala koji se mogu reciklirati [7].

Dvije su pokretačke snage za recikliranje otpadnih materijala:

- robna vrijednost
- uslužna vrijednost [7].

Robna vrijednost otpadnog materijala proizlazi iz ekonomske vrijednosti pojedinog materijala, dok je vrijednost usluge povezana uz uštede u sustavu gospodarenja otpadom koji više ne mora rukovati otpadom. Ove vrijednosti su također povezane zajedno s brigom za okoliš [7].

2.2. Podjela otpada

Otpad je proizvod ili tvar koji više nije prikladan za namjeravanu uporabu. Dok se u prirodnim ekosustavima otpad (tj. kisik, ugljični dioksid i mrtva organska tvar) koristi kao hrana ili reaktant, otpadni materijali koji nastaju ljudskim aktivnostima često su vrlo otporni i treba im dugo vremena da se razgrade [8].

Postoji više različitih vrsta podjele otpada kao što je na primjer prema mjestu nastanka ili prema svojstvima [8].

Prema svojstvima otpad može biti:

- opasan
- neopasan [8].

Opasni otpad se dijeli na:

- radioaktivni otpad
- elektronički otpad
- medicinski otpad [8].

Prema mjestu nastanka otpad može biti:

- iz rudarstva
- iz poljoprivrede i šumarstva
- industrijski
- građevinski
- iz pročištača voda
- komunalni otpad [8].

Neopasni otpad je sav otpad koji nije klasificiran kao opasan poput papira, stakla, metalnih limenki za piće, organskog otpada itd. Iako nije opasan, ovakav otpad može imati ozbiljan utjecaj na okoliš i zdravlje ako se ne prikupi i ne tretira na odgovarajući način [8].

Opasni otpad je otpad za koji je utvrđeno da može uzrokovati štetu okolišu i ljudskom zdravlju te je stoga potrebno posebno, odvojeno postupanje i rukovanje. Kemijske i fizičke karakteristike određuju točan proces prikupljanja i recikliranja. Zapaljivost, korozivnost, toksičnost i eksplozivnost glavne su karakteristike opasnog otpada [8].

Kemijska obrada, spaljivanje ili obrada na visokoj temperaturi, sigurno skladištenje, uporaba i recikliranje mogući su načini obrade opasnog otpada [8].

E-otpad je otpad od električne i elektroničke opreme kao što su dotrajala računala, telefoni i kućanski uređaji. E-otpad se općenito klasificira kao opasan jer sadrži otrovne komponente [8].

Medicinski otpad potječe iz sustava zdravstvene zaštite ljudi i životinja i obično se sastoji od lijekova, kemikalija, farmaceutskih proizvoda, zavoja, korištene medicinske opreme, tjelesnih tekućina i dijelova tijela. Medicinski otpad može biti zarazan, otrovan, radioaktivan ili sadržavati bakterije i štetne mikroorganizme (uključujući i one koji su otporni na lijekove) [8].

Radioaktivni otpad sadrži radioaktivne materijale. Gospodarenje radioaktivnim otpadom značajno se razlikuje od gospodarenja ostalim otpadom [8].

„Komunalni otpad je otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva“ [9].

Neki od primjera komunalnog otpada su:

- papir
- polimerni materijal
- tekstil
- koža
- drvo
- staklo
- metal [10].

[Tablica 1] prikazuje prosječni sastav komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj, a tablica je izrađena na osnovi podataka koji su prikupljeni iz više gradova i općina u posljednjih desetak godina u kojima je provedeno ispitivanje sastava i morfoloških svojstava komunalnog otpada te također na temelju podataka o odvojeno prikupljenim količinama suhih reciklata kao što su staklo, papir, polimerni materijal, drvo i tako dalje [11].

Tablica 1. Prosječni sastav komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj [11]

Sastavnica komunalnog otpada	Udio / %
Papir i karton	25,72
Kuhinjski otpad	25,11
Plastomeri i duromeri	19,45
Vrtni otpad	6,77
Staklo	4,89
Glomazni otpad	4,08
Pelene	3,13
Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano)	2,93
Tekstil / odjeća	2,93
Metal	2,54
Drvo	0,99
Koža i kosti	0,36
Električna i elektronička oprema	0,53
Višeslojna i miješana ambalaža	0,29
Elastomeri	0,17
Ostali opasan otpad	0,10
Baterije i akumulatori	0,02
Otpad nastao čišćenjem kanalizacije	0,02
Ukupno	100,00

2.3. Ekološki utjecaj

Pokretači razvoja gospodarenja otpadom su:

- javno zdravlje
- zaštita okoliša
- očuvanje resursa
- klimatske promjene [7].

Gradovi također odlučuju poboljšati svoje gospodarenje otpadom iz estetskih razloga kako bi ulice bile čišće i ljepše [7].

Klimatske promjene jedan su od najhitnijih izazova društva, prijete bioraznolikosti i ljudskoj sigurnosti te uzrokuju povećanje temperature, ekstremne vremenske uvjete i porast razine mora. Pravilnim gospodarenjem otpadom može se pozitivno djelovati na okoliš [7].

Pozitivno djelovanje na okoliš može se prikazati sljedećim primjerom. Dobro funkcionirajući sustav gospodarenja otpadom, odnosno recikliranja učinkovito će prikupiti izdvojeni otpadni papir iz toka otpada, a prikupljeni papir će se koristiti za proizvodnju novog papira. Ovaj sustav recikliranja ima više koristi što se tiče smanjenja stakleničkih plinova [7].

Kao prvo, ponovnom upotrebom nekontaminiranog otpadnog papira potrebno je sjeći manje stabala. Drvećem koje je ostalo u šumi i nije se posjeklo povoljno se utjecalo na okoliš. Kao drugo, u proizvodnji papira od starog (otpadnog) papira troši se manje energije, nego u proizvodnji papira od sirovine (stabla) te u konačnici sakupljenim papirom više se ne mora upravljati kao otpadom te su spriječene emisije koje nastaju odlaganjem [7].

Međutim, ako se taj isti papir prikuplja kao dio neučinkovitog sustava gospodarenja otpadom, odnosno kamionima koji prikupljaju miješani komunalni otpad, kontaminirani papir ne može se reciklirati pa se papir baca uzalud [7].

Ublažavanje klimatskih promjena iz sektora otpada može imati mnoge oblike. Neizravna smanjenja stakleničkih plinova mogu se dogoditi kroz smanjenu proizvodnju otpada (što zahtijeva manje prikupljanja, transporta i obrade) ili kroz povećano recikliranje (smanjenje potrebe za iskopavanjem netaknutih resursa) [7].

Budući da odlagališta sprječavaju daljnju ponovnu upotrebu otpada i rezultiraju proizvodnjom metana, preusmjeravanjem otpada s odlagališta gradovi smanjuju emisije stakleničkih plinova iz gospodarenja otpadom [7].

Staklenički plinovi zagrijevaju Zemlju apsorbirajući energiju i usporavajući brzinu kojom energija izlazi u svemir, staklenički plinovi djeluju poput pokrivača koji izolira Zemlju. Različiti staklenički plinovi mogu imati različite učinke na zagrijavanje Zemlje. Dva ključna načina po kojima se ovi plinovi međusobno razlikuju su njihova sposobnost apsorpcije energije (njihova „učinkovitost zračenja“) i koliko dugo ostaju u atmosferi (također poznato kao njihov „životni vijek“) [12].

Potencijal globalnog zatopljenja (engl. *Global Warming Potential*, GWP) razvijen je kako bi se omogućile usporedbe utjecaja različitih plinova na globalno zatopljenje. Konkretno, to je mjera koliko će energije apsorbirati emisije jedne tone plina u određenom vremenskom razdoblju, u odnosu na emisije jedne tone ugljičnog dioksida (CO₂). Što je veći potencijal globalnog zatopljenja, to više određeni plin zagrijava Zemlju u usporedbi s ugljičnim dioksidom tijekom tog vremenskog razdoblja. Vremensko razdoblje koje se obično koristi za GWP je 100 godina [12].

Ugljični dioksid, po definiciji, ima GWP od 1 bez obzira na korišteno vremensko razdoblje, jer je to plin koji se koristi kao referenca. Ugljični dioksid ostaje u klimatskom sustavu vrlo dugo. Naime, emisije CO₂ uzrokuju poraste atmosferskih koncentracija CO₂ koje će trajati tisućama godina [12].

Procjenjuje se da metan (CH₄) ima GWP od 27 do 30 tijekom 100 godina. Metan koji se emitira danas u prosjeku traje oko deset godina, što je mnogo kraće od ugljičnog dioksida, ali metan također apsorbira mnogo više energije od ugljičnog dioksida. Neto učinak kraćeg vijeka trajanja i veće apsorpcije energije odražava se na GWP [12].

2.4. Hijerarhija gospodarenja otpadom

3R koncept (engl. *Reduce, reuse and recycle*) je niz koraka kojima se govori kako pravilno postupati s otpadom, odnosno kako je za početak bitno smanjiti generiranje otpada u svakodnevnom životu, zatim određene predmete ponovno iskoristiti na način da se poprave ili da dobe novu svrhu te u konačnici reciklirati [13].

3R koncept je proširen za još 2 koraka, a to su uporaba i odlaganje kako bi se u potpunosti postigla hijerarhija gospodarenja otpadom [Slika 2] [13].

Kada recikliranje materijala nije moguće sljedeći korak je uporaba kojom se može od takvog otpada proizvesti energija. Zadnji korak je odlaganje otpada kao najmanje poželjna opcija [13].



Slika 2. Shematski prikaz hijerarhije gospodarenja otpadom [14]

3. STANJE KOMUNALNOG OTPADA U GRADU ZAGREBU

[Tablica 2] prikazuje ukupno nastalu količinu otpada na području Grada Zagreba u periodu od 2018. do 2020. godine te je vidljiv porast kroz godine u ukupno nastaloj količini otpada. Naime u 2020. godini je nastalo preko 200 000 tona otpada više, nego u 2018. godini [15].

Tablica 2. Ukupno nastala količina otpada na području Grada Zagreba [15]

Godina	Ukupno nastala količina otpada na području Grada Zagreba / t
2018.	783 490,21
2019.	901 842,91
2020.	997 689,21

[Tablica 3] prikazuje udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada kroz sustav sakupljanja komunalnog otpada u Gradu Zagrebu u periodu od 2018. do 2021. godine te nakon znatnog porasta u udjelu odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u 2020. u odnosu na 2018. godinu, u 2021. godini je zabilježen pad od gotovo 4 % u odnosu na 2020. godinu [15].

Tablica 3. Udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada kroz sustav sakupljanja komunalnog otpada u Gradu Zagrebu [15]

Godina	Ukupna količina / t	Miješani komunalni otpad / t	Ukupno odvojeno sakupljeni otpad / t	Udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada / %
2018.	266 184,25	216 631,28	49 552,97	18,62
2019.	258 690,81	200 923,60	57 767,21	22,33
2020.	267 514,88	172 224,50	95 290,31	35,62
2021.	255 119,69	173 903,51	81 216,18	31,83

Količina miješanog komunalnog otpada se smanjila za preko 40 000 tona u 2021. u odnosu na 2018. godinu, no količina je ipak za gotovo dvije tone veća u odnosu na prethodnu 2020. godinu [15].

[Tablica 4] prikazuje pregled ukupnih količina komunalnog otpada u periodu od 2018. do 2021. godine sakupljenog kroz sustav sakupljanja komunalnog otpada, odnosno koliko se primjerice sakupilo otpada iz kućanstava, koliko iz spremnika za odvojeno prikupljanje otpada na javnim površinama [Slika 3] ili koliko u reciklažnim dvorištima. Vidljiv je porast u 2021. godini u prikupljenoj količini iz spremnika za odvojeno prikupljanje otpada na javnim površinama, dok je s druge strane zabilježena smanjena količina sakupljenog otpada u reciklažnim dvorištima u odnosu na neke prethodne godine [15].

Tablica 4. Pregled ukupnih količina komunalnog otpada sakupljenog kroz sustav sakupljanja komunalnog otpada [15]

Preuzeto/sakupljeno	Ukupna količina u 2018. / t	Ukupna količina u 2019. / t	Ukupna količina u 2020. / t	Ukupna količina u 2021. / t
Iz kućanstava	198 439,39	193 855,04	206 021,16	194 267,72
Od poslovnih subjekata iz sektora uslužnih djelatnosti	32 549,69	31 524,93	27 070,26	27 428,66
Spremnici za odvojeno prikupljanje otpada na javnim površinama	10 173,70	14 094,22	11 448,00	16 460,73
Ostalo (s javnih površina, divlja odlagališta, ostaci od čišćenja ulica)	8 918,18	-	-	-
Reciklažna dvorišta	13 727,19	13 137,94	14 875,44	9 823,91
Mobilna reciklažna dvorišta	2 631,71	6 078,68	8 099,95	7 138,67
Ukupno	266 184,25	258 690,81	267 514,81	255 119,69



Slika 3. Zeleni otok [16]

[Tablica 5] prikazuje koliko značajan udio komunalnog otpada proizlazi upravo iz kućanstava te koliko je bitno odvojiti što je moguće više otpada u kućanstvu kako bi udio miješanog komunalnog otpada bio što manji [15].

Tablica 5. Udio komunalnog otpada prikupljenog iz kućanstava [15]

Godina	Udio komunalnog otpada prikupljenog iz kućanstava / %
2018.	74,55
2019.	74,94
2020.	77,01
2021.	76,15

[Tablica 6] prikazuje količinu prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava te je vidljivo kako se poprilično smanjila količina prikupljenog miješanog komunalnog otpada na kućnom pragu u 2020. i 2021. godini u odnosu na 2018. i 2019. godinu [15].

Tablica 6. Količina prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava [15]

Godina	Količina prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava / t
2018.	184 136,59
2019.	170 785,06
2020.	146 390,80
2021.	147 817,98

[Tablica 7] prikazuje udio prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava koji je bio u velikom padu od 2018. do 2020. godine, no u 2021. godini je zabilježen porast udjela miješanog komunalnog otpada u usporedbi s 2020. godinom [15].

Tablica 7. Udio prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava [15]

Godina	Udio prikupljenog miješanog komunalnog otpada iz kućanstava / %
2018.	92,79
2019.	88,1
2020.	71,06
2021.	76,09

[Tablica 8] prikazuje vrste i količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada iz kućanstava. U 2021. godini zabilježen je značajan pad sakupljene polimerne ambalaže u usporedbi s 2020. godinom, dok su se količine otpadnog papira i kartona značajno povećale u 2020. i 2021. godini u odnosu na 2018. i 2019. godinu [15].

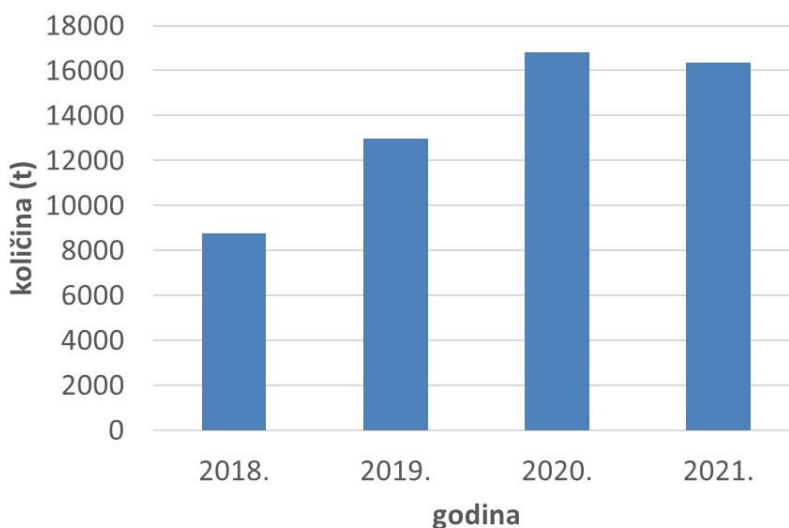
Tablica 8. Vrste i količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada iz kućanstava [15]

Naziv otpada	Sakupljeno u 2018. / t	Sakupljeno u 2019. / t	Sakupljeno u 2020. / t	Sakupljeno u 2021. / t
Polimerna ambalaža	-	818,17	8 394,62	2 651,82
Papir i karton	4 756,6	7 206,73	12 880,71	13 313,22
Biorazgradivi otpad	768,75	4,49	12,54	7,93
Biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina	-	5 773,75	25 602,30	23 630,83
Glomazni otpad	8 777,45	9 235,96	12 565,38	6 750,06

Kućanstvima u Gradu Zagrebu je omogućeno odvajanje otpada na kućnom pragu putem kanti (papir i biootpad) [Slika 4] te vrećica (polimerni materijal i metal). U stambenim zgradama se također dodjeljuju i vrećice za biootpad [Slika 5] koje se zatim odlažu u spremnike za biootpad [17].

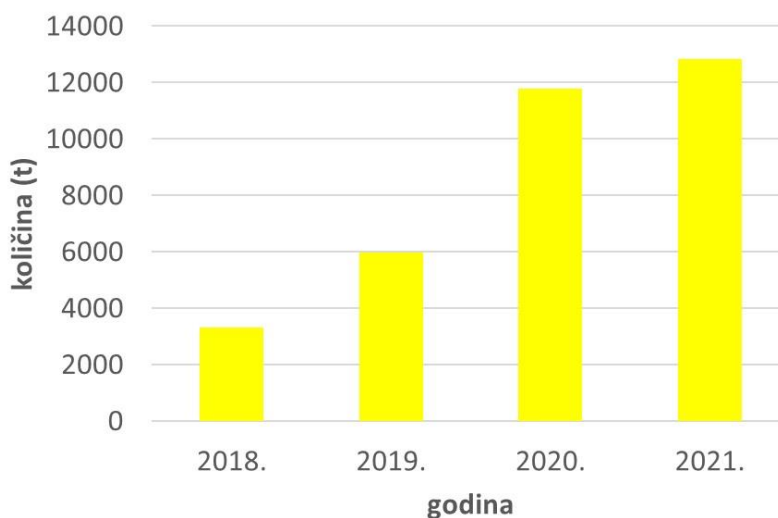
**Slika 4. Kante za otpad u Gradu Zagrebu [18]**

[Slika 6] prikazuje grafički prikaz, od 2018. do 2021. godine, odvojeno sakupljene količine otpadnog papira na području Grada Zagreba na javnim površinama i kućanstvima. Otpadni papir se u Gradu Zagrebu odvojeno prikuplja iz plavih spremnika postavljenih na javnim prometnim površinama, iz spremnika kod korisnika te iz reciklažnih dvorišta [20].



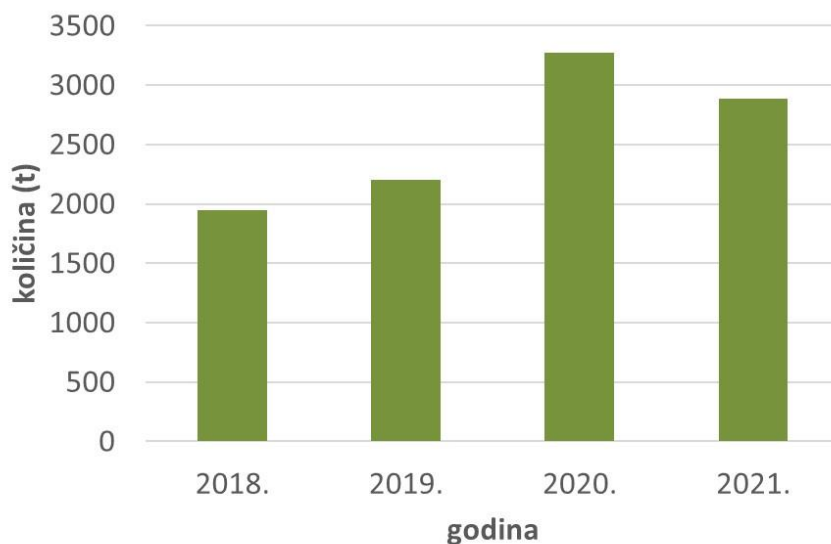
Slika 6. Grafički prikaz sakupljenog papira [20]

[Slika 7] prikazuje grafički prikaz, od 2018. do 2021. godine, odvojeno sakupljene količine polimernih materijala na području Grada Zagreba na javnim površinama i kućanstvima. Polimerna i metalna ambalaža se u Gradu Zagrebu odvojeno prikuplja iz žutih spremnika koji su postavljeni na javnim površinama, reciklažnih dvorišta te se također skuplja u žutim vrećicama kod korisnika [21].



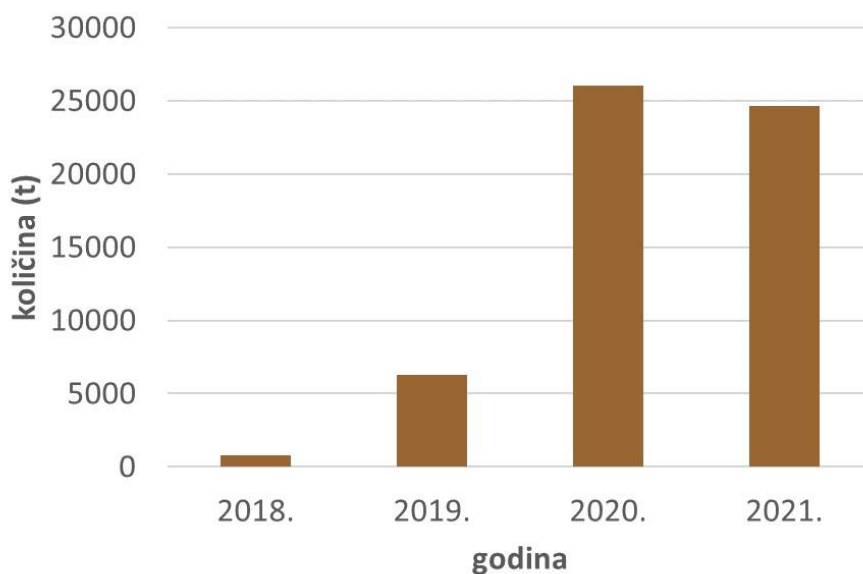
Slika 7. Grafički prikaz sakupljenih polimernih materijala [21]

[Slika 8] prikazuje grafički prikaz, od 2018. do 2021. godine, odvojeno sakupljene količine otpadnog stakla na području Grada Zagreba na javnim površinama i kućanstvima te je najviše sakupljeno u 2020. (preko 3000 tona) pa zatim u 2021. godini [22].



Slika 8. Grafički prikaz sakupljenog stakla [22]

[Slika 9] prikazuje grafički prikaz, od 2018. do 2021. godine, odvojeno sakupljene količine biootpada na području Grada Zagreba iz kućanstava koja se drastično povećala u 2020. i 2021. godini, uvođenjem kanti za odvojeno prikupljanje biootpada, u odnosu na prethodne godine [23].



Slika 9. Grafički prikaz sakupljenog biootpada [23]

Za potrebe dimenzioniranja postrojenja za obradu odvojeno prikupljenog komunalnog otpada Grada Zagreba provedeno je ispitivanje sastava odvojeno prikupljenog otpadnog polimernog materijala. U Gradu Zagrebu se otpadni polimerni materijal prikuplja kroz žute vrećice [Slika 10] u kojima se prikupljaju polimerni materijal i metal na kućnom pragu te kroz spremnike na zelenim otocima. Za analizu otpadnog polimernog materijala uzeta su četiri uzorka i to „Uzorak 1“ iz centra grada (GČ Donji Grad), „Uzorak 2“ iz šireg prstena grada (GČ Novi Zagreb), „Uzorak 3“ iz ruralnog područja grada (GČ Sesvete) te „Uzorak 4“ sa zelenih otoka (Vrbani). [Tablica 10] prikazuje rezultate ovog ispitivanja [11].



Slika 10. Žute vrećice za odvojeno prikupljanje polimerne i metalne ambalaže [24]

Kako bi se dobila realnija slika o sastavu i udjelima pojedinih vrsta polimera u polimernom otpadu, provedeno je ponderiranje rezultata s obzirom na značaj udjela uzorka 1, 2 i 3 (kućanstva) te značaj udjela uzorka 4 (zeleni otoci). [Tablica 11] prikazuje ponderirane rezultate ispitivanja. Pri ponderiranju je uzeto u obzir da je količina otpadnih polimernih materijala koji se prikupe na zelenim otocima oko 3 % (za 2017. godinu iznosi 2,43 % (ukupno) prema Bilanci Grada Zagreba za 2017. godinu), a iz kućanstava (žuta vrećica) 97 %. Najzastupljenije vrste polimera u uzorku su LDPE, HDPE, PET i PS, dok je najmanje zastupljen PVC. Također je vidljivo da je veći udio nečistoća zabilježen u vrećicama prikupljenim na kućnom pragu (23,4 %) u odnosu na nečistoće zabilježene na zelenom otoku (13,3 %) [11].

Tablica 10. Sumarni prikaz rezultata analize sastava otpadnog polimernog materijala u Gradu Zagrebu [11]

Vrsta otpadnih materijala	Uzorak 1		Uzorak 2		Uzorak 3		Uzorak 4	
	Ukupna masa / kg	Udio / %	Ukupna masa / kg	Udio / %	Ukupna masa / kg	Udio / %	Ukupna masa / kg	Udio / %
PET	5,20	9,8	2,21	5,6	3,24	13,0	2,87	16,3
HDPE	4,90	9,3	3,73	9,5	4,28	17,1	0,95	5,4
PVC	0,93	1,8	0,91	2,3	0,81	3,2	0,00	0,0
LDPE	12,63	23,9	2,84	7,3	1,70	6,8	2,68	15,3
PP	2,18	4,1	2,68	6,8	1,24	5,0	2,77	15,8
PS	0,90	1,7	9,00	23,0	1,12	4,5	0,85	4,8
Ostali polimerni materijali	7,00	13,2	4,40	11,2	1,90	7,6	3,20	18,2
Ostali otpad	11,11	21,0	8,10	20,7	8,18	32,8	2,34	13,3
Limenke	2,40	4,5	3,90	10,0	1,40	5,6	1,11	6,3
Tetrapak	5,60	10,6	1,40	3,6	1,10	4,4	0,80	4,6
Ukupno	52,85	100,0	39,17	100,0	24,97	100,0	17,57	100,0
Udio polimera	33,74	63,84	25,77	65,79	14,29	57,23	13,32	75,81
Udio ostalog (ostalo, limenke i tetrapak)	19,11	36,16	13,40	34,21	10,68	42,77	4,25	24,19

Tablica 11. Ponderirani sastav odvojeno prikupljenih otpadnih polimernih materijala [11]

Vrsta otpadnih materijala	Uzorci 1, 2 i 3		Uzorak 4		Sveukupni sastav
	Ukupna masa / kg	Udio / %	Ukupna masa / kg	Udio / %	Udio / %
PET	10,65	9,1	2,87	16,3	9,3
HDPE	12,91	11,0	0,95	5,4	10,9
PVC	2,65	2,3	0,00	0,0	2,2
LDPE	17,17	14,7	2,68	15,3	14,7
PP	6,10	5,2	2,77	15,8	5,5
PS	11,02	9,4	0,85	4,8	9,3
Ostali polimerni materijali	13,30	11,4	3,20	18,2	11,6
Ostali otpad	27,39	23,4	2,34	13,3	23,1
Limenke	7,70	6,6	1,11	6,3	6,6
Tetrapak	8,10	6,9	0,80	4,6	6,9
Ukupno	116,99	100,0	17,57	100,0	100,0
Udio polimera	73,80	63,1	13,32	75,8	63,5
Udio ostalog (ostalo, limenke i tetrapak)	43,19	36,9	4,25	24,2	36,5

4. SORTIRNICA GRADA ZAGREBA

4.1. Uvod

Grad Zagreb i Zagrebački centar za gospodarenje otpadom d.o.o. krenuli su u realizaciju Projekta izgradnje i opremanja postrojenja za sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada s područja Grada Zagreba (sortirnica), na lokaciji bivšeg industrijskog kompleksa DIOKI te je bitno za napomenuti kako će sortirnica biti sufinancirana sredstvima Europske unije. Odvojeno prikupljeni otpadni materijali poput otpadnog papira, metala, stakla i polimernih materijala koji stignu u sortirnicu [Slika 11], ovisno o njihovoj vrsti, razvrstavaju se, separiraju, drobe, prosijavaju i privremeno skladište kako bi se dobio što je moguće čišći suhi reciklat jer što je reciklat čišći i njegova kvaliteta i tržišna vrijednost je veća [25].



Slika 11. Model sortirnice [25]

Da bi otpad koji je moguće reciklirati postao ekonomski zanimljiv, potrebno ga je razvrstati u sortirnicama otpada pri čemu se sortirnice mogu zamisliti kao filter između sakupljanja i odlaganja. U sustavu gospodarenja otpadom u kojem se planira što je moguće više otpada reciklirati, sortirnice su najvažnija karika [26]. Sortiranjem otpada ne samo da se povećava

vrijednost i kvaliteta odvojeno prikupljenih sirovina, već se i smanjuju količine otpada koji se odlaže na odlagališta te se također smanjuju emisije stakleničkih plinova [27].

Planirana građevinska bruto površina sortirnice Grada Zagreba iznosi otprilike 16 453,7 m². Tehnološki je sortirnica podijeljena na tri dijela. Prvi dio je dio za zaprimanje i kontrolu odvojeno prikupljenih komponenti komunalnog otpada, drugi dio je dio za sortiranje te posljednji treći dio je onaj za baliranje, odlaganje bala i otpremu sortiranih frakcija [28].

Sortirnica Grada Zagreba, odnosno postrojenje za automatsko sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada Grada Zagreba će na krovnoj plohi imati postavljene solarne panele [Slika 12]. Predviđena ukupna snaga sunčane fotonaponske elektrane za proizvodnju električne energije iznosi 1600 kW [28].



Slika 12. Solarni paneli [29]

Korištenjem solarne energije ne samo da se štiti okoliš smanjenjem emisija stakleničkih plinova kao što je ugljični dioksid, već se investicijom postavljanja solarnih panela dugoročno šteti, odnosno smanjuju se troškovi [30].

Predviđena je izgradnje dvije transformatorske stanice, jedna pored glavnog ulaza, a druga unutar hale sortirnice [28].

Na građevnoj čestici, čija površina inače sveukupno iznosi oko 58 109 m², osigurana su 2 parkirališna mjesta za autobuse te 112 parkirališnih mjesta za osobne automobile, a također je na građevnoj čestici osigurano otprilike 30,2 % prirodnog terena te će biti potrebno napraviti hortikulturno uređenje tog prirodnog terena. Prema susjednim građevnim česticama planirana je zelena tampon-zona od minimalno 10 metara [28].

U postrojenje sortirnice također će biti implementirane dvije mosne vage [Slika 13] kako bi se evidentirala masa otpada te kako bi se znalo kolika masa, odnosno količina otpada pristigne svakim kamionom [28].



Slika 13. Mosna vaga [31]

S obzirom na to kako je većini postrojenja koja su vezana uz zbrinjavanje, razvrstavanje ili recikliranje otpada izričito zabranjeno prihvaćanje radioaktivnih materijala iznad određenih granica, prakse provjere eventualno radioaktivnih otpadnih materijala lako su dostupne [32].

Američko društvo za ispitivanje i materijale (engl. *American Society for Testing and Materials*, ASTM) razvija i objavljuje tehničke standarde, a upravo standard ASTM D5928 je onaj koji se odnosi na standardnu praksu provjere radioaktivnosti otpada. Prema ovom standardu potrebno je detektorima radioaktivnosti provjeriti kamione s otpadnim materijalom kako bi se utvrdilo jesu li razine iznad utvrđenih kriterija [32].

Detektori radioaktivnosti [Slika 14] se postavljaju na samom ulazu kako bi se provjerio svaki kamion s otpadnim materijalima koji ulazi u objekt, odnosno spriječio prihvrat radioaktivnog otpada, a samim time i zaštitilo zdravlje ljudi [32].



Slika 14. Detektor radioaktivnosti [33]

4.2. Radovi

20. 7. 2020. krenulo je izvođenje radova na uklanjanju postojećih građevina na k.č. 135/2, 135/3, 135/7, 139/2, 138/48, K.O. Žitnjak za potrebe provedbe projekta izgradnje postrojenja za automatsko sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada Grada Zagreba. [Slika 15] prikazuje radove na uklanjanju građevina kako bi se omogućila gradnja sortirnice [34].



Slika 15. Radovi na uklanjanju postojećih građevina [34]

Građevinska dozvola br. 233/2021 je ishodena 2. 7. 2021. godine te je postala pravomoćna 17. 8. 2021. godine za izgradnju javnih kanala sanitarne i oborinske odvodnje na dijelovima k.č.br.4214/1 i 4253/1 obje k.o. Žitnjak u Zagrebu, infrastrukturne namjene, 2b skupine. Na temelju ove ishodne građevinske dozvole Zagrebački centar za gospodarenje otpadom d.o.o. je proveo postupak javne nabave za izvođenje radova i nadzor te je 9. 6. 2022. godine po uspješnom okončanju postupka sklopio Ugovor reg.br. 533/2022 o izgradnji javnih kanala

sanitarne i oborinske odvodnje u Zagrebu u Ulici III. Struge s Ugovarateljem tvrtkom BOLČEVIĆ-GRADNJA d.o.o. Sesvete, Dugoselska cesta 56 u iznosu od 2 015 182,00 kn bez PDV-a. Zagrebački centar za gospodarenje otpadom d.o.o. je nadalje za predmetne radove osigurao provedbu usluge stručnog nadzora nad radovima izgradnje javnih kanala sanitarne i oborinske odvodnje u Zagrebu u Ulici III. Struge od strane tvrtke QUALIS PROJEKT d.o.o. Zagreb, Ilica 191 D u iznosu od 60 000,00 kn bez PDV-a. Preduvjeti za priključenje Postrojenja za automatsko sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada Grada Zagreba na javni sustav kanala sanitarne i oborinske odvodnje Grada Zagreba bit će osigurani provedbom predmetnog zahvata. [Slika 16] prikazuje izgradnju javnog kanala sanitarne i oborinske odvodnje u Zagrebu u Ulici III. Struge [35].

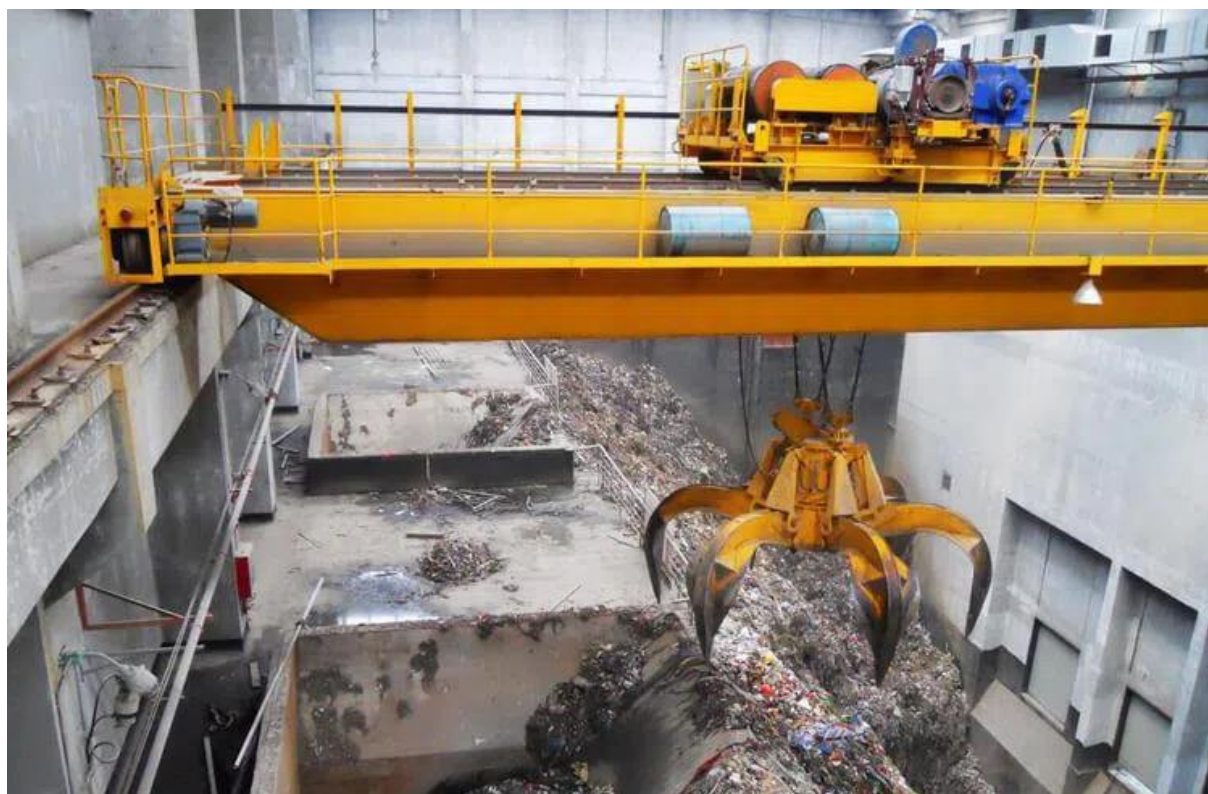


Slika 16. Radovi na izgradnji javnog kanala sanitarne i oborinske odvodnje [35]

4.3. Predviđene tehnologije za razdvajanje materijala

4.3.1. Mosna dizalica s grabilicom

Mosna dizalica s grabilicom [Slika 17] služi za utovar i istovar rasutog tereta te je potrebno da mosne dizalice s grabilicama imaju mogućnost pristupa cijeloj površini prihvatnih jama u koje se istovaruju različite vrste odvojeno prikupljenog komunalnog otpada kako bi bilo omogućeno prebacivanje otpada iz prihvatnih jama u otvarače vrećica [36].



Slika 17. Mosna dizalica s grabilicom [36]

4.3.2. Otvarači vrećica

U domaćinstvima se odvojeno sakupljena metalna i polimerna ambalaža odlaže u vrećice te je potrebno taj otpad osloboditi iz vrećica kako bi daljnji postupak sortiranja bio moguć. U otvaraču vrećica [Slika 18] se pomoću dva seta noževa [Slika 19] otvaraju vrećice. Prvi set noževa, koji je pogonjen elektromotorom s mogućnošću mijenjanja brzine vrtnje, nalazi se na rotoru. Za stražnju stranicu stroja pričvršćen je drugi set noževa koji je fiksni [37].



Slika 18. Otvarač vrećica [37]



Slika 19. Noževi otvarača vrećica [37]

S obzirom na to da se pri otvaranju vrećica oslobađaju čestice prašine koje zagađuju zrak, na vrhu stroja ugrađen je ventilacijski priključak pomoću kojeg je otvarač vrećica spojen na usisnu filter stanicu u kojoj se filtrira zagađeni zrak. Nakon ovog postupka omogućeno je daljnje sortiranje otpada [37].

4.3.3. Rotacijska sita

Učinkovito razvrstavanje pomaže u poboljšanju učinkovitosti odlaganja otpada. Odabir odgovarajuće opreme za sortiranje može dobro utjecati na recikliranje odvojeno sakupljenog otpada. Rotacijsko sito [Slika 20] ima široku primjenu u sortiranju komunalnog otpada. Otvor za rotacijsko sito može se odabrati prema specifičnom sadržaju razvrstanog komunalnog otpada. Prednost rotacijskog sita je u tome što je pražnjenje brzo i preciznost je visoka. Međutim, dizajn otvora za pražnjenje također je vrlo važan, a često se javlja pojava blokiranja materijala. S obzirom na to kako se u rotacijskom situ otpad odvaja prema veličini, onaj otpad koji je veći od 350 milimetara odmah prelazi na ručno sortiranje, dok otpad manji od 350 milimetara upućuje se na linije za automatsko sortiranje otpada [38].

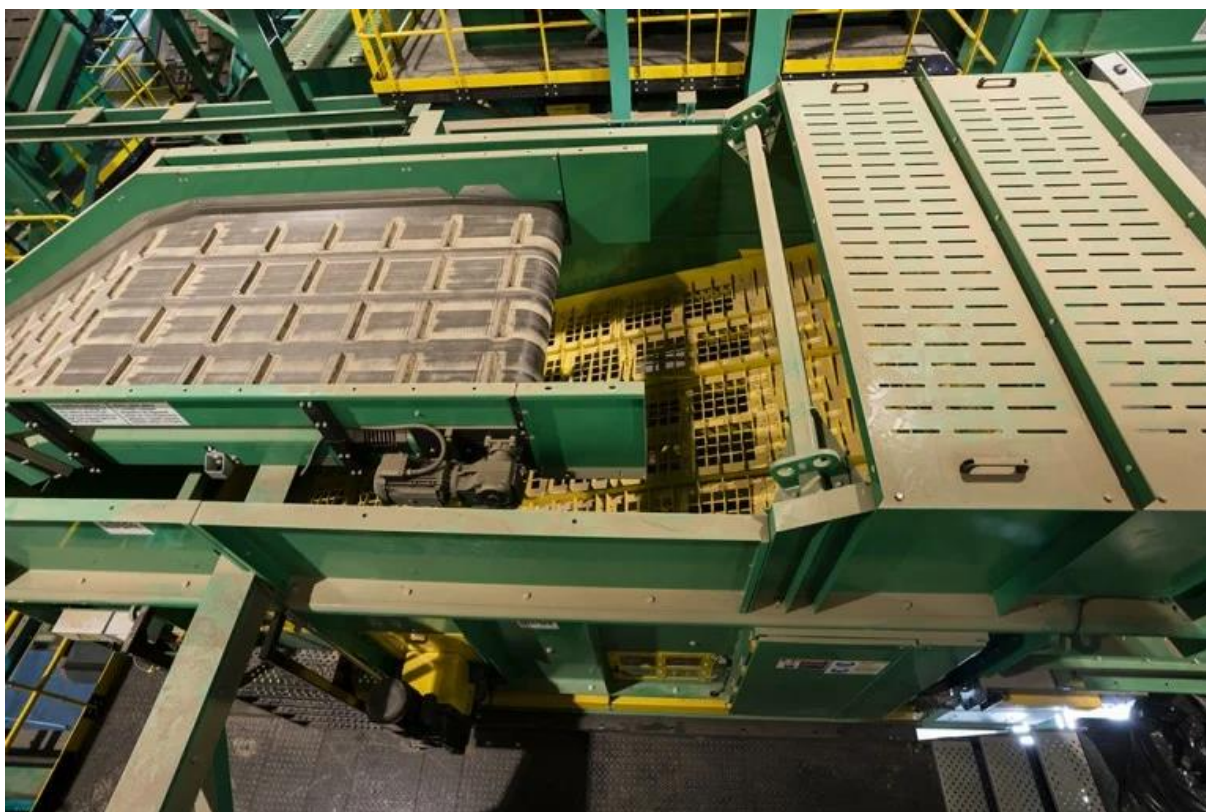


Slika 20. Rotacijsko sito [39]

4.3.4. Balistički separatori

Balistički separatori [Slika 21] su standardna oprema u postrojenjima za sortiranje otpada te kroz taj stroj prolazi otpad koji je već prošao kroz rotacijsko sito, dok balistički separator prethodi razvrstavanju koje se temelji na sensorima [40].

Balistički separatori imaju duge lopatice koje se valovito kreću u izmjeničnim intervalima kako bi odvojile dvodimenzionalni materijal od trodimenzionalnog materijala. 2D materijal pomiče se uz lopatice i pada s lopatica sortiran. 3D predmeti se vraćaju natrag i s lopatica dolaze na pokretnu traku. Također je moguće odvojiti i sitne frakcije dodavanjem rupa na lopatice [41].



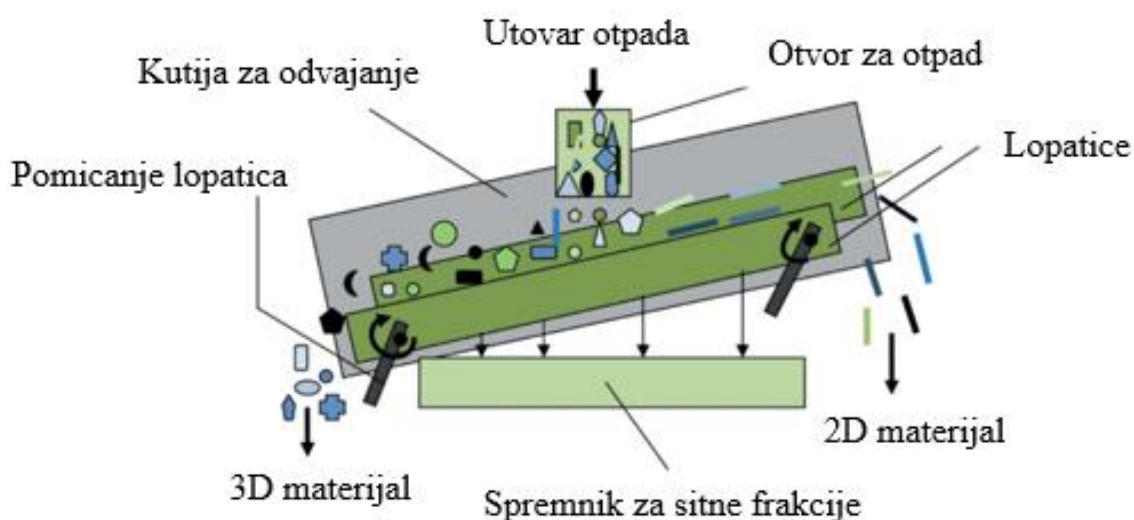
Slika 21. Balistički separator [41]

Zbog nagiba i kretanja lopatica prema gore, trodimenzionalni (3D) materijali (teške, tvrde i okrugle čestice) se kreću prema dolje i odvajaju se od dvodimenzionalnih (2D) materijala (lakših i mekanih čestica), kao što su polimerni materijali i papir koji se skupljaju na gornjem kraju lopatica. Treći izlazni tok se postavlja za najsitnije frakcije kako bi propale kroz rupe na

lopaticama, odnosno sita te se odvojile, a također je omogućeno podešavanje sita za prolaz materijala različitih veličina [40].

Karakteristike materijala, kao što su masa, oblik, veličina i elastičnost, mogu utjecati na kretanje čestica i stoga mogu utjecati na učinkovitost sortiranja opreme [40].

[Slika 22] prikazuje shematski prikaz balističkog separatora te je vidljivo na koji način materijal različitog oblika i veličine pada na lopatice te kako se odvaja bilo da je riječ o sitnim česticama, 3D materijalu ili 2D materijalu [40].

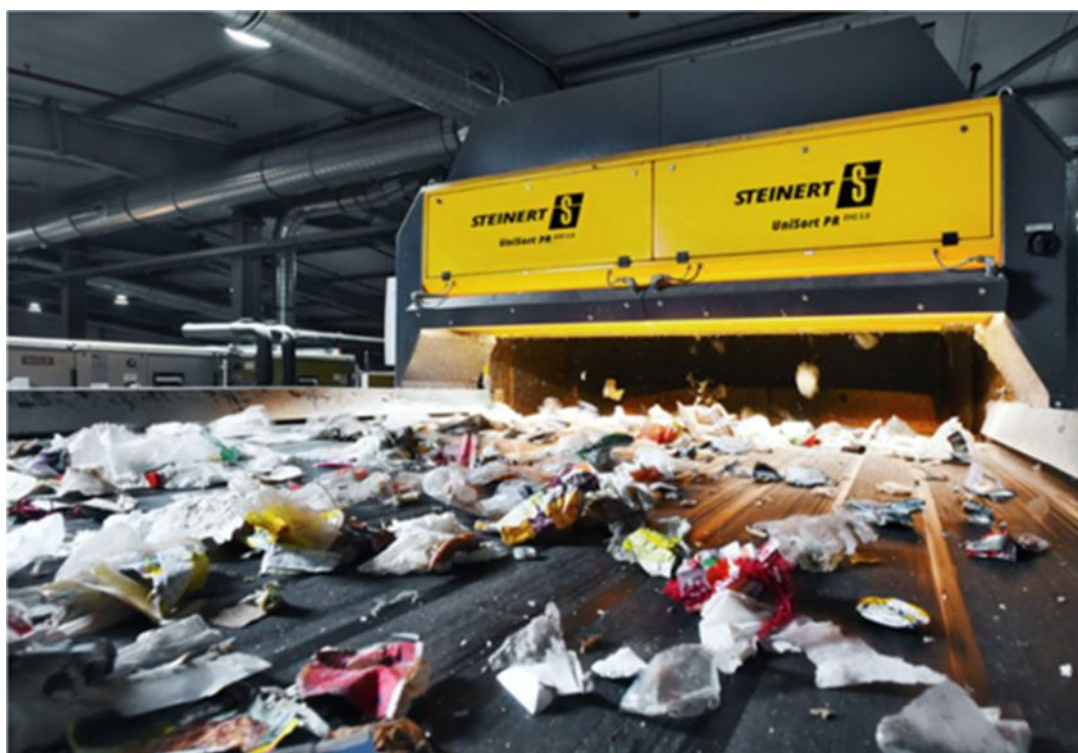


Slika 22. Shematski prikaz balističkog separatora [40]

4.3.5. Optički separatori

U sortirnicama je iznimno bitno doseći što je moguće veću djelotvornost i učinkovitost u odvajanju materijala koji prolaze kroz postrojenje. Tehnologija za obradu i razvrstavanje materijala koji se može reciklirati nastavlja se razvijati, a sustavi optičkog sortiranja [Slika 23] sada se često koriste u mnogim sortirnicama za sortiranje materijala koji se može reciklirati te kako bi se omogućila proizvodnja visokokvalitetnih proizvoda, smanjili troškovi rada i povećao protok [42].

Tijekom proteklih godina, neki od najvećih napredaka u tehnologiji sortiranja mogu se pronaći upravo u optičkim sustavima sortiranja koji koriste svjetlost za identifikaciju različitih materijala. Točnije, optičko razvrstavanje ispituje svojstva svjetlosnih valova koji se reflektiraju od različitih materijala [42].



Slika 23. Optički separator [43]

Stvarni postupak optičkog sortiranja prilično je jednostavan. Materijal koji se može reciklirati utovaruje se na pokretnu traku velike brzine koja pomiče materijal pod jakim svjetlom. Kako materijal prolazi ispod svjetlosti, dio te svjetlosti apsorbira materijal za recikliranje na pokretnoj traci, dok se drugi svjetlosni valovi reflektiraju. Niz leća kamera koje su usmjerene

prema pokretnoj traci mogu vidjeti i snimiti svjetlosne valove koji se odbijaju od materijala za recikliranje [42].

Svaki materijal stvara jedinstveni svjetlosni „potpis“ koji se očitava spektrofotometrom ultraljubičastog i vidljivog zračenja. Ovi spektralni potpisi (koji se nazivaju i svjetlosni otisci prstiju) koriste se za identifikaciju različitih vrsta materijala. Sposobnost leće i spektrofotometra da identificiraju materijal je izrazito velika. Optičko razvrstavanje može se koristiti za prepoznavanje i odvajanje širokog spektra materijala uključujući polimerne materijale, staklo, drvo, papir, karton i mnoge druge predmete [42].

Dodatno, računalo se može programirati za ciljanje različitih vrsta polimernih materijala, uključujući poli(etilen-tereftalat) (PET), obojeni i prirodni polietilen visoke gustoće (HDPE), poli(vinil-klorid) (PVC), polipropilen (PP) i druge. Mogu se prepoznati i različite vrste drva te boje papira i stakla [42].

Nakon što spektrofotometar identificira određenu stavku na pokretnoj traci kao ciljanu ili željenu stavku, dolazi do fizičkog dijela procesa sortiranja. Računalo koje kontrolira proces izračunava položaj željenog materijala za recikliranje na traci i pokreće mlaz komprimiranog zraka u području trake gdje se nalazi ciljani materijal. Mlaz zraka odvaja predmet od ostatka materijala na pokretnoj traci. Većina sustava sortiranja uključuje korak kontrole kvalitete kako bi se osigurala čistoća robe koja se sortira. Optičko sortiranje je brže i učinkovitije od ručnog sortiranja i može rezultirati značajnim smanjenjem rada na liniji za ručno sortiranje [42].

Veće stope recikliranja polimernih materijala mogu se postići poboljšanjem učinkovitosti sortiranja. Loše razvrstani polimerni materijali dovode do viših troškova ponovne obrade i niže vrijednosti za ponovno prerađene polimerne materijale. Kako bi se postigla cirkularnost i poboljšala iskoristivost resursa, potrebno je smanjiti količinu polimernih materijala koji završavaju na odlagalištima [43].

Polimerni materijali se mogu reciklirati mehaničkim ili kemijskim putem. Za mehaničko recikliranje, polimere je potrebno razdvojiti po vrsti i boji prije ponovne obrade [43].

Vrste polimera koji se sortiraju su (1) poli(etilen-tereftalat) (PET), (2) polietilen visoke gustoće (HDPE), (3) poli(vinil-klorid) (PVC), (4) polietilen niske gustoće (LDPE), (5) polipropilen (PP), (6) polistiren (PS) i (7) ostalo, gdje se brojevi 1, 2, 3, 4, 5, 6 i 7 odnose na identifikacijske kodove polimera. Iako sve ove vrste polimernih materijala imaju potencijal za razvrstavanje, najveću tržišnu vrijednost ostvaruju PET i HDPE [43].

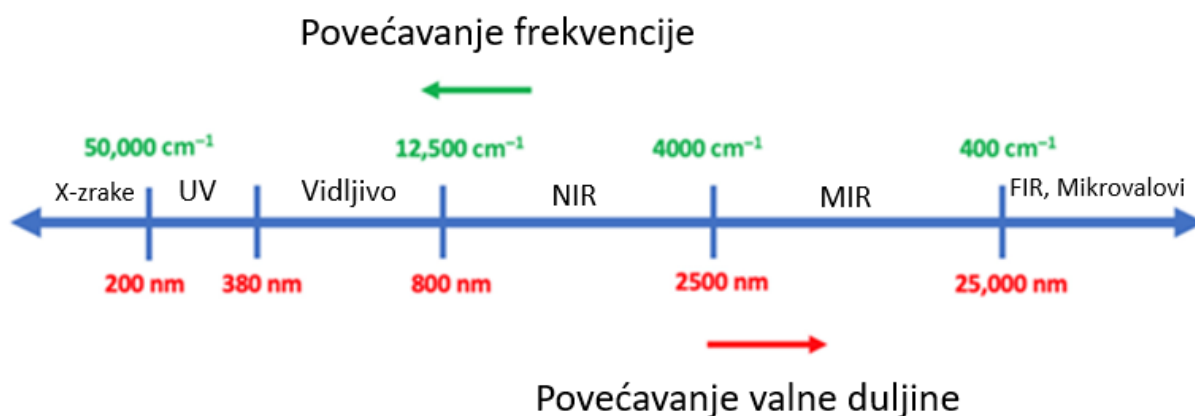
Za identifikaciju otpada obično se koriste takva svojstva, odnosno parametri kao što su:

- Vidljivi parametri: boja, oblik i veličina
- Nevidljivi parametri: struktura i gustoća [44].

Za prepoznavanje zadanih svojstava, odnosno parametara, karakterističnih za pojedinu vrstu otpada, primjenjuju se različiti senzori [44].

Trenutne tehnologije koje se koriste za razvrstavanje otpadnih polimernih materijala temelje se na bliskoj infracrvenoj spektroskopiji (engl. *Near Infrared*, NIR), rendgenskoj fluorescenciji (engl. *X-ray Fluorescence*, XRF) i vidljivoj spektrometriji (VIS) [43].

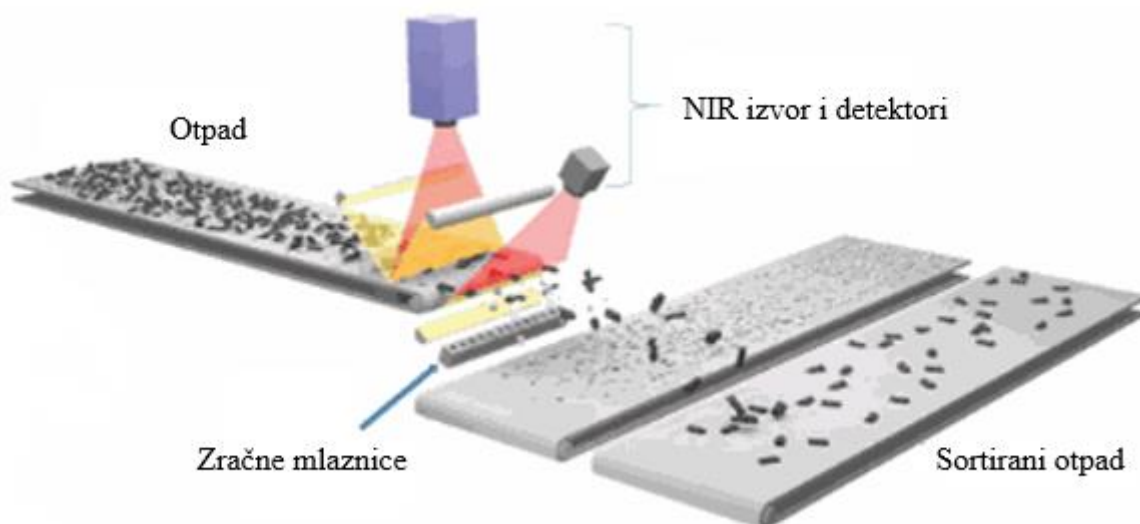
Rasponi valnih duljina za svaku optičku tehnologiju variraju, od nižih (rendgenskih zraka) do viših valnih duljina za NIR i mikrovalove [Slika 24]. Tri ključne metode (tj. NIR, XRF, VIS) imaju različite prednosti u sortiranju različitih vrsta polimernih materijala. Općenito, optičko sortiranje funkcionira jer kada svjetlost dopre do objekta dio svjetlosti se reflektira, a dio apsorbira. Različiti materijali reflektiraju i apsorbiraju svjetlost na različitim valnim duljinama. Reflektirano svjetlo minus apsorbirano svjetlo stvara potpis ili otisak prsta, koji je jedinstven za kemijski sastav predmeta, što omogućuje razvrstavanje polimernih materijala na temelju njihovog kemijskog sastava [43].



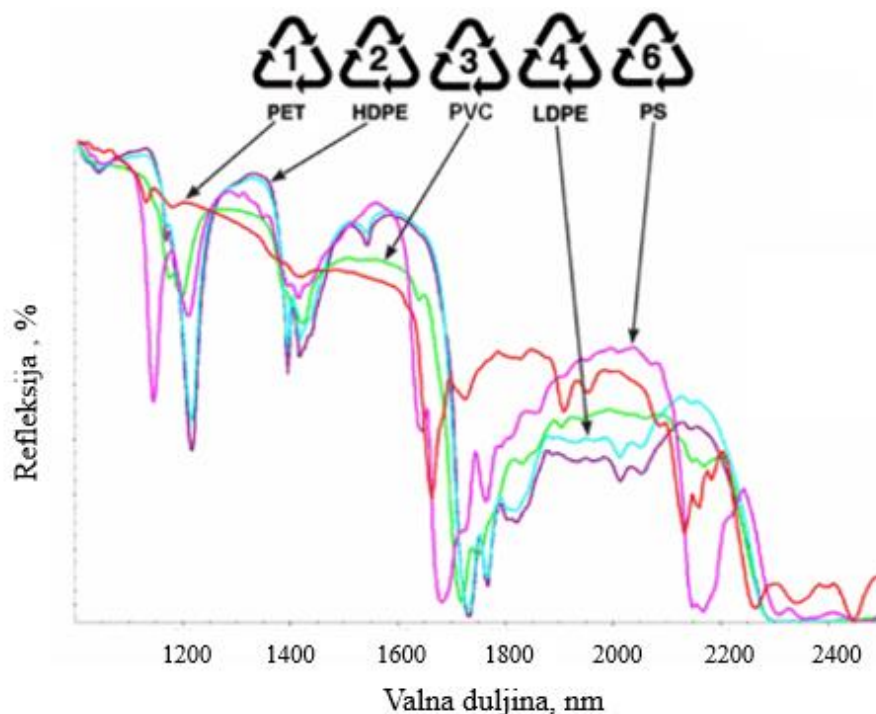
Slika 24. Prikaz valnih duljina i frekvencija zračenja [43]

Separatori temeljeni na bliskom infracrvenom zračenju (NIR) [Slika 25] koriste brzu, nedestruktivnu analizu za sortiranje PET-a, HDPE-a, PP-a i PS-a. NIR senzori detektiraju varijacije u apsorpciji, propusnosti i raspršenju svjetlosti u infracrvenim valnim duljinama koje proizvode različiti materijali [Slika 26], što mu omogućuje razvrstavanje prema vrsti polimera. Na razvrstavanje otpadnih polimernih materijala mogu utjecati boja polimera,

tekstura površine i oblik jer ta svojstva mogu utjecati na intenzitet dobivenih spektara. NIR spektroskopija ima mnoge prednosti kao što su daljinska mjerenja velike brzine, velika dubina prodiranja NIR zračenja i visok omjer signala i šuma [43].



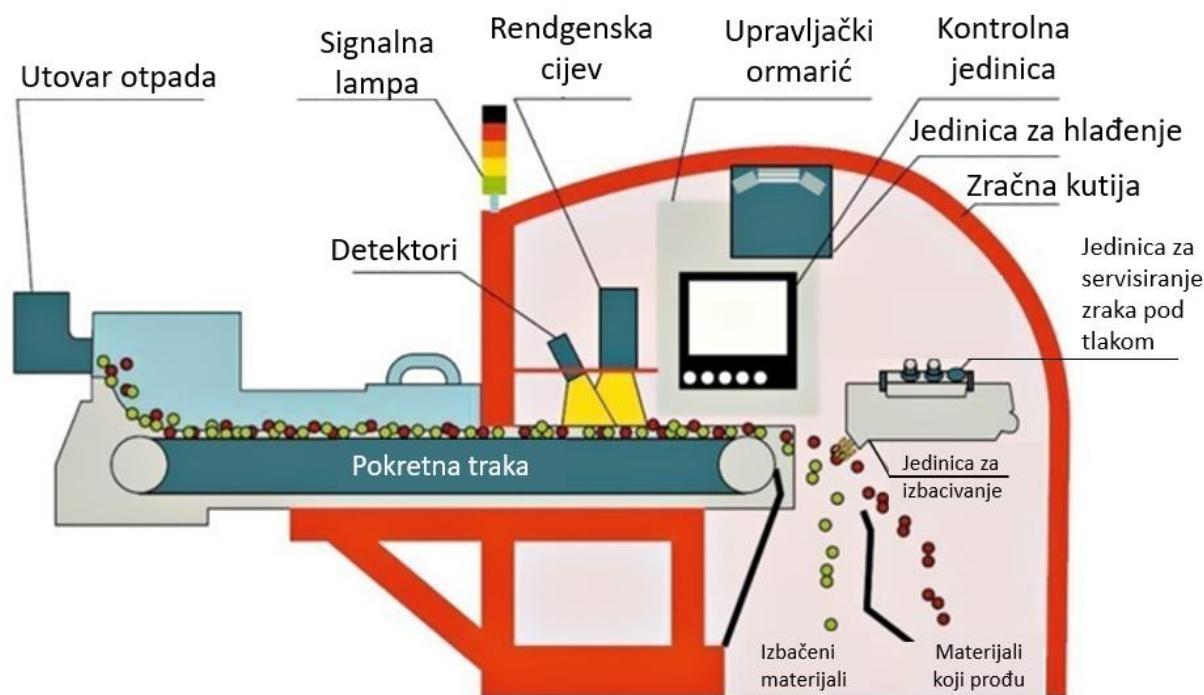
Slika 25. Shematski prikaz NIR optičkog separatora [45]



Slika 26. Prikaz refleksije polimernih materijala pri različitim valnim duljinama [45]

Međutim, NIR optički separatori nisu učinkoviti u razvrstavanju polimera crne boje jer crni pigment ometa reflektirano svjetlo, čineći identifikaciju nemogućom jer se većina svjetla apsorbira. Slično tome, NIR optički separatori slabo rade u razvrstavanju polimernih materijala koji sadrži bromirane usporivače gorenja (engl. *Brominated flame retardants*, BFR) [43]. Od polimernih materijala koji sadrže bromirane usporivače gorenja izrađuju se razni električni i elektronički proizvodi kako bi se povećala sigurnost od požara smanjujući njihovu sklonost paljenju. To ne znači samo doprinos spašavanju života, već i proizvoda i imovine, čime se sprječava rasipanje resursa [46].

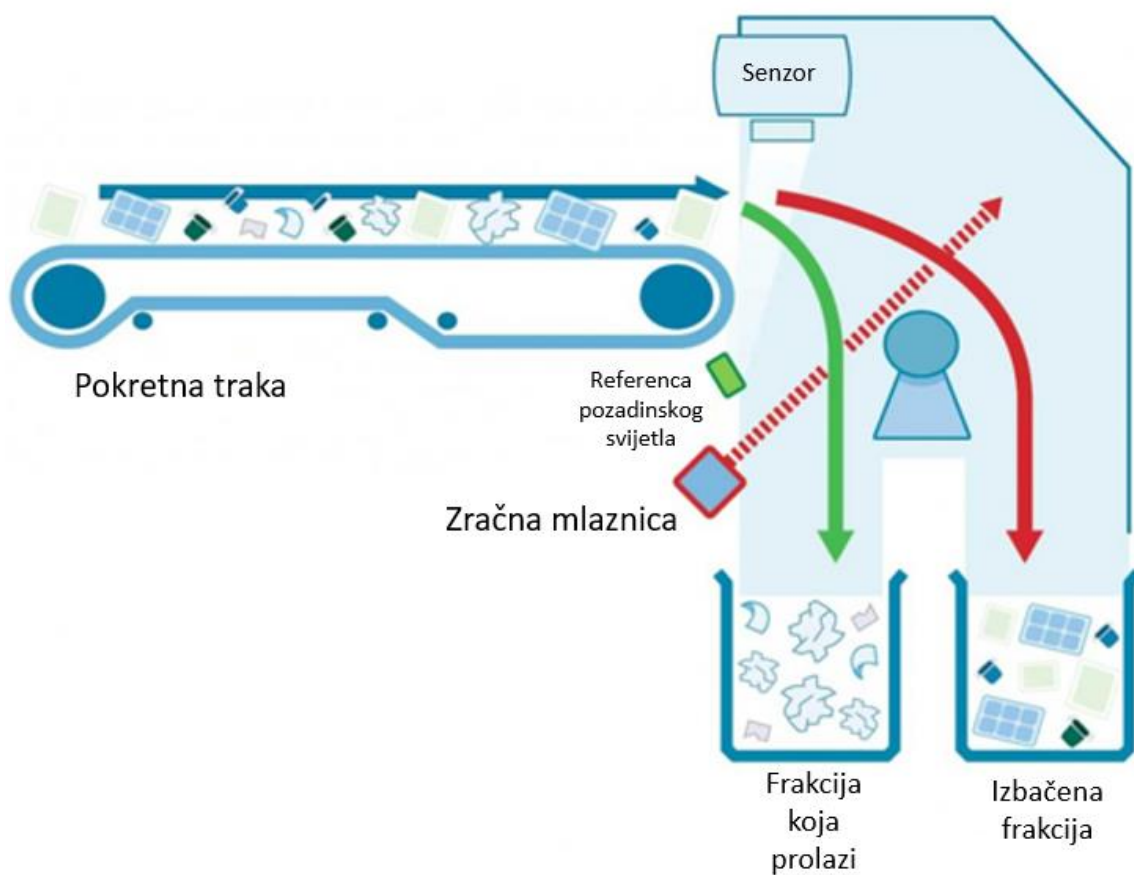
Separatori koji se temelje na rendgenskoj fluorescenciji (XRF) [Slika 27] rade na način da rendgenske zrake (X-zrake) prodiru kroz materijal i apsorbiraju se ili raspršuju ovisno o materijalu. XRF radi tako da projicira primarne X-zrake na polimerni materijal koji se analizira i mjeri fluorescentne X-zrake koje na drugoj valnoj duljini emitiraju elemente prisutne u polimeru. Svaki element karakterizira jedinstveni otisak prsta (spektar), što omogućuje identifikaciju teških elemenata kao što su klor i brom. XRF separatori naširoko se koriste za sortiranje PVC-a i polimera koji sadrži bromirane usporivače gorenja (BFR). Međutim, implementacija separatora temeljenih na XRF-u na industrijskoj razini često je ograničena na odvajanje PVC-a od PET-a [43].



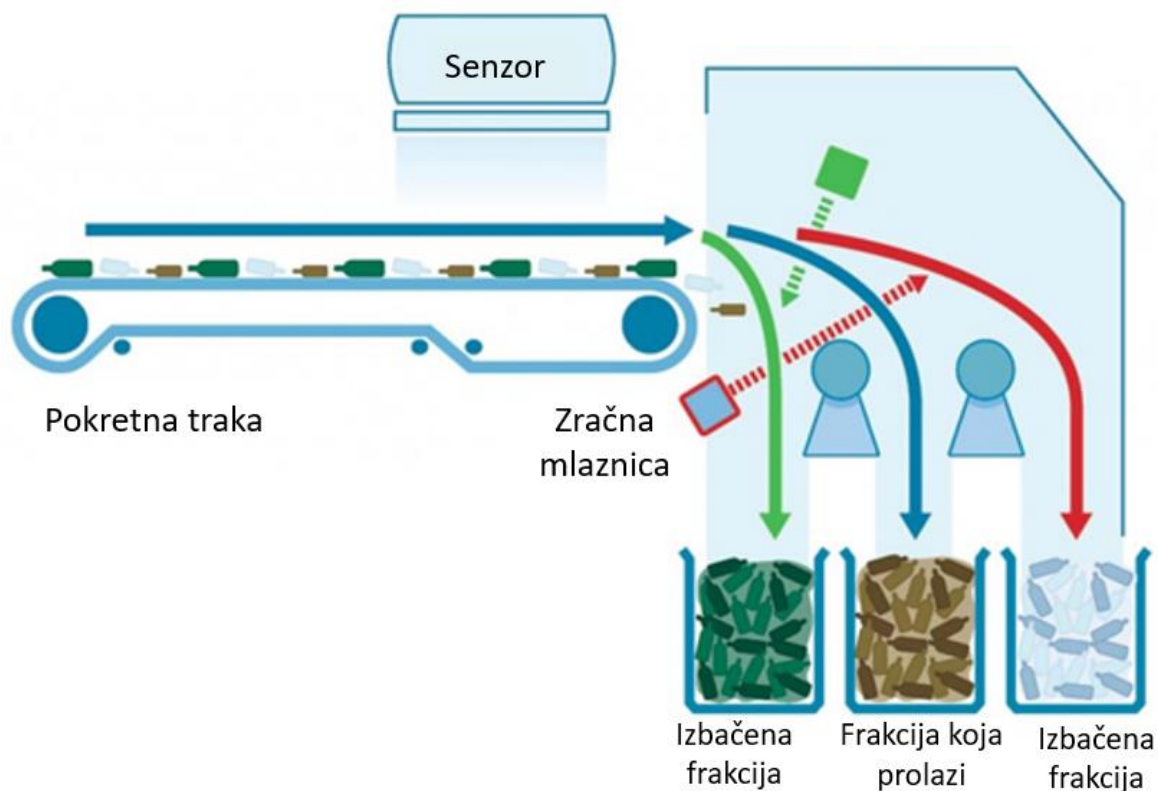
Slika 27. Shematski prikaz XRF-a [47]

VIS tehnologijom optičkog razvrstavanja materijal se sortira po boji. Senzori se koriste za identifikaciju na temelju površinskog izgleda materijala. Kamera analizira boje (crvenu, zelenu i plavu) na temelju intenziteta. VIS-separator za razvrstavanje materijala radi tako što analizira potpuni raspon vidljivog spektra, čime se točno karakteriziraju sve boje [43].

Sustavi koji uključuju sortiranje tijekom leta [Slika 28] otkrivaju i izbacuju materijal dok je u letu nakon što je napustio pokretnu traku. Ovo se razlikuje od svih drugih sustava koji detektiraju materijal iznad pokretne trake [Slika 29] i potom izbacuju taj materijal neko vrijeme kasnije [48].

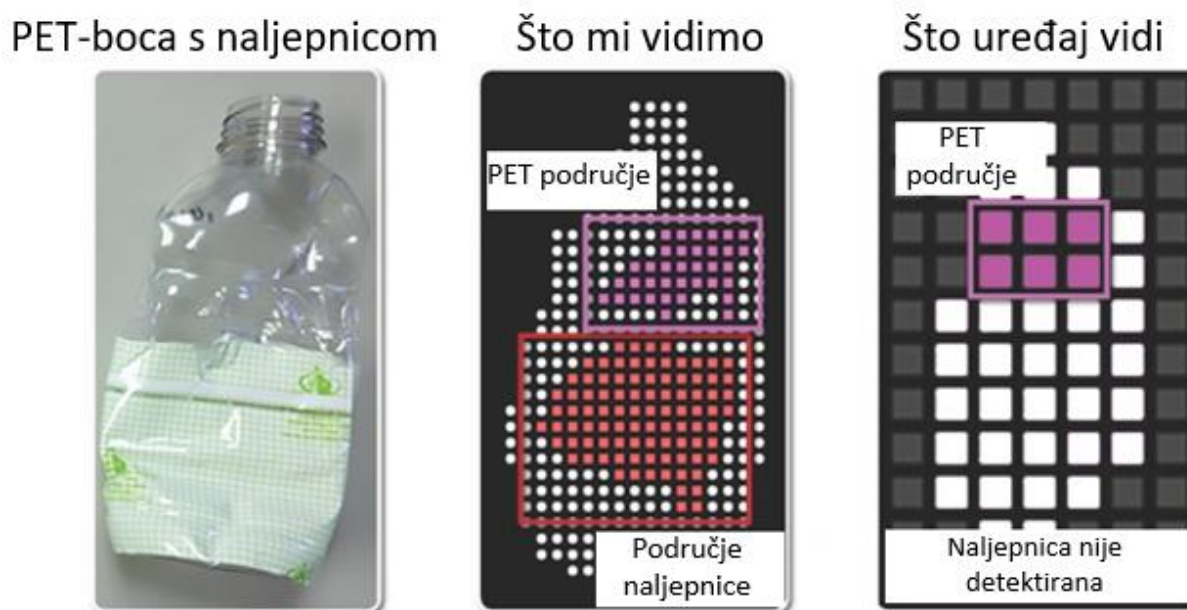


Slika 28. Sortiranje optičkim separatorom tijekom leta [49]



Slika 29. Optički separator sa senzorom iznad pokretne trake [49]

Razvrstavanje tijekom leta smanjuje pogrešku povezanu s kretanjem, eliminira pogrešku signala uzrokovanu smetnjama trake i omogućuje prijenosno ili reflektirajuće sortiranje. Razvrstavanjem tijekom leta koristi se cijeli niz spektrofotometara za pružanje identifikacije preko cijele širine trake, stvarajući najveći omjer signala i šuma u industriji. Ovo eliminira smetnje od naljepnica na bocama [Slika 30] te se na taj način poboljšava identifikacija polimera. Cijeli sustav precizno detektira i izbacuje materijale u letu uz minimalne troškove održavanja [48].



Slika 30. Detektiranje PET-boce unatoč naljepnici [49]

Kao i kod svih strojeva, potrebno je dobro održavanje kako bi se osiguralo da izvedba sustava bude vrhunska. Optičke sustave za sortiranje treba pregledavati svaki dan kako bi se osiguralo da sva svjetla rade i da su leće prozirne te bez prašine i prepreka. Svjetla koja su pregorjela potrebno je zamijeniti. Mlaznice za zrak također se moraju pregledati kako bi se osiguralo da nisu začepjene i da imaju odgovarajuću količinu pritiska za izvođenje fizičkog odvajanja. Računalo koje upravlja procesom mora se povremeno ponovno kalibrirati [42].

Što se tiče budućnosti optičkog sortiranja, nastavit će se napredak u razvrstavanju materijala koji se može reciklirati u sortirnicama. Za optičke sustave sortiranja bit će uočljiva stalna poboljšanja s lećama i kamerama, dok će računala biti sve brža. Sva navedena poboljšanja dovode do sustava koji su bolji i brži u prepoznavanju materijala [42].

4.3.6. Magnetski separatori

Magnetska separacija je odvajanje komponenata korištenjem različitih vrsta magneta za privlačenje magnetičnih materijala. Proces koji se koristi za magnetsko odvajanje odvaja nemagnetični materijal od onih koji su magnetični [5].

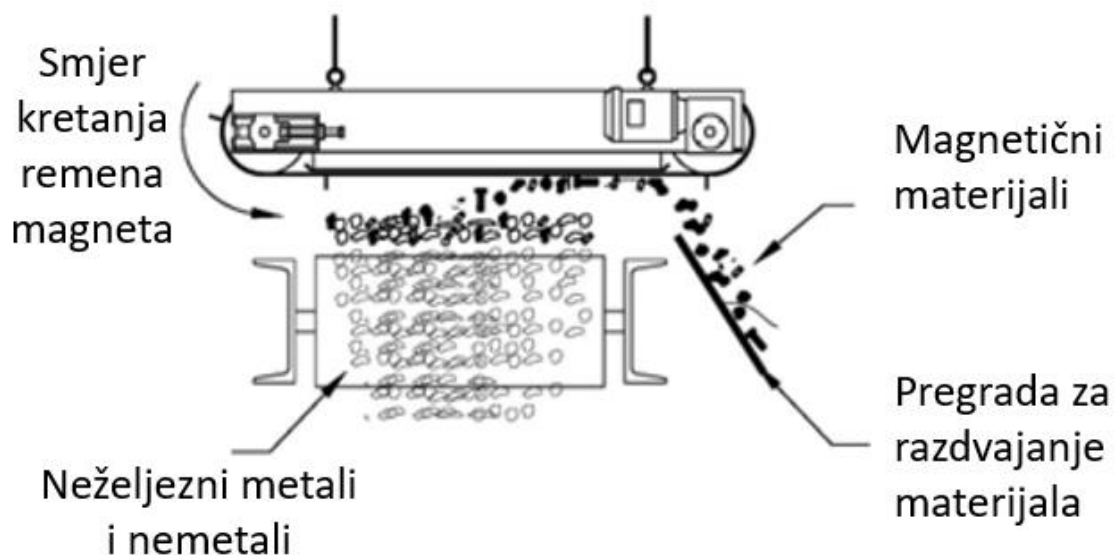
Magnetska separacija može se koristiti u različitim okruženjima i na različitim tržištima, no prvenstveno se magnetski separatori [Slika 31] koriste za odvajanje metala iz otpada. Magnetska separacija također se koristi u rudarstvu i industriji minerala, a ima malu ulogu u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji. Na primjer, za uklanjanje metalnih kontaminanata iz tokova proizvoda [5].

U industriji recikliranja, magneti se obično koriste za privlačenje željeznih metala. Magneti se nalaze duž pokretnih traka gdje su smješteni iznad pokretnih traka kako bi privukli magnetične materijale [5].

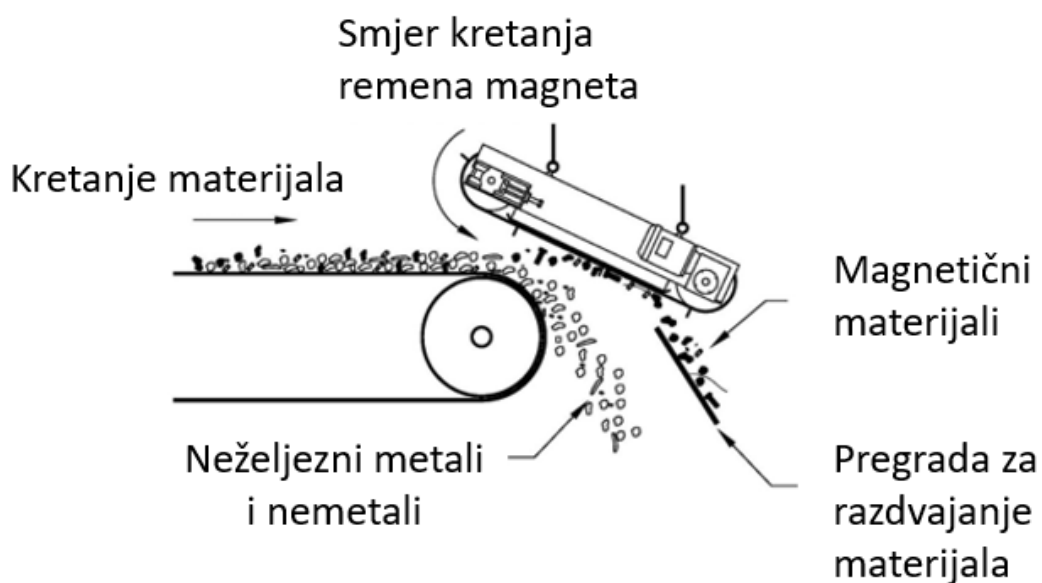


Slika 31. Magnetski separator [50]

[Slika 32] prikazuje shematski prikaz magnetskog separatora smještenog iznad pokretne trake kako bi privukao željezne metale, dok [Slika 33] prikazuje shematski prikaz magnetskog separatora ovješnog na mjestu pražnjenja, što poboljšava učinkovitost odvajanja, no predstavlja složeniju izvedbu [51].



Slika 32. Shematski prikaz magnetskog separatora iznad pokretne trake [51]



Slika 33. Shematski prikaz magnetskog separatora iznad mjesta pražnjenja [51]

4.3.7. Separatori nemagnetičnih metala

Velik broj materijala nije magnetičan, jedan od njih je i aluminij, no svejedno ih je potrebno odvojiti prije recikliranja [52].

Metoda odvajanja vrtložnim strujama obično razvrstava neželjne metale. Odvajanje vrtložnim strujama koristi se principima elektromagnetske indukcije u vodljivim materijalima za odvajanje neželjnih metala prema njihovoj različitoj električnoj vodljivosti [52].

Sredinom 19. stoljeća je Leon Foucault, francuski fizičar, otkrio električni fenomen vrtložnih struja. Do ovog fenomena dolazi prilikom gibanja (ili promjene) magnetskog polja preko vodiča, ili pak gibanja vodiča kroz magnetsko polje. Spomenuta relativna gibanja uzrokuju razdvajanje naboja (razliku potencijala) u vodičima, pri čemu dolazi do kružnog toka elektrona ili jednostavnije rečeno, struje unutar vodiča, a struje nastale na ovakav način nazvane su vrtložne (Foucaultove) struje. Što je veća jakost i brža promjena magnetskog polja te također što je veća električna vodljivost to će i inducirane struje biti veće, a upravo se na ovim strujama temelji razdvajanje nemagnetičnih metala [53].

Separatori vrtložnim strujama (engl. *Eddy Current Separator*, ECS) [Slika 34] služe za razdvajanje neželjnih metala kao što su: aluminij, bakar, cink, mjed, bronca i slične metalne legure [54].



Slika 34. Separator vrtložnim strujama [54]

Separator se sastoji od dva bubnja koji su međusobno povezani transportnom trakom. Prvi od ta dva bubnja je pogonski, dok je u drugom smješten rotor s permanentnim magnetima. Preko transportne trake materijal pristiže do drugog bubnja, pri čemu tako dopremljen materijal dolazi u promjenjivo magnetsko polje koje u česticama metala inducira vrtložne struje [53].

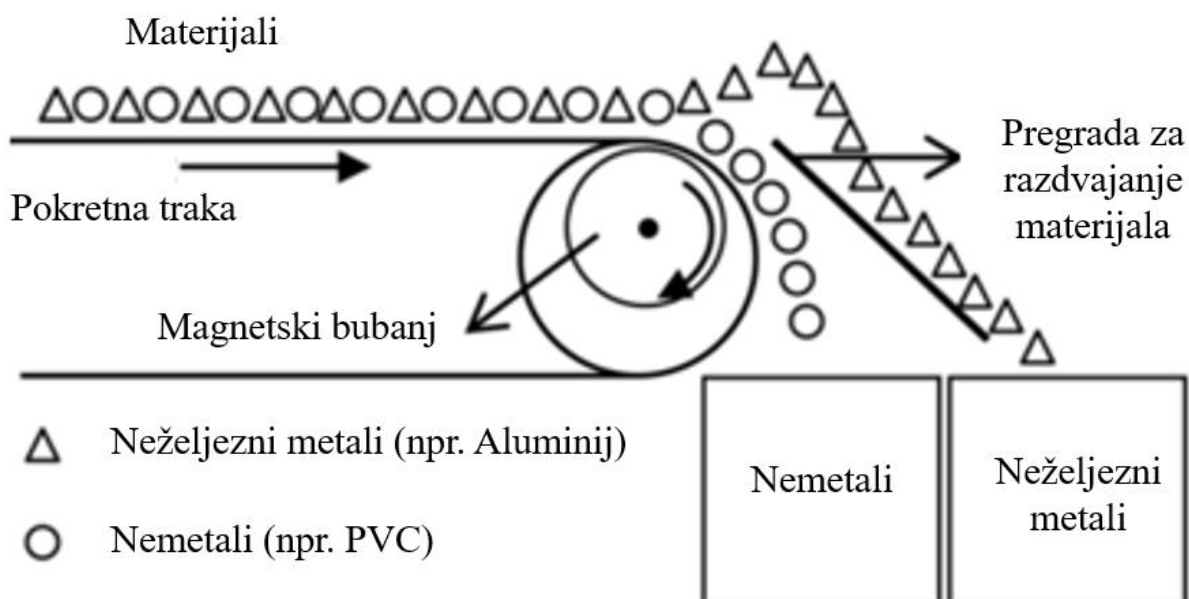
Osnovna postavka je da se otpad neželjeznih metala nalazi na pokretnoj traci. Pokretna traka prolazi preko rotirajućeg bubnja unutar kojeg se nalazi puno brže rotirajući magnetni blok (do 4000 okretaja u minuti). Magnetni blok uzrokuje promjenjivi magnetski tok [52].

Kada se vodljive čestice kreću kroz ovaj promjenjivi tok na pokretnoj traci, inducira se vrtložna struja i rezultirajuće magnetsko polje. Ovo magnetsko polje metalnih čestica u interakciji je s magnetskim poljem rotirajućeg bubnja. Interakcija daje česticama kinetičku energiju. Čestice otpada izbacuju se s kraja pokretne trake s različitim energijama, uzrokujući različite putanje ovisno o vodljivosti čestica [52].

Veličina čestica i smjer rotacije bubnja mogu se mijenjati kako bi se mijenjao stupanj odvajanja. Male čestice (10 – 50 mm) mogu se odvojiti zahvaljujući stupnju električne vodljivosti. Najvodljiviji materijali najviše stupaju u interakciju s magnetskim poljem i imaju najduže putanje. Aluminijski ima najveću vodljivost za određenu masu na temperaturi okoline od bilo kojeg drugog elementa. Na nemetalne elemente poput polimera magnetsko polje uopće ne djeluje. Oni jednostavno padnu s kraja pokretne trake bez promjene energije [52].

Putanja čestica nakon napuštanja bubnja određena je kombinacijom više sila, a to su sila gravitacije, sile trenja između čestica i trake, sile otpora kretanju zrakom te elektrodinamičke sile. Sila koja izdvaja vodljive čestice, odnosno čestice neželjeznog metala od ostalog materijala naziva se Lorenzova sila, tj. sila magnetskog polja na magnetsko polje čestice uzrokovano vrtložnim strujama unutar čestice. Upravo zato će slabo vodljivi materijali ostati na pokretnoj traci i nastojati zadržati putanju po inerciji i padati blizu bubnja, a vodljivi materijali bit će podignuti s pokretne trake te će biti odbačeni dalje od bubnja. Stoga, do razdvajanja materijala u prvom redu dolazi na temelju razlike u električnoj vodljivosti [53].

Neželjezni metal se izbacuje pod djelovanjem te sile i pada u jedan spremnik kako bi došlo do razdvajanja materijala, dok nemetalni materijali padaju u drugi spremnik pod utjecajem gravitacije [Slika 35] [55].



Slika 35. Shematski prikaz separatora vrtložnim strujama [55]

Separatori vrtložnim strujama su strojevi koji se sastoje od tri odvojene jedinice koje iz otpada izdvajaju vrijedne neželjezne metale poput bakra i aluminija. To su pokretna traka, jedinica za punjenje i magnetski bubanj. Jedinica za punjenje je vibracijski sustav koji omogućava pravilnu raspodjelu otpadnog materijala na pokretnu traku. Pokretna traka prenosi ovaj materijal do magnetskog bubnja. U metalu koji prolazi preko bubnja inducira se vrtložna struja u skladu s Faradayevim zakonom. Zbog ove struje u metalnoj čestici stvara se magnetsko polje i stoga se stvara sila kada čestica uđe u područje djelovanja promjenjivog magnetskog polja bubnja [55].

Separatori neželjeznih metala uglavnom se koriste u postrojenjima za recikliranje raznih vrsta otpada [54].

Separator vrtložnim strujama još je jedan izvrstan primjer kako je poznavanje svojstava materijala unaprijedilo tehnologije koje su povezane s recikliranjem materijala [52].

4.3.8. Preše za baliranje

Preša za baliranje namjenski je stroj za gospodarenje otpadom koji komprimira materijale koji se mogu reciklirati kao što su papir [Slika 36], karton i polimerni materijali [Slika 37] u guste svežnjeve (bale). Preša za baliranje je velika čelična komora s pločom za prešanje koja se kreće gore-dolje kako bi prešala materijal. Preša stvara debele, stisnute bale koje se zatim šalju tvrtkama za recikliranje [56].



Slika 36. Preša za baliranje papira [57]

Preša za baliranje obično se koristi samo za materijale koji se mogu reciklirati kao što su papir i karton, polimerni materijali, metal te staklo, iako se mogu koristiti i za prešanje neuobičajenih materijala. Uglavnom ih koriste u komercijalnim i industrijskim sektorima poduzeća koja stvaraju ovu vrstu otpada u svojoj proizvodnji, odnosno svakodnevnom radu i žele ga zbrinuti na održiviji način. Tvornice za proizvodnju hrane, hoteli, supermarketi, veletrgovci, skladišta i restorani samo su neki od primjera sektora u kojima je uporaba preša za baliranje eksponencijalno porasla u proteklim godinama. Preše za baliranje mogu biti

hidraulične ili pneumatske te također dolaze u raznim veličinama. Preša za baliranje sabija otpad u pravilno oblikovane blokove, koji se zatim vežu. Na taj način se mogu lako premjestiti. Umjesto da se šalje na odlagalište, sav se otpad reciklira, što smanjuje onečišćenje i pomaže u očuvanju resursa. Balirani otpad zauzima manje prostora, što smanjuje troškove odvoza otpada [56].



Slika 37. Preša za baliranje polimernih materijala [58]

4.4. Ekonomičnost

Ako se pravilno postupa otpadom, otpad ima svoju ekonomsku vrijednost. Odvajanje otpada odmah na mjestu njegova nastanka učinkovit je način povećanja prodajne vrijednosti otpada te se također na taj način smanjuju količine otpada koje se odlažu na odlagališta. Recikliranje otpada može donijeti ekonomsku korist zajednici, no cijena otpadnih materijala jako ovisi o uvjetima na svjetskom tržištu. Recikliranje otpadnih materijala donosi ekonomske koristi urbanoj zajednici ako se dobro provodi [59].

Princip rada raznih tehnologija sortiranja se temelji na različitim karakteristikama otpada kako bi se odvojile pojedine frakcije. Neke od tih karakteristika su dimenzija i oblik materijala, gustoća, masa, magnetska i električna vodljivost materijala [11].

Temeljni zahtjevi za kvalitetu izlaznih sirovina iz postrojenja za automatsko sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada vezani su uz postizanje maksimalne čistoće izlaznih sirovina u skladu s primijenjenim tehnikama sortiranja, uvažavajući ekonomske, ekološke i druge kriterije rada postrojenja. Sortiranjem korisnog otpada potrebno je omogućiti njegovo odvajanje na sekundarne frakcije kako bi se one mogle prodati kao korisna sirovina veće vrijednosti [11].

[Tablica 12] prikazuje kolike ukupne količine onih otpadnih materijala koji će odlaziti u sortirnicu su odvojeno prikupljene u 2021. godini u Gradu Zagrebu. Iz ovog je vidljivo da su najzastupljeniji papir i karton te polimerni materijali [60].

Tablica 12. Količine onih vrsta odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u Gradu Zagrebu u 2021. godini koje će se sortirati u sortirnici [60]

Materijal	Količina / t
Papir i karton	16 692
Polimerni materijal	12 986
Metal	452
Staklo	2 967

[Tablica 13] prikazuje prosječne cijene otpadnog papira, polimernih materijala i stakla u 2020. godini.

Tablica 13. Prosječne cijene pojedinih vrsta otpadnih materijala u 2020. godini [61]

Materijal	Prosječna cijena / EUR/t
Papir	104,4
Polimerni materijal	244,7
Staklo	55,1

[Tablica 14] prikazuje kako se cijene limenki aluminija i čelika mijenjaju u periodu od 2020. do 2022. godine te je vidljivo kako su cijene prilično nestabilne, odnosno kako se u iznimno kratkom periodu drastično mijenjaju. Također se može uočiti značajan rast cijena u 2022. u odnosu na 2020. godinu [62].

Tablica 14. Cijene određenih vrsta otpadnih metala nakon procesa sortiranja [62]

Datum	Aluminij / EUR/t	Čelik / EUR/t
01/2020	1 091,3	105,8
07/2020	848,8	76,3
01/2021	1 157,4	71,4
07/2021	1 609,4	270,7
01/2022	1 708,6	300,2

Svrha pravilnog postupanja s otpadnim polimernim materijalima je što je moguće dulje zadržavanje polimernih materijala u životnom ciklusu proizvoda i u konačnici energetska uporaba. Kako bi ovo bilo moguće, potrebno je osigurati potrebnu kvalitetu polimernog materijala odnosno proizvoda koji se dobivaju recikliranjem otpadnog polimernog materijala. Odvojeno prikupljanje otpadnih polimernih materijala ključni je dio u procesu gospodarenja otpadnim polimernim materijalima [11].

Kvaliteta odvojenog prikupljanja otpadnih polimernih materijala iznimno je bitna kako bi se dobio sastav otpadnih polimernih materijala iz kojeg nakon toga može proizaći postupak sortiranja na istovrsne materijale [11].

Nakon procesa prikupljanja otpadnih polimernih materijala potrebno je izdvojiti nečistoće i postići čistoću veću od 95 % kako bi se otpad mogao kvalitetno oporabiti, a također je polimere potrebno sortirati po vrsti jer ih inače nije moguće reciklirati [11].

[Tablica 15] prikazuje kako se cijene raznih vrsta otpadnih polimernih materijala mijenjaju u periodu od 2020. do 2022. godine. Vidljivo kako je ta promjena u cijeni iznimno značajna za dvije najvrjednije vrste otpadnih polimera koje se razvrstavaju u postrojenjima za sortiranje otpada [62].

Tablica 15. Cijene određenih vrsta otpadnih polimera nakon procesa sortiranja [62]

Datum	PET / EUR/t	HDPE / EUR/t	Obojeni HDPE / EUR/t
01/2020	220,5	1 384,5	341,7
07/2020	183	859,8	77,2
01/2021	172	1 554,2	436,5
07/2021	601,9	2 480,2	1 377,9
01/2022	407,9	1 311,8	540,1

5. STAVOVI GRAĐANA O ODVOJENOM PRIKUPLJANJU KOMUNALNOG OTPADA

5.1. Uvod

„Jedan od ključnih ekoloških problema današnjice je otpad, odnosno njegovo zbrinjavanje.“ Zbrinjavanje otpada ovisi i o svakom pojedincu koji se u svakodnevnom životu može odlučiti između ekološkog ili neekološkog ponašanja, stoga se sve veći naglasak stavlja na individualna ponašanja i prakse kućanstava kao i na strategije koje promoviraju individualna i društvena ponašanja s ciljem recikliranja. Brojna istraživanja o zbrinjavanju i recikliranju otpada te izbjegavanju nastanka otpada su provedena u razvijenim zemljama od 1980-ih godina pa sve do danas. Prema rezultatima iz istraživanja pokazalo se da kućanstva participiraju u recikliranju prvenstveno zbog uvjerenja da je recikliranje osobna odgovornost svakog pojedinca, a na drugom mjestu su pozitivni stavovi o recikliranju kao jednom od glavnih načina smanjenja onečišćenja i očuvanja resursa [63].

Prema istraživanju koje je provedeno na razini Hrvatske od 17. do 19. listopada 2022. godine na uzorku od 1400 ispitanika (najveća pogreška iznosi +/- 2,95 %, a razina pouzdanosti 95 %) na pitanje „Razvrstavate li otpad u Vašem domaćinstvu?“ 40,7 % ispitanika odgovorilo je da razvrstava u potpunosti, 23,8 % da djelomično razvrstava, 32,6 % da ne razvrstava te 2,9 % da ne želi odgovoriti. Kada je riječ o regijama, u Zagrebu i okolici je 43,6 % ispitanika odgovorilo da razvrstava u potpunosti, 28,4 % da djelomično razvrstava, 24,2 % da ne razvrstava te 3,8 % da ne želi odgovoriti. Iz ovih podataka prema ovom istraživanju je vidljivo da je u Zagrebu i okolici nešto više ispitanika odgovorilo da razvrstava otpad u odnosu na prosjek Hrvatske [64].

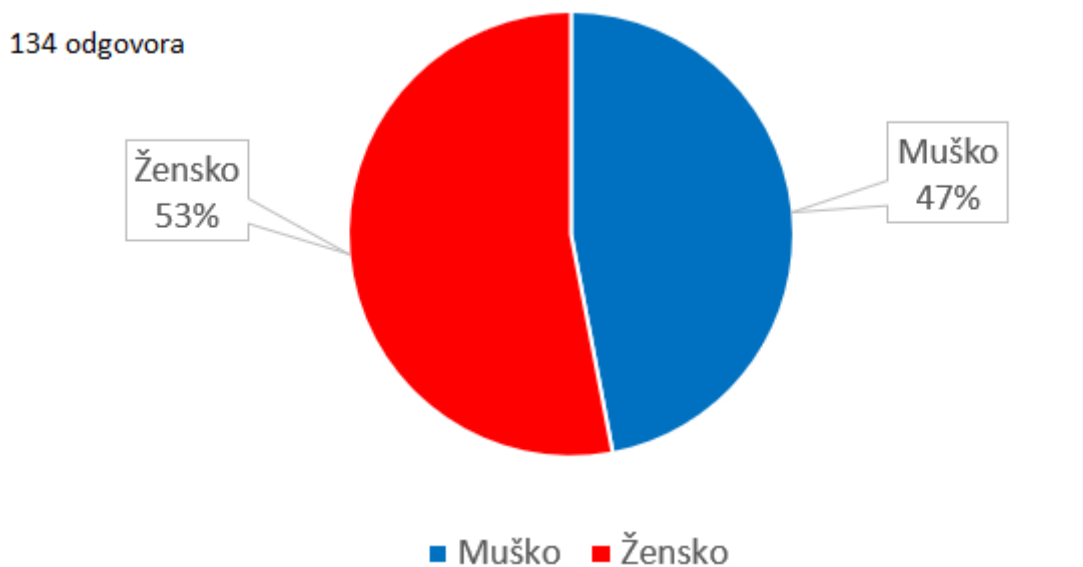
[Tablica 16] prikazuje podatke o tome koliki udio ispitanika odvaja određene vrste otpada te su ovi podaci dobiveni prema istraživanju koje je provedeno tijekom travnja 2022. godine na 408 ispitanika u dobi od 18 do 65 godina. Vidljivo je kako se najviše odvajaju polimerni materijali, papir i staklo, dok nešto manje biootpad, baterije i odjeća, no što se tiče odvajanja baterija bitno je istaknuti kako se u Zagrebu i okolici češće pravilno odlažu baterije, naime 59 % ispitanika ih odvaja [65].

Tablica 16. Učestalost odvajanja određenih vrsta otpada [65]

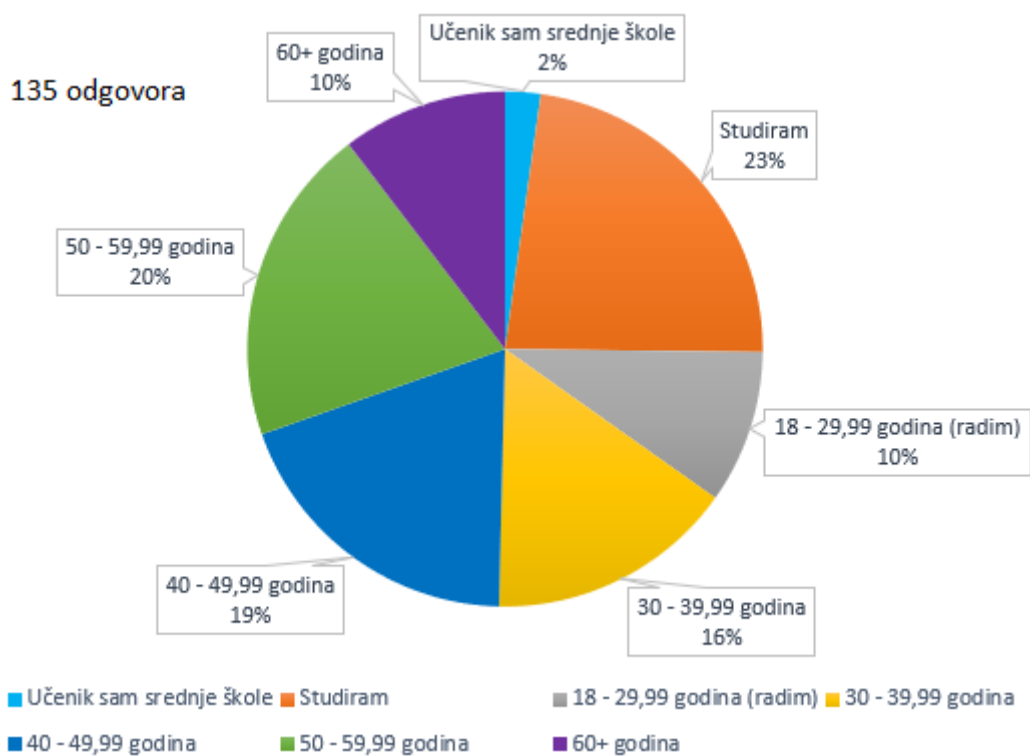
Vrsta otpada	Udio ispitanika koji odvaja određenu vrstu otpada / %
Polimerni materijal	70 %
Papir	67 %
Staklo	63 %
Biootpad	49 %
Baterije	48 %
Odjeća	39 %

5.2. Istraživanje o odvajanju otpada

Provedeno je istraživanje o stavovima i navikama građana o odvajanju otpada. Istraživanje je provedeno anonimno na 135 ispitanika tijekom studenog 2022. godine. [Slika 38] prikazuje uzorak ispitanika prema spolu, a [Slika 39] prema životnoj dobi.



Slika 38. Uzorak ispitanika prema spolu



Slika 39. Uzorak ispitanika prema životnoj dobi

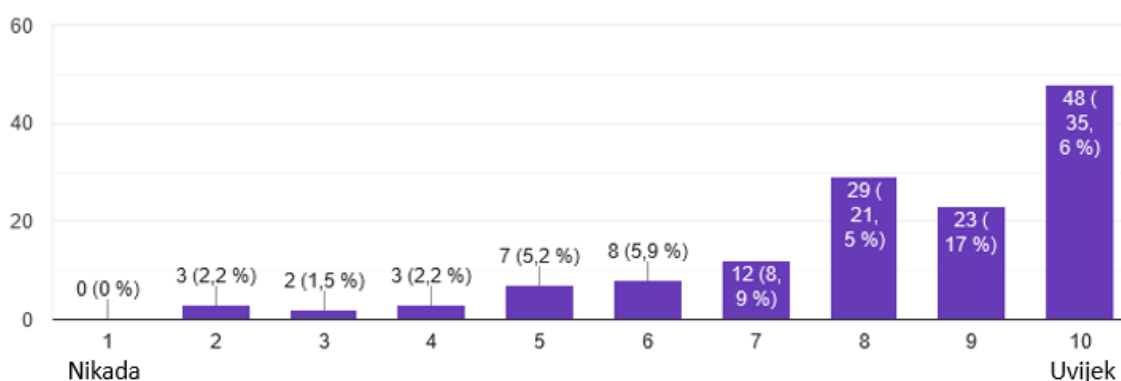
U istraživanju su postavljena sljedeća pitanja vezana uz odvajanje otpada i očuvanje okoliša:

1. U kojoj mjeri odvajate komunalni otpad u svojem kućanstvu općenito?
2. U kojoj mjeri odvajate otpadni papir u svom kućanstvu?
3. U kojoj mjeri odvajate otpadne polimerne materijale (plastiku)?
4. U kojoj mjeri odvajate otpadno ambalažno staklo?
5. U kojoj mjeri odvajate otpadnu metalnu ambalažu?
6. Koliki problem Vam predstavlja odvajanje komunalnog otpada u Vašem domu?
7. Smatrate li da je bitno odvajati otpad?
8. Smatrate li da se odvajanjem otpada pomaže u očuvanju okoliša?

Na pitanja se odgovaralo na način da se označi jedan broj od 1 do 10. U prvih pet pitanja 1 je označavalo „nikada“, a 10 „uvijek“. U šestom pitanju 1 je označavalo „nikakav“, a 10 „iznimno veliki“. U sedmom i osmom pitanju 1 je označavalo „nimalo ne smatram“, a 10 „smatram u potpunosti“.

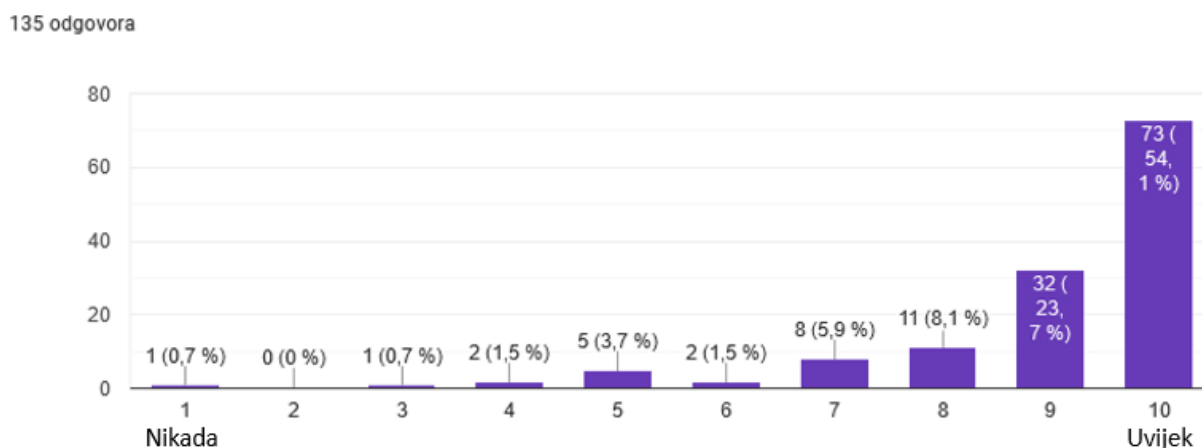
[Slika 40] prikazuje grafički prikaz odgovora na prvo pitanje te je vidljivo da je najviše ispitanika odgovorilo da uvijek odvaja komunalni otpad, njih 35,6 %. Veći dio ispitanika odvaja skoro uvijek, a manji dio ispitanika gotovo nikada.

135 odgovora



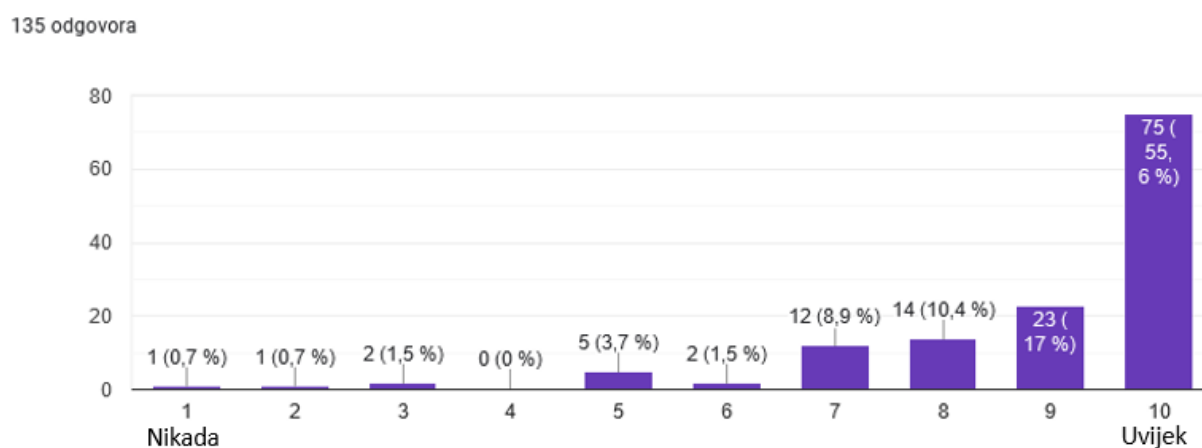
Slika 40. Navika odvajanja komunalnog otpada općenito

[Slika 41] prikazuje grafički prikaz odgovora na drugo pitanje te je vidljivo da je najviše ispitanika odgovorilo da uvijek odvaja otpadni papir, njih 54,1 %. Također se može uočiti da je 0,7 % ispitanika odgovorilo da nikada ne odvaja otpadni papir.



Slika 41. Navika odvajanja otpadnog papira u kućanstvu

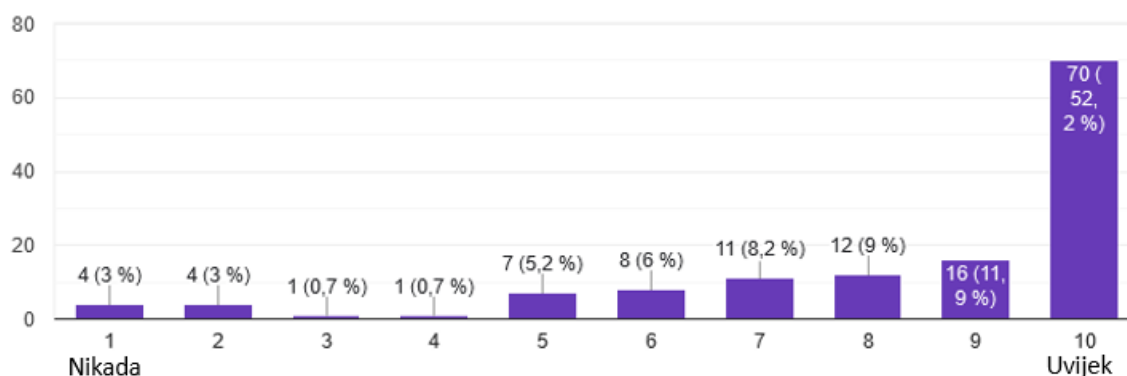
[Slika 42] prikazuje grafički prikaz odgovora na treće pitanje te je vidljivo da je najviše ispitanika odgovorilo da uvijek odvaja otpadne polimerne materijale, njih 55,6 %. Također se može uočiti da je 0,7 % ispitanika odgovorilo da nikada ne odvaja otpadne polimerne materijale.



Slika 42. Navika odvajanja otpadnih polimernih materijala

[Slika 43] prikazuje grafički prikaz odgovora na četvrto pitanje te je vidljivo da je najviše ispitanika odgovorilo da uvijek odvaja otpadno ambalažno staklo, njih 52,2 %. Također se može uočiti da je 3 % ispitanika odgovorilo da nikada ne odvaja otpadno ambalažno staklo.

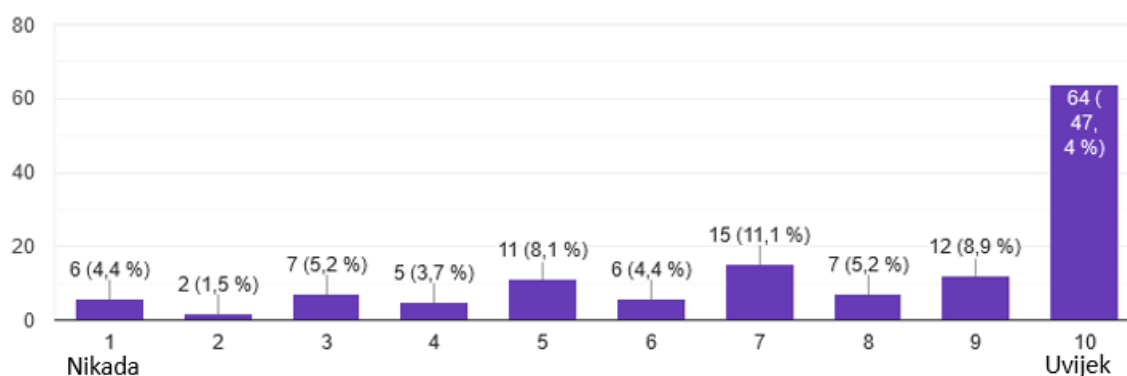
134 odgovora



Slika 43. Navika odvajanja otpadnog ambalažnog stakla

[Slika 44] prikazuje grafički prikaz odgovora na peto pitanje te je vidljivo da je najviše ispitanika odgovorilo da uvijek odvaja otpadnu metalnu ambalažu, njih 47,4 %. Također se može uočiti da je 4,4 % ispitanika odgovorilo da nikada ne odvaja otpadnu metalnu ambalažu.

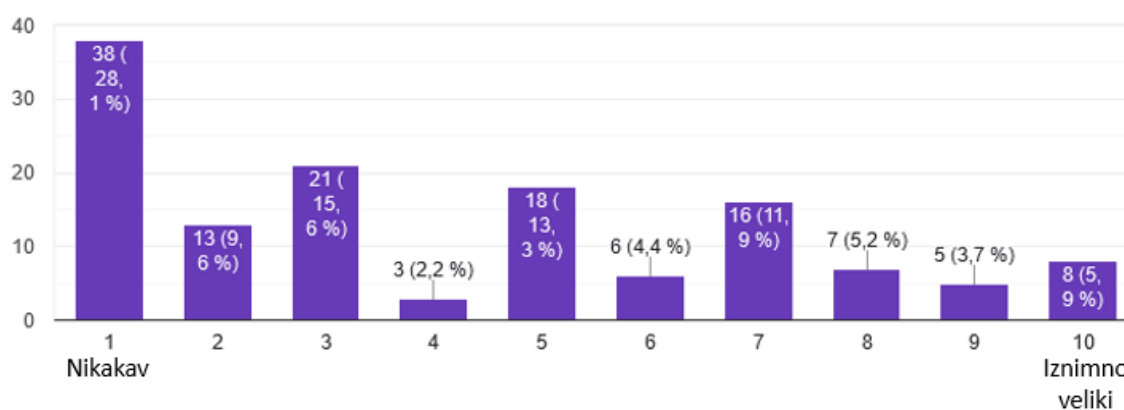
135 odgovora



Slika 44. Navika odvajanja otpadne metalne ambalaže

[Slika 45] prikazuje grafički prikaz odgovora na šesto pitanje te je vidljivo da je najviše ispitanika odgovorilo da im odvajanje otpada ne predstavlja nikakav problem, njih 28,1 %, no određenom broju ispitanika ipak predstavlja određeni problem, nekima nešto veći problem, a nekima nešto manji problem. Odgovore 2, 3 ili 4 je označilo 27,4 % ispitanika, 5 ili 6 je označilo 17,7 % ispitanika, 7, 8 ili 9 je označilo 20,8 % ispitanika, dok je 5,9 % ispitanika označilo 10, odnosno da im odvajanje otpada predstavlja iznimno veliki problem.

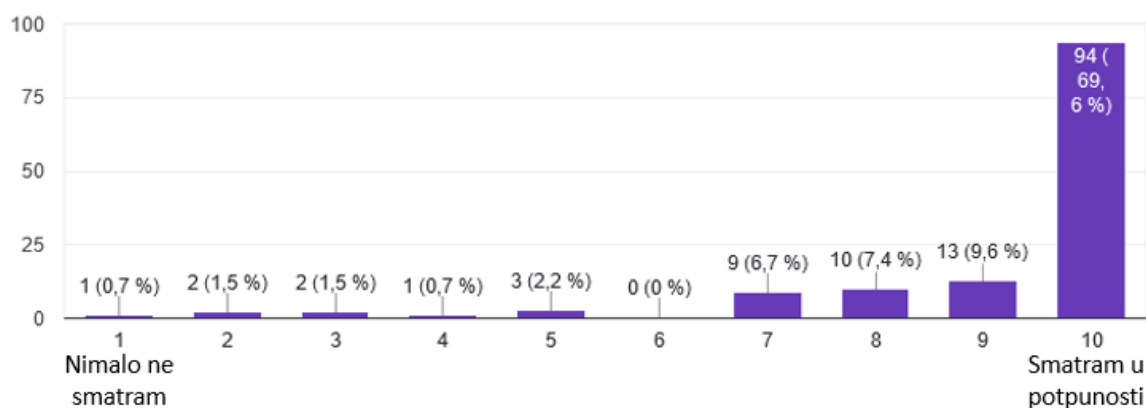
135 odgovora



Slika 45. Koliki problem stvara odvajanje komunalnog otpada u kućanstvu

[Slika 46] prikazuje grafički prikaz odgovora na sedmo pitanje te je najviše ispitanika odgovorilo da je bitno odvajati otpad, naime 69,6 % ispitanika u potpunosti smatra da je bitno odvajati otpad, a 7, 8 ili 9 je označilo 23,7 % ispitanika. 0,7 % ispitanika je odgovorilo da nimalo ne smatra da je bitno odvajati otpad.

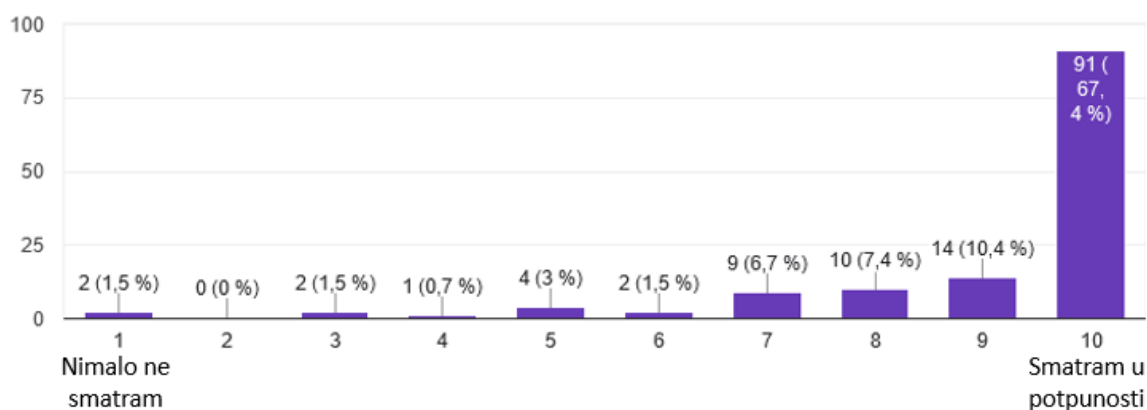
135 odgovora



Slika 46. Stavovi o tome koliko je bitno odvajati otpad

[Slika 47] prikazuje grafički prikaz odgovora na osmo pitanje te je najviše ispitanika odgovorilo da se odvajanjem otpada pomaže u očuvanju okoliša, naime 67,4 % ispitanika u potpunosti smatra da se odvajanjem otpada pomaže u očuvanju okoliša, a 7, 8 ili 9 je označilo 24,5 % ispitanika. 1,5 % ispitanika je odgovorilo da nimalo ne smatra da se odvajanjem otpada pomaže u očuvanju okoliša.

135 odgovora



Slika 47. Stavovi o tome pomaže li se odvajanjem otpada u očuvanju okoliša

Iz rezultata istraživanja se može iščitati kako većina ispitanika odvaja komunalni otpad te kako smatraju da je odvajanje otpada bitno i da se na taj način pomaže u očuvanju okoliša. Što se tiče odvajanja različitih otpadnih materijala, navika odvajanja je najprisutnija kod polimernih materijala i papira pa zatim ambalažnog stakla, a najmanje je prisutna kod odvajanja metalne ambalaže, no razlike u navikama odvajanja ovih materijala su izrazito male. Nekim ispitanicima odvajanje otpada predstavlja određeni problem, no ipak se najviše ispitanika izjasnilo kako im odvajanje otpada ne predstavlja nikakav problem.

6. ZAKLJUČAK

S obzirom na to kako otpad predstavlja sve veći problem čovječanstvu, kako na globalnoj tako i na lokalnoj razini, sve više se govori o toj temi i važnosti pravilnog gospodarenja otpadom. Sortirnica za odvojeno prikupljeni komunalni otpad je od iznimne važnosti u sustavu gospodarenja otpadom kako bi se otpad koji građani odvajaju još dodatno sortirao te kako bi se dobio što je moguće čišći suhi reciklat. Na taj način se od tog materijala koji prođe kroz sortirnicu poput papira, polimernih materijala, stakla i metala ponovno mogu izrađivati neki novi proizvodi te se tako čuvaju resursi i smanjuju emisije ugljičnog dioksida, što je iznimno bitno za očuvanje okoliša te u borbi protiv klimatskih promjena. Također postoji i ekonomska korist od odvajanja otpadnog materijala jer takav sortirani čisti suhi reciklat ostvaruje određenu tržišnu vrijednost koja se razlikuje ovisno o materijalu. Na primjer kod polimernog otpada najveća je vrijednost PET-a i HDPE-a. Sortirnice su postrojenja s mnogo različitih tehnologija za razdvajanje otpada te sadrže strojeve poput otvarača vrećica, rotacijskih sita, balističkih separatora, magnetskih separatora i separatora vrtložnim strujama kao i razne optičke separatore te također preše za baliranje. S obzirom na to kako je potrebna električna energija za rad sortirnice od velikog je značaja što će solarni paneli biti implementirani na krov postrojenja za automatsko sortiranje odvojeno prikupljenog komunalnog otpada Grada Zagreba kako bi ugljični otisak bio što je moguće manji te kako bi i u tom pogledu okoliš bio maksimalno sačuvan. Odvajanje otpada na kućnom pragu pa zatim i razvrstavanje u sortirnici je od velikog značaja te je neizostavan dio sustava gospodarenja otpadom, na taj način se smanjuju količine otpada koje se odlažu na odlagališta te se u konačnici poboljšava kvaliteta života građana.

LITERATURA

- [1] Funch OI, Marhaug R, Kohtala S, Steinert M. Detecting glass and metal in consumer trash bags during waste collection using convolutional neural networks. *Waste Manag* 2021;119:30–8. Doi: 10.1016/j.wasman.2020.09.032.
- [2] Oznake na ambalaži – Zeleni val: <https://zeleni-val.com/oznake-na-ambalazi/> (pristupljeno 3. 10. 2022.).
- [3] Tallentire CW, Steubing B. The environmental benefits of improving packaging waste collection in Europe. *Waste Manag* 2020;103:426–36. Doi: 10.1016/j.wasman.2019.12.045.
- [4] Odluka o donošenju Izmjena Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_01_1_1.html (pristupljeno 7. 11. 2022.).
- [5] Separation technology and sorting technology innovations in recycling: <https://recyclinginside.com/recycling-technology/separation-and-sorting-technology/> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [6] Mondal S, Palit D. Sustainable Agriculture, Forest and Environmental Management. 2019. Doi: 10.1007/978-981-13-6830-1.
- [7] Vergara SE, Tchobanoglous G. Municipal solid waste and the environment: A global perspective. vol. 37. 2012. Doi: 10.1146/annurev-environ-050511-122532.
- [8] 1.1. Definition and classification of waste | MOOC: Auditing waste management: <https://sisu.ut.ee/waste/book/11-definition-and-classification-waste> (pristupljeno 19. 10. 2022.).
- [9] Vrste otpada - Komunalni otpad: <https://www.zcgo.hr/otpad-u-zagrebu-pregled/komunalni-otpad> (pristupljeno 19. 10. 2022.).
- [10] IDEM: Managing Waste: Solid Waste Types: <https://www.in.gov/idem/waste/solid-waste/municipal-and-non-municipal-solid-waste/> (pristupljeno 19. 10. 2022.).
- [11] Budiša M, Ptiček Siročić A. Gospodarenje otpadnom plastikom. *Kem u Ind* 2022;71:623–32. Doi: 10.15255/kui.2021.091.
- [12] Understanding Global Warming Potentials | US EPA: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> (pristupljeno 11. 11. 2022.).

- [13] Waste4Change Supports 3R (Reduce-Reuse-Recycle) Green Concept!: <https://waste4change.com/blog/waste4change-supports-3r-reduce-reuse-recycle-green-concept/> (pristupljeno 4. 10. 2022.).
- [14] Gospodarenje otpadom - Savjesno s otpadom Savjesno s otpadom: <https://www.savjesno.eu/gospodarenje-otpdom/> (pristupljeno 4. 10. 2022.).
- [15] Gradski ured za gospodarstvo, energetiku i zaštitu okoliša - Eko Zagreb: <https://eko.zagreb.hr/akti-grada-zagreba-iz-podrucja-gospodarenja-otpado/2560> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [16] Zeleni otoci - Čistoca: <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/zeleni-otoci/1822> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [17] Informacije o odvajanju otpada - Zagrebački Holding: <https://www.zgh.hr/informacije-o-odvajanju-otpada> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [18] Čistoća Zagrepčanima: Kante nismo ispraznili jer niste dobro razvrstali otpad | Hrvatska danas: <https://hrvatska-danas.com/2021/07/26/cistoca-zagrepčanima-kante-nismo-ispraznili-je-r-niste-dobro-razvrstali-otp-ad/> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [19] Što bacati u smeđu ZG vrećicu za biootpad?: <https://znatko.com/28056/sto-bacati-u-smedu-zg-vrecicu-za-biootpad> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [20] Papir - Čistoca: <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/papir-23/23> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [21] Plastična i metalna ambalaža - Čistoca: <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/plasticna-i-metalna-ambalaza/1497> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [22] Staklo - Čistoca: <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/staklo-24/24> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [23] Biootpad - Čistoca: <https://www.cistoca.hr/usluge/odvojeno-skupljanje-otpada/biootpad/1350> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [24] Podjela žutih vrećica za odlaganje otpadne plastične i metalne ambalaže - Čistoca: <https://www.cistoca.hr/info-centar/aktualnosti/2019/podjela-zutih-vrecica-za-odlaganje-otpadne-plasticne-i-metalne-ambalaze/3971> (pristupljeno 19. 10. 2022.).
- [25] U-tijeku-je-realizacija-Projekta-izgradnje-i-opremanja-postrojenja-za-sortiranje-otpada-s-područja-G: https://www.zcgo.hr/blog_posts/detail/40 (pristupljeno 4. 10. 2022.).
- [26] Kako “iskopati” vrijednost iz otpada? Sortirnice – Kružna ekonomija: <https://kruzna-ekonomija.com/2017/12/18/kako-iskopati-vrijednost-iz-otpada-sortirnice/> (pristupljeno

4. 10. 2022.).
- [27] Završen projekt izgradnje sortirnice u Mihačevoj Dragi | Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost: <https://www.fzoeu.hr/hr/završen-projekt-izgradnje-sortirnice-u-mihacevoj-dragi/8936> (pristupljeno 4. 10. 2022.).
- [28] Lokacijska dozvola "Postrojenje za sortiranje odvojeno prikupljenog papira, kartona, metala, stakla,": <https://www.zcgo.hr/novosti-pregled/lokacijska-dozvola-postrojenje-za-sortiranje-odvojeno-prikupljenog-papira-kartona-metala-stakla-plas> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [29] Solar suitability: how much energy could be generated on your roof? | Copernicus: <https://atmosphere.copernicus.eu/solar-suitability-how-much-energy-could-be-generated-your-roof> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [30] 5 Advantages of Solar Power | Solar Benefits | Sunrun: <https://www.sunrun.com/go-solar-center/solar-articles/5-advantages-solar-power> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [31] Avery Weigh-Tronix: <https://www.averyweigh-tronix.com/en-ca/products/truck-scales/shallow-pattern-truck-scale/> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [32] What makes radiation monitoring plans so critically important | Waste Dive: <https://www.wastedive.com/news/what-makes-radiation-monitoring-plans-so-critically-important/560726/> (pristupljeno 9. 11. 2022.).
- [33] Bertin Instrumentssaphygate-g-2-web | Bertin Instruments: <https://www.bertin-instruments.com/saphygate-g-2-web/> (pristupljeno 9. 11. 2022.).
- [34] Početak izvođenja radova na uklanjanju građevina potrebnih za provedbu projekata izgradnje postrojen: <https://www.zcgo.hr/novosti-pregled/pocetak-izvodenja-radova-na-uklanjanju-gradevina-potrebnih-za-provedbu-projekata-izgradnje-postrojen> (pristupljeno 4. 10. 2022.).
- [35] Izgradnja javnog kanala sanitarne i oborinske odvodnje u Ulici III Struge, Zagreb: <https://www.zcgo.hr/novosti-pregled/izgradnja-javnog-kanala-sanitarne-i-oborinske-odvodnje-u-ulici-iii-struge-zagreb> (pristupljeno 4. 10. 2022.).
- [36] China Grab Crane- Applied in Waste to Energy Plant Manufacturers, Suppliers, Factory, Company - SEVENCORNE: <https://www.sevenindustry.com/showroom/grab-crane-applied-in-waste-to-energy-plant.html> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [37] Otvarač vreća – Tehnix: <https://tehnix.hr/proizvod/742/> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [38] Rotating cylindrical sieve for sorting garbage | LZZG: <https://www.lzzgmachine.com/solutions/rotating-cylindrical-sieve-for-sorting->

- garbage.html (pristupljeno 9. 10. 2022.).
- [39] Why rotary drum screen is best for garbage separation | LZZG: <https://www.lzzgmachine.com/service-parts/product-knowledge/why-rotary-drum-screen-is-best-for-garbage-separation.html> (pristupljeno 9. 10. 2022.).
- [40] López CG, Ni A, Hernández Parrodi JC, Küppers B, Raulf K, Pretz T. Characterization of landfill mining material after ballistic separation to evaluate material and energy recovery potential. *Detritus* 2019;8:5–23. Doi: 10.31025/2611-4135/2019.13780.
- [41] There are right and wrong locations for a ballistic separator in a recycling facility: <https://www.recyclingproductnews.com/article/37536/the-right-and-wrong-places-for-ballistic-separators> (pristupljeno 9. 10. 2022.).
- [42] A Look at Optical Sorting | Waste360: <https://www.waste360.com/commentary/look-optical-sorting> (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [43] Lubongo C, Alexandridis P. Assessment of Performance and Challenges in Use of Commercial Automated Sorting Technology for Plastic Waste. *Recycling* 2022;7:1–26. Doi: 10.3390/recycling7020011.
- [44] Kępys W. Opto-pneumatic separators in waste management. *Inz Miner* 2016;17:63–7. Doi: 10.29227/IM-2016-01-09.
- [45] Spectroscopy for Plastics Recycling: <https://www.oceaninsight.com/blog/spectroscopy-for-plastics-recycling/> (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [46] End of life Recycling of WEEE Plastics containing Brominated Flame Retardants – EURACTIV.com: <https://www.euractiv.com/section/circular-economy/opinion/end-of-life-recycling-of-weee-plastics-containing-brominated-flame-retardants/> (pristupljeno 11. 11. 2022.).
- [47] Variable usable - Mineral Processing: https://www.at-minerals.com/en/artikel/at_Varible_usable_1549336.html (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [48] Picking and Choosing Optical Sorters and Other Waste Recycling Equipment | MSW Management: <https://www.mswmanagement.com/home/article/13018909/picking-and-choosing-optical-sorters-and-other-waste-recycling-equipment> (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [49] Optical Separation • CP Group: <https://www.cpgrp.com/optical-separation/> (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [50] Self Cleaning Cross Belt Magnetic Separator: <https://www.911metallurgist.com/equipment/self-cleaning-cross-belt-magnetic->

- separator/ (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [51] Belt Magnetic Separator | Conveyor Belt Magnet: <https://www.imt-inc.com/products/cross-belt-separators/> (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [52] Physical sorting – The Eddy current separation method: https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/recycling-metals/eddy_current.php (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [53] Bedeković G, Salopek B, Sobota I. Efficiency of metal scrap separation in eddy current separator. *Rud Geol Naft Zb* 2008;20:65–70.
- [54] Non-ferrous metal separators - Magnetix: <https://metal-separators.com/non-ferrous-metal-separators,4,en,3.html> (pristupljeno 11. 10. 2022.).
- [55] Fenercioglu A. Performance determination of novel design eddy current separator for recycling of non-ferrous metal particles. *J Magn* 2016;21:635–43. Doi: 10.4283/JMAG.2016.21.4.635.
- [56] What is a Baling Press?: <https://www.miltek.co.uk/guides/what-is-a-baling-press/> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [57] A Closer Look at the Role of the Paper Baler - Anis Trend: <https://www.anis-trend.com/paper-baler/> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [58] Industrial plastic pressing machine - SKBALER: <https://www.skbaler.com/product/industrial-plastic-pressing-machine> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [59] Nizar M, Munir E, Irvan I, Amir F. Examining the Economic Benefits of Urban Waste Recycle Based on Zero Waste Concepts 2019. Doi: 10.2991/agc-18.2019.47.
- [60] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske - Objavljeno Izvješće o komunalnom otpadu za 2021.: <https://mingor.gov.hr/vijesti/objavljeno-izvjesce-o-komunalnom-otpadu-za-2021/8905> (pristupljeno 6. 10. 2022.).
- [61] Recycling – secondary material price indicator - Statistics Explained: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Recycling_-_secondary_material_price_indicator (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [62] commodities: <https://www.state.wv.us/swmb/commodities.html> (pristupljeno 24. 10. 2022.).
- [63] Kalambura S, Racz A, Jovičić N, Toth M. Percepcija problema, mogućnosti i navika odvojenog prikupljanja otpada. *Soc Ekol* 2016;25:271–87. Doi: 10.17234/SocEkol.25.3.3.

- [64] HRT: HRejting: Gdje se u Hrvatskoj najviše razvrstava otpad, a gdje najmanje:
<https://vijesti.hrt.hr/hrvatska/hrejting-razvrstavaju-li-gradani-otpad-10321361>
(pristupljeno 13. 11. 2022.).
- [65] Kako vi brinete o našem planetu? | Improve | Blog | Ekologija:
<https://improve.com.hr/kako-vi-brinete-o-nasem-planetu/> (pristupljeno 13. 11. 2022.).