

# Mogućnosti primjene drona u prikupljanju komunalnog otpada

---

**Radelić, Damjan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:235:163770>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-15**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Damjan Radelić**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Student:

Damjan Radelić

Zagreb, 2023.

**ZADATAK**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 23 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 23 -	

**ZAVRŠNI ZADATAK**

Student: **Damjan Radelić** JMBAG: **0035222763**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mogućnosti primjene drona u prikupljanju komunalnog otpada**

Naslov rada na engleskom jeziku: **The possibilities of using a drone in the collection of municipal waste**

## Opis zadatka:

Razvijenost potrošačkog društva postavlja povećane zahtjeve za komunalne funkcije urbanih područja. Kako bi se komunalne funkcije prikupljanja otpada obavljale učinkovitije, nameće potreba za uvođenjem novih tehničkih sredstava, kao što su dronovi.

## U radu je potrebno:

1. objasniti značaj prikupljanja komunalnog otpada
2. naznačiti neke od problema koji se pojavljuju pri prikupljanju komunalnog otpada
3. istražiti i opisati mogućnost primjene drona pri prikupljanju komunalnog otpada.

Zadatak zadan:

30. 11. 2022.

Datum predaje rada:

1. rok: 20. 2. 2023.
2. rok (izvanredni): 10. 7. 2023.
3. rok: 18. 9. 2023.

Predvideni datumi obrane:

1. rok: 27. 2. – 3. 3. 2023.
2. rok (izvanredni): 14. 7. 2023.
3. rok: 25. 9. – 29. 9. 2023.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na savjetima, komentarima i kritikama tijekom izrade ovog rada.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji, kolegama i prijateljima na potpori i podršci tijekom ovih godina.

U Zagrebu, 24. veljače 2023.

Damjan Radelić

## **SAŽETAK**

S porastima stanovništva i njegove potrošnje dobara stvaraju se sve veće količine otpada, što postavlja povećane zahtjeve za komunalne funkcije urbanih područja. Tradicionalnim metodama prikupljanja otpada nije moguće u potpunosti zadovoljiti trenutne i u budućnosti očekivane potrebe pa su neophodna nova postupanja upotrebom suvremenih tehničkih rješenja. Kako bi se komunalne funkcije prikupljanja otpada obavljale učinkovitije, nameće se potreba za uvođenjem novih tehničkih sredstava poput dronova. U radu je dan osvrt na problematiku i trenutno stanje prikupljanja komunalnog otpada te je predložen i opisan koncept mapiranja i analize zasićenosti zelenih otoka pomoću drona povećavajući efikasnost cjelokupnog procesa prikupljanja otpada.

**Ključne riječi:** gospodarenje otpadom, komunalni otpad, prikupljanje, dron, mapiranje

## **SUMMARY**

With the growths of population and goods consumption, ever-increasing amounts of waste are generated, placing greater challenges for municipalities in urban areas. Traditional methods of waste collection cannot fully meet current and future demands, so new methods with modern technical solutions are needed. In order to make municipal waste collection more efficient, new technical means, such as drones must be used. The paper gives an overview of the problems and current state of municipal waste collection and proposes a concept for mapping and analysing if the capacity of the public recycle bins has been met by using a drone, which increases the efficiency of the entire waste collection process.

**Key words:** waste management, municipal waste, collecting, drone, mapping

## SADRŽAJ

ZADATAK .....	I
IZJAVA .....	II
SAŽETAK .....	III
SUMMARY .....	IV
POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	VII
POPIS SLIKA .....	VIII
POPIS TABLICA .....	IX
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OTPAD .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Vrste otpada .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Komunalni otpad .....</b>	<b>6</b>
<b>3. PRIKUPLJANJE KOMUNALNOG OTPADA .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Zahtjevi za spremnike za otpad .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Odvajanje otpada .....</b>	<b>11</b>
<b>3.3. Učestalost prikupljanja .....</b>	<b>11</b>
<b>3.4. Lokacije za prikupljanje otpada .....</b>	<b>11</b>
3.4.1. Zeleni otoci .....	12
3.4.2. Usluga prikupljanja uz rub pločnika i na ulici .....	12
3.4.3. Usluga prikupljanja u dvorištu .....	13
3.4.4. Odvoz otpada na prethodno određenu lokaciju .....	13
<b>3.5. Raspored ruta .....</b>	<b>14</b>
3.5.1. Pristupi matematičkim programiranjem .....	14
3.5.2. Pristupi temeljeni na GIS-u .....	14
3.5.3. Kombinirani optimizacijski pristupi .....	15
<b>4. PROBLEMI U PRIKUPLJANJU KOMUNALNOG OTPADA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. Nedovoljna financijska sredstava .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. Problem cestovne mreže i prostornog plana uređenja .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3. Neispravno odlaganje i divlja odlagališta otpada .....</b>	<b>17</b>
<b>4.4. Neadekvatna tehnička stručnost/faktori .....</b>	<b>18</b>



---

<b>5. MOGUĆNOST KORIŠTENJA DRONOVA U PROCESU PRIKUPLJANJA KOMUNALNOG OTPADA .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Dronovi.....</b>	<b>19</b>
<b>5.2. Izbor drona .....</b>	<b>20</b>
<b>5.3. Dron u funkciji prikupljanja komunalnog otpada .....</b>	<b>21</b>
<b>5.4. Mapiranje.....</b>	<b>22</b>
<b>5.5. Proces mapiranja .....</b>	<b>23</b>
<b>5.6. Analiza putanje drona za pregled zasićenosti zelenih otoka .....</b>	<b>25</b>
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>28</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>30</b>

## POPIS KRATICA, OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje/Opis
CAD	-	eng. <i>Computer Aided Design</i> – računalom potpomognuto oblikovanje
eng.	-	engleski
GIS	-	eng. <i>Geographic Information System</i> – geografski informacijski sustav
GPS	-	eng. <i>Global Positioning System</i> – globalni sustav pozicioniranja
lat.	-	latinski
Lidar	-	eng. <i>Light Detection and Ranging</i> – svjetlosno zamjećivanje i klasifikacija
MATLAB	-	eng. <i>MATrix LABoratory</i> – programski jezik visoke razine i interaktivna okolina za numeričko i matrično računanje, te za vizualizaciju i programiranje
PCB		eng. <i>polychlorinated biphenyl</i> – poliklorirani bifenil
RGB	-	eng. <i>Red-Green-Blue</i> – model boja Crvena-Zelena-Plava
RTK	-	eng. <i>Real Time Kinematics</i> – kinematika u realnom vremenu
UAV	-	eng. <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> – bespilotna letjelica
	USD	američki dolar
$\vartheta$	°C	temperatura
$v$	m/s	brzina

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Hijerarhija odlaganja otpada [37] .....	3
Slika 2. Klasifikacija otpada (Državni ured za reviziju Estonije) [36].....	5
Slika 3. Prihod i generacija komunalnog otpada država (UNDESA, 2010) [11] .....	7
Slika 4. Karakteristike sastava komunalnog otpada i prihodi država (UNDESA, 2010) [11]....	8
Slika 5. Udio stanovništva koji imaju pristup komunalnom prikupljanju otpada [13] .....	9
Slika 6. Prikupljanje i transport komunalnog otpada [38].....	15
Slika 7. DJI Matrice 300 RTK [32] .....	23
Slika 8. DJI Terra – softver za mapiranje i 3D modeliranje [32] .....	24
Slika 9. Lokacije zelenih otoka-Križevci [43] .....	26

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Globalni indeksi otpada za 2019. godinu [5].....	4
Tablica 2. Rezultati simulacije [45] .....	27

## **1. UVOD**

Komunalni otpad značajan je problem u današnjem društvu iz više razloga. Jedan je od glavnih problema sama količina otpada koja se proizvodi, čije stalno povećanje nadilazi ograničene kapacitete odlagališta i drugih objekata za gospodarenje otpadom. Tehnološkim unapređenjem gospodarenja otpadom povećava se životni standard stanovništva, a ujedno se stvara pritisak na njega zbog ekoloških normi kojih se stanovništvo mora pridržavati. Mnoge države svijeta koriste otpad kao priliku za implementaciju novih tehnologija koje bi povećale ekonomski rast i razvoj države. Pravilno recikliranje otpada i ponovna uporaba prethodno iskorištenih sirovina znatno utječe na rast i razvoj državne ekonomije. U bližoj budućnosti može se očekivati brži tehnološki napredak i povećanje uloženi resursa u što adekvatnije zbrinjavanje otpada.

U ovom radu istražiti će se postupci zbrinjavanja otpada, s posebnim naglaskom na prikupljanje i transport otpada. Detaljno će biti opisan proces gospodarenja otpadom, posebno komunalnog otpada, uključujući njegove prednosti i nedostatke. Istraživat će se načini kako unaprijediti sustav prikupljanja komunalnog otpada, i to posebno korištenjem drona. Pokazat će se da bi korištenje drona moglo biti pogodno za mapiranje i provjeru zasićenosti zelenih otoka, te nadziranju cijelog procesa zbrinjavanja otpada, osiguravajući efikasnost, pouzdanost i dosljednost gospodarenja otpadom bez dodatno utrošenih resursa.

## 2. OTPAD

Otpad jest bilo koja tvar ili predmet koji pojedinac odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. [1]

Definicija otpada ovisi o pojedincu, odnosno otpad koji netko odbaci vrlo lako može se iskoristiti kao sekundarna sirovina u proizvodnji. Zbog toga postoji više definicija otpada od kojih su neke navedene u daljnjem istraživanju.

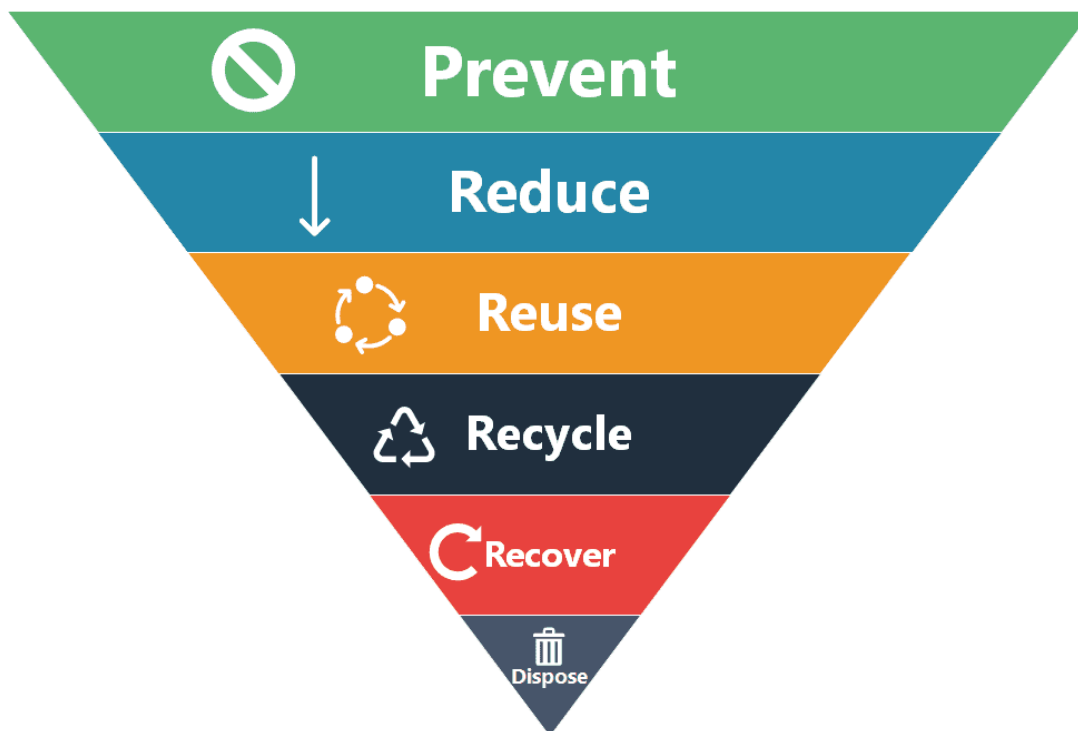
Prema OECD-u [2]: *Otpad su stvari ili predmeti, osim radioaktivnih materijala obuhvaćenih drugim međunarodnim sporazumima, koji:*

- *se odlažu ili se oporabljuju*
- *namijenjeni su zbrinjavanju ili uporabi*
- *moraju se, prema odredbama nacionalnog zakona, zbrinuti ili oporaviti.*

Prema Bazelskoj konvenciji [3]: *Otpad su stvari ili predmeti koji se odlažu ili su namijenjeni odlaganju ili se moraju odlagati prema odredbama nacionalnog prava.*

Prema EPA-i [4]: *bilo koja odbačena, napuštena, neželjena ili suvišna tvar, bez obzira je li namijenjena za prodaju ili za recikliranje, ponovnu obradu, uporabu ili pročišćavanje od strane neke druge tvrtke od one što je originalno proizvela tu materiju.*

Zbrinjavanje otpada sastoji se od niza složenih postupaka od kojih svi imaju zajednički cilj, kako je prikazano slikom 1.



**Slika 1. Hijerarhija odlaganja otpada [37]**

Nadalje, suočavanje s problemom zbrinjavanja otpada podrazumijeva kvantificiranje vrsta i količina otpada. Iz toga se razloga nastoje prikupiti podaci na različitim lokalnim, regionalnim, državnim i međunarodnim razinama. Tablica 1. prikazuje globalne indekse otpada za 2019. godinu. [5]

U interesu cijeloga svijeta treba biti reduciranje otpada jer se povećanjem populacije i konzumerizma okoliš dovodi u bespovratno stanje. Smanjivanjem količine otpada pridonosi se konceptu cirkularne ekonomije, uštedom resursa koji su trenutno uvelike ograničeni. Nužno je istaknuti da se nepravilnim odlaganjem otpada ugrožava biološku raznolikost i narušava životni standard stanovništva. Obrnutom hijerarhijom gospodarenja otpadom fokus se prebacuje na prevenciju nastanka otpada.

Tablica 1. Globalni indeksi otpada za 2019. godinu [5]

Rank	Country	Waste Generated annually per capita in kg	Recycling annually per capita in kg	Incineration annually per capita in kg	Landfill annually per capita in kg	Open Dump annually per capita in kg	Unaccounted Waste annually per capita in kg	Final score
1	Turkey	1.11	0.00	0.00	1.49	10.00	0.59	0.00
2	Latvia	1.25	1.69	0.00	1.72	0.00	10.00	11.63
3	New Zealand	4.17	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	24.37
4	Mexico	1.08	0.38	0.00	2.16	5.03	0.00	32.15
5	Chile	0.73	0.03	0.00	2.27	1.86	3.04	32.19
6	Italy	1.76	2.31	0.37	0.89	0.00	7.89	32.28
7	Estonia	0.45	1.62	0.74	0.18	0.00	6.83	48.98
8	Canada	3.96	2.65	0.08	3.51	0.00	0.00	51.19
9	Slovak Republic	0.64	0.52	0.14	1.55	0.00	2.74	54.10
10	Israel	3.34	2.93	0.00	3.33	0.00	0.00	57.35
11	Greece	1.91	1.74	0.00	2.77	0.00	0.00	62.13
12	United States	5.00	5.10	0.42	2.93	0.00	0.00	65.29
13	Slovenia	1.58	3.98	0.31	0.70	0.00	4.07	67.46
14	Lithuania	1.42	1.90	0.21	1.66	0.00	0.92	68.47
15	Spain	1.49	1.42	0.20	1.65	0.00	0.00	70.74
16	Ireland	3.05	3.70	0.40	1.66	0.00	0.87	71.04
17	United Kingdom	1.55	2.32	0.61	0.75	0.00	1.84	72.60
18	Austria	2.58	2.66	0.85	0.11	0.00	1.84	73.77
19	Portugal	0.73	1.14	0.38	1.53	0.00	0.00	75.48
20	France	2.02	2.08	0.70	0.89	0.00	0.01	79.10
21	Hungary	0.71	1.82	0.21	1.39	0.00	0.03	79.32
22	Luxembourg	2.96	3.14	0.85	0.76	0.00	0.26	80.01
23	Iceland	3.45	6.67	0.12	3.31	0.00	0.00	80.10
24	Australia	2.48	4.29	0.22	1.88	0.00	0.00	80.85
25	Czech Republic	0.29	1.60	0.22	1.15	0.00	0.00	82.22
26	Denmark	4.72	3.88	1.67	0.06	0.00	0.02	84.43
27	Poland	0.00	1.51	0.15	0.87	0.00	0.00	84.74
28	Norway	1.08	2.01	0.89	0.10	0.00	0.88	84.97
29	Belgium	0.96	2.56	0.73	0.40	0.00	1.39	85.44
30	Finland	1.97	2.61	0.96	0.40	0.00	0.01	87.18
31	Germany	3.22	5.51	0.79	0.01	0.00	1.86	87.32
32	Netherlands	2.00	5.13	0.99	0.05	0.00	0.00	87.43
33	Switzerland	3.96	4.11	1.36	0.00	0.00	0.00	89.14
34	Japan	0.32	1.30	1.11	0.03	0.00	0.00	92.48
35	Sweden	1.39	2.66	0.92	0.02	0.00	0.00	93.09
36	South Korea	0.45	3.79	0.36	0.40	0.00	0.00	100.00



## 2.1. Vrste otpada

Pravilno odvajanje otpada (Slika 2.) učinkovito sprječava prekomjerno i neadekvatno odlaganje čime se smanjuje količina otpada koja odlazi na odlagalište. Svjesnim odlaganjem i razvrstavanjem otpada pridonosimo ublažavanju klimatskih promjena i u konačnici kvalitetnijim životnim standardima. Opasan otpad ostavlja dugotrajne posljedice na zdravlje, stoga je vrlo važan koncept ispravnog i sigurnog odlaganja. Također, takav otpad se ne bi trebao miješati s ostalim vrstama otpada koji proizlazi iz kućanstva ili različitih industrija. [6]

Dvije glavne kategorije otpada utvrđuju se na temelju različitih zakona politike koji su na snazi: opasan i neopasan otpad u krutom ili tekućem stanju. Takva se klasifikacija koristila u Bazelskoj konvenciji. Opasan otpad obično je reguliran na nacionalnoj razini, dok je neopasan reguliran na regionalnoj ili lokalnoj (općinskoj) razini. [7]



Slika 2. Klasifikacija otpada (Državni ured za reviziju Estonije) [36]

Opasan otpad sadrži svojstva koja ga čine štetnim za zdravlje ljudi ili okoliš. Može nastati na mnogobrojne načine u različitim industrijskim granama, u rasponu od otpada industrijskog procesa proizvodnje do otpada u proizvodnji baterija, ili u nekom drugom proizvodnom procesu. Takav otpad može biti u krutom, tekućem ili plinovitom obliku, a njegove komponente također mogu biti prisutne u mulju otpadnih voda. [8]

Opasan otpad klasificiran je na iduće načine:

- E-otpada se klasificira kao otpad električne i elektroničke opreme kao što su dotrajala računala, telefoni i kućanski uređaji. E-otpada se općenito klasificira kao opasan jer sadrži otrovne komponente (naprimjer PCB i razne metale). [7]
- 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 ili radioaktivan ili sadržavati bakterije i štetne mikroorganizme (uključujući i one koji su otporni na lijekove). [7]
- Radioaktivan otpad je otpadni materijal koji sadrži prirodne radioaktivne nuklide i/ili nuklearnim reakcijama umjetno stvorene radionuklide u udjelima većima od prirodnih, a nema praktičnu primjenu. Zbog opasnosti za okoliš i zdravlje stanovništva potrebno ga je zbrinjavati na posebne načine. Radioaktivni otpad nastaje procesiranjem tvari (naprimjer: ugljen, nafta, plin, minerali) koje sadrže radionuklide i kao pogonsko gorivo u nuklearnim elektranama. [9]

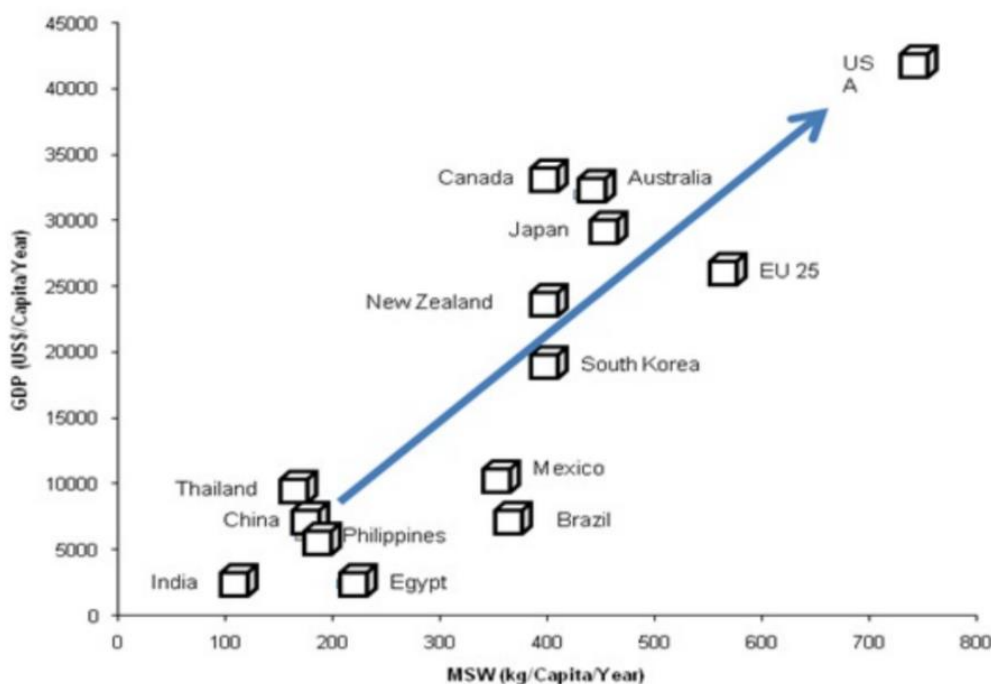
Neopasan otpad je bilo koji otpad koji ne uzrokuje štetu zdravlju ljudi ili okoliša. To je otpad nastao iz procesa povezanih s proizvodnjom dobara i proizvoda, kao što su proizvodnja električne energije i proizvodnja materijala poput celuloze i papira, željeza i čelika, stakla i betona. [8]

## 2.2. Komunalni otpad

Prema Zakonu o gospodarenju otpadom Republike Hrvatske, komunalni se otpad definira kao miješani komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz kućanstava, uključujući:

papir, karton, staklo, metal, plastiku, biootpad, drvo, tekstil, ambalažu, otpadnu električnu i elektroničku opremu, otpadne baterije i akumulatore. Nadalje, u istu kategoriju spada i glomazni otpad, uključujući: madrace i namještaj te miješani komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz drugih izvora. U to se ubraja i sav otpad sličan po prirodi i sastavu otpadu iz kućanstva, ali ne uključuje otpad iz proizvodnje, poljoprivrede, šumarstva, ribarstva i akvakulture, septičkih jama i kanalizacije i uređaja za obradu otpadnih voda, uključujući kanalizacijski mulj, otpadna vozila i građevni otpad, pri čemu se ovom definicijom ne dovodi u pitanje raspodjela odgovornosti za gospodarenje otpadom između javnih i privatnih subjekata. [10]

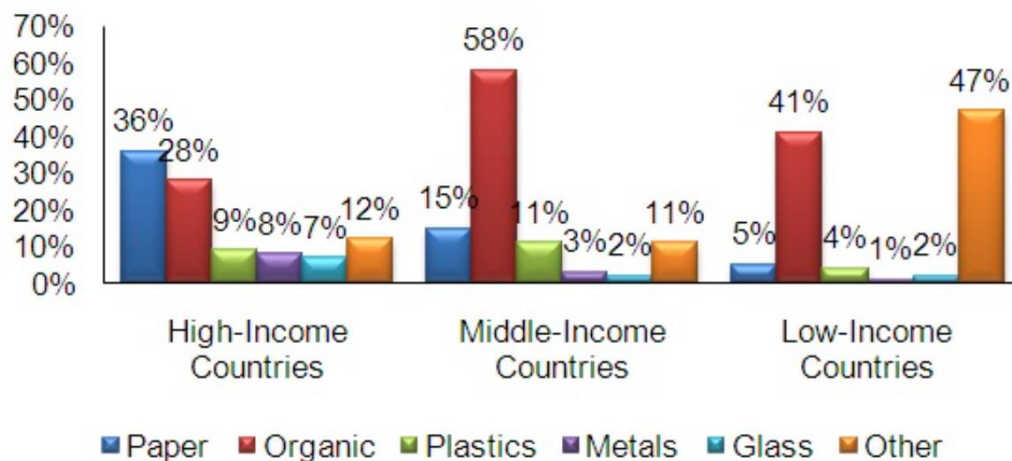
Zemlje s niskim godišnjim BDP-om, koji po stanovniku koji ne prelazi 5000 USD imaju najniže stope proizvodnje komunalnog otpada, koje se kreću u rasponu od 0,3 do 0,9 kilograma po stanovniku dnevno. Povećanje dnevno proizvedenog otpada po stanovniku linearno je proporcionalno BDP-u po stanovniku. U zemljama s visokim dohotkom doseže raspon od 1,4 do 2,0 kg po stanovniku dnevno (Slika 3.). [11]



**Slika 3. Prihod i generacija komunalnog otpada država (UNDESA, 2010) [11]**

Sastav komunalnog otpada (Slika 4.) faktor je koji karakterizira razlike između proizvedenog čvrstog komunalnog otpada u zemljama s niskim i visokim dohotkom (razvijene i većina zemalja u razvoju). Životni stil ljudi zemalja u razvoju karakterizira sastav otpada gdje tok organskog otpada i otpadni mulj iz pročišćivača čine više od 50 % ukupno

proizvedenog komunalnog otpada. U zemljama s visokim dohotkom, gdje manji broj kućanstava preferira kuhati u vlastitoj kuhinji, oslanjajući se uglavnom na gotovu hranu, sastav otpada se mijenja uzrokovano drugačijim stilom života. [11]

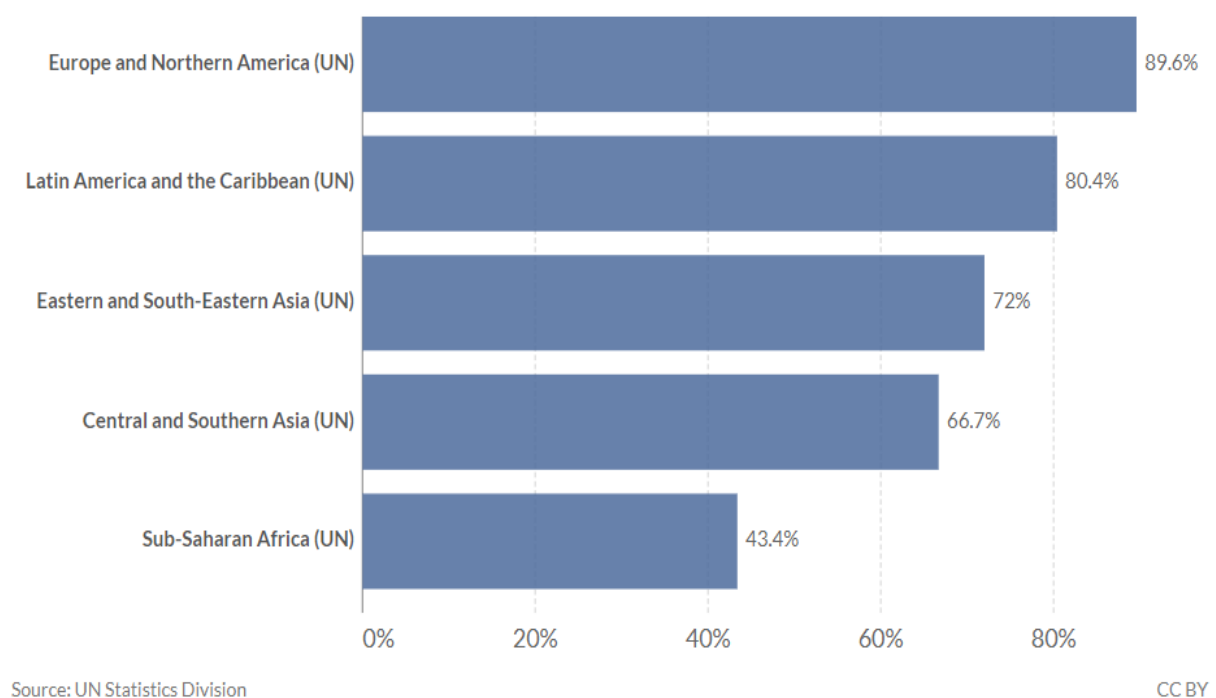


Slika 4. Karakteristike sastava komunalnog otpada i prihodi država (UNDESA, 2010) [11]

### 3. PRIKUPLJANJE KOMUNALNOG OTPADA

Prikupljanje komunalnog otpada ključna je usluga koju pružaju lokalne samouprave i tvrtke za gospodarenje otpadom kako bi se osiguralo sigurno i učinkovito odlaganje otpada koji stvaraju kućanstva, različite industrije i druge organizacije unutar zajednice.

Skupljanje i zbrinjavanje otpada postaje velik problem za mnoge gradove. Rastuća populacija, povećan cestovni promet i ograničen broj vozila za prijevoz otpada, čine prijevoz otpada sve složenijim. [12] Rast stanovništva u zemlji znatno može utjecati na stopu proizvodnje otpada te dostupnost usluge komunalnog prikupljanja otpada (Slika 5.).



**Slika 5. Udio stanovništva koji imaju pristup komunalnom prikupljanju otpada [13]**

Gospodarenje otpadom je multidisciplinarna djelatnost koja uključuje nekoliko aktivnosti: skladištenje, prikupljanje, prijenos, transport, obradu, sanaciju te odlaganje. [12]

Logistika prikupljanja otpada bitna je stavka u gospodarenju na koju utječu konfiguracije ulica, uključujući broj zgrada i kuća, lokaciju jednosmjernih i slijepih ulica i obrasce prometa. Krajnji je cilj stvoriti učinkoviti sustav gdje tzv. mrtvo vrijeme (polukružna okretanja, obilaznice, kašnjenja na željezničkim prijelazima) za vozila i timove za prikupljanje treba biti svedeno na minimum.

Razina usluga u zajednici uključuje sortiranje materijala koji se prikupljaju, te dodatne zahtjeve za odvojeno prikupljanje (reciklažni materijal). Osim toga, mora se odrediti učestalost preuzimanja i odlaganja otpada te ostali zahtjevi stanovnika. [14]

### **3.1. Zahtjevi za spremnike za otpad**

Za određeni program prikupljanja otpada često su potrebni posebni spremnici za kruti otpad. Spremnici moraju biti prilagođeni standardima vozila koja se koriste za prikupljanje. Zajednička kućanstva kod odlaganja mogu koristiti samo utovarne kamione za sabijanje otpada u određenim četvrtima. Otpad treba odlagati u spremnike koji odgovaraju standardima uređaja za podizanje kojima su kamioni opremljeni. Neophodno je da spremnici budu jednostavni za rukovanje, izdržljivi, otporni na koroziju i različite vremenske uvjete. U područjima gdje se otpad skuplja ručno, obično se određuju metalni, plastični spremnici ili plastične vrećice standardne veličine za skladištenje otpada. Lokalne samouprave ograničavaju veličinu spremnika na 80 litara ili na najveći ukupni iznos težine otpada vrećice te zahtijevaju njezino korištenje jer se na taj način spremnici ne moraju prazniti i vraćati na rubnik ceste, što automatski proces sakupljanja čini znatno efikasnijim u odnosu na standardne metode. Mnogi gradovi zabranjuju korištenje drugih spremnika jer dizajnom nisu adekvatni za rukovanje i povećavaju mogućnost ozljede na radu. Lokalne samouprave ograničavaju ukupan broj spremnika prikupljenih u jednom kućanstvu. Za dodatne spremnike mogu se naplatiti dodatne naknade. [14]

### 3.2. Odvajanje otpada

Odvojeno prikupljeni otpad iz različitih vrsta krutog otpada i materijali koji se mogu odložiti u različite spremnike za reciklažu, zahtijevaju različit termin prikupljanja od komunalnog otpada. Zajednica prije sakupljanja otpada treba kategorizirati i pripremiti odvojeni dio istog. Kako bi se odvojeni dio iz komunalnog otpada pravilno reciklirao, od stanovništva se zahtijeva da prati pravila zadana od strane lokalne samouprave. Organski otpad proizveden kuhanjem potrebno je reciklirati na predviđeno mjesto za biootpad, dok se suho lišće i ostatci iz dvorišta moraju kompostirati. Opasan kućni otpad mora se odvajati po određenim normama te kao takav ne smije biti odložen u spremnike za komunalni otpad. Glomazan otpad poput bijele tehnike i namještaja, obično se stavlja na isto mjesto prikupljanja kao i drugi čvrsti otpad. [14]

### 3.3. Učestalost prikupljanja

Što je veća učestalost prikupljanja u zajednici, to je sustav prikupljanja ekonomski zahtjevniji. Čimbenici koje treba uzeti u obzir prilikom utvrđivanja učestalosti prikupljanja uključuju ukupne troškove, želje stanovnika, ograničenja skladištenja te klimatske uvjete. Prikupljanje jednom ili dva puta tjedno uobičajeno je za većinu lokalnih samouprava, iako prevladava prikupljanje samo jednom tjedno. Metodom gdje se spremnici skupljaju jednom tjedno moguće je skupiti više tona otpada po satu, ali dolazi do više zaustavljanja vozila nego u metodi za prikupljanje dva puta tjedno. Neke zajednice u vrućim, vlažnim klimama koriste uslugu dva puta tjedno zbog zabrinutosti za zdravlje i neugodnih mirisa. [14]

### 3.4. Lokacije za prikupljanje otpada

U gradskim i prigradskim zajednicama otpad se obično skuplja uz rub pločnika ili u ulici. Usluga prikupljanja u dvorištu danas je zastarjela metoda koju još uvijek koriste neke zajednice. Prikupljanje uz rub pločnika je ekonomičnija metoda, ali zahtijeva veće sudjelovanje stanovnika nego usluga prikupljanja u dvorištu. Što se tiče usluga sakupljanja u ruralnim područjima, od stanovnika se obično traži postavljanje spremnika u blizini njihovih

poštanskih sandučića ili drugih određenih točaka preuzimanja duž glavnih ruta, dok neke lokalne samouprave zahtijevaju od građana da nose otpad na preradno mjesto za privremeno odlaganje otpada. [14]

### 3.4.1. Zeleni otoci

Zeleni otoci su mjesta na javnim površinama na kojima se nalaze spremnici za odvojeno prikupljanje otpada. Na području zelenog otoka nalaze se osnovni spremnici za otpad [41]:

- MET, Metalna ambalaža, sivi spremnik
- PET, Plastična ambalaža, žuti spremnik
- PAPIR, Papirna ambalaža, plavi spremnik
- STAKLO, Staklena ambalaža, zeleni spremnik
- TEKSTIL, Tekstilna ambalaža, narančasti spremnik.

### 3.4.2. Usluga prikupljanja uz rub pločnika i na ulici

U ovakvom obliku obavljanja usluge prikupljanja otpada, stanovnici postavljaju spremnike koje treba isprazniti uz rubnik ili na ulicu na dan odvoza otpada. Sakupljački timovi prazne spremnike u vozilo za prikupljanje otpada, zatim stanovnici uklanjaju spremnike sa ulice te ih vraćaju na vlastiti posjed do sljedećeg planiranog vremena prikupljanja. [14]

Prednosti:

- Sakupljački tim se može brzo kretati.
- Sakupljački tim ne ulazi u privatni posjed, tako da dolazi do manje nesreća i pritužbi na neovlašteni pristup.
- Ova metoda je jeftinija od sakupljanja u dvorištu jer općenito zahtijeva manje vremena i manje članova tima.
- Prilagodljiv na automatiziranu i poluautomatiziranu opremu za skupljanje.

Nedostaci:

- Na dane sakupljanja spremnici za otpad trebaju biti vidljivi s ulice.
- Dani prikupljanja moraju biti pravilno prikazani.



- Stanovnici su odgovorni za postavljanje spremnika na odgovarajuće prikupno mjesto. Ako stanovnici nisu savjesni, otvara se pitanje sankcioniranja.

### 3.4.3. Usluga prikupljanja u dvorištu

U ovoj metodi, ekipe za sakupljanje ulaze na posjed kako bi skupile otpad. Kontejneri se moraju transportirati do kamiona, isprazniti i biti vraćeni na izvorno mjesto tako da je samo jedno putovanje potrebno. [14]

Prednosti:

- Dane prikupljanja nije potrebno zakazivati.
- Spremnici za otpad obično nisu vidljivi s ulice.
- Stanovnici nisu uključeni u postavljanje ili kretanje kontejnera/spremnika za otpad.

Nedostaci:

- Budući da sakupljački timovi ulaze u privatni posjed, povećana je vjerojatnost ozljede na radu i pritužbi na neovlašteni pristup.
- Ovaj pristup oduzima više vremena od metode uz rub pločnika.
- Može doći do izlivanja i ispuštanja otpada na mjestima gdje se otpad prenosi.

### 3.4.4. Odvoz otpada na prethodno određenu lokaciju

Građani samostalno prenose otpad na određene lokacije. [14]

Prednosti:

- Najjeftinija metoda.
- Nudi razumnu strategiju za niske gustoće naseljenosti.
- Ova metoda uključuje niske zahtjeve za osobljem.

Nedostatci:

- Dodatan zahtjev za građane.
- Postoji povećan rizik od ozljeda građana.
- Ako mjesto za odlaganje nije pristupačno, može doći do ilegalnog odlaganja otpada.

### 3.5. Raspored ruta

Bitna stavka za osiguravanje boljeg učinka u prikupljanju krutog otpada jest učinkovito usmjeravanje kamiona za prikupljanje otpada (Slika 6.). Ruta predstavlja put između lokacija kao što su polazište i odredište za rutirani objekt. [16]

U prikupljanju krutog otpada, usmjeravanje uključuje planiranje i definiranje ruta za kretanje kamiona tijekom procesa prikupljanja. Nepridržavanje znanstvenih ili tehnoloških inovacija i unapređenja može rezultirati lošim i skupim sustavima sakupljanja otpada u odabiru ruta kojom prolaze kamioni za prikupljanje. [17]

#### 3.5.1. Pristupi matematičkim programiranjem

Različite vrste problema rutiranja vozila u gospodarenju krutim otpadom rješavaju se pomoću matematičkih algoritama za rješavanje problema optimizacije rutiranja [18]. Algoritmi koriste samo jedan parametar (duljina puta) za određivanje željene rute do definiranog odredišta, a generirani putovi se uspoređuju kako bi se odredili optimalni putovi po prevezenim količinama, duljinama puta i vremenskom slijedu prevoženja.

Samo su djelomična rješenja izvedena iz ovih modela prilikom implementacije u stvarnost. Modeli ne uzimaju u obzir neke od bitnih faktora u određivanju rute, poput uskih ulica, oštih zavoja. [19]

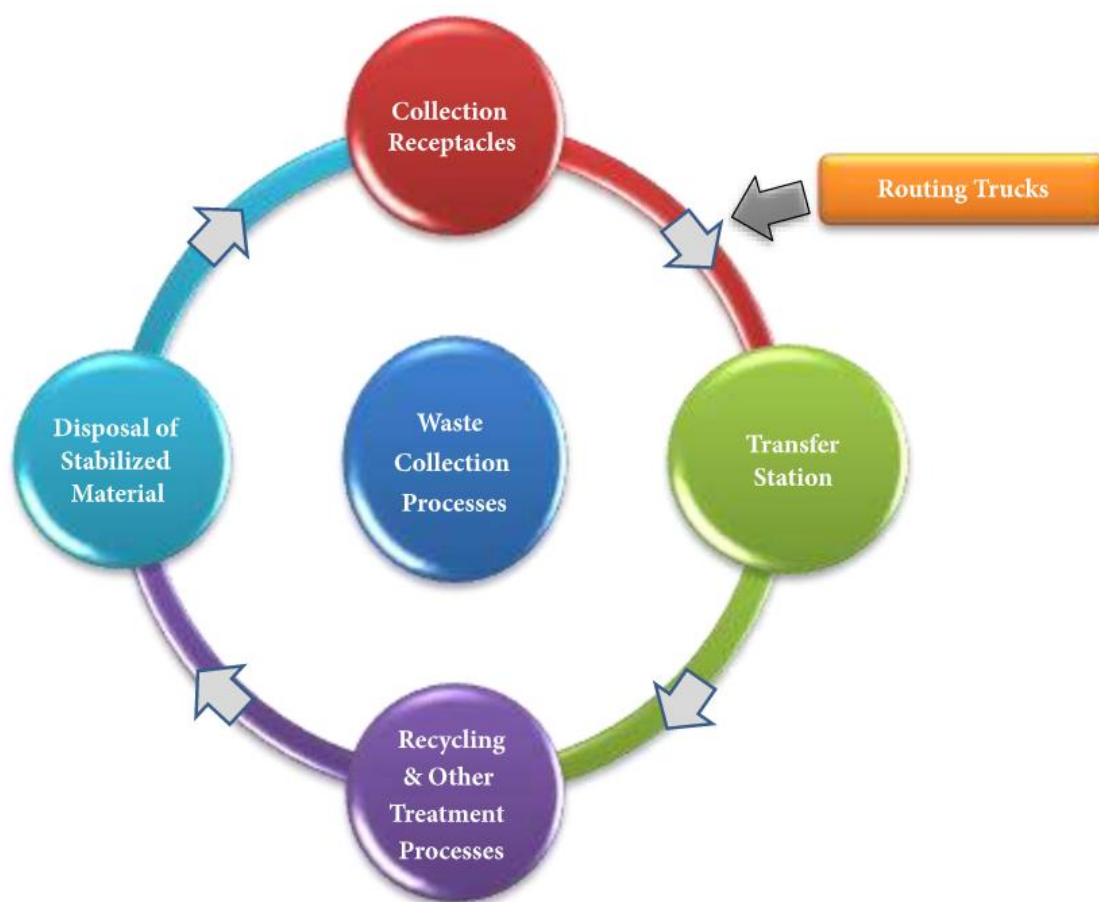
#### 3.5.2. Pristupi temeljeni na GIS-u

Primjena GIS-a (geografskog informacijskog sustava) pri optimiranju problema rutiranja vozila omogućuje uključivanje dodatnih razmatranja kao što su maksimalna opterećenja i ograničenja ulične mreže za modeliranje samog sustava, što se često zanemaruje u matematičkom programiranju. [20] Primjena GIS-a u rješavanju problema rutiranja vozila pomaže u poboljšanju prikupljanja otpada, osigurava učinkovit sustav gospodarenja krutim otpadom te generira rute koje su kratke i jeftine, s visokom stopom povrata u kratkom roku. Ne uzima u obzir utjecaj prikupljanja i transporta komunalnog otpada na okoliš. [21]

### 3.5.3. Kombinirani optimizacijski pristupi

Kombinirani optimizacijski pristupi koriste više od jednog pristupa u rješavanju problema optimalne rute za prikupljanje komunalnog otpada.

U istraživanju [22] koristi se GIS uz pomoć dodatnog softvera za optimizaciju, gdje je primijenjen softver za optimizaciju RouteView Pro™ kako bi se smanjili: duljina rute (postignuto smanjenje od 20 %), količina skretanja u ruti/vremenu (postignuto smanjenje od 30 %) i troškovi prikupljanja otpada (ušteta od 200 000 USD godišnje) koristeći geokodiranu cestovnu kartu proizvedenu u GIS okruženju. Koristeći ovu tehnologiju dolazi do uštede od približno 50 % ukupnih troškova gospodarenja čvrstim otpadom, ali zahtijeva kvalificirano osoblje.



Slika 6. Prikupljanje i transport komunalnog otpada [38]

## **4. PROBLEMI U PRIKUPLJANJU KOMUNALNOG OTPADA**

Skupljanje komunalnog otpada može biti izazovan zadatak, posebice za urbana područjima s velikom gustoćom naseljenosti. Neučinkovito prikupljanje otpada rezultira pretrpanim spremnicima za otpad, zatrpanim ulicama i nehigijenskim uvjetima. Ovi problemi ne samo da negativno utječu na okoliš i javno zdravlje, nego i povećavaju troškove gospodarenja otpadom za lokalne vlasti. U svrhu rješavanja navedenih problema, istražuju se nove tehnologije kako bi se poboljšala učinkovitost i djelotvornost prikupljanja otpada.

### **4.1. Nedovoljna financijska sredstva**

Proces prikupljanja otpada najvažniji je i najskuplji aspekt gospodarenja komunalnim otpadom zbog intenziteta rada i masovne upotrebe kamiona. [23]

Zbog nedovoljnog političkog angažmana gospodarenje otpadom na dnu je ljestvice prioriteta s malom ili nikakvom predanošću vlasti učinkovitim prikupljanju krutog otpada u odnosu na velike konkurentske zahtjeve poput projekata vezanih za izgradnje cesta, obrazovanje i zdravstvenu skrb. [25] Nedostatak novčanih sredstava za gospodarenje krutim otpadom dovodi do prikupljanja samo dijela proizvedenog otpada, dok ostatak završava na neovlaštenim odlagalištima, što može uzrokovati ozbiljne opasnosti za okoliš i javno zdravlje. [24]

## 4.2. Problem cestovne mreže i prostornog plana uređenja

Za odabir rute i metodu sakupljanja otpada problem stvaraju uske ceste u gradovima i urbanim sredinama. Loša cestovna mreža dovodi do čestih kvarova vozila, što rezultira povećanjem troškova održavanja. Uz trenutna stanja cesta na učinkovitost prikupljanja otpada utječe i loše planiranje ruta tijekom fizičkog razvoja gradova. Prostorni plan uređenja treba uzeti u obzir lakoću kretanja većih vozila ili kamiona za sakupljanje kako bi se osiguralo da izgrađene rute potiču učinkovito prikupljanje i prijevoz otpada. [26]

Neadekvatna cesta uz ostale čimbenike poput gustoće prometa i vremenskih uvjeta negativno utječe na prikupljanje i transport krutog otpada. Nedovoljno razvijena prometna infrastruktura u predgrađima ili na sabirnim mjestima predstavlja izazov u kojem gradske i lokalne samouprave trebaju naći primjereno rješenje. [27]

## 4.3. Neispravno odlaganje i divlja odlagališta otpada

Svako odlaganje na nedopuštenom području smatra se ilegalnim odlaganjem otpada. Većinski ilegalno odložen otpad jesu neopasni materijali koji se bacaju kako bi se izbjegle naknade za odlaganje ili vrijeme i trud potrebno za pravilno odlaganje. Neispravno odlaganje izaziva značajnu zabrinutost za javno zdravlje, sigurnosti, vrijednosti imovine i kvalitete života. Bez adekvatnog rješenja, divlja odlagališta često privlače više otpada, uključujući opasan otpad kao što su azbest, kućanske kemikalije i boje, automobilske tekućine te komercijalni ili industrijski otpad. [28] Ilegalna odlagališta stvaraju uvjete pogodne za razvoj i razmnožavanje životinja i mikroorganizama koji mogu naštetiti okolini. Odlagališta guma glavna su legla komaraca (lat. *Culicidae*) zbog zadržavanja velikih količina ustajale vode koja im omogućuje i do 100 puta brže razmnožavanje nego inače. Na taj način stvara se opasnost od prenošenja encefalitisa, virusa Zapadnog Nila ili drugih opasnih bolesti. [29]

#### **4.4. Neadekvatna tehnička stručnost/faktori**

Tehnički čimbenici koji utječu na sustav gospodarenja otpadom mogu biti povezani s nedostatkom vještina osoblja lokalnih samouprava i državnih tijela te nedostatkom infrastrukture, tehnologije i pouzdanih podataka. Ovi nedostaci ometaju učinkovito prikupljanje i transport krutog otpada. Za optimalnu izvedbu prikupljanja i prijevoza krutog otpada, odabir operativnog osoblja trebao bi ovisiti o njihovoj tehničkoj kompetenciji, te bi uz to trebali postojati programi učenja i razvoja kako bi se osiguralo da je osoblje u toku s trenutnim i nadolazećim izazovima i tehnologijama. [30 i 31]

## **5. MOGUĆNOST KORIŠTENJA DRONOVA U PROCESU PRIKUPLJANJA KOMUNALNOG OTPADA**

Važna uloga koju operacija prikupljanja otpada ima u javnome zdravstvu i brizi o okoliš suočena je s nizom izazova i prepreka. Međutim, upotreba dronova može biti korisna za rješavanje nekih od gore spomenutih problema, a isto tako i za poboljšanje učinkovitosti i djelotvornosti operacija prikupljanja otpada.

### **5.1. Dronovi**

Dron ili bespilotna letjelica (UAV) je leteća naprava kojom se može daljinski upravljati, ili koja može letjeti autonomno, koristeći softverski kontrolirane planove leta u svojim ugrađenim sustavima koji rade zajedno s ugrađenim senzorima i sustavom globalnog pozicioniranja (GPS). [32]

Dronovi imaju dvije osnovne funkcije: let i navigaciju. Da bi letjeli, dronovi moraju imati izvor energije, poput baterije ili goriva. Također imaju rotore, propelere i okvir. Okvir drona obično je izrađen od laganog, kompozitnog materijala kako bi se smanjila težina i povećala upravljivost. Dronovi zahtijevaju upravljač koji operateru omogućuje korištenje daljinskih upravljača za lansiranje, navigaciju i slijetanje zrakoplova. Kontrolori komuniciraju s dronom pomoću radiovalova.

Dronovi mogu biti opremljeni senzorima, uključujući ultrazvučne, laserske ili lidarske senzore udaljenosti, senzore za vrijeme leta, kemijske senzore te senzore za stabilizaciju i orijentaciju. Vizualni senzori nude fotografije i video podatke. Senzori RGB prikupljaju standardne vizualne crvene, zelene i plave valne duljine, a multispektralni senzori prikupljaju

vidljive i nevidljive valne duljine, poput infracrvene i ultraljubičaste. Akcelerometri, giroskopi, magnetometri, barometri i GPS uobičajena su oprema dronova.

## 5.2. Izbor drona

Kod odabira drona za komercijalnu uporabu potrebno je razmotriti sve faktore i funkcije koje dron mora biti sposoban obaviti. Na tržištu postoji mnogo modela dronova različitih značajki, specifikacija i cijena. Svaki je dron konstruiran s određenim mogućnostima i ograničenjima, zbog čega je iznimno važno odabrati pravi dron za obavljanje određenog tipa zadatka. Važno je istražiti propise i zakonske zahtjeve za upravljanje bespilotnim letjelicama u određenome području i pribaviti sve potrebne dozvole ili licence prije upotrebe drona u komercijalne svrhe.

Za odabir drona postoje različiti parametri na koje se mora obratiti pažnja kako bi on mogao zadovoljiti sve funkcije i zahtjeve pri obavljanju svojih zadataka. Neki od najosnovnijih parametra istaknuti su u daljnjem tekstu. [39]

Prvi i najkritičniji čimbenik koji treba uzeti u obzir je svrha drona. Moraju se identificirati funkcije koje dron mora izvršiti, poput snimanja iz zraka, mapiranja, inspekcije ili isporuke. Brojni modeli bespilotnih letjelica imaju razne mogućnosti i značajke, stoga je ključno odabrati odgovarajući dron za određenu funkciju. Vrijeme leta drona još je jedan ključan faktor koji treba uzeti u obzir. Naime, označava vrijeme dostupno za izvršavanje zadataka prije nego što se baterija isprazni. Dulje vrijeme leta općenito je bolje, posebno za velike projekte koji zahtijevaju da dron prijeđe velike udaljenosti. Ovisno o zadatku, dron će možda trebati nositi dodatnu opremu, poput kamera, senzora ili paketa za dostavu. Važno je odabrati dron s dovoljnom nosivosti za svu dodatnu opremu. Ako će se dron koristiti za snimanje iz zraka, dobra kvaliteta kamere je neophodna. Potrebni su dronovi s kamerama visoke razlučivosti koje mogu snimati fotografije ili videozapise visoke kvalitete. Nekada će dron morati pokriti veliko područje ili letjeti daleko od operatera. Dron s dovoljnim dometom i pouzdanom povezanošću potreban je kako bi se osigurala nesmetana komunikacija između drona i operatera.

Dron mora biti stabilan prilikom autonomnog leta i jednostavan za upravljanje, posebno u vjetrovitim uvjetima. Potrebni su dronovi s kardanskim stabilizatorom, tehnologijom za izbjegavanje prepreka i pouzdanim GPS sustavom. Cijena drona također je važan faktor.



Različiti modeli dronova imaju različite cijene, a važno je odabrati dron koji odgovara zadanom budžetu, a istovremeno ispunjava određene zahtjeve.

### 5.3. Dron u funkciji prikupljanja komunalnog otpada

U ovome radu analizirat će se upotreba drona u funkciji mapiranja te analize zasićenosti zelenih otoka. Za navedene funkcije potreban je dron koji će ispuniti sve potrebne zahtjeve i parametre za izvršavanje ovakvog tipa zadatka. Bepilotna letjelica mora biti opremljena baterijom velikog kapaciteta, GPS sustavom za praćenje, sensorima za izbjegavanje prepreka, viskorezolucijskom kamerom, lidar sensorom, algoritmima strojnog učenja za otkrivanje neobičnih uzoraka, te softver za stvaranje 2D i 3D mapa iz podataka prikupljenih dronom.

Za upotrebu bespilotnih letjelica na siguran i učinkovit način, nužno je da tim za gospodarenje razvije vrlo efikasan plan njihove uporabe. To može uključivati lansiranje drona s obližnje bazne stanice ili montiranje drona na krov kamiona za smeće. Dron bi trebao biti programiran da leti iznad unaprijed zadanih područja, snima slike i podatke koji se mogu koristiti za optimizaciju procesa prikupljanja otpada. Obuka tima za upravljanje bespilotnim letjelicama potrebna je zbog sigurnosti i učinkovitosti upravljanja dronom. To uključuje razumijevanje programiranja putanje leta drona, korištenje kamera i senzora i analiziranje podatke koje dronovi prikupljaju.

Pri letenju dronovi iznad određenih područja trebali bi snimati fotografije i podatke koji se šalju stanici na analizu. Podatke treba analizirati pomoću algoritama i umjetne inteligencije za prepoznavanje uzoraka i anomalija u podacima. Na temelju podataka prikupljenih i analiziranih dronovima, timovi za gospodarenje otpadom poduzimaju bilo kakvu akciju u vidu pregledavanja, identificiranja, optimizacije procesa prikupljanja i sanacije. To omogućava poboljšanje učinkovitosti operacija prikupljanja otpada, smanjenja troškova i sigurno zbrinjavanje otpada.

Tim za upravljanje dronom je odgovoran za upravljanje dronom tijekom letenja, osiguravajući da se dronom upravlja sigurno i u skladu sa svim relevantnim propisima. Dron bi također trebao biti opremljen automatiziranim sigurnosnim značajkama, kao što su izbjegavanje prepreka i funkcija automatskog povratka kući kako bi se osigurala sigurnost ljudi i imovine u blizini.

Mapiranje je jedna od važnijih funkcija, stoga će biti opisana u posebnoj točki (točka 5.4.).

## 5.4. Mapiranje

Prikupljanje otpada složen je i izazovan zadatak, posebice u urbanim područjima s velikim brojem stanovnika i raznolikim tokovima otpada. Jedan od načina poboljšanja prikupljanja otpada jest korištenje tehnologije mapiranja temeljene na dronovima. Mapiranjem grada pomoću bespilotnih letjelica opremljenih kamerama visoke rezolucije i naprednim softverom, lokalna samouprava može steći sveobuhvatno razumijevanje gradske infrastrukture, sabirnih točaka otpada i tokova otpada. Ti podaci koristili bi se za prikupljanje otpada u vidu optimiranja ruta, identificiranja točaka prikupljanja, praćenja napretka i upravljanja infrastrukturom gospodarenja otpadom. [35] Tehnologija mapiranja temeljena na bespilotnim letjelicama može pomoći u poboljšanju učinkovitosti i djelatnosti usluga prikupljanja otpada, a istovremeno pridonosi smanjenju troškova i utjecaja na okoliš.

Mapiranje je najvažnija značajka drona za prikupljanje otpada. S obzirom na već spomenute parametre (nosivost, vrijeme leta, domet, dodatna oprema), izabran je dron DJI Matrice 300 RTK (Slika 7.). [40] Prikladan je zbog napredne mogućnosti letenja, dugog vijeka baterije, raspona radne temperature od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$  što su važne karakteristike za mapiranje urbanih područja. Ovaj dron ima maksimalno vrijeme leta do 55 minuta. Za mapiranje urbanih područja obično je potrebna kamera koja može snimiti visokokvalitetne fotografije s visokim stupnjem detalja. Kamere poput Zenmuse P1 ili L1 (lidar), posebno su dizajnirane za mapiranje, te se mogu priključiti na dron u tu svrhu. Dron bi ujedno trebao biti opremljen GPS sustavom, koji daje podatke o lokaciji za snimljene fotografije. RTK sustav (sustav kinematike u stvarnom vremenu) u DJI Matrice 300 može pružiti još preciznije podatke o položaju. Za planiranje i izvođenje putanje leta drona, potreban je softver za planiranje leta. Mnogi dronovi, uključujući DJI Matrice 300 RTK, dolaze s vlastitim softverom za planiranje leta. Alternativno, može se koristiti softver treće strane. Nakon što su fotografije snimljene, potrebno ih je obraditi u 2D ili 3D karte. U tu svrhu može se koristiti specijalizirani softver, poput DJI Terra. Dronovi zahtijevaju baterije za napajanje, što znači da veće područje mapiranja automatski zahtijeva i više baterija. [33]

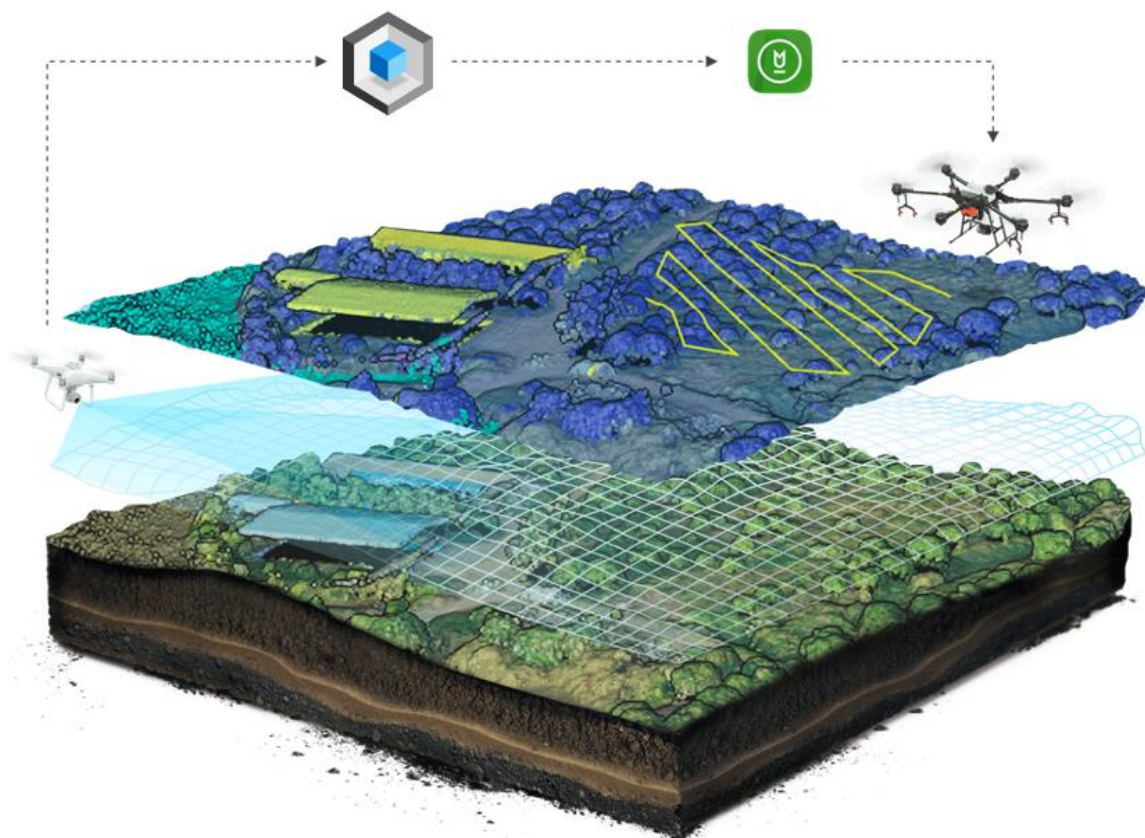
Mapiranje grada pomoću drona zahtijeva dron s naprednim mogućnostima letenja, visokokvalitetnom kamerom, GPS/RTK, softverom za planiranje leta, softverom za obradu podataka, baterijama i ostalim dodacima po potrebi.



Slika 7. DJI Matrice 300 RTK [32]

## 5.5. Proces mapiranja

Prvi je korak planiranje leta pomoću softvera DJI Terra (Slika 8.). [34] Softver može generirati automatizirani plan leta na temelju područja koje se mapira, željene visine i preklapanja slike potrebnog za točno mapiranje. Za let dronom duž unaprijed planirane putanje leta potrebno je postavljanje drona i kamere pazeći da su kamera Zenmuse P1 i Zenmuse L1 pravilno montirane i kalibrirane, te da je RTK sustav ispravno konfiguriran i povezan.



**Slika 8. DJI Terra – softver za mapiranje i 3D modeliranje [32]**

DJI Matrice 300 RTK i kamera Zenmuse P1 i Zenmuse L1 dizajnirani su za zajednički rad na snimanju visokokvalitetnih fotografija s točnim geolokacijskim podacima. Tijekom leta nužno je pratiti napredak drona kako bi se osiguralo izvršavanje određene putanje. Nakon leta se preuzimaju fotografije i podaci snimljeni kamerama Zenmuse P1 i Zenmuse L1 u softver DJI Terra. DJI Terra koristi se za obradu fotografija i generiranje detaljnih 2D ili 3D mapa grada. Potrebna je analiza podataka karata kako bi se identificirale ključne značajke, kao što su zgrade, ceste i vegetacija. [34] Pomoću 3D karata komunalno redarstvo može poboljšati komunikaciju sa stanovništvom pružajući jednostavnije i detaljnije informacije o terminima i rutama prikupljanja otpada i precizne lokacije sabirnih točaka. [40]

Softver DJI Terra također nudi napredne alate za mapiranje i analizu, uključujući alate za inspekciju i mjerenje, koji pomažu u donošenju informiranih odluka o značajkama i infrastrukturi grada. [34]

Nužno je da se sve operacije leta provode u skladu s lokalnim propisima i sigurnosnim smjernicama kako bi se osigurala sigurne i zakonite operacije dronova.

Kamera Zenmuse P1 snima fotografije s velikom preciznošću na razini centimetra zbog mogućnosti snimanja fotografija visoke razlučivosti, te samim time brzo stvara visokokvalitetne 2D karte grada. Istodobno, kamera Zenmuse L1 hvata i lidar i RGB podatke, omogućujući stvaranje detaljnih 3D karata visoke točnosti i rezolucije. [34]

Proces prikupljanja otpada može se optimizirati zahvaljujući 2D i 3D kartama područja, a samim time i napraviti ga učinkovitijim. 2D karta koristi se za planiranje optimalne rute za prikupljanje otpada, dok 3D karta pruža informacije o topografiji područja, što pomaže u prepoznavanju potencijalnih prepreka, poput strmih uspona, uskih ulica te niskih mostova. [34]

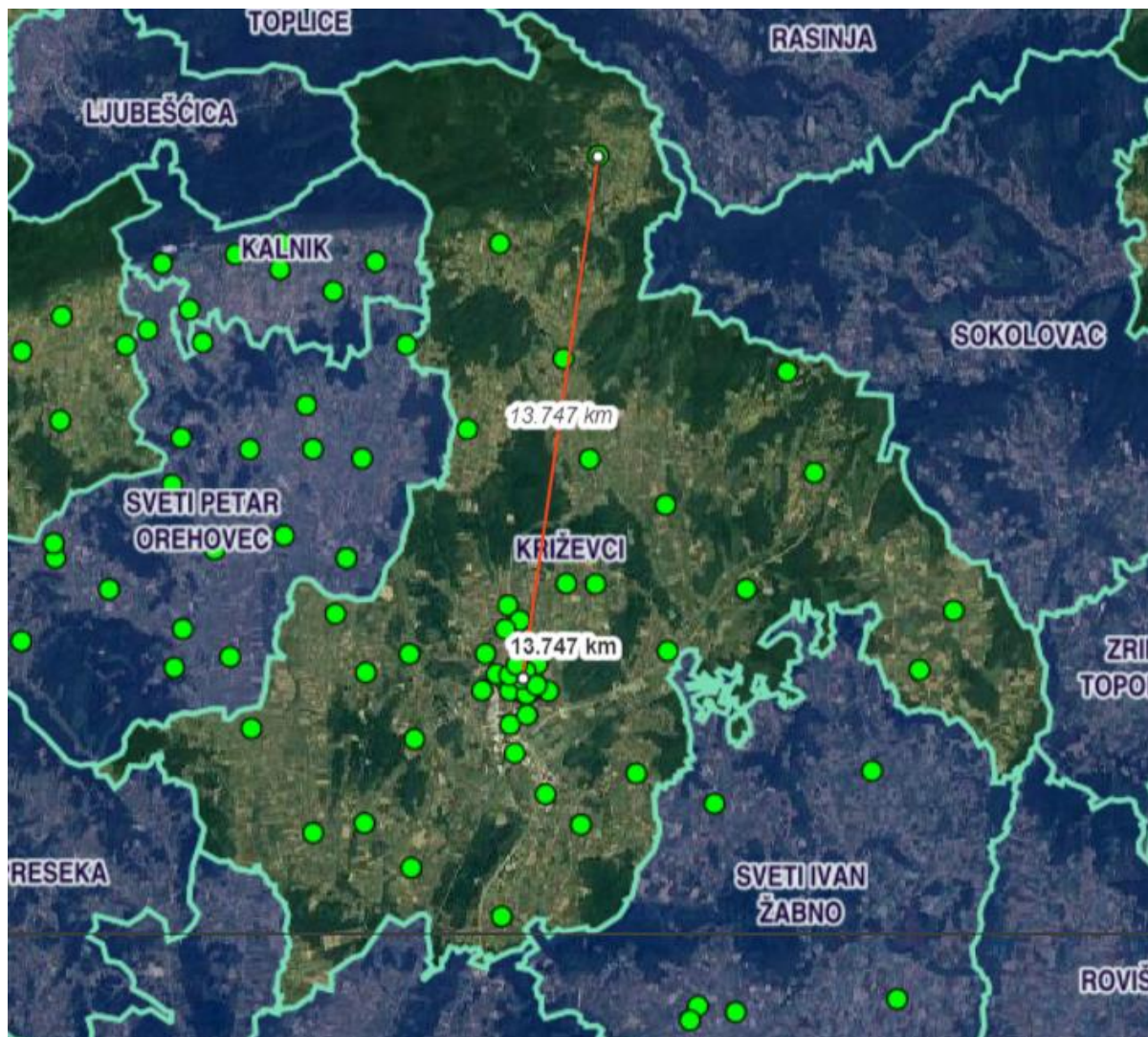
DJI Matrice 300 RTK ima sposobnost leta pri lošim vremenskim uvjetima, naprimjer otpornost na brzine vjetrova do 54 km/h (15,28 m/s). [40] Nakon velikih padalina snijega može se koristiti jedna od funkcija DJI Terra-e, Real-Time Mapping, koja omogućava brzo i efikasno mapiranje u vremenski osjetljivim situacijama. Samim time, pomoću dobivenih informacija, nadređeni imaju priliku na vrijeme reagirati i modificirati rute za prikupljanje otpada. [34]

Maksimalno područje snimanja pomoću kamera Zenmuse P1 i L1 jest 2 km<sup>2</sup> u jednom letu. [42] Kao primjer grada za mapiranje uzima se Grad Križevci površine 263,7 km<sup>2</sup>, za koji bi trebalo iznad 130 letova. [43] Uzimajući prosječno vrijeme leta od 30 minuta potrebno je preko 65 sati za postupak mapiranja grada poput Križevaca. Vrijeme dobiveno ne uzima u obzir promjene putanje leta zbog gradske infrastrukture što znači da u stvarnosti bi za proces mapiranja trebalo više vremena nego prethodno izračunato.

## 5.6. Analiza putanje drona za pregled zasićenosti zelenih otoka

Nakon detaljnog mapiranja grada na karti se mogu točno locirati sve pozicije zelenih otoka, 3D karte također omogućuju detaljan pregled svih prepreka koje mogu utjecati na putanju leta drona što uključuje dalekovode, drveće i ostalu gradsku infrastrukturu.

U Gradu Križevci se nalaze ukupno 45 zelenih otoka (Slika 9.), što nam daje ukupno 45 lokacija koje dron mora analizirati. [41]



**Slika 9. Lokacije zelenih otoka-Križevci [43]**

Uzimajući kao polazište drona centar Križevaca, na slici 9. vidljivo je kako je najudaljeniji zeleni otok udaljen 13.747 km. Ako se uzima u obzir već spomenuti maksimalni domet drona DJI Matrice 300 RTK od 15km može se zaključiti kako nije potrebno više od jednog kontrolnog centra u gradu kako bi se pregledale sve lokacije zelenih otoka. Centralna lokacija se koristi kao sjedište te služi kao početna i završna lokacije svakoj ruti.

U istraživanju [46] koristi se Algoritam putujućeg trgovca (eng. *Traveling Salesman Algorithm* – TSP) s genetskim algoritmom (eng. *Genetic Algorithm* – GA) za izračunavanje puta za 10, 15, 20 ili 30 odabranih lokacija za promatranje. Modifikacijom tog koda i primjenom u slučaju pregleda kontejnera i zelenih površina, istraživanje [45] pokazalo se obećavajućim. Simulacija koristi algoritam s promjenjivim brojem nasumično odabranih čvorova, brojem iteracija (potrebni za MATLAB/Octave kod), te brojem testova.

**Tablica 2. Rezultati simulacije [45]**

No.	Nodes	Iterations	Tests	Avg. (km)	Min (km)	Max (km)	St. dev. (km)
1	10	1000	100	13.18	12.93	16.08	0.57
2	10	1000	500	13.26	13.14	15.12	0.19
3	15	1000	100	17.27	15.21	22.81	1.84
4	15	1000	500	15.75	14.25	21.72	1.22
5	20	1000	100	16.02	13.83	21.37	1.55
6	20	5000	100	16.38	14.94	21.52	1.38
7	30	1000	100	26.21	19.05	35.10	3.04
8	30	5000	100	26.83	22.42	35.96	2.56

Kao što je vidljivo u tablici 2. prosječne udaljenosti za 10 čvorova iznose 13 km, za 15 i 20 čvorova između 15 i 17 km, a za 30 čvorova su oko 26 km. Rezultati također pokazuju da 1000 iteracija daju točne rezultate. Istraživanje je pokazalo kako se upotrebom rekreacijskog dronom mogu redovito pregledavati 10 do 15 lokacija, upotrebom komercijalnog drona poput prijašnje navedenog DJI Matrice 300 RTK mogu se očekivati još bolji rezultati.

Putanja drona započela bi poljetanjem iz kontrolnog centra, koristeći metodu iz [46] kojom se određuje putanja za dron. Dolaskom drona na zadanu lokaciju (zeleni otok), već spomenutim senzorima Zenmuse P1 i Zenmuse L1 te uz pomoć dodatnih algoritama za prepoznavanje materijala, dron identificira prezasićene spremnike analizirajući vrstu i količinu otpada koji se nalazi pored spremnika. Ukoliko se pored spremnika nalazi većinski staklo može se pretpostaviti da je spremnik za staklo prezasićen te treba provesti akciju kako bi se što prije ispraznio. Dron prikuplja podatke sa svakog zelenog otoka koji se nalazi u njegovoj ruti, zatim šalje informacije u kontrolni centar koje se potom daljnje analiziraju kako bi se mogla provesti adekvatna sanacija tog otpada. Korištenjem ove metode omogućuje se pregled potrebnih lokacija s minimalnim brojem dronova, povećavajući samu efikasnost procesa.

## 6. ZAKLJUČAK

Problem gospodarenja otpadom ključan je za osiguravanje održivog razvoja i ekološke stabilnosti. Porast stanovništva i urbanizacija dovode do povećanja proizvodnje otpada, što uzrokuje probleme ekološke, ekonomske i zdravstvene prirode. Tradicionalne metode gospodarenja otpadom pokazale su se nedovoljnima i ekonomski neisplativima, a za rješavanje trenutnog problema potrebne su nove tehnologije i pristupi.

Korištenje dronova za 2D i 3D mapiranje i provjeru zasićenosti zelenih otoka pokazalo se potencijalnim rješenjem za pomoć pri prikupljanju komunalnog otpada. Kod upotrebe bespilotnih letjelica u gospodarenju otpadom potrebno je izabrati adekvatnu letjelicu, odnosno odrediti potrebne parametre (vrijeme leta, izbor kamere i ostalih senzora, nosivost, domet) ovisno o zadatku. Podaci prikupljeni bespilotnim letjelicama koriste se za izradu točnih 2D i 3D karata koje daju sveobuhvatan pregled područja prikupljanja otpada. Dronovi se mogu, osim toga upotrijebiti za provjeru zasićenosti zelenih otoka analizom otpada bačenog pored spremnika. Prikupljene informacije pomažu nadležnim tijelima da identificiraju problematična područja i učinkovitije raspodjele resurse u gospodarenju otpadom. Upotreba bespilotnih letjelica postaje sve popularnija, njihov potencijal pomaganja u prikupljanju i upravljanju otpadom bi mogao smanjiti opterećenja postojećih metoda i tehnologija gospodarenja otpadom. Iako još uvijek postoje izazovi, kao što su regulatorni okviri i troškovi implementacije tehnologije dronova, potencijal dronova u gospodarenju otpadom je iznimno velik.

Za mapiranje grada jedan od dronova koji prema svim parametrima odgovara jest DJI Matrice 300 RTK. Svojim specifikacijama poput dugog vijeka baterije, velikog dometa, dobre otpornosti na loše vremenske uvjete, naprednih RTK sustava pozicioniranja zajedno sa kamerama Zenmuse P1 i Zenmuse L1 (lidar) koje uz softver DJI Terra imaju sposobnost vrlo brzog, preciznog i jednostavnog 2D i 3D mapiranja na razini centimetra. Prepoznavanje prepreke na utvrđenim rutama pruža timovima za prikupljanje otpada ne samo optimizaciju



ruta već i smanjenje rizika od ozljede na radu. Korištenjem istog drona i senzora asistiranih algoritmima za prepoznavanje materijala može se točno odrediti količina i vrsta otpada koji se nalaze pored spremnika. Optimizacijom putanje leta moguće je smanjiti potreban broj dronova i kontrolnih centara, pritom povećavajući isplativost procesa. Nastavak ulaganja i razvoja tehnologija bespilotnih letjelica dovodi do ekološki prihvatljivijih metoda gospodarenja otpadom.

## 7. LITERATURA

[1] Eurostat.[Mrežno].

Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Waste>

Pristupljeno: 2023-01-08

[2] Odluka Vijeća o kontroli prekograničnog prometa otpada namijenjenog postupcima oporabe, OECD/LEGAL/0266.

[3] United Nations Environment Programme. "Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their disposal". *Knowledge Repository - UNEP*. UNEP. 1998.

[4] The Environment Protection Act 1993 V-11.2.2023-

[vhttps://www.legislation.sa.gov.au/lz/path=%2Fc%2Fa%2Fenvironment%20protection%20act%201993](https://www.legislation.sa.gov.au/lz/path=%2Fc%2Fa%2Fenvironment%20protection%20act%201993)

[5] Sensoneo- Global waste index[Mrežno].

Available:<https://sensoneo.com/global-waste-index-2019/> Pristupljeno: 2023-01-09

[6] Enviromantal monitoring solutions[Mrežno]. Available:<https://www.environmentalmonitoringsolutions.co.uk/insights/why-should-i-segregate-my-waste-properly/> Pristupljeno: 2023-01-10

[7] MOOC-Auditing waste management[Mrežno]. Available:<https://sisu.ut.ee/waste/book/11-definition-and-classification-waste> Pristupljeno: 2023-01-10

[8] EPA- United States Environmental Protection

Agency[Mrežno]. Available:<https://www.epa.gov/hw/learn-basics-hazardous-waste>

Pristupljeno: 2023-01-10

- [9] radioaktivni otpad. *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža[Mrežno]. Available: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=51471>  
Pristupljeno: 2023-01-11
- [10] NN 106/2022 (14.9.2022.), Zakon o gospodarenju otpadom  
[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021\\_07\\_84\\_1554.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1554.html) Pristupljeno: 2023-01-10
- [11] Khatib, Imad A. "Municipal solid waste management in developing countries: Future challenges and possible opportunities." *Integrated waste management* 2 (2011): 35-48.
- [12] Ramdhani, M. N., I. Baihaqi, and N. Siswanto. "Optimization of municipal waste collection scheduling and routing using vehicle assignment problem (case study of Surabaya city waste collection)." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 337. No. 1. IOP Publishing, 2018.
- [13] Our World In Data-[Mrežno]. Available:<https://ourworldindata.org/grapher/proportion-of-population-served-by-municipal-waste-collection> Pristupljeno: 2023-01-14
- [14] Pichtel, John. *Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial*. CRC press, 2005.
- [15] Asst. Prof. Dr. Ahmed. Chapter three- *collection of SW Solid and Hazardous Waste Management*-MSC, 2019  
[https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5\\_2018\\_02\\_24!11\\_43\\_48\\_PM.pdf](https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2018_02_24!11_43_48_PM.pdf)
- [16] Reinhardt, Line Blander, et al. "Routing and scheduling problems." *Technical University of Denmark* (2011).
- [17] Tavares, Gilberto, et al. "Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling." *Waste management* 29.3 (2009): 1176-1185.
- [18] Beliën, Jeroen, Liesje De Boeck, and Jonas Van Ackere. "Municipal solid waste collection and management problems: a literature review." *Transportation Science* 48.1 (2014): 78-102.
- [19] Ronen, Rivka, Aharon Kellerman, and Mordecai Lapidot. "Improvement of a solid waste collection system: the case of Givatayim, Israel." *Applied Geography* 3.2 (1983): 133-144.

- [20] O'Connor, Dene L. "Solid waste collection vehicle route optimization for the city of Redlands, California." *University of Redlands* (2013).
- [21] Achi, H. A., et al. "Disposal sites and transport route selection using geographic information system and remote sensing in Abeokuta, Nigeria." *Global Journal of Human Social Science* 12.12 (2012): 14-23.
- [22] Apaydin, Ömer, et al. "GIS supported optimization of solid waste collection in Trabzon." *Sigma* 4 (2004): 249-254.
- [23] Beliën, Jeroen, Liesje De Boeck, and Jonas Van Ackere. "Municipal solid waste collection and management problems: a literature review." *Transportation Science* 48.1 (2014): 78-102.
- [24] Amoah, Samuel Twumasi, and Enoch Akwasi Kosoe. "Solid waste management in urban areas of Ghana: issues and experiences from Wa." (2014).
- [25] Monney, I. "Ghana's Solid Waste Management Problems." *The Contributing Factors and the Way Forward* (2014).
- [26] Hazra, Tumpa, and Sudha Goel. "Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges." *Waste management* 29.1 (2009): 470-478.
- [27] Henry, Rotich K., Zhao Yongsheng, and Dong Jun. "Municipal solid waste management challenges in developing countries—Kenyan case study." *Waste management* 26.1 (2006): 92-100.
- [28] United States. Environmental Protection Agency. Region V. Waste, Pesticides, and Toxics Division. *Illegal Dumping Prevention Guidebook*. The Region, 1998.
- [29] North Carolina Environmental Quality[Mrežno]. Available:  
<https://deq.nc.gov/about/divisions/waste-management/solid-waste-section/compliance-and-monitoring/illegal-dumping#ImpactsofIllegalDumping-11196> Pristupljeno: 2023-01-15
- [30] Moghadam, MR Alavi, Nader Mokhtarani, and Babak Mokhtarani. "Municipal solid waste management in Rasht City, Iran." *Waste management* 29.1 (2009): 485-489.

- [31] Mrayyan, Bassam, and Moshrik R. Hamdi. "Management approaches to integrated solid waste in industrialized zones in Jordan: A case of Zarqa City." *Waste Management* 26.2 (2006): 195-205.
- [32] Advexure [Mrežno]. Available: <https://advexure.com/products/dji-matrice-300-rtk>  
Pristupljeno: 2023-01-18
- [33] Kersten, T., J. Wolf, and M. Lindstaedt. "INVESTIGATIONS INTO THE ACCURACY OF THE UAV SYSTEM DJI MATRICE 300 RTK WITH THE SENSORS ZENMUSE P1 AND L1 IN THE HAMBURG TEST FIELD." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* (2022).
- [34] DJI Terra User Manual V03, 2021.
- [35] Zhao, Shiheng. "The role of drone photography in city mapping." *Application of Intelligent Systems in Multi-modal Information Analytics: Proceedings of the 2020 International Conference on Multi-model Information Analytics (MMIA2020), Volume 2*. Springer International Publishing, 2021.
- [36] National Audit Office of Estonia (2016) Activity of the state and local governments in the collection and recovery of municipal waste.  
[Mrežno] Available: <https://www.riigikontroll.ee/tabid/206/Audit/2417/language/en-US/Default.aspx> Pristupljeno: 2023-01-18
- [37] Aksil [Mrežno]. Available: <https://axil-is.com/blogs-articles/waste-management-hierarchy/> Pristupljeno: 2023-01-118
- [38] Tchobanoglous, George. *Integrated solid waste management engineering principles and management issues*. No. 628 T3. 1993.
- [39] Copter.bg [Mrežno]. Available: <https://www.copter.bg/en/blog/how-to-choose-the-right-drone-for-you> Pristupljeno: 2023-01-19
- [40] DJI [Mrežno]. Available: <https://www.dji.com/hr/matrice-300> Pristupljeno: 2023-01-20
- [41] Komunalno poduzeće [Mrežno]. Available: <https://komunalno.hr/zeleni-otoci/>  
pristupljeno 2023-02-22
- [42] ] DJI Zenmuse L1 [Mrežno]. Available: <https://www.dji.com/hr/zenmuse-l1>

- [43] Wikipedija–Križevci [Mrežno]. Available:  
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Kri%C5%BEevci>
- [44] GIS, Križevci[Mrežno].  
Available:[https://gis.krizevci.hr/gis?c=1842164%2C5785539&l=krizevci\\_komunalno\\_ze\\_leni\\_otoci%2Ckrizevci\\_opcine&so=&z=11.0](https://gis.krizevci.hr/gis?c=1842164%2C5785539&l=krizevci_komunalno_ze_leni_otoci%2Ckrizevci_opcine&so=&z=11.0)
- [45] Dobrilovic, Dalibor, et al. "A Model of UAV-Based Waste Monitoring System for Urban Areas." *Cyber Security, Privacy and Networking: Proceedings of ICSPN 2021*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. 309-319.
- [46] Jausevac, Goran, et al. "Smart UAV monitoring system for parking supervision." *Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures: 5th EAI International Conference, FABULOUS 2021, Virtual Event, May 6–7, 2021, Proceedings*. Cham: Springer International Publishing, 2021.