

Utjecaj povećanja odvojenog prikupljanja na sakupljačku infrastrukturu

Dalmatinac, Arno

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:578641>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-31**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ARNO DALMATINAC

UTJECAJ POVEĆANJA ODVOJENOG
PRIKUPLJANJA NA SAKUPLJAČKU
INFRASTRUKTURU

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2022.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 15. 09. 2022. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će izvršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 01. 09. 2022.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva

120. prof. dr. sc. Sašo Kovarić

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučić
- 2) Doc. dr. sc. Vitoimir Preur
- 3) Doc. dr. sc. Ivana Čerčić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ POVEĆANJA ODVOJENOG
PRIKUPLJANJA NA SAKUPLJAČKU
INFRASTRUKTURU

KANDIDAT:
ARNO DALMATINAC



MENTOR:
PROF.DR.SC. ALEKSANDRA
ANIĆ VUČINIĆ

VARAŽDIN, 2022.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Utjecaj povećanja odvojenog prikupljanja na sakupljačku infrastrukturu


rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Prof.dr.sc. Aleksandre Anić Vučinić.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 23.7.2022.

Arno Dalmatinac

(Ime i prezime)


(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:


Utjecaj povećanja odvojenog prikupljanja na sakupljačku infrastrukturu

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 29.08.2022

Prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

(Mentor)


(Vlastoručni potpis)

Sažetak

Ime i prezime autora: Arno Dalmatinac

Naslov rada: Utjecaj povećanja odvojenog prikupljanja na sakupljačku infrastrukturu

Ključne riječi: otpad, gospodarenje otpadom, prikupljanje, dinamika odvoza, spremnici

Gospodarenje otpadom jedan je od gorućih problema današnjice. Cilj ovog rada je prikazati utjecaj povećanja odvojeno sakupljenog otpada na sakupljačku infrastrukturu, i to u vidu potrebnog broja odvoza i financijskog okvira za ostvarenje istog.

U drugom i trećem poglavlju dana je osnovna podjela otpada po mjestu nastanka te po svom sastavu, kao i općeniti prikaz sastava komunalnog otpada. U četvrtom poglavlju opisano je trenutno stanje u Republici Hrvatskoj, s naglaskom na strategiju zbrinjavanja miješanog komunalnog otpada u županijskim centrima uz opis tehnologije koja se u njima koristi. Također, dan je prikaz trenutnog stanja u gradu Zadru, i to broj korisnika, broj i tip spremnika u upotrebi, trenutna dinamika odvoza otpada po vrstama (miješani i reciklabilni), vozni park Čistoće te količine prikupljenog otpada. U analizi su korišteni podaci dostavljeni od Čistoće Zadar, a kao pomoć pri provođenju izračuna korišten je MS Excel. Kreirana su dva modela, čiji su rezultati prikazani grafički. Naposljetku je iz modela izveden zaključak te predložen najoptimalniji smjer djelovanja.

Abstract

Name and surname of the author: Arno Dalmatinac

Paper Title: The impact of increased separate collection on collection infrastructure

Keywords: waste, waste management, collection, collection dynamics, containers

Waste management is one of the biggest problems we face today. The aim of this paper is to show the impact of the increase in separately collected waste on the collection infrastructure in terms of the required number of collections, as well as the financial framework needed for its implementation.

In the second and third chapters, the basic categorisation of waste according to place of its origin and its composition is given, as well as a general description of the composition of municipal waste. In the fourth chapter, the current situation in the Republic of Croatia is described, with the emphasis on mixed municipal waste disposal strategy in county centers, along with a description of the technology used in them. The current situation in Zadar is also shown, namely the number of users, the number and type of containers which are used, the current dynamics of waste collection based on the type of waste (mixed and recyclable), the fleet of trucks and the amount of collected waste. The data provided by Čistoća Zadar were used in the analysis, and MS Excel was used for the calculations. Two models were created, the results of which are shown graphically. Finally, a conclusion was drawn from the models and the most optimal course of action was proposed.

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. OPĆENITO O OTPADU..... | 2 |
| 3. GOSPODARENJE OTPADOM..... | 4 |
| 4. TRENUTNO STANJE | 5 |
| 4.1. Republika Hrvatska..... | 5 |
| 4.2. Grad Zadar | 8 |
| 5. ANALIZA UTJECAJA POVEĆANJA ODVOJENOG SAKUPLJANJA | 13 |
| 5.1. Materijali i metode..... | 13 |
| 5.2. Rezultati i diskusija..... | 16 |
| 5.2.1. Prvi model (nepromijenjena dinamika odvoza mko)..... | 16 |
| 5.2.2. Drugi model (smanjena dinamika odvoza mko)..... | 17 |
| 5.3. Financijski okvir | 19 |
| 6. ZAKLJUČAK..... | 22 |
| 7. LITERATURA | 23 |
| 8. POPIS SLIKA..... | 24 |
| 9. POPIS TABLICA | 25 |

1. UVOD

U današnjem tehnološki brzonapredujućem svijetu, ekonomski razlozi diktiraju masovnu proizvodnju proizvoda s fokusom na profit, a ne trajnost. To je, uz kontinuirano povećanje konzumerističkih navika ljudi dovelo do ogromnog rasta količina stvorenog otpada. Porast komunalnog otpada tijekom posljednjih godina prisiljava tvrtke koje se bave gospodarenjem otpadom na uvođenje učinkovitije i okolišno, tehnički i ekonomski održivije sheme prikupljanja i zbrinjavanja otpada [1]. Generirani otpad je potrebno na odgovarajući način zbrinuti, s tim da infrastruktura za njegovo zbrinjavanje, kao i znanje o predmetu učestalo nisu u proporcionalnom odnosu.

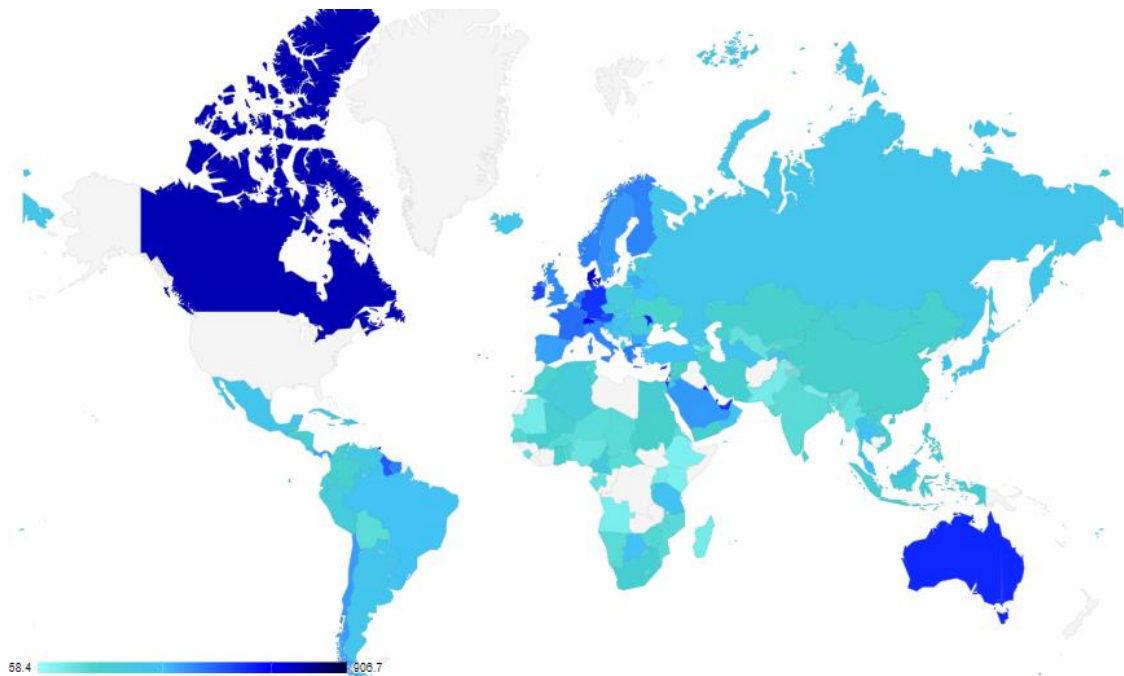
Republika Hrvatska je po pitanju gospodarenja otpadom zadnjih nekoliko godina dosta napredovala. Dijelom je to rezultat povećane osviještenosti građana o važnosti očuvanja okoliša, ali ipak najviše niza zakona i ciljeva na čije se provođenje RH obvezala ulaskom u Europsku Uniju. Primjerice, cilj za ponovno korištenje i recikliranje kućnog otpada do 2025. godine je 55%. Iako su neke države članice zacrtane ciljeve davno postigle, neke još uvijek rade na tome. U RH se tako intenzivno ulaže u infrastrukturu, gradnjom centara za obradu miješanog komunalnog otpada, nabavkom spremnika za odvojeno sakupljanje otpada i sl, tako da se u budućnosti svakako očekuje ispunjenje trenutno zadanih ciljeva.

Cilj ovog rada je obraditi tematiku utjecaja povećanja odvojeno sakupljenog otpada na sakupljačku infrastrukturu. Ispravno organiziran sustav sakupljanja otpada je, uz prateću infrastrukturu za obradu, osnova kvalitetnog sustava gospodarenja otpadom.

2. OPĆENITO O OTPADU

Općenito, otpad je svaki predmet ili tvar koju posjednik (čovjek) odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [2]. Iz te definicije se može zaključiti da je otpad neizbježan produkt svakodnevnih aktivnosti ljudi, od industrije, turizma i nekih drugih segmenata, i da je samo pitanje vremena kad će nešto postati otpad.

Rastuće gospodarstvo, povećanje broja stanovnika te povećana potrošnja dovode do stvaranja velikih količina otpada, što zauzvrat iziskuje velike napore u vidu sprečavanja njegovog nastanka i zbrinjavanja. Najbolji pokazatelj razvijenosti neke zemlje je količina otpada koju proizvodi. Zemlje s jakim gospodarstvom i visokim prihodima proizvode 500 ili više kilograma otpada po stanovniku godišnje. Npr., prosjek u SAD-u je 730 kg/stanovniku godišnje. Naprednije zemlje u razvoju proizvode između 300 i 400 kilograma, dok ostale zemlje u razvoju proizvode između 200 i 300 kilograma (Kina). Ostale zemlje, za koje postoje podaci, proizvode u prosjeku oko 150 kilograma po stanovniku godišnje [3]. Na slici 1 se može vidjeti razlika u količinama proizvedenog otpada po zemljama.



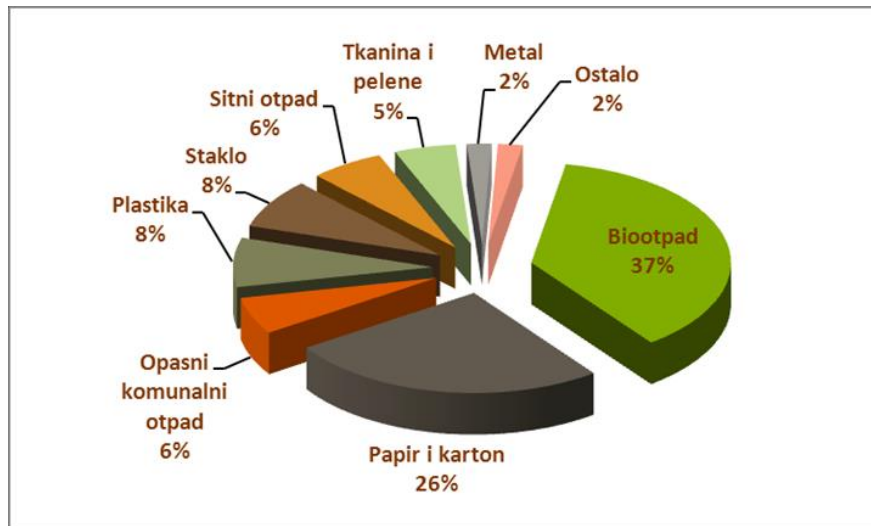
Slika 1 - Prikaz količine proizvedenog komunalnog otpada po državama [4]

Osim što s obzirom na agregatno stanje može biti kruti, tekući i plinoviti, otpad se može podijeliti po više različitih karakteristika. Tako se po mjestu nastanka dijeli na:

1. Komunalni otpad - otpad iz kućanstva te otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti koji je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstva (osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva) [2].
2. Proizvodni otpad – otpad koji nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, a po sastavu i svojstvima se razlikuje od komunalnog otpada. Proizvodnim otpadom se ne smatraju ostaci iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača [2].

Po svojim svojstvima, otpad može biti opasni, neopasni i inertni. Opasni otpad karakterizira barem jedno od opasnih svojstava (eksplozivnost, toksičnost, nadražujuće djelovanje...), dok neopasni nema nijedno takvo svojstvo [2]. Inertni otpad je otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim ili biološkim promjenama, i u okolišu ne ugrožava zdravlje ljudi i ostalog živog svijeta.

Veliki problem kod odabira odgovarajućeg načina obrade predstavlja heterogenost otpada, koji sadrži tvari različitog kemijskog sastava i veličine, od jako sitnih prašinih materijala do višemetarskih predmeta. Unatoč tome, omjer sastojaka miješanog komunalnog otpada na većoj skali je uglavnom jednak. Najviše ima biorazgrađive frakcije, koju čine biootpad, papir i karton te tekstil prirodnog podrijetla, dok je ostalih komponenti manje. Na slici 2 je prikazan sastav miješanog komunalnog otpada.



Slika 2 - Udjeli komponenata miješanog komunalnog otpada [4]

3. GOSPODARENJE OTPADOM

Gospodarenje otpadom je pojam koji podrazumijeva niz aktivnosti usmjerenih prema smanjenju količina i štetnog utjecaja, skupljanja, prijevoza, obrade i zbrinjavanja otpada [5]. Otpad, ako se njime ne gospodari pravilno, može uzrokovati emisije u zrak, vodu i tlo, što za sobom povlači štetno djelovanje na zdravlje čovjeka i samog okoliša. Sam utjecaj će ovisiti o sastavu i količini otpada, a najviše o samom načinu gospodarenja.

Općenito je poznato da čovjek gospodari otpadom iz tri razloga, a to su sljedeći:

1. Kako bi sačuvao vlastito zdravlje
2. Kako bi sačuvao okoliš, čije zdravlje uvjetuje i postojanje njega samog
3. Kako bi iskoristio vrijedna svojstva otpada

Prvi organizirani sustav gospodarenja otpadom zabilježen je na Knososu na Kreti, dok se 500. god. pr. Kr. gradi prvo odlagalište otpada za Atenu. Donešena je uredba kojom je zabranjeno odlaganje otpada na području udaljenom do 1500 metara od gradskih zidina, te je organizirano sakupljanje i transport otpada do odlagališta [4]. Srednji vijek obilježila je potpuna nebriga o higijeni i otpadu, koji se izbacivao na ulice, gdje se raspadao. Takav odnos doveo je do pojave kuge, kolere i tifusa. U godinama poslije industrijske revolucije dolazi do malog poboljšanja, ali se s otpadom i dalje često nepravilno postupa. Primjerice,

otpad se često spaljivao na otvorenom ili odlagao u more. Tek nakon 1970. dolazi do značajnog poboljšanja. Zbog značajnog onečišćenja zraka zatvaraju se spalionice i zabranjuje spaljivanje na otvorenom. Dolazi do smanjenja odlagališnog prostora pa se mnoga odlagališta zatvaraju te recikliranje zauzima prvo mjesto u hijerarhiji gospodarenja otpadom.

Upravljanje otpadom na način da se najmanje opteretiti okoliš uz istovremeno održavanje trenutno visokog životnog standarda jedan je od glavnih ekoloških izazova današnjice [2]. Aktivnosti na području zbrinjavanja otpada i zaštite okoliša posljednjih godina postaju sve značajnije i zastupljenije. Sve veći pritisak javnosti glede zaštite okoliša utjecao je na povećanje troškova zbrinjavanja otpada potičući na taj način razvoj naprednijih tehnologija oporabe. Uvođenjem i uspostavljanjem efikasnih i održivih sustava gospodarenja otpadom sve više se napušta tradicionalna i vrlo raširena praksa odlaganja otpada na odlagališta bez prethodne obrade, a zamjenjuje se naprednim tehnologijama obrade i iskorištavanja otpada. Također, u zadnjem desetljeću se javila potreba za uvođenjem novih principa, poput održivog razvitka koji je danas integriran u razvojne strategije svih razvijenih država, i cirkularne ekonomije koja zagovara industrijsko gospodarstvo koje na održivi razvoj gospodari resursima, produžuje životni vijek proizvoda, smanjuje proizvedeni otpad i nastoji iskorištavati obnovljive izvore energije [4]. Način prikupljanja i zbrinjavanja komunalnog otpada ključni je element europske strategije usmjerene ka kružnom gospodarstvu [6].

4. TRENUTNO STANJE

4.1. Republika Hrvatska

Stanje po pitanju gospodarenja otpadom u RH je u proteklih nekoliko godina dosta napredovalo. Rezultat je to niza obvezujućih zakona i ciljeva postavljenih pred RH od strane Europske Unije. Veliki problem predstavlja dugogodišnja praksa odlaganja otpada na nesanitarna odlagališta, odlagališta kod kojih sam otpad nije na odgovarajući način izoliran od okoliša. Otpad se u jednom trenutku počeo odlagati na neku površinu bez brtvenog sloja koji bi spriječio protjecanje procjednih voda u podzemlje, i bez plinskih zdenaca pomoću kojih bi se izvukao i na odgovarajući način zbrinuo odlagališni plin

nastao anaerobnom razgradnjom biorazgradive frakcije otpada. Uz to, budući da otpad nije prethodno obrađen, velike količine vrijednih resursa su tijekom godina zakopane. S ciljem sprječavanja negativnih utjecaja odlagališta na okoliš, kao i iskorištavanja što više njegovih korisnih svojstava, RH se okrenula prema izgradnji županijskih centara za gospodarenje otpada (ŽCGO). ŽCGO su velika postrojenja u kojima se obrada otpada odvija u dvije faze. Jedna faza je mehanička obrada, u kojoj otpad prolazi kroz niz različitih strojeva s ciljem sortiranja otpada po veličini, izdvajanja specifičnih materijala (metali, PVC koji nije pogodan za spaljivanje) i usitnjavanja ostatka. Druga faza obrade je biološka obrada, a podrazumijeva tri moguća postupka – kompostiranje, anaerobnu fermentaciju i biosušenje otpada. Kompostiranje je proces u kojem se biorazgradiva frakcija otpada razgrađuje uz prisustvo kisika, „nusproizvodi“ reakcije su ugljikov dioksid i voda, te se kao finalni produkt dobije kompost koji se dalje može koristiti u poljoprivredi ili kao prekrivka za odlagališta. Anaerobna fermentacija je proces koji se od kompostiranja razlikuje u tome što se otpad razgrađuje bez prisutnosti kisika. Time se oslobađa metan, čijim se spaljivanjem dobiva toplina potrebna za zagrijavanje vode i pokretanje turbine spojene na generator, čime se proizvodi električna energija. Ostatak otpada, tzv. digestat, se također može koristiti kao gnojivo u poljoprivredi. Treća tehnika obrade biorazgradivog otpada je biosušenje. Kroz otpad se propuhuje zrak, čime se postiže smanjenje vlažnosti otpada. Nakon postizanja odgovarajuće razine vlažnosti, otpad se odlaže u kazete bioreaktorskog odlagališta i prekriva plastičnim folijama kako bi se izolirao od utjecaja atmosferilija. Nakon što je kazeta napunjena i zabrtvljena, u nju se ispušta voda. Započinje truljenje otpada u anaerobnim uvjetima i proizvodnja metana koji se izvlači pomoću plinskih zdenaca, sa svrhom proizvodnje električne energije. Konačni proizvod koji izlazi iz centra za gospodarenje otpadom je gorivo iz otpada (GIO), osušena mješavina plastike, papira, drva, tekstila i drugih gorivih materijala. GIO se koristi kao pogonsko gorivo u energanama i cementarama. Problem je što GIO na tržištu nije toliko tražen i njegovo preuzimanje od strane cementara je potrebno platiti. Zbog toga je uz centre potrebno izgraditi nekoliko energana na otpad, kako bi se cijeli sustav zaokružio. Predviđanje nastanka komunalnog otpada postalo je važan alat za donošenje odluka u urbanim sredinama, ne samo zbog svoje ključne uloge u učinkovitom gospodarenju otpadom, već i zato što omogućuje razumijevanje složenosti čimbenika koji njime upravljaju [7].

Trenutno su izgrađena tri centra, CGO Marišćina (Rijeka), CGO Kaštijun (Pula) i CGO Bikarac (Šibenik), dok je završetak radova na izgradnji CGO Biljane Donje (Zadar) očekivan krajem 2022. godine.

Republika Hrvatska i po pitanju odvojenog sakupljanja otpada bilježi konstantan rast. Protekle dvije godine obilježila su znatna ulaganja u infrastrukturu, u vidu nabavke spremnika za odvojeno sakupljanje otpada koji su jedan od preduvjeta za uspješan sustav odvajanja otpada. Također se nastavilo kontinuirano provođenje izobrazno - informativnih aktivnosti usmjerenih na podizanje svijesti građana o njihovoj ulozi u stvaranju i sprječavanju nastanka otpada te izdvajanju otpada na mjestu nastanka [8]. Tako je u 2021. godini ukupno nastalo 1.766.560 t komunalnog otpada, što je povećanje od 4% u odnosu na 2020. godinu. Odvojeno je sakupljeno 761.683 t komunalnog otpada (sve vrste komunalnog otpada osim miješanog komunalnog otpada), odnosno 43 %, što predstavlja porast od 2 % u odnosu na 2020. godinu. Od ukupne količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada oprabljeno je 560.129 t, dok je količina stvarno recikliranog otpada iznosila 555.320 t (uklonjeni neciljani materijali i nečistoće).

Oporaba otpada je svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koje bi inače trebalo uporabiti za tu svrhu ili otpad koji se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u postrojenju ili u širem gospodarskom smislu [2].

Recikliranje otpada čine pojedini postupci uporabe kojima se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu. Recikliranje obuhvaća preradu organskog materijala, ali ne uključuje energetska oporaba i preradu u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za nasipavanje [2].

Time je stopa uporabe komunalnog otpada u 2021. godini iznosila 32 %, a stopa recikliranja 31 %, što je za 2 postotna boda više nego u 2020. godini kada je stopa recikliranja iznosila 29 % [8]. Također se bilježi porast broja jedinica lokalne samouprave (JLS) u kojima se provodi odvojeno sakupljanje biootpada, i to za 23 JLS. Odvojeno je sakupljeno 122.175 t biootpada, što je za 1% više nego u 2020. godini.

4.2. Grad Zadar

Zadar je grad smješten na Jadranskom moru, na sjeverozapadnom dijelu Ravnih kotara, te je ujedno i središte Zadarske županije. Sam grad se prostire na 25 kvadratnih kilometara, sa 75.082 stanovnika u 2011., što ga čini drugim najvećim gradom u Dalmaciji i petim najvećim gradom u zemlji [9].

Najveća tvrtka koja na području grada Zadra obavlja djelatnost gospodarenja otpadom i održavanja javnih površina je Čistoća d.o.o. Zadar (u daljnjem tekstu Čistoća), a trenutno na cjelokupnom području izvršavanja javne usluge sakupljanja, odvoza i zbrinjavanja miješanog komunalnog otpada (gradovi Zadar i Nin, te općine Posedarje, Vrsi, Novigrad, Sukošan, Poličnik, Ražanac, Starigrad, Privlaka, Galovac, Škabrnja, Preko, Jasenice, Zemunik Donji, Pašman, Kukljica i Sv. Filip i Jakov i Kali) ima ukupno 75.192 korisnika.

Sav miješani komunalni otpad koji Čistoća prikuplja na području svog djelovanja odlaže se na odlagalište Diklo (slika 3), najveće odlagalište u Zadarskoj županiji. Odlagalište je u funkciji još od 1965. godine, te je u trenutnim gabaritima pri kraju svoj kapaciteta. Za dugoročno korištenje bilo bi ga potrebno dodatno proširiti na okolno područje. Budući da je strategija gospodarenja komunalnim otpadom u Hrvstakoj usmjerena prema županijskim centrima za gospodarenjem otpadom, do takvog scenarija neće doći. Trenutno se na lokalitetu u Biljanima Donjim gradi županijski centar Biljane Donje, u kojem će se po završetku izgradnje obrađivati miješani komunalni otpad, biootpad te građevinski otpad s područja Zadarske i dijela Ličko Senjske županije. Njegovim puštanjem u pogon pristupiti će se sanaciji i konačnom zatvaranju odlagališta Diklo. Uz miješani komunalni otpad, na odlagalištu Diklo se trenutno odlažu biootpad, građevinski otpad te otpad koji u sebi sadrži čvrsto vezani azbest. Sve tri vrste odlažu se na posebne plohe, odvojeno od miješanog komunalnog otpada.



Slika 3 - Odlagalište Diklo

Prikupljanje otpada je u gradu organizirano na način da stambene zgrade s prosječno više od 20 stanova imaju zajedničke zelene kontejnere od 1100 litara za miješani komunalni otpad (po jedan na svakih 20 stanova). Sav korisni otpad (tzv. Reciklabilni otpad - papir i karton, plastika, staklo, metal i tekstil) se prikuplja pomiješan, u narančastim kontejnerima od 1100 litara, s tim da većina zgrada još uvijek ima i plave kontejnere koji su namijenjeni odlaganju isključivo papira i kartona. Kontejneri su prikazani na slici 4. Čistoća trenutno upravlja manjom sortirnicom na odlagalištu, te su plavi kontejneri zadržani sa svrhom rasterećenja iste do izgradnje moderne sortirnice velikog kapaciteta u gospodarskoj zoni Crno.



Slika 4 - Spremnici za otpad (reciklabilni, papir i karton, miješani komunalni otpad te biootpad)

Individualna kućanstva za miješani komunalni otpad koriste kante od 80, 120 ili 240 litara, ovisno o broju članova kućanstva, dok za reciklabilni otpad svi imaju kante od 240 litara. Kante za reciklabilni otpad su novost, nabavljene objedinjenom javnom nabavom Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, budući da su se papir i plastika do sredine 5. mjeseca 2022. godine sakupljali u namjenskim žutim i plavim vrećicama. Takav sustav nije zadovoljavao u vidu količine sakupljenog otpada, budući da mnogi nisu bili motivirani vrećice čuvati u kući po tjedan dana, a i često su se koristile za odlaganje drugih nepripadajućih vrsta otpada.

Odvoz komunalnog otpada na području grada Zadra i okolnih općina organiziran je po zonama, različitom dinamikom. Stara jezgra (Poluotok) je definirana kao posebna zona, zbog velike gustoće naseljenosti i velikog broja ugostiteljskih obrta. Miješani komunalni otpad se odlaže u kante od 240 litara, a odvoz je organiziran svakodnevno (po potrebi i više puta dnevno). Papirnata i kartonska ambalaža (kutije i slično) se odlaže uz spremnike za mko, te se odvozi jednom do dva puta dnevno. Plastika se sakuplja u žutim namjenskim vrećicama, te se odvozi jednom tjedno.

Trenutni način sakupljanja trebao bi dugoročno zamijeniti novi sustav podzemnih spremnika. U planu je s Poluotoka ukloniti sve postojeće kante, i zamijeniti ih setovima podzemnih spremnika lociranih na rubnim dijelovima. Za sada su postavljena 2 seta spremnika (u svakom 1 x miješani komunalni otpad, 1 x reciklabilni otpad i 1 x biootpad), a u planu ih je postaviti na još 10ak lokacija. Implementacija tog novog sustava za sad ide sporim tempom i upitno je hoće li se u potpunosti realizirati.

Od drugih zona razlikujemo:

1. uža centar grada (ne uključujući gradsku jezgru)
2. šira centar grada
3. prigradska naselja
4. općine

Uža centar grada podrazumijeva područje izvan gradske jezgre, do približno 1,5 km udaljenosti, a koje je i dalje gusto naseljeno i po pitanju otpada dosta opterećeno. U prostoru dominiraju visoke građevine (veće zgrade i neboderi). To su kvartovi Voštarnica, Jazine, Relja te područje oko autobusnog kolodvora. Miješani komunalni otpad iz zajedničkih spremnika od 1100 litara se s tog područja odvozi svakodnevno, dok se iz individualnih spremnika korisnika u kućanstvima (80, 120 i 240 litara) odvozi dva

puta tjedno. Reciklabilni otpad se iz zajedničkih spremnika od 1100 litara odvozi svaki drugi tjedan, a po potrebi i češće, dok se iz individualnih spremnika od 240 litara odvozi isključivo svaki drugi tjedan. Otpad iz kontejnera za papir i karton se odvozi zajedno s reciklabilnim otpadom, svaki drugi tjedan.

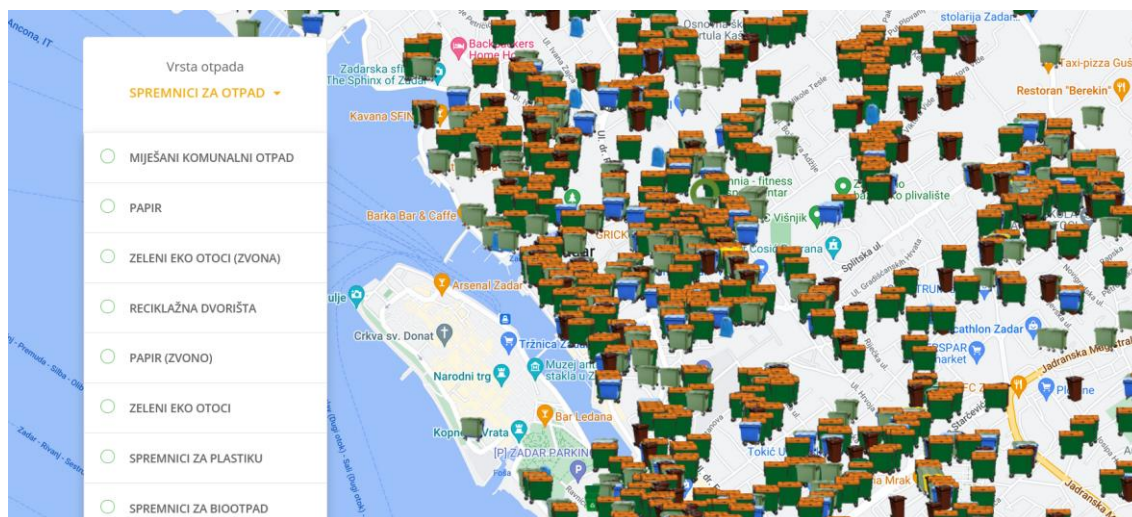
U širi centar grada ulazi područje u prosjeku udaljeno više od 1,5 km od gradske jezgre, u kojem su zgrade i obiteljske kuće u prosjeku podjednako zastupljene. Budući da gustoća naseljenosti nije toliko velika, nije potreban svakodnevni odvoz otpada. U tu kategoriju spadaju kvartovi Melada, Petrići, Brodarica, Plovanija, Bili brig, Stanovi, Crvene kuće, Smiljevac, Ričina, i Arbanasi. Odvoz miješanog komunalnog otpada je organiziran 3 puta tjedno za zajedničke spremnike od 1100 litara te 2 puta tjedno za spremnike u individualnom stanovanju. Reciklabilni otpad se odvozi svaki drugi tjedan za zajedničke spremnike od 1100 litara, kao i za kante od 240 litara. Otpad iz kontejnera za papir i karton se također odvozi u sklopu odvoza reciklabilnog otpada, svaki drugi tjedan.

U prigradskim naseljima dominiraju obiteljske kuće, te se stoga za miješani komunalni otpad koriste manje kante (80, 120 i 240 litara). Odvoz je organiziran 2 puta tjedno. Reciklabilni otpad se sakuplja u kantama od 240 litara, uz iznimke zgrada s više od 4 stambene jedinice, koje koriste kontejnere od 1100 litara. Reciklabilni otpad se odvozi svaki drugi tjedan. Uz to, neka naselja su u sklopu pilot projekta dobila spremnike za biootpad od 80 litara, čiji je odvoz organiziran jednom tjedno (Diklo, Bokanjac, Crno, Dračevac i Ploča).

Što se općina tiče, veličine spremnika koji se koriste su iste kao i kod prigradskih naselja. Razlika je u dinamici odvoza, koja varira od općine do općine. To je u pravilu jednom ili dva puta tjedno tijekom zimskih mjeseci, i dva ili tri puta tijekom ljetnih mjeseci. Isto vrijedi i za otoke na kojima Čistoća pruža javnu uslugu odvoza otpada.

Širem centru grada, kao i dijelu prigradskih naselja je zajedničko da su sve zgrade s četiri ili više stambenih jedinica dobile kante od 240 litara za biootpad. Dinamika odvoza biootpada je u pravilu svaki tjedan.

Prostorni raspored spremnika može se vidjeti na karti na web stranici Čistoće Zadar (slika 5).



Slika 5 - Prostorni raspored spremnika

Za odvoz miješanog komunalnog otpada koriste se specijalizirana vozila, tzv. „autosmećarke“ različitog kapaciteta. Kamioni malog volumena (5 i 7 m³) se zbog uskih ulica koriste u staroj gradskoj jezgri, kao i na nekim lokacijama izvan nje inače nedostupnim kamionima većih gabarita. U pravilu, najčešći su kamioni volumena 16 m³, koji se u određenoj mjeri koriste na gotovo cijelom području pružanja usluge. Po načinu sabijanja otpada, razlikuju se dva modela:

1. kamioni s rotirajućim bubnjem (Rotopress)
2. kamioni s potisnom pločom (Variopress, ostale nadgradnje tvrtke Farid i sl.)

Kamioni s rotirajućim bubnjem se najviše koriste na području šireg centra grada, gdje se otpad odvozi svakodnevno. Veći kamioni, volumena većeg od 16 m³, koriste se na područjima udaljenijima od centra grada, kako bi se smanjio broj potrebnih tura od mjesta sakupljanja do odlagališta.

Za reciklabilni otpad se koriste isključivo kamioni s potisnom pločom, i to najčešće volumena 10 m³. Katkad se koriste i veći kamioni od 16 m³, kao i manji od 10 m³ za teže pristupačne ulice.

5. ANALIZA UTJECAJA POVEĆANJA ODVOJENOG SAKUPLJANJA

5.1. Materijali i metode

Za izradu proračuna i modela u nastavku korišteni su podaci dostavljeni od strane Čistoće Zadar, i to podaci o broju korisnika, količinama sakupljenog otpada po vrstama, broju odvoza miješanog i reciklabilnog otpada, broju spremnika te podaci o vozilima kojima se vrši odvoz.

Svi proračuni su provedeni korištenjem jednostavnih matematičkih operacija pomoću programa MS Excel. Prvi izazov bio je svođenje računa na parametar koji je usporediv u ovisnosti o broju pražnjenja. Po pitanju točnosti, masa otpada bi bila najbolji odabir, ali nemogućnost vaganja svake kante prije pražnjenja je isključila taj parametar. Najlogičniji, i jedini sljedeći odabir, bio je volumen. U tablicu su redom postavljeni volumeni spremnika, od najmanjeg do najvećeg (80, 120, 240 i 1100 litara). Spremnici od 1100 litara su unešeni dva puta, budući da se dinamika odvoza razlikuje na nekim posebno opterećenim lokacijama u gradu. Množenjem volumena pojedinog spremnika i njegovog broja dobio se ukupni volumen koji je na raspolaganju u određenoj kategoriji spremnika. U tablicu su zatim unešene vrijednosti broja pražnjenja na tjednoj bazi, postotak spremnika koji je u upotrebi, koeficijent popunjenosti spremnika ($k < 1$, spremnik nije skroz pun, $k = 1$, spremnik je skroz pun, $k > 1$, spremnik je prepunjen). Svi navedeni parametri su pomnoženi međusobno, te s 48 (broj tjedana u godini), kako bi se dobio ukupni volumen sakupljenog otpada na godišnjoj bazi. Dobivena vrijednost volumena, uz prosječnu gustoću miješanog komunalnog otpada, korišteni su za izračun ukupne mase prikupljenog otpada, uzimajući u obzir omjer sabijanja otpada u kamionu koji iznosi 6:1.

Tablica 1 - Tablica pomoću koje su izvedeni potrebni izračuni za izradu modela

| MKO - 2021. | | | | | | | | | | *48 - 48 tjedana u godini | | | |
|--|----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|--|--|
| Volumen | Broj spremnika | Ukupni volumen po kategoriji | Broj pražnjenja (tjedno) | % spremnika u upotrebi | Popunjenost spremnika | Ukupni ispražnjeni volumen (l) | Ukupni ispražnjeni volumen (m3) | Omjer sabijanja otpada (6:1) | Gustoća MKO (kg/m3) | Masa MKO (kg) | Masa MKO (t) | | |
| 80 | 6540 | 523200 | 2 | 1 | 1 | 50227200 | 50227,2 | 0,17 | 340 | 2846208 | 2846,2 | | |
| 120 | 25828 | 3099360 | 2 | 1 | 1 | 297538560 | 297538,56 | 0,17 | 340 | 16860518,4 | 16860,5 | | |
| 240 | 18996 | 4559040 | 2 | 1 | 1 | 437667840 | 437667,84 | 0,17 | 340 | 24801177,6 | 24801,2 | | |
| 1100 | 1098 | 1207800 | 3 | 1 | 0,8 | 139138560 | 139138,56 | 0,17 | 340 | 7884518,4 | 7884,5 | | |
| 1100 | 210 | 231000 | 5 | 1 | 0,8 | 44352000 | 44352 | 0,17 | 340 | 2513280 | 2513,3 | | |
| | | | | | | MKO ukupno | 61000 | | | Ukupno: | 54905,7 | | |
| | | | | | | MKO Fazole osobne | 54900 | | | | | | |
| | | | | | | MKO prave osobne | 6100 | | | | | | |
| BROJ KONTEJNERA | | | | | | | | | | | | | |
| 1100L (ukupno) | | 1108 | | | | | | | | | | | |
| 1100L (izvakočni, prazni) | | 210 | | | | | | | | | | | |
| 1100L (3x tjedno) | | 1098 | | | | | | | | | | | |
| MKO - smanjenje broja odvoza | | | | | | | | | | | | | |
| Volumen | Broj spremnika | Ukupni volumen po kategoriji | Broj pražnjenja (tjedno) | % spremnika u upotrebi | Popunjenost spremnika | Ukupni ispražnjeni volumen (l) | Ukupni ispražnjeni volumen (m3) | Omjer sabijanja otpada (6:1) | Gustoća MKO (kg/m3) | Masa MKO (kg) | Masa MKO (t) | | |
| 80 | 6540 | 523200 | 2 | 1 | 1 | 50227200 | 50227,2 | 0,17 | 340 | 2846208 | 2846,2 | | |
| 120 | 25828 | 3099360 | 2 | 1 | 1 | 297538560 | 297538,56 | 0,17 | 340 | 16860518,4 | 16860,5 | | |
| 240 | 18996 | 4559040 | 2 | 1 | 1 | 437667840 | 437667,84 | 0,17 | 340 | 24801177,6 | 24801,2 | | |
| 1100 | 1098 | 1207800 | 3 | 1 | 0,8 | 139138560 | 139138,56 | 0,17 | 340 | 7884518,4 | 7884,5 | | |
| 1100 | 210 | 231000 | 5 | 1 | 0,8 | 44352000 | 44352 | 0,17 | 340 | 2513280 | 2513,3 | | |
| | | | | | | MKO ukupno | 61000 | | | Ukupno: | 54905,7 | | |
| | | | | | | MKO Fazole osobne | 54900 | | | | | | |
| | | | | | | MKO prave osobne | 6100 | | | | | | |
| REKLABILNI OTPAD - 2021. (ŽUŤE I PLAVE VREĆICE + 1100L) | | | | | | | | | | | | | |
| Volumen | Broj spremnika | Ukupni volumen po kategoriji | Broj pražnjenja (tjedno) | % spremnika u upotrebi | Popunjenost spremnika | Ukupni ispražnjeni volumen (l) | Ukupni ispražnjeni volumen (m3) | Omjer sabijanja otpada (6:1) | Gustoća MKO (kg/m3) | Masa MKO (kg) | Masa MKO (t) | | |
| 1100 | 749 | 823900 | 1 | 0,9 | 0,7 | 24814736 | 24814,736 | 0,17 | 200 | 850491,2 | 850,5 | | |
| 1100 | 264 | 285100 | 1 | 1 | 0,7 | 8907160 | 89071,6 | 0,17 | 200 | 295511,2 | 295,5 | | |
| 1100 | 204 | 224400 | 1 | 1 | 1 | 10771200 | 107712 | 0,17 | 200 | 385600 | 385,6 | | |
| | | | | | | MKO (2021.) | 34990 | | | Ukupno: | 2885,3 | | |
| | | | | | | MKO+8 (2021.) | 51774,1 | | | masa odvajanja: | 5,226 | | |
| REKLABILNI OTPAD (240L + 1100L) - ODVOZ SVAKA 2 TJEDNA (uz trenutnu dinamiku za MKO) | | | | | | | | | | | | | |
| Volumen | Broj spremnika | Ukupni volumen po kategoriji | Broj pražnjenja (tjedno) | % spremnika u upotrebi | Popunjenost spremnika | Ukupni ispražnjeni volumen (l) | Ukupni ispražnjeni volumen (m3) | Omjer sabijanja otpada (6:1) | Gustoća MKO (kg/m3) | Masa MKO (kg) | Masa MKO (t) | | |
| 1100 | 749 | 823900 | 0,5 | 1 | 1,2 | 23728320 | 23728,32 | 0,17 | 200 | 790044 | 790,0 | | |
| 1100 | 264 | 285100 | 1 | 1,2 | 1,2 | 15589760 | 155897,6 | 0,17 | 200 | 505992 | 505,9 | | |
| 1100 | 204 | 224400 | 0,5 | 1 | 1,2 | 10395000 | 103950 | 0,17 | 200 | 335025 | 335,0 | | |
| 240 | 47000 | 11280000 | 0,5 | 0,5 | 1 | 81216000 | 812160 | 0,17 | 200 | 27072000 | 27072,0 | | |
| | | | | | | MKO+8 (2021.) | 117000 | | | Ukupno: | 2852,9 | | |
| | | | | | | MKO+8 (prema 1. modelu za 2022.) | 58405,6 | | | masa odvajanja: | 6,206 | | |

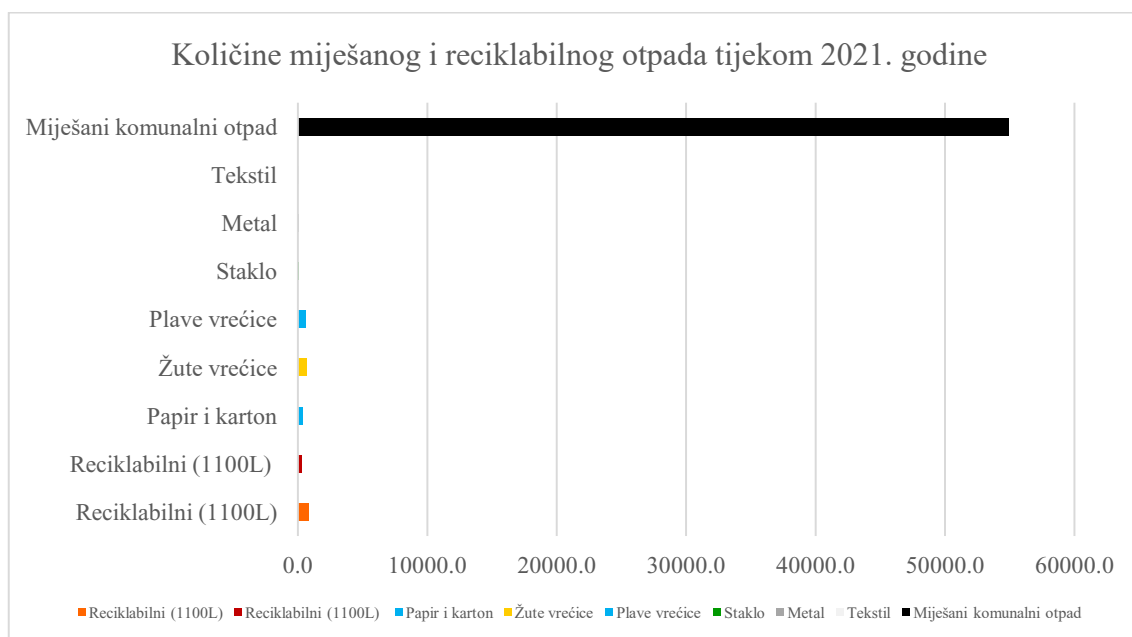
Budući da je miješani komunalni otpad vrlo heterogenog sastava, određivanje njegove gustoće predstavlja problem. Kako bi se izbjeglo terensko ispitivanje i manipulacija ogromnom količinom otpada za dobivanje reprezentativnog uzorka, postavljena je pretpostavka da se gustoća kreće u rasponu između 300 kg/m^3 i 450 kg/m^3 . Budući da je količina (masa) sakupljenog otpada u 2021. godini poznata, bilo je moguće odrediti gustoću postavljanjem iste kao jedinog nepoznatog parametra. Tim principom se došlo do vrijednosti od 340 kg/m^3 , koja je korištena kao polazna vrijednost u daljnjem računu. Slika 5 prikazuje tablicu s unešenim parametrima i izračunatim podacima.

Tablica 2 - Izračun mase otpada prikupljenog određenom dinamikom

| MKO - 2021. | | | | | *48 - 48 tjedana u godini | | |
|-------------|----------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Volumen | Broj spremnika | Ukupni volumen po kategoriji | Broj pražnjenja (tjedno) | % spremnika u upotrebi | Popunjenost spremnika | Ukupni ispražnjeni volumen (l) | Ukupni ispražnjeni volumen (m3) |
| 80 | 6540 | 523200 | 2 | 1 | 1 | 50227200 | 50227,2 |
| 120 | 25828 | 3099360 | 2 | 1 | 1 | 297538560 | 297538,56 |
| 240 | 18996 | 4559040 | 2 | 1 | 1 | 437667840 | 437667,84 |
| 1100 | 1098 | 1207800 | 3 | 1 | 0,8 | 139138560 | 139138,56 |
| 1100 | 210 | 231000 | 5 | 1 | 0,8 | 44352000 | 44352 |
| | | | | | Ukupno: | 610000 | 61000 |
| | | | | | Ukupno: | 54905,7 | 54905,7 |

| Ukupni ispražnjeni volumen (m3) | Omjer sabijanja otpada (6:1) | Gustoća MKO (kg/m3) | Masa MKO (kg) | Masa MKO (t) |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------|--------------|
| 50227,2 | 0,17 | 340 | 2846208 | 2846,2 |
| 297538,56 | 0,17 | 340 | 16860518,4 | 16860,5 |
| 437667,84 | 0,17 | 340 | 24801177,6 | 24801,2 |
| 139138,56 | 0,17 | 340 | 7884518,4 | 7884,5 |
| 44352 | 0,17 | 340 | 2513280 | 2513,3 |
| ukupno: | | | 54905,7 | 54905,7 |

Ista logika primijenjena je i na reciklabilni otpad. Budući da tijekom 2021. godine nije bilo unificiranog načina prikupljanja te vrste otpada, u tablicu su postavljene respektivne vrijednosti za pojedini način prikupljanja. Reciklabilni otpad se iz obiteljskih kuća prikupljao u žutim i plavim vrećicama, dok su korisnici u zgradama koristili spremnike od 1100 litara za reciklabilni otpad i papir, te je odvoz te dvije vrste otpada bio organiziran zasebno. Staklo, metal i tekstil su se još uvijek sakupljali putem zelenih otoka. Budući da je sustav plastičnih vrećica, kao i zelenih otoka u početku 2022. godine napušten, u tablici su navedene isključivo količine tako sakupljenog otpada. Pomoću podataka o količini sakupljenog reciklabilnog otpada (narančasti spremnik), broju odvoza, postotku spremnika u upotrebi te popunjenosti spremnika izračunat je ukupni volumen otpada. Zatim je na isti način, uz inicijalnu pretpostavku gustoće, dobivena masa, koja je uspoređena s podacima dobivenim iz Čistoće. Pretpostavka da gustoća iznosi približno 200 kg/m³ se pokazala ispravnom. Na slici 6 su prikazani udjeli reciklabilnog otpada po načinu prikupljanja.



Slika 6 - Količine miješanog i reciklabilnog otpada tijekom 2021. godine

Izrađena su 2 modela, za 2 pretpostavljena scenarija. Prvi scenarij pretpostavlja ostanak trenutne dinamike odvoza miješanog komunalnog otpada, što je 2 puta tjedno za kućanstva i 3 puta tjedno za zgrade (osnosno 5 puta tjedno na dodatno opterećenom području užeg centra grada). Odvoz reciklabilnog otpada je za sve, i kućanstva i zgrade,

organiziran svaki drugi tjedan, uz izuzetak užeg centra grada, gdje se i dalje prikuplja jednom tjedno.

Drugi model se bavi scenarijem u kojem je dinamika odvoza miješanog komunalnog otpada smanjena na jedan put tjedno za kućanstva i 2 puta tjedno za zgrade (3 puta tjedno na dodatno opterećenom području užeg centra grada). Kao kompenzacija, ali i poticaj na odvajanje otpada, dinamika odvoza reciklabilnog otpada je povećana na jednom tjedno i za kućanstva i za zgrade.

Modeli su izrađeni sa svrhom dobivanja spoznaja o utjecaju promjene dinamike odvoza miješanog i reciklabilnog otpada na funkcioniranje gospodarstva otpadom u gradu Zadru, kao i na količine otpada koje se prikupljaju. Također, proračunat je financijski utjecaj promjena prikazanih modelima, kako bi se utvrdila realna isplativost implementacije tih promjena.

5.2. Rezultati i diskusija

5.2.1. Prvi model (nepromijenjena dinamika odvoza mko)

Budući da u 1. modelu nema redukcija odvoza miješanog komunalnog otpada koji se i dalje odvozi 2 puta tjedno za kućanstva i 3/5 puta tjedno za zgrade, prikupljena količina odgovara količini iz 2021. godine, i iznosi 54.905 t.

Reciklabilnog otpada je putem žutih i plavih vrećica prikupljeno 317,3 t, budući da su se koristile samo od 1. do 5. mjeseca.

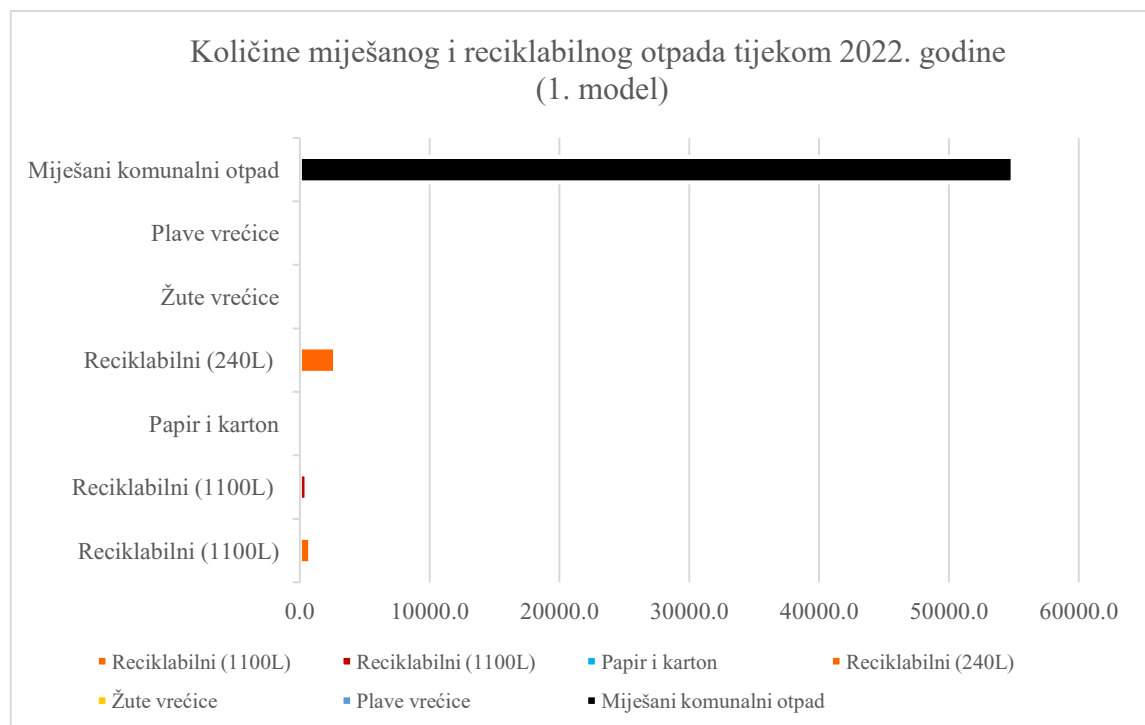
Papira i kartona je putem plavih kontejnera prikupljeno 179,5 t, što je zbog redukcije odvoza na svaki drugi tjedan gotovo duplo manje nego u 2021. godini.

Reciklabilnog otpada (narančasti kontejner) je na lokacijama gdje je odvoz svaki drugi tjedan (svugdje, izuzev užeg centra grada) putem kontejnera od 1100 litara prikupljeno 790,9 t, dok je na lokacijama većeg opterećenja, gdje je odvoz svaki tjedan, prikupljeno 509 t. Zbog smanjene učestalosti odvoza otpada, kao i činjenice da se većina kontejnera

dodijeljenih zgradama nalazi bez nadzora na javnim površinama, na terenu se često zatiču pretrpani kontejneri stoga je u računu korišten faktor popunjenosti spremnika 1,2.

Iz novopodijeljenih kanti od 240 litara (za reciklabilni otpad) je prikupljeno 2.707 t. Budući da se kante nalaze u dvorištima, pod nadzorom, korisnici će se potruditi spljoštiti otpad tako da je faktor popunjenosti i dalje 1. Postotak spremnika u upotrebi nije velik, oko 30 %, kako zbog tek nedavne podjele spremnika, tako i zbog i dalje vrlo učestale dinamike odvoza miješanog komunalnog otpada.

Ako se količine korisnog otpada po kategorijama zbroje, dobije se ukupna količina od 4.503,9 t (slika 7). Iz toga proizlazi da je pretpostavljena stopa odvojenog sakupljanja po ovom modelu 8,20 %, što je povećanje u odnosu na 5,22 % u 2021. godini. Unatoč gotovo dvostrukom povećanju, stopa odvajanja otpada je i dalje daleko ispod europskih ciljeva do 2025. godine, a koji nalažu odvojeno sakupljanje i recikliranje barem 55 % otpada [10].



Slika 7 - Prikaz količina miješanog i reciklabilnog otpada temeljem 1. modela

5.2.2. Drugi model (smanjena dinamika odvoza mko)

Drugi model pretpostavlja redukciju dinamike odvoza miješanog komunalnog otpada na jedan put tjedno za kućanstva i 2/3 puta tjedno za zgrade, te se s obzirom na to očekuje prikupljanje 39.860,8 tona. Faktor popunjenosti za spremnike u kućanstvima i dalje ostaje 1, dok se za spremnike dodijeljene zgradama povećava na 1,5, kako zbog nepostojanja nadzora zbog postavljanja na javnim površinama, tako i zbog nagle potrebe za povećanjem odvojenog sakupljanja na koje korisnici neće odmah biti spremni. U svrhu dugoročnog rješavanja novonastalog problema, bit će potrebno uložiti dodatne napore u edukaciju građana.

Količina reciklabilnog otpada prikupljenog putem žutih i plavih vrećica je u ovom modelu ista kao i u prethodnom, budući da su se vrećice fiksno koristile samo od 1. do 5. mjeseca 2022. godine.

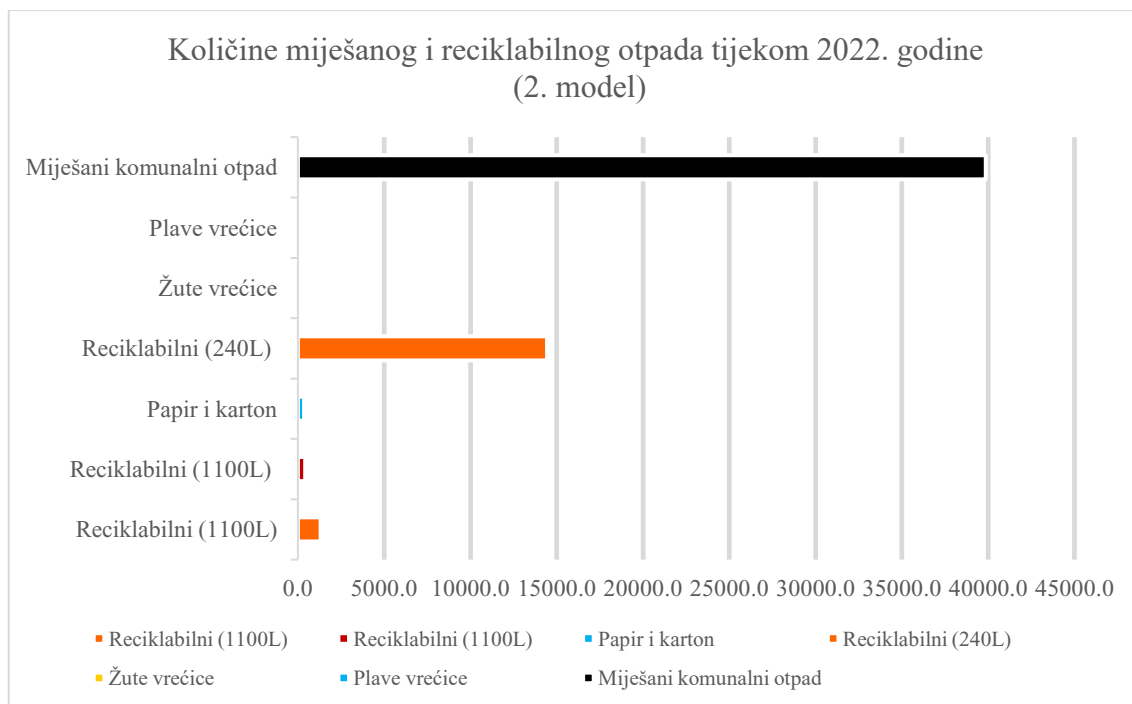
Očekivana količina papira i kartona prikupljena putem plavih kontejnera je zbog povećanja dinamike odvoza na svaki tjedan očekivano duplo veća nego u prethodnom modelu, te iznosi 359 t.

Budući da se po ovom modelu reciklabilni otpad odvozi jednom tjedno, iz kontejnera od 1100 litara se očekuje prikupljanje 1.742,4 t. Faktor popunjenosti je zbog povećanja dinamike odvoza, a time rješavanja problema pretrpanih kontejnera, opet postavljen na 1.

Što se tiče kanti od 240 litara koje su podijeljene kućanstvima, zbog ukidanja jednog odvoza miješanog komunalnog otpada tjedno, očekuje se skok u postotku korištenja spremnika na oko 80%. Uz odvoz jednom tjedno, po ovom modelu bi se trebalo prikupiti 14.438,1 t.

Nakon zbrajanja količina korisnog otpada po svim kategorijama, dobije se ukupna količina od 16.857,1 t reciklabilnog otpada. Izraženo kao postotak odvojenog sakupljanja otpada, to je 42,29 %, i višestruki skok u odnosu na predviđanje prvog modela. Količine miješanog i reciklabilnog otpada su prikazane na slici 8.

Primjenom ovog modela u praksi očekuje se znatno povećanje odvojeno sakupljenog otpada, a time i približavanje stopi od 55% koju nalažu ciljevi Europske Unije. Glavna sredstva za postizanje zadanih ciljeva su smanjenje broja odvoza miješanog komunalnog otpada, povećanje broja odvoza reciklabilnog otpada te pojačanje napora u vidu edukacije svih dobnih skupina o važnosti smanjenja proizvedenog otpada, kao i odvajanja korisnih komponenti otpada.



Slika 8 - Prikaz količina miješanog i reciklabilnog otpada temeljem 2. modela

5.3. Financijski okvir

Prikupljanje komunalnog otpada može predstavljati više od 70% ukupnog proračuna za gospodarenje otpadom, od čega većina otpada na troškove goriva [11]. Iz tog razloga se optimizacijom odvoza može postići značajna ušteda. Usporedba troškova sakupljanja otpada s prethodnim godinama predstavlja izazov, iz razloga što se isti kamioni koriste u različitim smjenama za prikupljanje različitih vrsta otpad (miješani, reciklabilni, papir i karton,...). Iako postoje zapisi o potrošnji goriva za sva vozila, potrošnja se ne može dovesti u vezu s vrstom otpada koja je kamionom prikupljena.

Ova prepreka se može riješiti primjenom proporcionalnosti. Potrebno je znati potrošnju za trenutni model u primjeni, tj za dva odvoza MKO tjedno te dva odvoza reciklabilnog otpada mjesečno. Budući da će se pri računu koristiti proporcionalnost, potrebno je izračunati opterećenje odvoza (OO) za prosječno obračunsko mjesto. Za prosječno obračunsko mjesto uzima se kućanstvo koje ima zaduženu kantu (80/120/240 litara) za MKO te kantu (240 litara) za reciklabilni otpada. OO se računa zbrajanjem svih odvoza na mjesečnoj bazi, a za gore navedeni (trenutni) scenarij iznosi:

$$OO_1 = 8 \text{ (MKO)} + 2 \text{ (reciklabilni)} = 10$$

Zatim se računa OO za novi model, tj kad bi se miješani komunalni otpad odvezio jednom tjedno, isto kao i reciklabilni otpad. Pritom dobijemo OO₂ koji iznosi:

$$OO_2 = 4 \text{ (MKO)} + 4 \text{ (reciklabilni)} = 8$$

Iz omjera OO₂ i OO₁ je vidljivo kako je potrošnja za novi (drugi) model 80% potrošnje starog modela.

$$\begin{aligned} \frac{OO_2}{OO_1} &= \frac{P_2}{P_1} \\ P_2 &= P_1 \cdot \frac{OO_2}{OO_1} \\ &= P_1 \cdot \frac{8}{10} \\ &= 0,8 \cdot P_1 \end{aligned}$$

U gore navedenoj formuli nije uračunat veći broj odvoza za zgrade koje koriste kontejnere od 1100 litara. Potrebno je izračunati udjele kontejnera od 1100 litara te kanti od 80, 120 i 240 litara u ukupnom broju spremnika. Na taj način se dobije i udjel koji te vrste spremnika čine u odvozu. Izračunom se dobije da broj kanti, kojih je najviše, čini 97,5 %, broj kontejnera koji se prazne normalnom dinamikom (3 puta tjedno) čini 2,1 %, te broj kontejnera koji se prazne učestalijom dinamikom (5 puta tjedno) čini 0,4 %. Broj spremnika s pripadajućim udjelima prikazan je u tablici 3.

Tablica 3 - Prikaz broja spremnika s pripadajućim udjelima

| vrsta spremnika | broj spremnika | udio |
|---------------------|----------------|-------|
| 80L / 120 L / 240 L | 51364 | 0,975 |
| 1100 L (3x tjedno) | 1098 | 0,021 |
| 1100 L (5x tjedno) | 210 | 0,004 |
| ukupno | 52672 | |

Izračunate postotke je potrebno uvrstiti u račun, i to na način da se uvrste u formulu za opterećenje odvoza, kako slijedi:

$$\begin{aligned} OO_1 &= 0,975 \times 8 \text{ (MKO kante)} + 0,021 \times 12 \text{ (MKO 1100L 3x tj.)} + 0,004 \times 20 \text{ (MKO} \\ &\text{1100L 5x tj.)} + 2 \text{ (reciklabilni)} \\ &= 10,132 \end{aligned}$$

$OO_2 = 0,975 \times 4$ (MKO kante) + $0,021 \times 8$ (MKO 1100L 2x tj.) + $0,004 \times 12$ (MKO 1100L 3x tj.) + 4 (reciklabilni)

$$= 8,116$$

Nakon što se izračunaju koeficijenti opterećenja za trenutni i novi (drugi) model, potrebno ih je uvrstiti u izraz s omjerima potrošnje i opterećenja, kako slijedi u nastavku.

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{OO_2}{OO_1}$$

$$= P_1 \cdot \frac{8,116}{10,132}$$

$$= 0,801 \cdot P_1$$

Iz izraza je vidljivo kako bi se provedbom drugog modela troškovi odvoza smanjili na 80,1 % trenutnih troškova.

6. ZAKLJUČAK

Rađena je analiza utjecaja povećanja odvojeno sakupljenog otpada na sakupljačku infrastrukturu, u vidu promjene dinamike odvoza miješanog i reciklabilnog otpada te troškova koje to donosi sa sobom.

S tom svrhom su, osim nultog modela uz pomoć kojeg su dobiveni nepoznati parametri poput gustoće, izrađena dva modela. Za sve proračune je korišten MS Excel.

Prvi model je pretpostavio nepromijenjenu dinamiku odvoza miješanog komunalnog otpada (2 puta tjedno za kućanstva, 3/5 puta za zgrade) te smanjenu dinamiku odvoza reciklabilnog otpada (svaki drugi tjedan i za kućanstva i za zgrade). Na taj način se očekuje prikupljanje 54.905,7 t miješanog komunalnog otpada te 4.503,9 t reciklabilnog otpada. Iz navedenih podataka je vidljivo da bi stopa odvajanja bila 8,20 %.

Drugi model je pretpostavio smanjenje dinamike odvoza miješanog komunalnog otpada na jedan put tjedno za kućanstva te 2/3 puta za zgrade, dok bi se reciklabilni otpad odvezio svaki tjedan za obje grupe korisnika, za razliku od ranije. Na taj način se očekuje prikupljanje 39.860,8 t miješanog komunalnog otpada te 16.857,1 t reciklabilnog otpada. Stopa odvajanja otpada bi stoga bila 42,29 %, što je vrlo veliki skok u odnosu na ranije, te ide u korak s ciljevima Europske Unije, koji su postavljeni na ambicioznih 55 % do 2025. godine.

Zaključno, napravljen je izračun utjecaja promjene dinamike odvoza otpada na troškove odvoza. Ustanovljeno je kako bi se primjenom drugog modela moglo doći do značajnih ušteda, tj. troškovi odvoza bi iznosili 80,1 % dosadašnjih troškova.

7. LITERATURA

- [1] C. A. F. F. I. B. Carlos Afonso Teixeira, »Statistical analysis in MSW collection performance assessment,« *ScienceDirect*, svez. 34, br. 9, pp. 1584-1594, 2014.
- [2] *Zakon o gospodarenju otpadom*, NN 84/21 , 2021.
- [3] G. C. Chalwin P., *From waste to resource: An abstract of world waste survey*, 2009.
- [4] A. Anić-Vučinić, *Osnove gospodarenja otpadom*, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2014.
- [5] <https://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje-otpadom/1345>, pristupljeno: 25.6.2022..
- [6] M. B. G. Di Foggia, »Improving efficiency in the MSW collection and disposal service combining price cap and yardstick regulation: The Italian case,« *ScienceDirect*, svez. 79, pp. 223-231, 2018.
- [7] R. K. I. V.-R. Luis Izquierdo-Horna, »Reviewing the influence of sociocultural, environmental and economic variables to forecast municipal solid waste (MSW) generation,« *ScienceDirect*, 2022.
- [8] E. P. i. suradnici, »Izvješće o komunalnom otpadu za 2021. godinu,« 2022.
- [9] m. i. Hrvatska enciklopedija, *Zadar*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
- [10] <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20180328STO00751/gospodarenje-otpadom-u-eu-u>, 2021, pristupljeno 13.7.2022..
- [11] Z. Z. V. S. M. C. G. Tavares, »Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling,« *ScienceDirect*, svez. 29, br. 3, pp. 1176-1185, 2009.

8. POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1 - Prikaz količine proizvedenog komunalnog otpada po državama [4] | 2 |
| Slika 2 - Udjeli komponenata miješanog komunalnog otpada [4]..... | 4 |
| Slika 3 - Odlagalište Diklo..... | 9 |
| Slika 4 - Spremnici za otpad (reciklabilni, papir i karton, miješani komunalni otpad te biootpad) | 9 |
| Slika 5 - Prostorni raspored spremnika..... | 12 |
| Slika 6 - Količine miješanog i reciklabilnog otpada tijekom 2021. godine..... | 15 |
| Slika 7 - Prikaz količina miješanog i reciklabilnog otpada temeljem 1. modela..... | 17 |
| Slika 8 - Prikaz količina miješanog i reciklabilnog otpada temeljem 2. modela..... | 19 |

9. POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1 - Tablica pomoću koje su izvedeni potrebni izračuni za izradu modela..... | 14 |
| Tablica 2 - Izračun mase otpada prikupljenog određenom dinamikom..... | 14 |
| Tablica 3 - Prikaz broja spremnika s pripadajućim udjelima | 20 |