

Procjena životnog ciklusa sustava gospodarenja komunalnim otpadom: studija slučaja grad Dubrovnik

Matić, Matea

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:152120>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

**PROCJENA ŽIVOTNOG CIKLUSA SUSTAVA
GOSPODARENJA KOMUNALNIM OTPADOM: STUDIJA
SLUČAJA GRAD DUBROVNIK**

DIPLOMSKI RAD

MATEA MATIĆ

Matični broj: 287

Split, travanj 2022.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ KEMIJSKA TEHNOLOGIJA
MATERIJALI**

**PROCJENA ŽIVOTNOG CIKLUSA SUSTAVA
GOSPODARENJA KOMUNALNIM OTPADOM: STUDIJA
SLUČAJA GRAD DUBROVNIK**

DIPLOMSKI RAD

MATEA MATIĆ

Matični broj: 287

Split, travanj 2022.

**UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
GRADUATE UNIVERSITY STUDY OF CHEMICAL TECHNOLOGY
MATERIALS**

**LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL WASTE
MANAGEMENT SYSTEMS: A CASE STUDY OF THE
CITY OF DUBROVNIK**

DIPLOMA THESIS

MATEA MATIĆ

Matični broj: 287

Split, April 2022

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu

Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu

Studij: Diplomski sveučilišni studij Kemijska tehnologija, smjer: Materijali

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Kemijsko inženjerstvo

Tema rada prihvaćena je na VI. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu, održanoj 15. i 16. 12. 2020. godine

Mentor: izv. prof. dr. sc. Ivana Smoljko

PROCJENA ŽIVOTNOG CIKLUSA SUSTAVA GOSPODARENJA KOMUNALNIM OTPADOM: STUDIJA SLUČAJA GRAD DUBROVNIK

Matea Matić, 287

Sažetak

U ovom diplomskom radu analizirano je integralno gospodarenje komunalnim otpadom primjenom aplikacijske programske podrške za procjenu životnog ciklusa *Integrated Waste Management Model*. Integralno gospodarenje otpadom podrazumijeva cjelovito sagledavanje životnog vijeka otpada i njegovo kruženje (kretanje) u okolišu zbog optimalnog upravljanja otpadom uz visok stupanj zaštite zdravlja i očuvanje okoliša. Procjena životnog ciklusa sustava gospodarenja komunalnim otpadom promatrana je na primjeru Grada Dubrovnika. Na temelju podataka o otpadu za 2019. godinu za Grad Dubrovnik razmatrana su četiri scenarija gospodarenja komunalnim otpadom u skladu s ciljevima EU Direktive o otpadu. Analizom i usporedbom utjecaja na okoliš svih scenarija gospodarenja otpadom ukazalo se na ključne razlike u postupanju s otpadom. Predložene su smjernice razvoja budućeg učinkovitijeg sustava gospodarenja komunalnim otpadom koji bi imao najmanje štetnih posljedica na okoliš i kvalitetu života.

Ključne riječi: procjena životnog ciklusa, komunalni otpad, sustavi gospodarenja otpadom

Rad sadrži: 83 stranice, 17 slika, 26 tablica, 2 priloga i 33 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

| | |
|--|-------------|
| 1. prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović | predsjednik |
| 2. doc. dr. sc. Mario Nikola Mužek | član |
| 3. izv. prof. dr. sc. Ivana Smoljko | član-mentor |

Datum obrane: 22. travnja 2022. godine

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.

BASIC DOCUMENTATION CARD

DIPLOMA THESIS

University of Split

Faculty of Chemistry and Technology Split

Study: Graduate University Study of Chemical Technology, Materials

Scientific area: Technical Sciences

Scientific field: Chemical Engineering

Thesis subject was approved by the Faculty of Chemistry and Technology in Split, session no. VI. (15 and 16 December 2020).

Mentor: Ph. D. Ivana Smoljko, Associate Professor

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT SYSTEMS: A CASE STUDY OF THE CITY OF DUBROVNIK

Matea Matić, 287

Abstract

The life cycle assessment software Integrated Waste Management Model is used to study integrated municipal waste management in this diploma thesis. Integral waste management entails a holistic perspective of wastes' life cycle and movement (circulation) in the environment in order to achieve optimal waste management with a high level of health and environmental protection. On the example of the City of Dubrovnik, the assessment of the life cycle of the municipal waste management system was observed. Based on 2019 waste data for the City of Dubrovnik, four municipal waste management scenarios were explored in compliance with the EU Waste Directive's objectives. The environmental impact of all waste management scenarios was analyzed and compared, revealing significant disparities in waste management. Guidelines for the construction of a future efficient municipal waste management system with the fewest negative environmental and quality-of-life effects have been offered.

Keywords: life cycle assessment, municipal waste, solid waste management system

Thesis contains: 83 pages, 17 figures, 26 tables, 2 supplements and 33 references

Origin in: Croatian

Defence committee:

- | | |
|---|--------------|
| 1. Ph. D. Nediljka Vukojević Medvidović, Full Professor | chair person |
| 2. Ph. D. Mario Nikola Mužek, Assistant Professor | member |
| 3. Ph. D. Ivana Smoljko, Associate Professor | supervisor |

Defence date: 22 April 2022

Printed and electronic (pdf format) version of the thesis is deposited in Library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

Diplomski rad izrađen je u Zavodu za elektrokemiju i zaštitu materijala Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu, pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Ivane Smoljko, u razdoblju od lipnja 2021. do ožujka 2022. godine.

Posebno se zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Ivani Smoljko na odabiru teme, pronalasku prikladne literature, mnogobrojnim korisnim savjetima i pomoći pri pisanju ovog diplomskog rada .

Također se zahvaljujem svojim roditeljima, cjelokupnoj obitelji i prijateljima koji su mi bili neizmjerne podrška tijekom školovanja.

Matea Matić

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Analizirati sustav gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika primjenom aplikacijske programske podrške za procjenu životnog ciklusa *Integrated Waste Management Model* (IWM). Na temelju podataka o otpadu: porijeklo, sastav i vrste otpada, sakupljanje, prijevoz, uporaba uključujući razvrstavanje i odlaganje otpada za 2019. godinu za Grad Dubrovnik predložiti tri varijante gospodarenja komunalnim otpadom zbog ostvarivanja ciljeva Direktiva EU o otpadu. Učinkovitost postojećeg sustava gospodarenja otpadom promatrati u odnosu na ciljeve EU-a i ciljeve koji su određeni u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017. – 2022. i u Izmeni Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine. Kvantificirati utjecaj sustava gospodarenja otpadom na okoliš pomoću kategorije utjecaja (utjecaj na zdravlje ljudi, utjecaj na kvalitetu ekosustava, klimatske promjene i resursi; potencijal globalnog zatopljenja, potencijal zakiseljavanja, potencijal nastajanja smoga i toksičnost za čovjeka).

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu analizirano je integralno gospodarenje komunalnim otpadom primjenom aplikacijske programske podrške za procjenu životnog ciklusa *Integrated Waste Management Model*. Integralno gospodarenje otpadom podrazumijeva cjelovito sagledavanje životnog vijeka otpada i njegovo kruženje (kretanje) u okolišu zbog optimalnog upravljanja otpadom uz visok stupanj zaštite zdravlja i očuvanje okoliša. Procjena životnog ciklusa sustava gospodarenja komunalnim otpadom promatrana je na primjeru Grada Dubrovnika. Na temelju podataka o otpadu za 2019. godinu za Grad Dubrovnik razmatrana su četiri scenarija gospodarenja komunalnim otpadom u skladu s ciljevima EU Direktive o otpadu. Analizom i usporedbom utjecaja na okoliš svih scenarija gospodarenja otpadom ukazalo se na ključne razlike u postupanju s otpadom. Predložene su smjernice razvoja budućeg učinkovitijeg sustava gospodarenja komunalnim otpadom koji bi imao najmanje štetnih posljedica na okoliš i kvalitetu života.

Ključne riječi: procjena životnog ciklusa, komunalni otpad, sustavi gospodarenja otpadom

ABSTRACT

The life cycle assessment software Integrated Waste Management Model is used to study integrated municipal waste management in this diploma thesis. Integral waste management entails a holistic perspective of wastes' life cycle and movement (circulation) in the environment in order to achieve optimal waste management with a high level of health and environmental protection. On the example of the City of Dubrovnik, the assessment of the life cycle of the municipal waste management system was observed. Based on 2019 waste data for the City of Dubrovnik, four municipal waste management scenarios were explored in compliance with the EU Waste Directive's objectives. The environmental impact of all waste management scenarios was analyzed and compared, revealing significant disparities in waste management. *Guidelines for the construction of a future efficient municipal waste management system with the fewest negative environmental and quality-of-life effects have been offered.

Keywords: life cycle assessment, municipal waste, solid waste management systems

SADRŽAJ :

| | |
|---|----|
| UVOD | 1 |
| 1. OPĆI DIO | 4 |
| 1.1. OTPAD | 5 |
| 1.1.1. Komunalni otpad..... | 6 |
| 1.1.2. Proizvodni otpad..... | 9 |
| 1.2. GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ | 11 |
| 1.2.1. Gospodarenje komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj u 2019. godini | 13 |
| 1.3. PRIMJENA LCA METODOLOGIJE U VREDNOVANJU SUSTAVA GOSPODARENJA OTPADOM | 19 |
| 1.3.1. Faza definiranja cilja i opsega predmeta i područja primjene LCA-e | 20 |
| 1.3.2. Faza analize inventara životnog ciklusa - LCI..... | 21 |
| 1.3.3. Faza ocjenjivanja utjecaja životnog ciklusa - LCIA | 21 |
| 1.3.4. Faza interpretacije životnog ciklusa | 22 |
| 1.3.5. Primjena LCA metodologije | 23 |
| 1.4. GRAD DUBROVNIK | 27 |
| 1.4.1. Zbrinjavanje komunalnog otpada kroz povijest Grada Dubrovnika..... | 29 |
| 1.4.2. Komunalni otpad u Gradu Dubrovniku | 30 |
| 2. EKSPERIMENTALNI DIO | 31 |
| 2.1. LCA GOSPODARENJA OTPADOM U GRADU DUBROVNIKU | 32 |
| 3. REZULTATI | 54 |
| 3.1. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA | 55 |
| 4. RASPRAVA | 67 |
| 4.1. USPOREDBA SUSTAVA GOSPODARENJA OTPADOM | 68 |
| 4.2.1. Usporedba Scenarija 1 i Scenarija 2 sustava gospodarenja otpadom | 69 |
| 4.2.2. Usporedba Scenarija 1 i Scenarija 3 sustava gospodarenja otpadom | 71 |
| 4.2.3. Usporedba Scenarija 1 i Scenarija 4 sustava gospodarenja otpadom | 71 |
| 5. ZAKLJUČAK | 72 |
| 6. LITERATURA | 74 |
| 7. PRILOZI | 78 |

UVOD

Okoliš je prirodno ili stvoreno okruženje u kojem žive čovjek i druga bića; ukupnost svih prirodnih i stvorenih vrijednosti, kojima svojim djelovanjem upravlja čovjek. Razvoj industrije i rast svjetske populacije uzrokuju crpljenje prirodnih resursa i stvaranje sve većih količina otpada, zagađenje vode, zraka i tla. Sve to rezultira narušavanjem prirodne ravnoteže sustava zbog čega odgovarajuća obrada otpada postaje jedan od prioriteta pri smanjenju negativnih utjecaja na okoliš.

Svjesni svih vrsta šteta u okolišu i potrebe za daljnjim sprečavanjem negativnog djelovanja otpada zajedno s potrebom saniranja onečišćenih područja, usvojeni su propisi za područje gospodarenja otpadom, razvile aktivnosti i mjere zaštite okoliša i održivog razvoja kako u svijetu tako i u Republici Hrvatskoj.^{1,2}

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj je jedno od najvažnijih pitanja zaštite okoliša, kao i jedno od najzahtjevnijih područja u smislu usklađivanja sa standardima Europske unije. U Republici Hrvatskoj su trenutno na snazi dva različita niza kvantitativnih ciljeva gospodarenja otpadom. Jedan skup ciljeva koji je bio definiran Zakonom o održivom gospodarenju otpadom³ i podzakonskim aktima, sada Zakonom o gospodarenju otpadom,⁴ a drugi je Planom gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022.⁵ (PGO 2017 – 2022) te Izmjenama Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine.⁶ Ciljevi gospodarenja otpadom i rokovi definirani u Okvirnoj direktivi o otpadu 2008/98/EZ, Direktivi o ambalaži i ambalažnom otpadu 94/62/EZ, Direktivi o odlagalištima 1999/31/EZ, Direktivi o baterijama 2006/66/EZ, Direktivi o otpadnim vozilima 2000/53/EZ i Direktiva o otpadu električne i elektroničke opreme 2012/19/EU, preneseni su u hrvatsko zakonodavstvo o gospodarenju otpadom 2013. godine kroz Zakon o održivom gospodarenju otpadom i podzakonske akte te 2021. godine kroz Zakon o gospodarenju otpadom.

Politike i propisi iz područja gospodarenja otpadom ističu potrebu učinkovitog gospodarenja otpadom kroz cjeloviti sustav gospodarenja. Kako bi se izbjegle neželjene posljedice za okoliš i društvo u cjelini potrebno je analizirati utjecaje na okoliš procesa, proizvoda i usluga u sustavima gospodarenja otpadom, tj. u cjeloživotnom ciklusu. Analitički alat koji se primjenjuje u analizi održivosti procesa, proizvoda i usluga je procjena životnog ciklusa (LCA, engl. *Life-Cycle assessment*) (HRN EN ISO 14040:2008). U početku se LCA koristila kao metoda analize svih životnih etapa proizvoda „od kolijevke do groba“, ali se od ranih 1990-ih počela koristiti i za gospodarenje otpadom. Do danas su razvijene brojne LCA

programske podrške za proučavanje sustava gospodarenja otpadom koje se razlikuju po složenosti algoritma, jednostavnosti korištenja i opsegu namjene.⁷

U kontekstu gospodarenja otpadom ako su dostupni podaci o količinama i sastavu proizvedenog komunalnog otpada, podaci o postojećim i/ili o planiranim postupcima obrade otpada, podaci o potrošnji energije i materijala primjenom LCA metodologije mogu se identificirati dijelovi sustava koje je moguće unaprijediti i/ili se mogu usporediti različite opcije gospodarenja komunalnim otpadom te utvrditi optimalna.⁸⁻¹⁴

U ovom diplomskom radu analizirano je integralno gospodarenje komunalnim otpadom primjenom aplikacijske LCA programske podrške *Integrated Waste Management Model* (IWM) koja je razvijena na Sveučilištu Waterloo u Kanadi. Integralno gospodarenje otpadom podrazumijeva cjelovito sagledavanje životnog vijeka otpada i njegovo kruženje (kretanje) u okolišu zbog optimalnog upravljanja otpadom kroz ekonomsku, socijalnu i teritorijalnu koheziju te visok stupanj zaštite zdravlja i očuvanje okoliša. Procjena životnog ciklusa sustava gospodarenja otpadom promatrana je na primjeru Grada Dubrovnika. Analiziran je sustav gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika te su na temelju podataka o otpadu: porijeklo, sastav, vrste otpada, sakupljanje, prijevoz, uporaba uključujući razvrstavanje i odlaganje otpada za 2019. godinu za Grad Dubrovnik razmatrane tri varijante gospodarenja komunalnim otpadom zbog ostvarivanja ciljeva Direktiva EU o otpadu. Analizom i usporedbom utjecaja na okoliš četiriju scenarija sustava gospodarenja otpadom pokušalo se ukazati na ključne razlike u postupanju s otpadom kako bi se mogle predložiti smjernice razvoja budućeg učinkovitijeg sustava gospodarenja komunalnim otpadom koji bi imao najmanje štetnih posljedica na okoliš i kvalitetu života.

1. OPĆI DIO

1.1. OTPAD

Pod terminom otpad podrazumijeva se odbačeni materijal, proizvod ili predmet koji se više ne upotrebljava, odnosno nije upotrebljiv u prvobitnom obliku. Prema definiciji, otpad je svaka tvar koju posjednik odbacuje, ili namjerava, odnosno mora odbaciti. Svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, obrada i prijevoz nužni u svrhu zaštite javnog interesa smatra se otpadom.¹⁵



Slika 1. Vrste otpada.

Prema svojstvima djelovanja na okoliš i zdravlje ljudi otpad se razvrstava na inertni, opasni i neopasni (slika 1):

- neopasni otpad je svaki otpad koji ne posjeduje jedno ili više opasnih svojstava
- opasni otpad je svaki otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstava
- inertni otpad je otpad koji ne podliježe značajnim kemijskim, fizikalnim ili biološkim promjenama. Nije zapaljiv, topljiv, niti je biorazgradljiv. Inertni otpad ne reagira fizikalno ili kemijski. S tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje na takav način da utječe na zdravlje ljudi, biljni i životinjski svijet ili na povećanje dozvoljene emisije u okoliš.¹⁵

Prema mjestu nastanka razlikuju se:

- komunalni otpad je miješani komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz kućanstava, uključujući papir i karton, staklo, metal, plastiku, biootpad, drvo, tekstil, ambalažu, otpadnu električnu i elektroničku opremu, otpadne baterije i akumulatore te glomazni otpad, uključujući madrace i namještaj te miješani

komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz drugih izvora, ako je taj 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 subjekata¹⁶

- proizvodni otpad je otpad koji nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, osim ostataka iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača.

1.1.1. Komunalni otpad

Pod pojmom „komunalni otpad“ svrstava se otpad koji nastaje u kućanstvu, otpad koji nastaje čišćenjem javnih površina i otpad koji je po prirodi i svojstvima sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz šumarstva i poljoprivrede.¹⁵

Značajke krutog komunalnog otpada su:

- količina: godišnja, mjesečna, tjedna, dnevna
 - sastav:
 - fizikalni: sadržaj pojedinih komponenti (papir, staklo itd.) u otpadu
 - kemijski: sadržaj pojedinih kemijskih elemenata i spojeva u otpadu
 - srednja gustoća
 - vlažnost
 - toplinska vrijednost: gorivi i negorivi dio otpada.
- Količina (*KO*) je osnovni podatak nužan za rješavanje problema krutog otpada. U određivanju ove veličine polazi se od specifične (jedinične) količine, *s*, koja se obično izražava u kg/dan/stanovnik. Poznavanjem ove veličine i broja stanovnika, *M*, mogu se procjenjivati težinske količine otpada za razna razdoblja razvoja sustava i u raznim godišnjim dobima prema izrazu 1:

$$KO \text{ [kg/dan]} = s \text{ [kg/dan/stanovnik]} \cdot M \text{ [stanovnik]} \quad (1)$$

- Sastav komunalnog otpada

- Fizikalni sastav komunalnog otpada jedan je od osnovnih parametara (uz količinu otpada) kojeg treba poznavati pri izboru sustava za upravljanje otpadom, izboru tehnologije obrade otpada, dimenzioniranju sustava primarnog i sekundarnog recikliranja, dimenzioniranju volumena odlagališta i općenito prilikom rada s komunalnim otpadom. Također, fizikalni sastav komunalnog otpada je najvažniji čimbenik koji utječe na definiranje sastava procjedne vode na mjestu gdje se otpad privremeno ili konačno odlaže te odlagališnog plina, a time i mogućeg utjecaja na okoliš.

Pod fizikalnim sastavom komunalnog otpada podrazumijeva se udio pojedinih vrsta otpada u ukupnoj masi, izražen u postotku ukupne težine ili volumena.

- Kemijski sastav komunalnog otpada je pokazatelj potreban kod izbora načina obrade komunalnog otpada i njegovog eventualnog korištenja kao sekundarne sirovine te za analizu mogućeg utjecaja na okoliš. Osnovni pokazatelji koje obično treba odrediti su: sadržaj organske tvari, amonijačnog i nitričnog dušika, fosfora, kalija, kalcija, ugljika, klorida, sulfata te pH vrijednost otpada.

- Srednja gustoća otpada (γ) jedan je od osnovnih parametara koji se koriste kod proračuna zapreminskog prostora odlagališta, broja i veličine spremnika ili drugih sredstava za spremanje i prijevoz otpada, te kod izbora mehanizacije za rad na odlagalištu. Ovisi o sastavu otpada, srednjim gustoćama pojedinih komponenti i vlažnosti otpada. Ispituje se u laboratoriju na osnovi srednjeg uzorka, a izražava u t/m^3 ili kg/l te računa po sljedećem izrazu:

$$\gamma = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad (2)$$

gdje je:

γ - srednja gustoća

M_1 – masa otpada sa spremnikom za mjerenje ([t] ili [kg])

M_2 – masa spremnika ([t] ili [kg])

V – volumen posude.

• Vlažnost otpada (W) krutog komunalnog otpada ima veliko značenje u biokemijskim procesima njegove razgradnje. To je također važan pokazatelj koji se koristi za dimenzioniranje prijevoznih sredstava, provođenje antikorozivne zaštite tih sredstava, kao i za izbor načina obrade otpada. Vlažnost se utvrđuje eksperimentalno u laboratoriju, pri čemu se koristi sljedeći izraz:

$$W[\%] = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100 \quad (3)$$

gdje je :

W – vlažnost otpada [% u odnosu na masu uzorka]

m_1 – masa uzorka prije sušenja [g]

m_2 – masa suhog uzorka [g].

• Toplinska vrijednost otpada je također značajan parametar jer je 50 – 80 % sastojaka u otpadu gorivo. To je vrlo bitno ako se otpad pri spaljivanju koristi za proizvodnju topline. Izražava se u kJ/kg ili MJ/kg. Toplinska moć ovisi o sastavu otpada. Naime, dobru toplinsku moć imaju papir, tekstil, plastične mase, drveni otpad itd., a lošu toplinsku moć imaju metal, kamen, staklo itd. Ako kalorična vrijednost otpada KV nije poznata, tada se može približno izračunati prema formuli:

$$KV [kJ/kg] = 2,326 \cdot (145,5 \cdot C + 620 \cdot (H - 0,125 \cdot O) + 41 \cdot S) \quad (4)$$

gdje je:

C – ugljik [%]

H – vodik [%]

O – kisik [%]

S – sumpor [%].

Biorazgradivi komunalni otpad je otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede, šumarstva, a koji u svom sastavu sadrži biološki razgradivi otpad.

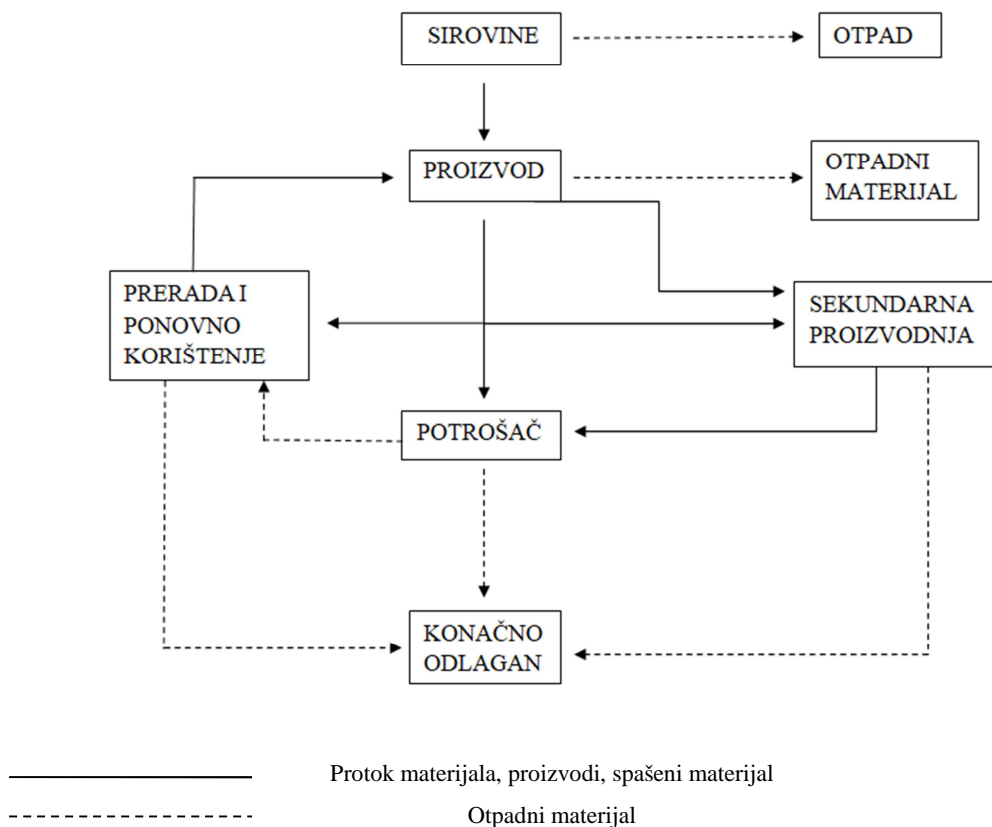
Uz komunalni otpad i biorazgradivi komunalni otpad razlikuje se i miješani komunalni otpad. Pod miješani komunalni otpad uz otpad iz kućanstva ubraja se i otpad iz trgovina, industrije i iz ustanova koji su po svom sastavu i svojstvima sličnim otpadu iz kućanstva, a da iz njega nisu izdvojeni pojedini materijali nekim posebnim postupkom (papir, staklo i dr.).¹⁷

1.1.2. Proizvodni otpad

Otpad koji nastaje u proizvodnim procesima industrije, obrtu i drugim procesima, osim ostataka iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača, a po svome sastavu se razlikuje od komunalnog otpada.¹⁷

Kruti otpad se općenito stvara na početku procesa izrade proizvoda prilikom dobivanja sirovine, zatim tijekom uporabe proizvoda, ali i nakon uporabe proizvoda. Pokretač cijeloga procesa je čovjek, a mjesto potrošnje, odnosno uporabe proizvoda i posljedičnog stvaranja otpada su naselja u kojima ljudi žive, kao i proizvodni pogoni. Budući da stanovništvo sve više živi u gradovima oni se mogu dugoročno smatrati glavnim izvorima krutog komunalnog otpada i problema vezanih za njegovo zbrinjavanje.

Shematski prikaz mjesta i načina stvaranja krutog otpada, općenito u suvremenom tehnološkom društvu, prikazuje slika 2.



Slika 2. Životni ciklus materijala i stvaranje otpada u tehnološki razvijenom društvu.¹⁷

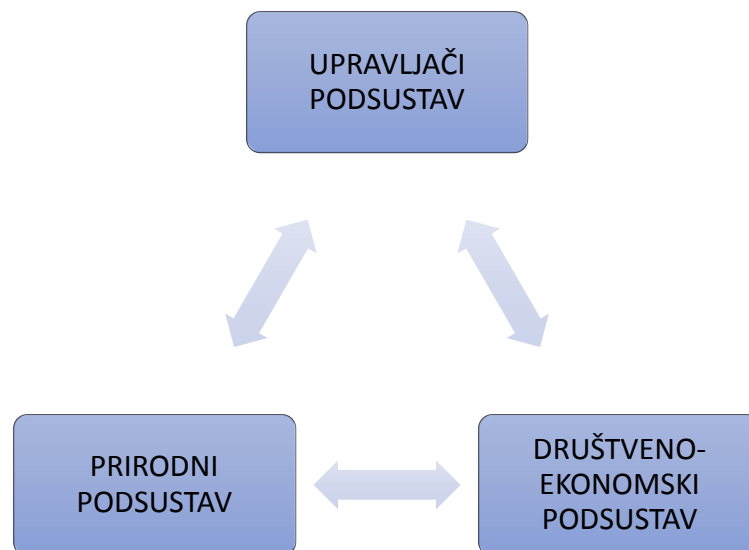
Analizom prikazanog dijagrama može se zaključiti kako bi najučinkovitiji način smanjenja otpada bio ograničavanje korištenja sirovina i povećanje ponovnog iskorištavanja otpadnog materijala. To je polazište svih suvremenih strategija održivosti razvoja i življenja.

1.2. GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Gospodarenje otpadom podrazumijeva skup odluka, aktivnosti i mjera kojima se mora težiti u svrhu sprječavanja nastanka otpada, smanjivanja količine nastalog otpada i smanjivanju ukupnog utjecaja otpada na okoliš. Postizanje što učinkovitijeg sakupljanja, prijevoza, obrade, uporabe i konačnog zbrinjavanje otpada također se podrazumijeva pod gospodarenjem otpada.¹⁵

Sustav gospodarenja otpadom mora biti učinkovit i cjelovit kako bi se postigli ciljevi održiva razvoja. To je složeni gospodarski sustav koji se sastoji od niza dijelova i procesa, a pojednostavljeno ga se može prikazati kao cjelinu sastavljenu od tri međusobno povezana osnovna podsustava (slika 3):

- prirodni podsustav
- društveno ekonomski podsustav
- upravljački podsustav.



Slika 3. Sustav gospodarenja otpadom i njegovi osnovni podsustavi.

Prirodni podsustav je prirodni okoliš koji je konačni prijatelj otpada i nusproizvoda njegove razgradnje, odnosno mjesto gdje otpad prije ili kasnije završi.

Društveno-ekonomski podsustav s jedne strane stvara otpad korištenjem raznovrsnih materijala i proizvoda te potrošnjom hrane i energije, a s druge strane određuje okvir

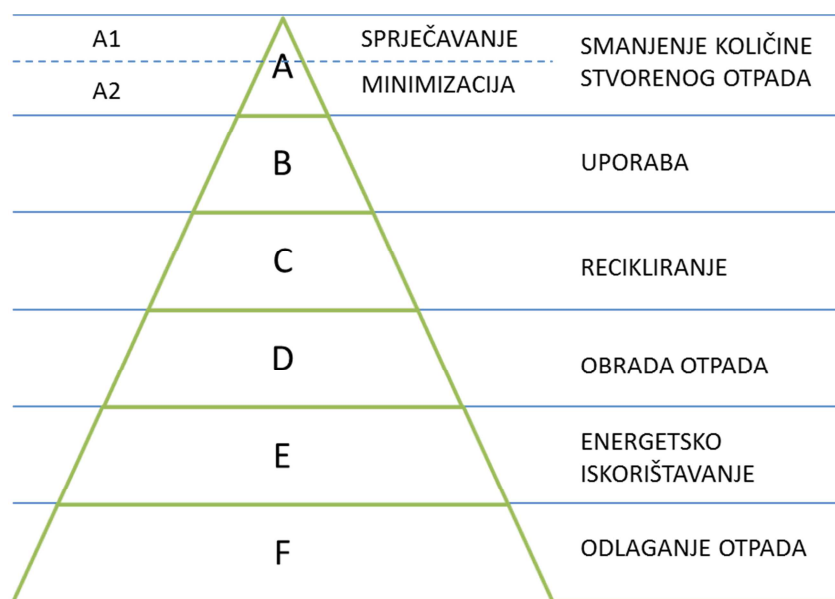
(financijski, pravni, socijalni, tehnološki itd.) unutar kojeg se provodi gospodarenje otpadom, a sve s ciljem održivog življenja i razvoja.

Upravljački podsustav obuhvaća sve elemente važne za upravljanje otpadom i to od njegova nastanka, preko ponovnog iskorištavanja sve do konačnog zbrinjavanja i odlaganja. Upravljački podsustav nastoji uspostaviti ravnotežu između prirodnog i društveno-ekonomskog podsustava na načelima održiva razvoja, vodeći podjednako računa o ekonomskim, društvenim i ekološkim ciljevima.

Sustav gospodarenja otpadom je dinamičan sustav, sustav i njegovi podsustavi stalno se mijenjaju zbog unutrašnjih i vanjskih čimbenika, kao i zbog tehnološkog razvoja. U pokušaju sprječavanja nastajanja velike količine otpada usvojena je hijerarhija mjera i aktivnosti za održivo gospodarenje otpadom. Mjere se dijele u dvije osnovne grupe: aktivne mjere i pasivne mjere.

Aktivne mjere su one kojima se utječe na sprječavanje nastanka otpada (odnosno na smanjenje količina nastalog otpada) i njegova štetnog utjecaja na okoliš kroz samu proizvodnju i potrošnju proizvoda. Pasivne mjere razmatraju posljedice nastanka otpada. To su mjere koje se odnose na prikupljanje, prijevoz, privremeno skladištenje, iskorištavanje, obradu i konačno zbrinjavanje otpada, a sve kako bi se postigla što bolja zaštita ljudi, mjesta njihova življenja i okoliša.

Na sljedećoj slici prikazana je hijerarhija integralnog sustava gospodarenja otpadom.



Slika 4. Hijerarhija integralnog sustava gospodarenja otpadom.

Na slici 4 u hijerarhijskom pristupu aktivne mjere označene su s A i B i to su prioritetne mjere jer se odnose na sprječavanje problema i šteta te očuvanje prirodnih resursa. Pasivne mjere označene su s C i D.

Gospodarenje otpadom se provodi na način koji ne dovodi u opasnost zdravlje ljudi i način koji nema štetne posljedice na okoliš, a posebno izbjegavanje sljedećeg:

- ugrožavanje biološke raznolikosti i rizik od onečišćenja voda, mora, zraka i tla
- pojava neugode uzrokovane mirisom i/ili bukom
- štetan utjecaj na područja estetskih, prirodnih, kulturno-povijesnih i drugih vrijednosti koje su od posebnog interesa
- nastajanje požara ili eksplozije.¹⁸

Gospodarenjem otpadom se mora osigurati da preostali otpad nakon postupka obrade i zbrinjavanja ne predstavlja potencijalnu opasnost budućim generacijama.

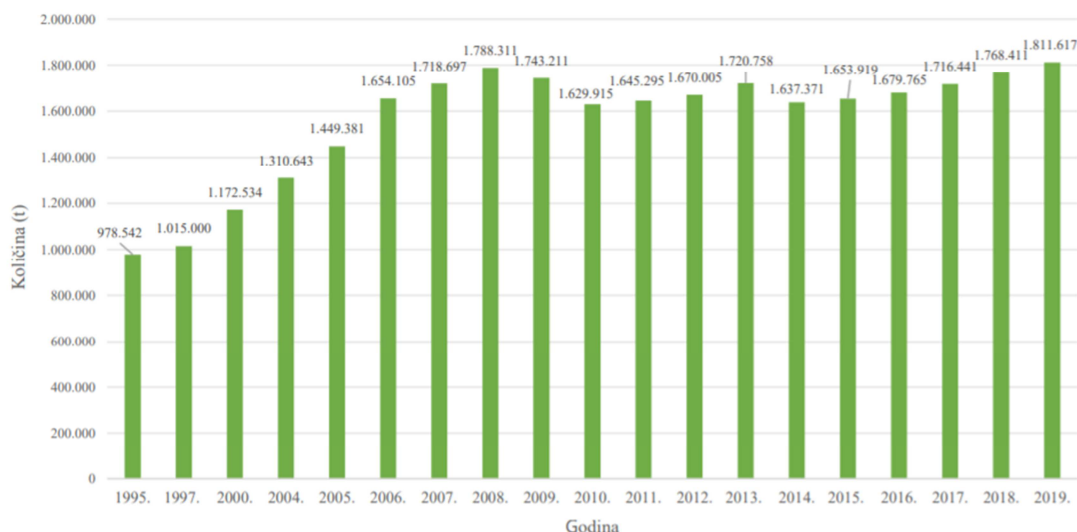
1.2.1. Gospodarenje komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj u 2019. godini

Dugogodišnji rast (od 1995. godine) količina proizvedenog komunalnog otpada u RH zaustavljen je 2008. godine, nakon čega je do 2010. godine slijedilo smanjenje prijavljenih količina, što se može pripisati gospodarskoj krizi. Od 2010. godine nadalje količine uglavnom stagniraju, s izuzetkom 2013. godine, kada se uslijed sanacije divljih odlagališta bilježe ipak nešto veće količine proizvedenog komunalnog otpada. Od 2011. godine nadalje u ukupne količine komunalnog otpada ubrajaju se i količine koje potječu iz uslužnog sektora, a koji se smatraju komunalnim otpadom (otpadni papir i karton, ambalažni otpad itd).

U 2019. godini se nastavio trend porasta količina nastalog komunalnog otpada. Nastalo je ukupno 1 811 617 tona što odgovara vrijednosti od 444 kg po stanovniku. Riječ je o porastu od 2 % u odnosu na količinu nastalu u prethodnoj 2018. godini (slika 5). Odvojeno je sakupljeno 670 769 t komunalnog otpada^a. Stopa odvojenog skupljanja iznosila je 37 %, što je povećanje od 6 % u odnosu na 2018. godinu. Oporabljeno je 547 716 t komunalnog otpada, a stopa uporabe iznosila je 30 %. Reciklirano je 547 004 t komunalnog otpada, a stopa uporabe iznosila je 30 %, što je povećanje za 5 % u odnosu na 2018. godinu. Također, odloženo je 1 072 727 t

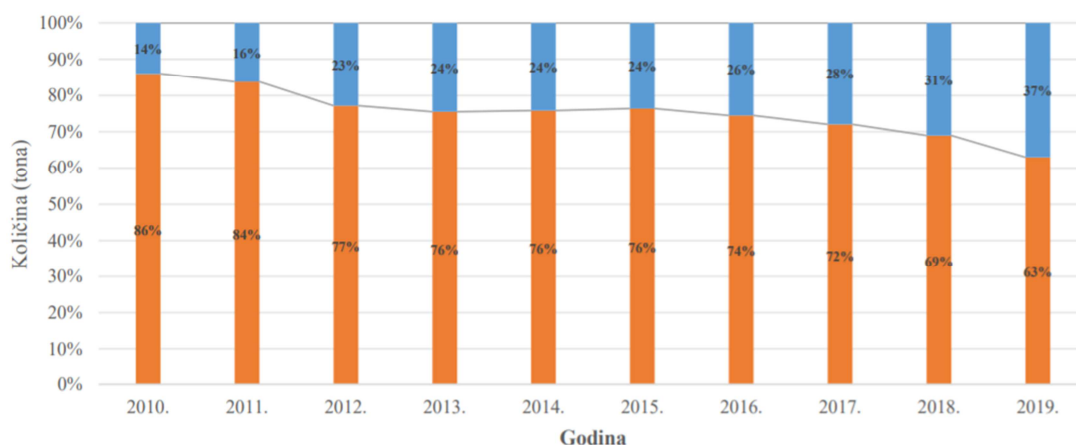
^a Sve vrste komunalnog otpada, osim miješanog komunalnog otpada

komunalnog otpada, odnosno 59 % nastalog komunalnog otpada, što je smanjenje od 7 % u odnosu na 2018. godinu.¹⁹



Slika 5. Godišnje količine nastalog komunalnog otpada u RH u razdoblju od 1995. do 2019. godine.¹⁹

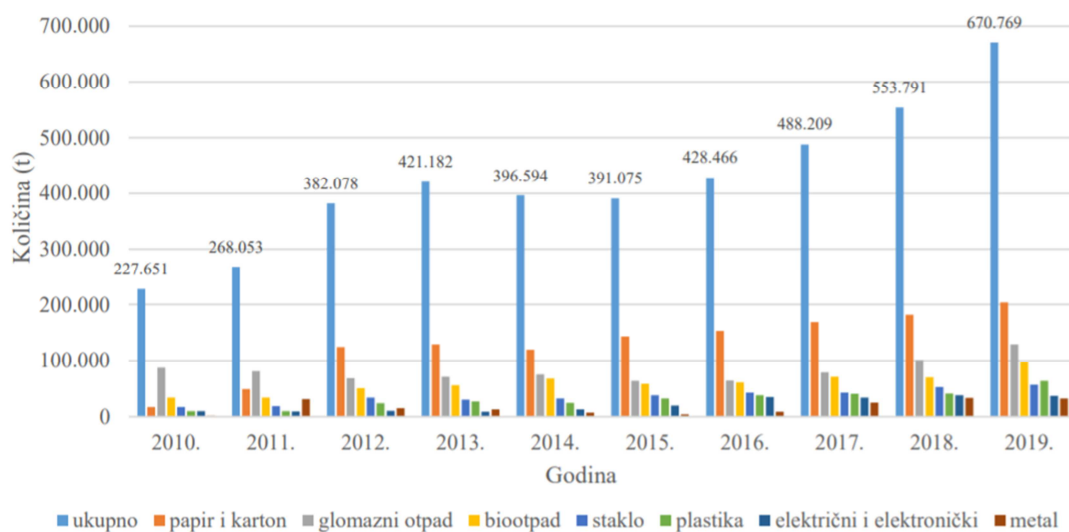
U ukupnim količinama komunalnog otpada, miješani komunalni otpad činio je 63 % dok su ostatak od 37 % činile ostale vrste otpada uključujući i miješane frakcije poput glomaznog otpada, ostataka od čišćenja ulica i sl. Time se udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada (ostalih vrsta komunalnog otpada^b) povećao za 6 % u odnosu na 2018. godinu što je vidljivo iz slike 6.



Slika 6. Udio miješanog komunalnog otpada i odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH u razdoblju od 2010. do 2019.¹⁹

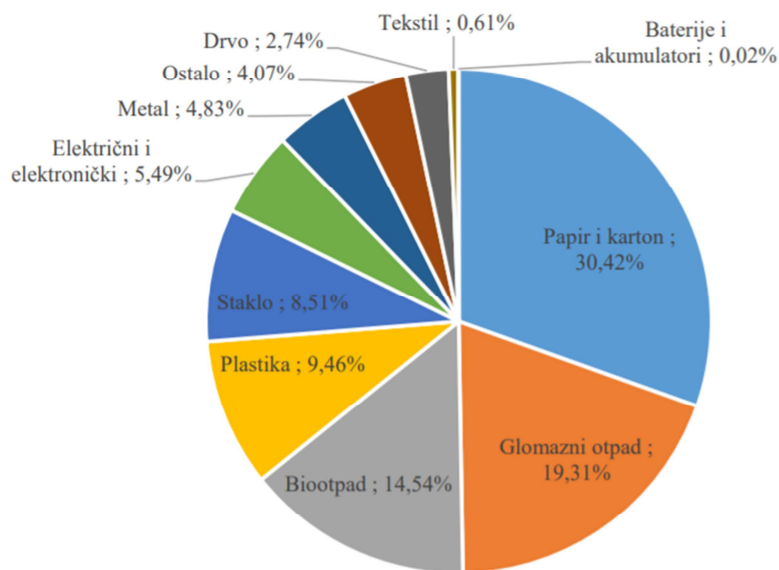
^b Sve vrste komunalnog otpada osim miješanog komunalnog otpada.

Količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u 2019. godini iznosila je 670 769 t, što je za 116 978 tona više nego u 2018. godini (slika 7).



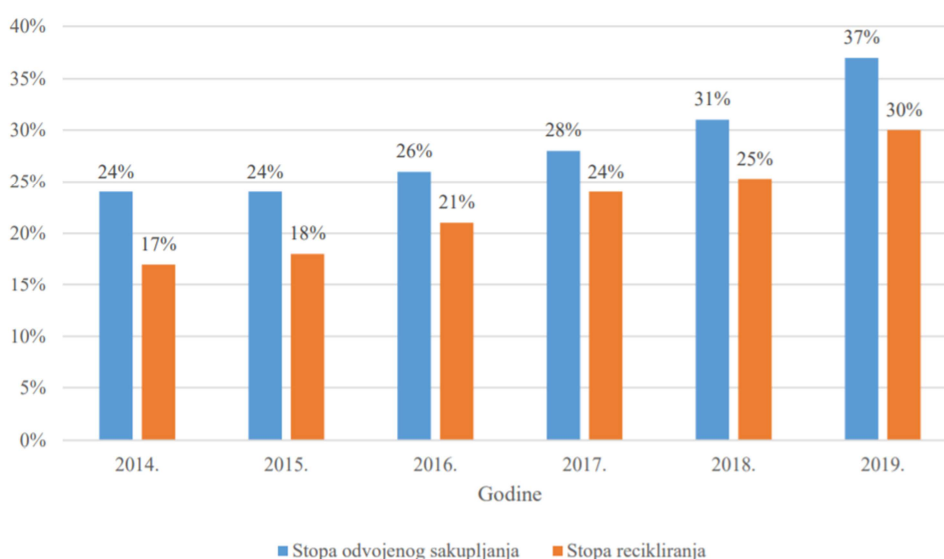
Slika 7. Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u RH u razdoblju od 2010. do 2019.¹⁹

U odvojeno sakupljenom komunalnom otpadu najveći udio činile su sljedeće vrste otpada: papir i karton, glomazni otpad, biootpad i plastika, što je prikazano na slici 8. Udio odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 37 % još uvijek nije dovoljan za ostvarenje Cilja 1.3. PGO RH prema kojem je odvojeno sakupljanje komunalnog otpada u 2019. godini trebalo dosegnuti vrijednost od 44 %.



Slika 8. Odvojeno sakupljeni komunalni otpad u 2019. godini, po vrstama.¹⁹

Na uporabu je upućeno 547 716 tona komunalnog otpada, a na recikliranje 547 004 tona komunalnog otpada. Time je stopa uporabe u 2019. godini za RH iznosila 30 %, isto kao i stopa recikliranja. Riječ je o povećanju od 5 % u odnosu na 2018. godinu, kako je i prikazano na slici 9. Iako se radi o nezanemarivom povećanju (prosječno je prethodnih godina ova stopa rasla 2 – 3 %), stopa uporabe je i dalje niža od ciljane vrijednosti za 2020. godinu, koja je propisana člankom 55. ZOGO i iznosi 50 %.¹⁹



Slika 9. Stope odvojenog sakupljanja komunalnog otpada i stope recikliranja od 2014. do 2019. godine.¹⁹

Odlagališta na koja se odlagao komunalni otpad u 2019. godini prijavila su da su odložila ukupno 1 511 730 t (371 kg/stanovnik) otpada, od čega 1 073 706 t otpada iz grupe 20 i podgrupe 15 01, koji jednim dijelom sadrži i proizvodni ambalažni otpad, i 438 024 t ostalog otpada. Miješanog komunalnog otpada (20 03 01) na prostoru Republike Hrvatske odloženo je 956 529 t. Najveće količine komunalnog otpada odložene su u Splitsko-dalmatinskoj županiji (20,3 %) i u Gradu Zagrebu (19,7 %). Na uporabu se nije uputila sva količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada, već je dio završio na odlagalištima otpada, gdje se eventualno određena količina izdvojila za potrebe uporabe. Navedene količine nisu evidentirane u Informacijskom sustavu gospodarenja otpadom. U 2019. godini 59 % komunalnog otpada je upućeno na odlaganje što je smanjenje od 8 % u usporedbi s 2018. godinom. Uz 59 % nastalog komunalnog otpada upućenog na odlaganje i 30 % oporabljenog otpada, ostatak od 11 % ukupno nastalog otpada upućeno je na ostale postupke uporabe/zbrinjavanja i to uglavnom u postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada (MBO postrojenja), dok se manji dio odnosi na procijenjene količine za neobuhvaćeni dio stanovništva, količine koje su privremeno uskladištene te količine zbrinute nekim od ostalih postupaka predobrade.²⁰

Osnovni ciljevi gospodarenja otpadom RH proizlaze iz ocjene stanja gospodarenja otpadom i obvezama koje proizlaze iz EU zakonodavstva i propisa. Ciljevi za gospodarenje otpadom koje je potrebno postići do 2022. godine prikazani su u tablici 1.³

Tablica 1. Ciljevi za gospodarenje otpadom koje je potrebno postići do 2022. godine³

| Br. | Cilj | | |
|-----|---|----------|---|
| 1. | Unaprijediti sustav gospodarenja komunalnim otpadom | Cilj 1.1 | Smanjiti ukupnu količinu proizvedenog komunalnog otpada za 5% |
| | | Cilj 1.2 | Odvojeno prikupiti 60% mase proizvedenog komunalnog otpada (prvenstveno papir, staklo, plastika, metal, biootpad i dr.) |
| | | Cilj 1.3 | Odvojeno prikupiti 40% mase proizvedenog biootpada koji je sastavni dio komunalnog otpada |
| | | Cilj 1.4 | Odložiti na odlagališta manje od 25% mase proizvedenog komunalnog otpada |
| 2. | Unaprijediti sustav gospodarenja posebnim kategorijama otpada | Cilj 2.1 | Odvojeno prikupiti 75% mase proizvedenog građevnog otpada |
| | | Cilj 2.2 | Uspostaviti sustav gospodarenja otpadnim muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda |
| | | Cilj 2.3 | Unaprijediti sustav gospodarenja otpadnom ambalažom |
| | | Cilj 2.4 | Uspostaviti sustav gospodarenja morskim otpadom |
| | | Cilj 2.5 | Uspostaviti sustav gospodarenja otpadnim brodovima, podrtinama i potonulim stvarima na morskom dnu |
| | | Cilj 2.6 | Unaprijediti sustav gospodarenja ostalim posebnim kategorijama otpada |
| 3. | Unaprijediti sustav gospodarenja opasnim otpadom | | |
| 4. | Sanirati lokacije onečišćene otpadom | | |
| 5. | Kontinuirano provoditi izobrazno-informativne aktivnosti | | |
| 6. | Unaprijediti informacijski sustav gospodarenja otpadom | | |
| 7. | Unaprijediti nadzor nad gospodarenjem otpadom | | |
| 8. | Unaprijediti upravne postupke u gospodarenju otpadom | | |

Revizija zakonodavstva o otpadu 2020. godine rezultirala je usvajanjem četiri nove Direktive o otpadu, poznate kao „paket otpada“. Ovim je direktivama izmijenjeno šest postojećih direktiva o otpadu. Radi usklađenja sa spomenutim zahtjevima EU-a u pogledu sadržaja i novih mjera zakonodavstva o otpadu, Vlada Republike Hrvatske donijela je izmijene PGO 2017-2022. U izmjenama PGO 2017-2022 je procijenjena učinkovitost ciljeva i njihovo usklađenje s EU ciljevima, napredak implementacije i usklađenost mjera i aktivnosti definiranih u PGO 2017-2022 sa zakonodavstvom EU o otpadu za 2022. godinu, dok će novi Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za sljedeće plansko razdoblje 2023. – 2029. godine biti u potpunosti utemeljen na ciljevima do 2035. godine.

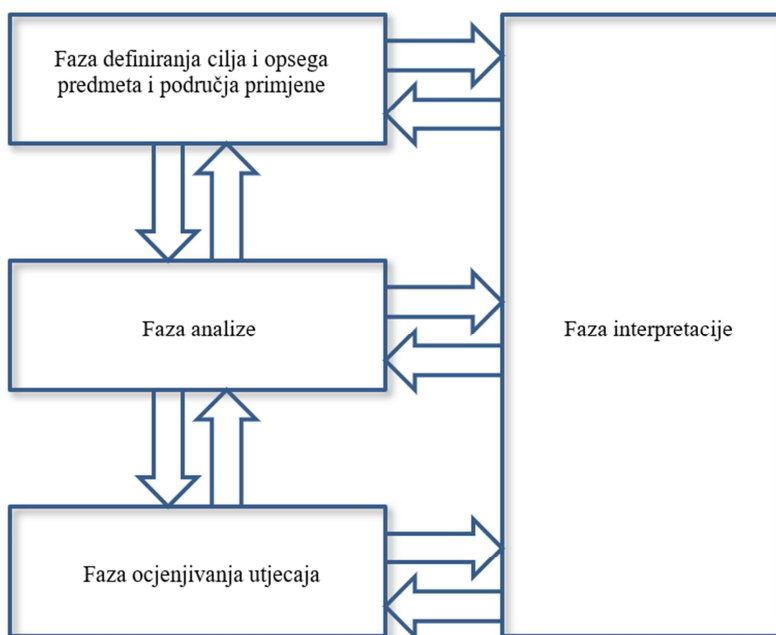
1.3. PRIMJENA LCA METODOLOGIJE U VREDNOVANJU SUSTAVA GOSPODARENJA OTPADOM

Procjena cjeloživotnog ciklusa znanstveni je pristup koji stoji iza politike zaštite okoliša i poslovnih odluka koje se odnose na održivu potrošnju i proizvodnju. To je jedan od alata za implementaciju razmatranja cjeloživotnog ciklusa proizvoda, robe ili usluge.

LCA je strukturirana metoda koja obuhvaća sve važne emisije i resurse povezane s utjecajem na okoliš i zdravlje te cijeli životni ciklus proizvoda, usluge ili robe od eksploatacije resursa, preko proizvodnje, korištenja i recikliranja pa do zbrinjavanja preostalog otpada.²¹

U skladu s HRN EN ISO 14040:2008 LCA metodologija dijeli se na četiri iterativne faze (slika 10):

1. fazu definiranja cilja i opsega predmeta i područja primjene LCA-e
2. fazu analize inventara životnog ciklusa – LCI (engl. *Life Cycle Inventory Analysis*)
3. fazu procjene utjecaja životnog ciklusa – LCIA (engl. *Life Cycle Impact Assessment*)
4. fazu interpretacije životnog ciklusa.²²



Slika 10. Faze procjene životnog ciklusa proizvoda.¹⁰

1.3.1. Faza definiranja cilja i opsega predmeta i područja primjene LCA-e

U ovoj fazi definira se svrha uporabe analize i opseg (širina i dubina) analize. Potrebno je jednoznačno odrediti potrebne informacije, koliko točni moraju biti rezultati i kako se trebaju interpretirati i prikazati kako bi bili značajni i upotrebljivi. U cilju osiguranja efektivne uporabe vremena i resursa, na početku LCA potrebno je donijeti šest osnovnih odluka:

1. Definirati svrhu projekta - primarni cilj je izabrati najbolji proizvod, proces ili uslugu koja će imati najmanje štetnog utjecaja na čovjekovo zdravlje i okoliš. Upotreba LCA može također pomoći u razvoju novih proizvoda, procesa ili aktivnosti sa smanjenom potrošnjom energije i prirodnih resursa te smanjenom emisijom.
2. Odlučiti koje vrste informacija su relevantne za donošenje odluka - LCA može pomoći odgovoriti na mnoga važna pitanja. Identificiranje pitanja koja će pomoći u donošenju odluke za definiranje parametara koji se promatraju. Neki od primjera su:
 - Koji proizvodi ili procesi najmanje utječu na okoliš tijekom cijelog ili u pojedinoj fazi životnog vijeka?
 - Kako će promijene trenutnih proizvoda/procesa utjecati na okoliš tijekom svih faza životnog vijeka?
 - Koja tehnologija/proces uzrokuje najmanju količinu kiselih kiša ili nastajanja smoga?
 - Kako se proces može unaprijediti kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš ?
3. Odrediti zahtijevane specifičnosti - LCA je zamišljena kao set povezanih aktivnosti koje opisuju nastajanje, upotrebu i krajnje odlaganje proizvoda ili materijala. Stoga, u cilju razumijevanja krajnjih rezultata preporučuje se jasno određivanje razina detalja.
4. Odrediti organizaciju podataka i prikaz rezultata - kako bi se prikladno opisale funkcije proizvoda ili procesa koje se proučavaju u LCA podaci trebaju biti organizirani kao funkcionalne jedinice. Pažljivo odabrana funkcionalna jedinica kod mjerenja i prikaza rezultata poboljšat će točnost analize i iskoristivosti rezultata. Funkcionalna jedinica je veza između

proizvodnog procesa i izmjene tvari i energije s okolišem, tj. veličina o kojoj najviše ovisi izmjena.

5. Definirati opseg proučavanja - zadatak definicije opsega analize jest identificiranje predmeta analize, kao i definiranje granica koje će obuhvatiti sve ono što se smatra svrhom analize.
6. Odrediti osnovna pravila izvođenja - prije prelaska na iduću fazu analize važno je definirati neke logističke procedure procesa kao što su dokumentiranje pretpostavki, postupci osiguranja kvalitete proizvoda i zahtjev za izvještavanjem.²³

1.3.2. Faza analize inventara životnog ciklusa - LCI

LCI definira sustav kao skup materijalno ili energijski povezanih elementarnih procesa koji imaju jednu ili više definiranih funkcija. Cilj ove faze je prikupiti sve relevantne podatke unutar definiranih granica sustava, a to uključuje:

- prikupljanje podataka i određivanje jedinice procesa, tj. veza između proizvodnog procesa i izmjene tvari i energije s okolišem, odnosno veličina o kojoj najviše ovisi izmjena
- popis izmjena tvari i energije s okolišem unutar proizvodnog sustava ograničenog granicama sustava
- prezentaciju podataka na transparentan način.²³

1.3.3. Faza ocjenjivanja utjecaja životnog ciklusa - LCIA

Faza ocjenjivanja utjecaja uključuje procjenu potencijalnih utjecaja na ljudsko zdravlje i okoliš na temelju podataka o potrošnji energije i emisija u okoliš, dobivenih u prethodnoj fazi. LCIA se provodi sljedećim postupcima:

1. Izbor i definiranje kategorija utjecaja - identifikacija relevantnih kategorija utjecaja na okoliš pri čemu su utjecaji na ljudsko zdravlje, ekosustave, ali i na dostupnost prirodnih resursa u budućnosti, definirani kao negativne posljedice uzrokovane ulaznim i izlaznim tokovima sustava.

2. Klasifikacija utjecaja - pripisivanje rezultata iz faze LCI kategorijama utjecaja pri čemu se jedna veličina može svrstati u više kategorija utjecaja.
3. Karakterizacija - modeliranje podataka dobivenih u LCI fazi unutar kategorija utjecaja pomoću konverzijskih faktora. Ti faktori služe kako bi se veličine dobivene u LCI fazi analize prikazali reprezentativnim indikatorima utjecaja na zdravlje ljudi i ekosustava. Indikatori utjecaja dobivaju se množenjem podataka o količinama tvari s odgovarajućim konverzijskim faktorom.
4. Normalizacija - izražavanje potencijalnih utjecaja na način kako bi se utjecaja mogli uspoređivati unutar kategorija utjecaja. Svrha je izračunati do kojeg nivoa određena kategorija ima utjecaj na ukupno opterećenje okoliša. Normalizacija se vrši na način da se dobiveni indikatori utjecaja podijele s odabranom referentnom vrijednošću, npr. ukupna emisija pojedine kategorije u određenoj regiji po glavi stanovnika tijekom određenog vremenskog razdoblja.
5. Grupiranje - razvrstavanje više kategorija utjecaja zbog što bolje interpretacije rezultata analize prema području interesa (npr. razvrstavanje utjecaja na geografskoj osnovi: lokalno, regionalno ili globalno).
6. Ocjenjivanje - određivanje najznačajnijih potencijalnih utjecaja na okoliš.
7. Elaboriranje rezultata LCIA faze.²³

1.3.4. Faza interpretacije životnog ciklusa

Interpretacija je posljednja faza LCA metodologije. To je sistematična tehnika koja uključuje skup metoda za identificiranje, kvantificiranje, provjeravanje i ocjenjivanje informacija dobivenih u prethodne dvije faze (LCI i LCIA). Iz svih dobivenih informacija potrebno je generirati kvalitetne zaključke.¹⁰ Prema normi ISO 14043, faza interpretacije uključuje sljedeće:

- analizu rezultata, donošenje zaključaka, objašnjenje ograničenja, donošenje preporuka aktivnosti na temelju provedene analize, izvještavanje o rezultatima interpretacije rezultata na transparentan način
- jasnu, kompletnu i konzistentnu prezentaciju kompletne LCA, a u skladu sa definicijom cilja i opsega analize.²³

1.3.5. Primjena LCA metodologije

LCA metodologija može pomoći u ocjenjivanju važnosti pojedinih mjera u hijerarhijskom konceptu gospodarenja otpadom, na način da uzima u obzir djelovanje na okoliš svih procesa koji se javljaju u životnom ciklusu sustava gospodarenja otpadom. Metodologija postaje važan alat za uspoređivanje različitih sustava gospodarenja otpadom i olakšava donošenje odluka o optimalnom načinu postupanja s otpadom. Ukoliko su dostupni podaci o količinama i sastavu proizvedenog komunalnog otpada, podaci o postojećim i/ili o planiranim postupcima obrade otpada, podaci o potrošnji energije i materijala koristeći LCA metodologiju mogu se identificirati dijelovi sustava koje je moguće unaprijediti i/ili se mogu usporediti različite opcije gospodarenja komunalnim otpadom te utvrditi optimalna. Za procjenu životnog ciklusa komunalnog otpada može se upotrijebiti sva navedena razmatranja. Kaže se da životni ciklus otpada započinje kada se proizvod odbaci, a završava se kada se otpadni materijal degradira ili kada se vraća u tehnološki sustav recikliranjem. Utjecaj otpada na okoliš ovisi o:

1. dizajnu proizvoda – količina i sastav otpada ovisi o vrsti i količini materijala koji je upotrijebljen za izradu određenog proizvod, vijeku trajanja proizvoda, stupnju rastavljanja i recikličnosti materijala
2. uporabi proizvoda - tokovi otpada definiraju se uzimajući u obzir i ulogu korisnika proizvoda koji je proizvod odabrao, kupio, uporabio i na kraju odložio kao dotrajali proizvod
3. postupcima obrade komunalnog otpada.

Kao glavna prednost korištenja LCA prilikom analize sustava gospodarenja otpadom ističe se sveobuhvatan pregled procesa i njihovog djelovanja na okoliš. Danas se koristi veliki broj računalnih aplikacija pri provedbi LCA, a rezultati dobiveni spomenutim aplikacijama koriste se kao podrška pri odlučivanju sustava gospodarenja otpadom. U LCA za analizu otpada koriste se različite kategorije, a neke od najkorištenijih su: onečišćenje ozonskog omotača, fotokemijsko onečišćenje, globalno zatopljenje, eutrofikacija, acidifikacija i utjecaj na ljudsko zdravlje.²⁴

U tablici 2 navedeni su neki od računalnih aplikacija za provedbu LCA sustava gospodarenja otpadom. Različite računalne aplikacije fokusirane su na različite aspekte. Dok su neke od aplikacija fokusirane na ekonomske faktore, druge uključuju aspekte životne sredine.²⁵

Tablica 2. Prikaz računalnih aplikacija za LCA gospodarenja otpadom²⁵

| Računalna aplikacija | Autor | Elementi koje pokriva LCA | Broj supstanci koje obuhvaća |
|--|--|---------------------------|------------------------------|
| UMBERTO | Institut za software inženjerstvo (Njemačka) | LCI/LCIA | Bez ograničenja |
| ORWARE (ORganic WAste REsearch) | Sveučilište (Švedska) | LCI/LCIA | Zrak:69 Voda:68 |
| DST (Decision Support Toll) | Sveučilište/ Istraživački institut (USA) | LCI/LCIA | Zrak:23 Voda:17 |
| EPIC/CSR (Environment and Plastic Industry Council/Corporation Supporting Recycling) | Industrijska asocijacija (Kanada) | LCI | Zrak:12 Voda:17 |
| EASETECH (Environmental Assessment for Environmental TECHNOlogies) | Sveučilište (Danska) | LCI/LCIA | Zrak:45 Voda:45 |
| IWM-2 (Integrated WasteManagement) | Korporacija Procter & Gamble's (UK) | LCI | Zrak:24 Voda:27 |

Računalne aplikacije omogućuju korištenje LCA za planiranje gospodarenja otpadom i utvrđivanje utjecaja promjena u sustavu na okoliš.

UMBERTO je računalna aplikacija razvijena na Institutu za software inženjerstvo u blizini Hamburga. Bazira se na gospodarenje čvrstim otpadom, ima mogućnost modeliranja troškova, optimizacije procesa, upravljanje okolišem i procjenu životnog ciklusa. Karakteriziran je visokim stupnjem fleksibilnosti, ali i niskom osjetljivošću na vrste otpada na ulazu.

Aplikacija ORWARE razvijena je u suradnji s Institutom za zaštitu okoliša i poljoprivrednog inženjerstva, Sveučilištem poljoprivrednih znanosti i Institutom za istraživanje okoliša u Švedskoj. Omogućuje godišnji proračun protoka tvari, ekološke aspekte i troškove sustava gospodarenja otpadom. Koristi se kao alat za procjenu troškova i utjecaja sustava upravljanja otpadom na okoliš. Početna upotreba

ovog modela bila je usmjerena na organski otpad iz kućanstava i industrije, ali u međuvremenu je proširen i na druge frakcije, odnosno materijale u otpadu.

DST računalna aplikacija, razvijena u suradnji s Istraživačkim institutom Sjeverne Karoline (RTI) i Američkom agencijom za zaštitu okoliša (USEPA), instrument je za procjenu integriranog sustava gospodarenja otpadom bazirajući se na utjecaj na okoliš i gospodarstvo. Također je alat za podršku donositeljima odluka na lokalnoj razini. DST aplikacija nudi mogućnost izmjena u svim implementiranim procesima u aplikaciji, ali implementacija novih procesa predstavlja problem, odnosno nedostatak ove računalne aplikacije.

Kanadska računalna aplikacija EPIC/CSR razvijena u suradnji s korporacijom CSR i Vijećem EPIC alat je koji pruža informacije o ekološkim učincima i različitim elementima postojećih ili tipičnih sustava gospodarenja otpadom. Pruža informacije koje doprinose odlukama o odabiru elemenata integriranog sustava gospodarenja otpadom. Aplikacija obuhvaća procese koji se mogu donekle promijeniti, ali ne dopušta veće promjene.

Računalna aplikacija EASETECH osmišljena je za procjenu potrošnje resursa i potencijalnih utjecaja na okoliš sustava gospodarenja krutim komunalnim otpadom. Ovaj model uključuje procjenu utjecaja na okoliš zbog stvaranja, sakupljanja, obrade i odlaganje otpada, uz to pruža potpunu fleksibilnost u redefiniranju podataka na bilo kojoj razini, od stvaranja otpada, prikupljanja, transporta do obrade i odlaganja.

Računalna aplikacija IWM-2 uključuje opus životnog ciklusa komunalnog čvrstog otpada, ali ne i procjenu utjecaja na životni ciklus te pruža mogućnost procjene i usporedbe učinka sustava gospodarenja otpadom iz ekološke i ekonomske perspektive. Ova aplikacija korištena je za LCA u ovom diplomskom radu.¹¹

Iako LCA pruža brojne prednosti, ona ima značajna ograničenja u pogledu primjenjivosti i izvršenja. Neki od ovih nedostataka uključuju:

- kvalitetna provedba analize životnog ciklusa može zahtijevati velika novčana ulaganja, stoga u nekim slučajevima nije pogodna za primjenu u manjim tvrtaka
- dostupnost podataka često je ograničena
- podatci nisu zadovoljavajuće kvalitete
- moguća nedovoljna transparentnost rezultata, što može ometati primjenu

- prilikom provedbe analize u obzir se ne uzimaju socijalni i ekonomski utjecaj na životni ciklus proizvoda i/ili sustava
- prilikom interpretacije i općenito tijekom provedbe analize u pitanje se može dovesti razina stručnosti osoba odgovornih za donošenje odluka.

1.4. GRAD DUBROVNIK

Dubrovnik je grad na krajnjem jugu Republike Hrvatske, jedno je od najvažnijih povijesno-turističkih središta Republike Hrvatske i administrativno i gospodarsko središte Dubrovačko-neretvanske županije. Područje na kojem se prostire Grad Dubrovnik zauzima površinu od 143 35 km² (slika 11).



Slika 11. Dubrovačko područje.

Prema popisu stanovnika iz 2011. godine Dubrovnik je imao 42 615 stanovnika. Grad Dubrovnik sastoji se od 32 naselja: Bosanka, Brsečine, Čajkovića, Čajkovići, Donje Obuljeno, Dubravica, Dubrovnik, Gornje Obuljeno, Gromača, Kliševo, Knežica, Koločep, Komolac, Lopud, Lozica, Ljubač, Mokošica, Mravinjac, Mrčevo, Nova Mokošica, Orašac, Osojnik, Petrovo Selo, Pobrežje, Prijedor, Rožat, Suđurađ, Sustjepan, Luka Šipanska, Šumet, Trsteno i Zaton.²⁶ Popis stanovništva po naseljima Grada Dubrovnika prikazan je u tablici 3.²⁷

Tablica 3. Popis stanovništva po naseljima Grada Dubrovnika²⁷

| NASELJE | POPIS STANOVNIŠTVA 2011. GODINE |
|-----------------|---------------------------------|
| Bosanka | 139 |
| Brsečine | 96 |
| Čajkovicica | 160 |
| Čajkovići | 26 |
| Donje Obuljeno | 210 |
| Dubravica | 37 |
| Dubrovnik | 28 434 |
| Gornje Obuljeno | 124 |
| Gromača | 146 |
| Kliševo | 54 |
| Knežica | 133 |
| Koločep | 163 |
| Komolac | 320 |
| Lopud | 249 |
| Lozica | 146 |
| Ljubač | 69 |
| Mokošica | 1924 |
| Mravinjac | 88 |
| Mrčevo | 90 |
| Nova Mokošica | 6016 |
| Orašac | 631 |
| Osojnik | 301 |
| Petrovo Selo | 23 |
| Pobrežje | 118 |
| Prijedor | 453 |
| Rožat | 340 |
| Suđurađ | 207 |
| Sustjepan | 323 |
| Luka Šipanska | 212 |
| Šumet | 176 |
| Trsteno | 222 |
| Zaton | 985 |
| UKUPNO | 42 615 |

1.4.1. Zbrinjavanje komunalnog otpada kroz povijest Grada Dubrovnika

Godine 1395. Malo vijeće grada Dubrovnika, koje je bilo zaduženo za komunalne poslove u Gradu, zaposlilo je prvog čistača po imenu Prvoje Pribudić. Taj prvi čistač imao je plaću od dvadeset perpera, što je iznosilo otprilike pet do šest dukata godišnje. To isto Malo vijeće godine 1415. osniva stalnu službu gradskih čistača i upošljava četiri čistača, koji su imali obavezu prikupiti sav otpad u Gradu i iznijeti ga izvan gradskih zidina. Zanimljivo je da je svaki vlasnik kuće ili trgovine imao obavezu čistiti prostor koji im pripada, a ne pridržavanje pravila bilo je strogo kažnjavano čak i u to vrijeme.²⁷

Danas Tvrtka Čistoća d.o.o. Dubrovnik obavlja prikupljanje, odvoz i zbrinjavanje komunalnog otpada koji nastaje u kućanstvima, poslovnim prostorima i ustanovama na području grada Dubrovnika.

Sustav gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika jest sustav odvojenog prikupljanja otpada. Pojedine komponente komunalnog otpada se odvojeno prikupljaju putem reciklažnih dvorišta i spremnika na javnim površinama koji su raspoređeni na raznim lokacijama diljem grada.

Čistoća d.o.o. Dubrovnik u pogonu u Župi dodatno razvrstava prikupljeni otpad i kao takav predaje ga uz predaju pratećeg lista kojim se prati tijek otpada ovlaštenim oporabiteljima.

Pomoću odvojenog sakupljanja otpada ujedno se smanjuje količina otpada koja bi se trajno odložila na odlagalište, a i prikupljaju se sekundarne sirovine koje se ponovno mogu iskoristiti u materijalne ili energetske svrhe.

Prikupljanje miješanog komunalnog otpada izvodi se u spremnicima koji se nalaze na javnim površinama duž grada. Prikupljanje se u prosijeku vrši šest puta tjedno, iznimno sedam puta tjedno za uže gradsko područje te dva puta tjedno van sezone s Elafita, odnosno tri puta tjedno u sezoni.

1.4.2. Komunalni otpad u Gradu Dubrovniku

Uvid u postojeće stanje gospodarenja otpadom, postojeće i buduće količine, kao i sastav otpada, potreban je radi prijedloga rješenja u sklopu cjelovitog sustava gospodarenja otpadom te precizno definiranje takvog komunalnog otpada, od mjesta njegova nastanka do mjesta konačnog zbrinjavanja. Na odlagalištu komunalnog otpada Grabovica te u reciklažnom dvorištu i mobilnom reciklažnom dvorištu vodi se evidencija o količinama i sastavu otpada koji se sakuplja te doprema na odlagalište.

Vrste i količine komunalnog otpada nastale na području Grada Dubrovnika prikazane su po osnovnim grupama otpada definiranim ZGO-om, relevantnima i specifičnima za jedinice lokalne samouprave. Tako su u daljnjim tablicama prikazane sljedeće kategorije otpada:

1. miješani komunalni otpad – otpad iz kućanstava i otpad iz trgovina, industrije i iz ustanova koji je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava, iz kojeg posebnim postupkom nisu izdvojeni pojedini materijali (kao što je papir, staklo i dr.) te je u Katalogu otpada označen kao 20 03 01
2. krupni (glomazni) komunalni otpad – predmet ili tvar koju je zbog zapremine i/ili mase neprikladno prikupljati u sklopu usluge prikupljanja miješanog komunalnog otpada
3. biorazgradivi komunalni otpad – otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede, šumarstva, a koji u svom sastavu sadrži biološki razgradiv otpad
4. otpadni papir, metal, staklo, plastika i tekstil; problematični otpad – opasni otpad iz podgrupe 20 01 Kataloga otpada koji uobičajeno nastaje u kućanstvu te opasni otpad koji je po svojstvima, sastavu i količini usporediv s opasnim otpadom koji uobičajeno nastaje u kućanstvu pri čemu se problematičnim otpadom smatra sve dok se nalazi kod proizvođača tog otpada.²⁸

Usporede li se s podacima iz 2018. godine, kada je količina miješanog komunalnoga otpada iznosila 25 355,2 tone vidljivo je smanjenje ukupne količine proizvedenog miješanog komunalnog otpada. Također, u odnosu na 2018. godinu povećan je broj prikupljenog otpada po pojedinom ključnom broju što pokazuje sve veće razvrstavanje otpada na području Grada Dubrovnika.

2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1. LCA GOSPODARENJA OTPADOM U GRADU DUBROVNIKU

U ovom radu analiziran je sustav gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika primjenom LCA programske podrške integralnog gospodarenja komunalnim otpadom *Integrated Waste Management Model* (IWM). Na temelju podataka o otpadu: porijeklo, sastav, kategorije i vrste otpada, sakupljanje, prijevoz, uporaba uključujući razvrstavanje i odlaganje otpada za 2019. godinu za Grad Dubrovnik preložene su tri varijante gospodarenja komunalnim otpadom radi ostvarivanja ciljeva Direktiva EU o otpadu. Učinkovitost postojećeg sustava gospodarenja otpadom promatrana je u odnosu na ciljeve EU-a i ciljeve koji su određeni u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017. – 2022. (PGO 2017 – 2022) i u Izmjeni Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine.

Budući da se radi o stvarnim problemima, koji su stavljeni u kontekst specifičnog okruženja, korištena je znanstvena metoda studija slučaja. Za razliku od ciljanih metoda, studija slučaja koristi induktivnu logiku za odgovor na probleme koji zahtijevaju temeljito razumijevanje događaja.²⁹

Osnovni postupak u ovoj studiji slučaja sastojao se u sagledavanju svih aspekata sustava gospodarenja otpadom, proučavanju međuovisnosti različitih varijabli svake varijante gospodarenja otpadom, uzimajući kao jedinicu analize lokalnu zajednicu, tj. Grad Dubrovnik.

2.1.1. Definiranje cilja i opsega LCA

Cilj LCA sustava gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika je utvrđivanje utjecaja na okoliš postojećeg sustava gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika i usporedba s tri varijante postupanja s otpadom. Postojeći sustav gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika uključuje skupljanje komunalnog otpada uz odvajanje korisnih komponenti otpada na izvoru uz odlaganje otpada na odlagalište bez prethodne obrade i odvajanja (Scenarij 1). Tri varijante (Scenarij 2, 3 i 4) opisuju sustave usklađene s redom prvenstva gospodarenja otpadom, tj. sprječavanje nastanka otpada, priprema za ponovnu uporabu, recikliranje, ostali postupci uporabe npr. energetska uporaba i odlaganje.

Skupljanje miješanog komunalnog otpada bez odvajanja korisnih vrsta otpada na mjestu nastanka odnosno „kućnom pragu“ primjenjuje se gdje nije moguće postaviti više spremnika za otpad na „kućnom pragu“ zbog prostornih ograničenja za smještaj spremnika, transportnih ograničenja i ekonomski neisplativog transporta. Biootpad bi se skupljao odvojeno u zasebnom spremniku na mjestu nastanka. Biootpad sakupljen na području Grada Dubrovnika obrađivao bi se kompostiranjem u kompostani u Centru za gospodarenje otpadom Lučino razdolje (trenutno u projektnoj fazi). Odvojeno skupljanje otpadnog papira, plastike, stakla, metala i tekstila bilo bi omogućeno putem zelenih otoka odakle bi se predalo osobi ovlaštenoj za obavljanje odgovarajuće djelatnosti gospodarenja otpadom ili u centar za gospodarenje otpadom (biootpad) Lučino razdolje. Nadalje u Centru za gospodarenje otpadom obrađivao bi se i ostatno odlagao obrađeni miješani komunalni otpad i određene kategorije proizvodnog otpada. Otpad bi se energetske oporabio uz kogeneraciju toplinske i električne energije.

Scenariji 2, 3 i 4 gospodarenja komunalnim otpadom razmotreni su radi ostvarivanja ciljeva Direktiva EU o otpadu. Učinkovitost postojećeg sustava gospodarenja otpadom promatrana je u odnosu na ciljeve EU-a i ciljeve koji su određeni u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017. – 2022. (PGO 2017 – 2022) i u Izmjeni Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine. Republika Hrvatska treba ostvariti sljedeće ciljeve:

- Ciljevi za komunalni otpad:
 - najmanje 50 % ukupne mase otpada proizvedenog u kućanstvima i otpada iz drugih izvora čiji tokovi otpada su slični toku otpada iz kućanstva, uključujući barem papir, metal, plastiku i staklo, mora se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu
 - najmanje 55 % mase komunalnog otpada mora se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu do 2025. godine
 - najmanje 60 % mase komunalnog otpada mora se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu do 2030. godine
 - najmanje 65 % mase komunalnog otpada mora se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu do 2035. godine.

- Ciljevi za odlaganje otpada:
 - biorazgradivi otpad kao što je otpad iz vrtova, otpad od hrane te papir i karton mora se odvojeno sakupljati i reciklirati na mjestu nastanka.
 - količina komunalnog otpada odloženog na odlagališta otpada može biti najviše 10 % mase ukupno proizvedenog komunalnog otpada do 2035. godine.
- Ciljevi uporabe otpadne ambalaže su:
 - mora se odvojeno sakupiti i oporabiti, materijalno ili energetska, najmanje 60 % ukupne mase otpadne ambalaže proizvedene na području Republike Hrvatske
 - mora se reciklirati najmanje 55 % i do najviše 80 % ukupne mase otpadne ambalaže namijenjene materijalnoj uporabi
 - mora se obraditi postupkom recikliranja najmanje mase materijala u otpadnoj ambalaži: 60 % mase za staklo, 60 % mase za papir i karton, 50 % mase za metale, 22,5 % mase za plastiku, računajući isključivo materijal koji je recikliran natrag u plastiku i 15 % mase za drvo
 - do 31. prosinca 2025. mora se obraditi postupkom recikliranja najmanje 65 % mase ukupne otpadne ambalaže
 - do 31. prosinca 2025. mora se obraditi postupkom recikliranja barem sljedeće mase materijala u otpadnoj ambalaži: 50 % plastike, 25 % drva, 70 % neobojenih metala, 50 % aluminijska, 70 % stakla i 75 % papira i kartona
 - do 31. prosinca 2030. mora se obraditi postupkom recikliranja najmanje 70% mase ukupne otpadne ambalaže
 - do 31. prosinca 2030. mora se obraditi postupkom recikliranja barem sljedeće mase materijala u otpadnoj ambalaži: 55 % plastike, 30 % drveta, 80 % neobojenih metala, 60 % aluminijska, 75 % stakla i 85 % papira i kartona.

2.1.2. Granice sustava

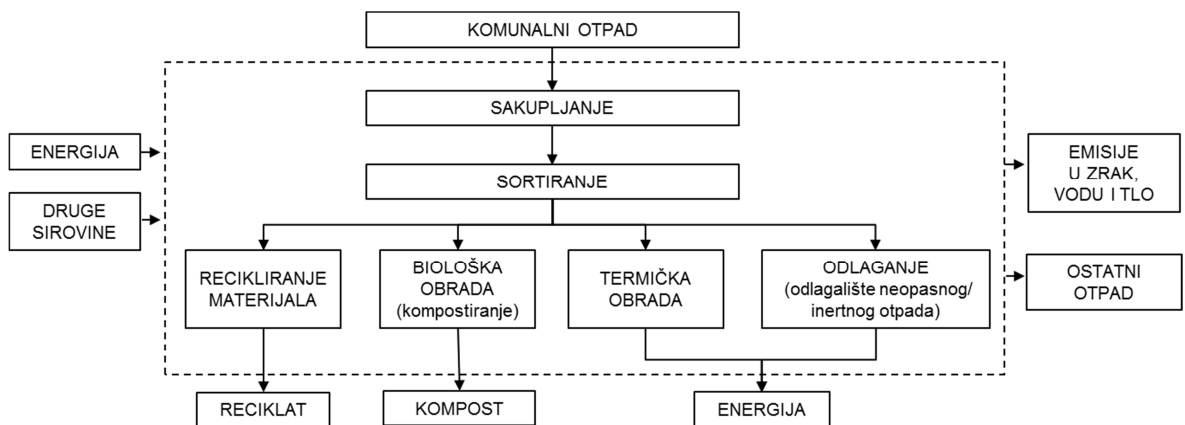
LCA analizira utjecaj komunalnog otpad na okoliš kroz sve njegove faze životnog ciklusa; porijeklo, sastav, vrste otpada, sakupljanje, prijevoz, uporaba uključujući razvrstavanje i odlaganje ostatnog otpada. Pod pretpostavkom da je sastav otpada fiksiran i da su detalji o sastavu otpada poznati, za komunalni otpad se može utvrditi kako će različite varijante gospodarenja otpadom utjecati na okoliš.

Granice sustava koje postavlja IWM model obuhvaćaju:

1. Ulaz (otpad): mjesto u kojem otpad napušta kućanstvo
2. Ulaz (energija): ekstrakcija resursa
3. Izlaz (energija): električna energija, tj. izlazna energija koja je nastala sagorijevanjem otpada ili energija nastala sagorijevanjem odlagališnog plina (energija nastala procesom obrade otpada se oduzima od utrošene energije potrebne za cijeli sustav, tako da se efikasno koristi u sustavu)
4. Izlaz (obnovljene sirovine):
 - otpad sakupljen u posebnim spremnicima
 - otpad sakupljen u postrojenju za separaciju materijala
 - sagorljivi materijali iz postrojenja za proizvodnju goriva iz otpada
 - sekundarne sirovine izdvojene u postrojenju za mehaničko-biološku obradu otpada.
5. Izlaz (kompost): postrojenja za biološku obradu
6. Izlaz (emisije u zrak):
 - emisije iz transportnih vozila,
 - iz postrojenja za termičku obradu otpada,
 - iz termoelektrane za dobivanje električne energije za potrebe postrojenja za obradu otpada
7. Izlaz (emisije u vodu): otpadne vode iz
 - postrojenja za biološku obradu
 - termičku obradu otpada i
 - elektrane za dobivanje električne energije za potrebe postrojenja za obradu otpada
8. Izlaz (čvrsti ostatak): sadržaj odlagališta na kraju biološki aktivnog perioda.

Raspodjela je definirana kao ulazni i izlazni tokovi niza jediničnih procesa sustava gospodarenja otpadom koji se analiziraju na osnovu standarda ISO 14040. Izlazi i ulazi svakog jediničnog procesa (sakupljanje otpada, sortiranje otpada, biološki tretman, termički tretman i odlaganje) se izražavaju kao maseni protoci.

Na slici 12 prikazan je pojednostavljeni dijagram toka krutog komunalnog otpada kroz životni ciklus u IWM programu.



Slika 12. Pojednostavljena shema sustava gospodarenja otpadom s njegovom granicom u IWM programu.

U izradi LCA studije za otpad, uvedene su neke pretpostavke:

- Sva energija koja se dobiva iz sustava gospodarenja otpadom (sagorijevanjem, kompostiranjem i sl.) pretvara se u toplinsku i električnu energiju koja služi za interne potrebe te se na taj način smanjuju emisije koje nastaju transportom i dobivanje energije iz drugih izvora.
- Neto iznos utrošene električne energije za sustav gospodarenja otpadom se dobiva oduzimanjem proizvedene količine električne energije postupcima prerade otpada.

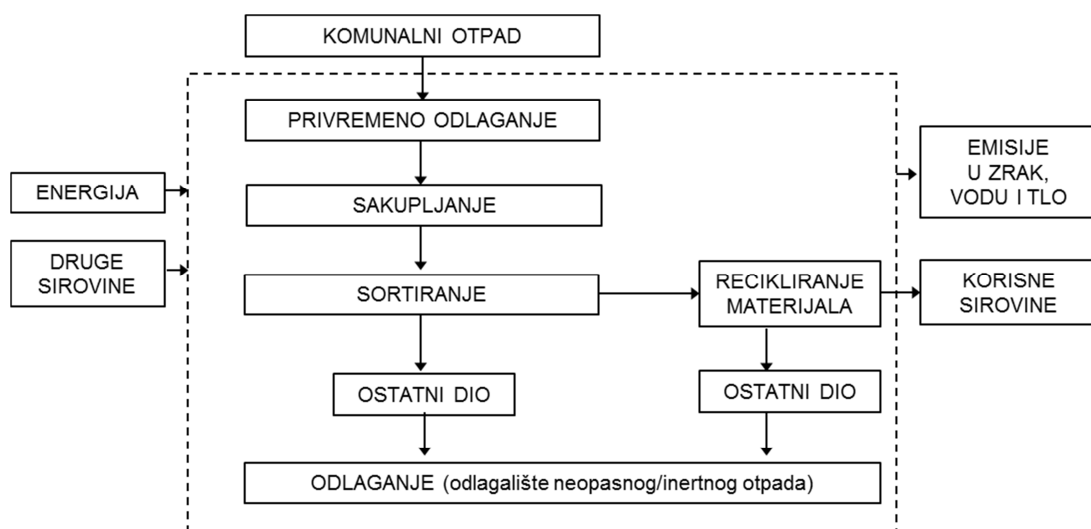
Nadalje u programu postoje određena ograničenja :

- kućno kompostiranje se ne uzima u obzir
- sagorijevanje otpada u kućanstvima se ne uzima u obzir
- pranje i čišćenje reciklabilnih materijala (npr. staklenih boca i tegli, plastičnih posuda ili metalnih konzervi) nije obuhvaćeno
- pretpostavlja se pravilno razdvajanje otpada na mjestu nastanka otpada.

- **Scenarij 1**

Scenarij 1 predstavlja sustav gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika u 2019. godini: ^{30,31}

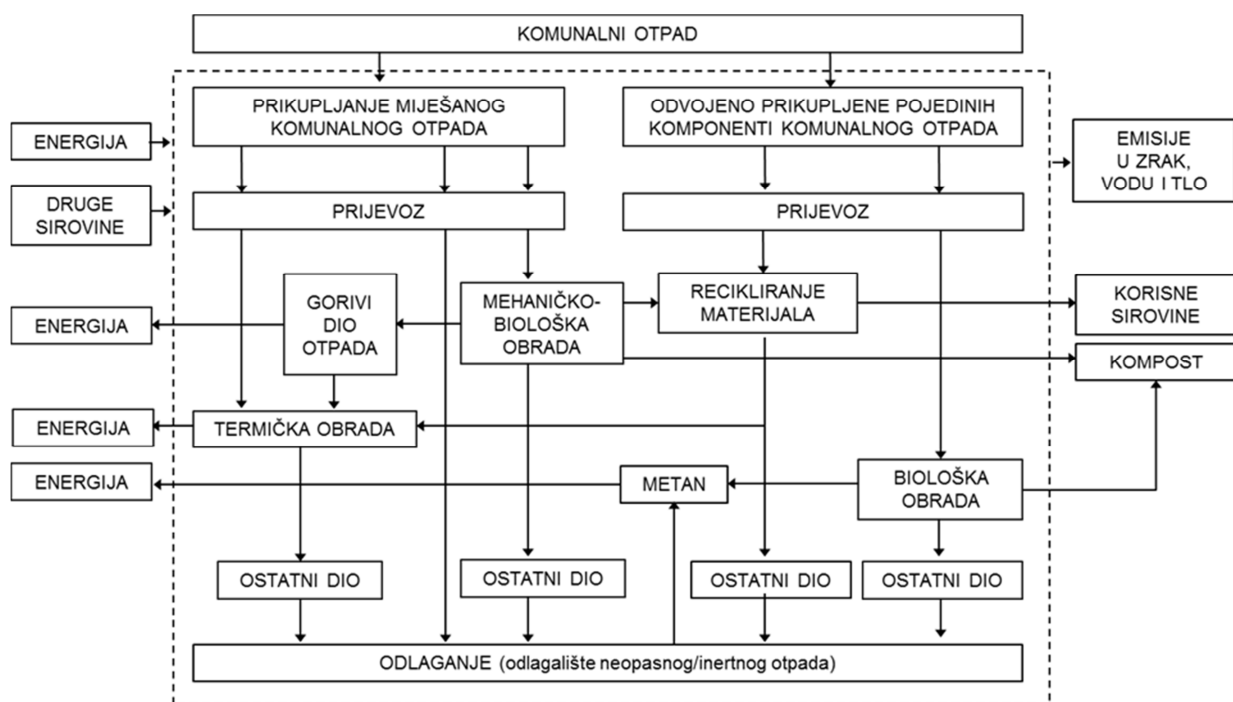
- komunalna infrastruktura za prikupljanje otpada je razvijena te je organiziranim sakupljanjem i odvozom otpada obuhvaćeno 100 % stanovništva Grada Dubrovnika
- za područje Grada Dubrovnika davatelj javne usluge putem 192 spremnika na javnoj površini odvojeno sakuplja otpadni papir i karton, glomazni otpad, otpadnu plastiku, otpadni metal i biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina, ali samo iz hotelskih kuća. Ostali otpad kao što je otpadni tekstil, elektronički i elektronski otpad, otpadne baterije i akumulatori, otpadna ulja i masti, otpadne gume i otpadnu ambalažu ne sakuplja odvojeno
- davatelj javne usluge ne sakuplja odvojeno „od vrata do vrata“ reciklabilni i biootpad
- davatelj javne usluge upravlja jednim reciklažnim dvorištem i jednim mobilnim reciklažnim dvorištem. U 2019. godini podijeljeno je 600 kompostera za kućno kompostiranje
- u dijelu obrade i odlaganja otpada, još uvijek nisu izgrađeni centri za gospodarenje otpadom sa sustavima obrade i odlaganja otpada
- prema podacima za Grad Dubrovnik za 2019. godinu, 14,5 % sakupljenog komunalnog otpada izravno je upućeno na uporabu. Preostala količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada privremeno je uskladištena ili proslijeđena odlagalištima gdje su se eventualno izdvojile iskoristive komponente i proslijeđile na uporabu. Miješani komunalni otpad se bez dodatne obrade odlaže na odlagalište. Skica postojećeg sustava gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika prikazana je na slici 13.



Slika 13. Shema postojećeg sustava gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika.

- **Scenariji 2, 3 i 4**

Scenariji 2, 3 i 4 opisuju sustave usklađene s redom prvenstva gospodarenja otpadom, tj. sprječavanje nastanka otpada, priprema za ponovnu uporabu, recikliranje, energetska uporaba i odlaganje (slika 14). Scenariji gospodarenja komunalnim otpadom razmotreni su radi ostvarivanja ciljeva Direktiva EU o otpadu. Učinkovitost postojećeg sustava gospodarenja otpadom promatrana je u odnosu na ciljeve EU-a i ciljeve koji su određeni u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017. – 2022. (PGO 2017 – 2022) i u Izmjeni Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine (detaljnije u dijelu Definiranje cilja i opsega LCA).



Slika 14. Shema sustava postupanja s komunalnim otpadom Scenarij 2, 3 i 4.

2.1.3. Inventar životnog ciklusa

Materijali korišteni za izradu ove analize dio su baza podataka koje se nalaze u sklopu alata za izradu LCA, dok su podaci o količinama i transportu preuzeti iz literature (stručni časopisi, publikacije i baze podataka na internetu). U analizi četiriju varijanti sustava gospodarenja komunalnim otpadom su korišteni podaci o komunalnom otpadu Grada Dubrovnika za 2019. godinu koji su davatelji javne usluge prikupljanja miješanog komunalnog otpada i davatelji javne usluge prikupljanja biorazgradivog komunalnog otpada prijavili u bazu Registar onečišćavanja okoliša putem SO-1 obrazaca. Zbog ograničenja IWM programa u ovom radu su razmatrane:

- sve vrste komunalnog otpada iz podgrupa 15 01 i 20 01 Kataloga otpada osim KB 20 01 99 (ostali sastojci komunalnog otpada koji nisu specificirani na drugi način)

- iz podgrupa 20 02 i 20 03: KB 20 02 01 (biorazgradivi otpad iz vrtova i parkova) i KB 20 03 01 (miješani komunalni otpad).

Nadalje u radu nisu obuhvaćene miješane vrste otpada poput:

- KB 20 02 03 (ostali otpad koji nije biorazgradiv)
- KB 20 03 03 (ostaci od čišćenja ulica)
- KB 20 03 07 (glomazni otpad)
- KB 20 03 99 (otpada koji nije specificiran na drugi način), obzirom da se radi o vrstama otpada koje su po sastavu slične miješanom komunalnom otpadu.

Prema podacima Popisa stanovništva kućanstva i stanova 2011. broj stanovnika u Gradu Dubrovniku iznosio je 42 615. U 2019. godini na području Grada Dubrovnika nastalo je 23 520 t komunalnog otpada. Vrste i količine komunalnog otpada koje su korištene u IWM modelu u sva četiri scenarija prikazane su tablicama 4, 9, 10 i 11.

- **Scenarij 1**

Scenarij 1 predstavlja postojeći sustav gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika. Sastav i količina pojedinih vrsta komunalnog otpada te postupci oporabe i konačnog odlaganja koji su analizirani u Scenariju 1 prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Scenarij 1: sastav i količina pojedinih vrsta komunalnog otpada te postupci oporabe i konačnog odlaganja

| Godina | | 2019. | | | | |
|---|--|--|--|---|----------------------|---|
| Grad na području kojeg je otpad sakupljen | | Grad Dubrovnik | | | | |
| Broj stanovnika obuhvaćen sakupljanjem* | | 42 615 | | | | |
| Primarna sastavnica | Ukupno skupljeno (preuzeto) u 2019. godini / t | Stanje privremenog skladišta na dan 1.1. / t | Stanje privremenog skladišta na dan 31.12. / t | Namijenjeno za postupak oporabe (R) ili odlaganja (D)** | Količina / t | Udio sastavnice obrađen postupkom oporabe (R) ili se odlaže (D) / % |
| metal | 148,2758 | 3,54 | 16,1071 | R (oporaba) | 135,7087 | 0,64 |
| papir | 2062,03 | 1,2369 | 49,3304 | R (oporaba) | 2013,937 | 9,42 |
| staklo | 61,3276 | 0,6517 | 3,977 | R (oporaba) | 58,0023 | 0,27 |
| plastika | 178,9628 | 2,1084 | 22,75392 | R (oporaba) | 138,3173 | 0,65 |
| | | | | D1 (odlaganje otpada u ili na tlo) | 20 | 0,1 |
| kuhinjski otpad | 726,936 | 5,37 | 3,936 | R (oporaba) | 723 | 3,39 |
| miješani komunalni otpad | 18 191,8 | | | D1 (odlaganje otpada u ili na tlo) | 18 191,8 | 85,13 |
| UKUPNO | 21 369,33 | 12,907 | 96,10442 | / | 83,19742 (skladište) | 0,4 |
| | | | | UKUPNO | 21 369,33 | 100 |

*Državni zavod za statistiku, Zagreb, Popis stanovništva kućanstva i stanova 2011., Državni zavod za statistiku RH, Zagreb.

**Prilog 1 i 2

- **Scenarij 2**

Scenariji 2, 3 i 4 baziraju se na unapređenju sustav gospodarenja komunalnim otpadom i uključuju skupljanje komunalnog otpada uz odvojeno prikupljanje iskoristivih vrsta otpada te njihovu pripremu za ponovnu uporabu, recikliranje i oporabu.

U 2019. godini u Gradu Dubrovniku sakupljeno je 18 191,8 tona miješanog komunalnog otpada (MKO). Budući da Grad Dubrovnik nije analizirao sastav MKO-a u ovom radu korištena je procjena sastava miješanog komunalnog otpada u RH za 2015. godinu (tablica 5) koja je izrađena u okviru Projekta „Izrada jedinstvene metodologije za analize sastava komunalnog otpada, određivanje prosječnog sastava komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj i projekcija količina komunalnog otpada“. Sastav miješanog komunalnog otpada interpoliran je na sastav ukupnog komunalnog otpada Grada Dubrovnika (tablica 6).

Tablica 5. Sastav miješanog komunalnog otpada za Grad Dubrovnik u 2019. godini prema procjeni sastava miješanog komunalnog otpada u RH u 2015. godini^{32, 33}

| Sastavnica MKO | Udio pojedine sastavnice MKO / % | Količina sastavnice u MKO / t |
|---|----------------------------------|-------------------------------|
| Metal | 2,1 | 382,0278 |
| Drvo | 1 | 181,918 |
| Tekstil/odjeća | 3,7 | 673,0966 |
| Papir i karton | 23,2 | 4220,498 |
| Staklo | 3,7 | 673,0966 |
| Plastika | 22,9 | 4165,922 |
| Guma | 0,2 | 36,3836 |
| Koža/kosti | 0,5 | 90,959 |
| Kuhinjski otpad | 30,9 | 5621,266 |
| Vrtni otpad | 5,7 | 1036,933 |
| Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano) | 6,3 | 1109,7 |
| Ukupno | 100 | 18 191,8 |

Tablica 6. Interpolacija sastava miješanog komunalnog otpada na sastav ukupnog komunalnog otpada Grada Dubrovnika za 2019. godinu

| Godina | | 2019. | | |
|---|--------------------------|---------------------|---|------------------------------|
| Grad na području kojeg je otpad sakupljen | | Grad Dubrovnik | | |
| Broj stanovnika obuhvaćen sakupljanjem* | | 42 615 | | |
| Sastavnica komunalnog otpada | Odvojeno prikupljeno / t | Količina iz MKO / t | Količina sastavnica komunalnog otpada / t | Sastav komunalnog otpada / % |
| metal | 143,8758 | 382,0278 | 530,3036 | 2,48 |
| drvo | | 181,918 | 181,918 | 0,85 |
| tekstil/odjeća | | 673,0966 | 673,0966 | 3,15 |
| papir | 2062,03 | 4220,498 | 6282,5276 | 29,40 |
| staklo | 61,3276 | 673,0966 | 734,4242 | 3,44 |
| plastika | 178,9628 | 4165,922 | 4344,885 | 20,33 |
| guma | | 36,3836 | 36,3836 | 0,17 |
| koža/kosti | | 90,959 | 90,959 | 0,43 |
| kuhinjski otpad | 726,936 | 5621,266 | 6348,2022 | 29,71 |
| vrt | | 1036,933 | 1036,9326 | 4,85 |
| ostalo | | 1109,7 | 1109,6998 | 5,19 |
| UKUPNO | 3177,53 | 18 191,8 | 21 369,3 | 100 |

*Državni zavod za statistiku, Zagreb, Popis stanovništva kućanstva i stanova 2011., Državni zavod za statistiku RH, Zagreb.

Nakon određivanja sastava miješanog komunalnog otpada te određivanja udjela pojedinih sastavnica određena je masa biorazgradivog komunalnog otpada odloženog na odlagalište. Količina biorazgradive komponente pojedine vrste komunalnog otpada izračunat je korištenjem sljedeće jednadžbe (tablica 7):³³

$$m_B = m \cdot f_B \quad (5)$$

gdje su:

m_B masa biorazgradive komponente pojedine vrste komunalnog otpada odložena na odlagalištu, [t]

m ukupna masa pojedine vrste komunalnog otpada odložena na odlagalištu, [t]

f_B koeficijent za računanje biorazgradive komponente, [-].

Tablica 7. Količina biorazgradive komponente procijenjenog sastava miješanog komunalnog otpada za Grad Dubrovnik u 2019. godini

| Godina | | 2019. | | | |
|---|----------------|----------------|---|----------|-----------|
| Grad na području kojeg je otpad sakupljen | | Grad Dubrovnik | | | |
| Broj stanovnika obuhvaćen sakupljanjem* | | 42 615 | | | |
| Sastavnica komunalnog otpada | Udio u MKO / % | f_B | Udio biorazgradive komponente u miješanom komunalnom otpadu / % | m / t | m_B / t |
| metal | 2,1 | 0,00 | 0 | 382,0278 | 0 |
| drvo | 1 | 0,50 | 0,5 | 181,918 | 90,60 |
| tekstil/odjeća | 3,7 | 0,50 | 1,85 | 673,0966 | 336,55 |
| papir | 23,2 | 1,00 | 23,2 | 4220,498 | 4220,50 |
| staklo | 3,7 | 0,00 | 0 | 673,0966 | 0 |
| plastika | 22,9 | 0,00 | 0 | 4165,922 | 0 |
| guma | 0,2 | 0,00 | 0 | 36,3836 | 0 |
| koža/kosti | 0,5 | 1,00 | 0,5 | 90,959 | 90,96 |
| kuhinjski otpad | 30,9 | 1,00 | 30,9 | 5621,266 | 5621,27 |
| vrt | 5,7 | 1,00 | 5,7 | 1036,933 | 1036,93 |
| ostalo | 6,3 | 0,00 | 0 | 1109,7 | 0 |
| UKUPNO | 100 | / | 62,65 | 18 191,8 | 11 396,81 |

*Državni zavod za statistiku, Zagreb, Popis stanovništva kućanstva i stanova 2011., Državni zavod za statistiku RH, Zagreb.

Za odvojeno sakupljene vrste otpada iz komunalnog otpada poput papira i biorazgradivog otpada iz kuhinja udio biorazgradive frakcije iznosi 100 %, dok za staklo, plastiku i metal taj udio iznosi 0 %. Količina pojedinih vrsta komunalnog otpada i ukupna količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu za Grad Dubrovnik za 2019. godinu prikazana je u tablici 8.

Tablica 8. Količina pojedinih vrsta komunalnog otpada i ukupna količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu za Grad Dubrovnik za 2019. godinu

| Godina | | 2019. | | | |
|---|--------------------------|----------------|---|-----------|--|
| Grad na području kojeg je otpad sakupljen | | Grad Dubrovnik | | | |
| Broj stanovnika obuhvaćen sakupljanjem* | | 42 615 | | | |
| Sastavnica komunalnog otpada | Odvojeno prikupljeno / t | f_B | Količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu / t | m_B / t | Ukupno količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu / t |
| metal | 143,8758 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| drvo | | 0,50 | 0 | 90,60 | 90,6 |
| tekstil/odjeća | | 0,50 | 0 | 336,55 | 336,55 |
| papir | 2062,03 | 1,00 | 2062,03 | 4220,50 | 6282,53 |
| staklo | 61,3276 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| plastika | 178,9628 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| guma | | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| koža/kosti | | 1,00 | 0 | 90,96 | 90,96 |
| kuhinjski otpad | 726,936 | 1,00 | 726,936 | 5621,27 | 6348,206 |
| vrt | | 1,00 | 0 | 1036,93 | 1036,93 |
| ostalo | | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| UKUPNO | 3177,53 | / | 2788,97 | 11 396,81 | 14185,78 |

*Državni zavod za statistiku, Zagreb, Popis stanovništva kućanstva i stanova 2011., Državni zavod za statistiku RH, Zagreb.

Pretpostavke Scenarija 2 gospodarenja komunalnim otpadom prema ciljevima EU Direktiva o otpadu i propisane ZGO-om:

- najmanje 55 % mase komunalnog otpada će se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu
- najmanje 55 % i do najviše 80 % ukupne mase otpadne ambalaže će se materijalno oporabi. Stope recikliranja određenih materijala u otpadnoj ambalaži: 22,5 % plastike, 15 % drva, 50 % metala, 60 % stakla i 60 % papira i kartona
- odvojeno sakupljena otpadna guma će se energetske oporabiti uz kogeneraciju toplinske i električne energije. (Napomena: Cilj za otpadne gume je osigurati recikliranje najmanje 80 % mase odvojeno sakupljenih otpadnih guma u kalendarskoj godini u Republici Hrvatskoj. Navedeni cilj je ispunjen u 2019. godini u kojoj je materijalno oporabljeno 93,54 % odvojeno sakupljenih otpadnih guma, a energetske je oporabljeno 6,45 %. Budući da IWM programskom podrškom nije obuhvaćeno recikliranje gume u analizi je

odvojeno sakupljena otpadna guma energetski oporabljena uz iskorištavanje dobivene energije.)

- biorazgradivi otpad će se odvojeno sakupljati budući da je prema ZGO-u (čl. 18.) zabranjeno miješanje odvojeno prikupljenog biootpada s drugim vrstama otpada. (Napomena: U IWM programskoj podršci nije moguće obraditi biorazgradivi otpad anaerobnom digestijom, već ga se samo može kompostirati. Stoga je u analizi Scenarija 2 biorazgradivi otpad iz vrtova, otpad od hrane i papir kompostiran, dok je ostali biorazgradivi otpad energetski oporabljen uz iskorištavanje dobivene energije.)
- 25 % mase ukupno proizvedenog komunalnog otpada odložiti će se na odlagališta otpada.

Uzimajući u obzir sastav komunalnog otpada te prethodno navedene pretpostavke i ograničenja IWM programske podrške količine sastavnica komunalnog otpada u Scenariju 2 obrađene su postupcima oporabe ili su odložene na odlagalište kako je to prikazano u tablici 9.

Tablica 9. Scenarij 2: sastav i količina pojedinih vrsta komunalnog otpada te postupci oporabe i konačnog odlaganja

| Sastavnica komunalnog otpada | Količina sastavnica komunalnog otpada / t | Količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu / t | Namijenjeno za postupak oporabe (R) ili zbrinjavanja (D)** | Količina sastavnica komunalnog otpada namijenjeno za postupak oporabe (R) ili zbrinjavanja (D) |
|------------------------------|---|---|--|--|
| metal | 530,3036 | 0 | R4 50 % | 265,15 |
| | | | D1 50 % | 265,15 |
| drvo | 181,918 | 90,6 | R1 85 % | 154,63 |
| | | | D1 15 % | 27,29 |
| tekstil/odjeća | 673,0966 | 336,55 | R1 | 673,1 |
| papir | 6282,5276 | 6282,53 | R 60 % | 3769,52 |
| | | | R3 40 % | 2513,01 |
| staklo | 734,4242 | 0 | R 60 % | 440,65 |
| | | | D1 40 % | 293,77 |
| plastika | 4344,885 | 0 | R 22,5 % | 977,6 |
| | | | D1 77,5 % | 3367,29 |
| guma | 36,3836 | 0 | R1 | 36,38 |
| koža/kosti | 90,959 | 90,96 | R1 | 90,959 |
| kuhinjski otpad | 6348,2022 | 6348,206 | R3 | 6348,2 |
| vrt | 1036,9326 | 1036,93 | R3 | 1036,93 |
| ostalo | 1109,6998 | 0 | D1 | 1109,69 |
| UKUPNO | 21 369,3 | 14185,78 | | 21 369,3 |

**Prilog 1 i 2

- **Scenarij 3**

Pretpostavke Scenarija 3 gospodarenja komunalnim otpadom prema ciljevima EU Direktiva o otpadu i propisane ZGO-om:

- najmanje 60 % mase komunalnog otpada će se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu
- najmanje 65 % mase ukupne otpadne ambalaže će se materijalno oporabiti. Stope recikliranja određenih materijala u otpadnoj ambalaži: 50 % plastike, 25 % drva, 70 % nebojenih metala, 50 % aluminijska, 70 % stakla i 75 % papira i kartona
- odvojeno sakupljena otpadna guma će se energetske oporabiti uz kogeneraciju toplinske i električne energije
- biorazgradivi otpad će se odvojeno sakupljati budući da je prema ZGO-u (čl. 18.) zabranjeno miješanje odvojeno prikupljenog biootpada s drugim vrstama otpada. (Napomena: U IWM programskoj podršci nije moguće obraditi biorazgradivi otpad anaerobnom digestijom, već ga se samo može kompostirati. Stoga je u analizi Scenarija 3 biorazgradivi otpad iz vrtova, otpad od hrane i papir kompostiran, dok je ostali biorazgradivi otpad energetske oporabljen uz iskorištavanje dobivene energije.)
- do 20 % mase ukupno proizvedenog komunalnog otpada odložit će se na odlagališta otpada.

Uzimajući u obzir sastav komunalnog otpada te prethodno navedene pretpostavke i ograničenja IWM programske podrške količine sastavnica komunalnog otpada u Scenariju 3 obrađene su postupcima oporabe ili su odložene na odlagalište kako je to prikazano u tablici 10.

Tablica 10. Scenarij 3: sastav i količina pojedinih vrsta komunalnog otpada te postupci uporabe i konačnog odlaganja

| Sastavnica komunalnog otpada | Količina sastavnica komunalnog otpada / t | Količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu / t | Namijenjeno za postupak uporabe (R) ili zbrinjavanja (D)** | Količina sastavnica komunalnog otpada namijenjeno za postupak uporabe (R) ili zbrinjavanja (D) |
|------------------------------|---|---|--|--|
| metal | 530,3036 | 0 | R 60 % | 318,18 |
| | | | D1 40 % | 212,12 |
| drvo | 181,918 | 90,6 | R1 75 % | 136,44 |
| | | | D1 25 % | 45,48 |
| tekstil/odjeća | 673,0966 | 336,55 | R1 | 673,09 |
| papir | 6282,5276 | 6282,53 | R 75 % | 4711,89 |
| | | | R3 25 % | 1570,63 |
| staklo | 734,4242 | 0 | R 70 % | 514,1 |
| | | | D1 30 % | 220,33 |
| plastika | 4344,885 | 0 | R 50 % | 2172,44 |
| | | | D1 50 % | 2172,44 |
| guma | 36,3836 | 0 | R1 | 36,38 |
| koža/kosti | 90,959 | 90,96 | R1 | 90,959 |
| kuhinjski otpad | 6348,2022 | 6348,206 | R3 | 6348,2 |
| vrt | 1036,9326 | 1036,93 | R3 | 1036,93 |
| ostalo | 1109,6998 | 0 | D1 | 1109,69 |
| UKUPNO | 21 369,3 | 14185,78 | | 21 369,3 |

** Prilog 1 i 2

- **Scenarij 4**

Pretpostavke Scenarija 4 gospodarenja komunalnim otpadom prema ciljevima EU Direktiva o otpadu i propisane ZGO-om:

- najmanje 65 % mase komunalnog otpada će se oporabiti recikliranjem i pripremom za ponovnu uporabu
- najmanje 70 % mase ukupne otpadne ambalaže će se materijalno oporabiti. Stope recikliranja određenih materijala u otpadnoj ambalaži: 55 % plastike, 30 % drva, 80 % nebojenih metala, 60 % aluminijska, 75 % stakla i 85 % papira i kartona
- odvojeno sakupljena otpadna guma će se energetske oporabiti uz kogeneraciju toplinske i električne energije
- biorazgradivi otpad će se odvojeno sakupljati budući da je prema ZGO-u (čl. 18.) zabranjeno miješanje odvojeno prikupljenog biootpada s drugim vrstama otpada. (Napomena: U IWM programskoj podršci nije moguće obraditi biorazgradivi otpad anaerobnom digestijom, već ga se samo može kompostirati. Stoga je u analizi Scenarija 4 biorazgradivi otpad iz vrtova, otpad od hrane i papir kompostiran, dok je ostali biorazgradivi otpad energetske oporabljen uz iskorištavanje dobivene energije.)
- do 20 % mase ukupno proizvedenog komunalnog otpada odložit će se na odlagališta otpada.

Uzimajući u obzir sastav komunalnog otpada te prethodno navedene pretpostavke i ograničenja IWM programske podrške količine sastavnica komunalnog otpada u Scenariju 4 obrađene su postupcima oporabe ili su odložene na odlagalište kako je to prikazano u tablici 11.

Tablica 11. Scenarij 4: sastav i količina pojedinih vrsta komunalnog otpada te postupci uporabe i konačnog odlaganja

| Sastavnica komunalnog otpada | Količina sastavnica komunalnog otpada / t | Količina biorazgradive komponente u komunalnom otpadu / t | Namijenjeno za postupak uporabe (R) ili zbrinjavanja (D)** | Količina sastavnica komunalnog otpada namijenjeno za postupak uporabe (R) ili zbrinjavanja (D) |
|------------------------------|---|---|--|--|
| metal | 530,3036 | 0 | R 70 % | 371,21 |
| | | | D1 30 % | 159,09 |
| drvo | 181,918 | 90,6 | R1 70 % | 127,34 |
| | | | D1 30 % | 54,58 |
| tekstil/odjeća | 673,0966 | 336,55 | R1 | 673,09 |
| papir | 6282,5276 | 6282,53 | R 85 % | 5340,15 |
| | | | R3 15 % | 942,38 |
| staklo | 734,4242 | 0 | R 75 % | 550,81 |
| | | | D1 25 % | 183,61 |
| plastika | 4344,885 | 0 | R 55 % | 2389,69 |
| | | | D1 45 % | 1955,19 |
| guma | 36,3836 | 0 | R1 | 36,38 |
| koža/kosti | 90,959 | 90,96 | R1 | 90,95 |
| kuhinjski otpad | 6348,2022 | 6348,206 | R3 | 6348,2 |
| vrt | 1036,9326 | 1036,93 | R3 | 1036,93 |
| ostalo | 1109,6998 | 0 | D1 | 1109,69 |
| UKUPNO | 21 369,3 | 14185,78 | | 21 369,3 |

** Prilog 1 i 2

Podaci o sakupljanju i transportu otpada prikazani su u tablicama 12 i 13. Prosječna duljina puta koju moraju prijeći kamioni za dovoz otpada, uzeta je kao iskustveno procijenjena vrijednost. Prijeđena udaljenost (u km) odnosi se na godinu dana.

Tablica 12. Podaci o sakupljanju i transportu otpada

| VRSTA VOZILA ZA PRIJEVOZ OTPADA | UDALJENOST / km | VRSTA GORIVA |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|
| Kamioni za miješani otpad | 547500 | Dizel |
| Kamioni za odvojeno prikupljeni otpad | 547500 | Dizel |
| Kamioni za dvorišni otpad | 6000 | Dizel |

Tablica 13. Efikasnost goriva

| EFIKASNOST GORIVA | POTROŠNJA / km/L |
|-------------------------------|------------------|
| Kamioni za sakupljanje otpada | 1,47 |
| Kamioni za transport otpada | 3,33 |

Podaci o opskrbi Dubrovnika električnom energijom preuzeti su sa stranice Elektrojug Dubrovnik. Zbog ograničenja programa uzima se da se Dubrovnik opskrbljuje 100 % električnom energijom putem hidroelektrana, iako to u praksi izgleda 96 % hidroelektrane, a 4 % vjetroelektrana na Rudinama.

Podaci o postrojenju za uporabu materijala prikazani su u tablici 14.

Tablica 14. Potrošnja energenta i električne energije za uporabu materijala

| ENERGENT ILI ENERGIJA | POTROŠNJA |
|-----------------------|-------------------------|
| Električna energija | 25 kwh/t |
| Prirodni plin | 0,264 m ³ /t |

Tijekom odlaganja otpada ne provodi se povrat plina niti energije. Godišnje oborine za Grad Dubrovnik iznosile su 1108 mm za 2019. godinu. Potrošnja energenta i električne energije pri operaciji odlaganja otpada prikazana je u tablici 15.

Tablica 15. Potrošnja energenta i električne energije pri odlaganju materijala

| ENERGENT ILI ENERGIJA | POTROŠNJA |
|-----------------------|-------------------------|
| Električna energija | 0,29 kwh/t |
| Prirodni plin | 0,028 m ³ /t |
| Dizel | 0,22 l/t |

Model i rezultati

Za izradu analize i interpretaciju rezultata korištena je računalna aplikacija IWM. Ovim modelom identificiraju se i vrednuju relevantni energetske i materijalne ulazi i izlazi, prikazani u tablici 16, različitih varijanti postupanja s komunalnim otpadom kroz njegov životni vijek te potencijalni utjecaji na okoliš povezani s analiziranim opcijama. ⁷

Tablica 16. Lista parametara i onečišćujućih tvari u okviru IWM modela⁷

| ENERGIJA | EMISIJE U ZRAK | EMISIJE U VODU | EMISIJE U TLO |
|---------------------------|---|--|---------------|
| Ukupno potrošena energija | CO ₂ – Ugljikov dioksid (CO ₂ eq – ekvivalent CO ₂ emisije) ^c | Pb – Olovo | Ostatni otpad |
| | CH ₄ – Metan | Cd – Kadmij | |
| | NO _x – Dušikovi oksidi (NO ₂ i NO kao NO ₂) | Hg – Živa | |
| | SO ₂ – Sumporov dioksid | BPK – biološka potrošnja kisika | |
| | HCl – Klorovodik | PCDD – Poliklorirani di-benzo-dioksini | |
| | PM ₁₀ – Čestice aerodinamičnog promjera manjeg od 10 μm | PCDF – Poliklorirani di-benzo-furani | |
| | VOS –Hlapivi organski spojevi | | |
| | Pb – Olovo | | |
| | Cd – Kadmij | | |
| | Hg – Živa | | |
| | PCDD – Poliklorirani di-benzo-dioksini | | |
| | PCDF – Poliklorirani di-benzo-furani | | |

Okolišni aspekti i potencijalni utjecaji, odnosno kategorije utjecaja uočenih u ovom modelu su: utjecaj na zdravlje ljudi, utjecaj na kvalitetu ekosustava, klimatske promjene i resursi. Kako bi se olakšalo tumačenje rezultata, provodi se svojevrsno „vrednovanje utjecaja“, tj. pripisivanje rezultata iz faze LCI kategorijama utjecaja. Stoga je ukupna utrošena energija pokazatelj potrošnje resursa. Emisije stakleničkih plinova (CO₂ i CH₄) pokazatelji su globalnog zatopljenja. Emisije NO_x, SO₂ i HCl pokazatelji su zakiseljavanja, ali su i pokazatelji rizika po zdravlje ljudi. Emisije NO_x, PM₁₀ i HCl prekursori su gradskog smoga i pokazatelji rizika po zdravlje ljudi. Teški metali (Pb, Cd i Hg) i postojani organski zagađivači PCDD i PCDF pokazatelji su rizika po zdravlje ljudi. Biološka potrošnja kisika odabrana je kao pokazatelj kvalitete vode, a nepravilno rukovanje ostacima pokazatelj je degradacije okoliša i zagađenja tla.¹⁶ Kako bi mogli uspoređivati podatke dobivene analizom u LCI fazi potrebno je vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zraku, vode i tla te ukupnu količinu energije prikazati jednakovrijednim parametrima koji su dobiveni množenjem podataka o količinama s odgovarajućim konverzijskim faktorom. Stoga

^c CO₂ eq – ekvivalent CO₂ emisije - mjera koja služi za usporedbu emisija različitih stakleničkih plinova temeljem njihova utjecaja na globalno zatopljenje.

se povećanje/smanjenje potrošnje energije, izražene u gigadžulima, nastalo uslijed promjena varijabli sustava gospodarenja otpadom uspoređuje s godišnjom potrošnjom električne energije prosječnog kućanstva. U modelu potrošnja energije je izražena brojem kućanstava koji bi potrošio ekvivalentnu količinu energije u obliku električne energije u jednoj godini. Promjene količine stakleničkih plinova, NO_x, VOS, PCDD i PCDF nastalih iz izvora u sustavu gospodarenja otpadom izražene su brojem vozila koji bi u godinu dana u atmosferu ispustili ekvivalentne količine navedenih spojeva. Osim toga, promjene u količini teških metala, SO₂, PM₁₀ i HCl uzrokovane promjenama u varijablama sustava gospodarenja otpadom izražene su određenim brojem kućanstava koja bi u godinu dana potrošnjom električne energije emitirala jednakovrijedne količine navedenih parametara u atmosferu. Promjena vrijednosti BPK se uspoređuje s količinom BPK otpadnih voda koje generira prosječno kućanstvo i izražena je brojem kućanstava koje bi proizvelo ekvivalentan BPK tijekom jedne godine. Pri tumačenju rezultata modela treba napomenuti kako pozitivni brojevi označavaju emisije ili utrošenu energiju. Negativni brojevi označavaju obnovljenu energiju ili uštedenu energiju te predstavljaju poželjan doprinos zaštiti okoliša.⁷

Potpuna slika utjecaja procesa različitih varijanti postupanja s komunalnim otpadom na okoliš dobiva se nakon provedbe prethodnih faza, prije svega klasifikacije i normiranja.

3. REZULTATI

3.1. PRIKAZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Rezultati analize inventara okolišnih značajki četiriju scenarija gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika prikazani su u tablicama 17, 18, 19 i 20.

Tablica 17. Rezultati analize inventara okolišnih značajki sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanim Scenarijem 1

| | Recikliranje | Kompostiranje | Termička obrada | Ođloženo na odlagalište | Ukupno u sustavu gospodarenja otpadom | Uporaba sekundarnih sirovina umjesto primarnih | Prerada recikliranog materijala | NLCI* |
|--|--------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|---------|
| <i>Količina obrađenog otpada / t</i> | 2 370 | 0 | 0 | 19 000 | 21 370 | | | |
| <i>Energije /GJ</i> | 27 603 | 0 | 0 | 32 350 | 59 953 | -79 292 | 34 854 | 15 515 |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | | | | |
| CO ₂ / t | 4789 | 0 | 0 | 9929 | 14 718 | -5355 | 2389 | 11 752 |
| CH ₄ / t | 1,6 | 0,00 | 0,0 | 882 | 884 | -3,4 | 0,0 | 880 |
| CO ₂ eq / t | 4823 | 0 | 0 | 28 456 | 33 279 | -5426 | 2389 | 30 242 |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | | | | |
| SO _x / t | 0,48 | 0,000 | 0,0 | 3,76 | 4,24 | -22 | 15,9 | -2,0 |
| HCl / t | 0,002 | 0,000 | 0,00 | 0,196 | 0,20 | -2,1 | 0,01 | -1,9 |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | | | | |
| NO _x / t | 1,42 | 0,000 | 0,0 | 19,85 | 21,3 | -15,3 | 8,5 | 14,5 |
| PM ₁₀ / t | 0,47 | 0,0 | 0,00 | 8,3 | 8,7 | -8,2 | 4,8 | 5,3 |
| VOS / t | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 11,3 | 11,6 | -14,3 | 8,8 | 6,2 |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | | | | |
| <i>- Zrak</i> | | | | | | | | |
| Pb / t | 0,030 | 0,000 | 0,0 | 0,09 | 0,1 | -0,68 | 0,41 | -0,1 |
| Hg / kg | 0,009 | 0,000 | 0,00 | 0,009 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| Cd / kg | 0,002 | 0,000 | 0,00 | 0,029 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,03 |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 0,0001 | 0,00000 | 0,000 | 0,003 | 0,003 | n/a | 0,0000 | 0,003 |
| <i>- Voda</i> | | | | | | | | |
| Pb / kg | 0,158 | 0,000 | 0,000 | 1,66 | 1,82 | -3,9 | 3,1 | 1,02 |
| Hg / kg | 0,0025 | 0,00000 | 0,000 | 0,035 | 0,038 | 0,00 | 0,00 | 0,039 |
| Cd / kg | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 2,01 | 2,01 | 0,0 | 0,03 | 2,005 |
| BPK / kg | 0,11 | 0,000 | 0,000 | 15 425 | 15 425 | -4.452 | 5.329 | 16 302 |
| PCDD/F (TEQ)** / g | n/a | n/a | n/a | 0,00015 | 0,0002 | n/a | n/a | 0,00015 |
| Ostatni otpad / t | 118 | 0 | 0 | 19 001 | 19 120 | -378 | 417 | 19 159 |

* NLCI (engl. *Net Life Cycle Inventory*) - ukupan inventar životnog ciklusa energije/emisije koji uzima u obzir sve uštede koje se akumuliraju upotrebom materijala dobivenih iz toka otpada u proizvodnji novih proizvoda.

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodiodksin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 18. Rezultati analize inventara okolišnih značajki sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanim Scenarijem 2

| | Recikliranje | Kompostiranje | Termička obrada | Odloženo na odlagalište | Ukupno u sustavu gospodarenja otpadom | Uporaba sekundarnih sirovina umjesto primarnih | Prerada recikliranog materijala | NLCI* |
|--|--------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|----------|
| <i>Količina obrađenog otpada / t</i> | 11 880 | 9.900 | -70 | -350 | 21 360 | | | |
| <i>Energije /GJ</i> | 137 839 | 1089 | -17 | 4509 | 143 420 | -439 154 | 135 398 | -160 336 |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | | | | |
| CO ₂ / t | 23 982 | 2.857 | 0 | 1217 | 28 056 | -23 489 | 8.725 | 13 292 |
| CH ₄ / t | 8,2 | 0,00 | 0,0 | 105 | 113 | -83,4 | 0,0 | 29 |
| CO ₂ eq / t | 24 154 | 2.857 | 0 | 3415 | 30 426 | -25 240 | 8.725 | 13 911 |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | | | | |
| SO _x / t | 2,31 | 0,004 | 0,0 | 0,50 | 2,80 | -89 | 58,4 | -27,6 |
| HCl / t | 0,009 | 0,000 | -0,01 | 0,023 | 0,02 | -56,1 | 0,02 | -56,1 |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | | | | |
| NO _x / t | 6,70 | 0,006 | -0,1 | 2,57 | 9,2 | -68,2 | 30,3 | -28,7 |
| PM ₁₀ / t | 2,29 | 1,7 | -0,01 | 1,1 | 5,1 | -31,8 | 15,5 | -11,2 |
| VOS / t | 1,35 | 0,24 | -0,01 | 1,4 | 3,0 | -63,3 | 28,1 | -32,2 |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | | | | |
| - Zrak | | | | | | | | |
| Pb / t | 0,150 | 0,001 | 0,0 | 0,01 | 0,1 | -2,57 | 1,29 | -1,2 |
| Hg / kg | 0,044 | 0,000 | -0,02 | 0,001 | 0,03 | -0,12 | 0,00 | -0,09 |
| Cd / kg | 0,007 | 0,000 | 0,00 | 0,004 | 0,01 | -0,06 | 0,00 | -0,05 |
| Dioksini (TEQ)** /g | 0,0001 | 0,00000 | -0,005 | 0,000 | -0,004 | n/a | 0,0000 | -0,004 |
| - Voda | | | | | | | | |
| Pb / kg | 0,788 | 0,007 | 0,000 | 0,22 | 1,02 | -25,5 | 12,6 | -11,96 |
| Hg / kg | 0,0127 | 0,00000 | 0,000 | 0,005 | 0,017 | -0,01 | 0,02 | 0,032 |
| Cd / kg | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,27 | 0,28 | -0,4 | 0,39 | 0,259 |
| BPK / kg | 0,48 | 0,001 | 0,000 | 2064 | 2064 | -14 797 | 23 962 | 11 230 |
| Dioksini (TEQ)** /g | n/a | n/a | n/a | 0,00002 | 0,0000 | n/a | n/a | 0,00002 |
| Ostatni otpad / t | 594 | 495 | 0 | -345 | 744 | -1549 | 1870 | 1065 |

* NLCI (engl. *Net Life Cycle Inventory*) - ukupan inventar životnog ciklusa energije/emisije koji uzima u obzir sve uštede koje se akumuliraju upotrebom materijala dobivenih iz toka otpada u proizvodnji novih proizvoda.

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 19. Rezultati analize inventara okolišnih značajki sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanim Scenarijem 3

| | Recikliranje | Kompostiranje | Termička obrada | Odloženo na odlagalište | Ukupno u sustavu gospodarenja otpadom | Uporaba sekundarnih sirovina umjesto primarnih | Prerada recikliranog materijala | NLCI* |
|--|--------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|----------|
| <i>Količina obrađenog otpada / t</i> | 11 880 | 8.960 | 110 | 430 | 21 380 | | | |
| <i>Energije /GJ</i> | 137 839 | 985 | 195 | 6106 | 145 125 | -439 154 | 135 398 | -158 630 |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | | | | |
| CO ₂ / t | 23 982 | 2586 | -131 | 1.621 | 28 058 | -23 489 | 8.725 | 13 294 |
| CH ₄ / t | 8,2 | 0,00 | 0,0 | 139 | 147 | -83,4 | 0,0 | 63 |
| CO ₂ eq / t | 24 154 | 2586 | -131 | 4.533 | 31 141 | -25 240 | 8.725 | 14 627 |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | | | | |
| SO _x / t | 2,31 | 0,004 | 0,0 | 0,68 | 3,03 | -89 | 58,4 | -27,4 |
| HCl / t | 0,009 | 0,000 | 0,01 | 0,031 | 0,05 | -56,1 | 0,02 | -56,0 |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | | | | |
| NO _x / t | 6,70 | 0,006 | 0,1 | 3,48 | 10,3 | -68,2 | 30,3 | -27,6 |
| PM ₁₀ / t | 2,29 | 1,5 | 0,02 | 1,5 | 5,3 | -31,8 | 15,5 | -11,0 |
| VOS / t | 1,35 | 0,22 | 0,02 | 1,9 | 3,5 | -63,3 | 28,1 | -31,7 |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | | | | |
| <i>- Zrak</i> | | | | | | | | |
| Pb / t | 0,150 | 0,001 | 0,1 | 0,02 | 0,2 | -2,57 | 1,29 | -1,0 |
| Hg / kg | 0,044 | 0,000 | 0,03 | 0,002 | 0,08 | -0,12 | 0,00 | -0,04 |
| Cd / kg | 0,007 | 0,000 | 0,01 | 0,005 | 0,02 | -0,06 | 0,00 | -0,04 |
| Dioksini (TEQ)** /g | 0,0001 | 0,00000 | 0,008 | 0,001 | 0,008 | n/a | 0,0000 | 0,008 |
| <i>- Voda</i> | | | | | | | | |
| Pb / kg | 0,788 | 0,007 | 0,001 | 0,30 | 1,09 | -25,5 | 12,6 | -11,88 |
| Hg / kg | 0,0127 | 0,00000 | 0,000 | 0,006 | 0,019 | -0,01 | 0,02 | 0,034 |
| Cd / kg | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,36 | 0,37 | -0,4 | 0,39 | 0,347 |
| BPK / kg | 0,48 | 0,001 | 0,004 | 2.635 | 2635 | -14 797 | 23 962 | 11 801 |
| Dioksini (TEQ)** /g | n/a | n/a | n/a | 0,00003 | 0,0000 | n/a | n/a | 0,00003 |
| Ostatni otpad / t | 594 | 448 | 124 | 426 | 1592 | -1.549 | 1.870 | 1913 |

* NLCI (engl. *Net Life Cycle Inventory*) - ukupan inventar životnog ciklusa energije/emisije koji uzima u obzir sve uštede koje se akumuliraju upotrebom materijala dobivenih iz toka otpada u proizvodnji novih proizvoda.

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 20. Rezultati analize inventara okolišnih značajki sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanim Scenarijem 4

| | Recikliranje | Kompostiranje | Termička obrada | Odloženo na odlagalište | Ukupno u sustavu gospodarenja otpadom | Uporaba sekundarnih sirovina umjesto primarnih | Prerada recikliranog materijala | NLCI* |
|--|--------------|---------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|----------|
| <i>Količina obrađenog otpada / t</i> | 11 880 | 8330 | 250 | 920 | 21 380 | | | |
| <i>Energije /GJ</i> | 137 839 | 916 | -252 | 6887 | 145 390 | -439 154 | 135 398 | -158 366 |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | | | | |
| CO ₂ / t | 23 982 | 2405 | 26 | 1863 | 28 275 | -23 489 | 8725 | 13 511 |
| CH ₄ / t | 8,2 | 0,00 | 0,0 | 160 | 168 | -83,4 | 0,0 | 85 |
| CO ₂ eq / t | 24 154 | 2405 | 25 | 5227 | 31 810 | -25 240 | 8725 | 15 296 |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | | | | |
| SO _x / t | 2,31 | 0,003 | 0,1 | 0,77 | 3,16 | -89 | 58,4 | -27,2 |
| HCl / t | 0,009 | 0,000 | 0,03 | 0,036 | 0,08 | -56,1 | 0,02 | -56,0 |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | | | | |
| NO _x / t | 6,70 | 0,005 | 0,3 | 3,96 | 10,9 | -68,2 | 30,3 | -27,0 |
| PM ₁₀ / t | 2,29 | 1,4 | 0,02 | 1,7 | 5,4 | -31,8 | 15,5 | -10,9 |
| VOS / t | 1,35 | 0,20 | 0,03 | 2,2 | 3,8 | -63,3 | 28,1 | -31,4 |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | | | | |
| - Zrak | | | | | | | | |
| Pb / t | 0,150 | 0,001 | 0,2 | 0,02 | 0,3 | -2,57 | 1,29 | -0,9 |
| Hg / kg | 0,044 | 0,000 | 0,07 | 0,002 | 0,11 | -0,12 | 0,00 | -0,01 |
| Cd / kg | 0,007 | 0,000 | 0,02 | 0,006 | 0,03 | -0,06 | 0,00 | -0,03 |
| Dioksini (TEQ)** */g | 0,0001 | 0,00000 | 0,018 | 0,001 | 0,018 | n/a | 0,0000 | 0,018 |
| - Voda | | | | | | | | |
| Pb / kg | 0,788 | 0,006 | -0,002 | 0,34 | 1,13 | -25,5 | 12,6 | -11,85 |
| Hg / kg | 0,0127 | 0,00000 | 0,000 | 0,007 | 0,020 | -0,01 | 0,02 | 0,035 |
| Cd / kg | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,41 | 0,42 | -0,4 | 0,39 | 0,395 |
| BPK / kg | 0,48 | 0,001 | 0,002 | 2997 | 2997 | -14 797 | 23 962 | 12 163 |
| Dioksini (TEQ)** */g | n/a | n/a | n/a | 0,00003 | 0,0000 | n/a | n/a | 0,00003 |
| Ostatni otpad / t | 594 | 416 | 142 | 915 | 2068 | -1 549 | 1870 | 2388 |

* NLCI (engl. *Net Life Cycle Inventory*) - ukupan inventar životnog ciklusa energije/emisije koji uzima u obzir sve uštede koje se akumuliraju upotrebom materijala dobivenih iz toka otpada u proizvodnji novih proizvoda.

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Rezultati usporedbe inventara sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanog Scenarijem 1 sa svakim od tri predložena scenarija gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika prikazani su u tablicama 21, 22 i 23.

Tablica 21. Usporedba inventara sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanih Scenarijem 1 i Scenarijem 2

| | Scenarij 1 | Scenarij 2 | Smjer promjene | Ukupno iznos promjene | Ekvivalent |
|--|------------|------------|----------------|-----------------------|--|
| <i>Energije / GJ</i> | 59 953 | 143 420 | ↑ | 83 466 | Godišnja potrošnja električne energije 2000 kućanstava |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | |
| CO ₂ / t | 14 718 | 28 056 | ↑ | 13 338 | Godišnja emisija 400 automobila |
| CH ₄ / t | 884 | 113 | ↓ | 771 | |
| CO ₂ eq / t | 33 279 | 30 426 | ↓ | 2854 | |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | |
| NO _x / t | 21,26 | 9,20 | ↓ | 12,1 | Godišnja emisija 481 automobila |
| SO ₂ / t | 4,24 | 2,80 | ↓ | 1,44 | Godišnja potrošnja električne energije 100 kućanstava |
| HCl / t | 0,20 | 0,02 | ↓ | 0,17 | Godišnja potrošnja električne energije 300 kućanstava |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | |
| NO _x / t | 21,26 | 9,20 | ↓ | 12,1 | Godišnja emisija 481 automobila |
| PM ₁₀ / t | 8,72 | 5,1 | ↓ | 3,6 | Godišnja potrošnja električne energije 700 kućanstava |
| VOS / t | 11,60 | 3,00 | ↓ | 8,6 | Godišnja emisija 200 automobila |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | |
| - Zrak | | | | | |
| Pb / kg | 0,12 | 0,35 | ↑ | 0,23 | Godišnja potrošnja električne energije 571 kućanstava |
| Hg / kg | 0,02 | 0,11 | ↑ | 0,10 | Godišnja potrošnja električne energije 1600 kućanstava |
| Cd / kg | 0,03 | 0,03 | ↑ | 0,00 | Godišnja potrošnja električne energije 0 kućanstava |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 0,00 | 0,02 | ↑ | 0,015 | |
| - Voda | | | | | |
| Pb / kg | 1,82 | 1,13 | ↓ | 0,69 | Godišnja potrošnja električne energije 100 kućanstava |
| Hg / kg | 0,04 | 0,020 | ↓ | 0,02 | Godišnja potrošnja električne energije 7000 kućanstava |
| Cd / kg | 2,01 | 0,42 | ↓ | 1,60 | Godišnja potrošnja električne energije 17 700 kućanstava |
| BPK / kg | 15 425 | 2 997 | ↓ | 12 428,1 | Godišnja količina otpadnih voda 450 kućanstava |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 0,00 | 3,1E-05 | ↓ | 0,00012 | |
| Ostatni otpad / t | 19 120 | 2 068 | ↓ | 17 052 | |

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 22. Usporedba inventara sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanih Scenarijem 1 i Scenarijem 3

| | Scenarij 1 | Scenarij 3 | Smjer promjene | Ukupno iznos promjene | Ekvivalent |
|---|--|--|-----------------------|---|--|
| <i>Energije / GJ</i> | 59 953 | 145 125 | ↑ | 85 172 | Godišnja potrošnja električne energije 2000 kućanstava |
| <i>Staklenički plinovi</i> CO ₂ / t CH ₄ / t CO ₂ eq / t | 14 718 884 33 279 | 28 058 147 31 141 | ↑ ↓ ↓ | 13 340 737 2138 | Godišnja emisija 600 automobila |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> NO _x / t SO ₂ / t HCl / t | 21,26 4,24 0,20 | 10,33 3,03 0,05 | ↓ ↓ ↓ | 10,9 1,21 0,14 | Godišnja emisija 509 automobila Godišnja potrošnja električne energije 200 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 300 kućanstava |
| <i>Prekursori smoga</i> NO _x / t PM ₁₀ / t VOS / t | 21,26 8,72 11,60 | 10,33 5,3 3,50 | ↓ ↓ ↓ | 10,9 3,4 8,1 | Godišnja emisija 509 automobila Godišnja potrošnja električne energije 700 kućanstava Godišnja emisija 300 automobila |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> - Zrak Pb / kg Hg / kg Cd / kg PCDD/F (TEQ)** / g | 0,12 0,02 0,03 0,00 | 0,24 0,08 0,02 0,01 | ↑ ↑ ↓ ↑ | 0,13 0,06 0,01 0,005 | Godišnja potrošnja električne energije 316 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 900 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 500 kućanstava |
| - Voda Pb / kg Hg / kg Cd / kg BPK / kg PCDD/F (TEQ)** / g | 1,82 0,04 2,01 15 425 0,00 | 1,09 0,019 0,37 2635 2,7E-05 | ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ | 0,73 0,02 1,64 12 789,9 0,00013 | Godišnja potrošnja električne energije 100 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 7300 kućanstava Godišnja količina električne energije dostatna za 18 300 kućanstava Godišnja količina otpadnih voda 470 kućanstava |
| Ostatni otpad / t | 19 120 | 1592 | ↓ | 17 528 | |

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 23. Usporedba inventara sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanih Scenarijem 1 i Scenarijem 4

| | Scenarij 1 | Scenarij 4 | Smjer promjene | Ukupno iznos promjene | Ekvivalent |
|--|------------|------------|----------------|-----------------------|--|
| <i>Energije / GJ</i> | 59 953 | 145 390 | ↑ | 85 437 | Godišnja potrošnja električne energije 2000 kućanstava |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | |
| CO ₂ / t | 14 718 | 28 275 | ↑ | 13 557 | Godišnja emisija 400 automobila |
| CH ₄ / t | 884 | 168 | ↓ | 716 | |
| CO ₂ eq / t | 33 279 | 31 810 | ↓ | 1469 | |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | |
| NO _x / t | 21,26 | 10,93 | ↓ | 10,3 | Godišnja emisija 481 automobila |
| SO ₂ / t | 4,24 | 3,16 | ↓ | 1,08 | Godišnja potrošnja električne energije 100 kućanstava |
| HCl / t | 0,20 | 0,08 | ↓ | 0,12 | Godišnja potrošnja električne energije 300 kućanstava |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | |
| NO _x / t | 21,26 | 10,93 | ↓ | 10,3 | Godišnja emisija 481 automobila |
| PM ₁₀ / t | 8,72 | 5,4 | ↓ | 3,3 | Godišnja potrošnja električne energije 700 kućanstava |
| VOS / t | 11,60 | 3,77 | ↓ | 7,8 | Godišnja emisija 200 automobila |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | |
| - Zrak | | | | | |
| Pb / kg | 0,12 | 0,35 | ↑ | 0,23 | Godišnja potrošnja električne energije 571 kućanstava |
| Hg / kg | 0,02 | 0,11 | ↑ | 0,10 | Godišnja potrošnja električne energije 1600 kućanstava |
| Cd / kg | 0,03 | 0,03 | ↑ | 0,00 | Godišnja potrošnja električne energije 0 kućanstava |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 0,00 | 0,02 | ↑ | 0,015 | |
| - Voda | | | | | |
| Pb / kg | 1,82 | 1,13 | ↓ | 0,69 | Godišnja potrošnja električne energije 100 kućanstava |
| Hg / kg | 0,04 | 0,020 | ↓ | 0,02 | Godišnja potrošnja električne energije 7000 kućanstava |
| Cd / kg | 2,01 | 0,42 | ↓ | 1,60 | Godišnja potrošnja električne energije 17 700 kućanstava |
| BPK / kg | 15 425 | 2997 | ↓ | 12 428,1 | Godišnja količina otpadnih voda 450 kućanstava |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 0,00 | 3,1E-05 | ↓ | 0,00012 | |
| Ostatni otpad / t | 19 120 | 2068 | ↓ | 17 052 | |

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Rezultati usporedbe ukupnog inventara životnog ciklusa opisanog Scenarijem 1 sa svakim od tri predložena scenarija gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika prikazani su u tablicama 24, 25 i 26.

Tablica 24. Rezultati usporedbe ukupnog inventara životnog ciklusa Scenarija 1 i Scenarija 2

| | Scenarij 1 | Scenarij 2 | Smjer promjene | Ukupno iznos promjene | Ekvivalent |
|--|--|--|-----------------------|---|--|
| <i>Energije / GJ</i> | 15 515 | -158 366 | ↓ | 173 881 | Godišnja potrošnja električne energije 4000 kućanstava |
| <i>Staklenički plinovi</i> CO ₂ / t CH ₄ / t CO ₂ eq / t | 11 752 880 30 242 | 13 511 85 15 296 | ↓ | 14 946 | Godišnja emisija 4000 automobila |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> NO _x / t SO _x / t HCl / t | 14,5 -2,00 -1,88 | -26,99 -27,24 -56,00 | ↓ ↓ ↓ | 41,5 25,2 54,1 | Godišnja emisija 1900 automobila Godišnja potrošnja električne energije 3200 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 125 900 kućanstava |
| <i>Prekursori smoga</i> NO _x / t PM ₁₀ / t VOS / t | 14,5 5,3 6,2 | -26,99 -10,9 -31,39 | ↓ ↓ ↓ | 41,5 16,2 37,5 | Godišnja emisija 1900 automobila Godišnja potrošnja električne energije 3500 kućanstava Godišnja emisija 1200 automobila |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> <i>- Zrak</i> Pb / kg Hg / kg Cd / kg PCDD/F (TEQ)** / g | -0,1 0,0 0,03 0,00 | -0,93 -0,01 -0,03 0,02 | ↓ ↓ ↓ ↑ | 0,78 0,02 0,05 0,02 | Godišnja potrošnja električne energije 1900 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 300 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 2700 kućanstava |
| <i>- Voda</i> Pb / kg Hg / kg Cd / kg BPK / kg PCDD/F (TEQ)** / g | 1,02 0,0385 2,01 16 302 1,54E-04 | -11,85 0,035 0,40 12 163 3,1E-05 | ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ | 12,9 0,004 1,61 4139 0,000123 | Godišnja potrošnja električne energije 1200 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 1400 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 17 900 kućanstava Godišnja količina otpadnih voda 151 kućanstava |
| Ostatni otpad / t | 19 159 | 2 388 | ↓ | 16 771 | |

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodiodksin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 25. Rezultati usporedbe ukupnog inventara životnog ciklusa Scenarija 1 i Scenarija 3

| | Scenarij 1 | Scenarij 3 | Smjer promjene | Ukupno iznos promjene | Ekvivalent |
|--|--|--|-----------------------|---|---|
| <i>Energije / GJ</i> | 15 515 | -158 630 | ↓ | 174 145 | Godišnja potrošnja električne energije 4000 kućanstava |
| <i>Staklenički plinovi</i> CO ₂ / t CH ₄ / t CO ₂ eq / t | 11 752 880 30 242 | 13 294 63 14 627 | ↓ | 15 615 | Godišnja emisija 4200 automobila |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> NO _x / t SO _x / t HCl / t | 14,5 -2,00 -1,88 | -27,59 -27,36 -56,02 | ↓ ↓ ↓ | 42,1 25,4 54,1 | Godišnja emisija 2000 automobila Godišnja potrošnja električne energije 3200 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 125 900 kućanstava |
| <i>Prekursori smoga</i> NO _x / t PM ₁₀ / t VOS / t | 14,5 5,3 6,2 | -27,59 -11,0 -31,66 | ↓ ↓ ↓ | 42,1 16,3 37,8 | Godišnja emisija 2000 automobila Godišnja potrošnja električne energije 3500 kućanstava Godišnja emisija 1200 automobila |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> <i>- Zrak</i> Pb / kg Hg / kg Cd / kg PCDD/F (TEQ)** / g | -0,1 0,0 0,03 0,00 | -1,03 -0,04 -0,04 0,01 | ↓ ↓ ↓ ↑ | 0,88 0,06 0,06 0,01 | Godišnja potrošnja električne energije 2200 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 1000 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 3200 kućanstava |
| <i>- Voda</i> Pb / kg Hg / kg Cd / kg BPK / kg PCDD/F (TEQ)** / g | 1,02 0,0385 2,01 16 302 1,54E-04 | -11,88 0,034 0,35 11 801 2,7E-05 | ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ | 12,9 0,005 1,66 4501 0,000127 | Godišnja potrošnja električne energije 1200 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 1700 kućanstava Godišnja potrošnja električne energije 18400 kućanstava Godišnja količina otpadnih voda 164 kućanstava |
| Ostatni otpad / t | 19 159 | 1 913 | ↓ | 17 247 | |

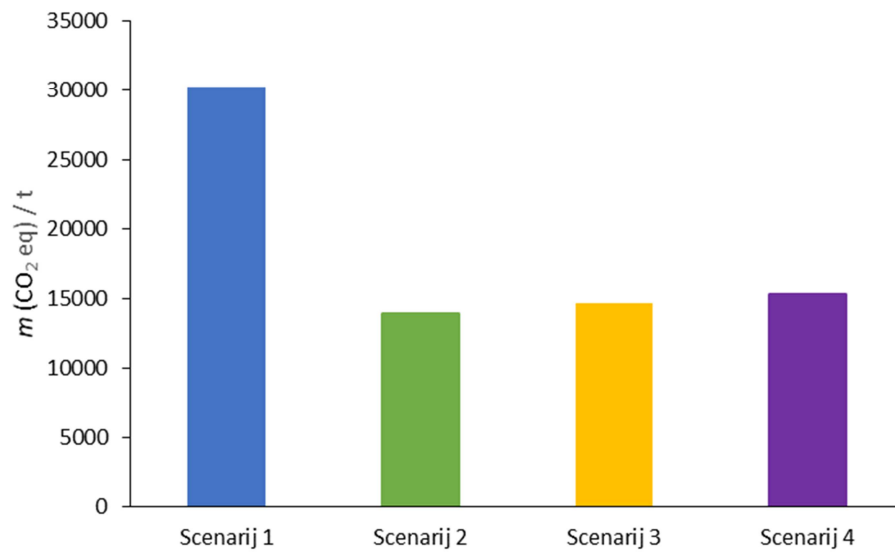
** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

Tablica 26. Rezultati usporedbe ukupnog inventara životnog ciklusa Scenarija 1 i Scenarija 4

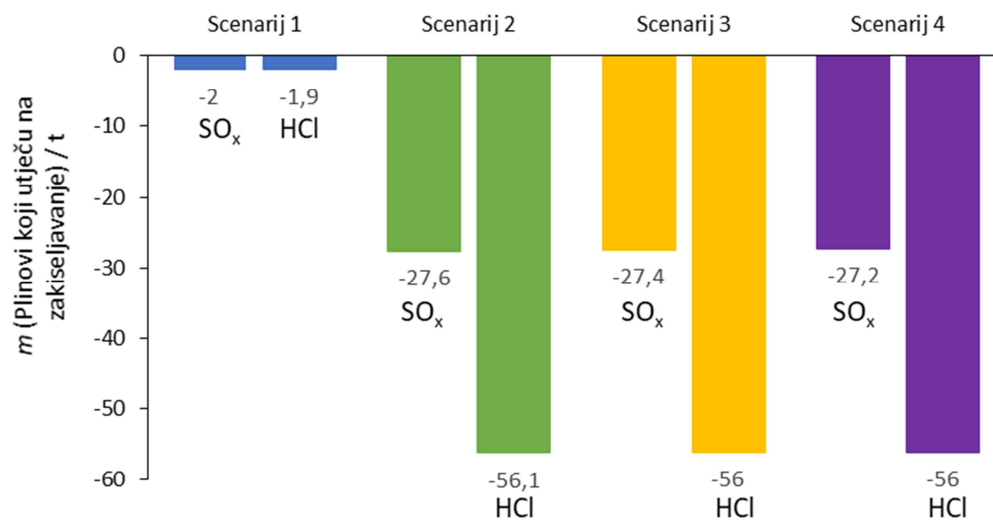
| | Scenarij 1 | Scenarij 4 | Smjer promjene | Ukupno iznos promjene | Ekvivalent |
|--|------------|------------|----------------|-----------------------|---|
| <i>Energije / GJ</i> | 15 515 | -158 366 | ↓ | 173 881 | Godišnja potrošnja električne energije 4000 kućanstava |
| <i>Staklenički plinovi</i> | | | | | |
| CO ₂ / t | 11 752 | 13 511 | | | |
| CH ₄ / t | 880 | 85 | | | |
| CO ₂ eq / t | 30 242 | 15 296 | ↓ | 14 946 | Godišnja emisija 4000 automobila |
| <i>Plinovi koji utječu na zakiseljavanje</i> | | | | | |
| NO _x / t | 14,5 | -26,99 | ↓ | 41,5 | Godišnja emisija 1900 automobila |
| SO _x / t | -2,00 | -27,24 | ↓ | 25,2 | Godišnja potrošnja električne energije 3200 kućanstava |
| HCl / t | -1,88 | -56,00 | ↓ | 54,1 | Godišnja potrošnja električne energije 125 900 kućanstava |
| <i>Prekursori smoga</i> | | | | | |
| NO _x / t | 14,5 | -26,99 | ↓ | 41,5 | Godišnja emisija 1900 automobila |
| PM ₁₀ / t | 5,3 | -10,9 | ↓ | 16,2 | Godišnja potrošnja električne energije 3500 kućanstava |
| VOS / t | 6,2 | -31,39 | ↓ | 37,5 | Godišnja emisija 1200 automobila |
| <i>Teški metali i organski spojevi</i> | | | | | |
| <i>- Zrak</i> | | | | | |
| Pb / kg | -0,1 | -0,93 | ↓ | 0,78 | Godišnja potrošnja električne energije 1900 kućanstava |
| Hg / kg | 0,0 | -0,01 | ↓ | 0,02 | Godišnja potrošnja električne energije 300 kućanstava |
| Cd / kg | 0,03 | -0,03 | ↓ | 0,05 | Godišnja potrošnja električne energije 2700 kućanstava |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 0,00 | 0,02 | ↑ | 0,02 | |
| <i>- Voda</i> | | | | | |
| Pb / kg | 1,02 | -11,85 | ↓ | 12,9 | Godišnja potrošnja električne energije 1200 kućanstava |
| Hg / kg | 0,0385 | 0,035 | ↓ | 0,004 | Godišnja potrošnja električne energije 1400 kućanstava |
| Cd / kg | 2,01 | 0,40 | ↓ | 1,61 | Godišnja potrošnja električne energije 17 900 kućanstava |
| BPK / kg | 16 302 | 12 163 | ↓ | 4139 | Godišnja količina otpadnih voda 151 kućanstava |
| PCDD/F (TEQ)** / g | 1,54E-04 | 3,1E-05 | ↓ | 0,000123 | |
| Ostatni otpad / t | 19 159 | 2388 | ↓ | 16 771 | |

** Najviše dopuštene količine izražavaju se prema 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-tetraklorodibenzodioxin) putem toksičnog ekvivalenta (TEQ) koji se dobije izračunom pojedinačnih količina dioksina s odgovarajućim toksičnim ekvivalent faktorima (TEF).

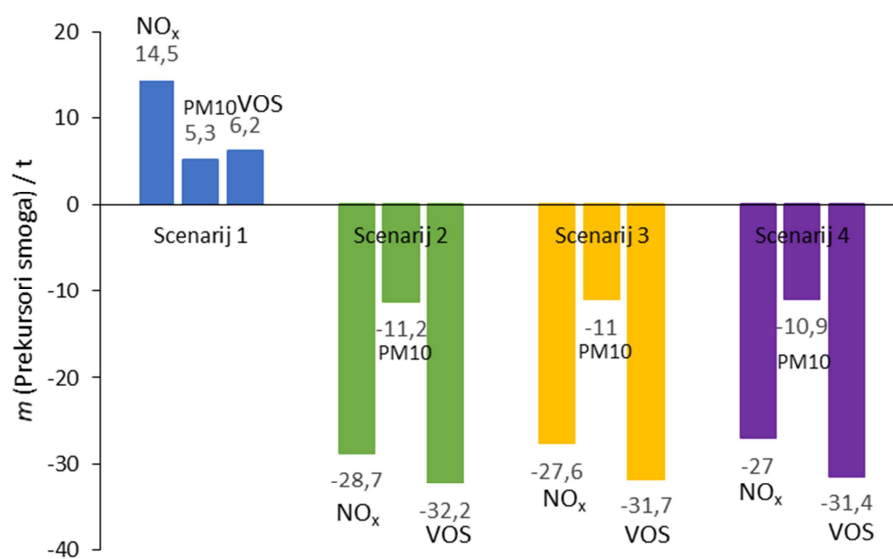
Potencijali globalnog zatopljenja, zakiseljavanja i nastajanja smoga za analizirane scenarije gospodarenja otpadom prikazani su na slikama 15, 16 i 17.



Slika 15. Potencijal globalnog zatopljenja izražen masom ekvivalent CO₂ eq emisije za analizirane scenarije gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika.



Slika 16. Potencijal zakiseljavanja izražen masom plinova koji utječu na zakiseljavanje (SO_x i HCl) za analizirane scenarije gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika.



Slika 17. Potencijal nastajanja smoga izražen masom prekursora smoga (NO_x, PM₁₀ i VOS) za analizirane scenarije gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika.

4. RASPRAVA

4.1. USPOREDBA SUSTAVA GOSPODARENJA OTPADOM

Predmet interesa ovog diplomskog rada bio je sustav gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika. Učinkovitost postojećeg sustava gospodarenja otpadom (Scenarij 1) analizirana je u odnosu na ciljeve EU-a i ciljeve koji su određeni u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2017. – 2022. i u Izmjeni Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. Radi ostvarivanja propisanih ciljeva o otpadu, a na temelju podataka o otpadu za 2019. godinu za Grad Dubrovnik, predložene su tri varijante gospodarenja komunalnim otpadom (Scenariji 2, 3 i 4). Postojeći sustav gospodarenja otpadom Grada Dubrovnika analiziran je i uspoređen sa svakim od tri predložena scenarija sustava gospodarenja otpadom primjenom aplikacijske programske podrške za procjenu životnog ciklusa IWM. Rezultati analize inventara okolišnih značajki četiriju scenarija gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika prikazani su u tablicama 17, 18, 19 i 20. U navedenim tablicama dva stupca su obojena sivom bojom. U prvom sivo obojenom stupcu prikazane su energije/emisije inventara okolišnih značajki nastale aktivnostima u sustavu gospodarenja komunalnim otpadom kao što su sakupljanje, recikliranje, kompostiranje, energetska uporaba i odlaganje. Drugi sivo obojeni stupac prikazuje ukupan inventar životnog ciklusa energije/emisije koji uzima u obzir sve uštede koje se akumuliraju upotrebom materijala dobivenih iz toka otpada u proizvodnji novih proizvoda.

Nalazi usporedbe inventara sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanog Scenarijem 1 sa svakim od tri predložena scenarija gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika prikazani su u tablicama od 21 do 23. Rezultati usporedbe ukupnog inventara životnog ciklusa Scenarija 1 sa svakim od tri predložena scenarija prikazani su u tablicama od 24 do 26. U navedenim tablicama energija potrošena u različitim procesima gospodarenja otpadom (prema izračunu modela) uspoređena je s godišnjom potrošnjom električne energije prosječnog kućanstva Grada Dubrovnika. U tablicama usporedbe scenarija potrošnja energije je izražena brojem kućanstava koji bi potrošio ekvivalentnu količinu energije u obliku električne energije u jednoj godini. Promjene u količini stakleničkih plinova, NO_x, VOS, PCDD i PCDF nastalih iz izvora u sustavu gospodarenja otpadom izražene su brojem vozila koja bi u godinu dana u atmosferu ispustio ekvivalentne količine navedenih spojeva. Osim toga, promjene u količini teških metala, SO₂, PM₁₀ i HCl

uzrokovane promjenama u varijablama sustava gospodarenja otpadom izražene su određenim brojem kućanstava koja bi u godinu dana potrošnjom električne energije emitirala jednakovrijedne količine navedenih parametara u atmosferu. Promjena vrijednosti BPK je uspoređena s količinom BPK otpadnih voda koje generira prosječno kućanstvo i izražen je brojem kućanstava koje bi proizvelo ekvivalentan BPK tijekom jedne godine. Pozitivni brojevi u tablicama od 21 do 26 predstavljaju emisije ili utrošenu energiju, dok negativni brojevi označavaju obnovljenu energiju ili uštedenu energiju te predstavljaju poželjan doprinos zaštiti okoliša.

Utjecaj sustava gospodarenja otpadom na okoliš kvantificiran je pomoću kategorije utjecaja (utjecaj na zdravlje ljudi, utjecaj na kvalitetu ekosustava, klimatske promjene i resursi; potencijal globalnog zatopljenja, potencijal zakiseljavanja, potencijal nastajanja smoga i toksičnost za čovjeka), a rezultati su prikazani na slikama 15, 16 i 17.

4.2.1. Usporedba Scenarija 1 i Scenarija 2 sustava gospodarenja otpadom

Prema podacima navedenim u tablici 4 za 2019 godinu, 14,5 % sakupljenog komunalnog otpada izravno je upućeno na uporabu. Preostala količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada privremeno je uskladištena ili proslijeđena odlagalištima gdje su se eventualno izdvojile iskoristive komponente i proslijeđile na uporabu. Miješani komunalni otpad se bez dodatne obrade odlagao na odlagalište.

Promatrajući postojeći sustava gospodarenja krutim komunalnim otpadom Grada Dubrovnika može se primijetiti da sustav nije potpuno zadovoljavajući (tablica 17). Naime, iako se u Gradu Dubrovniku provodi organizirano sakupljanje otpada, odvojeno sakupljanje korisnih vrsta otpada iz komunalnog otpada nije zadovoljavajuće. Sortiranje i priprema metala, plastike, stakla i papira iz komunalnog otpada ne provodi se u dovoljnoj mjeri. Najveće količine komunalnog otpada i dalje se, bez prethodne obrade, odlažu na neuređeno odlagalište. Iako se provode aktivnosti odvojenog sakupljanja otpada, edukacije, ulaganje u nove infrastrukture, potrebno je još mnogo kako bi se ostvarili ciljevi navedeni u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2023. vezano za odvajanje, pripremu za ponovnu uporabu i materijalnu uporabu materijala iz komunalnog otpada.

Međutim, uspostavom sustava gospodarenje komunalnim otpadom opisanog Scenarijem 2 recikliralo bi se preko 25 % otpada, kompostiralo 46 % biorazgradljivog otpada, energetske bi se oporabio više od 4 % uz kogeneraciju toplinske i električne energije, a na odlagalište bi se odložilo gotovo 24 % otpada. Implementacijom Scenarija 2 (ali i Scenarija 3 i 4) sustav gospodarenja komunalnim otpadom Grada Dubrovnika unaprijedio bi se dodatnim procesima obrade otpada, tj. kompostiranjem i energetske oporabom. Kompostiranje je uspješna metoda obrade biorazgradljivog otpada kojom bi se proizvodile vrijedne sirovine uz istovremeno smanjenje proizvodnje metana i procjedne vode s visokim razinama biološkog onečišćenja. Energetske oporabom obradile bi se gorive frakcije komunalnog otpada. Rezultat energetske oporabe otpada bio bi toplinska i električna energija, dok bi kao ostatak nastala šljaka i pepeo. Postupanje s ovim nastalim materijalima uvjetovano je njegovim sastavom, tj. značajkama. Inertni materijal odlagao bi se na odlagalište neopasnog (inertnog) otpada ili bi se koristio kao zamjenski materijal za mineralne agregate. Opasne frakcije odlagale bi se na odlagalište opasnog otpada ili bi se izvozile. Prema podacima prikazanim u tablici 21 razvidno je da bi se uspostavom sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanim Scenarijem 2 povećala potrošnje energije. Međutim, vrijednosti 14 parametara od sveukupno 20 analiziranih parametara bi se smanjile što bi rezultiralo smanjenjem štetnih utjecaja na ljudsko zdravlje, povećanjem kvalitete ekosustava i značajnim smanjenjem iskorištavanja nepovratnih prirodnih resursa. Vidljivo je povećanje količine stakleničkih plinova (CO₂), dok se količina plinova CO₂ eq i CH₄ smanjuje i u inventaru sustava gospodarenja komunalnim otpadom (tablica 21) i u inventaru životnog ciklusa (tablica 24). Nadalje, zbog energetske oporabe otpada uz istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije implementacijom Scenarija 2 povećale bi se emisije teških metala i organskih spojeva, tj. dioksina. Iz grafičkog prikaza na slikama 15, 16 i 17 vidljivo je kako dolazi do smanjenja oslobođene količine (t) CO₂ eq, plinova koji utječu na zakiseljavanje i plinova prekursora smoga. Iz toga se može zaključiti kako bi prelazak na Scenarij 2 pozitivno utjecao na potencijal globalnog zatopljenja, zakiseljavanje i nastanka smoga, odnosno poboljšava kvalitetu života.

4.2.2. Usporedba Scenarija 1 i Scenarija 3 sustava gospodarenja otpadom

Rezultati usporedbe sustava gospodarenje komunalnim otpadom opisanih Scenarijima 1 i 3 prikazani su u tablicama 22 i 25. U Scenariju 3 recikliralo bi se preko 36 % otpada, kompostiralo 42 % biorazgradljivog otpada, energetske bi se oporabio više od 4 % uz iskorištavanje nastale energije, dok bi se na odlagalište odložilo gotovo 18 % otpada.

Iako u manjoj mjeri nego za Scenarij 2 implementacijom navedenog sustava također je vidljivo povećanje količine stakleničkih plinova (CO₂), međutim negativne vrijednosti vidljive u tablici 25 upućuju na smanjenje korištenja neobnovljivih izvora energije i na pozitivan doprinos očuvanju okoliša. Pogledavši grafove na slikama 15, 16, i 17 može se zaključiti da se trend pozitivnog utjecaja na potencijal globalnog zatopljenja, zakiseljavanja i nastanka smoga nastavlja i implementacijom Scenarija 3.

4.2.3. Usporedba Scenarija 1 i Scenarija 4 sustava gospodarenja otpadom

Rezultati usporedbe sustava gospodarenja komunalnim otpadom opisanih u Scenarijima 1 i 4 prikazani su u tablicama 23 i 26.

U Scenariju 4 recikliralo bi se preko 40 % otpada, kompostiralo blizu 40 % biorazgradljivog otpada, energetske bi se oporabio više od 4 % uz kogeneraciju toplinske i električne energije, a na odlagalište bi se odložilo 16 % otpada (tablica 26). Negativne vrijednosti emisija metana te prekursora smoga kao i plinova koji utječu na zakiseljavanje daju podatak o pozitivnom doprinosu očuvanju okoliša. Nadalje, vrijednosti emisija teških metala i organskih spojeva u zrak se smanjuju što ima za posljedicu pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje. Može se primijetiti (tablica 26) da bi implementacijom Scenarija 4 Grad Dubrovnik uštedio 173 881 GJ energije što je ekvivalentno godišnjoj potrošnji električne energije 4000 kućanstava. Također, u odnosu na trenutno stanje ostatni otpad smanjio bi se za približno 68 %. Za implementaciju ovog sustava gospodarenja potrebno je razmatrati širi aspekt doprinosa energetske uporabe otpada, uzimajući pri tome u obzir zaštitu okoliša i važnost ovog postupka obrade za ostvarenje zakonski postavljenih ciljeva. Također, u ovom slučaju napredak bi zahtijevao i velika ekonomska ulaganja.

5. ZAKLJUČAK

Poznato je da otpad nije omiljena tema razgovora ili pretjeranog razmišljanja, samo se zbrinja na odgovarajući ili neodgovarajući način i rijetko koga zanima gdje će završiti. Međutim, otpad je nusproizvod naših svakodnevnih aktivnosti, našeg življenja, pa umjesto da se otpad smatra smećem, može ga se pretvoriti u resurs. S tim u vezi, potrebno je na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini uspostaviti sustav gospodarenja otpadom koji stavlja naglasak na ponovnu uporabu, popravak, oporabu i recikliranje postojećih materijala i proizvoda. Takav sustav gospodarenja otpadom pridonio bi racionalnom korištenju i očuvanju prirodnih resursa, smanjenju ukupne količine otpada odloženog na odlagalištima, smanjenju emisija onečišćujućih tvari u okoliš i smanjenju rizika po zdravlje ljudi i okoliš.

U Gradu Dubrovniku u 2019. godini, unatoč velikim naporima da se smanji količina nastalog komunalnog otpada i količina otpada koji se odlaže na odlagalište, udio odvojeno sakupljenog i recikliranog otpada je bio nizak (14,5 %). Preostala količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada privremeno je uskladištena ili proslijeđena odlagalištima gdje su se eventualno izdvojile iskoristive komponente i proslijeđile na oporabu. Miješani komunalni otpad se bez dodatne obrade odlaže na odlagalište.

Implementacijom jednog od 3 scenarija predložena u ovom radu smanjili bi se svi važniji utjecaji na zdravlje ljudi, poboljšala bi se kvaliteta ekosustava i uvelike smanjilo crpljenje nepovratnih prirodnih bogatstava.

Najbolji utjecaj na kvalitetu života imala bi implementacija Scenarija 4, međutim s obzirom na to da Grad Dubrovnik, kao ni ostatak Republike Hrvatske do 2022. godine nisu uspjeli ostvariti niti ciljeve predviđene za 2020. godinu, uvođenje ovog sustav gospodarenja otpadom do 2035. godine smatra se teško izvedivim.

U praksi je uvođenje sustava gospodarenja otpada prikazanog u predloženim scenarijima manje-više izvedivo, ovisno o ekološkoj osviještenosti pojedinca te želji, volji i financijskim mogućnostima cijele zajednice za implementacijom sustava. Za bolju budućnost, moramo početi djelovati u sadašnjosti i promijeniti svoju percepciju otpada.

6. LITERATURA

1. URL:<https://mingor.gov.hr/> (20. 6. 2021.)
2. URL:<http://www.haop.hr/hr/propisi-za-podrucje-gospodarenja-otpadom/propisi-za-podrucje-gospodarenja-otpadom> (20. 6. 2021.)
3. Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Narodne novine br. 94/2013, 73/2017, 14/2019, 98/2019
4. Zakon o gospodarenju otpadom, Narodne novine br. 84/2021
5. Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022., Narodne novine br. 3/2017
6. Izmjena Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine. Narodne novine br. 1/2022.
7. *F. McDougall, P. White, M. Franke, P. Hindle*, Integrated solid waste management: a life cycle inventory, Blackwell Science Ltd, Blackwell Publishing Company, Oxford, UK, 2001.
8. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544208002120> (21. 6. 2021.)
9. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115011270> (21. 6. 2021.)
10. URL:<http://www.pjoes.com/Life-Cycle-Assessment-of-Municipal-Solid-Waste-Management-Comparison-of-Results-Using-Different-LCA-Models,50697,0,2.html> (22. 6. 2021.)
11. URL:https://eprints.whiterose.ac.uk/155407/1/LCA%20manuscript_JCP.pdf (22. 6. 2021.)
12. URL:<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X20906250> (22. 6. 2021.)
13. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121000597> (24. 6. 2021.)
14. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10001492> (24. 6. 2021.)
15. URL:<https://www.cistoca.hr/gospodarenje-otpadom-8/edukacija-1513/pojmovnik-1534/1534> (24. 6. 2020.)
16. URL:https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1554.html (24. 7. 2021.)
17. *J. Margeta*, Upravljanje krutim komunalnim otpadom, Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2017, str. 1-67.

18. URL:https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_94_2123.html
(24. 7. 2021.)
19. URL:http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvesca/Kratki%20pregled%20KO%202019.pdf (13. 7. 2021.)
20. URL:http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/inline-files/OTP_Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu%20za%202019_5.pdf (27. 7. 2021.)
21. URL:<http://sprjecavanjeotpada.azo.hr/datoteka?id=64> (13. 7. 2021.)
22. A. Pažin, Eko-dizajn, završni rad - preddiplomski studij, Kemijsko-tehnološki fakultet, Sveučilište u Splitu, Split, 2016.
23. Ni-Bin Chang, A. Pires, Sustainable solid waste management : a systems engineering approach, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. All, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2015.
24. V. Mihajlović, Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2015.
25. J. Stepanov, Model za evakuaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primjenom metode ocjenjivanja životnog ciklusa, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2018.
26. URL:<https://www.dubrovnik.hr/> (14. 7. 2021.)
27. URL:<http://www.zavoddbk.org/> (14. 7. 2021.)
28. URL:https://www.dubrovnik.hr/uploads/pages/189/Izvjescje_provedba_PGO_2019.pdf Izvješće o provedbi plana gospodarenja otpadom grada Dubrovnika 2019. godine (13. 7. 2021.)
29. J. Lukeš Vuković, A. Vuković, M. Ikonić, Važnost studije slučaja u procesu formuliranja strategije industrijskih poslovnih sustava, Eng. Rev. 28-1 (2008) 85-91.
30. URL:<http://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/otpad-registri-oneciscavanja-i-ostali-sektorski-pritisci/gospodarenje-otpadom-0> (12. 8. 2021)
31. URL:[http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvesca/obveze_jls/OTP_2019_IRDJU_pregled%20podataka%20\(final%20WEB\).pdf](http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvesca/obveze_jls/OTP_2019_IRDJU_pregled%20podataka%20(final%20WEB).pdf) (12. 8. 2021)

32. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, projekt: „Izrada jedinstvene metodologije za analize sastava komunalnog otpada, određivanje prosječnog sastava komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj i projekcija količina komunalnog otpada“
33. URL:http://www.azo.hr/Methodologija_za_određivanje_sastava_komunalnog_otpad (2. 1. 2022.)

7. PRILOZI

Prilog 1. Popis postupaka zbrinjavanja otpada⁴

D 1 Odlaganje otpada u ili na tlo (na primjer odlagalište itd.)

D 2 Obrada otpada na ili u tlu (na primjer biološka razgradnja tekućeg ili muljevitog otpada u tlu itd.)

D 3 Duboko utiskivanje otpada (na primjer utiskivanje otpada crpkama u bušotine, iscrpljena ležišta soli, prirodne šupljine itd.)

D 4 Odlaganje otpada u površinske bazene (na primjer odlaganje tekućeg ili muljevitog otpada u jame, bazene, lagune itd.)

D 5 Odlaganje otpada na posebno pripremljeno odlagalište (odlaganje u povezane komore koje su zatvorene i izolirane jedna od druge i od okoliša itd.)

D 6 Ispuštanje otpada u kopnene vode isključujući mora/oceane

D 7 Ispuštanje otpada u mora/oceane uključujući i ukapanje u morsko dno

D 8 Biološka obrada otpada koja nije specificirana drugdje u ovim postupcima, a koja za posljedicu ima konačne sastojke i mješavine koje se zbrinjavaju bilo kojim postupkom navedenim pod D 1 – D 12

D 9 Fizikalno-kemijska obrada otpada koja nije specificirana drugdje u ovim postupcima, a koja za posljedicu ima konačne sastojke i mješavine koje se zbrinjavaju bilo kojim postupkom navedenim pod D 1 – D 12 (na primjer isparavanje, sušenje, kalciniranje itd.)

D 10 Spaljivanje otpada na kopnu

D 11 Spaljivanje otpada na moru (ovaj je postupak zabranjen zakonodavstvom EU-a i međunarodnim konvencijama)

D 12 Trajno skladištenje otpada (na primjer smještaj spremnika u rudnike itd.)

D 13 Spajanje ili miješanje otpada prije podvrgavanja bilo kojem postupku navedenim pod D 1 – D 12 (ako nijedna druga oznaka D nije odgovarajuća, ova može obuhvatiti prethodne postupke prije odlaganja, uključujući prethodnu preradu, primjerice, među ostalim, sortiranje, drobljenje, sabijanje, peletiranje, sušenje, usitnjavanje, kondicioniranje ili odvajanje prije podvrgavanja bilo kojem od postupaka navedenim pod D1 – D12)

D 14 Ponovno pakiranje otpada prije podvrgavanja bilo kojem od postupaka navedenim pod D 1 – D 13

D 15 Skladištenje otpada prije primjene bilo kojeg od postupaka zbrinjavanja navedenim pod D 1 – D 14 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka, prije sakupljanja) i drugi postupci propisani posebnim propisom.

Prilog 2. Popis postupaka uporabe otpada⁴

R 1 korištenje otpada uglavnom kao goriva ili drugog načina dobivanja energije

Ovaj postupak obuhvaća spalionice namijenjene preradi krutog komunalnog otpada samo kad je njihova energetska efikasnost jednaka ili veća od:

– 0,60 za postrojenja u radu i odobrena u skladu s primjenjivim zakonodavstvom Zajednice prije 1. siječnja 2009.

– 0,65 za postrojenja koja su odobrena nakon 31. prosinca 2008. primjenom sljedeće formule:

Energetska efikasnost = $(E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$ gdje:

E_p označava godišnju proizvodnju energije kao toplinske energije ili električne energije. Izračunava se tako da se energija u obliku električne energije pomnoži s 2,6, a toplinska energija proizvedena u komercijalne svrhe množi se s 1,1 (GJ/godina)

E_f označava količinu energije koja godišnje ulazi u sustav, a dobivena je iz goriva i služi proizvodnji pare (GJ/godina)

E_w označava godišnju količinu energije sadržane u obrađenom otpadu izračunanu primjenom neto kalorične vrijednosti otpada (GJ/godina)

E_i označava godišnju uvezenu količinu energije bez E_w i E_f (GJ/godina)

0,97 je faktor obračuna gubitaka energije zbog pepela na dnu peći i isijavanja.

Ova se formula primjenjuje u skladu s referentnim dokumentom o najboljim dostupnim tehnikama za spaljivanje otpada.

Vrijednost formule za energetska učinkovitost množi se s klimatskim korekcijskim faktorom (CCF) na sljedeći način:

1. CCF za pogone u funkciji i dopuštene u skladu s važećim zakonodavstvom Unije prije 1. rujna 2015.

$CCF = 1$ ako je $HDD \geq 3\,350$

$CCF = 1,25$ ako je $HDD \leq 2\,150$

$CCF = - (0,25/1\,200) \times HDD + 1,698$ kada je $2\,150 < HDD < 3\,350$

2. CCF za pogone dopuštene nakon 31. kolovoza 2015. i za pogone u sklopu točke 1. ovoga Dodatka nakon 31. prosinca 2029.

$CCF = 1$ ako je $HDD \geq 3\,350$

$CCF = 1,12$ ako je $HDD \leq 2\,150$

$CCF = - (0,12/1\,200) \times HDD + 1,335$ kada je $2\,150 < HDD < 3\,350$

(Dobivena vrijednost CCF-a zaokružiti će se na tri decimalna mjesta.).

Vrijednost HDD-a (stupanj – dan grijanja) trebala bi se uzeti kao prosječna vrijednost HDD-a za lokaciju pogona za spaljivanje, izračunana za razdoblje od 20 uzastopnih godina prije godine za koju je izračunan CCF. Za izračun vrijednosti HDD-a trebala bi se primjenjivati sljedeća metoda koju je utvrdio Eurostat: HDD je jednak $(18\text{ °C} - T_m) \times d$ ako je T_m niži od ili jednak 15 °C (prag grijanja), a nula ako je T_m viši od 15 °C , pritom je T_m prosječna $(T_{\min} + T_{\max})/2$ vanjska temperatura u razdoblju od d dana. Izračuni se provode na dnevnoj osnovi ($d = 1$) te se zbrajaju za godinu.

R 2 obnavljanje/regeneracija otpadnog otapala

R 3 recikliranje/obnavljanje otpadnih organskih tvari koje se ne koriste kao otapala (ovaj postupak obuhvaća kompostiranje i druge procese biološke pretvorbe, pripremu za ponovnu uporabu, plinifikaciju i pirolizu u kojima se sastojci upotrebljavaju kao kemikalije te uporabu organskih materijala u obliku nasipavanja)

R 4 recikliranje/obnavljanje otpadnih metala i spojeva metala

(ovaj postupak obuhvaća pripremu za ponovnu uporabu)

R 5 recikliranje/obnavljanje drugih otpadnih anorganskih materijala

(ovaj postupak obuhvaća pripremu za ponovnu uporabu, recikliranje anorganskih građevinskih materijala, uporabu anorganskih materijala u obliku nasipavanja i čišćenje tla koje rezultira uporabom otpada)

R 6 regeneracija otpadnih kiselina ili lužina

R 7 uporaba otpadnih sastojaka koji se koriste za smanjivanje onečišćenja

R 8 uporaba otpadnih sastojaka iz katalizatora

R 9 ponovna prerada otpadnih ulja ili drugi načini ponovne uporabe ulja

R 10 tretiranje tla otpadom u svrhu poljoprivrednog ili ekološkog poboljšanja

R 11 upotreba otpada nastalog bilo kojim postupkom navedenim pod R 1 – R 10

R 12 razmjena otpada radi primjene bilo kojeg od postupaka uporabe navedenim pod R 1 – R 11

(ako nijedna druga oznaka R nije odgovarajuća, ova može obuhvatiti prethodne postupke prije uporabe, uključujući prethodnu preradu kao što su, među ostalim, rasklapanje, sortiranje, drobljenje, sabijanje, peletiranje, sušenje, usitnjavanje, kondicioniranje, ponovno pakiranje, odvajanje, uklapanje ili miješanje prije podvrgavanja bilo kojem od postupaka navedenim pod R1 – R11)

R 13 Skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka uporabe navedenim pod R 1 do R 12 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka, prije sakupljanja).

i drugi postupci propisani posebnim propisom.