

Smanjenje ekološkog otiska pomoću održivog gospodarenja otpadom na primjeru ŽCGO Kaštijun

Radolović, Donald

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:463731>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli



DONALD RADOLOVIĆ

**SMANJENJE EKOLOŠKOG OTISKA POMOĆU ODRŽIVOG GOSPODARENJA
OTPADOM NA PRIMJERU ŽCGO KAŠTIJUN**

Diplomski rad

Pula, _____, ____ godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Tehnički fakultet u Puli

DONALD RADOLOVIĆ

**SMANJENJE EKOLOŠKOG OTISKA POMOĆU ODRŽIVOG GOSPODARENJA
OTPADOM NA PRIMJERU ŽCGO KAŠTIJUN**

Diplomski rad

JMBAG: 0303064694, izvanredni student
Studijski smjer: Diplomski sveučilišni studij Strojtarstvo

Predmet: INŽENJERSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA
Znanstveno područje: TEHNIČKE ZNANOSTI
Znanstveno polje: STROJARSTVO
Znanstvena grana: PROIZVODNO STROJARSTVO
Mentor: Doc. dr. sc. Igor Kegalj, dipl. ing

Pula, _____, ___ godine



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Donald Radolović kandidat za magistara inženjera strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj Diplomski rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Diplomskog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, 04. svibanja 2023. godine





IZJAVA

o korištenju autorskog djela

Ja, Donald Radolović dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Diplomski rad pod nazivom „Smanjenje ekološkog otiska pomoću održivog gospodarenja otpadom na primjeru ŽCGO Kaštijun“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 04. svibnja 2023. godine

Student

ZAHVALA

Zahvaljujem se svome mentoru doc.dr.sc. Igoru Kegalju, dipl. ing na pomoći, vodstvu i stručnim savjetima tijekom pisanja ovog diplomskog rada, kao i na podršci tijekom studija.

Zahvaljujem se dr.sc. Sanji Radolović, pred. te ustanovi ŽCGO Kaštijun iz Pule. Na pomoći i potrebnim informacijama vezanim uz ŽCGO Kaštijun, posebno se zahvaljujem gđi. Kovički Aškić i Suzani Vračar Travica.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i svima onima koji su mi bili podrška tijekom studiranja i pisanja ovog rada, a posebno svojoj djevojci na strpljenju, razumijevanju i pomoći.

SAŽETAK

U ovome su radu obrađene teme vezane uz gospodarenje otpadom, kružnu ekonomiju, ekološki otisak i energetska učinkovitost. Također, veliki dio rada vezan je uz gospodarenje otpadom i tehnologiju obrade otpada na ŽCGO-u Kaštijun u Puli, te se je na samome kraju dalo teoretsko rješenje za optimizaciju proizvodnje goriva iz otpada u ŽCGO-u Kaštijun kroz korektivni plan srednjeg roka i korektivni plan dugog roka. Kod gospodarenja otpadom, obrađeni su ciljevi, načela i dionici procesa gospodarenja otpadom. Kako se iz dana u dan ljudska populacija širi i raste, u svijetu se javlja sve veća potreba za pravilnim i adekvatnim gospodarenjem otpadom. Kružna ekonomija predstavlja temelj održivog razvoja i kao takva veliki potencijal ima u pogledu inovacija, otvaranja novih radnih mjesta te na samome kraju i gospodarski rast. Za svoj krajnji cilj, kružna ekonomija ima uspostavu sustava u kojem materijali/roba zadržavaju svoju maksimalnu vrijednost te se nastoji do najvišeg stupnja iskoristiti iste te zatvoriti krug u kojem otpad iz jednog procesa predstavlja input, odnosno početnu sirovinu za drugi proces. U svijetu koji se razvija brže nego ikada u povijesti, od velikog je značaja ekološki otisak, koji je glavni pokazatelj ljudskog utjecaja na prirodne resurse. U ovome radu, dan je općeniti pregled ekološkog otiska, te svi relevantni pojmovi vezani uz isti. Osmišljeni korektivni planovi, nude moguća teoretska rješenja za savladavanje postojećih i nadolazećih prepreka za kvalitativno i kvantitativno zadovoljenje potreba tržišta za proizvodnjom SRF-a.

Ključne riječi: Gospodarenje otpadom, kružna ekonomija, ekološki otisak, ŽCGO Kaštijun

SUMMARY

In this paper, topics related to waste management, circular economy, ecological footprint and energy efficiency are covered, also, a large part of the work is related to waste management and waste processing technology at ŽCGO Kaštijun in Pula, and at the very end a theoretical solution for optimizing the production of fuel from waste in ŽCGO Kaštijun through a medium-term corrective plan and a long-term corrective plan. In waste management section of this paper, the goals, principles and stakeholders of the waste management process are covered. As the human population expands and grows day by day, there is an increasing need for proper and adequate waste management in the world. The circular economy represents the basis of sustainable development and as such has great potential in terms of innovation, creation of new jobs, and ultimately, economic growth. For its ultimate goal, the circular economy has the establishment of a system in which materials/goods retain their maximum value and strive to use them to the highest degree and close the circle in which waste from one process represents input, i.e. the starting raw material for another process. In a world that is developing faster than ever in history, the ecological footprint, which is the main indicator of human impact on natural resources, is of great importance. In this paper, a general overview of the ecological footprint, as well as all relevant terms related to it, is given. Given corrective plans, offers possible theoretical solutions for overcoming existing and upcoming obstacles for both qualitative and quantitative satisfaction of market needs for SRF production.

Keywords: Waste management, circular economy, ecological footprint, ŽCGO Kaštijun

Table of Contents

1. Uvod.....	1
1.1. Problem istraživanja	1
1.2. Predmet istraživanja	1
1.3. Svrha i ciljevi istraživanja	1
1.4. Istraživačke hipoteze	2
1.5. Metode istraživanja.....	2
1.6. Doprinos istraživanja	3
2. Gospodarenje otpadom.....	4
2.1. Ciljevi i načela gospodarenja otpadom	4
2.2. Dionici, građevine i postrojenja.....	7
2.3. Vrste otpada.....	11
2.4. Prikupljanje otpada.....	12
2.5. Oporaba i zbrinjavanje otpada.....	13
3. Kružna ekonomija.....	16
3.1. Principi kružne ekonomije	16
3.2. Alati kružne ekonomije.....	18
3.3. Kružna ekonomija u Europskoj Uniji	18
3.4. Kružna ekonomija u Hrvatskoj.....	19
3.5. Primjer koncepta kružnog toka u Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun	20
4. Održivi razvoj	22
5. Ekološki otisak i energetska učinkovitost.....	24
5.1. Ekološki otisak	24
5.1.1. Složeni model.....	26
5.1.2. Komponentni model (Bottom-up)	27
5.1.3. Globalni hektari	28
5.1.4. Faktori prijenosa i ekvivalentnosti	28
5.1.5. Otisak proizvodnje, potrošnje i trgovine	29
5.1.6. Ekološki otisak proizvodnje	31
5.1.7. Ekološki otisak potrošnje.....	31
5.1.8. Biokapacitet	32
5.1.9. Usporedba metoda odozgo prema dolje i odozdo prema gore.....	33
5.2. Energetska učinkovitost	33
5.3. Ekološki otisak proizvodnje SRF-a	35
6. Gorivo iz otpada-oporabljeno kruto gorivo	39
6.1. Uporaba SRF-a	42
7. Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj.....	46
7.1. Zakonska regulativa gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj.....	46

7.2.	Strategija gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj.....	46
7.3.	Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj.....	49
7.4.	Sustav gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj	50
7.5.	Sustav gospodarenja otpadom Istarske županije	51
8.	Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun.....	53
8.1.	Lokacijske karakteristike	53
8.2.	Tehnološki procesi unutar Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun.....	54
8.2.1.	Tok otpada unutra Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun.....	54
8.2.2.	Prostorni razmještaj tehnoloških procesa unutar ŽCGO-a Kaštijun.....	55
8.2.3.	Metode obavljanja tehnoloških procesa	57
8.2.4.	Aerobna biološka obrada otpada	58
8.2.5.	Mehanička obrada (rafinacija)	59
8.2.6.	Biološka anaerobna obrada otpada.....	60
8.2.7.	Skladištenje primarno izdvojenog otpada iz kućanstva i građevnog otpada	60
8.3.	Procjena utjecaja na okoliš	62
8.4.	Proizvodnja goriva iz otpada u Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun	67
9.	Optimizacija proizvodnje goriva iz otpada u Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun	68
9.1.	Korektivni plan srednjeg roka.....	68
9.2.	Korektivni plan dugog roka.....	70
10.	Diskusija.....	71
11.	Zaključak	73
12.	Literatura	76
13.	Popis slika.....	85
14.	Popis tablica	86

1. Uvod

1.1. Problem istraživanja

Otpadom se naziva svaka ona tvar, odnosno svaki onaj proizvod koji ne posjeduje daljnju vrijednost ili primjenu za onog tko istog posjeduje te ju shodno tome namjerava odbaciti. Otpad predstavlja nezaobilaznu posljedicu postojanja čovjeka, a stvoren je ili kao nusproizvod raznih procesa ili je nastao nakon potrošnje određenih proizvoda. Velika količina važnosti otpadu se počela pridavati u drugoj polovici dvadesetog stoljeća zbog toga što se je ljudska civilizacija po prvi puta sreala sa drastičnim količinama i posljedicama koje su rezultirale velikom količinom otpada. Na velike količine otpada posebice su djelovali razni čimbenici poput ubrzanog razvoja tehnologije i životnog stila ljudi, koncentracija ljudi u gradovima i mnogih drugih. Ubrzo se je shvatilo kako se održive sustave gospodarenja prirodnim resursima neće moći ostvariti bez kvalitetnog i optimiziranog upravljanja, odnosno rješavanja problematike vezane uz nastajanje i gospodarenje otpadom. Gospodarenje otpadom jedan je od većih problema i u Republici Hrvatskoj te postoji veliko zaostajanje kako financijsko tako i organizacijsko za standardima koji su propisani od strane Europske Unije. Ukoliko je osigurano adekvatno zbrinjavanje otpada, postoji veća mogućnost daljnjeg obrađivanja istog te iskorištavanja istog u ostale svrhe koje bi nudile odgovor na pitanja problematike vezane uz npr. energiju. Pravilno procesirani i obrađeni otpad, mogao bi se koristiti kao gorivo u ostalim procesima.

1.2. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja ovog rada proizlazi iz navedenog problema istraživanja te će se u ovome radu, temeljem dostupnih i obrađenih informacija i podataka teorijski i empirijski pojasniti odnosno istražiti odrednice koje definiraju problem Republike Hrvatske vezan uz otpad, ekološki utisak i održivo gospodarenje otpadom sa poveznicom na ŽCGO Kaštijun.

1.3. Svrha i ciljevi istraživanja

Ciljevi i svrha ovog istraživanja proizlaze iz predmeta istraživanja koji su postavljeni, kao i problema istraživanja. Svrha ovog diplomskog rada jest teorijski obraditi

probleme vezne uz ekološki otisak, gospodarenje otpadom te kreacija korektivnih planova za ŽCGO Kaštijun kao jedna vrsta optimizacije proizvodnje oporabljene goriva. Ciljevi rada su:

1. Definiranje otpada i rasčlamba procesa gospodarenja otpadom
2. Definiranje principa kružne ekonomije i primjer kružnog koncepta nad ŽCGO Kaštijun
3. Analizirati stanje Republike Hrvatske u pogledu gospodarenja otpadom
4. Doći do konkretnih zaključaka vezanih uz ekološki otisak, oporabljeno kruto gorivo i problematiku gospodarenja otpadom

1.4. Istraživačke hipoteze

Iz navedenih problema istraživanja, svrha i ciljeva istraživanja, formirane su tri hipoteze:

H1: Korektivni plan srednjeg roka pridonosi poboljšanju kvalitete proizvedenog SRF-a.

H2: Korektivni plan dugog roka doprinosi ekonomskoj efikasnosti proizvodnje SRF-a.

H3: Primjena korektivnih planova srednjeg i dugog roka pozitivno utječe na smanjenje ekološkog otiska ŽCGO-a Kaštijun.

1.5. Metode istraživanja

Kako bi se osigurali kvalitetni zaključci, koristit će se metodom analize te će se raščlanjivati pojmovi koji su složeniji, na pojmove koji su jednostavniji te će se metodom sinteze misaone tvorevine spajati u složenije. Teorijski dio biti će temeljen na literaturi koja je domaća i strana, a uključeni će biti razni članci, knjige i publikacije vezane uz temu ovog rada. Empirijski dio rada biti će koncipiran na način da će biti provedeno istraživanje temeljeno na dostupnim podacima što će rezultirati donošenjem odluke o prihvaćanju ili odbacivanju zadanih hipoteza.

1.6. Doprinos istraživanja

U ovom diplomskom radu biti će objašnjeni osnovni pojmovi vezani uz gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj, ekološki utisak, kružnu ekonomiju te problematika koja proizlazi iz istih. Naglasak će biti na aktualnim problemima te potrebi za pronalaženjem adekvatnog načina za zbrinjavanje otpada. Na kraju, očekuje se kako će ovaj rad poslužiti boljem shvaćanju problematika vezanih, kako uz ekološki otisak, tako i uz gospodarenje otpadom te da će doći do shvaćanja važnosti pojedinca u cijelome procesu kako bi problematika stvaranja velikih količina otpada i zagađivanja planeta Zemlje bila ublažena.

2. Gospodarenje otpadom

2.1. Ciljevi i načela gospodarenja otpadom

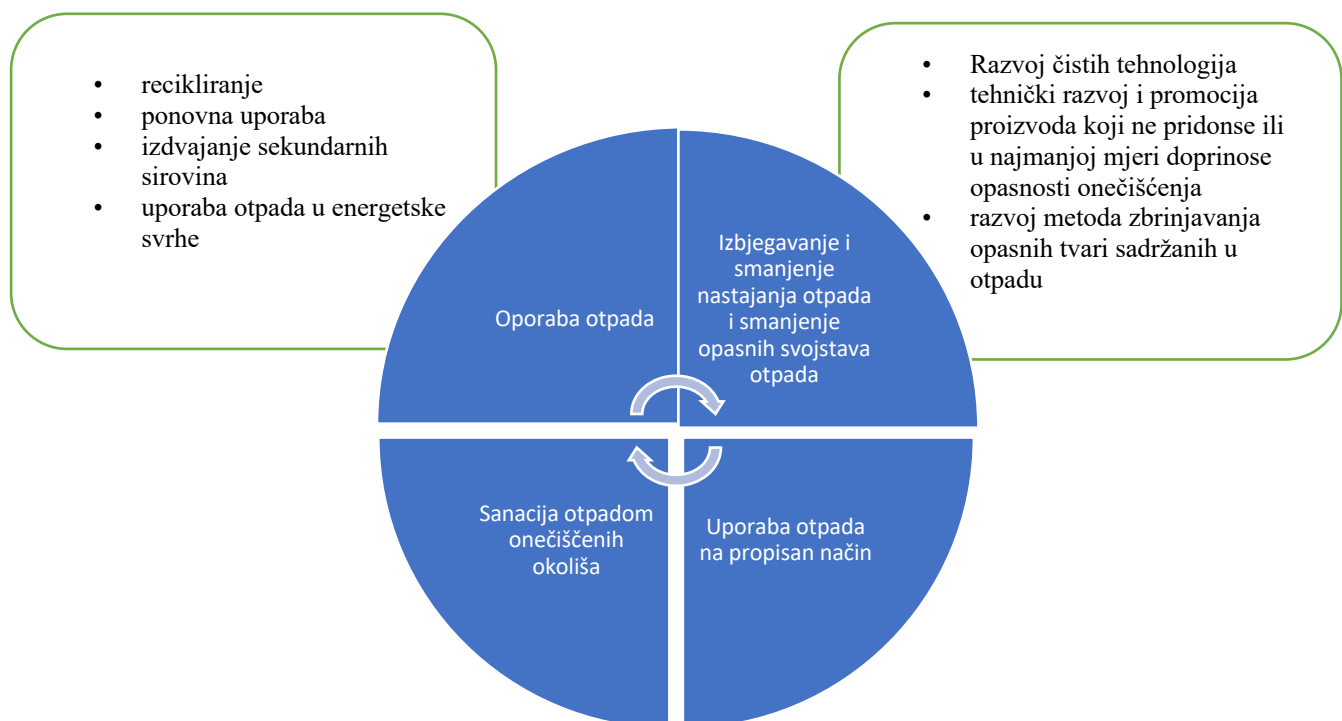
Gospodarenje otpadom definirano je kao skup svih onih aktivnosti, odluka i mjera koje su potrebne za sakupljanje, preradu i brigu vezanu uz otpad. Djelovanje svih aktivnosti uključenih u gospodarenje otpadom usmjere ne su na sljedeće [14]:

1. reduciranje same količine otpada i štetnog utjecaja koje isti ima na sam okoliš te sprečavanje nastajanja samog otpada,
2. sakupljanje, prijevoz, uporaba, zbrinjavanje otpada i ostale djelatnosti u svezi s otpadom,
3. briga o odlagalištima izvan uporabe.

Gospodarenje otpadom skup je djelatnosti koje uključuju sakupljanje, prijevoz, uporabu i zbrinjavanje otpada. Uz navedene djelatnosti, kao neizostavni dio gospodarenjem otpadom, nalazi se nadzor nad prethodno navedenim aktivnostima te održavanje lokacija zbrinjavanja. Isto tako u djelokrug gospodarenja otpadom ulaze i aktivnosti poduzimane od strane posrednika i trgovaca. Gospodarenje otpadom, prema nepisanome pravilu, trebalo bi se provoditi na takav način da se niti jednim postupkom u cijelome procesu, ni pod razno u opasnost dovede ljudsko zdravlje, kao ni stanje okoliša. Aktivnosti koje se provode moraju biti usmjerene na sprječavanje ili barem na smanjenje rizika onečišćenja mora i voda te zraka i tla, isto kao i pojave buke i mirisa koji nisu ugodni, nastajanja eksplozija ili požara, ugrožavanja samog životinjskog i biljnog svijeta te kako kulturnopovijesnih, tako i prirodnih i estetskih vrijednosti koje postoje [14].

Kako bi se spriječio i smanjio nastanak otpada, primjenjuje se red prvenstva prilikom gospodarenja otpadom, isti uključuje sljedeće: pripremu otpada za ponovnu uporabu istog, sprečavanje nastanka samog otpada, recikliranje te razne ostale postupke uporabe otpada kao i zbrinjavanje otpada. Oporaba nastalog otpada predstavlja kako okolišni tako i ekonomski cilj gospodarenja istim. U skladu s navedenim, otpad mora biti oporabljen. Otpad može biti zbrinut, tek onda kada troškovi uporabe istog, bilo to u svrhu dobivanja druge sirovine, recikliranja odbačenog proizvoda ili pak korištenja otpada kao energenta, višekratno prelaze troškove zbrinjavanja istog [29]. Kako je prikazano slikom 1., ciljevi gospodarenja otpadom jesu uporaba otpada, izbjegavanje i smanjenje proizvodnje odnosno nastajanja otpada te smanjenje opasnih svojstava

istoga. Oporaba otpada uključuje sve one procese koji se bave saniranjem i preradom otpada kako bi se isti mogao dalje iskoristiti. Pod oporabom otpada, uključen je proces recikliranja kroz koji se odbačeni materijali sakupljaju, razvrstavaju i na kraju su pretvoreni u nove materijale koji služe za izradu drugih proizvoda [24]. Također, u oporabu otpada spadaju i ponovna uporaba, izdvajanje sekundarnih sirovina iz kombiniranog otpada te uporaba otpada u energetske svrhe. Cilj izbjegavanja i smanjenja nastajanja otpada i smanjenje opasnih svojstava otpada postiže se kako kroz razvoj „čistih“ tehnologija, tako i kroz tehnički razvoj i kroz samu promociju proizvoda koje ne pridonose okolišnom onečišćenju (odnosno koji doprinose samo opasnosti od onečišćenja u najmanjoj mjeri) i razvoja metoda pogodnih za zbrinjavanje opasnih tvari koje se nalaze u samome otpadu.



Slika 1. Ciljevi gospodarenja otpadom. [1]

Procesi koji spadaju pod pojam gospodarenje otpadom temeljeni su na uvažavanju načela zaštite okoliša koji su propisani i kojima se uređuje sama zaštita okoliša. Prema njima, same prakse gospodarenjem otpadom podliježu pravnim stečevinama same Europske unije te načelima međunarodnog prava za zaštitu okoliša te

znanstvenih spoznaja. U Zakonu gospodarenja otpadom definirana su sljedeća načela [42]:

1. Načelo tzv. onečišćivač plaća – onaj proizvođač otpada, to jest, posjednik samog otpada je taj koji snosi troškove propisne mjerama za gospodarenje otpadom, te je samim tim i odgovoran za cjelokupan financijski aspekt provedbe svih potrebnih mjera sanacijske prirode zbog eventualne štete koju je prouzročio ili koju bi mogao prouzročiti isti otpad

2. Načelo blizine – sama obrada nastalog otpada mora se obavljati u onoj građevini ili odgovarajućem uređaju koja je najbliže mjestu nastanka samoga otpada, a pritom uzimajući u obzir, kako gospodarsku učinkovitost tako i prihvatljivost za sam okoliš

3. Načelo samodostatnosti – samo gospodarenje otpadom biti će obavljano na način koji je samodostatan te koji pritom dozvoljava i omogućava neovisno ostvarivanje svih propisanih ciljeva donesenih na razini države, a pri tome uzimajući u obzir, kako zemljopisne okolnosti tako i potrebu za eventualnim posebnim građevinama koje su potrebne za otpad posebnih kategorija

4. Načelo sljedivosti – utvrđivanje samog porijekla sakupljenog otpada, pri čemu se u obzir uzima, kako proizvod, tako i sama ambalaža i proizvođač tog istog proizvoda pa i sam posjed otpada, a pri tome uključujući i samu obradu.



Slika 2. Piramida gospodarenjem otpadom [29].

Kako je vidljivo na slici 2., na vrhu piramide, vidljivi su krajnji i najpoželjniji ciljevi gospodarenja otpadom, odnosno na dnu najmanje poželjni ciljevi. Na samome vrhu nalaze se razne prioritetne mjere prije nego što je otpad uopće nastao poput izbjegavanja stvaranja otpada te smanjivanje količine stvorenog otpada. Nakon toga spuštamo se dole po piramidi i dolazimo na sljedeću razinu koja predstavlja ciljeve koji su manje poželjni od prethodnih, a to su iskorištavanje otpada u neke druge svrhe i to kroz ponovnu upotrebu otpada u iste svrhe uz obradu, ponovnu upotrebu bez obrade te recikliranje odnosno iskorištavanje otpada uz obradu. Nakon toga, spuštamo se niže po piramidi te dolazimo do još manje poželjnih ciljeva, a to su obrada prije odlaganja, zbog toga što ista stvara dodatne troškove te narušava isplativost cijelog sustava gospodarenja otpadom. Na samome dnu piramide, nalaze se ciljevi koji su najniže rangirani na toj ljestvici, odnosno dolazimo do običnog odlaganja otpada, kojim se danas ništa pretjerano ne postiže osim da je sve locirano na jednom mjestu.

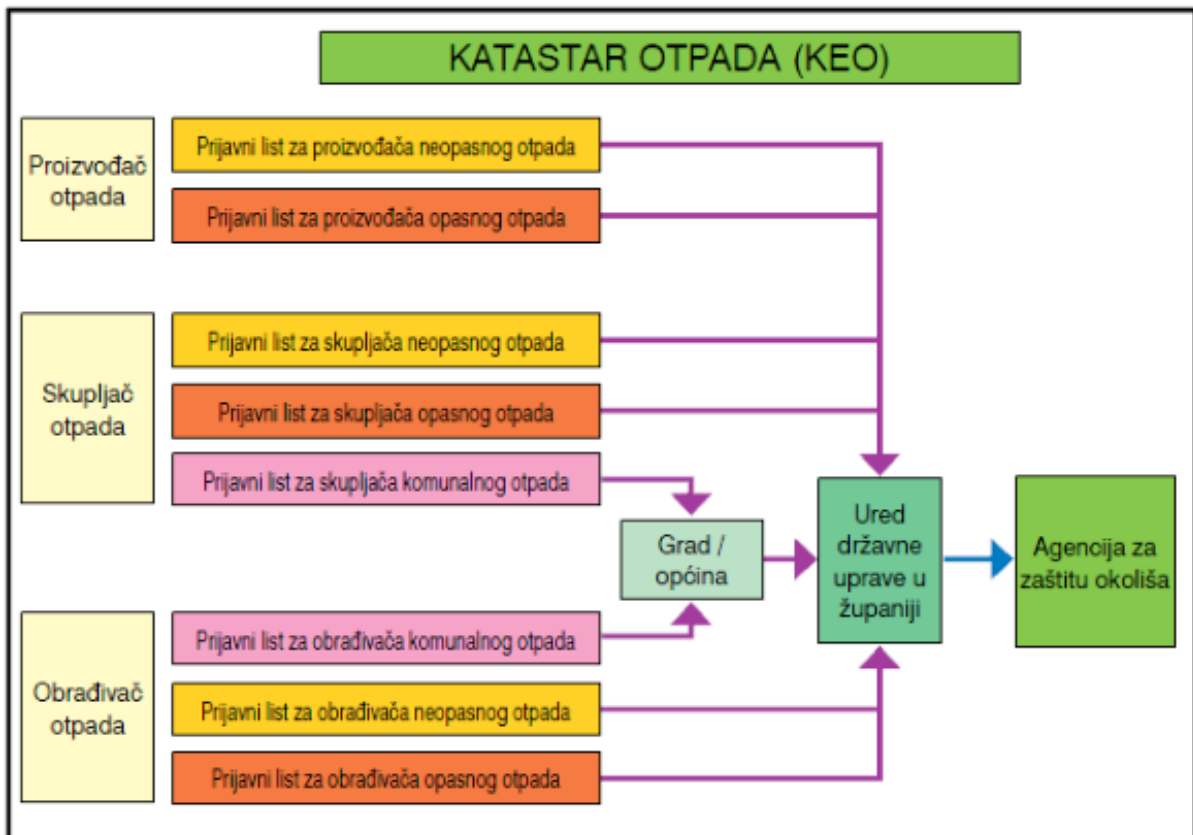
2.2. Dionici, postrojenja i građevine

Kako bi bilo uspješno implementirano, gospodarenje otpadom treba i mora biti uključeno i čim više, ako ne i u sve razine uprave države, bile one od nacionalne, regionalne pa do lokalne odnosno mjesne važnosti te u skoro sva područja gospodarstva pa i same proizvodnje, potrošnje, a i života pojedinaca. Obzirom na široku pojavnost gospodarenje otpadom, u isti je direktno ili indirektno uključen veliki broj raznih sudionika.

Gospodarenje otpadom regulirano je na najvišoj razini državnih struktura te započinje na državnoj razini, djelovanjem sabora, vlade te ministarstva. Sljedeća razina gospodarenja otpadom je regionalna razina koja uključuje županijske vlasti. Zatim slijedi lokalna i mjesna razina koja se odnosi na općine i gradove.

Uz državne strukture u gospodarenje otpadom uključeni su kako proizvođači, tako su i sami uvoznici proizvoda i otpada. Također, uključene su i tvrtke za gospodarenje samim otpadom koje makar u dijelu svoga poslovanja uključuju ili sakupljanje ili prijevoz otpada te upravljanje posebnim građevinama, odnosno postrojenjima za gospodarenje otpadom.

Konzultantske tvrtke i strukovne organizacije čine sljedeću skupinu subjekata uključenih u gospodarenje otpadom. Cilj njihova djelovanja je provođenje aktivnosti kojima se unaprjeđuje praksa, informiranost i potiče sudjelovanje [43].



Slika 3. Tok otpada počevši sa proizvođačem otpada pa do obradivača istog [29].

Na slici 3. moguće je vidjeti grafički prikaz toka procesa prijave proizvedenog otpada unutar jedne godine. Svi oni dionici (ovlašteni sakupljači, proizvođači i obradivači otpada) koji su zavedeni u Katastru otpada, jednom godišnje moraju prijaviti količine i vrste otpada kojima su poslovali. Gore spomenuti dionici (sakupljači, proizvođači i obradivači) moraju prijaviti količine opasnog otpada, količine komunalnog otpada i količine neopasnog goriva Uredu državne uprave u županiji i to na način da komunalni otpad sakupljači i obradivači otpada prijavljuju prvo gradu, odnosno općini, koja je dužna to prijaviti Uredu državne uprave u županiji, a količine opasnog i neopasnog otpada i proizvođači i sakupljači i obradivači otpada moraju prijaviti sami Uredu državne uprave u županiji, koji kasnije podatke prosljeđuje Agenciji za zaštitu okoliša.

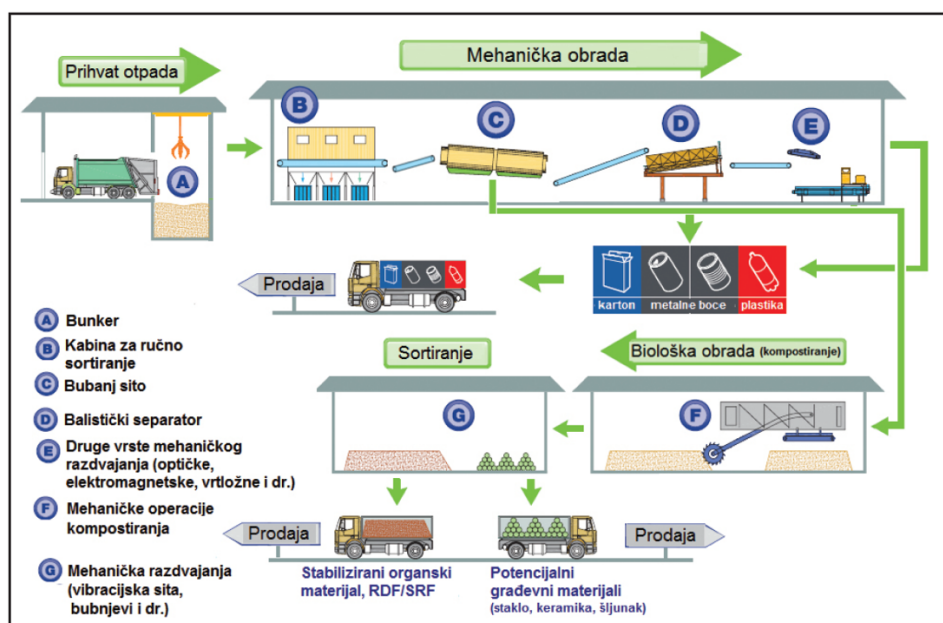
Građevine za gospodarenjem otpadom, gledano kroz dokumente samog prostornog uređenja, kategoriziraju su kao građevine za gospodarenje otpadom sa državnim, županijskim i lokalnim značajem [44]. Građevine od državnog značaja kod gospodarenja samim otpadom navedene su kao: a) centar za gospodarenje otpadom, b) spalionica otpada i c) odlagalište opasnog otpada. Zatim, građevine za gospodarenje otpadom gledano sa strane županijske razine su: a) odlagalište otpada koje se ne vodi kao ona građevina za gospodarenje otpadom od državnog značenja i b) kazeta koja služi za zbrinjavanje azbesta. Građevine za gospodarenje otpadom od lokalnog značaja, najjednostavnije su definirane na način da su to sve one građevine koje služe za gospodarenje otpadom, a nisu niti građevine za gospodarenje otpadom koje se vode kao građevine od državnog značaja, niti se vode kao građevine od županijskog značaja.

Isto tako same građevine i postrojenja koje služe za gospodarenje otpadom dijele se na prilagođene građevine i prilagođena postrojenja u službi mehaničke, biološke, kemijsko-fizikalne obrade te toplinske obrade i odlaganje samog otpada [44].

Mehanička i biološka obrada otpada, uglavnom se nadovezuju u procesu obrade komunalnog otpada. Prvenstvo u obradi otpada između mehaničke i biološke obrade je istovjetno, odnosno, slijed procesa obrade može započeti mehaničkom obradom (eng. MBT¹) ili biološkom obradom (BMT²). Mehaničko-biološka obrada otpada podrazumijeva niz postupaka obrade kojima nastaje među sirovina koja je spremna za daljnju obradu i nastajanje novih proizvoda. Sav ulazni otpad u centru za gospodarenjem otpadom podilazi mehaničkoj obradi. Nakon pripreme mehaničke obrade, biorazgradiva frakcija ulaznog otpada podliježe biološkoj obradi. Procesi koji sudjeluju u mehaničkoj obradi jesu: usitnjavanje i paletizacija, mljevenje i drobljenje te separacija. Biološki procesi obuhvaćaju: bio-sušenje, biostabilizaciju, kompostiranje anaerobnu digestiju. Glavni cilj mehaničko-biološke obrade otpada je višestruki, primjerice: što je količina samih obnovljivih sirovina (papir, plastika i ostalih), veća, tako je, shodno tome i sama proizvodnja komposta pa i visoko kvalitetnog krutog goriva iz otpada (GIO ili SFR), veća. Nadalje, sama proizvodnja, kako bio stabiliziranog materijala za odlaganje tako i proizvodnja bioplina koji se koristi za dobivanje topline, odnosno električne energije također je veća [28].

¹ MBT- skraćena za Mechanical-biological treatment

² BMT- skraćena za Biological treatment



Slika 4. Shema postrojenja za mehaničko-biološke obradu [47].

Na slici 4. dan je grafički prikaz postrojenja koje se koristi za mehaničko-biološku obradu, a uključuje bunker u koji se otpad doprema, kabinu za ručno sortiranje u kojoj se isti sortira ručno, bubanj sito kroz koji se isti prosije kako bi se postigli uvjeti za sljedeći korak, a to je balistički separator, nakon kojega se nad otpadom vrše druge vrste mehaničkog razdvajanja, nakon čega se vrše mehaničke radnje kompostiranja, da bi se na samome kraju (ukoliko se u prošlim koracima nije dobio materijal za izradu kartona, metalnih boca, koji završavaju u prodaji) dobio stabilizirani organski materijal (SRF) ili potencijalni građevinski materijal (staklo, keramika ili šljunak).

Skupina postupaka kojima se djeluje na smanjenje volumena otpada, kao i otklanjaju bioloških onečišćivala i iskorištava se energija pohranjena u otpadu putem obrade otpada toplinom naziva se toplinska obrada otpada (TOO). Postupci koji se primjenjuju kod procesa toplinske obrade otpada dijele se na [5]:

- a) hidriranje
- b) spaljivanje u rotacijskoj peći,
- c) pirolizu (otplinjavanje),
- d) spaljivanje na rešetki,
- e) sterilizaciju (dezinfekciju),
- f) sušenje,
- g) izgaranje (spaljivanje),

- h) rasplinjavanje,
- i) spaljivanje u fluidiziranome sloju,
- j) te ostale postupke kao i kombinacije raznih postupaka.

Fizikalno-kemijska obrada otpada podrazumijeva upotrebu kako kemijskih, tako i raznih fizikalnih metoda u procesu obrade otpada. Ova metoda obrade otpada najčešće se primjenjuje za obradu: emulzija, cijanida, kiselina i lužina, obradu vodenih otopina organskih i anorganskih tvari (najčešće otpadne i procjedne vode). Cilj ovog načina obrade otpada je reducirati negativni utjecaj obrađivane materije i/ili dobivanje ponovno upotreblijive sirovine [60]. Fizikalni procesi koji se primjenjuju obuhvaćaju sedimentaciju, floataciju i filtraciju. Kemijski procesi uključuju kemijsku precipitaciju, adsorpciju, dezinfekciju koja često koristi svijetlost, toplinu ili zračenje te deklorinaciju otpada [6].

2.3. Vrste otpada

Klasifikacija otpada, prvi je korak u pravilnom gospodarenju otpada. Kategorizacija i klasifikacija otpada određuje daljnji tok obrade otpada te omogućuje planiranje uporabe i zbrinjavanja. Otpad se može podijeliti prema svojstvima, prema mjestu nastajanja te prema obvezama i odgovornostima.

Prema svojstvima, podjela otpada je sljedeća [29]:

- a) inertni – otpad koji je podvrgnut bilokakvim fizikalnim, kemijskim ili samim biološkim promjenama
- b) neopasni – svaki onaj otpad koji po svojem sastavu ili svojstvima ne posjeduje niti jedno od svojstava koja predstavljaju opasnost, ili pripadaju otpadu koji se smatra opasnim te su navedeni u nastavku
- c) opasni – onaj otpad koji u svojem sastavu sadrži jednu ili čak više od sljedećih karakteristika: eksplozivnost, oksidirajuće, zapaljivost, nadražljivost, opasnost, toksičnost, kancerogenost, zarazno, nagrizajuće, mutagenost, otpad koji u dodiru, bilo s zrakom, vodom ili kiselinom oslobađa plinove koji su toksični ili vrlo toksični, senzibilizirajuće, ekotoksične tvari te otpad koji nakon zbrinjavanja može rezultirati nekom drugom tvari koja posjeduje neka od gore navedenih svojstava.

Prema mjestu nastajanja otpad se dijeli na sljedeće [29]:

- a) komunalni otpad – onaj otpad koji potječe iz kućanstava, onaj otpad koji je stvoren čišćenjem javnih površina te onaj otpad koji nastaje u nekim drugim djelatnostima, koje nisu definirane, ali koji je po svojem sastavu ili svojstvima sličan otpadu koji je nastao u kućanstvu [28];
- b) proizvodni otpad – svaki onaj otpad koji je kreiran u bilo kakvom proizvodnom procesu, bilo u industriji, obrtu ili bilo kojim drugim procesima, osim onih ostataka koji su iz proizvodnog procesa koji se koriste u samom proizvodnom procesu istog proizvođača [22];
- c) posebne kategorije otpada: otpadna vozila, EE otpad (električni otpad i elektronički otpad), otpadne gume, ambalažni otpad, komunalni mulj, otpad životinjskog podrijetla, otpadne baterije i akumulatori, otpadna ulja, medicinski otpad, organska zagađivala, građevinski otpad, otpad od mineralnih sirovina i sav otpad koji je nastao kao posljedica rušenja građevinskih objekata, azbestni otpad, poljoprivredni i šumarsko-drveni otpad, papir i staklo [29].

Otpad se dijeli i prema obvezama i odgovornostima dionika i to na [29]:

- a) komunalni – jedinice lokalne samouprave snose odgovornost,
- b) proizvodni - odgovorni su proizvođači samog otpada,
- d) ambalažni (plastika, drvo, papirnate tvari, metali, staklo, višeslojni materijali) – odgovorni su i proizvođači i uvoznici,
- e) problematične tvari (nalaze se u akumulatorima, infektivnom otpadu, antifrizu, filtrima, otpadnim uljima, kozmetici, otrovima i sličnom otpadu koji ima na svojoj samoj ambalaži, bilo oznaku zabrane bacanja u kanalizaciju, ili u kućni otpad – odgovornost snose, kako proizvođači otpada, tako i uvoznici istog.

2.4. Prikupljanje otpada

Prikupljanje otpada prvi je korak u procesu gospodarenja otpadom. Prikupljanje otpada podrazumijeva sve aktivnosti prikupljanja otpada različitim vrstama odgovarajućih vozila, transport prikupljenog otpada te odlaganje otpada na za to predodređena mjesta [9]. Za pravilno i djelotvorno prikupljanje otpada najprije je potrebno koristiti tehnologiju koja to omogućava. U skladu s time, vozila koja se koriste za prikupljanje otpada moraju biti opremljena adekvatnom opremom, koja prije svega onemogućava

bilo kakvo rasipanje, prolijevanje, ispuštanje otpada te širenje prašine i neugodnih mirisa u okolinu. U praksi je česta primjena opreme vozila koja smanjuju sam volumen otpada, a pri tome masa i vrsta samog otpada ostaju bez značajnih promjena [60]. Kako bi se zadovoljila zakonska regulativa, kako u RH tako i u EU, otpad se većinom sakuplja odvojeno. Karakteristike odvojenog prikupljanja otpada jesu sljedeće:

1. Selektiranje i izdvajanje otpada koji je ponovno iskoristiv, poput papira, biootpada kartona, stakla, metala i plastike a krajnji cilj je recikliranje odnosno ponovna upotreba istog,
2. Izdvajanje tvari koje su problematične, odnosno otpada koji je svojih sastavom opasan, tj. predstavlja opasnost bilo za okoliš, bilo za zdravlje ljudi, kao što je ulje, kemikalije, baterije, lijekovi i drugo, a krajnji cilj je detoksikacija i recikliranje.

Odvojeno sakupljanje i recikliranje otpada izbjegava njegovo odlaganje, omogućuje iskorištavanje mnogih korisnih sastojaka, smanjuje onečišćenje okoliša, štedi prirodne sirovine, štedi skupu i dragocjenu energiju, štedi novac, zapošljava radnu snagu te smanjuje volumen odlagališta [64].

2.5. Oporaba i zbrinjavanje otpada

Oporaba otpada definirana je kao svaki onaj postupak koji za svoj glavni cilj, odnosno rezultat ima uporaba otpada u korisne svrhe [60]. U tablici 1. navedeni su neki od postupaka koji se primjenjuju kod uporabe otpada.

Tablica 1. Postupci uporabe otpada [60].

Oznaka	Postupak uporabe
R1	Korištenje otpada kao goriva ili drugog načina dobivanja energije
R2	Obnavljanje/regeneracija otpadnog otapala
R3	Recikliranje/obnavljanje otpadnih organskih tvari koje se ne koriste kao otapala (uključujući kompostiranje i druge procese biološke pretvorbe)
R4	Recikliranje/obnavljanje otpadnih metala i spojeva metala
R5	Recikliranje/obnavljanje drugih otpadnih anorganskih materijala
R6	Regeneracija otpadnih kiselina ili lužina
R7	Oporaba otpadnih sastojaka koji se koriste za smanjivanje onečišćenja
R8	Oporaba otpadnih sastojaka iz katalizatora
R9	Ponovna prerada otpadnih ulja ili drugi načini njihove ponovne uporabe
R10	Tretiranje tla otpadom u svrhu poljoprivrednog ili ekološkog poboljšanja
R11	Oporaba otpada nastalog bilo kojim postupkom R 1 do R 10
R12	Razmjena otpada radi primjene bilo kojeg od postupaka uporabe R 1 do R 11
R13	Skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka uporabe R 1 do R 12 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka, prije skupljanja)

U tablici 1., moguće je vidjeti na koji način, točnije kojim oznakama se označava koji postupak uporabe. Oznake se kreću od R1-R13, te svaka označava i obuhvaća

određene specifičnosti vezane uz određeni postupak uporabe otpada. Zbrinjavanje otpada primjenjuje se samo kod onog otpada čija se korisna svojstva nisu mogla ponovno iskoristiti, tj. primjenjuje se samo nad onim otpadom nad kojim se nije mogla izvršiti uporaba istog. Otpad koji zahtjeva zbrinjavanje podložan je nekim od sljedećih procesa. Kemijsko-fizikalni procesi su postupci koji kemijsko-fizikalnim metoda mijenjaju svojstva otpada. Neki od tih procesa, poredani redom izvođenja, jesu: neutralizacija, taloženje, ekstrakcija, redukcija, oksidacija, centrifugiranje, filtracija, sedimentacija, rezervna osmoza i derivatizacija. Zatim, otpad može biti podvrgnut biološkim postupcima u svrhu zbrinjavanja poput aerobne i anaerobne razgradnje. Sljedeći postupci koji sudjeluju u zbrinjavanju otpada jesu procesi toplinske obrade. U takve procese ubrajaju se sljedeći postupci: spaljivanje, pirolizu, isparavanje, sterilizaciju, destilaciju, žarenje, taljenje i ostali. Odlaganje otpada još je jedna od metoda zbrinjavanja otpada. To je postupak odlaganja otpada koji je prethodno obrađen, na, za to predviđeno mjesto, odnosno, odlagalište otpada, tj. građevinu koja za svoju namijenjenu i funkciju ima odlaganje otpada. Prije odlaganja otpada na odlagalište, otpad treba biti obrađen uz izuzetak inertnog otpada u slučaju kada njegova obrada nije izvediva i neopasnog otpada. Odlagališta otpada podrazumijevaju građevine namijenjene odlaganju otpada na površini ili pod zemlju, a to mogu biti:

- Tzv. inertno odlagalište otpada na kojem sam proizvođač otpada odlaže vlastiti otpad, a najčešće je to na mjestu same proizvodnje proizvoda,
- Tzv. stalno odlagalište, na kojem se otpad odlaže na razdoblje dulje od godine dana,
- Tzv. iskorišteni površinski kopovi nastali rudarskom aktivnošću ili istraživanjem, a pogodne su za odlaganje otpada.

Isto tako odlagališta se dijele prema kategoriji otpada koja se njemu skladište. Te vrste odlagališta jesu odlagališta koja služe za odlaganje opasnog otpada, odlagališta koja služe za odlaganje neopasnog otpada i odlagališta za inertni otpad. U tablici 2. prikazani su razni postupci zbrinjavanja otpada koji nije moguće ili nije potrebno uporabiti [60].

Tablica 2. Postupci zbrinjavanja otpada koji ne podliježe praksi oporabe otpada [60].

Oznaka	Postupak zbrinjavanja
D1	Odlaganje otpada u ili na tlo (npr. odlagalište, itd.)
D2	Obrada otpada na ili u tlu (npr. biološka razgradnja tekućeg ili muljevitog otpada u tlu, itd.)
D3	Duboko utiskivanje otpada (npr. utiskivanje otpada crpkama u bušotine, iscrpljena ležišta soli, prirodne šupljine, itd.)
D4	Odlaganje otpada u površinske bazene (npr. odlaganje tekućeg ili muljevitog otpada u jame, bazene, lagune, itd.)
D5	Odlaganje otpada na posebno pripremljeno odlagalište (odlaganje u povezane komore koje su zatvorene i izolirane jedna od druge i od okoliša, itd.)
D6	Ispuštanje otpada u kopnene vode isključujući mora/oceane
D7	Ispuštanje otpada u mora/oceane uključujući i ukapanje u morsko dno
D8	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 D 1 - D 12
D9	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 D 1 – D 12 (npr. isparavanje, sušenje, kalciniranje, itd.)
D10	Spaljivanje otpada na kopnu
D11	Spaljivanje otpada na moru
D12	Trajno skladištenje otpada (npr. smještaj spremnika u rudnike, itd.)
D13	Spajanje ili miješanje otpada prije podvrgavanja bilo kojem postupku D 1 – D 12
D14	Ponovno pakiranje otpada prije podvrgavanja bilo kojem od postupaka D 1 – D 13
D15	Skladištenje otpada prije primjene bilo kojeg od postupaka zbrinjavanja D 1 – D 14 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka, prije skupljanja).

U tablici 2., moguće je vidjeti na koji način, točnije kojim oznakama se označava koji postupak zbrinjavanja samog otpada. Oznake se kreću od D1-D15, te svaka označava i obuhvaća određene specifičnosti vezane uz određeni postupak zbrinjavanja otpada.

3. Kružna ekonomija

Kružna ekonomija definirana je kao ekonomski model koji u svojem cilju ima osigurati održivo gospodarenje resursima i produženje životnog vijeka proizvoda, što vodi ka smanjenju otpada te povećanju uporabe obnovljivih izvora energije. Prema literaturi [72] razlika između linearne ekonomije i kružne ekonomije je u tome da je kružna ekonomija koncept u kojemu se tokovi energije i ostalih resursa održavaju u modelu zatvorene petlje, a sam cilj je zadržati proizvode čim duže u kružnom ciklusu [72]. Kružna ekonomija novi je način stvaranja vrijednosti i na kraju krajeva, prosperiteta. Osnovni princip kružne ekonomije je taj da se nastoji, u najvećoj mogućoj mjeri, produljiti životni vijek određenog proizvoda kroz poboljšani dizajn istoga, te kroz alociranje dijela proizvoda koji je u jednome lancu na samome kraju (otpad) na početak jednog novog lanca, gdje bi se taj element ponovno mogao koristiti kao polazišni element novoga lanca [66]. Još 2008. godine Kina je bila jedna od prvih zemalja koje su počele primjenjivati koncept kružne ekonomije te su na taj način promovirali „povrat“ resursa iz otpada. Vođeni njihovim primjerom, iste godine ministri okoliša iz skupa G8³ predložili su da se sastavi plan 3R: smanjiti (eng. Reduce), oporabiti (eng. Reuse) i reciklirati (eng. Recycle), da bi se 2015. godine na skupu G8 naglasila sama važnost i potreba za tzv. “održivim lancima opskrbe” čiji bi primarni cilj bio štititi radnike i okoliš [66].

3.1. Principi kružne ekonomije

Kako se za jedan od temeljnih ciljeva kružne ekonomije uzima smanjenje upotrebe sirovina, potrebno je pronaći rješenje problema korisnog vijeka trajanja proizvoda, točnije korisnog vijeka komponenata i materijala koji tvore proizvod. Za uspješnu provedbu koncepta kružne ekonomije, nastoji se uvijek produžiti vijek trajanja pojedinih proizvoda, te se tako dolazi do tri osnovna principa kružne ekonomije [68]:

³ G8, naziv za gospodarski i politički forum bez sjedišta i službenog ustrojstva koji čine Francuska, Italija, Japan, Kanada, Njemačka, Rusija, SAD i Velika Britanija. Skupina se oblikovala na neformalnim sastancima tijekom 1970-ih [50].

1. **Princip prvi:** Očuvati i poboljšati prirodni kapital

Pod ovim principom, podrazumijeva se nastojanje ka zaštiti prirodnih izvora i to na način da se zadržava kontrola nad upotrebom prirodnih izvora energije koji su neobnovljivi. Isto tako, nastoji se promovirati ponovnu upotrebu sirovina zbog kontroliranja i uravnoteženja tokova i rezervi obnovljivih prirodnih izvora. Sve se to nastoji izvesti kroz implementaciju novih tehnologija i procesa koji su bazirani na, odnosno koriste obnovljive izvore. Uz sve gore navedeno, kako bi se postigla maksimalna upotreba sirovina i energije, velika važnost pridaje se poticanju na protok materijala i obnovljivih energija u svakom životnom stadiju proizvoda.

2. **Princip drugi:** Optimizacija performansi resursa

Pod ovim principom, podrazumijeva se maksimizacija vijeka upotrebe samog proizvoda(sklopa komponenata), komponenata i svih materijala korištenih u bilo kojem stadiju proizvodnje. To se postiže na način da se prilikom stvaranja, dizajniranja ili projektiranja samog proizvoda, velika pažnja posveti tome da se korištene komponente mogu ponovno koristiti, obnoviti ili reciklirati. Kako bi se izvršila optimizacija performansi resursa potrebno je uskladiti proizvodne cikluse i to na način da se kombiniraju tako da se otpad koji je dobiven od jednog proizvodnog ciklusa nastoji koristiti kao sirovina u slijedećem proizvodnom ciklusu i obrnuto. Gledano sa biološkog aspekta, nastoji se da organske komponente ponovno uđu u biosferu te da one budu generatori novih sirovina koje će se moći u budućnosti koristiti.

3. **Princip treći:** Promovirati efikasnost sustava

Pod ovim principom, podrazumijeva se otkrivanje i ukoliko je potrebno, eliminacija određenih čimbenika koji smanjuju samu efikasnost sustava. Isto tako, uz moguću eliminaciju određenih čimbenika koji smanjuju samu efikasnost sustava, potrebno je, ako je to moguće, izbjeći, a ako ne barem smanjiti sva moguća negativna djelovanja procesa na razne sfere ljudskog života, poput obrazovanja, zdravlja, prehrane i mobilnosti [68].

3.2. Alati kružne ekonomije

Prema literaturi, postoji pet osnovnih alata koji se pojavljuju kod koncepta kružne ekonomije, a to pojavljuju se u vidu [72]:

1. biomimikrije – podrazumijeva se proučavanje najboljih mogućih solucija iz same prirode, te se nastoji implementirati njihove tehnološke inačice u proizvodnji,
2. industrijske ekologije – podrazumijeva se izbjegavanje stvaranja viškova koji nisu upotrebljivi u proizvodnji te razvoj paralelne proizvodnje koja je bazirana na nusproizvodima,
3. principa „od kolijevke do kolijevke“ – podrazumijeva se činjenica da kraj korištenja, točnije, kraj ciklusa uporabe jednog proizvoda, omogućava i dozvoljava tehnološku preradu elemenata izvornog proizvoda i stvaranje novog proizvoda, točnije to je koncept koji kao svoje polazište „uzor“ nalazi u prirodi i prirodnim procesima te pokušava potpuno eliminirati otpad [35],
4. plave ekonomije – podrazumijeva se načelo obilja koje je ostvareno kroz izvore koji su kao takvi, dostupno lokalno, a pojam „obilje“ se odnosi na financijsku, okolišnu i društvenu dimenziju,
5. hijerarhije otpada – podrazumijeva se postojanje plana koji definira samo gospodarenje otpadom u kojem je, također, određen sam slijed prioriteta u samoj skupini najboljih opcija kako za zdravlje ljudi, tako i za sam okoliš [67].

3.3. Kružna ekonomija u Europskoj Uniji

Kada bi se pogledao akcijski plan na razini Europske Unije, koji obuhvaća i niz mjera usmjerenih na tržišne prepreke vezane uz posebne sektore, odnosno tokove materijala, naglašavajući sljedeće aktivnosti koje se moraju sprovesti u realnost tada:

- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići recikliranje komunalnog otpada u iznosu od 65% do 2030. godine
- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići recikliranje ambalažnog otpada u iznosu od 75% do 2030. godine
- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići 10% smanjeno odlaganje cjelokupnog otpada do 2030. godine

- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići zabranu odlaganja odvojeno skupljenog otpada
- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići promoviranje primjene raznih ekonomskih instrumenata koji služe za sprječavanje odlaganja otpada
- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići unaprjeđenje i pojednostavljenje definicije samog otpada čija je primarna namjena recikliranje i harmonizacija metoda korištenih za izračun stopa recikliranja
- na razini Europske Unije, zajednički je cilj postići uvođenje poticaja onim proizvođačima koji na tržište stavljaju „zelenije“ proizvode
- te je krajnji cilj osigurati primjenu strukturnih fondova kao podršku u provođenju ciljeva vezanih uz gospodarenje otpadom temeljem hijerarhije gospodarenja otpadom [26].

3.4. Kružna ekonomija u Hrvatskoj

Kao što je svim zemljama koje si nastoje osigurati održivu budućnost cilj prilagoditi se i usvojiti najnovije tehnologije i optimizirane procese i proizvodnje, tako nastoji i Hrvatska. Kako bi to ostvarila, potrebno je da u čim većem obimu primjeni model kružne ekonomije kako bi ostvarila znatnu uštedu resursa i osnažila svoju konkurentnost u svijetu. Prema statistici, Republika Hrvatska raspolaže velikom količinom sirovina koje se mogu ponovno upotrijebiti, a prema procjeni Agencije za zaštitu okoliša, procijenjeni sastav komunalnog otpada koji spada u kategoriju miješanog otpada za 2015. godinu iznosi: 30,9% plastike, 26,5% kuhinjskog otpada, 23,2% papira, 5,7% otpada iz vrtova, 3,7% stakla, 3,7% tekstila, 2,1% metala, 1,0% drva, 0,5% kostiju i kože, 0,2% gume i 6,3% ostalog otpada [72]. Godine 2017. usvojen je plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske i obuhvaća razdoblje od 2017. godine do 2022. godine.

3.5. Primjer koncepta kružnog toka u Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun

U ŽCGO Kaštijun, primjenom modernih tehnologija obrade otpada, aktivno se radi na sprječavanju onečišćenja okoliša te na aktivnom iskorištavanju energetske i materijalne potencijala otpada. Unutar ŽCGO-a Kaštijun, uz MBO⁴ postrojenje, u kojem se odvijaju dva važna procesa, a to su biološka obrada otpada i mehanička obrada otpada u kojem se odvajaju frakcije i postrojenje za praćenje kvalitete zraka, čiji je cilj praćenje stanja i kvalitete, kako samog zraka, tako i okoliša na teritoriju ŽCGO-a Kaštijun, isto tako, postoji i postrojenje za obradu otpadnih voda [54]. Za prikaz, odnosno pojašnjenje koncepta kružnog toka unutar ŽCGO Kaštijun, uzet će se primjer postrojenja za obradu otpadnih voda. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) primarno služi kao uređaj za obradu svih otpadnih voda koje nastaju na lokaciji na kojoj se nalazi ŽCGO Kaštijun [54]. Jedna od metoda obrade otpadnih voda je biološko-kemijska obrada u SBR-u. SBR je kratica za fazno šaržni reaktor (eng. Sequencing batch reactor) unutar kojeg se voda kroz pet faza biološki obrađuje, a tih pet faza se ciklički ponavljaju [54]. Sljedećih pet faza su:

- prva faza je faza punjenja -u ovoj fazi vrši se punjenje SBR-a vodom koju se želi pročititi,
- druga faza je faza reakcije -u ovoj fazi otpadna se voda obrađuje pod procesom denitrifikacije pod anoksičnim uvjetima te se potom aerira u procesu nitrifikacije,
- treća faza je faza taloženja -u ovoj se fazi, prema potrebi dodaju kemikalije koje služe za održavanje neutralnog pH-a te potiču rast određenih mikroorganizama u aktivnom mulju. Tako se u ovoj fazi aktivni mulj taloži te se prelazi na sljedeću fazu,
- četvrta faza je faza dekantiranja -u ovoj fazi osigurava se uklanjanje izbistrene obrađene vode od ostatka aktivnog mulja,
- peta faza je faza mirovanja -u ovoj se fazi, prema potrebi, uklanja višak mulja [56].

Nakon obrade voda koje su nastale u procesu zbrinjavanja ili obrade otpada, ta dobivena voda dobre je kvalitete i koristi se i dalje, kao npr. za pranje voznog parka. Dakle, kontaminirana, nečista ili zagađena voda, pročišćuje se te se kao produkt dobiva čista i dekontaminirana voda koja je spremna za ponovno korištenje unutar

⁴ MBO postrojenje-skraćenica za mehaničko-biološko postrojenje

raznih procesa u području rada ŽCGO-a Kaštijun. Vode koje se pročišćuju, odnosno vode koje su uključene u koncept kružnog toka jesu:

- sanitarne otpadne vode -otpadne vode nastale unutar objekata na ŽCGO-u
- tehnološke otpadne vode -otpadne vode nastale u procesu mehaničko-biološke obrade otpada na području ŽGO-a Kaštijun
- oborinske vode -vode sa prometnica unutar ŽCGO-a Kaštijun, koje se naknadno dodatno tretiraju i obrađuju na separatorima masti i ulja, te ostale oborinske vode koje su rezultat prikupljanja istih sa krovova zgrada unutar ŽCGO-a Kaštijun [57].

Tako sakupljena, obrađena i spremna za ponovno korištenje, voda se zatim cjevovodima usmjerava natrag u proizvodnju kako bi se ponovno koristila u poslovanju ŽCGO-a Kaštijun. Sam proces obrade voda, zatvoreni je sustav zbog toga što se ta, obradom dobivena voda ponovno koristi unutar ŽCGO-a Kaštijun za hlađenje u rashladnim tornjevima, koristi se za navodnjavanje hortikulture, koristi se za čišćenje zraka u skruberima te za pranje voznog parka i u ostale tehnološke svrhe [57].

4. Održivi razvoj

Ravnoteža između ekonomskog rasta, društvene dobrobiti i ekološkog kapaciteta neophodna je za prosperitet društva na lokalnoj i globalnoj razini. Pojam održivi razvoj nerijetko nalazimo u različitim kontekstima. Sam pojam ušao je u uporabu 80-tih godina 20. stoljeća [10]. Prva definicija pojma održivog razvoja je ona koju je osmislio Lester Brown i koja je navedena u izvješću „Naša zajednička budućnost Svjetske komisije za okoliš i razvoj“ 1987. godine. Ona glasi: *»održivi je razvoj, razvoj kojim se zadovoljavaju potrebe današnjih naraštaja, a da se pritom ne ugrožava mogućnost budućih naraštaja uz zadovoljavanje njihovih potreba«* [31]. Još jedna od definicija održivog razvoja govori kako je to odnos proizvodnje i potrošnje koji je u skladu s prirodnim resursima ekosustava koji je domaćin procesa proizvodnje i potrošnje. U teoriji se razlikuju tri vrste održivog razvoja [31]:

- a) slabi održivi razvoj – iskorištavanje resursa bez zadržke, za zadovoljenje potreba sadašnje generacije, rješenje za buduće generacije je iskorištavanje generiranog znanja bez obzira na prirodni kapital,
- b) blagi održivi razvoj – priroda je zamjenjiva kapitalom, za glavni cilj ima efikasnost energije,
- c) strogi/snažni održivi razvoj – priroda je nezamjenjiva u vidu zadovoljenja potreba sadašnjih i budućih generacija, poduzimanje mjera za zaštitu prirodnih resursa.

Zaštita prirodnih resursa, društvena odgovornost i ekonomska uspješnost temelj su održivog razvoja. 2015. godine Europska je unija uz brojne druge države potpisala Program Ujedinjenih naroda za održivi razvoj do 2030. Program donosi sedamnaest ciljeva održivog razvoja koji su navedeni na slici 5. Jedan od glavnih alata u postizanju ciljeva održivog razvoja je kružno gospodarstvo koje omogućuje ekonomski rast na temelju očuvanja i odgovornog korištenja prirodnih resursa uz društveni boljitak [11]. Još jedna od mjera za održivo gospodarstvo je tzv. „*Održivost od polja do stola*“. Novi poljoprivredni sustav omogućuje stvaranje održivog prehrambenog sustava s ciljem stvaranja kvalitetne hrane, stvaranja većih prihoda te regeneraciji šuma, vodenih ekosustava i ostalih površina neophodnih za kvalitetan razvoj života. Čista energije sljedeći je faktor u ostvarivanju održivog razvoja. Stvaranje energije koristeći se obnovljivim izvorima energije ili pak iskorištavanjem otpada kao energenata, uz

smanjenje pritiska na okoliš, pruža priliku za rast i zapošljavanje u sektoru tehnologija obnovljivih izvor energije. Naporima, kojima se pokušava postići napredak u implementaciji održivog razvoja u svim sferama života pojedinca i društva u globalu, ne smije se zanemariti socijalna prava i dobrobit pojedinca. Socijalna pravednost i ravnopravnost proizlaze iz obrazovanja. Obrazovanje, tehnologija, inovacije i znanost temelj su ostvarivanja održivog gospodarstva pa tako i razvoja [11].



Slika 5. Ciljevi održivog razvoja sadržanih u programu Ujedinjenih naroda za održivi razvoj do 2030. godine [11].

5. Ekološki otisak i energetska učinkovitost

5.1. Ekološki otisak

Ideja okolišnog otiska prvi puta se pojavljuje u doktorskom radu Mathiasa Wackernagela, 1990. godine [38]. Sam pojam ekološki otisak stvorio je William Rees [38]. Nječešće korištena definicija ekološkog otiska je ta u kojoj je opisan kao alat kojim se mjeri količina tla i vode potrebno da podrže materijalni standard određene populacije uz korištenje prevladavajuće tehnologije. Po ovoj definiciji ekološki se otisak mjeri u hektarima i pokazuje koliko je pojedinoj društvenoj kategoriji (pojedincu, gradu ili državi) potrebno površine da zadovolji svoje potrebe u hrani, stanovanju, energiji, transportu ili zbrinjavanju otpada [38]. Mjerna jedinica je globalni hektar (gha)³[73]. Isto tako, može se promatrati kao indikator i oslonac za donošenje odluka. On je metoda računanja i procjene utjecaja upotrebe proizvoda i usluga na životnu sredinu [73]. Ekološki otisak pomaže nam da shvatimo kako živimo te pri tome se oslanja na dvije osnovne pretpostavke [63]:

1. u mogućnosti smo sa zadovoljavajućom preciznošću izračunati količinu resursa koje trošimo i otpad koji proizvodimo;
2. mogućnost pretvorbe tih resursa i otpada u biološki produktivno područje koje je potrebno za osiguravanje tih procesa (Chamber, N., Simmons, C. and Wacker- nagel, M., 2004).

Jednostavnije rečeno, ekološki otisak predstavlja zbir svih "ekoloških usluga" koje ljudi "zahtijevaju" od određenog prostora. On podrazumijeva biološki obradive površine potrebne za usjeve, pašnjake, naseljena područja, ribolovna i šumska područja, sva područja koja sudjeluju u održavanju života čovjeka. Ovdje se također podrazumijeva površina šume koja je potrebna kako bi se apsorbirale emisije ugljičnog dioksida čija se koncentracija značajno povećala u posljednjih pedeset godina, a koje ocean nije uspio apsorbirati [23]. Računanje ekološkog otiska zasnovano je na sljedećih šest osnovnih principa [23]:

1. Moguće je praćenje većine resursa koji ljudi koriste i otpada koji koriste.
2. U većini slučajeva, dostupni resursi i tokovi otpada mogu se izmjeriti i prevesti u biološki produktivne površine kako bi se tok nastavio. Izračunati otisak uvijek

je manji od realnog. Do toga dolazi zbog toga što su resursi i tok otpada koji nije moguće izmjeriti isključeni iz procjene.

3. Različiti tipovi površina mogu se prevesti u zajedničke jedinice - globalne hektare (gha), odnosno hektare sa svjetskom prosječnom bioproduktivnosti, mjerenjem bioproduktivnosti svake površine.
4. Izračunati hektari mogu se sumirati i na taj način postati indikatori biološkog otiska i biokapaciteta. Kako svaki globalni hektar predstavlja jedno korištenje i svi globalni hektari predstavljaju isti iznos bioproduktivnosti u jednoj godini, pa se mogu koristiti i kao takvi mogu se koristiti kao indikatori ekološkog otiska.
5. Direktna usporedba ljudskih zahtjeva, izraženih kroz ekološki otisak, i biokapaciteta moguća je kada su jedni i drugi izraženi u globalnim hektarima.
6. Ekološki deficit nastaje prekomjernim korištenjem resursa čime dolazi do degradacije ekosustava kojemu je potrebno više vremena da se regenerira.

Ekološki otisak računa se na globalnoj razini, ali i na razini pojedinih država, regija, gradova pa i raznih institucija kao što su korporacije ili škole. Ekološki otisak predstavlja klasičan odnos ponude (biokapacitet) i potražnje (otisak) [63]. Čovjek u svome svakodnevnom životu ostavlja otisak u raznim područjima koja su neposredno vezana za biokapacitete Zemlje. Iako je ekološki otisak najpreciznija mjera u izračunavanju utjecaja čovjeka na okoliš, ali i mogućnosti okoliša na zadovoljavanje potreba čovječanstva, ona isto tako ima i nekoliko nedostataka. Korištene metode ne uključuju utjecaj svih štetnih plinova, kao ni direktan utjecaj štetnih poljoprivrednih metoda, radioaktivnog otpada i sl. U skladu s potrebama i razvojem društva, ne iznenađuje činjenica da potrošnja fosilnih goriva, emisije CO₂ i proizvodnja hrane najviše utječu na ekološki otisak.

Ekološki otisak može znatno doprinijeti u menadžmentu pojedinih lokalnih, regionalnih, državnih pa i međunarodnih površina. Uz pružanje uvida u stanje u okolišu i održivost načina života, ekološki otisak zbog nerijetkog nedostatka podataka može pružiti iskrivljenu sliku stvarnog stanja resursa i okoliša [34].

Izračun ekološkog otiska

Računanje ekološkog otiska zasniva se na prethodno navedenih šest osnovnih pretpostavki. U računanju ekološkog otiska koriste se dva modela [38]:

1. složeni model – pristup s vrha prema dnu,
2. komponentni model – pristup s dna prema vrhu.

5.1.1 Složeni model

Složeni model razvili su Wackernagel i Rees 1996. godine [38]. U složenom modelu izračun se vrši na osnovi nacionalnih podataka i prikazuje se po stanovniku. Složeni pristup računa ekološki otisak na kraju potrošnje, zato se od tuda dolazi i drugi naziv složenog modela, ekološki otisak potrošnje, što bi značilo da se ubraja cijeli put proizvoda tj. od energije i resursa do otpada. Za dobivanje otiska mora se definirati godišnja potrošnja po glavi stanovnika populacije. Potrebni podaci dostupni su u određenim statističkim podacima o potrošnji energije, konzumacije hrane, šumarstva i iz dataka kućanstava. Nacionalna potrošnja se može se izračunati koristeći sljedeću formulu:

Nacionalna potrošnja = Proizvodnja + Uvoz – Izvoz

Slijedi izračunavanje koliko se ekološke površine po glavi stanovnika (fl) zauzima za svako dobro (i). Uz to se dijeli godišnja potrošnja tog dobra i (vi , u kilogramu po osobi) sa odgovarajućom ekološkom produktivnosti ili žetvi (pi , u kilogramima po hektaru ili godini). Što znači da je:

$$fli = \frac{vi}{pi} \quad (1)$$

U slučaju robe široke potrošnje ne postoji samo jedan ekološki input. Primjerice, u odjeći ili namještaju prisutne su različite sirovine. U tome slučaju se izračunava površina fli za raznovrsne ekološke kategorije kao naprimjer šuma ili poljoprivredna površina prvo neovisna međusobno. Nakon izračuna pojedinih fli , zbrajaju se međusobno.

Suma svih djelomičnih površina koji se predočava od n potrošačkih dobara jedne osobe je ekološki otisak jedne osobe (ef , u hektarima po osobi). Odnosno, to je površina, koja je trajno potrebna kako bi potrošnju jedne osobe održavala. Formula glasi:

$$ef = \sum_{i=1}^n fli \quad (2)$$

Kod izračunavanja prosječnog otiska za jednu populaciju, razlika između dvije individue se izjednačava. U skladu s time, otisak jedne populacije (EF , u hektarima) odgovara množenju broja stanovnika (N) s prosječnim otiskom (ef):

$$EF = ef * N \quad (3)$$

Kako se većina procjena bazira na nacionalnim potrošačkim statistikama, prilikom određivanja ekološke produktivnosti referentna točka je svjetski prosjek. Koristeći ovom metodom moguća je usporedba između regija i zemalja.

U velikom broju slučajeva, stvarnosti odgovara odnos na prosječnim svjetskim podacima za ekološku produktivnost. Tome u prilog ide činjenica kako svjetska ekonomija u rastućoj količini oblikuje lokalnu potrošnju. Uz navedeno, osnovne ekološke uloge kao što je vrijeme, bioraznolikost ili zaštita od ultraljubičastog zračenja djeluju globalno.

Ukoliko postoji dovoljno podataka i ukoliko u isti dostupni, za neke analize se mogu izdvojiti lokalni potrošni i produktivni podaci. U skladu s dostupnim podacima, daju se odrediti i otisci raznih udruga, firmi ili individua. U otkrivanju odstupanja kod životnog stila i korištenja resursa često je od pomoći provesti usporedbu nacionalnog otiska s lokalnim procjenama [38].

5.1.2. Komponentni model (Bottom-up)

Metoda odozdo prema gore (bottom-up), glavni je alat pri izračunu državnog okolišnog otiska, pritom koristeći input podatke sub-nacionalnih populacija, a ne podatke na razini države kao što koristi metoda odozgo prema dolje. Ova metoda naziva se i komponentom metodom. Ekološki otisak svih proizvoda korištenih od strane populacija se agregira, tj. zbraja. Preciznije, količina biološkog materijala sadržana u korištenim proizvodima, mjerena u tonama po godini, se dijeli s prinosima pojedinih morskih ili kopnenih područja (tona u godini po hektaru). Ta su područja ona koja su i proizvela biološki materijal sadržan u korištenim proizvodima. Isto tako, ova metoda uključuje količinu prostora koja je potrebna za suzbijanje, apsorpciju emisija ugljikova dioksida koja je izravno emitirana od strane populacije ili je bi proizvod proizvodnih procesa kojim nastaju proizvodi konzumirani od strane populacije. Broj dobivenih hektara zatim se pretvara u globalne hektare (gha) koristeći faktore prinosa i ekvivalentnosti. Zbroj globalnih hektara koji su potrebni promatranoj populaciji da zadovolji svoje potrebe koje su zadovoljive od strane biokapaciteta daje ukupni

ekološki otisak populacije. Vrijednosti ekološkog otisaka mogu se izraziti kao ekološki otisak po glavi stanovnika i to na način da se vrijednost ekološkog otiska populacije izražene u globalnim hektarima podijeli s veličinom populacije tj. brojem jedinki promatrane populacije (per capita gha) [38].

5.1.3. Globalni hektari

Kao jako važan čimbenik u određivanju ekološkog otisak i biokapaciteta, produktivnost nekog područja definira se kao količina biološkog materijala, koja je korisna populaciji, i generirana je na određenom prostoru. Produktivnost varira ovisno o različitim tipovima prostora. Primjerice, poljoprivredna površina manje fizičke veličine ostvarila bi više biološkog materijala nego travnjak iste fizičke veličine. Kako bi se podaci o produktivnosti pojedinih područja, različitih vrta prostora, različitih država mogli uspoređivati, ekološki otisak i biokapacitet izražavaju se u globalnim hektarima (gha), tj. biološki produktivan hektar s prosječnom svjetskom produktivnošću [37].

5.1.4. Faktori prijenosa i ekvivalentnosti

Faktori prinosa (YF yield factors) i ekvivalentnosti (EQF equivalence factors) omogućuju izražavanje vrijednosti ekološkog otiska i biokapaciteta u globalnim hektarima [7]. Isto njihovom uporabom moguća je usporedba ekoloških otisaka i vrijednosti biokapaciteta između različitih zemalja.

Kao što je već spomenuto, biološka produktivnost pojedinog područja varira ovisno o geografskim, meteorološkim te antropogenim faktorima. Faktor prinosa obuhvaćaju razliku između kućanske, lokalne, regionalne produktivnosti i prosječne svjetske produktivnosti iskoristivih proizvoda na određenoj vrsti prostora. Dobivene razlike mogu kazati na prethodno navede varijacije. Točnije, faktor prinosa omogućava usporedbu određene vrste prostora između različitih geografskih regija [7].

Faktor ekvivalentnosti prevodi površinu određene vrste područja koja je dostupna u jedinice svjetske prosječne biološki produktivne površine. Ovi se faktori izračunaju kao omjer maksimalne moguće ekološke produktivnosti svjetskog prosječnog zemljišta određene vrste područja (npr. obradive zemlje) i prosječne produktivnosti svih biološki produktivnih prostora na Zemlji.

5.1.5. Otisak proizvodnje, potrošnje i trgovine

Otisak proizvodnje izračunava se kao zbroj otisaka za sve dobivene, obnovljive, biološke materijale, za prostor koji predstavlja infrastrukturna područja te za područja za izdvajanje emisija ugljikova dioksida stvorenih na određenom geografskom prostoru. Odnosno, uključuje sva područja neke regije koja su potrebna kako bi održala dobivanje primarnih proizvoda (obrađiva zemlja, pašnjaci, šume i ribolovna područja), zatim, izgrađena područja u regiji (ceste, tvornice, gradovi) i područja potrebna za apsorpciju emisija ugljikova dioksida nastalih izgaranjem fosilnih goriva unutar promatrane regije.

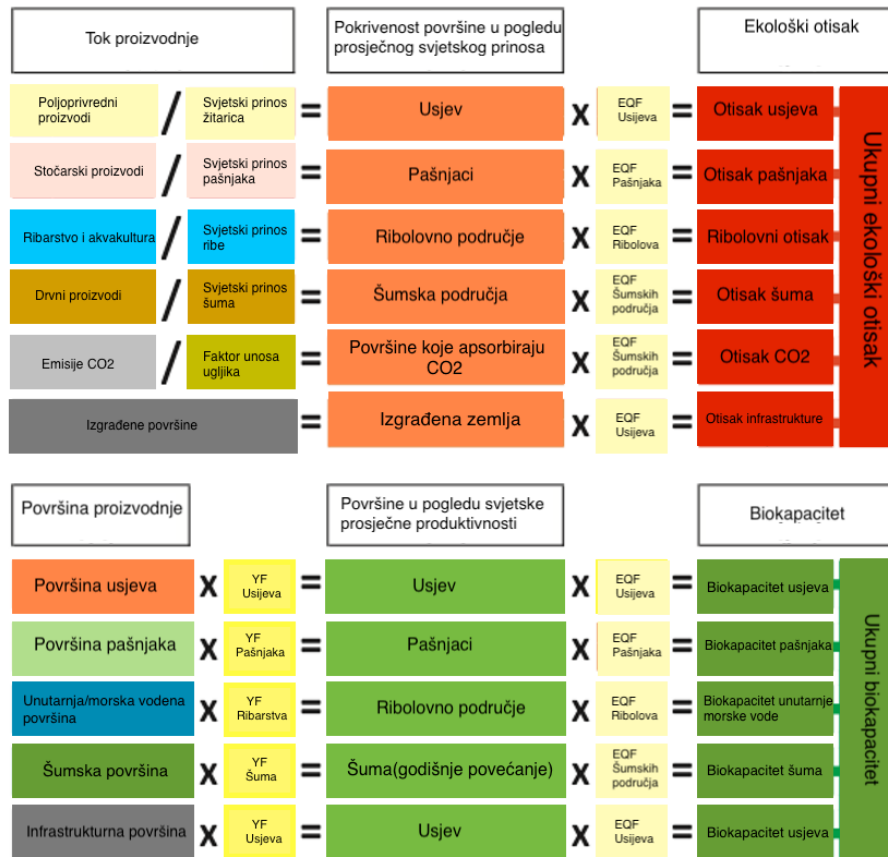
Kada se govori o otisku trgovine, on uključuje otisak proizvoda koji se uvoze u neko područje ili se iz istoga izvoze. Populacije ovise o proizvodima koji se uvoze iz ostalih regija. Isto tako, bruto domaći proizvod pojedine regije ovisi i o izvozu dobara i roba u ostale regije.

Najčešće izračunavan otisak je otisak potrošnje. Otisak potrošnje definiran je kao područje koje se koristi kao podrška definirane potrošnje populacije. Izračunava se kao otisak proizvodnje populacije zajedno s uvozom i oduzima se izvoz.

Prilikom računanja biokapaciteta pojedine regije i ekološkog otiska, razlikujemo nekoliko vrsta područja, a to su [7]:

- a) obradive površine – površine potrebne za uzgoj usjeva, svih usjeva za ljudsku konzumaciju, stočnu hranu, riblju hranu, uljane kulture i kaučuk, najproduktivnija je vrsta područja uključenih u izračun ekološkog otiska,
- b) pašnjaci – kod određivanja ekološkog otisak za pašnjake se uzimaju u obzir pašnjaci koji se koriste u svrhu ispaše stoke,
- c) ribolovna područja – ekološki otisak ribolovnog područja računa se na bazi godišnje primarne proizvodnje koristeći procijenjene maksimalni održivi ulov za pojedinu vrstu riba; rata održivog ulova pretvara se u ekvivalentu masu primarne proizvodnje temeljem trofičkog nivoa za pojedinu riblju vrstu,
- d) šumska područja – šume mogu sudjelovati u računanju ekološkog otisak šuma, ali i u računanju ekološkog otiska ugljika; otisak šumarskih proizvoda mjeri se na temelju godišnje proizvodnje drva kao goriva i građevnog drva; otisak ugljika predstavlja prostor potreban za apsorpciju ugljikova dioksida proizvedenog izgaranjem fosilnih goriva,

- e) izgrađene površine – odnosi se na površine na kojima se nalazi infrastruktura izgrađena od strane čovjeka te se koristi za: promet, stanovanje, industriju i generiranje energije.



Slika 6. Formule pristupa odozdo prema gore [7].

Na slici 6. prikazane su formule koje se koriste kao pomagalo pri korištenju odozdo prema gore (eng. *Bottom up*) metode kod izračuna državnog ekološkog otiska, koristeći input podatke sub-nacionalnih populacija, a ne one na razini države kao što to koristi metoda odozgo prema dolje. One u velikoj mjeri pomažu kod dobivanja podatka o ukupnom ekološkom otisku, te kod dobivanja podatka o ukupnom biokapacitetu. Na slici je vidljiva skraćenica FE koja znači faktor ekvivalentnosti. Isto tako, na gornjoj slici je vidljiva skraćenica FP koja označava faktore prinosa. Najjednostavnije rečeno, biološki otisak bila bi mjera ljudskog utjecaja na prirodne resurse dok biokapacitet, odnosno biološki kapacitet bila bi sposobnost određenog ekosustava da proizvodi korisne biološke materijale te da apsorbira, od strane ljudske

aktivnosti kreirani ugljični dioksid [49]. On se izračunava na način da se množi stvarno fizičko područje sa faktorom prinosa i odgovarajući faktor ekvivalencije.

5.1.6. Ekološki otisak proizvodnje

Za određenu zemlju, ekološki otisak proizvodnje, EF_p , predstavlja direktnu potražnju za domaćim/lokalnim biokapacitetom. Izračunava se kao [37]:

$$EF_p = \sum_i \frac{P_i}{Y_{N_i}} * YF_{N_i} * EQF_i = \sum_i \frac{P_i}{Y_{W_i}} * EQF_i \quad (4)$$

Gdje je:

P – količina svakog dobivenog primarnog proizvoda i , ili količina proizvedenog CO_2 u zemlji,

$Y_{N,i}$ – prosječni godišnji prinos po hektaru za proizvodnju dobara i , ili apsorpcijski kapacitet ugljika u slučaju kada je $P=CO_2$,

$YF_{N,i}$ – faktor prinosa određenog dobra i specifičan za pojedinu zemlju,

$Y_{W,i}$ – prosječni svjetski prinos dobara i ,

EQF – faktor ekvivalentnosti za određenu vrstu područja koja proizvodi dobra i .

5.1.7. Ekološki otisak potrošnje

Proizvodni procesi svih dobara potražuju usluge biokapaciteta kako za dobivanje sirovine i materijala tako i za uklanjanje otpada nastalog u proizvodnome procesu. Uz postojeći otisak proizvoda treba imati na umu i dodatne zahtjeve ka biokapacitetu nastale uslijed trgovine i transporta gotovih proizvoda. Tako su Moor i sur. (2013) u svome radu uključili i novonastala potraživanja, prilikom računanja otiska potrošnje (EF_c), a za pojedinu vrstu područja koristili su sljedeću formulu [37] :

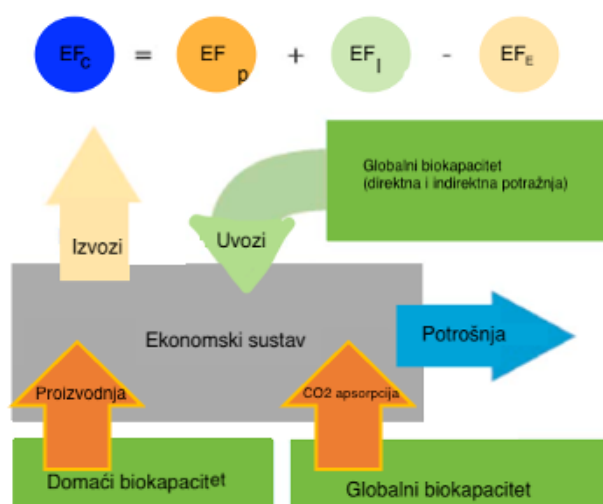
$$EF_c = EF_p + EF_i - EF_E \quad (5)$$

Gdje je:

EF_p – ekološki otisak proizvodnje,

EF_i – računa se kao ekološki otisak proizvodnje, gdje je proizvodnja P zapravo količina uvezenih dobara (import),

EF_e - računa se kao ekološki otisak proizvodnje, gdje je proizvodnja P zapravo količina izvezenih dobara (export).



Slika 7. Shematski prikaz potražnje za lokalnim i globalnim biokapacitetom [7].

Na slici 7. dan je grafički prikaz izračuna otiska potrošnje, označenog sa EF_c unutar plavog kruga i strelice. Na toj slici mogu se vidjeti glavne stavke koje su uzete u obzor kod računanja istog.

5.1.8. Biokapacitet

Za pojedinu zemlju biokapacitet se računa prema formuli [37]:

$$BC = \sum_i A_{Ni} * YF_{Ni} * EQF_i \quad (6)$$

Gdje je:

$A_{N,i}$ – bioproduktivno područje koje je dostupno za proizvodnju pojedinog dobra i na razini zemlje,

$YF_{N,i}$ – faktor prinosa za pojedino dobro te je specifičan za pojedinu zemlju,

EQF – faktor ekvivalentnosti za pojedinu vrstu prostora koji daje dobro i .

5.1.9. Usporedba metoda odozgo prema dolje i odozdo prema gore

Pristup odozgo prema dolje ili „top-down“ prvenstveno koristiti podatke prikupljene na razini države. Ti podaci uključuju podatke o proizvodnji, uvozi i izvozu koji se raščlanjuju po kategorijama potrošnje prema standardiziranim monetarnim, multi-regionalnim „input-output“ tablicama (MRIO tablice). Isto tako, ova metoda uključuje podatke o materijalnim i energetske tokovima koji se skaliraju na gradsku razinu pomoću anketa o potrošnji kućanstava. Ekološki otisak izračunat ovom metodom može primijeniti i na sub-nacionalne razine, a može se koristiti i za usporedbu stanja u različitim gradovima u različitim zemljama.

Pristup odozdo prema gore, suprotno prethodnoj metodi, izbjegava direktno računanje nacionalnog ekološkog otiska. Ova metoda koristi podatke na razini pojedinog grada. Za prikupljanje podataka koristi monetarne „input-output“ tablice ili fizičke tokove materijala i energije na lokalnoj razini. Primjenom ove metoda omogućava se bolje predstavljanje lokalne situacije, rezultati su lako razumljivi i više su reprezentativni široj lokalnoj zajednici. Uz navedene prednosti pristupa odozdo prema gore, njegova primjena zahtjeva prikupljanje velikog broja podataka iz različitih izvora koji se razlikuju u različitim regijama te na taj način onemogućavaju vjerodostojne uvjete za uspoređivanje stanja u različitim gradovima [3].

5.2. Energetska učinkovitost

Proteklih nekoliko desetljeća nije se velika važnost pridavala energetskej efikasnosti, niti uštedi energije, a razlog tome je da je energija bila relativno jeftina i dostupna. Kako je tehnologija napredovala, tako je slijedio i ekonomski rast koji je bio baziran na prekomjernoj eksploataciji resursa, dok se premalo značaja pridavalo održivom ekonomskom razvoju, što rezultira današnjim skupim energentima, strahom od nestajanja određenih energenata, pretjerane eksploatacije, značajan utjecaj na okoliš

i na same klimatske promjene. Svijet se danas suočava sa problemom globalnog zatopljenja i efekta staklenika, koji su direktna posljedica prevelikih emisija ugljičnog dioksida, koji se otpušta upotrebom fosilnih goriva [71]. Stoga, od iznimne je važnosti početi razmišljati i djelovati na način da se, u čim većoj mjeri počne pažnju pridavati očuvanju resursa i čim većoj iskoristivosti istih. Jedna od mnogih definicija opisuje da je energetska učinkovitost zapravo racionalno korištenje energije i to kroz smanjenu potrošnju samih energenata [71]. Isto tako, energetska učinkovitost predstavlja sumu isplaniranih te provedenih mjera koje za svoj cilj imaju minimalno moguće korištenje energije, a da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu sačuvane, odnosno da se ne vrši nikakav pritisak na iste [8]. Može se reći kako pod pojmom energetska učinkovitost, nikada se ne smije promatrati samo iz aspekta štednje ili smanjenja, zbog toga što štednja, odnosno smanjenje gotovo uvijek podrazumijevaju neku vrstu odricanja, što se prkosi sa konceptom učinkovite uporabe energije, koja nikada ne narušava uvjete življenja i rada. Također, može se reći kako je energetska učinkovitost na prvome mjestu stvar svijesti samih ljudi i njihove želje i volje za promjenom ustaljenih navika, ka nekim drugim, energetski učinkovitijim rješenjima, zbog toga što promjenom samo tehničkih rješenja, ne postiže se nešto previše, ukoliko korisnici tih novih tehničkih rješenja nisu obrazovani za korištenje istih, odnosno ako ne žele i ne koriste iste [8].

5.3. Ekološki otisak proizvodnje SRF-a

Ekstremi vremenski uvjeti i prirodne katastrofe sve su učestaliji. Veću koincidenciju ekstremnih okolišnih uvjeta, možemo pripisati globalnim klimatskim promjenama. Globalne klimatske promjene vidljive su posljednjih nekoliko desetljeća. Jedan od vodećih uzročnika klimatskih promjena je povećanje emisije ugljikovog dioksida za kojim slijedi povećanje emisije metana. Koncentracija ugljikova dioksida porasla je s 280 ppm, koliko je iznosila prije doba industrijalizacije, na 403 ppm 2016. godine. Ovaj porast označava godišnji rast koncentracije ugljikova dioksida za 2 ppm/god.

Globalne klimatske promjene ne očituju se samo u porastu temperature već sa sobom donose brojne učinke koji narušavaju ravnotežu ekosustava na globalnoj razini, ostavljaju ekonomske posljedice koje se ostavljaju trag u društvu [40]. Glavni proizvođači uzročnika klimatskih promjena, stakleničkih plinova, je proizvodnja energije za različite industrijske procese koji iznose 24,2% ukupnih proizvedenih emisija stakleničkih plinova 2020. godine. Otpad pridonosi povećanju koncentracije stakleničkih plinova za 3,2% 2020. godine, od čega 1,9% proizvode odlagališta otpada prilikom razgradnje organske frakcije otpada [52]. Cementna industrija bilježi značajan porast. Proizvodnja cementa porasla je za 73% između 2005. (2310 Mt) i 2013. (4000 Mt) godine. Povećanjem proizvodnje, značajno se povećala i proizvodnja emisija ugljikova dioksida. Procjenjuje se kako cementna industrija pridonosi globalnoj razini stakleničkih plinova s 5-8% ukupnog proizvedenog ugljikovog dioksida [36].

Kako bi se smanjio negativni trend porasta proizvedenih emisija ugljikova dioksida u cementnoj industriji, sve se više klasični energenti poput ugljena i nafte zamjenjuju alternativnim gorivima. Jedan od alternativnih goriva koji je pronašao učinkovitu implementaciju u cementnoj industriji, kako u svijetu, tako i u Republici Hrvatskoj, je SRF. Proizvodnja i korištenje SRF-a višestruko pozitivno djeluje na redukciju proizvodnje CO₂ i ostalih stakleničkih plinova. Smanjuje njihovo oslobađanje eliminacijom velike količine otpada s odlagališta te smjenjivanjem klasičnih energenata u industrijskih pogonima.

Kako bi se dobili podaci o učinku proizvodnje i korištenja SRF-a na emisiju stakleničkih plinova, ekosustave i društvo, točnije kako bi se izračunao ekološki otisak navedenih procesa potrebna je LCA (Life cycle assessment) analiza.

U novije vrijeme, imponantan je broj znanstvenih radova čiji je objektiv energija iz otpada. Unatoč povećanom broju dostupne literature, tek nekolicina autora dala je informacije o ekološkom učinku izgaranja SRF-a. Podaci o utjecaju proizvodnje SRF-a na okoliš su nezastupljeni u dostupnoj literaturi [15].

Kako je SRF najveću primjenu pronašao u cementnoj industriji Gard i dr. (2019) u svom su radu istaknuli kako korištenje SRF-a visoke biogene frakcije (cca. 70%) kao pomoćnog goriva u proizvodnji cementa, smanjuje nastajanje emisije CO₂ i SO₂. Smanjenje proizvodnje SO₂ (0.24% SRF, 1.1% ugljen) doprinosi smanjenju acidifikacije. U ovom radu, navodi se kako se korištenjem SRF-a (biogena frakcija 70%), reducira generacija topline. Garg i dr. (2019) ističu kako se energetske gubitci uslijed korištenja SRF-a kao dodatnog goriva nadoknađuju manjom cijenom goriva i smanjenjem emisije stakleničkih plinova [18].

Kako SRF u većem udjelu čini plastika (različite vrste) tijekom računanja ekološkog otiska pažnju moramo posvetiti tome da je ta plastika većinom nastala iz naftnih derivata. Ta činjenica pridonosi povećanju ekološkog otiska SRF-a. Isto tako, izgaranje plastike, koja čini većinski udio SRF-a predstavlja problem zbog većih koncentracija kancerogenih plinova. Isto tako, pepeo, koji nastaje nakon izgaranja SRF-a predstavlja svojevrsnu ugrozu za okoliš zbog mogućeg prisustva mikro i nano fragmenata plastike.

Proizvodnja SRF-a pokazala se ekološki isplativom metodom upravljanja otpadom od odlaganja otpada na odlagališta i spaljivanja miješanog komunalnog otpada. Yi(2016) u svojem su radu usporedili različita postrojenja proizvodnje SRF-a prema sljedećim ekološkim parametrima: korištenje abiotskih izvora dobara, doprinos globalnom zagrijavanju, trošenje ozonskog sloja, acidifikacija, eutrofikacija, ekotoksičnost... Postrojenje koje je koristilo mehaničko biološku obradu otpada u proizvodnji SRF-a, pokazala se kao ekološki najisplativija . Ova metoda imala je smanjeni utjecaj na eutrofikaciju i acidifikaciju te ekotoksičnost u smanjenoj koncentraciji dušičnih spojeva prilikom izgaranja SRF-a. To se može pripisati smanjenom udjelu biogene frakcije SRF-a nakon mehaničko biološke obrade otpada. Isto tako, ovaj postupak proizvodnje SRF-a vršio je manji pritisak na fosilna goriva.

Ovaj zaključak proizlazi iz smanjene potrebe za energijom tijekom procesa bio sušenja u biološkoj obradi otpada [70].

Grosso i dr. (2016) u svome radu navode kako MBO postupak u paru s bio reaktorskim odlagalištem pozitivno utječe na smanjenje negativnog utjecaja na okoliš. LCA analizom utvrdili su da proizvodnja SRF-a te njegovo izgaranje kao dodatnog goriva u pećima ima više prednosti od nedostataka. Istaknuti nedostaci opisanog procesa jesu gubitak energije neadekvatnim upravljanjem proizvedenog bioplina koji nastaje anaerobnom digestijom čime dolazi do energetske gubitaka te otpuštanja metana u atmosferu. Ostali ispitivani parametri pokazali su negativan predznak. Odnosno, MBO postupak s bio reaktorskim odlagalištem i spaljivanje SRF-a smanjili su stopu eutrofikacije slatkovodne vode, posljedično umanjili i rizik od nastanka hipoksije i anoksije u ispitanim vodama. Isto tako, uočena je manja koncentracija kancerogenih spojeva u neposrednom okolišu što smanjuje toksičnost za čovjeka. Prema Grosso (2016), dobrobit ovakvog sustava upravljanja otpadom i proizvodnje SRF-a nalazi se i u smanjenju potrebe za vodom i klasičnim gorivima. Prema ovim podacima, možemo zaključiti da anaerobna digestija zajedno s proizvodnjom SRF-a uvelike pridonosi smanjenju pritiska na okoliš. Jedan od uvjeta za postizanje redukcije ekološkog otiska u ovoj vrsti MBO-a je učinkovito sakupljanje i tzv. „*in situ*“ uporaba bioplina nastalog anaerobnom digestijom u energetske svrhe. Na primjeru postrojenja od Grosso i dr (2016), količina bioplina koji nastaje anaerobnom digestijom zadovoljava energetske potrebe samog MBO postrojenja. Već sa 75% iskorištenošću nastalog bioplina vidljiv je pomak u približavanju cilja redukcije okolišnih pritisaka, tj. smanjenju ekološkog otiska proizvodnje SRF-a.

Havukainen i dr (2017.) u svome su radu projicirali značajnu redukciju uzročnika globalnog zagrijavanja korištenjem SRF-a kao dodatnog goriva. Njihovi rezultati ukazuju na mogućnost smanjenja acidifikacije s 90% na 34% te potencijala eutrofikacije s 1200% na 380% proizvodnjom i korištenjem SRF-a kao alternativnog goriva u usporedbi s rezultatima spaljivanja miješanog komunalnog otpada. U ovom radu istaknuto je da, ekološki otisak proizvodnje SRF-a značajno ovisi o kvaliteti proizvedenog SRF-a te primijenjenoj praksi upravljanja preostalim organskim materijalom. Kao i Grosso (2016), Havukainen (2017) preporuča anaerobnu digestiju organskog materijala u energetske svrhe, s ciljem smanjenja ekološkog otiska proizvodnje SRF-a i općenito upravljanja otpadom. Potrošnja električne energije u postrojenju za proizvodnju SRF-a, prema Havukainen (2017), ima značajan doprinos

stvaranju štetnih emisija, i to 25 – 35% ukupno stvorenih emisija. Odlaganje ostatnog organskog materijala pokazalo je još i veći doprinos povećanju ekološkog otiska. Tijekom odlaganja ovog materijala, izmjereni udio štetnih plinova iznosio je od 45% do 57% ukupno stvorenih emisija štetnih plinova.

Prema studiji o utjecaju plastike i mikropplastike, otpada i zagađenja na okoliš, fragmenti mikro- i nanoplastike predstavljaju ugrozu životinjskom svijetu. U ovome istraživanju navode kako mirko- i nanoplastika može dospjeti u okoliš na razne načine, a jedan od njih je rasprostranjivanje vjetrom [12]. Tijekom skladištenja SRF-a u djelomično zaštićenom prostoru, postoji mogućnost rasprostranjivanja sitnih komada plastike u okolno područje. Ingestija mikropplastike predstavlja veliki problem za životinje. Posebice ranjiva skupina terestrijalnih ekosustava jesu ptice. Gutanjem većih ili manjih fragmenata plastike može doći puknuća probanog trakta te do zatvaranja dišnih puteva kod ptica. U ovom radu, navodi se kako izgaranje alternativnih goriva, poput SRF-a, koji u velikoj mjeri sadrže plastični materijal zabrinjavajuće zbog oslobađanja različitih kemijskih supstanci kako u plinovima tako i u talogu nastalim izgaranjem [12].

6. Gorivo iz otpada-oporabljeno kruto gorivo

Gorivo iz otpada (GIO) je naziv za vrstu goriva koje nastaje kao nusproizvod mehaničke ili mehaničko-biološke obrade otpada [33]. Ono se proizvodi u centrima za gospodarenje otpadom iz neopasnog nerazvrstanog otpada. Sastav i svojstva GIO-a razlikuje se ovisno o izvoru i vrsti otpada od koje nastaje te postupcima kojima podliježe u nastajanju. U Hrvatskoj literaturi ne razlikujemo različite vrste GIO-a, no u stranoj literaturi razlikuju se dvije vrste goriva iz otpada. Te dvije vrste GIO-a jesu RDF (engl. – *Refuse Derived Fuel*) i SRF (engl. - *Solid Recovered Fuel*) ili kruto oporabljeno gorivo [16]. RDF je oznaka za mehanički obrađen otpad koji je pogodan za korištenje kao gorivo. Može sadržavati razni opasni i neopasni otpad iz kućanstva, usluga i industrije. Dobiva se iz krupnijeg otpada koji se uklanja iz ukupnog obrađivanog materijala prije ulaska u fazu biološke obrade. U usporedbi sa SRF-om, RDF nije biostabilizirano gorivo, ima veći udio vlage i niže je kalorijske vrijednosti od SRF-a [16]. Isto tako, RDF ne podliježe standardu HR EN 15359:2012. SRF je gorivo proizvedeno mehaničko-biološkom obradom iz neopasnog komunalnog otpada [21]. S obzirom na primijenjenu tehnologiju mehaničko-biološke obrade otpada, vrstu obrađivanog otpada te količinu prethodno odvojenog ambalažnog otpada, može se proizvesti SRF različite kvalitete. Kvaliteta SRF-a određena je EU standardom, usvojenom i u RH pod brojem HRN EN 15359:2012. Ovim je standardom određeno pet klasa SRF-a prikazanih u tablici 3. (Tablica 3.) Klase SRF-a razlikuju se prema:

1. sadržaju žive,
2. sadržaju klora,
3. donjoj ogrjevnoj vrijednosti (koliko energije se može dobiti iz jednog kilograma goriva u toplim dimnim plinovima) [21].

Ogrijevna moć ili vrijednost goriva određena je trima parametrima, a to su: udio gorive tvari, sadržaj vlage i udio pepela. U slučaju kada gorivo ima visoki udio vlage i pepela, a nizak udio gorive tvari, tada se to gorivo klasificira kao niskokvalitetno gorivo. Takva goriva imaju niske vrijednosti donje ogrjevnice moći (Tablica 3.) [33].

Poželjne karakteristike SRF-a podrazumijevaju sljedeće udjele materijala:

- 65% biološke frakcije (karton/papir, organska tvar, drvo, tekstil i fina organska tvar),
- 25% ostala fosilna goriva (tekstil, guma, kompozitni materijali i dr.),
- 9% plastika i
- 1% inertnih materijala (kamen, staklo, keramika, porculan, metali) [16].

Koncentracija klora i žive kontrolira se zbog utjecaja klora na koroziju te štetnog utjecaja žive na zdravlje [16].

Tablica 3 . Klasifikacija SRF-a [16].

Karakteristike	Statistička mjera	Jedinica	Klasa				
			1	2	3	4	5
Donja ogrjevna vrijednost (NCV)	Srednja vrijednost	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Klor (Cl)	Srednja vrijednost	%	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0
Živa (Hg)	Srednja vrijednost	Mg/MJ	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	80 percentila	Mg/MJ	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

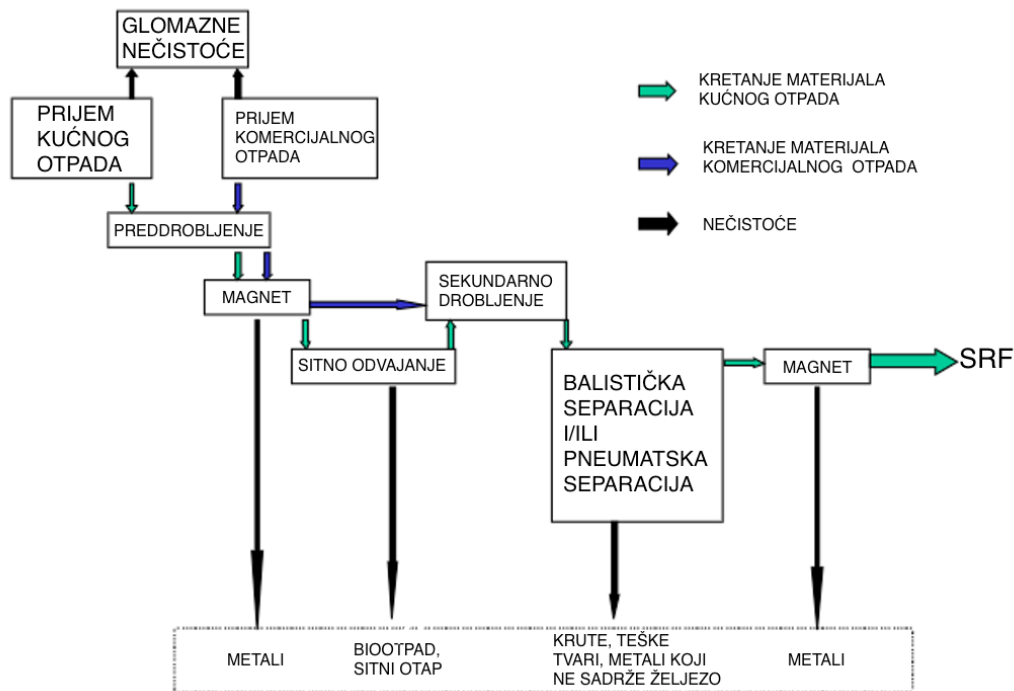
U tablici 3., prikazana je klasifikacija SRF-a, točnije, u tablici se može vidjeti pet klasa (gledano po kvaliteti) SRF-a, koji se razlikuju prema tri obilježja, a to su donja ogrjevna vrijednost (kao ekonomsko obilježje), sadržaj klora (kao tehničko obilježje) te sadržaj žive (kao okolišno obilježje). Kvaliteta samog SRF-a definirana je EU standardom, koji je usvojen i u Republici Hrvatskoj. Usprkos tome što se koristi kao gorivo, SRF se i dalje klasificira kao otpad [21].

S obzirom na sastav i svojstva otpada iz kojeg se proizvodi SRF, u katalogu otpada, navode se vrste otpada pogodne za proizvodnju GIO-a, a to jesu [32]:

- a) 04 02 09 - otpad od mješovitih (kompozitnih) materijala npr. elastomeri, plastomeri, impregnirani tekstil,
- b) 07 02 13 - otpadna plastika,
- c) 15 01 01 – papirnata i kartonska ambalaža,
- d) 15 01 02 – plastična ambalaža,
- e) 15 01 06 - miješana ambalaža,

- f) 17 09 04 - miješani građevinski otpad i otpad od rušenja,
- g) 19 12 12 - ostali otpad od mehaničke obrade otpada,
- h) 20 01 01 - papir i karton,
- i) 20 01 39 - plastika,
- j) 20 03 01 - miješani komunalni otpad iz kućanstava, proizvodnje i usluge,
- k) 20 03 07 - glomazni otpad.

Kao što je prethodno već rečeno, SRF najčešće nastaje nakon niza procesa mehaničko-biološke obrade otpada. Najdostupnija vrsta otpada za dobivanje SRF-a je kućanski otpad. Dobivanje SRF-a iz ove vrste otpada ujedno je i dosta kompliciran proces jer uključuje brojne postupke obrade. Veliki dio procesa otpada na operacije namijenjene oporabi otpadnog materijala, točnije izdvajanju materijala koji je moguće reciklirati. U proizvodnji SRF-a prikupljeni kućanski ili komercijalni otpad podložan je sljedećim procesima koji su shematski prikazani na slici 8. Ti procesi jesu: pred razvrstavanje otpada na prikupnom mjestu, daljnje sortiranje materijala magnetom, primarno usitnjavanje (ugl. veličine manje od 150 mm), odvajanje biootpada, balističko i pneumatsko razdvajanje, sekundarno usitnjavanje (na veličinu ≈ 50 mm), ponovno magnetsko odvajanje metala te slijedi skladištenje proizvedenog SRF-a [69]. Nakon dobivanja SRF-a, proizvedeno se gorivo može skladištiti u natkrivenim prostorima ili se može balirati. Baliranje nerijetko vodi k poskupljenju obrade otpada, no pomaže u slučaju dužeg skladištenja te reducira veličinu prostora za skladištenje SRF-a [16].



Slika 8. Primjer procesa uključenih u nastajanje SRF-a iz kućanskog i komercijalnog otpada [69].

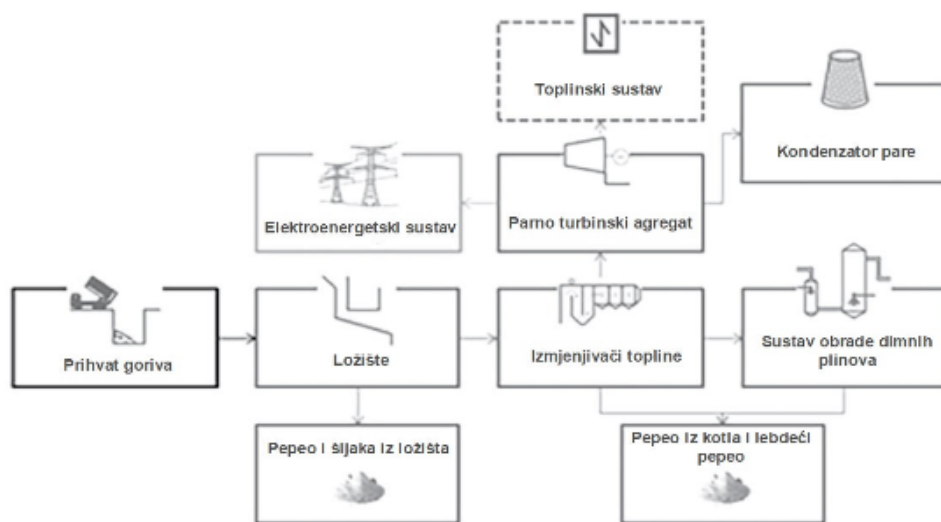
Na slici 8. dan je grafički prikaz procesa koji su uključeni u sam proces nastajanja SRF-a iz kućanskog te komercijalnog otpada. Kao prvi korak uzima se dolazak, odnosno sakupljanje kućanskog i komercijalnog otpada iz kojeg se izdvajaju i uklanjaju krupne nečistoće. Potom slijede razni koraci usitnjavanja i magnetnog uklanjanja nečistoća (ukoliko otpad sadrži veću količinu metala) te se u tom prvom usitnjavanju, otpad usitni na veličinu ispod 150mm. Nakon toga slijedi korak uklanjanja biootpada te balistička separacija teških nečistoća poput stakla ili PVC plastike. Nakon toga slijedi drugo (finije) usitnjavanje na veličinu manju od 50mm, nakon čega se ponovno magnetom uklanjaju sitne nečistoće metala ukoliko ih ima te se na samome kraju vrši postupak baliranja dobivenog produkta (SRF-a).

6.1. Uporaba SRF-a

Kruta oporabljena goriva koriste se u svrhu smanjenja korištenja fosilnih goriva [4]. Isto tako, korištenje ove vrste goriva smanjuje količinu otpada koja se odlaže na odlagalištu [21]. SRF je svoju primjenu pronašao u elektranama te industriji cementa. Uz korištenje SRF-a kao zamjenskog goriva u navedenim industrijama, najčešća

upotreba SRF-a je u energanama pokretanim isključivo SFR gorivom [4]. Za proizvodnju energije (električne i toplinske) korištenjem goriva iz otpada u ovom slučaju oporabljelog krutog goriva, provodi se tehnološki proces, prikazan na slici 9. Korišteni tehnološki proces sastoji se od sljedećih koraka [21]:

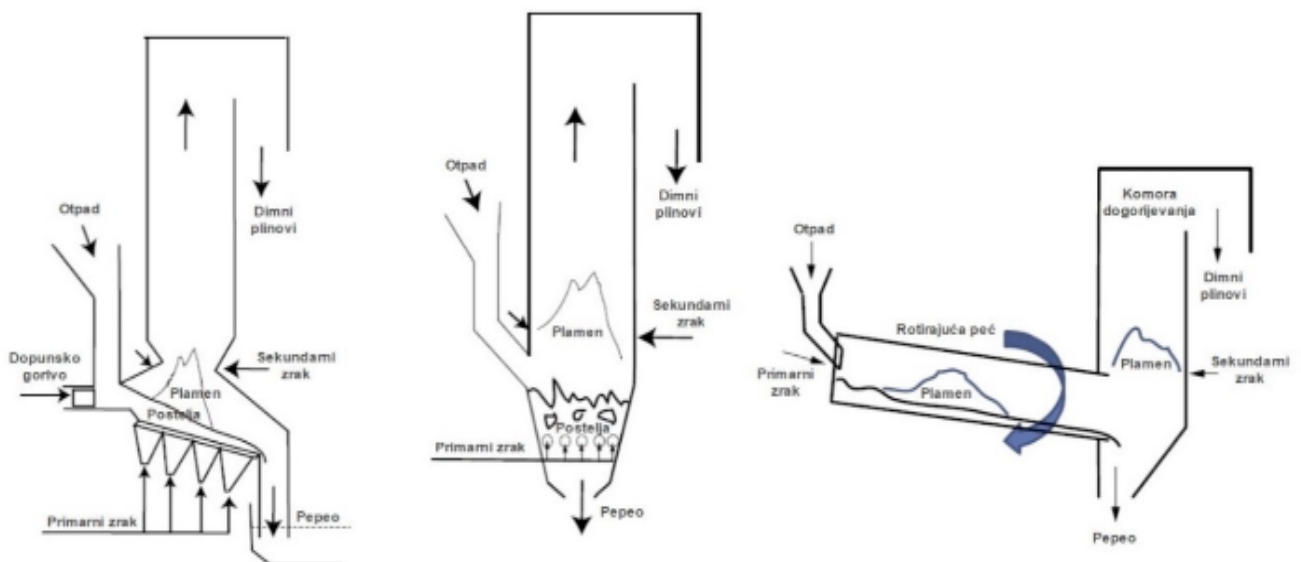
1. transport, zaprimanje i skladištenje goriva,
2. priprema goriva za daljnje korištenje,
3. doziranje goriva,
4. izgaranje goriva,
5. stvaranje energije (električne i toplinske),
6. obrada i ispušt dimnih plinova,
7. procesi kontrole i procjene emisija,
8. ukoliko su prisutne otpadne vode, njihova kontrola,
9. zbrinjavanje ostataka izgaranja goriva.



Slika 9. Shematski prikaz tehnološkog procesa koji se primjenjuje u energanama koje koriste gorivo iz otpada [21].

Na slici 9. dan je prikaz tehnološkog procesa jedne energane koja koristi gorivo iz otpada. Naime, na slici je moguće vidjeti nekoliko koraka koji su sastavni dio cjelokupnog procesa od početka do kraja. Na samome početku imamo dostavu, odnosno prihvata goriva, nakon kojeg slijedi prihvata i priprema istog (ukoliko priprema već prethodno nije bila učinjena), nakon čega slijedi izgaranje samog goriva u ložištu nakon čega se pepeo i šljaka zbrinjavaju, a produkti izgaranja koriste se kako bi se

proizvela električna energija, „obradom“ dimnih plinova, nakon čega dolazi do ispusta tih dimnih plinova te kontrola, odnosno praćenje emisija, te na samome kraju slijedi obrada i kontrola otpadnih voda(ukoliko iste postoje) i zbrinjavanja krutih ostataka. Kod izgaranja goriva iz otpada, točnije SRF-a, razlikuju se tri tehnologije izgaranja ovisno o izvedbi komore izgaranja, tj. vrsti ložišta. Tri tehnologije izgaranja krutog oporabljenog goriva shematski su prikazane na Slici 10 [21]. Kod korištenja krutog oporabljenog goriva, najčešće se koristi tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju. Ova tehnologija prikladna je za izgaranje manjih količina otpada i za korištenje kod otpada promjenjivog sastava [33]. Sloj čvrstih čestica, u većini slučajeva kvarcnog pijeska, kroz koji prolazi zrak brzinom koja uzrokuje levitiranje čestica naziva se fluidizirani sloj [33]. Još jedna tehnologija koja se može koristiti za izgaranje SRF-a je tehnologija izgaranja na pomičnoj rešetki. Ova se tehnologija češće koristi za spaljivanje nesortiranog miješanog komunalnog otpada iz razloga što zahtjeva spaljivanje goriva krupnijih čestica. Posljednja tehnologija koja se koristi za spaljivanje krutog oporabljenog goriva je izgaranje u rotirajućoj peći. Ova je nešto manje energetska učinkovita od izgaranja u fluidiziranom sloju. Najčešće se primjenjuje u cementnoj industriji koja predstavlja vodeću industriju koja je implementirala izgaranje SRF-a kao jedan od izvora energije za svoje proizvodne procese [21].



Slika 10. Shematski prikaz triju tehnologija izgaranja krutog oporabljenog otpada [21].

Na slici 10. dan je shematski prikaz triju tehnologija izgaranja krutog oporabljenog goriva. Na slici se mogu vidjeti tri različite komore unutar kojih se odvija, odnosno vrši

izgaranje samog otpada. Sama tehnologija izgaranja istog razlikuje se u ovisnosti o izgledu, točnije, izvedbi same komore za izgaranje, tako da ista može biti konstruirana za izgaranje otpada na pomičnoj rešetci, u fluidiziranome sloju te za izgaranje u rotirajućoj peći. Svaka od tri navedene izvedbe ima svoje određene prednosti, odnosno mane, te se za gorivo iz otpada, koje je prethodno pripremljeno u centrima za gospodarenje otpadom, najbolja se je pokazala tehnologija izgaranja u fluidiziranom sloju. Princip funkcioniranja iste je da se izgaranje događa u sloju inertnih čestica fluidiziranih na način da se sa donje strane same komore unutar koje se isti nalazi, upuhuje zrak. Spomenuti fluidizirani sloj čine inertne čestice koje su nalik na čestice goriva iz otpada, pepelu nastalom izgaranjem tog goriva i pijesku. Zbog određenih termodinamičkih karakteristika koje su povoljne i zbog dobrog miješanja samih čestica, izgaranje otpada u fluidiziranom sloju energetski je, u odnosu na alternativne metode, odnosno tehnologije izgaranja otpada, znatno učinkovitije, te je stoga najpoželjnije [7].

7. Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj

7.1. Zakonska regulativa gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj

Pojava nekontroliranog otpada veliki je problem predstavljala za Hrvatsku sve do devedesetih godina prošlog stoljeća, što je bio značajan pokazatelj problema vezanog uz neodrživo gospodarenje otpadom [2]. U to vrijeme nije bilo učinkovitih instrumenata za gospodarenje otpadom koji je bio generiran od strane javnog ili poslovnog sektora te građani nisu bili informirani o važnostima, potrebama i načinima razvrstavanja otpada. Takvo stanje, u kojem su stvarane velike količine otpada, potaklo je nadležne institucije na kreiranje rješenja odnosno stvaranje sustava gospodarenja otpadom koji bi, u čim većoj mjeri, imao pozitivan utjecaj na gospodarenjem otpadom. Godine 2005., Hrvatski Sabor, temeljem Zakona o otpadu, donio Strategiju gospodarenja otpadom u RH (NN br. 130/05). Isto tako, 2007. godine donesen je provedbeni dokument „Plan gospodarenja otpadom Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007-2015.“ (NN br.85/07, 126/10, 31/11). Temeljni cilj ove strategije bio je predlaganje i ostvarenje realnog vremenskog okvira unutar kojega će Republika Hrvatska smanjivati količine nastalog otpada te sa istim, održivo gospodariti.

7.2. Strategija gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj

Najveći problem, u pogledu zaštite samog okoliša u RH jest neodgovarajuće gospodarenje generiranim otpadom, a ono je opisano tzv. „Nacionalnim planom djelovanja za okoliš“ (NN br. 46702) i „Nacionalnom strategijom zaštite okoliša“ [2]. Količina generiranog otpada u neprekidnom je porastu, dok se infrastruktura zbrinjavanja istog, ne razvija na način da prati taj porast. Člankom 8. Zakona o otpadu (NN br.178/04.) propisana je obaveza donošenja „Strategije gospodarenja otpadom“. „Strategija gospodarenja otpadom“, sastavni je dio Strategije zaštite okoliša donesene sukladno članku 18. Zakona o zaštiti okoliša, a sadrži [43]:

- a) Osnovne mjere i ciljeve za gospodarenje samim otpadom
- b) Ocjenu postojećeg stanja pri gospodarenju otpadom
- c) Smjernice za samo zbrinjavanje i uporabu otpada
- d) Mjere za gospodarenje i tretiranje otpadom koji spada u kategoriju opasnog otpada

Strategija gospodarenja otpadom, isto kao i tzv. „*Plan gospodarenja otpadom*“, koji predstavlja provedbeni dokument Strategije gospodarenja otpadom, dio su kontinuiranog planiranja gospodarenja samim otpadom na svim razinama vlasti, od lokalne do nacionalne te se kao zasebni dio i u pojedinim sektorima poput rudarstva, zdravstva, vodnog gospodarstva i dr. Strategija gospodarenja otpadom, koja je koncipirana kao dugoročni dokument, pretpostavlja neprekidno praćenje napretka postavljene vizije te, ukoliko se javi potreba, podložna je reviziji i određenim promjenama [45]. Gore navedena Strategija gospodarenja otpadom, definira ciljeve kao i mjere za njihovo postepeno ostvarivanje, a rok za ispunjenje istih je 2025. godina. Oblikovanje tzv. „*Strategije gospodarenja otpadom*“ kao polaznu točku ima opća načela EU kao i pravna određenja sadržana u tzv. „*Zakonu o otpadu*“, a koja su u cijelosti usklađena s tim načelima. Traven, Kegelj i Šebelja (2018) u svom su radu dali prikaz stanja tada aktualnog, a vezanog uz gospodarenje otpadom u Hrvatskoj za razdoblje od 1995. do 2013. Proizvodnja komunalnog miješanog otpada u RH bila je, u razdoblju od 1995. do 2013., u kontinuiranom porastu. Za referencu, proizvodnja samog miješanog komunalnog otpada u RH za 1995. godinu iznosila je 205 kg po stanovniku, a 2013. ona je dosegla 404 kg po stanovniku [65]. Stopa recikliranja 2013. godine u RH daleko je zaostajala za prosjekom unutar EU te za očekivanom stopom recikliranja prema ciljevima programa Održiva Europa do 2030, koja iznosi 65% recikliranog otpada [65]. Stopa recikliranja ukupnog miješanog komunalnog otpada za Hrvatsku iznosila je 15% u 2013. godini. Isto tako, samo 18%, od ukupno generiranog otpada, je bilo podložno nekoj vrsti tretmana, a čak 82% je završilo na odlagalištu [65]. Traven, Kegelj i Šebelja (2018) ističu kako za postizanje zajedničkog cilja EU za postizanje stope recikliranja otpada od 65%, Hrvatskoj je potrebno dodatno ulaganje u nove infrastrukture i postrojenja za obradu otpada [65].

Prema literaturi, Osnovna načela kod Strategije gospodarenja otpadom u RH su sljedeći [45]:

- a) Korištenje najboljih dostupnih tehnologija u odnosu na troškove i ekološku prihvatljivost
 - Integracija novih tehnologija koje značajno utječu na proces gospodarenja otpadom, kojeg čine učinkovitijim, efikasnijim i optimiziranijim
- b) Hijerarhija kod gospodarenja otpadom
 - smanjivanje i nastojanje da se izbjegne bilo kakvo nepotrebno nastajanje otpada i to predstavlja prioritet

- reciklaža ili uporaba moraju biti primijenjene u slučaju da se smanjivanje i izbjegavanje nastajanja otpada ne mogu izbjeći
 - ukoliko otpad više nikako nije moguće iskoristiti na racionalan način, isti se trajno odlaže na, za okoliš prihvatljiv način
- c) Neovisnost i brzina
- U skladu sa potrebama uporabe, obrade, recikliranja i odlaganja svog otpada Republike Hrvatske, potrebno je kreirati skup, točnije mrežu postrojenja koja bi te potrebe zadovoljavala
- d) Odgovornost proizvođača
- Prema svojstvima tehnologije i samog proizvoda, proizvođač proizvoda koji je odgovoran za nastajanje otpada je dužan odabrati rješenje koje je najprihvatljivije za okoliš
 - Sve one troškove koji su rezultat odnosno posljedica mjera zbrinjavanja otpada i preventivnih mjera snosi sam proizvođač, isto kao i sve eventualne troškove gospodarenja svim otpadom koji svoje pokriće nisu ostvarili prihodom ostvarenim od same prerade istog te je, isto tako, proizvođač odgovoran za provedbu svih preventivnih i sankcijskih mjera zbog štete koju je prouzročio, odnosno štetu koju bi otpad eventualno mogao prouzročiti
- e) Pristup podacima, uključivanje javnosti te uključivanje pravosuđa
- Sukladno odredbama Konvencije⁵, svaka stranka će jamčiti pravo pristupa informacijama isto kao i sudjelovanje javnosti u odlučivanju o okolišu te pristupa pravosuđu u pitanjima okoliša
- f) Pripremni koraci izlaska na otvoreno tržište
- Ekonomskim i ostalim instrumentima potrebno je poticati kako gospodarstvo, tako i ostale dijelove društva na otvoreno tržište, odnosno na odgovorno gospodarenje s ciljem očuvanja okoliša
- g) Poboljšanje dosadašnje politike i prakse gospodarenja otpadom, izbacivanjem dosadašnjih nedostataka
- Politika i praksa gospodarenja otpadom treba promijene, isto tako od velike je važnosti poboljšati propise i postupke i povećati kontrolu nad poštivanjem istih

⁵ Konvencija o pristupu informacijama, sudjelovanju javnosti u odlučivanju i pristupu pravosuđu u pitanjima okoliša [45].

h) Važnost odgoja i obrazovanja

- Odgoj i obrazovanje ljudi ključna je stvar, a razlog tome je da se iste pripremi za svrsishodno donošenje odluka, te da se razvije spremnost svakog pojedinca za individualne intervencije

i) Etapni pristup

- Uz kontinuirani nadzor i mjerljive korake potrebno je raditi na postupnom poboljšavanju sustava

j) Onečišćivač plaća

- Prilikom gospodarenja otpadom, visoka razina očuvanja okoliša i zdravlja ljudi treba biti osigurana te bi izvorni proizvođač, tj. prijašnji (ili sadašnji) posjednici otpada trebali snositi troškove gospodarenja otpadom.

Isto tako, Strategijom gospodarenja otpadom utvrdilo se je pet strateških ciljeva vezanih uz gospodarenje otpadom [45]:

1. Cjelovita infrastrukturna renesansa sustava gospodarenja otpadom,
2. Minimalizirati nastajanje otpada uz redukciju količine istog na samome izvoru nastajanja te otpada podložnog odlaganju na odlagališnim ploham,
3. Produbljivanje znanja stručnih kadrova s ciljem poboljšanja dosadašnjih praksa gospodarenja otpadom,
4. Doprinos zaposlenja u Hrvatskoj,
5. Smanjenje rizika od otpada.

7.3. Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj

Trenutni plan gospodarenja otpadom odnosi se na plan za razdoblje od 2016. – 2022. godine, a izrađen je temeljem Strategije o gospodarenju otpadom Republike Hrvatske, smjernica Europske Unije te postojećih zakonskih propisa [2]. Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za zadatak ima provoditi glavne ciljeve i Strategiju za razdoblje od 2016.-2022. godine, odnosno:

- Sanacija i prestanak rada postojećih odlagališta
- Osmišljavanje adekvatnijeg sustava gospodarenja otpadom
- Razvoj i otvaranje novih županijskih i regionalnih centara te adaptacija postojećih centara za gospodarenje otpadom

- Sanacija tzv. „crnih točaka“⁶
- Postizanje cjelovite informatizacije sustava gospodarenja otpadom

Vlada Republike Hrvatske iznijela je Plan, u skladu s Zakonom o otpadu (NN 178/04, 111/06), a razdoblje od 2017.-2022. godine. Tim planom definirano je sljedeće [46]:

1. uvjeti upravljanja posebnim kategorijama otpada,
2. tehničke karakteristike građevina i uređaja za gospodarenje otpadom,
3. prostorne i lokacijske planove građevina i uređaja za oporabu te zbrinjavanje otpada kao uključujući rokove za njihovu novih građevina,
4. vrste, količina i porijeklo otpada,
5. financiranje operacija za provođenje ciljeva gospodarenja otpadom.

Isto tako, ministarstvo nadležno za zaštitu okoliša, zaduženo je da o donošenju Plana upozna sva relevantna tijela koja sudjeluju u provedbi Plana o gospodarenju otpadom [41].

7.4. Sustav gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj

Centri za gospodarenje otpadom (CGO), temelj su uspostave efikasnog sustava gospodarenja otpadom [13]. Planovi gospodarenja otpadom i studije izvedivosti moraju se definirati kako bi se odredili svi sadržaji centara za gospodarenje otpadom, njihova rasprostranjenost, namjena pretovarnih stanica, tehnologije obrade otpada, tok svih vrsta otpada unutar određene regije ili županije, te da bi se utvrdili mogući utjecaji na same ljude te na okoliš. Centri za gospodarenje otpadom su postrojenja koja se sastoje od više međusobno tehnološki i/ili funkcionalno povezanih građevina tj. postrojenja za obradu otpada, gdje je cilj da se količina neiskoristivog otpada koji ostaje na kraju cijelog procesa, minimizira. Centri za gospodarenje otpadom koncipirani su tako da se njihova infrastruktura sastoji od postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada tzv. MBO postrojenja, također se sastoje od kompleksa zgrada neophodnih za rad samog centra, postrojenja za obradu otpadnih voda, unutarnje strukture, odlagališta za ostatni otpad te pretovarnih stanica. Priprema dokumentacije za prijavu projekata izgradnje Centara za gospodarenje otpadom financira se sredstvima EU i Fonda. O koordinaciji aktivnosti vezanih uz projekt

⁶ „Crne točke“- termin koji se koristi za lokacije u okolišu koji su u visokoj razini opterećeni otpadom [60].

izgradnje Centara za gospodarenje otpadom iz 2019. godine, odlukom Vlade, financiranje same izgradnje kao i nabave opreme za iste, ostvaruje se na način da Europska unija i Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost sudjeluju u udjelu od 90%, dok Jedinice lokalne/regionalne samouprave sudjeluju u udjelu od 10% ukupne vrijednosti investicije [13]. U Republici Hrvatskoj, planirana je izgradnja ukupno jedanaest centara za gospodarenje otpadom. Trenutno, u potpunosti izgrađena i u funkciji su samo dva Centra za gospodarenjem otpadom, a to su Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun i Županijski centar za gospodarenje otpadom Marišćina. ŽCGO Kaštijun lociran je u Istarskoj županiji, nedaleko grada Pula, a ŽCGO Marišćina lociran je u Primorsko-goranskoj županiji. Trenutno su u izgradnji još dva centra za gospodarenje otpadom, a to su ŽCGO Bikarac i ŽCGO Biljane Donje. Isto tako, trenutno postoje četiri centra za gospodarenje otpadom koja su odobrena za EU financiranje te su u fazi ugovaranja radova, a to su: ŽCGO Babina Gora, Lećevica, Lučino Razdolje i Piškornica. Preostala tri centra za gospodarenje otpadom su u fazi pripreme dokumentacije za prijavu na EU sufinanciranje, a to su: ŽCGO Orlovnjak, Šagulje i Zagreb [13]. Planski dokumenti za gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj su sljedeći [39]:

1. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske
2. Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske
3. Županijski (regionalni) plan gospodarenja otpadom i Plan gospodarenja otpadom Grada Zagreba
4. Gradski, odnosno općinski plan gospodarenja otpadom
5. Plan gospodarenja otpadom proizvođača otpada

Od 01.01.2019. Ministarstvu zaštite okoliša je pripojena i Hrvatska agencija za okoliš i prirodu te sa Zavodom za zaštitu prirode i okoliša čini novo državno tijelo, čini Državni zavod za zaštitu prirode i okoliša [39].

7.5. Sustav gospodarenja otpadom Istarske županije

Istarska županija je, isto kao i Hrvatska opterećena dugogodišnjim lošim postupanjem vezano uz gospodarenje otpadom tako da je problematika gospodarenja otpadom stavljena kao jedan od prioriteta za rješavanje [25]. Sukladno ZOGO-u⁷, sve Županije

⁷ ZOGO- kratica za „Zakon o održivom gospodarenju otpadom“ [37].

dužne su na svome području osigurati potrebne uvjete, isto kao i provedbu propisanih mjera za gospodarenje otpadom [27]. Jedinica lokalne samouprave je dužna na svome području osigurati kako uvjete, tako i samu provedbu mjera gospodarenja otpadom. Od velike je važnosti spomenuti u Istri najveći centar za gospodarenje otpadom, ŽCGO Kaštijun, ali i brojni drugi iskoraci u procesu zbrinjavanja otpada poput raznih reciklažnih dvorišta, financiranju sortirnica, spremnika, kamiona i raznih drugih infrastruktura koje su glavni dionici u procesu zbrinjavanja otpada. U Istri postoje brojna reciklažna dvorišta koja za svoj cilj imaju zbrinjavanje otpada, poput npr. reciklažna dvorišta za odlaganje glomaznog otpada: Reciklažno dvorište Marčana, Reciklažno dvorište Vodnjan, Reciklažno dvorište Gripole, Reciklažno dvorište Pula... Isto tako, u Istri djeluju i brojne udruge čije je područje djelovanja upravno ekologija, briga o okolišu i otpad, a jedna od tih udruga je i Udruga Zelena Istra [27].

8. Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun

Županijski centar gospodarenja otpadom (ŽCGO) Kaštijun jedan je od brojnih mjesta gdje na dnevnoj razini dolazi velika količina otpada koji se potom sortira, prerađuje, itd. Kao i svaki centar za gospodarenje otpadom ŽCGO Kaštijun je sklop više međusobno tehnološki i/ili funkcionalno povezanih uređaja i građevina za obradu komunalnog otpada. [7] Društvo Kaštijun osnovano je 2007. godine. Njegovi osnivači su Istarska županija (49%) i Grad Pula (51%) [48]. Dozvolom za gospodarenje otpadom, Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun dozvoljene su djelatnosti oporabe i zbrinjavanja otpada na odlagalištu za neopasni otpad, zatim bioreaktorsko odlagalište te odlagalište anorganskog neopasnog otpada niskog sadržaja organske tvari [58]. Ostatni komunalni otpad se putem raznih pretovarnih stanica prihvaća u sam Centar s ostali lokacija, a to su: Pazin, Umag, Poreč, Rovinj, Buzet i Labin. Osim materijala s navedenih aglomeracija, u Centar se dovodi i otpad stvoren od strane kućanstava, otpad nastao građevinskim djelatnostima te sav ostali neopasni otpad prikupljen od strane registriranih subjekata.

8.1. Lokacijske karakteristike

ŽCGO Kaštijun smješten je širem području grada Pule, točnije situiran je ≈ 5 km jugoistočno od grada Pule. Prostor na kojem se nalazi okarakteriziran je kao priobalni ravničarski prostor s vidljivim, prevladavajućim antropogenim utjecajem, pretežito okružen poljoprivrednim površinama. Centar je smješten na blagoj uzvisini od 47 mnm. Važno je napomenuti kako je lokacija Centra nalazi izvan vodozaštitnog područja te je od istog udaljena ≈ 1 km. Tipovi okoliša koji se nalaze uz sam ŽCGO Kaštijun jesu: niska makija, pašnjaci te već spomenute poljoprivredne površine. Geomorfološke karakteristike područja ukazuju na nisku energiju reljefa te se prostor Centra većinom može okarakterizirati kao slabo raščlanjena ravnica. Isto tako, teren na kojem je smješten ŽCGO Kaštijun blago je nagnut prema obali. Kod geološke građe tla na kojem se nalazi Centar Kaštijun, zemlja crvenica čini najmlađe površinske naslage. Ispod naslaga crvenice nalaze se vapnenačke strukture čija debljina varira od 10 centimetara pa sve do 15 metara u dubinu. Vapnenačke strukture obiluju fosilima te se još nazivaju rudistnim vapnencima. Vapnenac u najdubljim slojevima

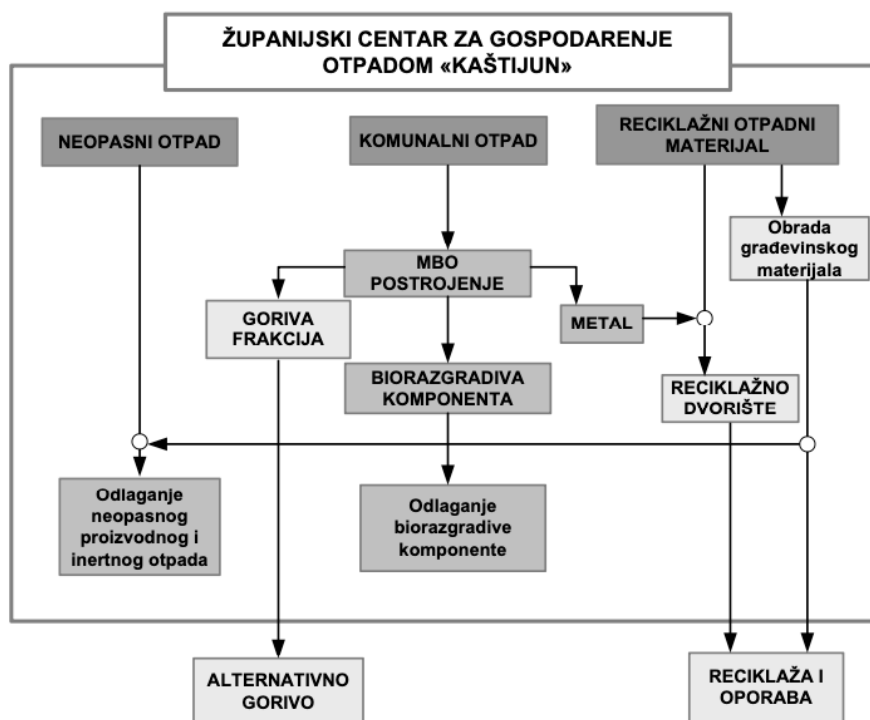
ponegdje je brašnastog izgleda te je mekan i drobljiv. Prije spomenuti rudistni vapneni na području Kaštijuna vrlo su dobro propusne naslage te izgrađuju sjeveroistočni dio terena na kojem se nalazi odlagalište. Površinske naslage crvenice slabo su propusne. Tektonske karakteristike prostora čini sustav rasjeda uz rubne dijelove Centra [17]. Razina podzemnih voda ispod ŽCGO Kaštijun nalazi se na ≈ 50 m ispod razine Centra Kaštijun [58].

8.2. Tehnološki procesi unutar Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun

8.2.1. Tok otpada unutra Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun

Tok otpada u ŽCGO-u Kaštijun najbolje je prikazan na Slici 11. Unutar ŽCGO-a Kaštijun obrađuje se komunalni otpad, otpad podložan procesima recikliranja i neopasni proizvodni otpad. Većina pristiglog otpada je otpad nastao sistemom odvojenog prikupljanja komunalnog otpada. Na Slici 11. vidljivo je kako se u Centru gospodarenja otpadom Kaštijun većina proizvodnog trajno odlaže na odlagališta. Građevinski otpad obrađuje se na način da se iz ukupne količine građevinskog otpada odvajaju nečistoća. Nakon procesa purifikacije ulaznog materijala, ostatak građevinskog otpada se obrađuje usitnjavanjem i odvajanjem različitih vrata materijala. Čak osamdeset posto ukupnog građevnog materijala odgovara uvjetima za recikliranje, a tek dvadeset posto se trajno skladišti na odlagalištu. Reciklažni se otpadni materijal, nakon prihvata, privremeno skladišti na za to predviđenim površinama, tj. reciklažnom dvorištu. Reciklažno dvorište unutar ŽCGO-a Kaštijun ima odvojene površine ili spremnike, kontejnere za privremeno skladištenje ALU i PET otpada, glomazni otpad, za privremeno skladištenje papira i stakla te opasnog otpada iz kućanstva. Isto tako, na području reciklažnog dvorišta nalaze se i prostori s postrojenjem za baliranje. Daljnja obrada reciklažnog materijala odvija se izvan područja ŽCGO Kaštijun. Komunalni otpad podliježe nizu postupaka mehaničko-biološke obrade otpada kao što je i prikazano na Slici 11. Mehaničko-biološka obrada komunalnog otpada u Centru Kaštijun odvija se na prostoru ukupne površine oko 13 000 m². MBO postupak započinje mehaničkom predobradom komunalnog otpada pri čemu se odvajaju veličinske frakcije otpada. Zatim, slijedi biosušenje ili biološka

obrada otpada koja se u ovom Centru za gospodarenje otpadom odnosi na proces aerobne biološke obrade sitnije frakcije materijala (<150 mm) [17].



Slika 11. Shematski prikaz toka otpada na ŽCGO Kaštijun [17].

U završnici MBO-a nastaje nekoliko proizvoda, a to su: metali spremni za daljnju obradu, gorivo iz otpada i biorazgradiva komponenta koja se iskorištava za dobivanje bioplina [17].

8.2.2. Prostorni razmještaj tehnoloških procesa unutar ŽCGO-a Kaštijun

Prostorni plan ŽCGO-a Kaštijun podijeljen je na nekoliko zona ovisno o njihovoj upotrebi. Slika 12. nam prikazuje prostorni razmještaj pojedine zone unutar Centra Kaštijun. Djelatnosti koje se odvijaju na području ŽCGO-a Kaštijun posredno su uvjetovala sljedeću zonaciju prostornog plana Kaštijuna [58]:

- A1 – područje namijenjeno za prihvata otpada,
- A2 – prostor za pripremu otpada za daljnju obradu, usitnjavanje otpada,
- A3 – biološka obrada otpada (aerobna),
- A4 – mehanička obrada,

A5 – biološka obrada (anaerobna digestija),

A6 – reciklažna dvorišta,

A7 – područje obrade građevinskog otpada,

A8 – odlagalište neopasnog otpada.



Slika 12. Nacrt prostornog plana i razmještaja tehnoloških procesa unutar ŽCGO-a Kaštijun [58].

8.2.3. Metode obavljanja tehnoloških procesa

Prikupljanje i prihvata otpada

U domeni prikupljanja otpada nalaze se sljedeći postupci [58]:

- a) Preuzimanje dijela komunalnog otpada iz pretovarnih stanica na području Istarske županije, koji je rezultat separacije korisnog i opasnog otpada iz ukupnog prikupljenog komunalnog otpada. Ovaj proces započinje dolaskom vozača (iz Kaštijuna) s praznom pluprikolicom zatvorenog tipa na pretovarnu stanicu. S pretovarne stanice vozač odlazi s punom prikolicom komunalnog otpada. Pri ulasku i izlasku poluprikolice s pretovarne stanice poluprikolica se važe. Isto tako, prije izlaska vozač provjerava točnost dokumentacije te po provjeri iste ovjerava.
- b) S aglomeracije Pula privađa se miješani komunalni otpad. Specijalnim kamijonima „*smećarima*“ od strane isporučitelja usluge skupljanja otpada, dovozi se komunalni otpad iz aglomeracije Pula. Pri ulasku u Centar Kaštijun kamion se važe i po završetku kontrole dokumentacije odvozi otpad do postrojenja za MBO. Isto tako, pri izlasku iz Kaštijuna kamion prolazi vagu.
- c) Prihvata neopasnog otpada od strane pravnih osoba ovlaštenih za skupljanje i prijevoz otpada. Procedura nakon dovoza otpada od strane ovlaštenih osoba u Centar je vrlo slična prethodnoj. Nakon vaganja, dovezeni se otpad odvozi do prostora namijenjenog za oporabu građevinskog otpada.
- d) Odvojeno prikupljeni otpad iz komunalno otpada prihvađa se i odlaže na reciklažnom dvorištu. Reciklažno dvorište proteže se na 2 000 m². Građani mogu sami dovozi odvojeno skupljeni otpad iz kućanstva u Centar.

Važno je napomenuti kako pri izlasku iz Centra, sva vozila koja su bila na prostorima koji su direktnom kontaktu s otpadom, moraju proći rampu za pranje podvozja [58].

Prihvata i priprema otpada

U ovaj dio tehnoloških procesa koji se odvijaju u Centru ulazi miješani komunalni otpad, otpad s tržnica i ostaci od čišćenja ulica. U ovom procesu uključeni su sljedeći elementi opreme i uređaja, a to su: prihvatna jama, prijamna dizalica, pred-šreder, procesna dizalica i usisni ventilator. Ovaj proces započinje dovozom otpada kamijonima, u poluprikolicama te pražnjenjem otpada u prihvatnu jamu koja se nalazi u hali za MBO. Jama za prihvat otpada je u stalnom podlaku što sprječava širenja

neugodnih mirisa. Isto tako vrata jame za prihvat otpada su brzozatvarajuća i opremljena su susatvom vodene zavjese. Prihvatna jama u Centru je volumena 2 285,2 m³ što omogućuje prihvat 1 170 tona otpada. Kako bi se spriječio direktni kontakt dovoznih kamiona s otapdom u jami prilikom istovara otapda, jama je smještena ispod razine platoa. U rad prihvatne jame uključena je i prijamna dizalica koja omogućuje miješanje pojedinih šarži otpada te izdvajanje nepoželjnog otpada. Rad dizalice je automatiziran i nadgledan od strane kontrolora. Proces prihvata, u kontroli i praćenju rada, koristi automatski sustav kontrolne SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Dizalica isto tako prenosi otpad do pred-drobilice koja ga usitnjava na veličinu od 200 mm. Usitnjeni otpad ulazi u spremnik koji omogućava cijedenje vode te se ona odvodi do opreme za obradu otpadnih voda. Iz spremnika usiteneni se otpad dizalicom prenosi u bioboks u kojem se vrši bioisušavanje otpada [58].

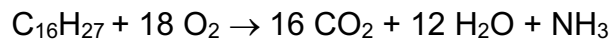
8.2.4. Aerobna biološka obrada otpada

Od opreme i uređaja u ovaj proces uključeni su: procesna dizalica za pražnjenje bioboksa, bioboksevi (12 komada) u kojima se odvija biološka, aerobna obrada otpada, ventilator ispušnog zraka za distribucija zraka u bioboks, izmjenjivač topline (zrak - voda), pumpa kondenzata i procjednih voda, rashladni toranj i hladnjak, uređaj za ispiranje zraka, tj. čišćenje ispušnog zraka te pumpa za transport vode za ispiranje, pumpe za transport rashladne vode, ventilatori biofiltera za upuhivanje vlažnog zraka u biofiltere te na poslijetku biofilteri koji služe za pročišćavanje zraka [58].

Kao što je rečeno u prethodnom tekstu, bioboksevi se pune usitnjenim otpadom na veličinu od 200 mm. Glavni cilj aerobne biološke obrade otapada je uklanjanje vode i povećanje ogrijevne moći otapda. U Kaštijunu, kapacitet biobokseva u jednom ciklusu, koji traje otprilike sedam dana, iznosi 2 285 tona. Postupak biosušenja odvija se u zatvorenom sustavu. Iako se u Centru nalazi 12 biobokseva, svaki od njih se sustav za sebe. Za održavanje kvalitete krajnjeg proizvoda biosušenja, a to je suhi i djelomično stabiliziran materijal s niskim udjelom vlage, važna je kontrola odvoda i dovoda zraka u biobokseve. Izlazni plinovi obrađivani su u jedinicima za pranje zraka i uz pomoć biofiltera [58].

Razgradnjom biorazgradivog dijela otpada, oslobađa se toplinska energija koja se ujedno koristi za proces biosušenja istog otpada pri čemu dolazi do uštede energije. Temperatura pri kojoj se odvija proces biosušenja je između 50 i 60 °C. Reakcija

procesa aerobne razgradnje kojom nastaje djelomično stabilan i suh poluproizvod bez neugodnih mirisa opisana je sljedećom reakcijom [17]:



Navedena reakcija govori kako je potrebno 1,6 kg O₂ za svaki kilogram biorazgradivog materijala koji oslobađa ≈ 22 000 kJ toplinske energije. Osim topline za svaki kg biorazgradive mase u procesu aerobne obrade dobiva se i ≈ 1,9 kg CO₂, 0,6 kg H₂O i 0,04 kg NH₃ [17].

8.2.5. Mehanička obrada (rafinacija)

U Tablici 4. može se vidjeti sva oprema i uređaji koji se koriste u mehaničkoj obradi otpada. Nakon bisušenja otpada u bioboksevima, suhi i djelomično stabiliziran otpad prenosi se dizalicom u usipni spremnik te se dovodi do postrojenja za mehaničku rafinaciju. Mehanička obrada započinje sa sitom koje izdvaja sitni materijal bez toplinske vrijednosti i inertan te veličine <20 mm. Ostali otpad prolazi kroz sljedeću etapu obrade, a to je magnetni separator u kojem se izdvajaju metali. Nakon matentnog separatora slijedi strujni separator koji odvaja neželjene metale. Otatak otpadnog materijala podvržen je zračnom separatoru koji odvaja „teške“⁸ od „lakih“⁹ čestica. Odvojene lake čestike koriste se za proizvodnju goriva iz otpada. Krajnji proizvodi procesa mehaničke rafinacije odvojeno se odlaže po svojstvima i vrsti proizvoda. Pa tako nastaju [58]:

1. djelomično stabilizirana frakcija s biorazgradivim otpadom koja se još naziva i metanogena frakcija ili digestat,
2. željezni metali koji se privremeno skladište u rolo kontejnerima do izlaska iz Centra na daljnu obradu i ponovnu upotrebu,
3. neželjeni metali koji su isto tako uskladišteni u rolo kontejnerima,
4. gorivo iz otpada koje se balira ili direktno natovaruje u vozilo za odvoz iz Centra i
5. ostali otpad poput prašine iz filtera za otprašivanje, ostaci vrtložnog i zračnog separatora te transporterata.

⁸ Teški i inertni materijal – [58]

⁹ Materijal visoke toplinske vrijednosti npr. papir, plastika... [58]

8.2.6. Biološka anaerobna obrada otpada

Biološka se anaerobna obrada otpada u Kaštijunu odvija na dvjema bioreaktorskim plohama površine 3,9 ha. Te su plohe naznačene oznakama A1 i A2 na Slici 13. u anaerobnu obradu otpada ulazi biosušeni otpad koji je djelomično stabiliziran. Ulazni materijal sadrži maksimalno 25% vode. Ulazni materijal postavlja se na olohe između dva, donjeg i gornjeg, brtvena sloja. Brtveni slojevi imaju ulogu izolacije materijala od geološke formacija na kojoj se nalazi te sprječavanje infiltracije oborinskih voda i nastajanja procjednih voda. Ovaj proces započinje dovozom djelomično stabilizirane metanogene frakcije u rolokontejnerima na pripremljenu plohu. Zatim se materijal rasprostire na plohu u slojevima čija je debljina između 0,3 i 0,5 m. Nakon navoza materijala na plohe, materijal se prekriva inerrtnim materijalom poput zemlje ili prethodno obrađenom građevnog otpada. U tu svrhu još se može koristiti i LDPE folija kako bi maksimalno reducirala mogućnost infiltracije oborinske vode. Nakon toga slijedi posatvljanje završnog brtvenog sloja. Uz pomoć gornjeg brtvenog sloja, oborinska će se voda slijevati u kanal za oborinske vode i voditi u bazen za prikupljanje iste.

Kako bi se postigli anaerobni uvjeti potrebni za razvoj metanogeneze, nakon zatvranja u kazetu, postepeno se dodaje voda sve dok se ne postigne udio vlažnosti mase od minimalno 40%. U tim kontroliranim uvjetima, u kazetama će se kroz višegodišnji priod stvarati odlagališni plin ili bioplin. Nastali bioplin se cjevovodima odvodi u postojenje za obradu i iskorištavnje bioplina. Ovo se postrojenje sastoji od sljedećih sastavnica: plinska stanica, stanica proizvodnje električne nenergije iz bioplina i viskokotemperaturne baklje. Krajnji proizvod anaerobne obrade otpada na bioreaktorskim plohama je mješavina koja se sastoji od 24 – 45% ugljikovog dioksida (CO₂), 50 – 70% metana (CH₄), <1 % vodika (H₂), sumporovodika (H₂S) i amonijaka (NH₃) te 2 – 7% vode.

8.2.7. Skladištenje primarno izdvojenog otpada iz kućanstva i građevnog otpada

Pri samom ulazu u ŽCGO Kaštijun, nalazi se prostor za skladištenje otapda nastalog odvajanjem i komunalnog otpada od strane građana. Taj se prostor prostire na 2 000 m². Isto tako taj je prostor ograđen od ostalih površina u Centru žičanom ogradom visokom 2m. U ovaj prostor građani sami dovoze odvojeni otpad te se pri ulasku u odlagalište evidentiraju podaci o osobi koja dovozi otpad, registracija vozila, datum i

vrijeme dolaska u Centar te vrsta otpada. Na ovome se djelu Centra nalaze kontejneri različitih tipova predodređeni za pojedinu vrstu otpada kao što je prikazano u Tablici 4. Osim kontejnera na prostoru reciklažnog dvorišta nalazi se i preša/balirka za baliranje materijala [58].

Sav se prikupljeni otpad skladišti odvojeno prema agregatnom stanju materijala, svojstvima i vrsti materijala te skladišti u zasebnim spremnicima po principu koji je prikazan u tablici 4. U tablici 4. vidljivo je da se glomazni otpad, karton, papir, električni otpad, ravno i ambalažno staklo, limenke i elektronski otpad odlažu u otvorene metalne kontejnere. Zatim, PET i PVC materijali, crni i obojeni metali, ostala meka i tvrda plastika, limenke i gume odlažu se u metalne kontejnere zatvorenog tipa. EKO kontejneri specijalizirani su za skladištenje osim navedenih vrsta otpada u tablici 4. i za skladištenje zaupljene ambalaže, otpadnih motorin ulja i uljnih filtera.

Tablica 4. skladištenje izdvojenog otpada iz kućanstva u ŽCGO Kaštijun [58].

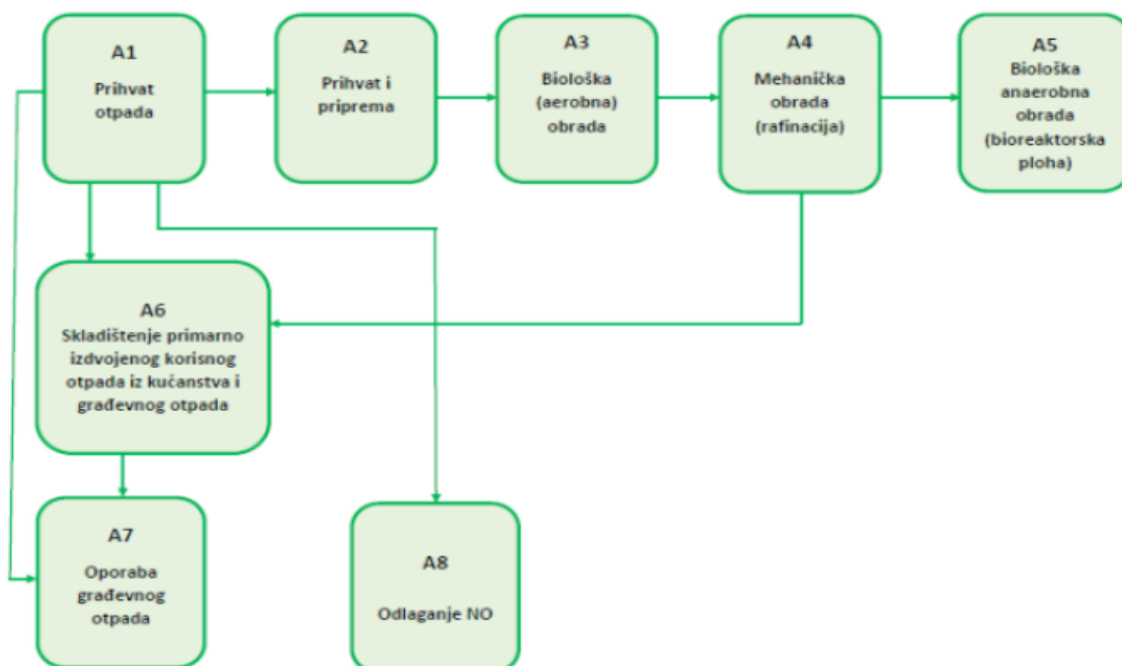
VRSTA KONTEJNERA	ZAPREMNINA	NAMJENA
Otvoreni kontejner (8 komada)	10m ³	Skladištenje: kartona, papira, glomaznog metalnog otpada, namještaja, električnog otpada, elektronskog otpada, ravnog stakla i ambalažnog stakla.
Zatvoreni kontejner (9 komada)	10m ³	Za skladištenje: crnih metala, obojenih metala, PET, PVC, stiropora, tvrde plastike, meke plastike, guma i lienki od pića i ostalih napitaka.
EKO kontejneri (6 komada)	5 x 1000 l 1 x 500 l	Za skladištenje: otpadnih akumulatora, otpadnih lijekova i otpadnih baterija.

Prikupljeni odvojeni otpad se kamionima odvozi iz Centra na daljnu obradu.

U ŽCGO Kaštijun nalazi se i ploha površine 2 000 m² za skladištenje i obradu građevinskog otpada. Tu se odlaže građevinski otpad koji je nastao u samome Centru te prikupljeni građevinski otpad od strane vanjskih subjekata. Prikupljeni građevinski

materijal može se oporabiti na način da se iskoristi kao prekrivni materijal na plohama za anaerobnu obradu otpada ili se pak može trajno odložiti na odlagalište neopasnog otpada. Za proces obrade građevinskog otpada može se koristiti sljedeći materijal: žbuka, crijep, cigla, kamen, beton i armirani beton, zemlja iz iskopa i asfalt. Građevinski otpad koji se skladišti na odlagalištiu neopasnog otpada usitnjava se drobilicom te prolazi kroz sito koja idvaja različite veličinske frakcije koje se zasebno skladište [58].

Sve dosad spomenute etape tehnoloških procesa koje se odvijaju unutra Centra za gospodarenje otpadom Kaštijun , točnije redoslijed njihova odvijanja prikazan je na slici 13.



Slika 13. Shematski prikaz redoslijeda odvijanja tehnoloških procesa unutar ŽCGO-a Kaštijun [50].

8.3. Procjena utjecaja na okoliš

Na području Centra Kaštijun determinirana su dva glavna izvora ispuštanja emisija u zrak. Ti izvori su tijelo odlagališta i postrojenje za mehaničko biološku obradu otpada. U sastavu izlaznih emisija u zrak većinom se nalaze ugljični dioksid CO₂ (35-50%), hlapivi organski spojevi (250 3000 cm³/m³), dušik (0-20%), CH₄ (40-55%), sumporovodik H₂S i drugi [15]. Navedeni plinovi doprinose zagađenju zraka. Neki od

navedenih deklarirani su kao staklenički plinovi te sudjeluju u procesu ubrzavanja trenutnog procesa povišenja temperature, točnije u procesu globalnog zagrijavanja. Kako bi se spriječilo nastajanje i širenje neugodnih mirisa na šire područje otpad se prije odlaganja podilazi procesu biosušenja čime se vlaga u obrađivanom materijalu smanjuje te na taj način smanjuje mogućnost nastanka i širenja neugodnih mirisa [17]. Isto tako, u MBO postrojenju nalaze se sustavi ventilacije. Sustavi ventilacije implementirani su u hali za prihvat, u postrojenju za biosušenje i u postrojenju za mehaničku obradu. Otpadni zrak koji je koproizvod procesa biološke obrade otpada, obrađuje se u dvjema jedinicama za pranje zraka ili kako ih se još naziva skruberima i aerobnim biološkim procesom tj. u dva biofiltera. Njegovim se djelovanjem postiže smanjenje neugodnih mirisa i uklanjaju se razne bioaerosoli poput bakterija, snijeti i dr. Uklanjanje neugodnih mirisa i bioaerosoli postiže se prisutnošću mikrobne populacije unutar biofiltera, u organskom mediju [17]. Prije početka aerobne biološke obrade otpadnog zraka, on je podložan procesu pranja koji se odvija u koloni s punilom [58].

Tablice 3. i 4. prikazuju detaljne rezultate mjerenja izlaznih emisija iz biofiltera koji su dio MBO postrojenja, tj. koji sudjeluju u pročišćavanju otpadnog zraka koji nastaje procesom biosušenja. Prikazani su rezultati, rezultati prvog mjerenja izlaznih emisija u zrak u 2022. godini. Mjerene su koncentracije za nemetanski VOC, amonijak i hidrogen-sulfid [53].

Tablica 5. Emisijske točke u ŽCGO Kaštijun [61].

Točka emisije	Opis
Bioplinsko postrojenje - baklja	Emisija u zrak
Bioplinsko postrojenje - motori	Emisija u zrak
MBO – biofiltrar	Emisija u zrak
MBO postrojenje – vrećasti filtrar	Emisija u zrak
Sabirni bazen nakon UPOV	Emisija u tlo/vode
Upojni dren nakon separatora	Emisija u tlo/vode

Referentne točke otpuštanja štetnih emisija u ukoliš u ŽCGO-u Kaštijun prikazane su u tablici 5. Motori bioplinskog postrojenja doprinose stvaranju emisija koje se otpuštaju u zrak. Zatim, emisijama u zrak doprinose i biofiltrar i vrećasti filter kao dio sustava pročišćavanja koproizvoda nastalih rada MBO postrojenja [61].

Tablica 6. Rezultati mjerenja izlaznih plinova na biofilteru 1 MBO procesa u ŽCGO Kaštijun prvo mjerenje 2022. godine [53].

Datum mjerenja		Jedinica	Izmjerene emisijske koncentracije			GVE	Mjereno pri max. emisijama
			min.	max.	prosjek		
08.03.2022.	Kisik - O ₂	%	20,9	20,9	20,9		
	Temperatura plinova	°C	14,1	14,6	14,3		
	Protok plinova (0°C, 101,3 kPa,suhi plin) izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	m ³ _N /h			30010		
08.03.2022.	NMVOC	mg/m ³ _N	11,27	17,56	15,30	50	ne
	maseni protok NMVOC - izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	kg/h	0,338	0,527	0,459		
08.03.2022.	H ₂ S	mg/m ³ _N			< 0,098	5	ne
	maseni protok H ₂ S - izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	kg/h			< 0,003		
08.03.2022.	NH ₃	mg/m ³ _N	0,59	0,89	0,71	5	ne
	maseni protok NH ₃ - izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	kg/h	0,018	0,027	0,021		

Tablica 7. Rezultati mjerenja izlaznih plinova na biofilteru 1 MBO procesa u ŽCGO Kaštijun, prvo mjerenje 2022. godine [53].

Datum		Jedinica	Izmjerene emisijske koncentracije			GVE	Mjereno pri max. emisijama
			min.	max.	prosjek		
08.03.2022.	Kisik - O ₂	%	20,9	20,9	20,9		
	Temperatura plinova	°C	14,2	14,9	14,6		
	Protok plinova (0°C, 101,3 kPa,suhi plin) izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	m ³ _N /h			29983		
08.03.2022.	NMVOC	mg/m ³ _N	8,96	18,66	14,13	50	ne
	maseni protok NMVOC - izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	kg/h	0,269	0,560	0,424		
08.03.2022.	H ₂ S	mg/m ³ _N			< 0,109	5	ne
	maseni protok H ₂ S - izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	kg/h			< 0,003		
08.03.2022.	NH ₃	mg/m ³ _N	0,99	1,92	1,46	5	ne
	maseni protok NH ₃ - izračunat na protok ventilatora od 32 000 m ³ _N /h	kg/h	0,030	0,058	0,044		

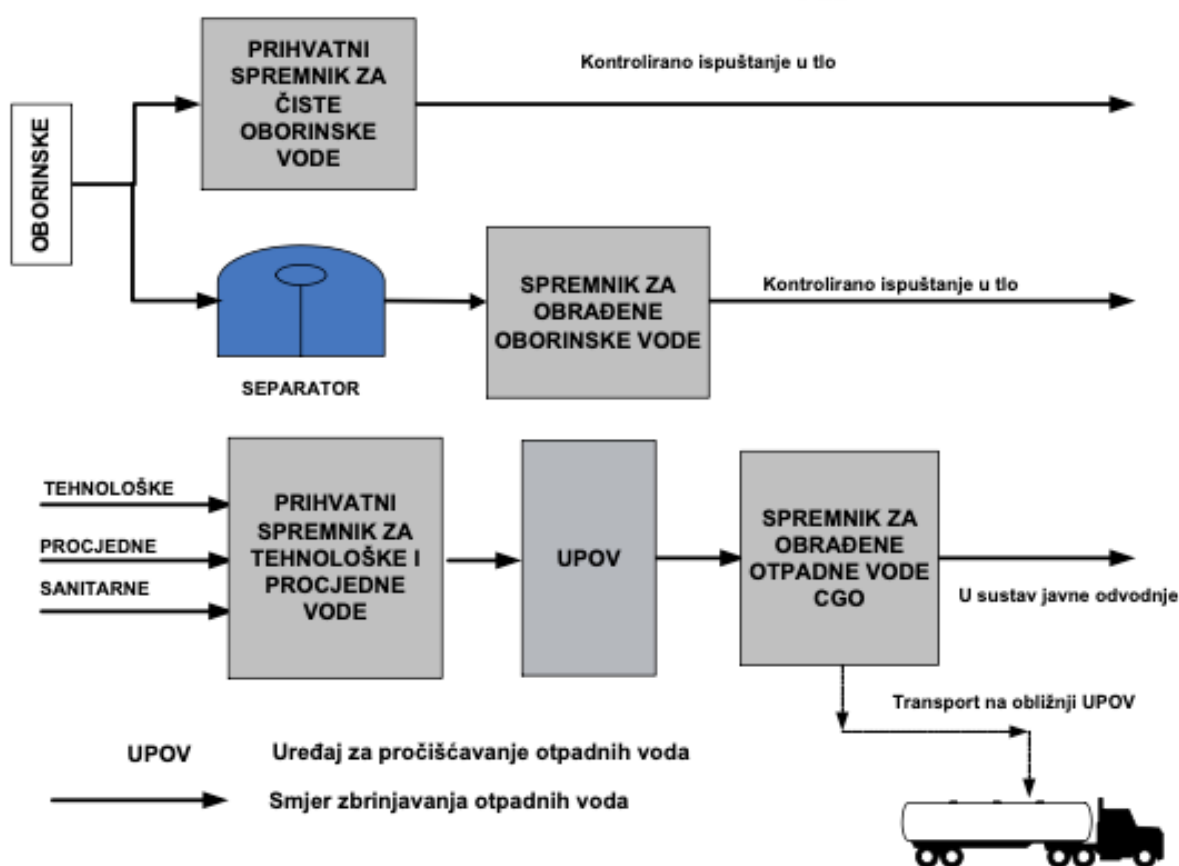
Kao što je već rečeno u prethodnom tekstu, Centar za gospodarenje otpadom Kaštijun ne nalazi se u zoni vodozaštitnog područja. Odvodnja i obrada otpadnih voda unutar Centra odvija se prema razdjelnom sustavu odvodnje. Tijekom izvođenja aktivnosti u Centru nastaju tri vrste otpadnih voda koje se razlikuju po svome sastavu i količini. Te tri vrste otpadnih voda su oborinske otpadne vode, tehnološke i procjedne otpadne vode i sanitarno otpadne vode. Oborinske se vode se prikupljaju sustavom oborinskih kanala i odvođe se u prihvatne spremnike koji prihvaćaju oborinsku nekontaminiranu vodu. Točnije vodu koja dolazi s dijelova odlagališta koja se ne koriste, s odlagališta koja imaju pokrovni brtveni sustav te s ostalih površina na kojim oborinska voda ne dolazi u direktni kontakt s otpadom. Tako prikupljene, čiste oborinske vode kontrolirano se ispuštaju u okoliš ili se mogu koristiti u tehnološkim procesi u Centru. Zatim, oborinska voda koja je prikupljena s sljedećih površina: parkirališta, prometnice unutar Centra, radne i manipulativne površine, prostor za pranje kotača i manevarski plato (MBO postrojenje), odvođi se na separator.

U separatoru lakih tekućina u kojem dolazi do taloženja krutih čestica i odvajanja naftnih derivata. Isto tako, obrađena oborinska voda otpušta se u okoliš ili se reciklira u tehnološkim procesima u Centru [17].

Uz oborinske otpadne vode, u Centru nastaju i tehnološke te sanitarne otpadne vode. Sanitarne otpadne vode nastaju u su vode koje nastaju u higijenskim prostorima za radnike te se sustavom odvodnje odvođe do zajedničkog prihvatnog centra za tehnološke vode [55]. Tehnološke otpadne vode nastaju unutra MBO sustava te tijekom anaerobne obrade otpada (biorektorsko odlagalište). Prikupljene sanitarne, tehnološke i oborinske vode dovode se do uređaja za obradu otpadnih voda (UPOV) gdje se izlažu različitim postupcima obrade. Obrada otpadnih voda u sklopu ŽCGO-a Kaštijun zatvoreni je proces. Prikupljene otpadne vode biološki se obrađuju SBR reaktorima (sequencing batch reactor = fazno šaržni reaktor). Isto tako, otpadne se vode dezinficiraju ultraljubičastim zrakama. Biološka obrada otpadnih voda provodi se u 5 faza koje se ponavljaju u određenim intervalima. Faze uključene u rad SBR-a su [56] :

1. punjenje,
2. reakcije (denitrifikacija u anoksičnim uvjetima te aeracija u procesu nitrifikacije),
3. taloženje (taloženje aktivnog mulja),
4. dekantiranje (uklanjanje izbistrene vode od aktivnog mulja) i
5. mirovanje (uklanjanje viška mulja).

Ugušćivanje i centrifuga dodatno se koriste za obradu aktivnog mulja. Proces reverzne osmoze (RO) koristi se za obradu soli i teških metala. Isto tako, otpadne se vode dezinficiraju ultraljubičastim zrakama. Željeni ishod obrade otpadnih voda je njena ponovna potreba. Ta se voda upotrebljava za sljedeće aktivnosti: za navodnjavanje hortikulture, u praonici kamiona, za čišćenje zraka te za hlađenje u rashladnim tornjevima [55]. Na slici 14. vidljiv je shematski prikaz postupka zbrinjavanja otpadnih voda u ŽCGO-u Kaštijun.



Slika 14. Shematski prikaz postupka zbrinjavanja otpadnih voda u ŽCGO-u Kaštijun [17].

8.4. Proizvodnja goriva iz otpada u Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun

Prema dobivenim podacima proizvodnja GIO-a u Kaštijunu iznosi 2.359,4 t, za razdoblje od 01.01.2022. godine do 31.05.2022. 11.469,4 t GIO-a je zbrinuto izvan Centra Kaštijun, 2021. godine. Isto tako te je godine proizvedeno 10.755 t GIO-a. Trenutno se u ŽCGO-u Kaštijun nalazi 16.012 t baliranog GIO-a. Iz ŽCGO-a Kaštijun rečeno je kako nemaju problema s skladištenjem proizvedenog GIO-a. Najveći problem predstavljaju dugotrajan postupak javne nabave i trenutno visoka cijena na tržištu za njegovo zbrinjavanje. Makismlni kapacitet proizvodnje GIO-a u Kaštijunu iznosi 35% visokokvalitetnog GIO-a od ukupnog preuzetog miješanog otpada.

Kvaliteta GIO-a se ispituje u vanjskom laboratoriju (Eurofins Croatiakontrola d.o.o.) koji je osposobljen prema zahtjevima iz norme HRN EN ISO/IEC 17025, za područje akreditacije ispitivanja materijala/proizvoda - kruto oporabljeno gorivo (solid recovered fuel). Proizvedeni GIO uzorkuje se u periodu od jednog ili dva tjedna, ovisno o količini proizvedenog GIO-a koja mora biti minimalno 150 tona. U tim periodima uzima se minimalno 24 poduzoraka GIO-a, a zatim se raznim metodama dobije jedan kompozitni uzorak koji se ispituje u laboratoriju.

Klasa GIO-a u 2020. godini je bila NCV 2, Cl 2, Hg 1, a klasa GIO-a za 2021. godinu je NCV 3, Cl 2, Hg 1.

9. Optimizacija proizvodnje goriva iz otpada u Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun

9.1. Korektivni plan srednjeg roka

Korektivni plan srednjeg roka obuhvaća vremensko razdoblje od pet godina. Za korektivni plan srednjeg roka dan je prikaz poduzimanja radnji vezanih uz nabavku dodatnog kapaciteta za isušivanje SRF-a kako bi se korigirala vlažnost i time ostvario kvalitetniji proizvod, koji više vrijedi i više koristi donosi samome Županijskom centru za gospodarenje otpadom Kaštijun. Kao primjer mogućeg stroja bit će dan „Andritz Vandenbroek“ rotirajuća bubanjska sušilica¹⁰. Specifikacije navedenog proizvoda:

Kapacitet: 15 tona/h

Tražena cijena: 400 000 eura

Snaga uređaja: 300kW

Gore navedeni uređaj uvelike premašuje trenutne kapacitete proizvodnje SRF-a na Županijskom centru za gospodarenjem otpadom Kaštijun, međutim, isti omogućuje adekvatnu količinu osušenog prvoklasnog SRF-a, te pruža mogućnost nadogradnje dijela pogona za samu proizvodnju SRF-a. Kada bi se gledao učinak, računajući na tisuću radnih sati stroja po godini pomnoženo sa 15 tona po satu, dobije se rezultat od 15 000 tona obrađenog SRF-a. Iz dobivenog rezultata je vidljivo kako u ovisnosti o stvarnim fluktuacijama količine dobivenog SRF-a po sezonama moguće je isti cilj ostvariti i uz znatno manji stroj, međutim, za navedeno nije postojao uvid u tražene, osnovne podatke.

¹⁰ Andritz Vandenbroek“ rotirajuća bubanjska sušilica- [59]

Tablica 8. Prikaz stavki vezanih uz troškove nabavke i rada stroja „Andritz Vandebroek“

<u>Stavka</u>	<u>Cijena</u>
Nabavka stroja	~400 000€
Montaža stroja (osiguranje jačeg električnog priključka, troškovi zemljišta i dr.)	~200 000€
Troškovi obuke i rada dva radnika tijekom 5 godina rada	~75 000€
Troškovi održavanja tijekom 5 godina	~ 40 000€
Troškovi struje tijekom 5 godina (~1500 MWh)	~ 200 000€
Nepredviđeni i neplanirani troškovi	~ 90 000€
Sveukupni troškovi rada tijekom 5 godina	~1 005 000€

U tablici 8., dan je prikaz troškova nabavke i rada rotirajuće bubanjske sušilice „Andritz Vandebroek“. U tablici se može vidjeti kako je cijena stroja 400 000 eura, montaža stroja okvirno 200 000 eura, zbog toga što se moraju osigurati određeni minimalni tehnički uvjeti za sam rad stroja. Za edukaciju i osposobljavanje dvojice radnika koji bi bili zaduženi za upravljanje strojem iznosi okvirno 75 000 eura kroz vremenski period od pet godina. Troškovi održavanja stroja tijekom pet godina iznosili bi okvirno 40 000 eura, a troškovi struje, prema trenutnim tarifama okvirno 200 000 eura. Za nepredviđene i neplanirane troškove, uzet je iznos od 90 000 eura, te se na samome kraju tablice dobije iznos od 1 005 000 eura. Za potencijalni prihod od prodaje SRF-a, koji bi se ostvario u srednjem roku, roku od pet godina, vrijedi sljedeća računica: okvirno 100 eura/tona pomnoženo sa 15 000 tona kapaciteta pomnoženo sa pet godina, dobiva se vrijednost od 7 500 000 eura. Prema ranije navedenim podacima i računicama, da se zaključiti kako postoji višestruka korist za Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun, kada se u obzir uzmu troškovi i predviđena zarada

koja je dobivena temeljem određenih parametara. Od velike je važnosti napomenuti i kako je SRF takav oblik otpada da se ostvaruju dodatne uštede zbog toga što manja količina otpada završava u samome odlagalištu, te se time ostvaruje dodatni prihod u obliku ušteda na troškovima izvida, planiranja i izgradnje novih odlagališta.

9.2. Korektivni plan dugog roka

Korektivni plan dugog roka obuhvaća vremensko razdoblje dulje od deset godina. Kod samog istraživanja dugoročnog plana, pitanja koja su postavljena idu u smjeru da ispituju kako bi Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun mogao postići relativnu maksimalnu vrijednost iskorištenja samog SRF-a. Kao rješenje koje u najvećoj mjeri ispunjava kriterije, odnosno daje odgovore na postavljena pitanja, pokazalo se je rješenje izgradnje građevine za iskorištavanje goriva iz otpada koja bi se nalazila u neposrednoj blizini samog Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun. Ovakvo rješenje eliminira, ili barem u najvećoj mogućoj mjeri smanjuje jedan od najvažnijih i najskupljih troškova, a to je trošak transporta SRF-a. Takva građevina, u kojoj bi se mogao koristiti SRF proizveden u ŽCGO-u Kaštijun, gdje bi se procesom izgaranja SRF-a oslobađala toplinska energija koja bi se potom koristila za pregrijavanje pare, te bi prema tome, takva građevina spadala u termoelektranu. Ukoliko bi se energija dobivena iz SRF-a koristila za zagrijavanje vode, a samim time i zagrijavanja okolnih zgrada, takva građevina bi onda spadala u kategoriju toplana. Prednost izrade same elektrane-toplane jest primarno sanacija samog otpada bez dodatnog plaćanja, a sekundarno i proizvodnja električne energije čija je trenutna cijena preko 250eura/MW/h. Također, otvara se i mogućnost pružanja dodatnih usluga HEP d.d.-u(Hrvatskoj elektroprivredi) s ciljem održavanja stabilnosti sustava. Od velike je važnosti napomenuti kako je, prema sadašnjoj situaciji, termoelektrana Plomin I prestala sa svojim radom na ugljen kao primarnim gorivom, te u tom kontekstu, postoji mogućnost implementacije i optimizacije sustava da se zamijeni prošlo primarno gorivo(ugljen) sa SRF-om kao novim primarnim gorivom, ili gorivom koje bi služilo kao suplement primarnom alternativnom gorivu. Prema podacima od strane Hrvatske elektro proizvodnje, Termoelektrana Plomin II sa svojim radom prestaje 2034. godine, te će se time narušiti stabilnost elektroenergetske infrastrukture Istre u ljetnom periodu gdje je potrošnja preko 300MW. Općepoznato je kako je Istarski poluotok turističko područje koje je, a ubuduće, turizmom još i više pridonositi

hrvatskom BDP-u, a nedostatak električne energije tijekom turističke sezone, imalo bi katastrofalan učinak na istu. U gore spomenutome, vidljiva je velika prilika za korištenje SRF-a kao primarnog, ili kao suplementa primarnom gorivu, prilikom proizvodnje i osiguranja električne energije.

10. Diskusija

U radu Hecer (2021), dana je procjena isplativosti izgradnje energane na gorivo iz otpada u RH. Analizom rizika utvrđeno je kako je ulaganje u ovaj tip projekta sigurno te kako je interna stopa profitabilnosti veća od diskontne stope. Interna stopa profitabilnosti zapravo predstavlja diskontnu stopu pomoću koje se ostvaruje nulta, čista sadašnja vrijednost određenog projekta. Valja naglasiti kako je ulaganje u ovakvu vrstu projekta novčano jako intenzivno. U skladu s time, kod pokretanja ove vrste projekta očekuje se suradnja privatnog investitora s lokalnim i regionalnim institucijama. Naravno, pri izgradnji energane na otpad iz goriva, u ovom slučaju SRF, važan je i stav lokalnog stanovništva. Vrlo često lokalno stanovništvo izražava zabrinutost zbog utjecaja takvih postrojenja na okoliš i kvalitetu života u blizini samog postrojenja. Kao i kod energana koje su pogođene na druge izvore energije, a da to nisu obnovljivi izvori energije, pri izgaranju krutog goriva nastaje određena količina emisija plinova. Zahvaljujući direktivama EU, emisije plinova nastalih izgaranjem goriva strogo je kontrolirano. Uz miješani komunalni otpad, oko 10% odvojeno sakupljenog otpada ne odgovara kriterijima za ponovnu uporabu te sudjeluje u proizvodnji SRF-a. Energija dobivena energetsom oporabom otpada u RH manja je od 2%. Ukoliko je riječ isključivo o komunalnom otpada tada ta stoga iznosi svega 0,04%. U revizijskom izvješću poslovanja ŽCGO-a Kaštijun, navedeni su troškovi i dobiti poslovanja SRF- gorivom za 2019. godinu. Ukupna dobit od preuzimanja i zbrinjavanja SRF-a u 2019. godini iznosila je 4.118.851,00 kn, dok su troškovi komunalnih usluga za nezbrinuti SRF iznosili 7.632.660,00 kn [51].

U skladu sa svime navedenim izgradnja energane na GIO u sklopu ŽCGO-a Kaštijun bila bi višestruko isplativa. Odnosno, količina sredstava koja se koristi u svrhu skladištenja SRF-a koji nije dospio na tržište mogla bi se usmjeriti u druga područja rada. Nadalje, Centar bi bio u mogućnosti koristiti SRF vlastite proizvodnje što bi bila dodatna dobit jer bi cijena goriva u startu bila manja. Isto tako Centar bi bio u

možnosti ostvariti dobit proizvodnjom i trženjem energije. Jedan od odličnih primjera učinkovite pretvorbe otpada u energiju je Švedska. Švedska s ukupno 33 spalionice otpada, preko 50% svoga otpada pretvara u energiju. Uz vlastiti otpad, uvozi i otpad iz Norveške i Velike Britanije. Pretvaranjem otpada u energiju Švedska zadovoljava 10% svoje potrebe za energijom [62].

U RH obavljanje energetske oporabe otpada ugl. se obavlja u nekolicini cementara koje posjeduju potrebne dozvole. Mala iskorištenost SRF-a većinom se pripisuje lošijoj kvaliteti SRF-a proizvedenog u RH. To nas vodi k sljedećem cilju korektivnih planova, točnije, korektivnog plana srednjeg roka. Prema dostupnim podacima, poznato je da je SRF proizveden u Kaštijunu ugl. SRF druge klase. Kao što je već navedeno u prethodnom tekstu, na kvalitetu SRF-a utječe sadržaj vlage. Zamjenom postojećeg bubnja za sušenje s navedenim u korektivnom planu srednjeg roka poboljšala bi se kvaliteta SRF-a proizvedenog u ljetnim mjesecima kada je akumulacija komunalnog otpada na samome vrhu. To bi omogućilo sušenje veće količine materijala u istom vremenskom periodu. Isto tako, izbjegle bi se radnje koje moguće dovode do kompromitiranja kvalitete krajnjeg proizvoda, poput redukcije vremena pojedinačnog ciklusa sušenja u vrijeme veće količine ulaznog materijala.

U dosadašnjim istraživanjima poput rada Moftah i sur. (2021) navedeno je kako je izgaranje SRF-a jedna od boljih metoda upravljanja i iskorištavanja otpada. Izgaranjem SRF-a dolazi do smanjenja emisija stakleničkih plinova. Isto smanjuju se površine potrebne za odlaganje otpada čime dolazi do uštede sredstava i reducira se potencijalni rizik od nepoželjnog doticaja deponiranog otpada s oborinama te na poslijetku infiltracije štetnih komponenti u okoliš. Prema navedenom, izgaranje SRF-a može se okarakterizirati kao održiv način proizvodnje energije što je ujedno i krajnji cilj same proizvodnje, trgovanja te oporabe goriva iz otpada. Prema svemu navedenome može se pretpostaviti kako bi implementacija oba korektivna plana, srednjeg i dugog roka, dovela do smanjenja ekološkog otiska ŽCGO-a Kaštijun [1].

Važno je naglasiti kako je daljnje istraživanje potrebno za dobivanje stvarnih podataka za potvrdu prethodno izrečenih tvrdnji na slučaju Centra Kaštijun. Korektivni planovi osmišljeni su prema analizi dostupne literature te za potvrdu njihove učinkovitosti je potrebno daljnje istraživanje i primjena istih. Otežavajuća okolnost implementacije oba korektivna plana je visina potrebnih ulaganja u postojeće postrojenje.

11. Zaključak

Otpad predstavlja svaku tvar koju fizička ili pravna osoba namjerava odložiti ili odbaciti, a ima potencijalnu vrijednost za nekoga drugoga. Također, može se zaključiti kako je otpad nusprodukt proizvodnih procesa, a u isto vrijeme predstavlja posljedicu čovjekovog postojanja. Kako bi se dodatna vrijednost iz otpada mogla iskoristiti, potrebno je organizirati sustav gospodarenja otpadom koji bi otpad tretirao kao osnovni input, te raznim procesima i postupcima otpad sakupljao, odvajao, iskorištavao i obrađivao do konačnog odlaganja. U ovome radu kao primjer jednog takvog sustava, izabran je Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun. Dobivenim rezultatima, hipoteze (H1), korektivni plan srednjeg roka pridonosi poboljšanju kvalitete proizvedenog SRF-a i (H2), korektivni plan dugog roka doprinosi ekonomskoj efikasnosti proizvodnje SRF-a prihvaćaju se u potpunosti. Glavni ciljevi rada bili su utvrditi pojmove vezane uz otpad, raščlamba procesa gospodarenja otpadom, analiziranje stanje Republike Hrvatske u pogledu gospodarenja otpadom, opisati važnost ekološkog otiska i oporabljene krutog goriva.

Proizvodnja krutog komunalnog otpada po stanovniku u Hrvatskoj ispod je prosjeka EU. Međutim, proizvodnja čvrstog komunalnog otpada prilagođena BDP-u u Hrvatskoj daleko je iznad prosjeka EU-a, što ukazuje na loš učinak u pogledu učinkovitosti resursa. Stope recikliranja u Hrvatskoj (15 % po masi) ispod su prosjeka EU (32 %) i daleko ispod cilja EU-a od 65 % za 2030. Hrvatska do sada nema dobro razrađen i detaljan plan gospodarenja otpadom kojim bi se ispunili ciljevi recikliranja i materijalne uporabe, no trenutno se ulažu napor da se ovaj problem riješi u novom Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske[65].

Kako bi se ispitala valjanost osmišljenih korektivnih planova, korektivni planovi trebaju se implementirati u postojeći sustav gospodarenja otpadom ŽCGO Kaštijun. Sukladno tome, potrebna su daljnja istraživanja.

Hipoteza (H3), primjena korektivnih planova srednjeg i dugog roka pozitivno utječe na smanjenje ekološkog otiska ŽCGO-a Kaštijun, prihvaća se u potpunosti. Najveća prepreka postizanja pozitivnog učinka osmišljenih korektivnih planova jest mogućnost plasiranja SRF-a na tržište. Korektivni planovi osmišljeni su s ciljem poboljšanja kvalitete dobivenog SRF-a. što bi ujedno omogućilo lakše plasiranje SRF-a na tržište. Isto tako, korektivnim planovima, smanjila bi se potreba za skladištenjem otpada te

samim time i troškovi, što uvelike utječe na ekoloških otisak. Potrebna je manja površina odlagališta zbog manje količine otpada koji bi se trebao odlagati. Smanjenjem otpadnog materijala na površinama odlagališta, pozitivno se utječe na smanjenje potrebnog prostora za odlagalište, čime se pozitivno utječe na ekološki otisak. Isto tako, smanjenjem količine odloženog otpada reduciraju se štetne emisije u zrak, tlo i podzemne vode. Zagađenje zraka i širenje neugodnih mirisa predstavljalo je veliki problem lokalnom stanovništvu, ujedno i samome ŽCGO-u Kaštijun. Kao važan utjecaj na ekološki otisak, potrebno je naglasiti kako bi više materijala odvojenih iz otpada bilo podložno ponovnoj uporabi te bi se time smanjio negativan utjecaj na okoliš, odnosno pozitivno bi se djelovalo na ekološki otisak.

Zbog povećane akumulacije otpada tijekom ljetnih mjeseci, dolazi do prekoračenja dnevnog obima obrade pristiglog miješanog otpada u ŽCGO Kaštijun. Zbog povećane količine materijala za obradu, postojeće postrojenje nije u mogućnosti obraditi sav pristigli otpad i održati optimalno provođenje svih koraka u obradi otpada. U ovim uvjetima dolazi do redukcije operativnog vremena biološke, aerobne obrade otpada čime se dobiva krajnji obrađeni materijal s većim udjelom vlage. Veći stupanj vlage utječe na kvalitetu sirovine i smanjuje njenu energetska vrijednost. Loša kvaliteta dobivenog SRF-a znatno otežava uspješno trženje istim. Nemogućnost prodaje i produljene skladištenja proizvedenog SRF-a uzrokuje ekonomske gubitke i zauzima više prostora ŽCGO-a. Isto tako, skladištene bale SRF-a, djelomično su zaštićene od vremenskih utjecaja te predstavljaju potencijalnu ugrozu lokalnoj fauni, posebice lokalnim populacijama ptica čije se zdravlje može narušiti ingestijom sitnih fragmenata plastike i ostalih anorganskih frakcija SRF-a.

Osim navedenoga, povećanjem dospjelog miješanog komunalnog otpada, povećava se njegovo odlaganje na odlagalište. Kako mehaničko – biološka obrada tog otpada nije adekvatna, redukcijom trajanja ciklusa biološke obrade otpada, na odlagalište dolazi otpad smanjenje stabilnosti. Dio djelomično stabiliziranog otpada skladišten je i na otvorenim površinama odlagališta. Takvo rukovanje otpadom ukazuje na nekontrolirani proces metanogeneze što dovodi do otpuštanja nepoznate količine ugljičnih i dušičnih spojeva u atmosferu. Time se pospješuje stvaranje i otpuštanje stakleničkih plinova, a ujedno i povećava ekološki otisak ŽCGO-a Kaštijun. Posljedično, odlagališni bioplin koji nastaje na navedenim površinama ne može se energetska iskoristi u samome CGO. Energetska neučinkovitost iskorištavanja odlagališnog bioplina jedan je od vodećih uzroka povećanja pritiska na okoliš,

povećanja ekološkog otiska CGO-a. Takva praksa povećava potrebu za fosilnim gorivima za toplinske potrebe i potrebe za električnom energijom centra, što je u direktnoj vezi s hipotezom 3.

Implementacijom osmišljenih korektivnih planova, omogućio bi se duži vremenski interval trajanja aerobne biološke obrade komunalnog otpada, čime bi se povećala kvaliteta proizvedenog SRF-a i njegovo trženje, ujedno postiglo bi se kraće zadržavanje baliranog SRF-a u CGO-u. Dovođenje SRF-a do krajnjeg potrošača i njegovo korištenje kao gorivo upotpunjuje svrhu proizvodnje SRF-a te se time pospješuje ponovna uporaba otpada te se smanjuje pritisak na fosilna goriva. Isto tako, manjim količinama skladištenog SRF-a smanjuje se rizik po zdravlje lokalne faune, posebice ptica. Sve navedene promjene nastale implementacijom korektivnih planova imaju mogućnost smanjenja ekološkog otiska ŽCGO-a Kaštijun.

Korektivnim planovima omogućuje se obrada više materijala po jedinici vremena što bi u ključnim ljetnim mjesecima reduciralo odlaganje djelomično stabiliziranog otpada na odlagališne plohe otvorenog tipa. Time se smanjuje otpuštanje odlagališnog bioplina, tj. sadržanih stakleničkih plinova izravno u atmosferu.

U skorije vrijeme bilo bi poželjno uspostaviti i pokrenuti iskorištavanje bioplina nastalog anaerobnom digestijom na biorektorskom odlagalištu za zadovoljenje energetskih potreba samoga Centra Kaštijun.

12.Literatura

- [1] Al-Moftah, Ahmad Mohamed S. H., Richard Marsh, and Julian Steer. (2021.) "Life Cycle Assessment of Solid Recovered Fuel Gasification in the State of Qatar". *ChemEngineering* 5 (4), str. 81.
- [2] Aleksić, K. (2017.) Problemi i perspektive zbrinjavanja otpada u Republici Hrvatskoj. Diplomski rad. Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/efst%3A1004/datastream/PDF/view> (Pristupljeno:20.04.2022.)
- [3] Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet-Plamondon, C., Gressot, M., Galli, A. (2017) The Ecological Footprint of Medeterranean Cities: Awareness creation and policy implications. ELSEVIER, Environmental Science & Policy, 69, str. 94-104.
- [4] Beckmann, M., Pohl, M., Bernhardt, D. (2012) Criteria for solid recovered fuels as a substitute for fossil fuels – a review. ResearchGate, Waste Management & Research, 30 (4), str. 354-369.
- [5] Bekavac, T. (2010) Gospodarenje otpadom. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, fakultet strojarstva i brodogradnje
- [6] Bhargaava, A. (2016) Physico-Chemical Waste Water Treatment Tecnologies: An Overveiw. ResearchGate, 4(05), 5308-5319
- [7] Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J. C., Wackernagel, M., Galli, A. (2013) Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts's underlying methodology and framework. Elsevier, Ecological Indicators, 24, str. 518-533.
- [8] Bukarica, V., Dović, D., Barković Hrs, Ž., Saldo, V., Sučić, B., Švaić, S., Zanki, V. (2008.): Priručnik za energetske savjetnike. Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP) u Hrvatskoj. Zagreb, Tiskara Zelina d.d., str. 8. Dostupno na: <https://www.enu.hr/wp-content/uploads/2016/03/Priru%C4%8Dnik-za-energetske-savjetnike.pdf> (Pristupljeno:11.04.2022.)

- [9] Collection and Transfer of Solid Waste. Dostupno na: https://uap-bd.edu/ce/nehreen/Lecture%204_431.pdf (Pristupljeno: 05.05.2022.)
- [10] Drljača, M. (2012.) Koncept održivog razvoja i sustav upravljanja. Međunarodni skup Nedelja kvaliteta. Kvalitet i izvrsnost, 1 (1-2), str. 20-26. Dostupno na: [https://bib.irb.hr/datoteka/580157.Koncept odrivog razvoja i sustav upravljanja.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/580157.Koncept_odrivog_razvoja_i_sustav_upravljanja.pdf) (Pristupljeno: 08.09.2022.)
- [11] Europska komisija, Dokument za razmatranje o održivoj Europi do 2030. (2019). Dostupno na: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/rp_sustainable_europe_hr_v2_web.pdf (Pristupljeno: 08.09.2022.)
- [12] Europski parlament (2020) The environmental impacts of plastics and microplastics use, waste and pollution: EU and national measures. Dostupno na: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/658279/IPOL_STU\(20\)658279_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/658279/IPOL_STU(20)658279_EN.pdf). (Pristupljeno: 15.3.2023.)
- [13] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Centri za gospodarenje otpadom. Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/centri-za-gospodarenje-otpadom/7593> (Pristupljeno: 28.04.2022.) [12]
- [14] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Gospodarenje otpadom. Dostupno na: <https://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje-otpadom/1345> (Pristupljeno: 06.05.2022.) [13]
- [15] Fruergaard, T., Astrup, T. (2010) Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. Waste Management, 31, 572-582.
- [16] Fuk, B. (2019) Gorivo iz otpada rješenje ili problem. SIGURNOST, 61 (1), str. 67-70. [14]
- [17] Galaso, I., Vučinić, A., Vrbanac, K., Andročec, V., Tadić, M., Dostal, A., Grđan, D. (2008) SUO izgradnje Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun, Pula. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb. [15]

- [18] Garg, A., Smith, R., Hill, D., Longhurst, P.J., Pollard, S.J.T., Simms, N.J. (2019) An integrated appraisal of energy recovery options in the United Kingdom using solid recovered fuel derived from municipal solid waste. *Waste Management* 29, 2289-2297.
- [19] Grosso, M., Dellavedova, S., Rigamonti, L., Scotti, S. (2015) Case study of an MBT plant producing SRF for cement kiln co-combustion, coupled with a bioreactor landfill for process residues. *Waste Management* 47, 267-275.
- [20] Havukainen, J., Zhan, M., Dong, J., Liikanen, M., Deviatkin, I., Li, X., Horttanainen, M. (2016) Environmental impact assessment of municipal solid waste management incorporating mechanical treatment of waste and incineration in Hangzhou, China. *Journal of Cleaner Production* 141, str. 453-461.
- [21] Hecer, D. (2021) Analiza isplativosti i rizika ulaganja u energanu na gorivo iz otpada. Završni specijalistički rad. Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet. [16]
- [22] Hrvatska gospodarska komora, Postupanje s komunalnim i proizvodnim otpadom u objektima u kojima se priprema hrana. Dostupno na: <https://www.hgk.hr/documents/priprema-i-usluzivanje-hrane5d15ad869021e.pdf> (Pristupljeno: 09.04.2022.) [17]
- [23] Huđek, G. (2017) Održivi razvoj i ekološki otisak. Diplomski rad. Sveučilište Sjever. [18]
- [24] Internetska stranica Ekonomskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, Recikliranje. Dostupno na: <https://www.efri.uniri.hr/hr/recikliranje/1050/169> (Pristupljeno: 06.05.2022.) [19]
- [25] Istarska županija, SGO-Sustav gospodarenja otpadom. Dostupno na: <http://stariweb.istra-istria.hr/index.php?id=1929> (Pristupljeno: 03.05.2022.) [20]
- [26] Izvješće komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru o provedbi akcijskog plana za kružno gospodarstvo (2017). Dostupno na: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2017\)33&lang=hr](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2017)33&lang=hr) ; (Pristupljeno: 09.04.2022.) [21]

- [27] IZVJEŠĆE o provedbi Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine na području Istarske županije s objedinjenim izvješćima jedinica lokalne samouprave za 2019. godinu (2020). Dostupno na: http://stariweb.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/2020/200706_Izvjecse.pdf (Pristupljeno: 03.05.2022.) [22]
- [28] Jakeljić, M. (2016) Metode obrade i recikliranja komunalnog otpada u Hrvatskoj. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet. [23]
- [29] Kemeter, D. (2015) ODRŽIVO GOSPODARENJE OTPADOM, Međimursko veleučilište u Čakovcu. Dostupno na: <https://www.mev.hr/wp-content/uploads/2013/12/Odrzivo-gospodarenje-otpadom.pdf> (19.07.2022.) [24]
- [30] Konvencija o pristupu informacijama, sudjelovanju javnosti u odlučivanju i pristupu pravosuđu u pitanjima okoliša (2005). Dostupno na: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22005A0517\(01\)&from=HR](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:22005A0517(01)&from=HR) (20.06.2022.) [25]
- [31] Kosanović, N. (2019.) Nastanak koncepta održivog razvoja na primjeru održivog razvoja u Plivi Hrvatska d.o.o. Specijalistički diplomski studij. Veleučilište u Karlovcu. Dostupno na: <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A1406/datastream/PDF/view> (Pristupljeno: 08.09.2022.) [26]
- [32] Kruta goriva dobivena iz otpada (engl. SRF) za zamjenu fosilnih goriva u cementnoj industriji. Dostupno na: <https://supeus.hr/wp-content/uploads/2020/05/Kruta-goriva-dobivena-iz-otpada-engl.-SRF-za-zamjenu-fosilnih-goriva-u-cementnoj-industriji.pdf?x10082> (Pristupljeno: 25.05.2022.) [27]
- [33] Lesić, J. (2020) ANALIZA POSTROJENJA ZA ENERGETSKU OPORABU KRUTOG OPORABLJENOG GORIVA. Specijalistički diplomski stručni. Veleučilište u Karlovcu. [28]
- [34] Meena, A., K. (2019) What is Ecological Footprint and Why is it Important? ResearchGate, 16(1), str. 25-26. [29]

- [35] Miketić-Curman, S. (2020) Primjena koncepta kružnog gospodarstva i industrijske ekologije kao doprinos održivom razvoju i zaštiti okoliša. *Sigurnost*, 62 (4), str. 369-375. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/file/362275>, (Pristupljeno: 04.04.2022.). [30]
- [36] Mikulčić, H., Klemeš, J.J., Vujanović, M., Urbaniec, K., Duić, N. (2016) Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process. *Journal of Cleaner Production*, 136, str. 119-132. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.145>
- [37] Moore, D., Larson, J., Iha, K., Gracey, K., Wackernagel (2013) Methodology for Calculating the Ecological Footprint of California. Global Footprint Network. Dostupno na: https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/EcologicalFootprintCaliforniaMethod2013.pdf (10.04.2022.) [31]
- [38] Morožin, I. (2019) Komparativna analiza ekološkog otiska u državama Europske unije za razdoblje 2005.-2014. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet. [32]
- [39] Mulc, M. (2020.) SUSTAV ODRŽIVOG GOSPODARENJA OTPADOM VEZAN NA ZAŠTITU OKOLIŠA. Završni rad. Veleučilište u Karlovcu. Dostupno na: <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A1510/datastream/PDF/view> (Pristupljeno: 29.04.2022.) [33]
- [40] Musharof, H.K. (2018) Gwp impact of utilizing SRF in cement plants: finnsementti case study. Diplomski rad, Lappeenranta University of Technology. Dostupno na: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158694/Master%27s%20Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Pristupljeno: 12.3.2023.)
- [41] Narodne novine, Odluka o donošenju Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. - 2022. Godine. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_01_3_120.html (Pristupljeno: 28.04.2022.) [34]
- [42] Narodne novine, službeni list Republike Hrvatske, Odluka o proglašenju zakona o gospodarenju otpadom. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1554.html (Pristupljeno: 25.04.2022.) [35]

- [43] Narodne novine, službeni list Republike Hrvatske, Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_11_130_2398.html (Pristupljeno: 04.04.2022.) [36]
- [44] Narodne novine, službeni list Republike Hrvatske, Zakon o održivom gospodarenju otpadom, izvorni tekst s izmjenama i dopunama (2020.). Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odrzivom-gospodarenju-otpadom> [37]
- [45] Narodne novine, Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2005_11_130_2398.html (Pristupljeno: 21.04.2022.) [38]
- [46] Narodne novine, Zakon o otpadu. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004_12_178_3083.html (17.04.2022.) [39]
- [47] Pongrac, M. (2020) Projektiranje i isplativost implementacije postrojenja sortirnice komunalnog otpada u Prelogu. Diplomski rad. Sveučilište Sjever. [40]
- [48] POSLOVNI PLAN DRUŠTVA KAŠTIJUN d.o.o. PULA ZA 2021. godinu (2020), KAŠTIJUN d.o.o. za gospodarenje otpadom. Dostupno na: www.kastijun.hr (14.04.2022.) [41]
- [49] PROFILKlett, Ekološki otisak (2018.). Dostupno na: <https://www.profil-klett.hr/ekoloski-otisak> (Pristupljeno: 23.04.2022.) [42]
- [50] Proleksis enciklopedija. Dostupno na: <https://proleksis.lzmk.hr/2886/> (03.04.2022.) [43]
- [51] Revizija.hr, IZVJEŠĆE O OBAVLJENOJ FINACIJSKOJ REVOZIJI KAŠTIJUN D.O.O. ZA GOSPODARENJE OTPADOM ZA 2019. Dostupno na: [https://www.revizija.hr/UserDocsImages/izvjesca-novo/Revizije%20-%202020/IZVJESCA O OBAVLJENIM REVIZIJAMA/FINACIJSKE REVIZIJE/TRGOVACKA DRUSTVA NA LOKALNOJ RAZINI/KASTIJUN%20D.O.O. ZA GOSP ODARENJE OTPADOM.pdf](https://www.revizija.hr/UserDocsImages/izvjesca-novo/Revizije%20-%202020/IZVJESCA%20O%20OBAVLJENIM%20REVIZIJAMA/FINACIJSKE%20REVIZIJE/TRGOVACKA%20DRUSTVA%20NA%20LOKALNOJ%20RAZINI/KASTIJUN%20D.O.O.%20ZA%20GOSP%20ODARENJE%20OTPADOM.pdf) (Pristupljeno: 20.07.2022.) [44]

[52] Ritchie, H., Roser, M., Rosado, P. (2020) "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". Dostupno na: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>. (Pristupljeno: 14.3.2023.)

[53] Službena internetska stranica ŽCGO-a Kaštijun. Dostupno na: https://www.kastijun.hr/staticfiles/media/filer_public/d0/ee/d0eec751-8b5f-4579-9e45-228fea209ebc/1_mjerenje_biof_2022_za_web_stranicu_-_izvj_o_rezultatima_-_potpisan.pdf (Pristupljeno: 18.04.2022.) [45]

[54] Službena internetska stranica ŽCGO-a Kaštijun. Dostupno na: <https://www.kastijun.hr/hr/zeleno-srce-istre/zcgo/obrada-otpadnih-voda/> (Pristupljeno:10.04.2022.) [46]

[55] Službena internetska stranica ŽCGO-a Kaštijun. Dostupno na: <https://www.kastijun.hr/hr/zeleno-srce-istre/zcgo/obrada-otpadnih-voda/opisi-obra-du-postrojenju/> (Pristupljeno: 19.04.2022.) [47]

[56] Službena internetska stranica ŽCGO-a Kaštijun. Dostupno na: <https://www.kastijun.hr/hr/zeleno-srce-istre/zcgo/obrada-otpadnih-voda/metode-obra-de-vode/> (Pristupljeno: 10.04.2022.) [48]

[57] Službena internetska stranica ŽCGO-a Kaštijun. Dostupno na: <https://www.kastijun.hr/hr/zeleno-srce-istre/zcgo/obrada-otpadnih-voda/opisi-obra-du-postrojenju/> (Pristupljeno:10.04.2022.) [49]

[58] Službena internetska stranica ŽCGO-a Kaštijun. Dostupno na: [URL: https://www.kastijun.hr/staticfiles/media/filer_public/4b/dd/4bdd47f0-ad2b-469e-b0ec-c39b8c5da675/kastijun_doo_132018_dozvola.pdf](https://www.kastijun.hr/staticfiles/media/filer_public/4b/dd/4bdd47f0-ad2b-469e-b0ec-c39b8c5da675/kastijun_doo_132018_dozvola.pdf) (KASTIJUN_DOO_132018) (Pristupljeno: 18.04.2022.) [50]

[59] Službena stranica ANDRITZ, ANDRITZ Vanden broek rotary drum dryer. Dostupno na: <https://www.andritz.com/products-en/separation/separation/belt-drum-fluid-bed-dryers/drum-dryer-vdb> (za sušilicu u podnožju teksta) (Pristupljeno: 28.03.2022) [51]

[60] Sofilić, T. (2015) Priručnik za polaznike izobrazbe o gospodarenju otpadom. Mertoalfa edukacije, 10000 Zagreb. [52]

- [61] STRUČNA PODLOGA ZAHTJEVA ZA ISHOĐENJE OKOLIŠNE DOZVOLE (2014) ŽUPANIJSKI CENTAR ZA GOSPODARENJE OTPADOM ISTARSKA ŽUPANIJE KAŠTIJUN U PULI, ISTARSKA ŽUPANIJA. Dostupno na: https://www.istra-istria.hr/fileadmin/dokumenti/novosti/SUO_PUO/2014/20140417_Podloga_Kastijun.pdf (03.05.2022.) [53]
- [62] Sunce, CGO-fast food restoran za spalionice. Dostupno na: <https://sunce-st.org/vijesti/cgo-fast-food-restoran-za-spalionice/> (diskusija) (Pristupljeno: 20.07.2022) [54]
- [63] Šimleša D. (2007) RAZVOJ SPOSOBAN ZA BUDUĆNOST; PRINOSI PROMIŠLJANJU ODRŽIVOG RAZVOJA HRVATSKE; Kako gazimo planet – svijet i Hrvatska. Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, Zagreb, str. 77-109. Dostupno na: https://www.pilar.hr/wp-content/images/stories/dokumenti/lay_razvoj/lay_kb_077.pdf (Pristupljeno: 17.07.2022.) [55]
- [64] Šipuš, M. (2016) Komunalni otpad. Završni rad. Veleučilište u Kralovcu. [56]
- [65] Traven, L., Kegelj, I., Šebelja, I. (2018) Management of municipal solid waste in Croatia: Analysis of current practices with performance benchmarking against other European Union member states. *Waste management & research*, 36 (8), str. 663-669. [57]
- [66] United nations industrial development organization, Circular economy. Dostupno na: https://www.unido.org/sites/default/files/2017-07/Circular_Economy_UNIDO_0.pdf (Pristupljeno: 02.04.2022.) [58]
- [67] Universal circular economy policy goals. Dostupno na: <https://ellenmacarthurfoundation.org/publications> (Pristupljeno 04. 04. 2022.) [59]
- [68] WARBLETONCOUNCIL, Kružna ekonomija; principi, sporazumi, industrije, poslovni modeli. Dostupno na: <https://bs.warbletoncouncil.org/economia-circular-10124#menu-14> (Pristupljeno: 03.04.2022.) [60]
- [69] Wilen, C. (2004) REVIEW OF WASTE PROCESSING TECHNOLOGY FOR SRF. IEA BIOENERGY AGREEMENT – TASK 36, Espoo. Dostupno na:

<https://task36.ieabioenergy.com/publications/review-waste-processing-technology-srf/> (17.04.2022.) [61]

[70] Yi, S., Jang, YC. (2018) Life cycle assessment of solid refuse fuel production from MSW in Korea. *J Mater Cycles Waste Manag* 20, str. 19–42. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0541-9>

[71] Žakula, B. (2015.) Energetska učinkovitost i održiva gradnja. Diplomski rad. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli. Dostupno na: <https://repositorij.unipu.hr/islandora/object/unipu%3A140/datastream/PDF/view> ; (Pristupljeno:11.04.2022.) [62]

[72] Žeravica, D: (2018.) Kružna ekonomija. Diplomski rad. Sveučilište Jurja Dobrile u Puli. Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/unipu%3A2410/datastream/PDF/view> (Pristupljeno: 02.04.2022.) [63]

[73] Žižak, A. (2016) Mjere ublažavanje ekološkog otiska. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet. [64]

13. Popis slika

Slika 1. Ciljevi gospodarenja otpadom [Izvor: obrada autora]

Slika 2. Piramida gospodarenjem otpadom [29]

Slika 3. Tok otpada od proizvođača do obrađivača otpada [29]

Slika 4. Shema postrojenja za mehaničko-biološke obradu [47]

Slika 5. Ciljevi održivog razvoja sadržanih u programu Ujedinjenih naroda za održivi razvoj do 2030. godine [11]

Slika 6. Formule pristupa odozdo prema gore [7]

Slika 7. Shematski prikaz potražnje za lokalnim i globalnim biokapacitetom [7]

Slika 8. Primjer procesa uključenih u nastajanje SRF-a iz kućanskog i komercijalnog otpada [69]

Slika 9. Shematski prikaz tehnološkog procesa koji se primjenjuje u energanama koje koriste gorivo iz otpada [21]

Slika 10. Shematski prikaz triju tehnologija izgaranja krutog oporabljeneog otpada [21]

Slika 11. Shematski prikaz toka otpada na ŽCGO Kaštijun [17]

Slika 12. Nacrt prostornog plana i razmještaja tehnoloških procesa unutar ŽCGO-a Kaštijun [58]

Slika 13. Shematski prikaz redoslijeda odvijanja tehnoloških procesa unutar ŽCGO-a Kaštijun [58]

Slika 14. Shematski prikaz postupka zbrinjavanja otpadnih voda u ŽCGO-u Kaštijun [58]

14. Popis tablica

Tablica 1. Postupci uporabe otpada [60]

Tablica 2. Postupci zbrinjavanja otpada koji ne podliježe praksi uporabe otpada [60]

Tablica 3. Klasifikacija SRF-a [21]

Tablica 4. Skladištenje izdvojenog otpada iz kućanstva u ŽCGO Kaštijun [58]

Tablica 5. Emisijske točke u ŽCGO Kaštijun [61]

Tablica 6. Rezultati mjerenja izlaznih plinova na biofilteru 1 MBO procesa u ŽCGO Kaštijun prvo mjerenje 2022. godine [53]

Tablica 7. Rezultati mjerenja izlaznih plinova na biofilteru 1 MBO procesa u ŽCGO Kaštijun, prvo mjerenje 2022. godine [53]

Tablica 8. Prikaz stavki vezanih uz troškove nabavke i rada stroja „Andritz Vandebroek“ [Izvor: obrada autora]