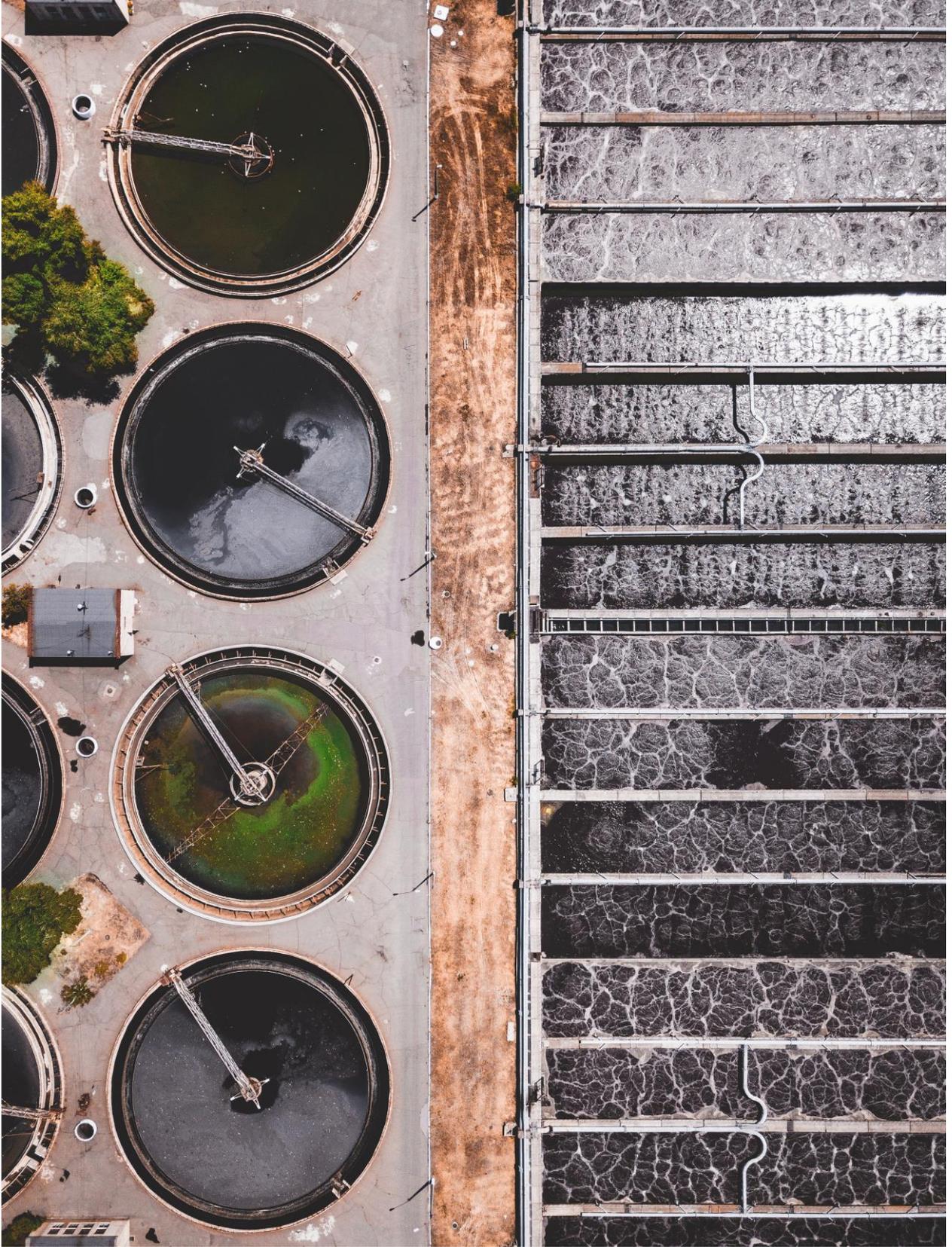




**MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA KANALIZACIJSKOG MULJA I
KOMINE MASLINA U POLJOPRIVREDI**

STUDIJA IZVEDIVOSTI

REDGREENPLANT 



**Smanjenje emisija stakleničkih plinova upotrebom gradskog
i poljoprivrednog otpada u proizvodnji bilja – REDGREENPLANT**

PKP-2016-06-9041

„Projekt se financira u sklopu Programa Vlade Republike Hrvatske za poticanje istraživačkih i razvojnih aktivnosti u području klimatskih promjena za razdoblje od 2015. do 2016. godine.“

Voditelj projekta:

dr.sc. Dean Ban, Institut za poljoprivredu i turizam, Poreč

Izdavač:

Institut za poljoprivredu i turizam, Karla Huguesa 8, 52440 Poreč

Za izdavača: dr.sc. Dean Ban

Autori:

dr.sc. Milan Oplanić

dr.sc. Igor Palčić

dr.sc. Marko Černe

dr.sc. Nikola Major

Tehnička obrada:

dr.sc. Igor Palčić

dr.sc. Milan Oplanić

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost Instituta za poljoprivredu i turizam

Poreč, ožujak 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Komunalni mulj	1
1.2. Komina maslina	2
2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA OBRADE KOMUNALNOG MULJA I KOMINA MASLINA U RH	5
2.1. Komunalni mulj	5
2.2. Komina maslina	9
3. MOGUĆNOSTI OBRADE I KORIŠTENJA KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA U POLJOPRIVREDI	11
3.1. Obrada komunalnog mulja	11
3.1.1. Piroliza mulja	12
3.1.2. Bioplinsko postrojenje za mulj	16
3.1.3. Kompostiranje mulja	19
3.1.4. Pravni okvir korištenja komunalnog mulja u poljoprivredi	41
3.1.5. Mogućnosti korištenja komunalnog mulja u poljoprivredi - sažetak	44
3.2. Obrada komine maslina	46
3.2.1. Piroliza komine maslina	46
3.2.2. Kompostiranje komine maslina	48
4. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA I EKONOMSKA ANALIZA POGONA ZA OBRADU KANALIZACIJSKOG MULJA KOMPOSTIRANJEM	57
4.1. Definiranje kapaciteta pogona	57
4.2. Tehničko-tehnološka obilježja pogona	59
4.2.1. Građevinski objekti	59
4.2.2. Oprema	59
4.2.3. Mehanizacija i strojevi	63
4.3. Vrijednost investicijskih ulaganja	65
4.3.1. Izvori sredstava financiranja	66
4.3.2. Uvjeti i plan otplate kredita	66
4.4. Tržno-ekonomska analiza projekta	67
4.4.1. Formiranje ukupnog prihoda	68
4.4.2. Obračun troškova	68
4.4.3. Projekcija računa dobiti	72
4.4.4. Financijski tijek projekta	72
4.5. Ekonomsko-financijska ocjena projekta	77
4.5.1. Statička ocjena	77
4.5.2. Dinamička ocjena	81
4.5.3. Ocjena likvidnosti programa	83
5. ZAKLJUČAK	84

1. UVOD

1.1. Komunalni mulj

Mulj predstavlja kruti ostatak iz pročišćivača otpadnih voda koje, s obzirom na porijeklo, mogu biti komunalne i industrijske. Količina mulja, kao nus produkta pročišćavanja, ovisi o vrsti otpadne vode koja se pročišćava, ali i o samom procesu pročišćavanja: na višim stupnjevima pročišćavanja otpadnih voda veće su i količine proizvedenog mulja. Ukoliko se za obradu otpadne vode koristi više složenijih postupaka, količine mulja su mnogo veće i kreću se u rasponu od 40 do 60 grama suhe tvari (ST) / ekvivalent stanovnika (ES) / dan. Različitim stupnjevima pročišćavanja nastaju i različiti muljevi pa tako razlikujemo primarni, sekundarni ili biološki, tercijarni mulj i aktivni mulj.

Otpadni mulj se je sve do unazad nekoliko godina gotovo u cijelosti odlagao na odlagalištima krutog otpada i njegovo zbrinjavanje općenito nije izazivalo veću pažnju¹. Zbog europske strategije smanjenja udjela otpada koji se odlaže na komunalna odlagališta, otpadni mulj postaje problem čije zbrinjavanje zahtijeva dodatne procese obrade prije odlaganja ili ponovnog korištenja. Projektiranje kanalizacijskih sustava i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda mora obuhvatiti i rješenja za obradu i zbrinjavanje mulja budući da je ono sastavni dio cjelovitog postupka pročišćavanja otpadnih voda. Mogućnost ponovne upotrebe mulja ovisi u velikoj mjeri o njegovom fizikalnom i kemijskom sastavu, a sastav u značajnoj mjeri ovisi o tehnološkom procesu pročišćavanja vode i obrade mulja.

Mulj iz komunalnih otpadnih voda sadrži do 70% organskih hranjivih tvari koje se mogu koristiti, između ostalog, i kao poboljšivači strukture i plodnosti tla u poljoprivrednoj proizvodnji. Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/2013) mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda spada u posebne kategorije otpada. U Pravilniku o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/2008) definira se korištenje mulja kako bi se spriječile štetne posljedice za tlo, biljke, životinje i čovjeka, potičući time ispravno korištenje takvog mulja. Prema istom Pravilniku mulj se mora koristiti na adekvatan način, uvažavajući potrebe biljaka za hranjivima kao i očuvanje kvalitete tla, površinskih i podzemnih voda. Dozvoljeno je koristiti samo obrađeni mulj što podrazumijeva da ga treba podvrgnuti biološkoj, kemijskoj ili toplinskoj obradi, dugotrajnom skladištenju ili bio kojem drugom postupku kojim se znatno smanjuje fermentabilnost i opasnost po zdravlje koje bi proizišle iz njegovog korištenja. U članku 4. Pravilnika navodi se u kojim je sve slučajevima zabranjeno korištenje obrađenog mulja u poljoprivredi. Nadalje, obrađeni mulj treba sadržavati teške

¹ Šeremet, D. (2016). Mogućnosti zbrinjavanja viška aktivnog mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb (završni rad).

metale i organske tvari u količinama koje nisu veće od dopuštenih vrijednosti propisanih člancima 5. i 6. Pravilnika te mulj koji je stabiliziran na način da su u njemu uništeni patogeni organizmi i potencijalni uzročnici oboljenja.

Kompostiranje mulja iz pročištača komunalnih otpadnih voda sve se češće smatra kvalitetnim rješenjem od strane lokalne uprave diljem svijeta zbog niza prednosti koje ovaj način zbrinjavanja ima u odnosu na odlaganje spomenutog mulja.

1.2. Komina maslina

Maslinarstvo Hrvatske u snažnom je usponu. Razlog tome jesu prirodne blagodati koje omogućuju proizvodnju ekstra djevičanskih maslinovih ulja koja kvalitetom osvajaju sve više međunarodnih nagrada i priznanja, kao i činjenica da se stanovništvo priobalja i otoka sve više okreće maslinarstvu kao profitabilnoj djelatnosti. Površine pod kulturom masline rastu iz godine u godinu. Kako se većina plodova masline prerađuje u maslinovo ulje, porastom količina plodova raste i količina dobivenih nusproizvoda tijekom procesa prerade plodova u maslinovo ulje.

U procesu ekstrakcije maslinovog ulja iz plodova maslina, ovisno o tehnologiji ekstrakcije, nastaje nekoliko nusproizvoda. Jedan od najbitnijih je komina, tj. kruti ostatak. Komina je mesnata tvar koja nastaje nakon odstranjivanja većeg dijela ulja iz maslinovog tijesta. Komercijalna vrijednost komine masline većim dijelom ovisi o udjelu ulja i vode. Komina koja nastaje iz trofaznog sustava prerade, s manjim sadržajem vlage, ima višu komercijalnu vrijednost od one koja se dobije dvofaznim sustavom prerade. Što se tiče napretka u zadnjih nekoliko desetljeća, bitno je spomenuti da je komina dobivena tradicionalnim postupcima oko 1975. godine imala sadržaj ulja veći od 15%, dok ona koju dobivamo današnjim metodama ekstrakcije ima sadržaj ulja oko 3,5%² te je uglavnom sastavljena od vode koje ima oko 65%³, polisaharida i drugih šećera te fenolnih spojeva i raznih pigmenata⁴.

Otprilike se od 100 kg maslina dobije 35 kg komine⁴. To je tamna smjesa, intenzivnog mirisa i umjereno kisele pH vrijednosti. Sastav komine masline varira ovisno o sorti masline i postupku obrade ploda masline³. Komina se često podvrgava sušenju na 8-10% vlage, a u tu svrhu koriste se sušilice s vrućim zrakom. Osušena komina masline sadrži 45-50% koštice i 50-55% pulpe. S obzirom da pulpa sadrži

² Stefanoudaki, E., & Koutsaftakis, A. (1994, June). Characteristics of Waste Waters from Two and Three Phase Decanters. In Proc. of Proper Use of Wastewater, International Seminar in Sitia, Crete (pp. 19-25).

³ Nogueira, J. H. G. F. (2015). Valorization of olive pomace through combination of biocatalysis with supercritical fluid technology (Doctoral dissertation).

⁴ Nasopoulou, C., & Zabetakis, I. (2013). Agricultural and aquacultural potential of olive pomace a review. Journal of Agricultural Science, 5(7), 116.

10-15% ulja, ulje se iz komine masline izdvaja ekstrakcijom⁵. Komina masline sadrži znatan udio lignina, koji otežava njenu razgradnju mikroorganizmima i njihovim enzimima³.

Komina sadrži i fragmente kožice, sjemenke i, kao što je navedeno, nešto ulja. Glavne su joj komponente celuloza, proteini i voda. Sadržaj vlage komine nakon procesa prešanja je relativno nizak⁶, dok proces centrifugiranja rezultira visokim sadržajem vlage⁷.

Komina sadrži i polifenole. Fenolni spojevi su, zajedno sa lipidima, fitotoksični i pokazuju antimikrobno djelovanje. Fenoli koji se nalaze u komini mogu biti iskorišteni kao antioksidansi za druga ulja ili masti. Osim fenolima, komina je bogata i kalijem, čija je prisutnost karakteristična za otpad nastao pri preradi maslina. Međutim, siromašna je fosforom, kalcijem i magnezijem. Glavni mikroelement je željezo, dok je bakra, mangana i cinka nešto manje⁷.

Glavne organske komponente su lignin, hemiceluloza i celuloza. Druge važne komponente su masti, topivi ugljikohidrati i proteini. Visok sadržaj lignina u komini i njegov stupanj vezivanja na druge organske spojeve u lignocelulozne materijale može reducirati sposobnost mikroorganizama i njihovih enzima da razgrade kominu, ako se koristi kao kompost⁸.

Komina masline predstavlja problem onečišćenja okoliša na mediteranskim područjima, gdje se u vrlo kratkom vremenu proizvede u velikim količinama. Glavni problem onečišćenja okoliša predstavljaju velike količine fenolnih spojeva, lipida i organskih kiselina koje zaostaju u komini masline. Razlog je što se ovi spojevi razgrađuju do fitotoksičnih spojeva koji imaju negativne učinke na populaciju mikroorganizma u tlu i vodenom ekosustavu⁹. Osim toga, komina masline je izvor neugodnih mirisa koji se pripisuju hlapivim masnim kiselinama, naročito maslačnoj, kapronskoj, valerijanskoj i izobutiričnoj kiselini¹⁰. S obzirom da komina masline predstavlja jedan od glavnih otpada u mediteranskim zemljama, ona pokazuje velik

⁵ van Doosselaere, P. (2013). Production of oils. *Edible Oil Processing*, 55-96.

⁶ Frezotti, G., Manni, M., Aten, A. (1956.): *La eleotecnica rural*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.

⁷ Ranalli, A., & Angerosa, F. (1996). Integral centrifuges for olive oil extraction. The qualitative characteristics of products. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(4), 417-422.

⁸ Alburquerque, J. A., González, J., García, D., & Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresource technology*, 91(2), 195-200.

⁹ Roig-Juñent, S., Domínguez, M. C., Flores, G. E., & Mattoni, C. (2006). Biogeographic history of South American arid lands: A view from its arthropods using TASS analysis. *Journal of Arid Environments*, 66(3), 404-420.

¹⁰ Bhatnagar, A., Kaczala, F., Hogland, W., Marques, M., Paraskeva, C. A., Papadakis, V. G., & Sillanpää, M. (2014). Valorization of solid waste products from olive oil industry as potential adsorbents for water pollution control—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(1), 268-298.

potencijal kao sastojak u hrani za životinje i ribe¹¹. U novije vrijeme, komina masline predstavlja ekonomski i energetski prihvatljivu sirovinu za proizvodnju metana anaerobnom kodigestijom¹². Također se razmatraju postupci ekstrakcije organskih spojeva, naročito fenolnih spojeva koji pokazuju veliku antioksidacijsku aktivnost i potencijal u farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji⁹.

¹¹ Nasopoulou, C., & Zabetakis, I. (2013). Agricultural and aquacultural potential of olive pomace a review. *Journal of Agricultural Science*, 5(7), 116.

¹² Riggio, V., Comino, E., & Rosso, M. (2015). Energy production from anaerobic co-digestion processing of cow slurry, olive pomace and apple pulp. *Renewable energy*, 83, 1043-1049.

2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA OBRADNE KOMUNALNOG MULJA I KOMINA MASLINA U RH

2.1. Komunalni mulj

Prema podacima Hrvatske agencije za okoliš i prirodu¹³, u Hrvatskoj je 2014. godine u funkciji bilo 144 uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV), čiji je instalirani kapacitet iznosio 4,04 milijuna ekvivalent stanovnika (ES), od čega 1,67 milijuna ES čine uređaji s prethodnim i 1. stupnjem, 2,11 milijuna ES uređaji s 2. stupnjem te 0,26 milijuna ES s 3. stupnjem pročišćavanja. Uređajima se pročišćava otpadna voda od oko 35% stanovništva. Na vodnom području rijeke Dunav prevladava 2. stupanj, a na jadranskom vodnom području prethodni stupanj s podmorskim ispustom. Od svih uređaja u uporabi, najveći udio čine oni 2. stupnja. Najviše raste broj uređaja 2. i 3. stupnja, dok je udio uređaja s 1. stupnjem ostao na istoj razini, a preliminarno 1. pročišćavanje imalo blagi trend rasta. Za ispunjenje zahtjeva Direktive o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda¹⁴ predviđena su 543 projekta čime će biti obuhvaćena izgradnja i/ili rekonstrukcija sustava prikupljanja i odvodnje otpadnih voda te izgradnja, dogradnja i/ili rekonstrukcija uređaja različitih stupnjeva pročišćavanja¹⁵.

Prema prijavljenim podacima¹⁶, u razdoblju od 2009. godine do 2011. godine na korištenje u poljoprivredi upućivao se samo mulj iz biološke obrade otpadnih voda prehrambene industrije. Od 2012. godine se na korištenje u poljoprivredi upućuje i mulj iz uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, pri čemu je primjetan kontinuirani porast takvog načina korištenja mulja. U 2014. godini evidentira se pad količina mulja upućenih na korištenje u poljoprivredi kao posljedica privremenog skladištenja na lokacijama uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda ili upućivanja na odlaganje, dok se u 2015. godini i nadalje ponovo bilježi porast količina.

Podatke za 2016. godinu prijavilo je 10 proizvođača mulja te 10 korisnika mulja. Prema prijavljenim podacima proizvođača mulja, u 2016. godini je 1.555 tona suhe tvari mulja upućeno na korištenje u poljoprivredi i to kao poboljšivač tla na zelenim površinama, što je za 3 puta više od količine prijavljene za 2009. godinu. Od ukupne količine, 420 tona suhe tvari mulja koristilo se kao poboljšivač tla na zelenim površinama. Oko 30% ukupne količine mulja je prije u upućivanja korisniku bilo

¹³Odabrani pokazatelji okoliša i prirode u Hrvatskoj. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu. Zagreb. 2016.

¹⁴<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX-%3A31991L0271>

¹⁵<http://www.mppi.hr/UserDocsImages/Konferencija%20Vlade%20RH%20-Hrvatske%20vode-17.04.2015.pdf>

¹⁶Gospodarenje muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi – pregled podataka za 2016. godinu. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu. Zagreb. 2017.

podvrgnuto postupku kompostiranja na lokaciji proizvođača mulja. Prema prijavljenim podacima korisnika mulja, u 2016. godini na poljoprivredne i zelene površine korišteno je 1.140 tona suhe tvari mulja, što je gotovo jednako količini iz prethodne godine. Prije korištenja na poljoprivrednim i zelenim površinama, kod korisnika mulja (kompostane) kompostirano je 131 tona suhe tvari mulja.

U dokumentu „Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. godine“ kojeg je 2017. godine izradila Vlada Republike Hrvatske, navodi se da postojeći uređaji za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda godišnje proizvode oko 35.000-40.000 tona godišnje suhe tvari otpadnog mulja. Pritom su proizvođači otpada u informacijski sustav gospodarenja otpadom prijavili 65.976 tona otpadnog mulja s uređaja za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda i uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda, što odgovara oko 20.452 tona suhe tvari mulja. Procijenjeno je da se približno 5% te količine ili oko 2.000 tona mulja godišnje koristi u poljoprivredne svrhe od čega se oko 1.000 tona mulja godišnje, nakon miješanja s otpadom s javnih površina (lišće, trava, granje itd.), kompostira. Od ukupno 7 korisnika mulja u poljoprivredi, 2 su koristila mulj nakon prethodno provedenog kompostiranja. Preostali mulj uglavnom se odlaže na odlagališta, iz čega je vidljivo da trenutno u RH ne postoji odgovarajući način gospodarenja otpadnim muljem. Na turističkim područjima sezonske varijacije u proizvodnji mulja značajan su problem obzirom da se više od 70% turističkih noćenja ostvaruje u razdoblju od dva do tri mjeseca. Spomenute varijacije najveće su u obalnom području i to u Istarskoj županiji sa zimskom proizvodnjom od 73% i ljetnom proizvodnjom od 178% prosječne godišnje proizvodnje.

Prema izvršenim projekcijama¹⁷ vezanim za obradu otpadnog mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, ukupna proizvodnja mulja u Republici Hrvatskoj će se do 2024. godine utrostručiti, odnosno njegova se količina procjenjuje na 107.000 tona suhe tvari godišnje.

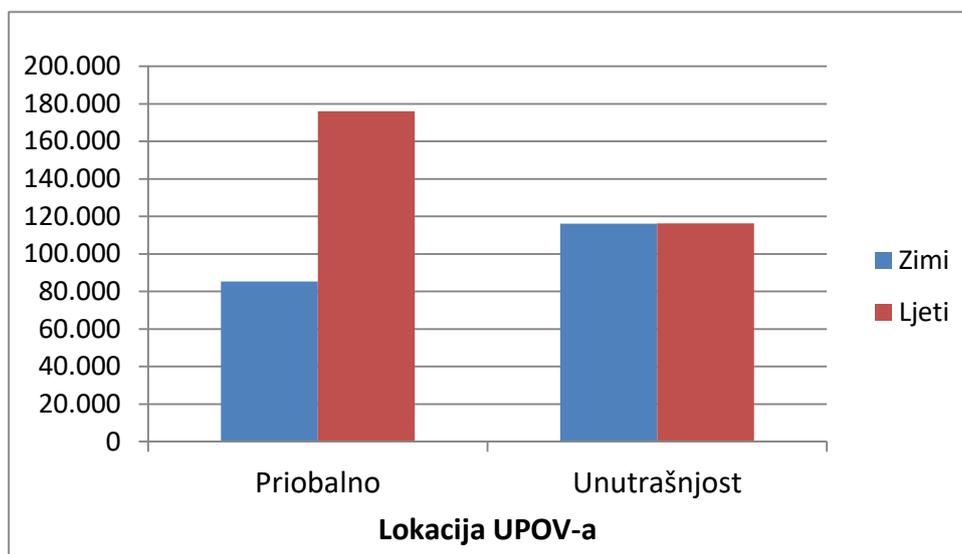
U istom se dokumentu navodi da prilikom uspostave sustava gospodarenja otpadnim muljem treba voditi računa o redu prvenstva gospodarenja otpadom odnosno u prvom redu materijalna uporaba i primjena na površinama pogodnima za primjenu mulja. Pritom treba voditi računa o ograničenjima u korištenju otpadnog mulja na poljoprivrednom zemljištu na način da se on koristi za uzgoj kultura koje nisu u sustavu proizvodnje hrane, uz zabranu korištenja u ekološkoj i integriranoj proizvodnji sukladno posebnim propisima.

¹⁷Obrada i zbrinjavanje otpada i mulja generiranog pročišćavanjem otpadnih voda na javnim sustavima odvodnje otpadnih voda gradova i općina u hrvatskim županijama, WYG International LTd, Hrvatske vode, 2013.

Za potrebe izrade ove studije izvršeno je anketiranje gospodarskih subjekata s područja Hrvatske koje upravljaju uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Podaci o kanalizacijskom mulju koji nastaje kao nus-proizvod obrade komunalnih otpadnih voda iz UPOV-a prikupljeni su u 11 komunalnih tvrtki smještenih u sljedećim gradovima, odnosno naseljima: Koprivnica, Virovitica, Slavonski Brod, Zadar, Rovinj, Pazin, Labin, Novigrad, Buje, Roč i Barban. U nastavku će se iznijeti rezultati obrade ovog anketnog istraživanja.

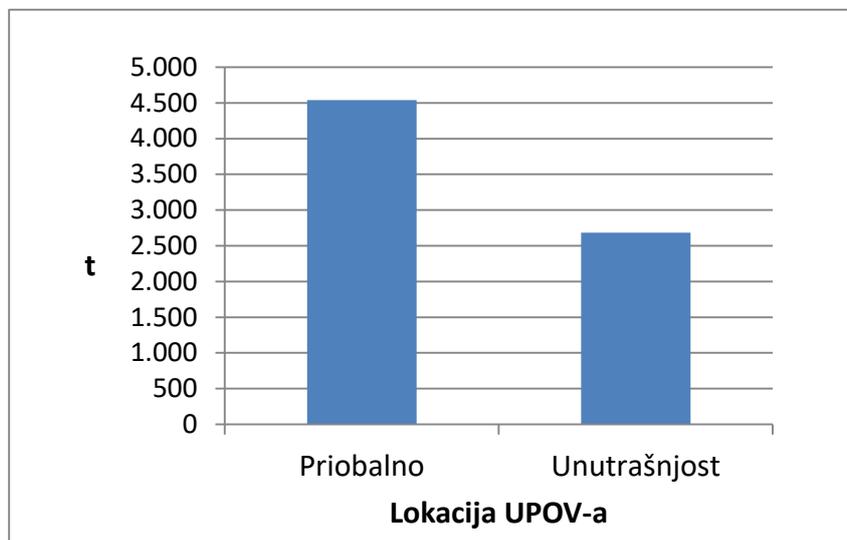
Anketirani UPOV-i imaju instalirani kapacitet obrade otpadnih voda za ukupno 440.000 ES, odnosno u prosjeku 40.000 ES. Njihove pojedinačne veličine vrlo su različite i kreću se od 1.000 ES do 100.000 ES. Grupirano u veličinske razrede, uzorkom je obuhvaćeno više velikih UPOV-a – 36% njih ima instalirani kapacitet veći od 50.000 ES, dok je kapacitet manji od 5.000 ES imalo instalirano 27% UPOV-a.

Anketiranim UPOV-ima gravitira ukupno 200.000 stanovnika u zimskom razdoblju, odnosno 290.000 stanovnika u ljetnom razdoblju godine. Analizom lokacije analiziranih UPOV-a utvrđeno je da su 4 smještena u priobalnom području (Zadar, Rovinj, Novigrad i Labin) i njima gravitira ukupno 85.000 domaćeg stanovništva. UPOV-i smješteni u unutrašnjosti pokrivaju područje na kojem živi 116.000 stanovnika. Prosječni instalirani kapacitet UPOV-a u priobalnom području iznosi 51.000 ES, a u unutrašnjosti 33.000 ES. Iz grafikonu 1. uočljiva je sezonalna varijabilnost broja korisnika UPOV-a u priobalnom području kod kojih je broj korisnika tijekom ljetnih mjeseci dvostruko veći nego tijekom zimskog razdoblje. S druge strane, kod UPOV-a smještenih u unutrašnjosti ne postoji veće oscilacije u broju korisnika tijekom godine.



Grafikon 1: Broj stanovnika koji gravitiraju UPOV-ima s obzirom na njihovu lokaciju

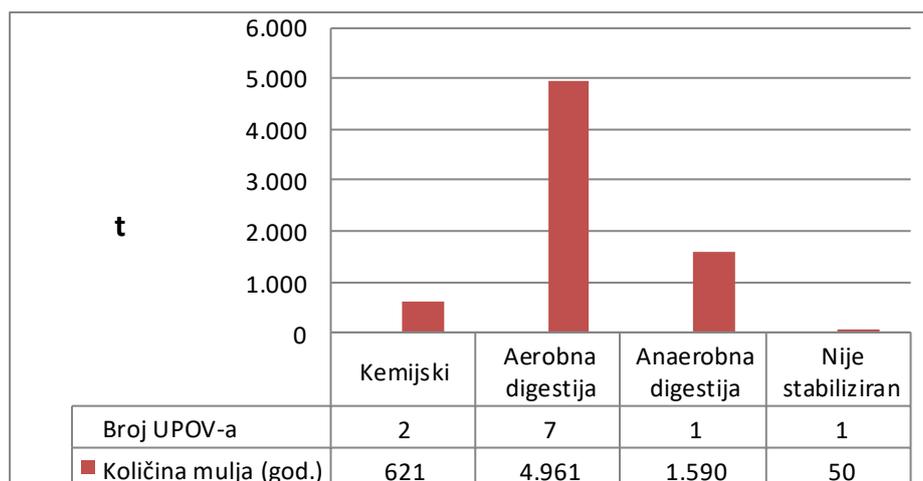
Bez obzira na manji broj domaćeg stanovništva na području priobalnih UPOV-a, na njima se tijekom godine proizvede 69% više kanalizijskog mulja nego kod UPOV-a u unutrašnjosti (grafikon 2) što ukazuje da je problem njegove obrade i zbrinjavanja naročito izražen u priobalnom području.



Grafikon 2: Količina proizvedenog komunalnog mulja s obzirom na lokaciju UPOV-a

Prosječna godišnja proizvodnja mulja po UPOV-u iznosila je 1.135 t u priobalju, odnosno 383 t u unutrašnjosti.

S obzirom na način stabiliziranja mulja prevladava metoda aerobne digestije koja je prisutna u 64% anketiranih UPOV-a i kojom se obrađuje 69% od ukupne količine proizvedenog mulja (grafikon 3).



Grafikon 3: Struktura UPOV-a prema načinu stabiliziranja mulja

Udio suhe tvari u proizvedenom komunalnom mulju najčešće se kreće u rasponu od 15-50% budući da je taj raspon udjela evidentiran kod 84% ukupno proizvedenog

mulja, odnosno kod 45% anketiranih UPOV-a. Udio suhe tvari manji od 15% imalo je 7% proizvedenog mulja, dok je 9% ukupno proizvedenog mulja imalo udio suhe tvari veći od 50%.

Na pitanje jesu li zadovoljni postojećim stanjem obrade i zbrinjavanja komunalnog mulja u vlastitim UPOV-ima, kod 17% ispitanika je dobiven potvrđan odgovor, dok je kod 83% njih odgovor bio negativan. Ispitanici koji su potvrđno odgovorili kao obrazloženje navodili su sljedeće:

- Mulj deponiramo na deponij komunalnog otpada.
- Višak aktivnog mulja zbrinjavamo kao neopasni otpad.
- Pošto je kvaliteta aktivnog mulja dobra vršimo njegovu uporaba.
- Obrađujemo mulj na MID-MIX postrojenju i odvozimo na kompostišće.

Ispitanici koji su na navedeno pitanje dali negativan odgovor naveli su sljedeća obrazloženja:

- Planiramo ubrzo izgraditi postrojenje za solarno sušenje mulja.
- Potrebno je na razini županije donijeti zajedničku strategiju zbrinjavanja mulja.
- Tražimo rješenja za korištenje mulja kao sekundarne sirovine u poljoprivredi, građevinarstvu ili kao energenta.
- Planiramo kompostirati mulj zajedno s biorazgradivim otpadom.

Na temelju iznijete analize može se zaključiti da postojeće stanje zbrinjavanja komunalnog mulja nije zadovoljavajuće jer trenutno ne postoji sveobuhvatno rješenje kojim bi se osiguralo njegovo dugoročno gospodarski isplativo i ekološki održivo korištenje i uporaba.

2.2. Komina maslina

Prema podacima Ministarstva poljoprivrede za 2016. godinu, u Hrvatskoj posluje 148 modernih uljara, odnosno ukupno 175 ako se uzmu u obzir i male, obiteljske uljare, te se njihov broj i ukupni raspoloživi kapacitet prerade svake se godine povećava. Ukupna proizvodnja komine maslina iznosi oko 300.000 t godišnje. Zbrinjavanje tog organskog materijala je zakonska obveza u Europskoj uniji, no nije reguliran način tog zbrinjavanja. Procjena količine otpada koji nastaje u proizvodnji maslinovog ulja u EU je oko 6,8 milijuna tona godišnje¹⁸.

U Hrvatskoj je pak Pravilnikom o ekološkoj proizvodnji u uzgoju bilja i u proizvodnji biljnih proizvoda (NN 91/2001) definirano da se otpad poljoprivredne proizvodnje ne

¹⁸ Taralas, G., & Kontominas, M. G. (2006). Pyrolysis of solid residues commencing from the olive oil food industry for potential hydrogen production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 76(1-2), 109-116.

može koristiti bez njegove određene obrade. Zbog navedenog, potrebno je istu obraditi, a to je moguće različitim tehnologijama među kojima su najzastupljenije kompostiranje i piroliza.

Međunarodno vijeće za masline (IOOC) izvijestilo je da svjetska proizvodnja maslinovog ulja u sezoni 2012/2013 iznosila 2,7 milijuna tona maslinovog, od čega 94% otpada na mediteransko područje. Uzevši u obzir prosječne randmane maslinovog ulja te postotak komine u masi ploda masline, dolazi se do izračuna da je te maslinarske sezone proizvedeno više gotovo 10 milijuna tona komine maslina.

Obzirom da je prosječna proizvodnja maslinovog ulja u Hrvatskoj je iznosila 4,15 tisuća tona (prosjeak za razdoblje 2010.-2014.)¹⁹, može se aproksimirati da je godišnja proizvodnja komine iznosila oko 15 tisuća tona. Zbog navedenog, komina masline predstavlja organski materijal koji je potrebno adekvatno valorizirati i zbrinuti, jer u protivnom predstavlja izraziti ekološki problem.

¹⁹ Mesić, Ž., Lončar, H., Dolić, Z., & Tomić, M. (2016). Analiza svjetskog i hrvatskog tržišta maslinovog ulja. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 77(4-6), 227-240.

3. MOGUĆNOSTI OBRADJE I KORIŠTENJA KOMUNALNOG MULJA I KOMINE MASLINA U POLJOPRIVREDI

3.1. Obrada komunalnog mulja

Obradeni mulj sa uređaja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda može se zbrinuti na sljedeće načine:

- upotrebom u poljoprivredi, odnosno za slične namjene kao što su cvjećarstvo, šumarstvo, pašnjaci, sanacija oštećenih dijelova zemljišta;
- korištenjem mulja kao energenta proizvodnjom bioplina i postupcima termičke obrade;
- odlaganjem na posebno uređenim odlagalištima samo za mulj, lagunama i sl.
- korištenjem mulja kao materijala u građevinarstvu ili vrijedne sirovine u industriji

Ukoliko mulj želimo koristiti kao resurs, postoji više načina njegovog korištenja od kojih se u Europi i svijetu najčešće koriste sljedeći načini:

1. Higijenzacija i korištenje za fertilizaciju poljoprivrednog zemljišta. U Njemačkoj se godišnje proizvede 2.000.000 tona suhe tvari mulja. Od toga se 30% iskoristi u poljoprivredi, a za usporedbu, u Kaliforniji (SAD) se godišnje proizvede 680.000 tona suhe tvari mulja, od čega se u poljoprivredi koristi 70%;

2. Termička obrada spaljivanjem u industrijskim ili specijaliziranim pećima što je jedan od najprihvatljivijih načina sa ekološkog i higijenskog, a također i sa ekonomskog aspekta jer sadrži oko 70% organske tvari čija se energetska vrijednost može iskoristiti.

3. Primjena komposta od komunalnog mulja u poljoprivredi se u Europi i diljem svijeta sve češće smatra kvalitetnim rješenjem recikliranja navedenog otpada zbog ekonomske opravdanosti kompostiranja mulja kao i pozitivnog učinaka komposta na plodnost i strukturu tla te iskoristivost hraniva.

4. Korištenje obradenog komunalnog mulja u građevinarstvu na način da se pepeo od mulja može koristiti i u proizvodnji opeka u kombinaciji sa usitnjenim granitom²⁰. Komunalni mulj može također poslužiti i kao sirovina u proizvodnji cementa²¹.

²⁰ Ciešlik, B. M., Namiešnik, J., & Konieczka, P. (2015). Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *Journal of Cleaner Production*, 90, 1-15.

²¹ Fytali, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(1), 116-140.

5. Ekstrakcija fosfora (P) iz obrađenog komunalnog mulja u svrhu njegovog korištenja kao mineralnog gnojiva u poljoprivredi ili kemijskoj industriji. Postoji više različitih metoda za izvlačenje P iz navedenog otpada koje se konstantno unaprjeđuju. Kod nekih od metoda se P ekstrahira iz pepela nakon spaljivanja mulja a kod drugih iz dehidriranog komunalnog mulja¹⁸.

6. Ekstrakcija rijetkih zemljišnih elemenata (Te, Bi, Sb, In, Ga, Sn, Ge...) iz pepela komunalnog mulja u svrhu njihovog korištenja u industriji. Rijetki zemljišni elementi se na primjer često koriste u industriji kao katalizatori. Navedeni način korištenja komunalnog mulja kao vrijednog resursa je osobito perspektivan u visoko razvijenim zemljama poput Japana u kojoj se godišnje provodi 30% svjetske prerade rijetkih zemnih elemenata¹⁸.

U nastavku će se opisati tri načina obrade i korištenja komunalnog mulja: piroliza, korištenje u bioplinskom postrojenju i kompostiranje.

3.1.1. Piroliza mulja

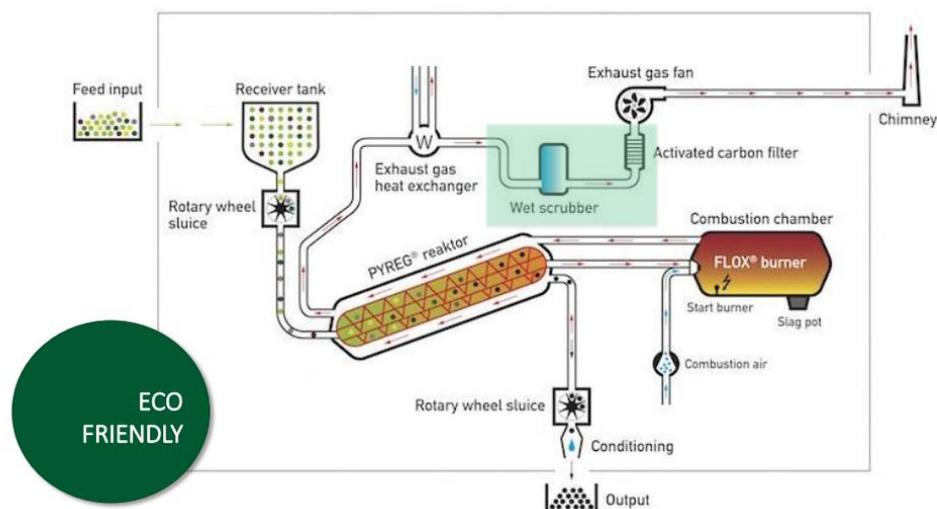
Pirolitička proizvodnja biougljena nije nova tehnologija već se ona koristila prije 5500 godina na područjima južne Europe te Bliskog istoka, te za proizvodnju katrana u starom Egiptu²². Kemijske i fizikalne karakteristike biougljena znatno ovise o karakteristikama sirovine koja se upotrebljava za samu proizvodnju te o načinu na koji se proces pirolize provodi (temperatura, vrijeme, predtretman i sl.). Završni proizvod, ovisno o navedenim faktorima varira u nekoliko segmenata: udio pepela, gustoća, poroznost, veličina i distribucija pora, površina čestica, adsorpcijski kapacitet za vodu i ione, pH te uniformnost, fizička struktura i slično²³. Sastoji se od elementarnog ugljika s vodikom, i njegov prinos u postupku pirolize najčešće iznosi od 20-26%.

²² Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619-1640.

²³ Laird, D. A., Rogovska, N. P., Garcia-Perez, M., Collins, H. P., Streubel, J. D., & Smith, M. (2011). Pyrolysis and biochar—opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In *Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six US regions*, in proceedings of the sustainable feedstocks for advanced biofuels workshop (pp. 257-281). Atlanta, GA: SWCS publisher.

Polazna sirovina za proizvodnju biougljena je isključivo otpadna biomasa, u koju ubrajamo i komunalni mulj. Radi se o stabilnom materijalu koji posjeduje kondenziranu aromatsku strukturu²⁴. Biougljen ima sposobnost stupiti u interakciju s mineralnim česticama tla, čime mu se stabilnost dodatno povećava²⁵. Sevilla i Fuertes²⁶ biougljen opisuju kao materijal visoke poroznosti i velike aktivne površine koji posjeduje odličnu fizikalno - kemijsku stabilnost i dobru površinsku reaktivnost. Na razvoj ideje o primjeni biougljena kao kondicionera tla dolazi se preko spoznaje da karbonizirana organska tvar predstavlja vrlo bitnu komponentu mnogih tala. Osim za kondicioniranje tala, biougljen postaje prepoznat i kao važan produkt korišten za smanjivanje emisije stakleničkih plinova, imobilizaciju polutanata, te filtraciju vode²⁷.

Postoje različite tehnologije i uređaji za provedbu spore pirolize komunalnog mulja, a jedna od najsuvremenijih jest PYREG tehnologija²⁸. Obzirom da komunalni mulj sadrži povećane količine vrijednog fosfora koji dolazi iz sredstva za čišćenje, ta tehnologija pretvara mulj u biougljen s karakteristikama mineralnog (fosfornog) gnojiva. Sam proces je shematski prikazan na slici 1. Osnovne komponente jesu reaktor i komora za sagorijevanje.



Slika 1. Proizvodnja biougljena iz komunalnog mulja PYREG sustavom (izvor: www.pyreg.de)

²⁴ Roberts, K. G., Gloy, B. A., Joseph, S., Scott, N. R., & Lehmann, J. (2009). Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environmental science & technology*, 44(2), 827-833.

²⁵ Brodowski, S., John, B., Flessa, H., & Amelung, W. (2006). Aggregate-occluded black carbon in soil. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 539-546.

²⁶ Sevilla, M., & Fuertes, A. B. (2009). The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. *Carbon*, 47(9), 2281-2289.

²⁷ Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., ... & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33.

²⁸ <https://www.pyreg.de/karbonisierung/?lang=en>

Takav način pirolize mulja potpuno obrađuje taj organski materijal i pretvara ga u biougljen. Jednim se takvim postrojenjem može godišnje obraditi do 1.400 tona suhe tvari komunalnog mulja i proizvesti do 500 tona biougljena.

Cijena takvog načina obrade (cijena uređaja, bez popratne infrastrukture) korištenjem PYREG sustava, ovisno o kapacitetu obrade mulja, košta od 600.000,00 do 1.200.000,00 eura.

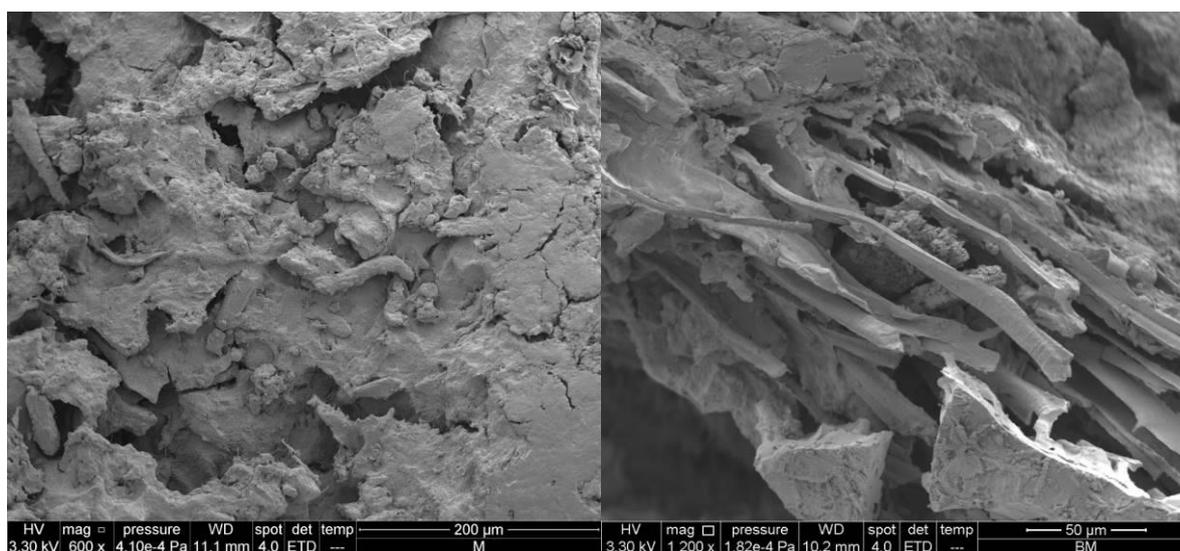
Dobiveni biougljen predstavlja vrijedno mineralno gnojivo s povećanom količinom ugljika i fosfora. Isti je pogodan za primjenu na poljoprivrednim tlima jer, osim gnojidbenog učinka, pozitivno utječe na strukturu tla i vodozračne odnose. Zbog navedenog, područje njegove primjene je sva poljoprivredna proizvodnja. Međutim, nužne su korekcije Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi jer su pirolizom anulirane negativne komponente zbog kojih u navedenom Pravilniku postoje ograničenja u područjima primjene obrađenog mulja. U trenutnim zakonskim okvirima ovaj je proizvod nije moguće primijeniti na različite poljoprivredne površine poput onih na kojima se proizvodi voće i povrće, ali i na tlima čiji je pH niži od 5, što nije logično jer je riječ o alkalnom materijalu koji bi, uz gnojidbu, istovremeno mogao vršiti i kalcizaciju terena. Takav način obrade proizvodi bezmirisno mineralno gnojivo bogato hranivima, u kojem su anulirana organska onečišćenja, a količine teških metala su ispod onih propisanih Pravilnikom. Zbog svega navedenog, potrebno nastaviti s istraživanjima pirolize kao kvalitetnog načina zbrinjavanja i uporabi komunalnog mulja u poljoprivredi.

Vlastita istraživanja

Biougljen od komunalnog mulja i komine masline proizveden je na jednak način. Proces proizvodnje biočara korištenjem metalnog uređaja tipa 'kon-tiki' zasniva se na principu piroliziranja sloja po sloja biomase u konusnom metalnom uređaju (slika 2). Na dno kontiki uređaja pali se vatra, koja pokreće pirolizu sloja organskog materijala. Kada tanki sloj pougljeni (slika 2), dodaje se homogeno sljedeći tanki sloj biomase. Temperatura pirolize tijekom proizvodnje biougljena kretala se od 410 do 470°C, a mjerena je pomoću termoelementa – NiCrNi spojenog na digitalni pokazivač. Kada se dobila željena količina biougljena, proces se zaustavio punjenjem uređaja vodom, čime su se ujedno ispirale nečistoće s proizvedenog biougljena (slika 2). Biougljen mijenja svoju strukturu u odnosu na ishodišni materijal, što je vidljivo na SEM snimci (slika 3).



Slika 2. Proces proizvodnje biougljena (foto: I. Palčić)



Slika 3. SEM usporedba čestica komunalnog mulja i biougljena od mulja (foto: T. Zubin Ferri)

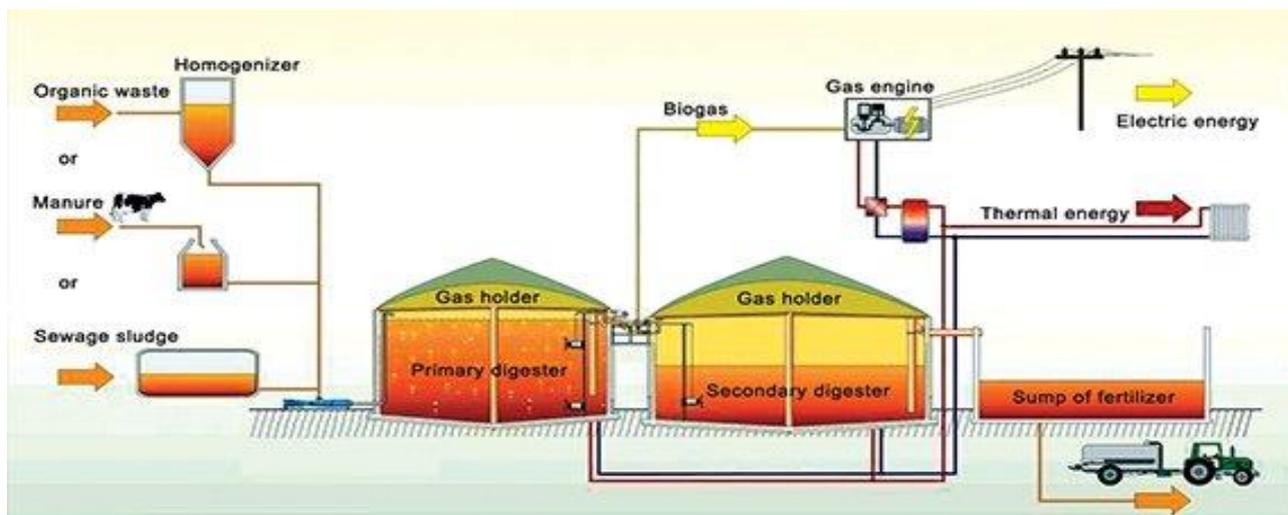
3.1.2. Bioplinsko postrojenje za mulj

Bioplin se proizvodi anaerobnom digestijom pomoću mikroorganizama iz sirovina bogatih organskom tvari kao što su komunalni mulj, životinjski otpad te organski otpad iz kućanstva. Pri proizvodnji bioplina iz komunalnog mulja od 80% do 85% bioplina proizvede se u prvih 14 do 18 dana dok proces traje i do 30 dana²⁹.

Bioplin je važan energent za proizvodnju električne i toplinske energije i to s aspekta obnovljivih izvora energije. Sastoji se od metana (55-75%), ugljikovog dioksida (25-45%), dušika (0-5%), vodika (0-1%), vodikovog sulfida (0-1%) te kisika (0-2%). Komunalni mulj u velikoj mjeri sadrži proteine, šećere, deterdžente, fenole i lipide. Digestija komunalnog mulja odvija se u nekoliko faza: acidogenezi, acetogenezi te konačno metanogenezi.

Bioplin se može dobiti od tekuće ili krute sirovine koja se putem dozirnih kontejnera i transportnih traka dovodi u fermentor. Tekuća faza (npr. komunalni mulj) se skladišti i homogenizira u za to predviđenoj prijamnoj jami te se putem cjevovoda i tlačnih pumpi prepumpava u fermentor gdje se dalje miješa sustavima za homogeniziranje. Nastali plin se obrađuje hlađenjem i filtriranjem kroz aktivni ugljen. Plin se plinovodom zatim upućuje u plinski motor gdje izgaranjem stvara električnu energiju dok se proizvedena toplina koristi za zagrijavanje fermentora i postfermentora. Nakon vremena retencije u trajanju od 30 - 45 dana, masa se iz fermentora transportira u postfermentor, gdje ostaje 15 - 30 dana, tj. do isteka vremena retencije od 60 dana. U postfermentoru dolazi do završetka procesa metanogeneze, odnosno, stvaranja bioplina, te iskorištena masa odlazi na separaciju, gdje se odvaja kruta i tekuća faza. Kruta faza odlazi na kompostiranje, dok se tekuća faza skladišti u za to predviđenoj laguni. Cijeli proces je prikazan na slici 4.

²⁹ Demirbas, A., Taylan, O., and Kaya, D. (2016). Biogas production from municipal sewage sludge (MSS). *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* 38, 3027–3033. doi:10.1080/15567036.2015.1124944.



Slika 4. Shematski prikaz postrojenja za bioplin (Izvor: Mena Water - <https://mena-water.com/products/biogas-plant/>)

Izgled postrojenja za bioplin ovisi o vrsti i količini sirovine za proizvodnju bioplina. Kao granica između mokrog i suhog postupka digestije u proizvodnji bioplina navodi se udio od 15% suhe tvari. S obzirom na sastav komunalnog mulja, odnosno na veliki udio vode u ukupnom sastavu očekuje se da će u proizvodnji bioplina biti prikladniji postupak mokre digestije.

Sam postupak proizvodnje bioplina se odvija u 4 koraka:

- Skladištenje i eventualno prethodna obrada sirovine;
- Proizvodnja bioplina aerobnom digestijom u mokrom postupku;
- Skladištenje digestata;
- Upotreba i/ili skladištenje bioplina.

Preduvjet mokrog postupka anaerobne digestije je udio suhe tvari manji od 12% u digestoru što se može regulirati recirkulacijom vode nastale u postupku digestije. Postupak anaerobne digestije traje od 14 do 30 dana te se može odvijati u jednom reaktoru ili u više odvojenih faza kroz sva 4 stadija digestije (hidroliza, acidogeneza, acedogeneza i metanogeneza). Korištenjem jednofaznog postupka smanjuju se inicijalni troškovi pogona te je sam proces jednostavniji u usporedbi s višefaznim postupkom iako je količina dobivenog bioplina manja. Kao krajnji produkt postupka je digestat s udjelom suhe tvari od 5%. Kako bi se digestat mogao koristiti u postupku kompostiranja potrebno je povećati udio suhe tvari na 25% do 30% pomoću preša.



Slika 5. UPOV „Slavonski Brod“
(Izvor Elmap - <http://www.elmap.hr/hr/reference/3-upov-slavonski-brod>)

Instalacija ovakvog sustava zbog niže iskoristivosti komunalnog mulja u dobivanju bioplina u odnosu na druge sirovine (npr. kukuruza) energetski je isplativa izgradnjom uz UPOV-e minimalnog kapaciteta 100.000 ES-a, uz uvjet interne upotrebe proizvedene električne i toplinske energije. Primjer navedenog sustava je UPOV „Slavonski Brod“ koji je izgrađen 2013. godine uz investiciju od €11.600.000 (slika 5). Uređaj je kapaciteta 80.000 ES te posjeduje treći stupanj pročišćavanja otpadnih voda kao i postrojenje za bioplin koji se koristi za proizvodnju toplinske energije.

Ukoliko se gradi sustav za proizvodnju bioplina uz pogon za kompostiranje sustav može biti isplativ uz uvjet da se koriste i druge sirovine poput krutog otpada no tada opterećenje mora biti visoko uz preduvjet visoke cijene zbrinjavanja otpada. Primjer takvog sustava zbrinjavanja otpada je kompostana Codroipo u blizini Udina (Italija) koja ima kapacitet obrade 45.000 tona otpada godišnje te posjeduje sustav za proizvodnju bioplina (slika 6). Procijenjena vrijednost investicije ovog projekta je €15.000.000 gdje je €5.000.000 procijenjena vrijednost postrojenja za proizvodnju bioplina.



Slika 6. Kompostana Codroipo blizu Udina, Italija
(Izvor Irpinia News -<http://www.irpinianews.it/devizia-codroipo-rifiuti-organici-eccellenza/>)

U slučaju Republike Hrvatske cijena zbrinjavanja otpada je relativno niska te se ne raspolaže s velikim količinama otpada što dovodi u pitanje isplativost ovakvog pogona za obradu komunalnog mulja.

3.1.3. Kompostiranje mulja

Mulj iz pročištača komunalnih otpadnih voda se najčešće obradi prije primjene na poljoprivrednim površinama kako bi bio sanitarno ispravan i neškodljiv za tlo i biljku. Postoji cijeli niz metoda obrade organskih otpada i one se konstantno unapređuju. Proces kompostiranja organskog otpada je vjerojatno jedan od najstarijih načina obrade organskog otpada. Predstavlja biooksidacijski proces koji obuhvaća mineralizaciju i djelomičnu humifikaciju organske tvari, stvarajući stabilizirani konačni proizvod³⁰. Kompostiranje mulja iz pročištača komunalnih otpadnih voda sve se češće smatra kvalitetnim rješenjem od strane lokalne uprave diljem svijeta zbog niza prednosti koje ovaj način zbrinjavanja ima u odnosu na odlaganje spomenutog mulja³¹. Kompostiranje je sa okolišnog aspekta i dobra alternativa anaerobnoj razgradnji organskog otpada poput anaerobne fermentacije velikih hrpa stajskog gnoja jer se u uvjetima bez prisutnosti kisika, zbog aktivnosti metanogenih bakterija, stvara metan. Stoga aerobna razgradnja organskih materijala znači i dobru prevenciju za smanjenje emisija metana u atmosferu.

³⁰Haddadin MSY, Haddadin J, Arabiyat OI, Hattar B (2009). Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*, 100: 4773-4782.

³¹Wei Y, Liu Y (2005) Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. *Chemosphere*, 59: 1257-1265.

Upotreba organskih otpadnih materijala kao poboljšivača tla, poput kompostiranog mulja iz pročištača otpadnih voda, postaje izrazito zanimljiva zbog pozitivnog djelovanja na strukturu i plodnost tla, kao i na prinos. Primjena otpadnog mulja u poljoprivredi je vrijedan izvor recikliranih komponenata poput organske tvari, N, P i drugih biljnih hraniva. Zbog navedenih svojstava, otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje komunalnih voda može isključiti potrebu za komercijalno proizvedenim gnojivima³². Primjena otpadnih muljeva u poljoprivredi trenutno predstavlja globalno najpristupačniju opciju za njihovu obradu i zbrinjavanje u EU³³.

Primjena komposta na poljoprivrednim tlima ima također niz prednosti, uključujući opskrbu dodatnim količinama hraniva, smanjenje kiselosti tala, sprečavanje erozije tla, povećanje pozitivnih organizama u tlu, smanjenje potrebe za gnojivima i pesticidima, poboljšanje fizikalnih i bioloških svojstava tla, ali i sprječavanje odlaganja organskog otpada na odlagališta³⁴.

Premda primjena obrađenog mulja ima niz prednosti, ipak može imati i negativne posljedice na okoliš ukoliko su količine korištenog mulja na poljoprivrednim površinama veće od onih koje su propisane zakonom. Bitno je naglasiti da gnojiva bazirana na mulju mogu dovesti do potencijalne prijetnje od ispiranja P u površinske vode i pojave eutrofikacije. Različiti su autori utvrdili da primjena mulja iz pročištača otpadnih voda izravno u poljoprivredna tla dimenzionirana prema potrebama određene kulture za dušikom ujedno dovodi do prekomjerne primjene P i njegovog akumuliranja u tlu.

Kako bi se komunalni mulj valorizirao kroz korištenje u poljoprivredne svrhe, jedno od kvalitetnih rješenja jest svakako kompostiranje mulja, koje se može provest pomoću različitih tehnologija:

- u otvorenim sustavima (windrows);
- u aeriranim statičnim hrpama;
- u bioreaktorima
- u zatvorenim sustavima (tunelima).

³²Singh RP, Agrawal M (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28: 347-358.

³³Fytilli D, Zabaniotou A (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 116-140.

³⁴Toscano P, Montemurro F (2012). Olive mill by-products management. In: Muzzalupo I (2012) *Agricultural and Biological Sciences. Olive Germplasm - The Olive Cultivation, Table Olive and Olive Oil Industry in Italy*. InTech, CC BY 3.0 license, p. 384.

3.1.3.1. Kompostiranje komunalnog mulja pomoću otvorenog sustava (*windrows*)

Ova metoda kompostiranja sastoji se od raspoređivanja polazne sirovine u dugačke trake (*windrows*), obično kao trokutaste ili tarpezne trake sa stanovitim suženjem, koje se pomiču ili povremeno prevrću.



Slika 7. Kompostno zemljište s dugim trakama (*windrows*) spremnim za prevrtanje (<https://www.ttu.ee/public/p/polevkivi-kompetentsikeskus/Polevkivikonverents/2010/lombitnei-27-04-2010.pdf>)

Visina traka ovisi o obilježjima supstrata i pokretnom stroju. Jako gusta sirovina (npr. neke vrste stajskog gnoja) sklona zbijanju, mora se rasporediti u kompostne hrpe od 1,2 – 1,5 m. Naprotiv, kod mekših materijala, kao što je mulj iz uređaja za pročišćavanje miješan u obliku usitnjena drva, mogu se formirati kompostne hrpe od 2 – 3 m visine, a ponekad i više. Uobičajeno je da temelj hrpa varira od 3 do 6 m. Bageri mogu s lakoćom obrađivati i više trake. Prevrtači, za vuču ili samohodni, prikladni su za hrpe više od 3 m. Hrpe se ventiliraju najviše zahvaljujući strujanju zraka i konvekcijskim i difuznim gibanjima istog. Izmjena zraka u kompostnoj sirovini ovisi o poroznosti hrpe. Dakle, dimenzija kompatibilne hrpe za učinkovito ventiliranje ovisi o poroznosti iste. Prevelike hrpe sklone su zbijanju, što može dovesti do anaerobnih reakcija u središnjem dijelu. Naprotiv, kod traka manjih dimenzija prebrzo opada temperatura, uslijed toga ne postižu se temperature potrebne za progresivno isparavanje vode i za uništavanje mogućih patogenih organizama. Prevrtnjem se omogućuje miješanje materijala čime se također smanjuje površina parcela, a povećava se raspoloživa površina za napad mikroba. Time se obnavlja poroznost obradne sirovine te istovremeno se povećavaju pasivne razmjene vodene pare i drugih plinova nastalih u unutarnjoj atmosferi hrpe. Iako se trake prozračuju prilikom prevrtanja, mikroorganizmi vrlo brzo potroše kisik unesen s pomoću pokretanja između praznina u sirovini. Stoga, ishod prevrtanja je ciklička varijacija koncentracije

kisika unutar hrpe. Biološka oksidacija ne može neprestano održavati najvišu učinkovitost jer, između pokretanja, koncentracija kisika predstavlja ograničavajući faktor.

Osim toga prevrtanje omogućuje redistribuciju različitih slojeva sirovine u hrpi, s obzirom na različite profile. Tako se materijal na površini zamjenjuje onime iz unutarnjih slojeva hrpe i suprotno. Time se omogućuje podjednaka izloženost čitave sirovine u jednom trenutku atmosferi bogatoj kisikom na površini, a u drugom trenutku visokim temperaturama unutar hrpe. Na taj je način supstratna biomasa podvrgnuta homogenoj stabilizaciji i učinkovitoj dezinfekciji.

Učestalost prevrtanja ovisi o stupnju razgradnje biomase, količini vlage i poroznosti supstrata. S obzirom na to da je stupanj razgradnje uobičajeno jako visok u početnim fazama postupka, učestalost prevrtanja može se smanjivati u skladu s dobi hrpe. Jako truljive sirovine mogu iziskivati svakodnevno prevrtanje u početnoj fazi kompostiranja. Kako napreduje biostabilizacija, učestalost se može smanjiti na jedno prevrtanje tjedno. Pojava neugodnih mirisa, brz pad temperature ili pretjerana akumulacija topline do granica ugrožavanja vitalnosti mikroorganizama, sve su okolnosti zbog kojih je prevrtanje potrebno. Za trajanja razdoblja reprodukcije muha, hrpe se moraju prevrtati najmanje jednom tjedno, neovisno o kretanjima temperature sirovine, tako da se prekine biološki ciklus insekata.

Kako napreduje postupak stabilizacije, hrpe se smanjuju pa je prikladno spajanje dviju ili više hrpi u novu jedinstvenu traku kako bi se spriječilo pretjerano rasipanje topline. Kod kompostiranja na otvorenom, takvo rješenje je od ključne važnosti, posebice tijekom zime.



Slika 8. Konvejer za prevrtanje hrpa, prikazan je stroj za vuču traktorom, niže je prikazana ista vrsta stroja, samohodna verzija. U oba slučaja, prilikom svakog prolaza, pokretni stroj obrađuje samo jednu polovicu hrpe (Mondo Pulito).

Metodom redovitog prevrtanja hrpe, faza aktivnog kompostiranja obično traje od tri do devet tjedana, ovisno o svojstvima polaznog supstrata i učestalosti pomicanja. Za izlazak iz faze intenzivne biološke aktivnosti u tri - četiri tjedna, potrebno je ponavljati postupak prevrtanja jednom do dva puta dnevno u prvom tjednu postupka, nakon toga, jedno prevrtanje svaka dva do tri dana.

Praktična iskustva

U sklopu projekta posjećen je pogon Fri-El na sjeveru Italije, u mjestu Boara Polesine koji na sličan način kompostira komunalni mulj. Međutim, komunalni mulj koji se kompostira ne nalazi se u redovima, već bazenima gdje se uz dodatak zelenog otpada povremeno miješa i na taj način kompostira na otvorenom (slika 9). Na takvu vrstu obrade dolazi već digerirani mulj, čime se svakako smanjuju neugodni mirisi. Takav se mulj primjenjuje na poljoprivredne površine u količini koja je znatno viša od propisane u RH, odnosno u količini do 5,7 t suhe tvari po hektaru.



Slika 9. Kompostiranje komunalnog mulja u bazenima (foto: I. Palčić)

3.1.3.2. Kompostiranje komunalnog mulja pomoću statičkih prozračnih hrpa

Ovom metodom nije potrebno pomicati kompostni materijal, a dovod kisika omogućen je cirkulacijom zraka kroz odgovarajuće sustave difuznih cijevi. Ono po čemu se metode bitno razlikuju jesu sustavi kod kojih se primjenjuje pasivno ventiliranje hrpa i sustava kod kojih se primjenjuje prisilno ventiliranje.

Kompostiranje s pasivno ventiliranim hrpama predviđa prijenos zraka unutar obradnog supstrata kroz sklop protkanih cijevi uronjenih u hrpu. Otvoreni krajevi cijevi prodiru izvan hrpe. Zrak struji kroz cijevi te se, kroz perforacije po čitavoj dužini

uronjenog dijela u organsku tvar, raspršuje kroz profil hrpe, s pomoću efekta dimnjaka kojeg stvaraju topli plinovi, koji se provlače prema vanjskim slojevima kako bi na kraju proizašli na površinu supstrata.

Hrpe ne smiju biti više od 1 – 1,2 m i po površini prekrivene slojem od oko 10 cm koji se sastoji od zrelog komposta, slame ili treseta. Taj vanjski sloj služi kao toplinska izolacija i za adsorpciju neugodnih mirisa. Budući da, jednom kada se formira, hrpa se više ne pomiče sve do kraja postupka, potrebno je dobro pomiješati polazni supstrat kako bi postao što homogeniji i što prikladnije teksture, moguće je upotrijebiti pomoćne aktivne tvari od drva i celuloze (npr. usitnjena slama, drvene strugotine itd.). Cijevi za ventiliranje postavljene su na podlozi hrpe, iznad sloja zrelog komposta, slame ili treseta, poput onoga kojim će se izolirati kompostna sirovina. Najčešće se cijevi postavljaju s perforacijama nadolje kako bi se spriječilo začepljenje i ispuštanje kondenzata. Kada se postupak kompostiranja okonča, cijevi se jednostavno izvlače iz sirovine i iskorišteni materijal za izolaciju pomiješa se s kompostom.

Ova metoda kompostiranja posebno je zanimljiva za obradu ostataka nekih tvornica za konzerviranje, čije tvari sadrže jake mirise i visoke koncentracije dušičnih spojeva (npr. otpad od obrade mekušaca i rakova, gnojovke od svinjogojstva, otpad iz klaonice i iz riblje industrije itd.)

Metoda ventiliranih statičkih hrpi temelji se na upotrebi sklopova koji prisilno dovode protok zraka kroz kompostnu sirovinu. Takvi sklopovi općenito omogućuju veći nadzor postupka. Postoje dva načina opskrbe zrakom obradnih organskih sirovina: s pomoću usisavanja zraka s površine hrpe (suction ili vacuum induced ventilation) ili s pomoću prisilnog upuhivanja zraka u supstrat (blowing ili forced pressure ventilation).

Tehnikom statičkih hrpi s prisilnim ventiliranjem, polazni supstrati, koji su eventualno izmiješani s odgovarajućim pomoćnim aktivnim tvarima koje povećavaju poroznost, postavljeni su na hrpe na postolju koje je prekriveno slojem usitnjenog drva, usitnjene slame ili drugim poroznim materijalom.

U sloju poroznog materijala nalaze se cijevi za ventiliranje koje su prikladno perforirane. U najnovijim sustavima, izbjegava se postavljanje cijevi za ventiliranje na površini postolja za kompostiranje, već se na njemu postavljaju rešetkasti svornjaci gdje su položene cijevi ili oni sami djeluju kao ventilacijski kanali. Sustav cijevi spojen je na ventilator koji može usisavati zrak ili gurati ga kroz kompostnu sirovinu. Kako bi se osigurao ujednačen protok zraka kroz obradnu sirovinu, hrpe ne smiju biti više od 2,5 m visine.

Vlastita istraživanja

U okviru projekta Redgreenplant provedena su istraživanja u sklopu kojih koristio se sustav statičnih hrpa bez primjene difuznih cijevi unutar hrpe u otvorenom prostoru s nadstrešnicom na pokusnom poljoprivrednom imanju Instituta za poljoprivredu i turizam. Stoga je bilo potrebno redovito prevrtanje i obraćanje supstrata svaka 3 do 4 tjedna kako bi postigli dovoljnu prozračnost komposta. Budući da je CN omjer otpadnog mulja nizak što onemogućuje mikrobnu razgradnju organske tvari, u pripremi kompostne biomase je upotrijebljena slama pšenice kao dodatni organski materijal koji ima visok CN omjer. Kompostiranje komunalnog mulja je započelo 1.6. 2017. godine na način da je 1 m³ dehidriranog mulja pomiješan sa 40 kilograma pšenične slame (slika 10, 11). Navedena mješavina otpada postavljena je u komposter izgrađen od betonskih cigla (slika 12). Time je osigurana adekvatna toplinska izolacija kompostne hrpe u svrhu bolje retencije temperature unutar komposta. Hrpa komposta je pokrivena s folijom kao bi se kompost dodatno zaštitio od gubitka temperature i vlage. Tijekom miješanja komposta dodavanjem vode osigurana je odgovarajuća vlažnost komposta. Uz navedeni pokusni tretman praćena je i kontrola koja je obuhvaćala dehidrirani mulj u komposteru bez dodatka organskog strukturnog materijala.

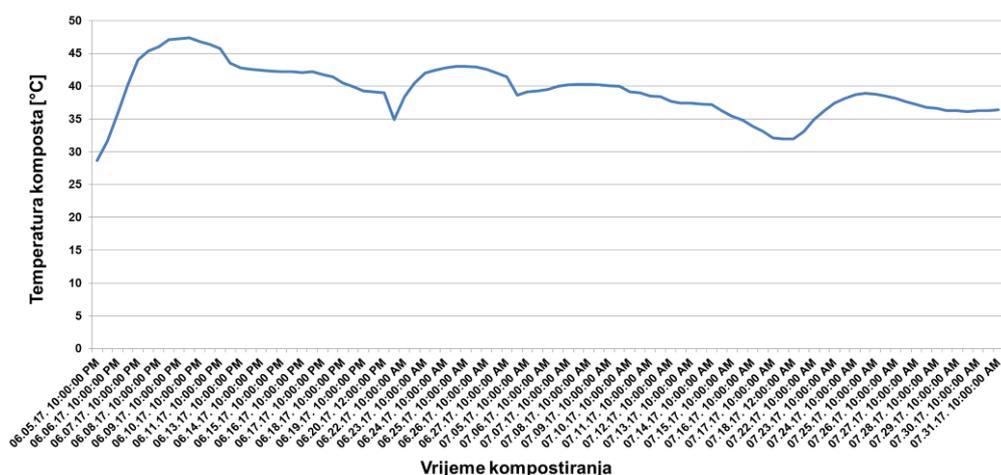


Slika 10. (lijevo) i 11. (desno). Miješanje komunalnog mulja i slame pšenice (foto: M.Černe)



Slika 12. Komposter za komunalni mulj (foto: M. Černe)

Temperatura, kao jedan od najvažnijih indikatora mikrobne aktivnosti unutar komposta, je kontinuirano praćena putem temperaturnih senzora (HOBO) u sredini hrpe. Navedeni senzori su bili spojeni na uređaj za prikupljanje podataka (HOBO Data Logger) koji su se očitavali svakih 14 dana pomoću programa HOBOWare. Temperatura se je sa početnih 29 °C kao indikatora mezofilne faze u 3 dana povećala na 45 °C i ostala iznad 40 °C oko 10 dana (graf 4). Visoka temperatura je bila dobar pokazatelj termofilne faze i sa time i intenzivne mikrobne razgradnje. Kako se visoka temperatura komposta postepeno smanjila na 30 do 35 °C je uslijedila faza hlađenja komposta. Daljnja konstantna temperatura u visini od 30 do 35 °C je poslužila kao pokazatelj faze sazrijevanja komposta kada je na temelju pedoloških i kemijskih analiza određena i kvaliteta dobivenog supstrata pomoću parametara poput pH, EC (električna vodljivost), udjela suhe tvari, ukupne koncentracije fosfora i kalija, ukupnog sadržaja ugljika i dušika te ukupnih koncentracija metala.



Graf 4. Kretanje temperature komposta tijekom procesa aerobne razgradnje

Razgradnja organske tvari pokusnog tretmana bila je značajna što je rezultiralo vidljivo smanjenim volumenom kompostne hrpe pri kraju ciklusa kompostiranja (slika 14).



Slika 13. Kompost od komunalnog mulja nakon 2 mjeseca kompostiranja (foto: M. Černe)

Proces kompostiranja komunalnog mulja završio je nakon 2 mjeseca kada je proizveden kompost koji je upotrijebljen kao supstrat u proizvodnji kineskog kupusa u svrhu daljnjih projektnih istraživanja kompostiranog mulja kao poboljšivača tla i njegovog učinka na biljku.

3.1.3.3. Kompostiranje komunalnog mulja pomoću bioreaktora

Pod terminom „kompostiranje u bioreaktorima“ smatra se stabiliziranje supstrate biomase u posebnim prihvatnim strukturama, gdje se tehnike za pokretanje i prisilno ventiliranje sirovine kombiniraju na različite načine. "Bioreaktori" mogu biti zatvoreni spremnici ili jednostavni otvoreni bazeni. Veći dio ovih sklopova izvršava samo prvu djelomičnu homogenizaciju i obradu organskih sirovina. Istinska aerobna biostabilizacija izlaznog materijala iz reaktora odvija se u jednom od mnogobrojnih sustava u kompostnim hrpama.

Sa stajališta tehnoloških aplikacija, najčešće vrste bioreaktora jesu: rotirajući cilindri, silosi, bioćelije i ventilirani dinamički rovovi. Rotirajući cilindri, silosi i bioćelije spadaju u kategoriju zatvorenih reaktora, a ventilirani dinamički rovovi primjer su otvorenih reaktora. Za razliku od bioćelija, rotirajući cilindri, silosi i ventilirani dinamički rovovi predviđaju pomicanje supstrate biomase unutar reaktora.

Rotirajući cilindri

Riječ je o velikim cilindrima vodoravno raspoređenih i postavljenih na posebnim zupčanicima koji omogućuju sporo rotiranje. Supstrat se napaja putem lijevka koji se nalazi na jednom kraju cilindra. Organska sirovina, uslijed rotiranja, miješa se i gura kroz čitavu dužinu cilindra, da bi se istovarila na suprotnom kraju od utovara. Najčešće dimenzije ove vrste cilindra su 3 m promjera sa oko 35 m dužine.



Slika 14. Bioreaktor na rotirajući vodoravni cilindar (Mondo Pulito).

Uzimajući u obzir da je maksimalna upotreba unutarnjeg obujma oko 70 %, gore navedene mjere omogućuju dnevni kapacitet od 50 t, a vrijeme zadržavanja supstrata je tri dana. U cilindru ubrzo započinje proces raspadanja, čime se supstrat priprema za iduću stabilizaciju, izvan reaktora. Zrak se napaja iz strane istovara sirovine i u cilindru se pomiče u suprotnom smjeru u odnosu na kretanje supstrata. Brzina rotiranja i stupanj nagiba osi cilindra određuju vrijeme zadržavanja utovarenog materijala. S unutarnje strane, cilindar može biti potpuno otvoren ili podijeljen u dva ili tri odjeljka, odvojenih vratima za prijenos kojima je moguće upravljati. U potonjem slučaju, na kraju svakog radnog dana, otvaraju se vrata za prijenos istovarnog kraja i na taj se način potpuno isprazni zadnji odjeljak. Nakon toga ostali se odjeljci otvaraju i materijal koji sadržavaju slijedom se prenosi te se tako oslobađa prvi odjeljak koji prima novi teret. Unutar cilindra postižu se temperature $>55\text{ }^{\circ}\text{C}$ koje pridonose drastičnom onesposobljavanju eventualnih patogenih mikroorganizama.

Ovi rotirajući cilindri skupocjeni su i zapravo ne pridonose značajno sveukupnom postupku stabilizacije polazne sirovine. Gotovo čitav postupak kompostiranja odvija se izvan bioreaktora, s uobičajenim problemima za nadzor procesa. Priprema i dezinfekcija supstrata mogu se postići puno jednostavnijim i povoljnijim postupcima.

Silos

Riječ je o okomitim cilindričnim reaktorima, najčešće su potpuno zatvoreni. Kod onih s novijom konfiguracijom, svakog dana poseban sklop za ekstrakciju otklanja s dna reaktora djelomično stabilizirani udio supstrata, dok se nova svježa sirovina pridodaje s visine. Ventiliranje se odvija s pomoću difuzora koji se nalaze na dnu silosa i koji omogućuju da zrak prolazi kroz čitav profil kompostnog materijala. Nakon što dosegne vrhunac reaktora, iskorišteni zrak usmjerava se u filter za uklanjanje neugodnih mirisa. Supstrat se obično unutar silosa zadržava dva tjedna. Nakon uklanjanja iz silosa, započinje se s fazom potpune stabilizacije sirovine u kompostnoj hrpi, odnosno u drugom silosu, koji je također ventiliran. Glavni nedostaci kompostiranja u silosu jesu: sklonost pretjeranom zbijanju supstratne biomase; poteškoće s ujednačenim ventiliranjem, što dovodi do opasnosti od pretjeranog ventiliranja i hlađenja sirovine u kontaktu s difuzorima zbog lošeg dovoda kisika u visokim dijelovima silosa; kondenzat pare po hladnim stjenkama reaktora, što dovodi do zapreka kod progresivnog smanjenja vlažnosti i pretjeranog zadržavanja vode u sirovini. Sve navedeno može ograničiti protok aerobnih reakcija i otežati nadzor temperature. Silosi su prikladni za kompostiranje posebno mekih i dobro strukturiranih organskih sirovina.

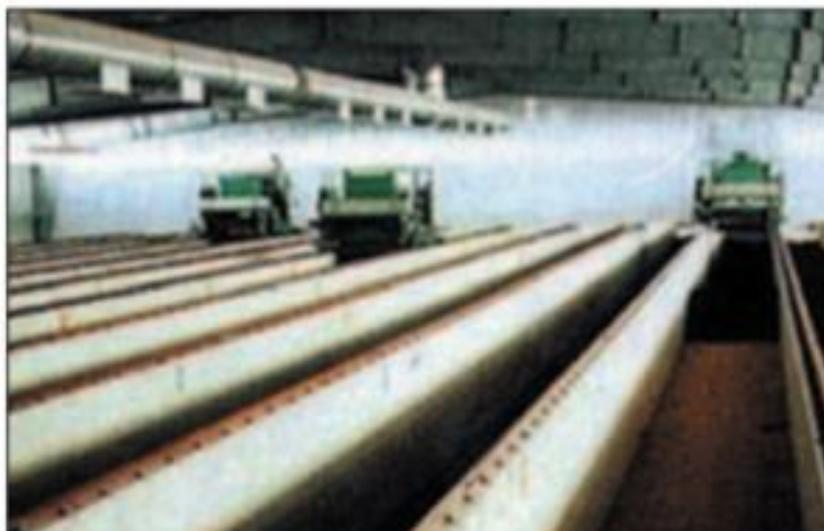
Bioćelije

Kompostiranje u bioćelijama uključuje prethodnu obradu supstratne biomase unutar pomičnih kontejnera, koje je potrebno postaviti na odgovarajuće cementno postolje, a opremljeni su sustavom za ventiliranje koji omogućuje dovod zraka unutar reaktora kroz perforirani pod s procjepom. Svaka bioćelija može sadržavati od 30 do 60 m³ materijala koji se utovaruje kroz vrata, koja se naknadno hermetički zatvaraju. Metoda je sasvim statička, stoga zahtjeva pažljivu pripremu početne mješavine, u pogledu postavljanja ravnoteže hranjivih tvari i posebice u pogledu prikladne poroznosti i mehaničke izdržljivosti zbijanja. S obzirom na to da obradna sirovina, nakon 7 do 12 dana u kontejneru, gubi dovoljnu količinu truleži i gubi tendenciju otpuštanja procjedne vode, postavlja se u hrpe, na vanjskoj strani, gdje potpuno sazrijeva u naknadnih 8 tjedana. Na koncu čitav ciklus obrade sustavom na bioćelije zahtjeva vremensko razdoblje od 9 do 10 tjedana. Bioćelije, poput svih sustava za kompostiranje u zatvorenim reaktorima, pružaju mogućnost nadzora stvaranja neugodnih mirisa, s pomoću obrade ispušnog zraka biofiltrima te mogućnost racionalnog upravljanja procjednim vodama. Ovi bioreaktori mogu se upotrebljavati pojedinačno ili u nizu od dvije ili više jedinica.

Dinamički ventilirani rovovi

Nazivaju se također ležajevima za miješanje (agitated beds). Ovi sustavi kombiniraju kontrolirano ventiliranje supstrata s povremenim prevrtanjem istog. Nisu zatvoreni reaktori i kompostiranje umetnutih sirovina odvija se u uskim redovima ili bazenima (rovovima), pregrađenima stjenkama koje su postavljane samo uz uzdužnu os. Više redova može se postaviti u nizu, jedan pored drugog, i na vrhu svake stjenke postavljena je vodilica. Prevrtač se kreće između dva reda, slijedeći vodilicu koja je nastala između dvije dodirne stjenke za zadržavanje. Kod postrojenja s višestrukim redovima, prevrtač se može pomicati iz jednog reda u drugi s pomoću prijenosnog okvira na kotačima, koji se nalazi na vrhu bazena.

U tipičnim operativnim skicama, supstratna biomasa napaja se s utovarnog kraja linije. Prevrtač se kreće na vodilicama i sirovina se prevrće i istovaruje iza samog stroja. Na taj način, prilikom svakog prolaza, stroj pomiče kompostni materijal prema istovarnom kraju linije. Prevrtač miješa obradne sirovine i tako pospješuje homogenizaciju, na način da usitnjava moguće aglomerate i povećava otpuštanje vodenih i toplinskih para. Prevrtač je potpuno automatiziran.



Slika 15. Niz linija za kompostiranje organskih sirovina u skladu sa sustavom ventiliranih dinamičkih rovova (Mondo Pulito).

Na podu bazena uzdužno su provedene kanalice u kojima se nalazi sustav za difuziju zraka, spojen na niz puhalo. Na taj se način kompostna sirovina može ventilirati u fazi mirovanja. S obzirom na to da je uzduž kanalica supstrat u različitim fazama sazrijevanja, sama linija kanalice podijeljena je u odjeljke, svakom se odjeljku istovremeno može usmjeriti različita količina zraka. Najčešće je svaki odjeljak opskrbljen jednim puhalom kojim upravlja senzor topline koji se nalazi u referentnom odjeljku i koji djeluje na temelju sustava feed-back. Na temelju svojstava supstrata, vrijeme zadržavanja varira od tri do pet tjedana, nakon toga, izlazni materijal usmjerava se u fazu završne obrade.



Slika 16. Linija za kompostiranje organskih sirovina u skladu sa sustavom ventiliranih dinamičkih rovova (Mondo Pulito).

Ova vrsta bioreaktora pokazala se posebno učinkovitom za obradu biomase s visokim udjelom vlage, kao i za otpad sa zelenih tržnica za proizvodnju visokokvalitetnog komposta.

Praktična iskustva

Tijekom studijskog posjeta sjeveru Italije, analiziran je način rada dva postrojenja koja koriste gore navedenu tehnologiju – postrojenje Fri-EI u Boari Polesine te Biocalos u Candi.

Tvrtka Fri-EI obrađuje 40.000 t komunalnog mulja godišnje (65% se kompostira u ranije opisanim bazenima, dok 35% ide na kompostiranje). Postrojenje koristi, uz komunalni mulj, organski otpad iz kućanstva te zeleni otpad iz uređenja parkova i okućnica. Kompostna se smjesa izrađuje u omjeru mulj:organski otpad:zeleni otpad – 20:50:30. Tako formirana smjesa ide u linije za kompostiranje gdje se 30 dana miješa korištenjem stroja koji se seli iz linije u liniju. Linije se nalaze u zatvorenoj hali, a zrak se pročišćava pomoću biofiltera.



Slika 17. Prihvat i primarna obrada (usitnjavanje) organskog otpada iz kućanstava, Fri-EI (foto: M. Oplanić)



Slika 18. Linije za kompostiranje i stroj za miješanje kompostnih hrpi, Fri-EI
(foto: M. Oplanić)

Nakon 30 dana miješanja i kompostiranja, dobiveni kompost ide na primarno dozrijevanje. U zatvorenoj se hali pomoću ventilatora unutar statične hrpe komposta upuhava zrak iz prostora, čime se kompost prozračuje te osigurava potrebna temperatura od 50-60°C. Primarno dozrijevanje traje 30 dana.



Slika 19. Hale za primarno dozrijevanje, Fri-EI (foto: M. Oplanić)

Po završetku primarnog dozrijevanja, kompost ide na dodatno dozrijevanje od 30ak dana, pri čemu se hrpa povremeno miješa korištenjem utovarivača. Hrpe komposta su pomoću nadstrešnice zaštićene od atmosferilija.



Slika 20. Prostor za sekundarno dozrijevanje komposta i miješanje istog, Fri-EI (foto: M. Oplanić)

Zadnji korak u tom procesu predstavlja prosijavanje komposta kako bi se uklonile čestice plastike i drugih materijala koji su u kompost dospjeli iz organskog otpada iz kućanstava. Tako dobiveni kompost ide u poljoprivrednu proizvodnju, a poklanja se poljoprivrednicima.



Slika 21. Stroj za prosijavanje komposta i gotovi kompost, Fri-EI (foto: M. Oplanić)

Drugi pogon koji je posjećen jest pogon Biocalos, koji koristi vrlo sličnu tehnologiju. Kompostna smjesa sastoji se od mulja, organskog otpada i zelenog otpada u odnosu 65:20:15. Hrpa se u linijama dugim 60 m konstantno miješa 25 dana, pri čemu se u prvih 35 m linije upuhuje zrak iz prostora, čime se osigurava temperatura hrpe u rasponu 50-60°C. Nakon 25 dana kompostiranja, sljedeće faze su iste kao u prethodno opisanom postrojenju. Ovaj pogon godišnje obradi 22.500 tona komunalnog mulja.



Slika 22. Linije za kompostiranje i gotovi kompost, Biocalos (foto: I. Palčić)

3.1.3.4. Kompostiranje komunalnog mulja pomoću zatvorenog sustava (tunela)

Planirani sustav za kompostiranje zatvorenog tipa temelji se na kompostiranju organskog materijala unutar zatvorenog sustava - tunela. Kada je tunel napunjen organskim materijalom, procesni se zrak ispuhuje iz sabirnika zraka u tunel za kompostiranje. Procesni zrak cijevima dolazi u tunel. Prema potrebi se dodaje svježi zrak i može se raspršivati voda. Cirkulacijom procesnog zraka moguće je kontrolirati parametre koji su važni za proces kompostiranja, poput temperature, vlažnosti i koncentracije kisika. Uvjeti kompostiranja mogu se optimizirati te se time smanjuje vrijeme zadržavanja. Izlazni procesni zrak se ispuhuje i usisava u središnju točku. Od tamo nadalje zrak prolazi kroz uređaj za čišćenje i biofilter u svrhu smanjenja emisija mirisa i amonijaka.

Metoda kompostiranja u zatvorenom tunelu (slike 24 i 25) bazira se na aerobnoj razgradnji organskog otpada unutar tunela. Tijekom kompostiranja zrak ulazi cijevima u tunel a može se raspršivati i voda. Automatizacijom sustava mogu se bolje optimizirati i kontrolirati parametri poput temperature, vlage i koncentracije kisika koji su važni zbog procesa kompostiranja.



Slika 23. (<https://www.gicomcompostingsystems.com/waste-treatment>)



Slika 24. (<https://wtt.nl/project-announcement-lanzarote-spain-tunnel-composting-and-stabilization-installation/>)

Kompostiranjem u tunelima stvaraju se optimalni uvjeti za stabilizaciju organskog materijala u zatvorenom tunelu. Ovaj sustav za kompostiranje u tunelima ima sljedeće prednosti nad ostalim metodama i sustavima za kompostiranje:

- najmodernija, dokazana tehnologija - visoko sofisticirana, a jednostavna za upravljanje, sustav za kompostiranje u tunelima razvijen je u industriji uzgoja gljiva, gdje je kontrola kvalitete ključna za dobivanje dobrog i stabilnog komposta;
- tijekom procesa nema potrebe za ulaskom ljudi u tunele, a procesni se zrak obrađuje u zatvorenom sustavu. Time se stvara sigurno okruženje za ljude, a osoblje nije izloženo procesnom zraku. Nadalje, radni su prostori dobro ventilirani jer se zrak iz prostora koristi za proces, tijekom procesa kompostiranja u tunelima nema strojeva koji bi bili izloženi procesnom zraku;
- zajamčeno vrlo pouzdano i kontinuirano djelovanje procesa kompostiranja, pri čemu se sav procesni zrak prikuplja centralno te se iz njega uklanjaju mirisi prije ispuštanja u atmosferu, čime se osigurava smanjenje neugodnih mirisa;
- proces kompostiranja odvija se u optimalnim okolnostima, čime se proces optimizira i smanjuje vrijeme zadržavanja do zrelosti proizvoda;
- sustav je operativno fleksibilan jer se kompostiranje odvija u šaržama. Istovremeno mogu nastajati različite vrste komposta iz različitih sirovina. Unutar sustava tunela svako se punjenje tunela može obrađivati samostalno, što omogućava prilagodbu procesnih parametara za optimalno kompostiranje kada se pojave odstupanja u otpadu;

- obzirom da proces kompostiranja nije otvoren prema građevinskoj strukturi, sustav se može zatvoriti unutar građevinske konstrukcije bez rizika od korozije, magljenja ili prekomjerne kondenzacije.

Jedna od osnovnih polaznih pretpostavki za pokretanje učinkovitog programa za kompostiranje jest ispravna kombinacija sastojaka koji sačinjavaju polazni organski supstrat. U tablici 3 sažeto su navedene optimalne vrijednosti za pojedine preporučene parametre, i na razini obilježja polaznog supstrata, kako bi se pospješila procedura kompostiranja. S obzirom na to, dva su parametra posebno važna: sadržaj vlage i odnos ugljika i dušika (C/N) u sirovini namijenjenoj za postupak.

Tablica 1. Preporučljivi uvjeti za supstrat za dobro upravljanje postupkom kompostiranja te uslijed toga, za najbržu stabilizaciju polazne sirovine

Parametar	Interval kompatibilnosti	Optimalni interval*
Odnos C/N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Vlaga	45 – 65 %	57 – 63 %
Koncentracija O ₂	≥ 5 %	≥ 10 %
Dimenzije čestica (Ø cm)	0,5 – 5,0	Promjenjivo**
pH	5,5 – 9,0	6,5 – 8,5
Prividna gustoća (kg/m ³)	≤ 750	≤ 650

Različite studije navode da je preporučljiv omjer ukupnog C i N u organskim otpadima najmanje 30 da je moguća njihova mikrobna razgradnja tijekom kompostiranja³⁵. Kod proizvodnje komposta od komunalnog mulja je potrebno miješanje navedenog otpada sa strukturnim materijalom visokog C/N omjera (slama pšenice, piljevina, kora drveta...) budući da je C/N omjer otpadnog mulja nizak što onemogućuje mikrobnu razgradnju organske tvari³³. Temperatura koja je indikator mikrobne aktivnosti se u periodu intenzivne aerobne razgradnje (termofilna faza) kreće između 45 in 65 °C unutar komposta te je bitna i za sterilizaciju patogena. Sterilizacija patogena je brža kod t° između 55 i 60° C. Obzirom da temperatura i vlaga u kompostu otvorenih sustava poput kompostiranja u kompostnim hrapama raspoređenih u dugačke trake (windrows) nisu uniformne je sa novijim sofisticiranijim metodama kompostiranja u tunelima moguće optimizirati i navedene parametre u kompostu automatizacijom usisavanja zraka u tunel i raspršivanja vode bez strojnog miješanja ili prevrtanja organskog materijala tijekom procesa kompostiranja. Automatizacija kompostnog sustava podrazumijeva da nakon što se tunel napuni

³⁵ Kosobucki, P., Chmarzynski, A., & Buszewski, B. (2000). Sewage sludge composting. Polish Journal of Environmental Studies, 9(4), 243-248.

mješavinom za kompostiranje (komunalni mulj i lignocelulozni materijal u omjeru 30:70) uključuje se program kontrole tunela. U tu svrhu se u tunelima upravlja temperaturom i vlagom u namjeri postizanja optimalnih uvjeta aerobne razgradnje komposta kao i zbog smanjenja patogena. Svježi zrak usisava se iz prijemnog prostora putem računalnog sustava za upravljanje. Također se i sav ispušni zrak zatvorenom sustavom (sustav ventila, motora i ventilatora) dovodi u sustav za čišćenje ispušnog zraka (biofilter). Organski materijal u tunelu prozračuje se visokotlačnom aeracijom prema načelu prozračivanja mlaznicama. Korištenjem tog načela nastaje vrlo jednolika distribucija zraka, kisika, vlage i temperature unutar kompostirajuće biomase. To se postiže kombinacijom precizne računalne kontrole i automatske kontrole najvažnijih procesnih parametara.

3.1.3.5. Obrada komunalnog mulja kemijskom stabilizacijom – primjer iz Italije

Tijekom posjeta Italiji, posjetili smo postrojenje Agrosistemi u mjestu Cervia, koje komunalni mulj obrađuje na način koji se razlikuje od gore opisanih načina. Naime, u tom se postrojenju mulj obrađuje bez dodataka organskog ili zelenog otpada na način da se u njega dodaje vapno i sumporna kiselina, čime se mulj pretvara u poboljšivač za regulaciju reakcije tla. Količine materijala koji se dodaju određuju se temeljem analize komunalnog mulja koji dolazi u postrojenje.



Slika 25. Prostor za prihvata komunalnog mulja i postrojenje za miješanje mulja s vapnom i sumpornom kiselinom, Agrosistemi (foto: M. Oplanić)

Takav proces obrade komunalnog mulja traje samo 48 sati, dok tako dobiveni poboljšivač tla nema ograničenja po pitanju primjene u poljoprivredne svrhe, osim primjene u ekološkim sustavima proizvodnje. Dodatna prednost ovakvog procesa je da se izmjenom redosljeda faza u ovom procesu može dobiti poboljšivač za podizanje, odnosno spuštanje reakcije poljoprivrednog tla u koji se primjenjuje.



Slika 26. Komunalnog mulja nakon miješanja s vapnom i sumpornom kiselinom te gotovi poboljšivač tla, Agrosistemi (foto: I. Palčić; Agrosistemi)

Vlastita istraživanja

U sklopu projekta REDGREENPLANT provedena je analiza komunalnog mulja i komposta na prisutnost patogenih mikroorganizama. Iako je u komunalnom mulju potvrđena prisutnost patogenog mikroorganizma *Salmonella spp.* njena prisutnost u tlu ili biljci nije potvrđena i na kraju pokusa što ukazuje da tlo nije pogodan medij za tu vrstu patogena te da njihov broj opada s vremenom. Činjenica da tlo nije pogodan medij za razvoj *S. enterice* potvrđeno je zasebnim pokusom u kojem je proučavana dinamika preživljavanja navedenog patogena u odnosu na prisutnost komposta od komunalnog mulja. S druge strane komunalni mulj sadrži i nove opasnosti koje su potencirane ljudskim faktorom kao što su geni odgovorni za rezistentnost na antibiotike. Mikrobiološka rezistencija na antibiotike predstavlja ozbiljan zdravstveni problem u svijetu te nekontroliranom upotrebom komunalnog mulja u poljoprivrednoj proizvodnji postoji rizik od recikliranja tih gena u prehrambeni lanac. U projektu REDGREENPLANT provedena je analiza komunalnog mulja s deset različitih UPOV-a na području Republike Hrvatske na prisutnost 10 gena odgovornih za rezistentnost na antibiotike te je utvrđena njihova prisutnost u svim analiziranim uzorcima u sličnoj koncentraciji neovisno o lokaciji ili veličini uređaja za pročišćavanje. Proces kompostiranja može imati pozitivne učinke na redukciju broja prisutnih patogenih bakterija no to nije uvijek slučaj s genima odgovornim za rezistenciju na antibiotike. Nedavno provedena studija³⁶ ukazuje na potencijal konverzije mulja životinjskog

³⁶ Zhou, X., Qiao, M., Su, J.-Q., Wang, Y., Cao, Z.-H., Cheng, W.-D., et al. (2019). Turning pig manure into biochar can effectively mitigate antibiotic resistance genes as organic fertilizer. *Sci. Total Environ.* 649, 902–908. doi:10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.368.

porijekla u biougļjen kao izvrsnu alternativu kompostiranju u svrhu učinkovitog uklanjanja gena odgovornih za rezistentnost na antibiotike gdje se navedenom konverzijom u biougļjen broj prisutnih gena smanjuje na razinu koja je prirodno prisutna u tlu.

3.1.4. Pravni okvir korištenja komunalnog mulja u poljoprivredi

Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) otpadni mulj je definiran kao:

- otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda iz kućanstva i gradova te iz drugih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koje su sadržajem slične otpadnim vodama iz kućanstva i gradova;
- otpadni mulj iz septičkih jama i drugih sličnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda;
- otpadni mulj iz ostalih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Istim Pravilnikom obrađeni je mulj definiran kao otpadni mulj koji je podvrgnut biološkoj, kemijskoj ili toplinskoj obradi, dugotrajnom skladištenju ili bilo kojem drugom postupku kojim se znatno smanjuju fermentabilnost i opasnosti po zdravlje koje bi proizišle iz njegovog korištenja.

S obzirom na zakonske propise komunalni mulj iz UPOV-a može se reciklirati kroz upotrebu u poljoprivredi. Takvom upotrebom mulja djelomično se zamjenjuje upotreba konvencionalnih gnojiva. Komunalni mulj sadrži i organsku tvar koja ima pozitivne učinke na fizikalna svojstva tla. Kompostiranjem komunalnog mulja s drugim organskim otpadom biljnog podrijetla dobiva se kvalitetniji proizvod namijenjen upotrebi u poljoprivredi. Uz pozitivne aspekte korištenja komunalnog mulja u poljoprivredi postoje i negativni aspekti u vidu zagađivača koji su u njemu prisutni. Iz komunalnog mulja se zagađivači mogu proširiti u okoliš putem podzemnih voda, apsorpcijom u biljke te isparavanjem čime direktno ili posredno ulaze u prehrambeni lanac. Stoga je stroga kontrola primjene komunalnog mulja u poljoprivredi potrebna kako bi se spriječile eventualne nepovoljne posljedice na okoliš i ljude. Također, upotreba komunalnog mulja s niskim ili vrlo niskim razinama zagađivača preduvjet je za prihvaćanje i upotrebu komunalnog mulja kao alternative konvencionalnim gnojivima od strane proizvođača poljoprivrednih proizvoda kao i krajnjih korisnika. Isto se može postići ograničavanjem ulaska teških metala i organskih zagađivača u otpadne vode čime bi se osigurala visoka kvaliteta komunalnog mulja koji bi zatim služio kao gnojivo ili temelj za proizvodnju gnojiva kroz različite metode obrade. S obzirom da u Republici Hrvatskoj nije uspostavljen

sustav za gospodarenje komunalnim muljem potrebno je što prije uspostaviti model zbrinjavanja koji će biti ekonomski ali i ekološki prihvatljiv.

Korištenje komunalnog mulja u poljoprivredi prvenstveno je ograničeno Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) koji je na snazi do donošenja novog Pravilnika predviđenog čl. 53 st. 5. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17). Naime, navedeni zakon tretira mulj iz UPOV-a kao posebnu kategoriju otpada koja zahtijeva i posebni provedbeni propis te je isti trebao biti donesen u suradnji Ministarstva zaduženog za zaštitu okoliša i Ministarstva zaduženog za vodno gospodarstvo unutar 12 mjeseci od dana 31.07.2017. godine kada je Zakon stupio na snagu. Također, primjena komunalnog mulja definirana je kroz Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014) do donošenja novog Pravilnika predviđenim čl.4 st.5 Zakona o poljoprivrednom zemljištu (NN 20/18, 115/18).

Prema Pravilniku o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) u poljoprivredi je dopušteno korištenje isključivo obrađenog mulja koji sadrži zagađivače unutar granica propisanih čl.5 i čl.6 navedenog Pravilnika te da su u njemu uništeni patogeni mikroorganizmi, no nisu navedeni konkretni kriteriji sanitarne kvalitete koje mulj treba zadovoljiti kako bi se koristio u poljoprivredi. S druge strane u čl.8 Pravilnika navedena je količina mulja od 1,66 tona suhe tvari mulja koja se može koristiti po hektaru poljoprivrednog tla godišnje no nije precizirano da li se navedeni kriterij primjenjuje na sve vrste obrađenog mulja.

U čl.4 st. 2 Pravilnik navodi gdje je zabranjeno korištenje obrađenog mulja:

- travnjacima i pašnjacima koji se koriste za ispašu stoke,
- površinama na kojima se uzgaja krmno bilje najmanje dva mjeseca prije žetve,
- tlu na kojem rastu nasadi voća i povrća, uz iznimku voćaka,
- tlu namijenjenom uzgoju voća i povrća koje može biti u izravnom dodiru sa zemljom i koje se može jesti sirovo, u razdoblju od barem 10 mjeseci prije datuma početka berbe ili žetve,
- tlu na kojem postoji opasnost od ispiranja mulja u površinske vode,
- tlu čija je pH vrijednost niža od 5,
- tlu krških polja, plitkom ili skeletnom tlu krša,
- tlu zasićenom vodom, pokrivenim snijegom i na smrznutom poljoprivrednom tlu,
- u priobalnom i vodozaštitnom području.

Također upotreba gnojiva koja sadrže otpadni mulj je zabranjena čl.11 drugog Akcijskog programa zaštite voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima poljoprivrednog podrijetla (NN 60/17). Nije precizirano spada li otpadni mulj s UPOV-a u navedenu kategoriju.

Nadalje, iz tablica 1.3 dodatka V. Pravilniku o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/14) proizlazi kako se mulj iz UPOV-a može koristiti u proizvodnji

komposta ukoliko je stabiliziran aerobnom ili anaerobnom digestijom te isključivo za proizvodnju komposta klase III. Kompost klase III osim što treba zadovoljiti maksimalne dopuštene razine zagađivača navedene u Tablici 1.5 dodatka V. te sanitarne kriterije propisane Pravilnikom isti je namijenjen za korištenje na tlu koje se ne koristi za proizvodnju hrane, na šumskom odnosno parkovnom zemljištu, za potrebe uređenja odnosno rekultivacije zemljišta i za izradu završnog rekultivacijskog sloja odlagališta.

Iz nacrtu prijedloga Pravilnika o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada čije je javno savjetovanje završilo u srpnju 2018. godine vidljivo je da se ukida kategorija komposta klase III te da će se aerobno ili anaerobno stabilizirani mulj iz UPOV-a moći koristiti u proizvodnji komposta klase II uz ograničenje uporabe na tlu koje se ne koristi za proizvodnju hrane, na šumskom odnosno parkovnom zemljištu, za potrebe uređenja odnosno rekultivacije zemljišta i za izradu završnog rekultivacijskog sloja odlagališta. Kompost će također morati poštivati sanitarne kriterije i maksimalne dopuštene razine zagađivača navedene u tablici 1.4. dodatka V. nacrtu prijedloga Pravilnika. U odnosu na važeći Pravilnik maksimalna dopuštena količina zagađivača u nacrtu prijedloga novog Pravilnika je osjetno spuštена za teške metale olovo, bakar i cink te organske zagađivače PAU i PCB.

Nakon analize provedbenih propisa vidljivo je kako se Republika Hrvatska udaljava od upotrebe mulja iz UPOV-a kao alternative konvencionalnim gnojivima. U prilog navedenom ide činjenica da se primjena mulja omogućena Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08) ograničava kasnije donesenim Pravilnikom o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN117/14). Iako su oba Pravilnika na snazi do donošenja novih iz nacrtu prijedloga novog Pravilnika o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada je vidljivo kako se nastavlja praksa onemogućavanja primjene mulja s UPOV-a u poljoprivredi u opsegu dozvoljenom Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08). Vrijedno je napomenuti kako su svjetske rezerve fosfora ograničene te Europska komisija 2013. godine izdala savjetodavnu komunikaciju o održivoj uporabi fosfora gdje se navodi korištenje komunalnog mulja u poljoprivredne svrhe kao jedan od načina uporabe fosfora s potencijalom od 300.000 tona godišnje u EU.

3.1.5. Mogućnosti korištenja komunalnog mulja u poljoprivredi - sažetak

Budući da stabilizirani komunalni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda potencijalno može sadržati i povećane koncentracije toksičnih metala i organskih zagađivača, potrebno je kod tehnologija kompostiranja uzeti u obzir i mogući utjecaj na okoliš. U otvorenim sustavima se raznošenje kompostne mase vjetrom, mogućnost dolaska životinja koje bi uništile sam pokrov kompostne hrpe (Dodlek, 2016), izgaranje metana iz slabo prozračnih hrpa ili ugljikovog dioksida tijekom razgradnje organske tvari navodi kao mogući negativni utjecaji na okoliš. Stoga se prema podacima iz literature preporučuje zatvoreni sustav kompostiranja poput onog u tunelu gdje do takvih utjecaja ne dolazi, a što se tiče ulaza i izlaza zraka, na tunelu je napravljena ventilacija. Isto tako prednost takvog načina kompostiranja je u sustavu koji kontrolira cijeli proces, kao što je temperatura zraka i komposta, vlažnost, unos kisika.

Temeljem naših istraživanja u okviru projekta Redgreenplant rezultati su potvrdili velik sadržaj ukupnog dušika i fosfora u kompostiranom mulju u odnosu na navedena hraniva u tlu crvenice i rendzine (Tablica 2) što ukazuje na potencijal dobivenog komposta kao zamjene sa mineralnim gnojivima. Koncentracije potencijalno toksičnih metala (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) u proizvedenom kompostu bile su ispod graničnih vrijednosti metala prema *Pravilniku o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (NN 117/14)* što potvrđuje ispravnost navedenog komposta s kvalitetom III klase.

Tablica 2. Ukupne koncentracije makrohraniva, mikrohraniva i potencijalno toksičnih metala u kompostu od komunalnog mulja te tlima rendzini i crvenici (rezultati su izraženi na suhu tvar)

Istraživani materijali	Ca g/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe g/kg	Hg mg/kg	K g/kg	Mg g/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	P g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Rendzina	188.0	<0.2	47.7	24.5	23.2	0.1	7.0	6.8	992.0	0.7	48.5	0.3	8.5	51.9
Terra Rossa	4.6	0.4	99.3	30.6	56.8	0.0	7.8	3.5	1162.0	2.5	62.2	0.3	34.3	93.1
Kompostirani	102.0	1.9	31.6	222.0	9.5	1.8	5.1	4.2	167.0	5.7	24.3	23.5	89.1	962.0
NN (117/14)		3	250	500		3					100		200	

Tablica 3. Ukupni sadržaj N i C u kompostu od komunalnog mulja te tlima rendzini i crvenici (rezultati su izraženi na suhu tvar)

Istraživani materijali	N %	C %
Rendzina	0.05	6.48
Terra Rossa	0.09	0.38
Kompostirani mulj	3.41	28.70

Primjena komposta od komunalnog mulja kao dodatka tlima prema *Pravilniku (NN 38/08) kada se mulj koristi u poljoprivredi* (1,66 t ST mulja /ha/g) na osnovi gnojidbe sa P nije imala učinka na povećanje koncentracija metala u navedenim tlima u odnosu na kontrolu (Tablica 3). Također i primjena deset puta veće količine kompostiranog mulja od one propisane *Pravilnikom (NN 38/08) na osnovi gnojidbe sa P* nije rezultirala negativnim učincima na tlo poput kontaminacije tla metalima. Ukupni sadržaj Pb i Cd u listovima testnih biljaka (kineski kupus) uzgajanim u navedenim tlima nije bio veći od najviših dopuštenih količina istih metala u lisnatom povrću prema *Pravilniku o toksinima, metalima, metaloidima te drugim štetnim tvarima koje se mogu nalaziti u hrani* (NN 16/2005) (Tablica 4). Prema EU normativima (Muchuweti i sur., 2006) je bio ukupni sadržaj Cu i Zn u listovima testnih biljaka (Tablica 4) također ispod dopuštene količine navedenih metala za lisnato povrće. Koncentracije Zn u listovima biljaka bile su značajno veće kod primjene deset puta veće količine kompostiranog mulja u odnosu na količinu propisanu Pravilnikom (NN 38/08) što ukazuje na činjenicu da je potreban oprez kako navedena količina komposta nakon dugotrajne primjene potencijalno može utjecati na povećanu fitoakumulaciju metala.

 Tablica 4. Prosječne ukupne koncentracije (mg kg⁻¹ ST) potencijalno toksičnih metala u tlima sa dodatkom komposta od komunalnog mulja

Tretman	Tlo	Otpad	Metoda obrade	P-nivo	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
3	Crvenica	Komunalni mulj	Kompost	P-pravilnik	<LOD	159	26,0	39,1	35,5	113
4	Crvenica	Komunalni mulj	Kompost	P-10X veći	0,30	158	28,3	38,4	34,8	115
11	Rendzina	Komunalni mulj	Kompost	P-pravilnik	<LOD	115	25,3	42,9	8,7	67
12	Rendzina	Komunalni mulj	Kompost	P-10X veći	<LOD	115	26,4	43,2	8,1	72
19	Crvenica	0	0	0	0,39	169	27,6	43,0	35,5	112
20	Rendzina	0	0	0	<LOD	125	26,0	45,2	7,6	72

Komentar: < LOD – ispod grane detekcije (LOD-limit of detection)

Tablica 5. Prosječne ukupne koncentracije (mg kg^{-1} ST) potencijalno toksičnih metala u listovima kineskog kupusa uzgajanog na supstratima sa dodatkom komposta od komunalnog mulja

Tretman	Tlo	Otpad	Metoda obrade	P-nivo	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
3	Crvenica	Komunalni mulj	Kompost	P-pravilnik	0,33	2,04	148,21	<LOD	<LOD	33,91
4	Crvenica	Komunalni mulj	Kompost	P-10X veći	0,34	2,19	15,24	<LOD	<LOD	56,57
11	Rendzina	Komunalni mulj	Kompost	P-pravilnik	<LOD	0,20	140,52	1,14	<LOD	27,77
12	Rendzina	Komunalni mulj	Kompost	P-10X veći	0,20	1,39	21,79	1,79	<LOD	44,12
19	Crvenica	0	0	0	0,36	2,11	117,42	1,11	<LOD	42,72
20	Rendzina	0	0	0	0,23	1,09	95,06	1,26	<LOD	31,24

Komentar: < LOD – ispod grane detekcije (LOD-limit of detection)

Korištenje kompostiranog mulja pokazalo se sa pozitivnim učinkom na vodno-retencijske karakteristike tla što ukazuje i na veći sadržaj vode dostupne biljci u tlima sa dodatkom navedenog komposta.

3.2. Obrada komine maslina

U svrhu njezinog korištenja u poljoprivredi, komina maslina može se podvrgnuti postupcima pirolize ili kompostiranja.

3.2.1. Piroliza komine maslina

Piroliza je termička razgradnja organske tvari, odnosno biomase u anaerobnim uvjetima, odnosno uvjetima bez prisustva kisika. Proces pirolize organske tvari je vrlo kompleksan te se sastoji od različitih simultanih i sukcesivnih reakcija prilikom zagrijavanja organske tvari u reaktivno neutralnom okruženju. U pojedinim oblicima pirolize termička razgradnja organske tvari započinje na 350°C – 550°C te se odvija do 700°C – 800°C u anaerobnim uvjetima³⁷. Pri tome se dugi lanci ugljika, vodika i kisika u sastavu biomase razbijaju na manje molekule u obliku plinova, kondenzirajućih para (katrana i ulja) te ugljena³⁸. Time su glavni produkti pirolitičke obrade biomase bioulje, biougljen te rezidualni plinovi. Prilikom pirolitičkog izgaranja, biomasa niske energetske vrijednosti pretvara se u dvije faze veće energetske vrijednosti - bioulje ($\sim 17\text{MJ/kg}$); biougljen ($\sim 18\text{MJ/kg}$) te treću fazu relativno niske energetske vrijednosti – plin ($\sim 6\text{MJ/kg}$)³⁹. Termolitička razgradnja generalno se odvija između 200°C i 400°C . Taj temperaturni opseg predstavlja do 95% potpune

³⁷ Fisher, T., Hajaligol, M., Waymack, B., & Kellogg, D. (2002). Pyrolysis behavior and kinetics of biomass derived materials. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 62(2), 331-349.

³⁸ Jahirul, M., Rasul, M., Chowdhury, A., & Ashwath, N. (2012). Biofuels production through biomass pyrolysis—a technological review. *Energies*, 5(12), 4952-5001.

³⁹ Laird, D. A., Brown, R. C., Amonette, J. E., & Lehmann, J. (2009). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(5), 547-562.

razgradnje tvari. Na temperaturi iznad 400°C započinje tzv. sekundarna piroliza. Opseg tih reakcija uglavnom se karakterizirao visokim materijalnim gubitkom te je u prošlosti bio uključen u primarni proces razgradnje. Međutim, procesi razgradnje na temperaturama iznad 400°C sadrže mnoge jedinstvene karakteristike zbog kojih se razlikuju od primarne pirolize te stoga trebaju biti tretirane zasebno. Trenutno je općenito prihvaćeno kako procese primarne pirolize definira razgradnja, dok sekundarna piroliza uključuje i proces aromatizacije³⁴. Jahirul i sur.³⁵ pirolizu ovisno o uvjetima upotrebe klasificiraju na sporu (konvencionalnu), brzu, flash i katalitičku pirolizu. Osnovne razlike između navedenih oblika pirolize jesu u temperaturi izgaranja, brzini zagrijavanja, kvaliteti dobivenih proizvoda, vremenu zadržavanja krutine, veličini čestica biomase i slično. Pod sporom ili konvencionalnom pirolizom podrazumijeva se ona pirolitička aktivnost kojom se tisućama godina kroz dulji vremenski period proizvodio primarni biougljen. Kod ovakve dugotrajnije aktivnosti, dolazi do predugog vremenskog zadržavanja para te komponente u sustavu pare nastavljaju reagirati jedna s drugom. Rezultat toga je formacija krutog ugljena te drugih tekućina. Uz to, ograničenja korištenja ovakve vrste pirolize očituju se u lošijoj kvaliteti i kvantiteti biouglja te utrošku energije³⁵.

Za pirolizu komine maslina postoje također različite tehnologije, od jednostavnijih do složenijih pri čemu je jedna od najsuvremenijih PYREG tehnologija. Sustav za obradu ostale biomase (gdje ubrajamo i kominu maslina) se blago razlikuje od sustava za obradu komunalnog mulja, ali je njegova prednost niža razina investicijskih ulaganja u pogon za pirolizu koja se kreće u rasponu od 450.000 do 900.000 eura (bez popratne infrastrukture).

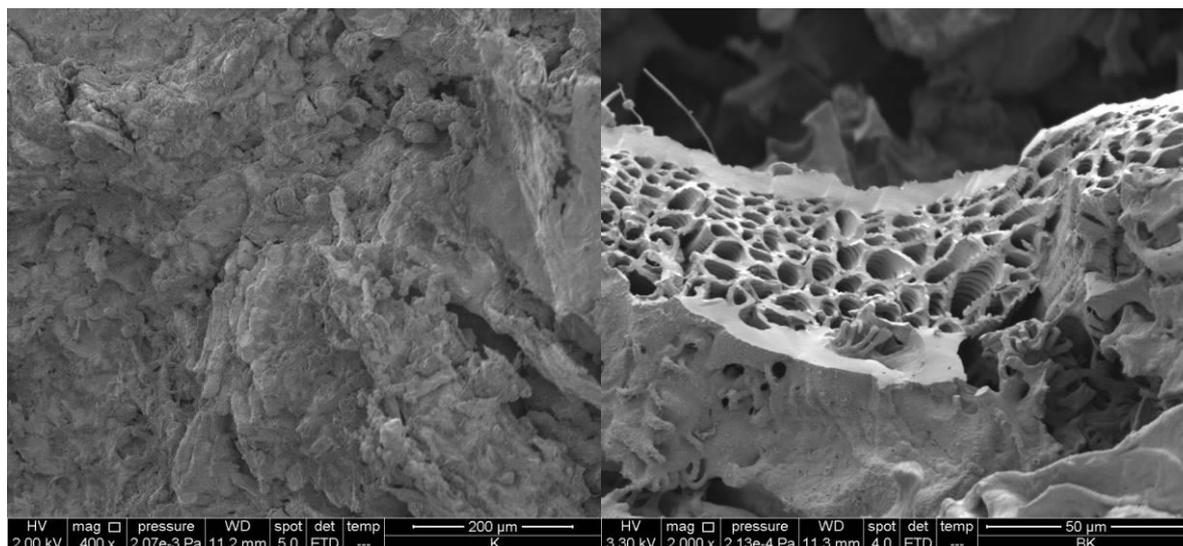
Dobiveni biougljen iz komine maslina jest mineralno gnojivo bogato prije svega ugljikom i kalijem i zbog toga pogodan za primjenu u poljoprivredna tla, što predstavlja izniman potencijal za njegovo vraćanje u maslinike i uspostavljanje cirkularne ekonomije.

Piroliza komine maslina predstavlja kvalitetan način anuliranja negativnog utjecaja ulja i fenola u komini, te se na taj način dobiva kvalitetno mineralno gnojivo bogato kalijem. Primjenjivost takvog materijala ogleda se u čitavoj poljoprivrednoj proizvodnji, a svakako i u gnojidbi maslinika obzirom da je maslina kaliofilna biljka. Prednost takvog načina obrade u odnosu na druge načine obrade, poput kompostiranja, jest činjenica da tako proizveden biougljen nema nikakav fitotoksičan učinak, a uz to dolazi i do smanjenja volumena u odnosu na ishodišnu kominu. Isto kao i kod pirolize komunalnog mulja, i ovaj način obrade komine masline u svrhu nejinog korištenja u poljoprivredi je svakako potrebno detaljnije istražiti.

Vlastita istraživanja

Tijekom naših istraživanja proizveli smo biougljen koristeći isti proces pirolize prethodno opisan u poglavlju o pirolizi komunalnog mulja. Iz dobivenih SEM snimaka

(slika 27) vidljivo je da je piroliza komine bila nešto uspješnija od pirolize mulja, vjerojatno iz razloga što je komina homogeniji ishodišni organski materijal.



Slika 27. SEM usporedba čestica komine i biougljena od komine (foto: T. Zubin Ferri)

3.2.2. Kompostiranje komine maslina

Na području Mediterana se stvaraju velike količine organskog otpada kao nus-produkt tehnologije prerade poljoprivrednih proizvoda kao npr. komina masline. Komina masline je bogata lako razgradivom organskom tvari, polifenolima, neekstrahiranim maslinovim uljem i organskim kiselinama, te zbog toga njena učestala izravna primjena u tlo predstavlja rizik⁴⁰. Stoga je nužno pronaći način za njihovo ekološki prihvatljivo zbrinjavanje ili korištenje. Komina masline se najčešće obradi prije primjene na poljoprivrednim površinama kako bi bio navedeni otpad neškodljiv za biljke i okoliš. Obrada takvog otpada i ponovno korištenje kao gnojivo u poljoprivredi predstavlja kvalitetnu alternativu kao zamjene za mineralna gnojiva zbog većeg sadržaja K, N i Fe u komini.

Kompostiranje je također primamljiva metoda recikliranja velikih količina maslinove komine, umanjujući pritom troškove primjene mineralnih gnojiva, a istovremeno obogaćujući hranivima siromašna i erodirana tla³⁷. Tijekom kompostiranja se potencijalno rizični spojevi u komini biološki razgrade te se omogućuje sigurna upotreba dobivenog komposta na poljoprivrednim površinama⁴¹. Pokusi na travnatim kulturama ukazuju na to da primjena komine može pozitivno utjecati na prinos vrlo

⁴⁰ Canet, R., Pomares, F., Cabot, B., Chaves, C., Ferrer, E., Ribó, M., & Albiach, M. R. (2008). Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *Waste management*, 28(12), 2585-2592.

⁴¹ Haddadin, M. S., Haddadin, J., Arabiyat, O. I., & Hattar, B. (2009). Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource technology*, 100(20), 4773-4782.

slično djelovanju mineralnih gnojiva, s dodatnom prednošću povećanja ukupnog organskog ugljika u tlu, kao i poboljšanje nekih drugih svojstava tla.

Za poljoprivredu mediteranskog područja, gnojidba organskim gnojivima je jedan od najbitnijih zahvata za optimizaciju rasta biljaka. Zato, nedostatak hraniva i organske tvari može dovesti do značajnih ograničenja u rastu, prinosu i kvaliteti plodova. Navedena činjenica značajna je u maslinarstvu kao jednoj od najperspektivnijih poljoprivrednih proizvodnji u Hrvatskoj jer siromašna tla mogu utjecati i na slabiji prinos te kakvoću maslinovog ulja. Kod većine maslinika u Hrvatskoj dominiraju automorfna tla (crvenica, rendzina, kalkokambiosol)⁴² od kojih neki tipovi tla mogu imati nedostatne količine određenih makro i mikro elemenata⁴³. Stoga organska gnojiva bogata P, K i N kao što je kompost od komine masline mogu biti dobra alternativa na takvim tlima. U Hrvatskoj je dobar primjer primjena komposta od maslinove komine na otoku Rab (Slika 28).



Slika 28. Korištenje komposta od komine masline u maslinicima na otoku Rab (<http://www.ekopoduzetnik.com/tekstovi/ubrzavanje-procesa-kompostiranja-komina-11307/>)

Kako bi se komina masline mogla reciklirati korištenjem u poljoprivrednoj proizvodnji, jedno od kvalitetnih rješenja jest kompostiranje, koje se u Mediteranskim zemljama najčešće provodi pomoću slijedećih tehnologija:

- u otvorenim sustavima (windrows);
- u statičnim hrpama;

Tehnologija kompostiranja u kompostnim hrpama raspoređenih u dugačke trake (windrows) već je opisana i poglavlju 3.1.3.1 i za kominu masline često se koristi u Portugalu (slika 29), Španjolskoj (slika 30) i Grčkoj (Slika 31). U Hrvatskoj se

⁴² Bogunović, M., Bensa, A., Husnjak, S., & Miloš, B. (2010). Suitability of Dalmatian soils for olive tree cultivation. *Agronomski glasnik: Glasilo Hrvatskog agronomskog društva*, 71(5-6), 367-404.

⁴³ Bašić, F., & Baésiãc, F. (2013). *The soils of Croatia*. Dordrecht: Springer.

navedena tehnologija kompostiranja za maslinovu kominu redovno koristi na otoku Krk (slika 33). Budući da je komina masline lignocelulozni materijal sa visokim C/N odnosom (< 40) je preporučljivo navedeni otpad miješati sa organskim materijalima bogatim dušikom kako bi postigli niži C/N kompostne mješavine. Prema podacima literature bolji se omjer ukupnog C i N kao i povoljniji omjer između hraniva može postići miješanjem komine i stajskog gnoja³⁷. Tipični omjeri kompostne mješavine mogu varirati od 50-75% udjela komine te od 25-50% udjela gnoja kao izvora dušika. Visok C/N odnos moguće je korigirati i dodatkom dušičnog gnojiva Urea u kominu čime se poveća udio dušika što rezultira u nižem C/N koji bi se trebao kretati između 25-30⁴⁴. Na primjer u Portugalu se u proizvodnji komposta od komine masline kao nus-produkta trofaznog sustava uljare koristi mješavina sa omjerima: trofazna komina (70%), kokošji gnoj (10%), slama pšenice (10%) i ostaci iz rezidbe maslina (10%)⁴¹.



Slika 29. Kompostiranje komine masline u Portugalu tehnologijom windrows (Doula i sur., 2012)

U Španjolskoj se kod kompostiranja komine masline kao nus-produkta dvofaznog sustava uljare koristi mješavina komposta⁴¹ koja se sastoji od dvofazne komine (40%), kokošjeg gnoja (40%) i slame te usitnjenog lišća (20%).

⁴⁴ Doula, M. K., Moreno-Ortego, J. L., Tinivella, F., Inglezakis, V. J., Sarris, A., & Komnitsas, K. (2017). Olive mill waste: recent advances for the sustainable development of olive oil industry. In *Olive Mill Waste* (pp. 29-56). Academic Press.



Slika 30. Kompostiranje komine masline u Španjolskoj pomoću tehnologije windrows (Doula i sur., 2012)

U Grčkoj na Kreti se komina masline kompostira na način da se koristi kompostna mješavina od komine masline (45%), kozjeg gnoja (45%) i peteljkovine grožđa (10%)⁴².



Slika 31. Kompostiranje komine masline u Grčkoj pomoću tehnologije windrows (Doula i sur., 2012)

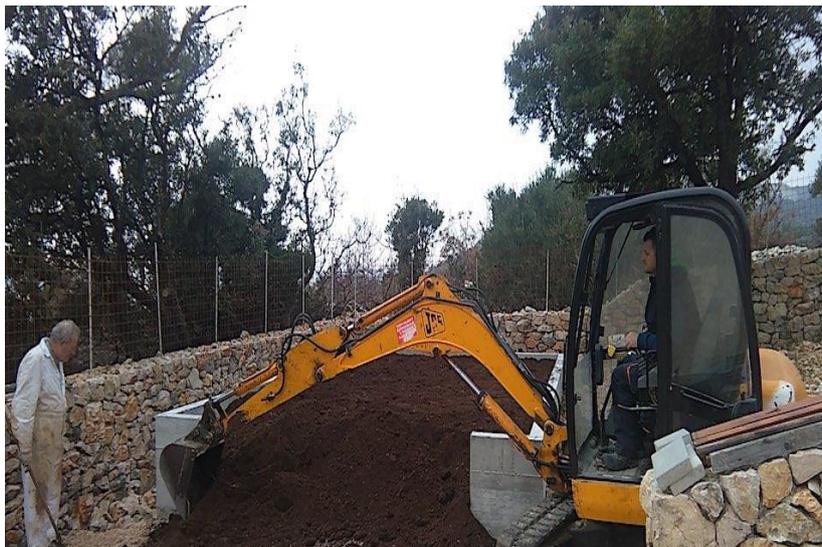


Slika 32. Kompostiranje komine masline na odlagalištu otpada Treskavac otoka Krk pomoću tehnologije windrows (<http://www.novolist.hr/Zivot-i-stil/Dom-i-vrt/Majstori-reciklaze-Krcka-firma-pretvorila-opasan-otpad-u-supergnojivo>)

Tehnologija kompostiranja komine masline u statičkim hrpama također je zastupljena u Mediteranskim zemljama ali se manje koristi u proizvodnji velikih količina komposta. Ako statične kompostne hrpe nisu ventilirane sustavom difuznih cijevi (opisano u poglavlju 3.1.3.2) potrebno je redovito prevrtanje i okretanje supstrata kako ne bi nastali anaerobni uvjeti (slika 33). Ova tehnologija je postala dobro organizirana na otoku Rabu (slika 34).



Slika 33. Kompostiranje komine masline pomoću statičkih hrpa (Doula i sur., 2012)



Slika 34. Kompostiranje komine masline pomoću statičkih hrpa na otoku Rab (<http://www.natura-rab.hr/foto-galerija.html>)

Vlastita istraživanja

U sklopu projekta Redgreenplant, komina masline se kompostirala korištenjem sustava statičnih hrpa u zatvorenom prostoru s nadstrešnicom na pokusnom poljoprivrednom imanju Instituta za poljoprivredu i turizam. S obzirom da smo laboratorijskim analizama utvrdili da je CN omjer nabavljene komine (Slika 35) 29,6, kod kompostiranja nije bilo potrebno miješanje komine sa dodatnim organskim materijalom.



Slika 35. Nabavljena maslinova komina (foto: M. Černe)

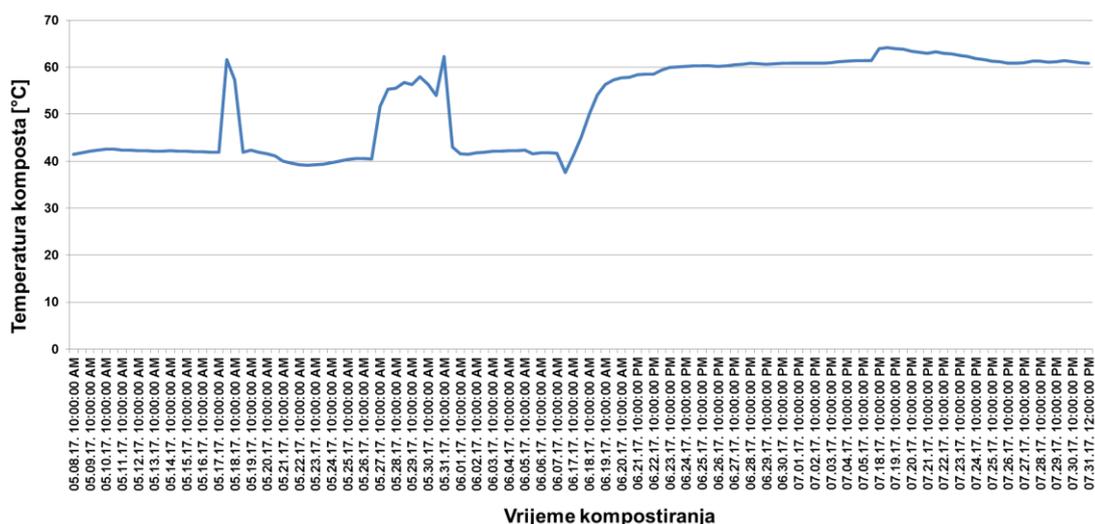
Proizvodnja komposta od maslinove komine je započela sa 1. 5. 2017. na način da je za kompostiranje korišten komposter volumena 1 m³ (slika 36). Komposter je

izgrađen od betonskih cigla koje su osigurale dovoljnu toplinsku izolaciju što je bilo važno zbog manjeg gubitka temperature i vlage iz komposta. Hrpa je bila zaštićena sa folijom čime je smanjena dehidracija komposta. U namjeri dobre prozračnosti komposta hrpa je bila ručno pomiješana svakog 3 do 4 tjedna. Tijekom miješanja dodavana je voda čime je osigurana odgovarajuća vlažnost komposta.



Slika 36. Komposter za maslinovu kominu foto: (M. Černe)

Temperatura, kao jednog od najvažnijih indikatora mikrobne aktivnosti komposta, je kontinuirano praćena s temperaturnim senzorima (HOBO) u sredini hrpe komposta. Navedeni senzori su bili spojeni na uređaj za prikupljanje podataka (HOBO Data Logger) koji je očitavan pomoću programa HOBOWare svakih 14 dana. Temperatura u sredini komposta se je sa početne mezofilne faze brzo povećala na razinu termofilne faze kada se kretala između 40 i 60 °C (graf 5). Visoka temperatura je bila prisutna u kompostu više od 3 mjeseca sve do njegove primjene kao supstrata. Putem pedoloških i kemijskih analiza određena je kvaliteta dobivenog komposta pomoću sljedećih parametara: pH, EC (električna vodljivost), udio suhe tvari, ukupna koncentracija fosfora i kalija, ukupni sadržaj ugljika i dušika te ukupna koncentracija metala.



Graf 5. Kretanje temperature komposta tijekom procesa aerobne razgradnje

Činjenica da je zbog ograničenog vremena trajanja projekta Redgreenplant kompostiranje komine masline bilo prekratko, sustav statičnih hrpa se na temelju praćenja temperature i analize komposta pokazao kao kvalitetan način za obradu komine masline koji može biti u uvjetima cjelovitog procesa kompostiranja primjenjiv za zbrinjavanje manjih kao i većih količina navedenog otpada. Na jednom tretmanu bio je korišten i *bio-algeen*, poznat kao komercijalni ubrzivač kompostiranja komine koji nije pokazao nikakvog efekta na proces kompostiranja te je bio stoga isključen iz daljnje studije. Budući da je svježa komina lignocelulozni materijal bogat sa ostacima ulja i fenolima koji su fitotoksični te se potencijalno mogu ispirati i u podzemne vode proces kompostiranja se ne može previše ubrzati nego traži svoje vrijeme kako bi se toksični spojevi mogli dovoljno preraditi da dobiveni supstrat nije štetan za okoliš i da se može koristiti u poljoprivredi.

U sklopu projekta Redgreenplant rezultati su potvrdili dobar omjer između makro i mikro hraniva u kompostu od komine maslina sa značajno većim sadržajem ukupnog K u odnosu na K u tlu crvenice i rendzine (Tablica 6). Prema EU izvješću "Good Practices for the Agronomic Use of Olive Mill Wastes"⁴¹ su bile koncentracije Zn, Fe, Cu i Mn u kompostu ispod prosječnih vrijednosti. Također i C/N odnos proizvedenog komposta (17) u odnosu na C/N odnos svježe komine (47) upotrebljene za kompostiranje ukazuje da se tehnologija statičkih hrpa može primijeniti i na manjim količinama maslinove komine u svrhu proizvodnje kvalitetnog komposta. Obzirom na navedene spoznaje navedeni kompost može se mjeriti i uspoređivati sa zrelim i poluzrelim stajskim gnojem.

Tablica 6. Ukupne koncentracije makrohraniva, mikrohraniva i potencijalno toksičnih metala u kompostu od komine maslina te tlu rendzine i crvenice (rezultati su izraženi na suhu tvar)

Istraživani materijali	Ca g/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Fe g/kg	Hg mg/kg	K g/kg	Mg g/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	P g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Rendzina	188.0	<0.2	47.7	24.5	23.2	0.1	7.0	6.8	992.0	0.7	48.5	0.3	8.5	51.9
Terra Rossa	4.6	0.4	99.3	30.6	56.8	0.0	7.8	3.5	1162.0	2.5	62.2	0.3	34.3	93.1
Kompostirana	6.0	0.4	2.3	30.3	1.0	<0.0	26.5	1.0	20.7	<0.4	3.3	2.8	4.1	50.7

4. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA I EKONOMSKA ANALIZA POGONA ZA OBRADU KANALIZACIJSKOG MULJA KOMPOSTIRANJEM

4.1. Definiranje kapaciteta pogona

Instalirani kapacitet pogona za kompostiranje komunalnog mulja i ostalog biorazgradivog organskog otpada koji će se obraditi u ovoj studiji ovisi o više čimbenika od kojih se navode sljedeći:

- neškodljivi utjecaj na prirodu i ljude u okruženju,
- količine dostupnog biorazgradivog materijala koji će se u kompostani obrađivati,
- veličina područja sa kojega će se ulazni materijal sakupljati vodeći računa o tome da troškovi transporta ne zauzimaju visoko učešće u strukturi ukupnih troškova budućeg poslovanja. Pritom, troškovi transporta uključuju sve aktivnosti koje su povezane s dovozom ulaznog materijala do kompostane, kao i na odvoz gotovog komposta do mjesta njegovog zbrinjavanja,
- mogućnosti zbrinjavanja cjelokupne količine proizvedenog komposta pri čemu bi najprihvatljivije bila njegovo korištenje u svrhu poboljšanja fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla i za ishranu bilja. U tom slučaju treba uzeti u obzir ukupnu raspoloživu površinu zemljišta u okruženju pogona i količinu komposta koju je po jedinici površine moguće aplicirati. Neki od ostalih oblika korištenja komposta su malčiranje (zaštita tla od sunca, kiše, vjetra), kao hrana mikroorganizmima ili sirovina za proizvodnju raznih hranjivih podloga i slično,
- visina ukupnih investicijskih ulaganja u uređenje lokacije, izgradnju i opremanje pogona kompostane,
- podaci o instaliranim kapacitetima u aktivnim kompostanama u Hrvatskoj koji se iznose u narednoj tablici.

Tablica 7: Lokacije i kapaciteti kompostana u Hrvatskoj u 2016. godini

Redni broj	Lokacija kompostane	Kapacitet (t/god)
1.	Imbriovec	6.990
2.	Kloštar Ivanić	27.300
3.	Koprivnica (Herešin)	1.900
4.	Krk (Ponikve)	6.000
5.	Perušić	1.200
6.	Prelog	3.000
7.	Jakuševac (Prudinec)	27.000
8.	Jankomir	10.000
9.	Markuševac	10.000
	Ukupno	93.390

Izvor: http://www.mzoip.hr/doc/strateska_studija_o_utjecaju_plana_gospodarenja_otpadom_r_republike_hrvatske_za_razdoblje_2016-2022_na_okolis.pdf

Iz tablice je vidljivo da je 2016. godine u Hrvatskoj bilo aktivno 9 kompostana čiji se instalirani kapaciteti kreću od 1.900 - 27.300 tona obrađenog organskog materijala godišnje. Analizom je utvrđeno da njihov prosječni kapacitet iznosi 10.377 t/godišnje, a medijalna vrijednost kapaciteta iznosi 6.990 t/godišnje.

Uzimajući u obzir prethodno navedene čimbenike, predmet obrade ove studije biti će kompostana u kojoj će se godišnje obraditi ukupno 7.000 t ulaznog organskog materijala koji će se sastojati od mješavine komunalnog mulja i raznog drugog biorazgradivog, organskog otpada. Budući da je optimalni odnos mulja i ostalog otpada u smjesi 30:70 proizlazi da će se u ovoj kompostani godišnje obrađivati oko 2.000 t komunalnog mulja (s udjelom suhe tvari oko 23%) i oko 5.000 t ostalog organskog otpada (s udjelom suhe tvari oko 75%).

Koristeći uobičajeni normativ proizvodnje komunalnog mulja koji iznosi 40 g suhe tvari mulja po stanovniku dnevno proizlazi da ovakva kompostana može u cijelosti obrađivati dobiveni komunalni mulj s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta 40.000 ES.

Površina parcele na kojoj će pogon biti lociran iznosi 3.000 m².

4.2. Tehničko-tehnološka obilježja pogona

4.2.1. Građevinski objekti

Pogon za kompostiranje sastoji se od sljedećih gospodarskih objekata: jednog zatvorenog skladišta komunalnog mulja veličine 20 x 10 x 4,5 m (duljina x širina x visina) i površine 200 m²; jednog zatvorenog skladišta organskog otpada veličine 50 x 10 x 4,5 m (duljina x širina x visina) i površine 500 m²; četiri zatvorena tunela za fermentaciju, pojedinačne veličine 15 x 6 x 4,5 m (duljina x širina x visina) i površine 90 m² (visina punjenja materijala: 3,7 m); četiri otvorenih hala za sazrijevanje, pojedinačne veličine 15 x 6 x 4,5 m (duljina x širina x visina) i površine 90 m² (visina utorivanja materijala: 2,5 m); jednog otvorenog skladišta gotovog komposta, površine 500 m² i upravne zgrade.

4.2.2. Oprema

4.2.2.1. Oprema za upuhavanje svježeg zraka u tunele

Ventilacijske jedinice omogućuju cirkulaciju zraka u tunelima čime su kontrolirani parametri poput temperature, vlažnosti i koncentracije kisika koji su važni za proces fermentacije i sazrijevanja komposta. Svaki tunelni ventilator montiran je u tunelima za fermentaciju kao i halama za sazrijevanje komposta te se sastoji od centrifugalnog ventilatora, ventila i sustava aluminijskih cijevi. Kućište i ventilator izrađeni su od nehrđajućeg čelika. Kapacitet centrifugalnog ventilatora je 4 kW instalirane snage i 2,9 kW prosječne apsorbirane snage. Dnevni rad ventilatora u tunelima za fermentaciju iznosi 12 sati dok su ventilatori u halama za sazrijevanje dnevno u pogonu 4 sata.

4.2.2.2. Oprema za ventiliranje tehničkih koridora i prostora

Za ventilaciju tehničkih koridora – iznad tunela i iznad uređaja za čišćenje – ugrađeni su aksijalni ventilatori i rešetke za smanjenje buke. Predviđena su ukupno 3 HIT ventilatora raspoređena preko tehničkog koridora za tunelne ventilatore i ventilatore biofiltera.

Procesni se zrak usisava u tunele kada je to potrebno za kompostiranje. Zrak za to pušta se kroz ventile u prijemnom prostoru. U slučaju da tuneli koriste manje zraka, premosnicom se može pustiti dodatni zrak iz prostora.

4.2.2.3. Sustav podnog prozračivanja tunela

Tuneli za fermentaciju i hale za sazrijevanje komposta opremljeni su sustavom podne aeracije (slika 37). Primjenom tog sustava nastaje vrlo jednolika distribucija zraka, kisika, vlage i temperature unutar kompostne biomase. Dovod zraka sastoji se od PVC cijevi s mlaznicama izrađenima od plastičnog materijala. Sustav s mlaznicama zatvoren je u betonskom okviru i vidljiv je samo vrh mlaznica.



Slika 37. Sustav podnog prozračivanja s mlaznicama u izgradnji prije lijevanja betona (<http://www.christiaensgroup.com/waste-management-projects/bioman-spa>)

4.2.2.4. Sustav za izdvajanje zagađenog zraka i biološki filter

Ispušni zrak iz tunela i zrak za hlađenje usisava se u izgrađeni uređaj za čišćenje. Zrak pod nadtlakom iz tunela ispuhuje se kroz aluminijske cijevi u uređaj za čišćenje. Zatim 2 pojedinačna ventilatora isisavaju zrak iz uređaja i ispuhuju ga kroz biofiltre. Ventilatori su izrađeni od nehrđajućeg čelika s galvaniziranim okvirom i amortizerima. Snaga ventilatora je 45 kW za biofiltre 1-5 i 75 kW za biofiltre 6-10.

U uređaj za čišćenje ugrađene su pumpe. Na uređaj za čišćenje priključeni su nadtlakna cijev i ventilatori. U tim uređajima za čišćenje zrak se vlaži i iz njega se djelomično uklanjaju mirisi.

4.2.2.5. Sustav za prskanje i obradu procjedne vode

U tom uređaju za čišćenje ugrađuje se sustav za prskanje i sustav za obradu vode. Voda iz sustava za obradu vode koristi se za prskanje tunela i prskanje uređaja za čišćenje.

Za obradu procjedne vode dostavlja se sustav pumpi. One pumpaju procjednu vodu kroz mehaničku rešetku, pumpaju procesnu vodu preko uređaja za čišćenje ili preko tunela i prema potrebi prskaju kišnicu ili vodu iz vodovoda preko tunela i preko biofiltara. U tunelima i iznad biofiltara ugrađuju se prskalice.

4.2.2.6. Ostala oprema

Svaki je tunel opremljen vratima (slika 38) koja su posebno konstruirana za tunele za kompostiranje.



Slika 38. Vrata tunela

(<https://www.biocycle.net/2014/03/28/high-solids-anaerobic-digestion-composting-in-san-jose/>).

Sustav za kontrolu kompostiranja važan je dio opreme jer izvodi kontrolu procesa u tunelima za kompostiranje, podovima za dozrijevanje, središnjoj cijevi za ispuh zraka, uređaju za čišćenje, biofiltrima, upravljanju vodama i ventilaciji tehničkih koridora. Navedeni sustavi uključuju: Windows softver, komunikacijski softver i modem, mjerne

uređaje za temperaturu, vlagu, količinu zraka i koncentraciju kisika, sklopke za kontrolu i mjerenja te frekvencijske pretvarače za sve ventilatore.

Tuneli uključuju još senzore za praćenje temperature komposta, temperature zraka, koncentracije kisika (O₂), volumna zraka i količine zraka.

Bioški filter je opremljen sensorima za mjerenje temperature zraka (suhog i vlažnog termometra), temperature materijala, volumena zraka i količine zraka.

Sustav podne aeracije u halama za sazrijevanje opremljen je sensorima za mjerenje temperature materijala i temperature zraka (suhog i vlažnog termometra).

U svrhu vaganja ulaznog i izlaznog materijala iz tunela potrebna je i kolna vaga (slika 39) koja bilježi količinu uvezenog komunalnog mulja, organskog strukturnog otpada kao i gotovog komposta.



Slika 39. Kolna vaga na ulaz u deponiju
(<http://www.slavonski-brod.hr/index.php/320-obavijesti/aktualno/5694-projekt-sanacije-deponije-vijus-plato-za-pranje-vozila-i-kolna-vaga-na-ulazu-u-deponiju>)

4.2.3. Mehanizacija i strojevi

Kako bi mogli pripremiti kompostnu mješavinu od komunalnog mulja i zelenog otpada potrebno je usitniti zeleni strukturni materijal na veličinu od 15-30 mm. U tu svrhu preporučuje se drobilica zelenog otpada sa kapacitetom od 10t/h (slika 40) i utovarivač (neto snaga 100 kW) s korpom za miješanje mulja i zelenog otpada te zapreminom miješalice od 2 m³ (slika 41).



Slika 40. Drobilica zelenog otpada (<http://tn-intermachinery.com/tn/index.php/en/machinery/willibald/mza-2400-4300-4800-detail.html>).



Slika 41. Utovarivač za pripremu kompostne mješavine (<https://en.emily.fr>)

Nakon dobivenog komposta slijedi i prosijavanje proizvedenog supstrata na veličinu od 15 mm. U tu svrhu koristit će se specijalizirani stroj za prosijavanje komposta (slika 42).



Slika 42. Stroj za prosijavanje komposta
(<http://www.laganvalleyequipment.com/roto-screen-news.php>)

4.3. Vrijednost investicijskih ulaganja

Investicijsko ulaganje u pogon kompostane sastoji se od infrastrukturnog opremanja parcele ukupne površine 3.000 m², zatim izgradnje i opremanja objekata ukupne površine 2.020 m² koji se svi nalaze u jednoj etaži - prizemlju, te njihovog opremanja svom opremom, strojevima i mehanizacijom potrebnom za obradu i manipulativne zahvate tijekom postupka kompostiranja. Detaljan popis i vrijednosti pojedinih ulaganja u izgradnju i opremanje pogona kompostane prikazani su u narednoj tablici.

Tablica 8. Struktura i vrijednosti investicijskih ulaganja

Red. broj	Opis ulaganja	Jed. mjere	Količina - ukupno	Cijena po jed. (kn)	Vrijednost	
					kn	EUR
I	Infrastruktura i građevinski objekti					
1	Projektiranje i ishodovanje dozvola				1.125.000	150.000
2	Infrastrukturno opremanje lokacije pogona	m ²	3.000	488	1.462.500	195.000
3	Zatvoreno skladište komunalnog mulja	m ²	200	3.000	600.000	80.000
4	Skladište zelenog organskog otpada	m ²	500	2.250	1.125.000	150.000
5	Zatvoreni tuneli za fermentaciju - 4 komada	m ²	360	4.500	1.620.000	216.000
6	Hale za sazrijevanje	m ²	360	3.375	1.215.000	162.000
7	Skladište gotovog komposta	m ²	500	2.250	1.125.000	150.000
8	Upravna zgrada	m ²	100	7.500	750.000	100.000
	Ukupno infrastruktura i objekti				9.022.500	1.203.000
II	Oprema					
1	Sustav opreme za upuhavanje zraka	kom.	4	150.000	600.000	80.000
2	Sustav za obradu procijedne vode	kom.	4	112.500	450.000	60.000
3	Oprema za praćenje temperature, vlage, kisika i pH	kom.	12	30.000	360.000	48.000
4	Biološki filter	kom.	1	225.000	225.000	30.000
5	Kolna vaga	kom.	1	112.500	112.500	15.000
	Ukupno oprema				1.747.500	233.000
III	Strojevi i mehanizacija					
1	Drobnica zelenog otpada	kom.	1	825.000	825.000	110.000
2	Bager snage 100 kW	kom.	1	675.000	675.000	90.000
3	Korpa za bager s mješalicom zapremine 2 m ³	kom.	1	150.000	150.000	20.000
4	Stroj za prosijavanje komposta	kom.	1	900.000	900.000	120.000
	Ukupno strojevi i mehanizacija				2.550.000	340.000
	Sveukupno investicija				13.320.000	1.776.000

Ukupna vrijednost investicijskog ulaganja u izgradnju i opremanje pogona kompostanje kapaciteta 7.000 t ulaznog organskog materijala iznosi 13.320.000 kn,

odnosno 1.776.000 EUR. U strukturi investicijskog troška, najveće učešće ima infrastrukturno opremanje lokacije i izgradnja objekata (68%), dok na nabavu strojeva i opreme otpada 19%, a na opremanje pogona 13% od ukupnih investicijskih ulaganja.

4.3.1. Izvori sredstava financiranja

Financiranje investicijskih ulaganja u izgradnju i opremanje pogone kompostane planirati će se na način da se 50% ukupnih ulaganja osigura iz vlastitih izvora potencijalnog investitora, dok bi se preostalih 50% investicije financiralo putem bankovnog kredita.

Tablica 9. Struktura financiranja investicije

Izvori sredstava	Udio (u %)	Visina ulaganja	
		u kn	u EUR
Kredit	50	6.660.000	888.000
Vlastiti izvori	50	6.660.000	888.000
Ukupno	100	13.320.000	1.776.000

Ovim je poslovnim planom predviđeno da potencijalni investitor u pogon kompostane uloži 6.660.000 kuna odnosno 888.000 EUR. Isti iznos osigurati će se i putem kredita poslovne banke.

4.3.2. Uvjeti i plan otplate kredita

Uvjeti pod kojima je moguće koristiti sredstava bankovnog kredita namijenjenih izgradnji kompostane su slijedeći (primjer HBOR financiranja INFRASTRUKTURE):

- rok otplate iznosi 10 godina u što je uključena i 1 godina počeka;
- kamatna stopa iznosi 4% godišnje;
- kredit se vraća u jednakim godišnjim anuitetima.

Na osnovu prethodno navedenih uvjeta kreditiranja izrađen je plan otplate kredita u kuskim vrijednostima.

Tablica 10. Plan otplate kredita (u kunama)

Otplatno razdoblje	Anuitet	Kamata	Otplata	Ostatak duga
				6.660.000
1. godina - početak	266.400	266.400	0	6.660.000
2. godina - otplata	895.723	266.400	629.323	6.030.677
3. godina - otplata	895.723	241.227	654.496	5.376.180
4. godina - otplata	895.723	215.047	680.676	4.695.504
5. godina - otplata	895.723	187.820	707.903	3.987.601
6. godina - otplata	895.723	159.504	736.219	3.251.382
7. godina - otplata	895.723	130.055	765.668	2.485.714
8. godina - otplata	895.723	99.429	796.295	1.689.419
9. godina - otplata	895.723	67.577	828.147	861.272
10. godina - otplata	895.723	34.451	861.272	0
Ukupno	8.327.910	1.667.910	6.660.000	

Plan otplate predviđa da investitor kreditna sredstva dobije na početku prve godine ekonomskog vijeka projekta te da se cjelokupan kredit utroši u prvih 6 mjeseci, odnosno da se investicija stavi u funkciju u srpnju te godine.

Tijekom prve godine traje početak na otplatu glavnice tako da postoji obveza plaćanja samo kamata. Prvi anuitet, koji predstavlja zbroj otplatne rate glavnice kredita i pripadajućih kamata, dospijeva na kraju druge godine ekonomskog vijeka projekta. Kredit se u potpunosti otplati na kraju 10. godine projekta.

4.4. Tržno-ekonomska analiza projekta

Već je prije navedeno da će razdoblje investiranja trajati 6 mjeseci tako da se s poslovanjem planira započeti u srpnju prve godine vijeka projekta. Stoga će se svi obračuni vezani za poslovanje (prihodi i troškovi) u tablicama Računa dobiti i gubitka, Financijskog i Ekonomskog tijekom vijeka za prvu godinu projekta odnositi na period od 6 mjeseci, odnosno na razdoblje od srpnja do prosinca. Nadalje, u istim tablicama prve tri godine vijeka projekta predstavljaju razdoblje uhodavanja poslovanja tako da će se u tim godinama poslovati s nižom razinom iskorištenosti kapaciteta: u 1 i 2. godini iskorištenost kapaciteta će biti 80%, u 3. godini 90%, dok se od 4. godine vijeka projekta nadalje planira poslovati na razini 100% iskorištenosti kapaciteta.

U narednim izračunima prihoda i troškova obraditi će se poslovanje na razini krajnje, 100%-tne iskorištenosti kapaciteta kompostane pod čime se podrazumijeva obrada

7.000 tona miješanog organskog otpada koliko iznosi instalirani kapacitet ovog pogona.

4.4.1. Formiranje ukupnog prihoda

Prihodi u poslovanju kompostane ostvarivati će se iz naknade koja će investitor naplaćivati od gospodarskih subjekata u okruženju koji će na ovoj način, putem kompostiranja, zbrinjavati svoj otpad: komunalni mulj, organski otpad iz kućanstava i razni ostaci biljne mase. U prvom redu to su tvrtke koje upravljaju uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, zatim komunalni subjekti koji sakupljeni organski otpad kućanstava, kao i tvrtke koje se bave uređivanjem parkova i zelenih površina. Količine ovih proizvoda u narednoj tablici iznesene su na godišnjoj razini.

Kako bi se postigli optimalni uvjeti u procesu kompostiranja, predviđeno je da odnos pojedinih dijelova otpada bude sljedeći:

komunalni mulj : zeleni biljni otpad : organski otpad iz kućanstava = 30 : 20 : 50

Tablica 11. Formiranje ukupnog prihoda

Red. broj	Materijal za kompostiranje	Jed. mjere	Količina godišnje	Naknada za zbrinjavanje (kn/t)	Ukupni prihod (kn)
1.	Komunalni mulj	t	2.000	638	1.275.000
2.	Biljni otpad	t	1.500	225	337.500
3.	Organski otpad iz kućanstava	t	3.500	300	1.050.000
Ukupan prihod			7.000		2.662.500

U godinama punog obujma poslovanja u kompostani će se obrađivati 2.000 t komunalnog mulja, 1.500 t zelenog biljnog otpada i 3.500 t organskog otpada iz kućanstava. Naknada za zbrinjavanje komunalnog mulja iznosi 638 kn/t (85 EUR/t), za zbrinjavanje biljnog otpada 225 kn/t (30 EUR/t) i za zbrinjavanje organskog otpada iz kućanstava 300 kn/t (40 EUR/t).

Na temelju tih veličina izračunato je da ukupni prihod kompostane u godini punog obujma poslovanja iznosi 2.662.500 kn.

4.4.2. Obračun troškova

Analiza troškova izvršiti će se po njihovim osnovnim skupinama, a to su: troškovi materijala i usluga, troškovi radne snage, amortizacija, trošak financiranja (koji je obrađen u prethodnom poglavlju „Uvjeti i plan otplate kredita“) i ostali izdaci u poslovanju.

4.4.2.1. Troškovi materijala i usluga

Trošak materijala i usluga utvrđen je temeljem tehničkih karakteristika instalirane opreme, odnosno nabavljenih strojeva i mehanizacije.

Tablica 12. Troškovi materijala i usluga

Red. broj	Materijali, energenti i usluge	Jed. mjere	Količina godišnje	Cijena po jed. (kn)	Vrijednost (kn)
1	Struja	kWh	160.000	0,88	140.800
2	Dizel gorivo	lit	24.000	7,60	182.400
3	Maziva	kg	800	40,00	32.000
4	Voda	m ³	4.000	8,00	32.000
5	Laboratorijske usluge	uzorak	36	1.000,00	36.000
6	Usluge servisiranja i održavanja				85.950
7	Usluga zbrinjavanja komposta	t	1.500	100,00	150.000
Ukupno					659.150

Ukupni godišnji trošak materijala i usluga iznosi 659.150 kn. U strukturi materijalnih troškova najveći udio otpada na dizel gorivo za rad bagera čija je potrošnja izračunata na temelju 6 sati efektivnog rada tijekom 200 dana u godini i potrošnje goriva od 20 litara/sat.

Proračun utroška struje izrađen je na osnovu ukupne snage koju će apsorbirati svi instalirani električni strojevi i oprema, a koja iznosi 50 kW. Od toga najveći udio (33 kW ili 66%) otpada na rad ventilatora u procesima fermentacije i sazrijevanja komposta, te za izdvajanje zagađenog zraka. Struja se, od većih potrošača, koristi i za pogon drobilice zelenog otpada i stroja za prosijavanje komposta. Proračun utroška struje izrađen je na temelju prosječnog rada ovih strojeva od 12 sati dnevno kroz 250 dana u godini.

Trošak zbrinjavanja komposta odnosi se na uslugu njegovog odvoza na zemljišne površine gdje će se koristiti kao poboljšivač fizikalnih, kemijskih i bioloških značajki tla i za ishranu bilja.

4.4.2.2. Troškovi radne snage

Obavljanje radnih operacija u pogonu kompostane iziskuje angažiranje 3 stalno uposlena radnika. To su upravitelj pogona, rukovoditelj postrojenja i vozač bagera. Bruto plaća ovih radnika iznosi od 50 do 75 kn/sat.

Tablica 13. Struktura i trošak radne snage

Red broj	Opis radnog mjesta	Broj radnika	Bruto plaća mjesečno (kn)	Bruto plaća godišnje (kn)
1.	Upravitelj pogona	1	12.000	144.000
2.	Rukovoditelj postrojenja	1	10.000	120.000
3.	Vozač bagera	1	8.000	96.000
	Ukupno	3		360.000

Bruto trošak 3 stalno uposlena radnika u pogonu kompostane iznosi 360.000 kn godišnje.

4.4.2.3. Amortizacija

Godišnja se amortizacija u nekoj proizvodnji određuje na osnovi vrijednosti osnovnih sredstava koja su angažirana u procesu proizvodnje te definirane amortizacijske stope za pojedino sredstvo. Temelj za izračun amortizacije je vrijednost investicijskih ulaganja u pojedine kategorije dugotrajne imovine: građevinski objekti, oprema te strojevi i mehanizacija. Godišnja amortizacijska stopa svake pojedine kategorije osnovnih sredstava određuje se na osnovu njihovog planiranog ekonomskog vijeka korištenja koji za građevinske objekte iznosi 40 godina, a za opremu, strojeve i mehanizaciju 10 godina.

Tablica 14. Struktura i iznos amortizacije

Red br	Opis osnovnog sredstva	Vrijednost ulaganja	Amortizacijska stopa	Iznos amortizacije godišnje
1.	Građevinski objekti	9.022.500	2,5%	225.563
2.	Oprema	1.747.500	10%	174.750
3.	Strojevi i mehanizacija	2.550.000	10%	255.000
	Ukupno	13.320.000		655.313

Visina amortizacije izračunata je temeljem godišnje amortizacijske stope od 2,5% za građevinske objekte, te 10% za opremu, strojeve i mehanizaciju. Ukupna godišnja amortizacija svih osnovnih sredstava pogona kompostane iznosi 655.313 kn.

4.4.2.4. Ostali izdaci

Osim ovih osnovnih, u procesu proizvodnje javljaju se i ostali troškovi kao što su:

- troškovi tekućeg i investicijskog održavanja, odnosno nepredvidivi materijalni troškovi koji su varijabilni i planiraju se u visini od 133.200 kn godišnje;
- troškovi usluga s karakterom materijalnih troškova, u što su uključene usluge ishođenja dozvola i certifikata, usluge ostalih prijevoza, knjigovodstvene i pravne usluge i sl., predviđaju se u visini 80.000 kn godišnje;
- na račun nematerijalnih troškova - dodatni troškovi radne snage, premije osiguranja, troškovi financiranja i sl. planira se izdvojiti 105.950 kn.

Prema tome, za ostale izdatke u poslovanju pogona kompostane godišnje će se utrošiti 319.150 kn.

4.4.3. Projekcija računa dobiti

U tablici 15 prikazana je raspodjela ukupnog prihoda, odnosno projekcija računa dobiti, tijekom razdoblja od 20 godina poslovanja pogona.

U prvoj godini prikazano je polugodišnje poslovanje budući je predviđeno da se pogon kompostane stavi u funkciju u srpnju.

Također, u prvim godinama poslovanja ostvarivati će se niža razina iskorištenosti kapaciteta: u 1. i 2. godini vijeka projekta planira se poslovanje na 80% iskorištenosti, u 3. godini na 90%, a od 3. godine nadalje iskorištenost projektiranog kapaciteta će biti 100%.

4.4.4. Financijski tijek projekta

Financijski tijek projekta, koje je prikazan u tablici 16, uzima u obzir stvarne novčane tokove tijekom 20 godina poslovanja. Za razliku od računa dobiti, financijski tijek uzima u obzir i investicijska ulaganja, odnosno njihovu visinu i izvore financiranja po godinama. Nadalje, financijski tijek ne uključuje amortizaciju u izdatke poslovanja jer je to samo knjigovodstveni trošak, ali zato s druge strane uzima u izračun ukupne obaveze po kreditu (kamatu i otplatu glavnice) za razliku od računa dobiti u kojem se kao trošak poslovanja priznaje samo kamata. Iz tablice financijskog tijeka biti će vidljivo da li program u svim godinama poslovanja ostvaruje pozitivne, novčano izražene, rezultate.

Tablica 15. Račun dobiti (u kunama)

Godine vijeka projekta	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1. UKUPAN PRIHOD	1.065.000	2.130.000	2.396.250	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
2. UKUPNI IZDA TAK	1.063.845	2.064.353	2.137.010	2.208.660	2.181.433	2.153.117	2.123.668	2.093.041	2.061.189	2.028.063
- materijalni troškovi	263.660	527.320	593.235	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150
- bruto plaće	144.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
- amortizacija	262.125	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313
- ostali izdaci	127.660	255.320	287.235	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150
- kamate	266.400	266.400	241.227	215.047	187.820	159.504	130.055	99.429	67.577	34.451
3. BRUTO DOBIT	1.155	65.647	259.240	453.840	481.067	509.383	538.832	569.459	601.311	634.437
- obveze iz dobiti	231	13.130	51.848	90.768	96.213	101.877	107.766	113.892	120.262	126.887
4. NETO DOBIT	924	52.518	207.392	363.072	384.854	407.507	431.066	455.567	481.049	507.549

Tablica 15 (nastavak). Račun dobiti (kn)

Godine vijeka projekta	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
1. UKUPAN PRIHOD	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
2. UKUPNI IZDA TAK	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613	1.993.613
- materijalni troškovi	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150
- bruto plaće	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
- amortizacija	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313	655.313
- ostali izdaci	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150
- kamate	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. BRUTO DOBIT	668.888	668.888	668.888	668.888	668.888	668.888	668.888	668.888	668.888	668.888
- obveze iz dobiti	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778
4. NETO DOBIT	535.110	535.110	535.110	535.110	535.110	535.110	535.110	535.110	535.110	535.110

Tablica 16. Financijski tijek programa (u kunama)

Godine vijeka projekta	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
I PRIMICI	14.385.000	2.130.000	2.396.250	2.662.500						
1. Ukupan prihod	1.065.000	2.130.000	2.396.250	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
2. Izvori financiranja	13.320.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- kredit	6.660.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- vlastiti izvor	6.660.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Ostatak vrijednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- osnovna sredstva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II IZDACI	14.121.951	2.051.493	2.188.041	2.324.791	2.330.237	2.335.900	2.341.790	2.347.915	2.354.285	2.360.911
1. Investicija	13.320.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Materijalni trošak	263.660	527.320	593.235	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150
3. Bruto plaća	144.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
4. Ostali izdaci	127.660	255.320	287.235	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150
5. Anuiteti	266.400	895.723	895.723	895.723	895.723	895.723	895.723	895.723	895.723	895.723
- kamata	266.400	266.400	241.227	215.047	187.820	159.504	130.055	99.429	67.577	34.451
- otplatna kvota	0	629.323	654.496	680.676	707.903	736.219	765.668	796.295	828.147	861.272
6. Obveze iz dobiti	231	13.130	51.848	90.768	96.213	101.877	107.766	113.892	120.262	126.887
III NETO PRIMICI	263.049	78.507	208.209	337.709	332.263	326.600	320.710	314.585	308.215	301.589

Tablica 16 (nastavak). Financijski tijek programa (u kunama)

Godine vijeka projekta	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
I PRIMICI	2.662.500	7.173.750								
1. Ukupan prihod	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
2. Izvori financiranja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- kredit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- vlastiti izvor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Ostatak vrijednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.511.250
- osnovna sredstva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.511.250
II IZDACI	1.472.078									
1. Investicija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Materijalni trošak	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150
3. Bruto plaća	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
4. Ostali izdaci	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150
5. Anuiteti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- kamata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- otplatna kvota	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6. Obveze iz dobiti	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778
III NETO PRIMICI	1.190.423	5.701.673								

4.5. Ekonomsko-financijska ocjena projekta

Ekonomsko-financijska vrijednost programa izrazit će se statičkom i dinamičkom ocjenom.

4.5.1. Statička ocjena

Statička ocjena projekta vrši se uz pomoć indikatora efikasnosti investicije u smislu utjecaja investicije na ukupno poslovanje investitora. U tu svrhu koriste se podaci iz reprezentativne 5. godine poslovanja prikazani u tablicama Račun dobiti i Financijski tijek projekta, te će se na temelju njih izvesti neki od pokazatelja efikasnosti projekta.

Pokazatelji opremljenosti i ekonomske efikasnosti poslovanja pogona kompostane su sljedeći:

$$1. \text{ Neto dobit po zaposlenom} = \frac{\text{Neto dobit}}{\text{Broj radnika}} = 128.285 \text{ kn/radniku}$$

Kod utvrđivanja ove ocjene uzeto je da program godišnje zapošljava 3 radnika. Dobivena vrijednost od 128.285 kn čiste dobiti po radniku godišnje je vrlo visoka.

$$2. \text{ Akumulativnost} = \frac{\text{Akumulacija}}{\text{Vrijednost investicije}} = 2,89\%$$

Akumulativnost ukazuje da će projekt godišnje ostvarivati novostvorenu vrijednost u visini 2,89% od iznosa ukupno investiranih sredstava što je zadovoljavajuća stopa.

$$3. \text{ Bruto plaća po radniku} = \frac{\text{Bruto plaća}}{\text{Broj radnika}} = 120.000 \text{ kn/radniku}$$

Izračunata vrijednost bruto plaće po radniku koja iznosi 120.000 kn godišnje, odnosno 10.000 kn mjesečno je zadovoljavajuća plaća ako se uzme u obzir kvalifikacijska struktura radne snage koja će se koristiti (VSS i SSS).

$$4. \text{ Ekonomičnost} = \frac{\text{Ukupan prihod}}{\text{Ukupna investicija}} = 1,22$$

Utrošena sredstva

Koeficijent ekonomičnosti od 1,22 ukazuje da je poslovanje pogona kompostane ekonomično, odnosno da se ostvaruje prihod koji je za 22% veći od ukupnih rashoda.

Neto primitak

$$5. \text{ Reproductivna sposobnost} = \frac{\text{Neto primitak}}{\text{Vrijednost investicije}} = 2,49\%$$

Ovaj pokazatelj označava da investitor na kraju godine ima na raspolaganju slobodnih novčanih sredstava u visini 2,49% od vrijednosti uložene investicije što je vrlo visoka stopa.

Investicija

$$6. \text{ Kapitalna opremljenost} = \frac{\text{Investicija}}{\text{Broj radnika}} = 4.440.000 \text{ kn/radniku}$$

Pokazatelj kapitalne opremljenosti od 4,44 milijuna kn po radniku ukazuje da je navedena proizvodnja kapitalno intenzivna, odnosno da iziskuje, u odnosu na uloženi kapital, relativno nizak utrošak ljudskog rada.

Tablica 17. Ekonomski tijek projekta (u kunama)

Godine vijeka projekta	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
I PRIMICI	1.065.000	2.130.000	2.396.250	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
1. Ukupan prihod	1.065.000	2.130.000	2.396.250	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
2. Ostatak vrijednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- osnovna sredstva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II IZDACI	13.855.551	1.155.770	1.292.318	1.429.068	1.434.513	1.440.177	1.446.066	1.452.192	1.458.562	1.465.187
1. Investicija	13.320.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Materijalni trošak	263.660	527.320	593.235	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150
3. Bruto plaće	144.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
4. Ostali izdaci	127.660	255.320	287.235	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150
5. Obveze iz dobiti	231	13.130	51.848	90.768	96.213	101.877	107.766	113.892	120.262	126.887
III NETO PRIMICI	-12.790.551	974.231	1.103.932	1.233.432	1.227.987	1.222.323	1.216.434	1.210.308	1.203.938	1.197.313

Tablica 17 (nastavak). Ekonomski tijek projekta (u kunama)

Godine vijeka projekta	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
I PRIMICI	2.662.500	7.173.750								
1. Ukupan prihod	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500	2.662.500
2. Ostatak vrijednosti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.511.250
- osnovna sredstva	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.511.250
II IZDACI	1.472.078									
1. Investicija	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Materijalni trošak	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150	659.150
3. Bruto plaće	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
4. Ostali izdaci	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150	319.150
5. Obveze iz dobiti	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778	133.778
III NETO PRIMICI	1.190.423	5.701.673								

4.5.2. Dinamička ocjena

Dinamička ocjena projekta zasniva se na utvrđivanju efikasnosti investiranja u dinamično shvaćenim uvjetima valorizacije novčanih tokova na relaciji investitor - investicija i investicija - društvo. Ovom analizom utvrdit će se rentabilnost i likvidnost programa. Polazna ocjena za određivanje rentabilnosti programa je tablica ekonomskog tijeka projekta.

4.5.2.1. Metoda razdoblja povrata investicijskog ulaganja

Razdoblje povrata investicijskog ulaganja je vrijeme potrebno da prihodi poslovanja pokriju sve investicijske troškove. Odnosno, to je razdoblje tijekom kojega je potrebno pribrojiti pozitivne neto-primitke u razdoblju poslovanja, da bi se zbroj negativnih neto-primitaka iz razdoblja izvedbe sveo na nulu.

Tablica 18. Razdoblje povrata investicijskog ulaganja (u kunama)

Godine vijeka projekta	Investicijska ulaganja	Godišnji neto primici	Kumulativ neto primitaka
1.	13.320.000	-12.790.551	-12.790.551
2.		974.231	-11.816.321
3.		1.103.932	-10.712.389
4.		1.233.432	-9.478.957
5.		1.227.987	-8.250.970
6.		1.222.323	-7.028.647
7.		1.216.434	-5.812.213
8.		1.210.308	-4.601.905
9.		1.203.938	-3.397.967
10.		1.197.313	-2.200.655
11.		1.190.423	-1.010.232
12.		1.190.423	180.190

Povrat svih investicijskih ulaganja ostvaruje se tijekom dvanaeste godine ekonomskog vijeka projekta. Uzimajući u obzir ukupni ekonomski vijek trajanja, investicija u pogon kompostane je prema ovoj metodi ekonomski opravdana.

4.5.2.2. Metoda neto sadašnje vrijednosti

Metoda sadašnje vrijednosti prikazuje ukupne ekonomske efekte projekta kroz čitav ekonomski vijek korigirajući neto primitke ekonomskog tijeka. Tehnikom diskontiranja izračunati su iznosi neto primitaka u svim godinama vijeka projekta poslovanja (tablica 18). Diskontna stopa jednaka je realnoj kamatnoj stopi uz koju se planira dobiti kredit za financiranje investicijskih ulaganja, a koja iznosi 4%.

4.5.2.3. Metoda interne stope rentabilnosti

Interna stopa rentabilnosti je komplementarna prethodnoj metodi, samo što je kod metode sadašnje vrijednosti kamatna stopa poznata, dok se kod interne stope rentabilnosti traži ona kamatna stopa koja rezultira određenom vrijednošću. Drugim riječima, interna stopa rentabilnosti predstavlja maksimalno prihvatljivu kamatnu stopu uz koju je isplativo ući u investiranje, pod uvjetom da se cjelokupni iznos investicije financira putem kredita. Izračun interne stope rentabilnosti također je sadržan u tablici 18.

Tablica 19. Neto sadašnja vrijednost i interna stopa rentabilnosti programa (u kunama)

Godina vijeka projekta	Neto primici	Diskontni faktor uz diskontnu stopu 4 %	Neto sadašnja vrijednost programa	Interna stopa rentabilnosti: 7,55 %
1	-12.790.551	0,96154	-12.298.607	-11.892.441
2	974.231	0,92456	900.731	842.219
3	1.103.932	0,88900	981.391	887.335
4	1.233.432	0,85480	1.054.343	921.812
5	1.227.987	0,82193	1.009.315	853.301
6	1.222.323	0,79031	966.020	789.726
7	1.216.434	0,75992	924.390	730.736
8	1.210.308	0,73069	884.360	676.005
9	1.203.938	0,70259	845.871	625.230
10	1.197.313	0,67556	808.862	578.129
11	1.190.423	0,64958	773.276	534.442
12	1.190.423	0,62460	743.534	496.915
13	1.190.423	0,60057	714.937	462.023
14	1.190.423	0,57748	687.439	429.582
15	1.190.423	0,55526	660.999	399.418
16	1.190.423	0,53391	635.576	371.372
17	1.190.423	0,51337	611.131	345.295
18	1.190.423	0,49363	587.626	321.050
19	1.190.423	0,47464	565.025	298.507
20	5.701.673	0,45639	2.602.169	1.329.344
	14.214.820		4.658.389	0

Prema ovim relativnim pokazateljima ulaganja u ovaj projekt su prihvatljiva jer će njezino poslovanje za vrijeme ekonomskog vijeka od 20 godina ostvariti 4,65 milijuna kn primitaka, izraženih u neto sadašnjoj vrijednosti. Također, interna stopa rentabilnosti od 7,55% je značajno viša od realne kamatne stope od 4%.

4.5.2.4. Metoda relativne neto sadašnje vrijednosti

Relativno sadašnja vrijednost programa pokazuje iznos sadašnje vrijednosti neto primitaka po jedinici izvršenih investicijskih ulaganja.

$$\text{RNSV} = \frac{\text{NSV}}{\text{Investicija}} = \frac{4.658.389}{13.320.000} = 0,350$$

Relativna neto sadašnja vrijednost pokazuje da će projekt putem neto primitaka, osim povrata ulaganja, tijekom vijeka trajanja generirati i novu vrijednost u visini 35% od vrijednosti uložene investicije.

4.5.3. Ocjena likvidnosti programa

Osnova za ocjenu likvidnosti ovog projekta je tablica financijskog tijeka koja sadrži podatke o investiciji, izvorima njezinog financiranja i novčane tokove tijekom 20 godina vijeka poslovanja.

Iz neto primitaka financijskog tijeka investicije očitava se da program ni u jednoj godini neće imati problema sa solventnošću, odnosno moći će podmirivati sve izdatke vezane uz poslovanje kao i financijske obveze. U godinama dok traju obveze vraćanja kreditnih sredstava ostvaruju se prihvatljivi financijski rezultati - neto primici iznose preko 300.000 kn koji predstavljaju značajnu rezervu u slučaju pogoršanih uvjeta poslovanja. U godinama kada prestaju obveze po vanjskim izvorima financiranja ostvaruju se vrlo visoki financijski rezultati, odnosno neto primici iznose oko 1,19 milijuna kuna.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju izloženog u studiji “ Mogućnosti korištenja kanalizacionog mulja i komine maslina u poljoprivredi ” može se zaključiti:

1. Pirolizom komunalnog mulja nastaje biougljen koji predstavlja vrijedno mineralno gnojivo s povećanom količinom ugljika i fosfora, pogodno za primjenu na poljoprivrednim tlima jer, osim gnojidbenog učinka, pozitivno utječe na strukturu tla i vodozračne odnose;
2. Po pitanju biougljena, nužne su korekcije Pravilnika o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi jer su pirolizom anulirane negativne komponente zbog kojih u navedenom Pravilniku postoje ograničenja u područjima primjene obrađenog mulja;
3. Proučavanjem postojeće zakonske regulative vezane uz korištenje komunalnog mulja na poljoprivrednim i ostalim površinama utvrđeno je da se veće restrikcije odnose na primjenu kompostiranog mulja (Pravilnik NN 117/14) nego na primjenu aerobno ili anaerobno obrađenog komunalnog mulja (Pravilnik NN 38/08). Takav odnos nije prihvatljiv jer je kompost, zbog nižih koncentracija metala i organskih zagađivača, manje rizičan za okoliš. U cilju dorade i usklađivanja zakonskih propisa s realnim pokazateljima preporuča se nastaviti s istraživanjima usmjerenih na definiranje optimalnog načina zbrinjavanja komunalnog mulja, bolje iskoristivosti vrijednih hraniva u njima i utvrđivanja rizika za okoliš prilikom dugotrajnog nanošenja određenih količina komposta na poljoprivrednim površinama;
4. Kompostiranje je adekvatno rješenje za smanjenje broja patogenih mikroorganizama potencijalno prisutnih u komunalnom mulju no biougljen pruža bolju zaštitu u pogledu novih opasnosti kao što je recikliranje gena odgovornih za rezistentnost na antibiotike u prehrambeni lanac;
5. Pregledom literature i primjera dobre prakse u Italiji te analizom rezultata dobivenih u vlastitom istraživanju utvrđeno je da je najprihvatljiviji način uporabe komunalnog mulja kompostiranjem u zatvorenim tunelima. Pritom se preporuča da kompostna masa bude mješavina komunalnog mulja i organskog strukturnog otpada u omjeru 30:70;
6. S obzirom da u Hrvatskoj ne postoji zakonska regulativa vezana uz zbrinjavanje komine maslina preporučuje se izrada propisa kojom bi se definiralo njezino gospodarenje i korištenje u poljoprivredi. Budući da svježa komina sadrži određene količine fenola i neekstrahiranih ostataka ulja njezina učestalo izravno unošenje u tlo predstavlja rizik za tlo i poljoprivrednu proizvodnju;

7. Piroliza komine pretvorbom u biogljjen predstavlja adekvatno rješenje za neutralizaciju fitotoksičnih komponenti komine, čime se dobiva poboljšivač tla/gnojivo bogato kalijem;
8. Temeljem istraživanja kompost od komine masline zbog svojih dobrih karakteristika čini i dobar potencijal kao gnojivo za ekološku poljoprivredu, supstrat za presadnice, poboljšivač tla ili kao alternativa za zamjenu sa kalijevim mineralnim gnojivima;
9. Temeljem pregleda literature i dobivenih rezultata vlastitih istraživanja kod kompostiranja većih količina komine maslina preporučuje se otvoreni sustav poput tehnologije windrows međutim se kod manjih količina komine više preporučuje tehnologija kompostiranja pomoću statičkih hrpa;
10. Budući da kompostirana komina sadrži iznimno velik udio organske tvari preporučuje se primjena navedenog komposta u maslinicima kao prevencija u smanjenju postotka humusa u tlu kako su nasadi maslina na otocima i nekim dijelovima Istarskog poluotoka više izloženi eroziji tla;
11. Studijom je s tehničko-tehnološkog i ekonomskog aspekta obrađena izgradnja pogona kompostane kapaciteta obrade 7.000 tona miješanog organskog otpada: komunalnog mulja, organskog otpada iz kućanstava i zelenog biljnog otpada. Tržno-ekonomskom analizu utvrđeni su sljedeći ekonomsko-financijski rezultati ovog projekta:
 - a. procijenjena vrijednost investicijskih ulaganja u infrastrukturno opremanje lokacije, izgradnju i opremanje objekata te nabavu strojeva i mehanizacije iznosi ukupno 13.320.000 kn ili 1.776.000 EUR;
 - b. račun dobiti, financijski i ekonomski tijekom kroz 20 godina poslovanja pokazuju da će projekt biti solventan, te da će ostvariti akumulaciju od 2,89% godišnje;
 - c. potpuno vraćanje investicijskih ulaganja je tijekom 12. godine vijeka projekta što je prihvatljivo;
 - d. neto sadašnja vrijednost projekta iznosi 4,65 milijuna kn uz diskontni faktor 4% što je u usporedbi s ulaganjima prihvatljivo;
 - e. interna stopa rentabilnosti iznosi 7,55 % što je osjetno više od realne kamatne stope od 4% po kojoj se planiraju dobiti kreditna sredstva.



REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



ministarstvo znanosti
obrazovanja i sporta



FOND ZA ZAŠTITU OKOLIŠA
I ENERGETSKU UČINKOVITOST



HRZZ
Hrvatska zaklada
za znanost

REDGREENPLANT 