

# ANAEROBNOM DIGESTIJOM DO VISOKOVRIJEDNOG ORGANSKOG GNOJIVA

Nihada Omerdić, dipl. ing.

## 1. UVODNO O ANAEROBNOJ DIGESTIJI

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se biorazgradivi organski supstrati razgrađuju mikrobiološkim procesima bez prisutnosti kisika, uz proizvodnju bioplina i digestata. Kao nusproizvod anaerobne digestije nastaju tekući, čvrsti i plinoviti ostaci koji predstavljaju korisne resurse. Bioplin, kao produkt anaerobne digestije, se iskorištava za proizvodnju toplinske i električne energije, dok se nastali čvrsti i tekući ostaci u vidu digestata nakon kompostiranja prihvaćaju kao gnojivo za poljoprivredne površine zbog velikog sadržaja korisnih sastojaka (dušik, fosfor, kalij) neophodnih za uzgoj biljaka.

Danas širom svijeta postoji na desetke milijuna anaerobne digestije koje rade s većim ili manjim uspjehom, ovisno o vrsti i uvjetima rada anaerobne digestije.

Neke od prednosti anaerobne digestije su:

- odsutnost mirisa – farme ne moraju biti dislocirane
- dobivanje visokokvalitetnog gnojiva – smanjeno korištenje umjetnih gnojiva
- dobivanje bioplina – struja, grijanje
- čista voda – vraćanje u proces digestije

Sustav anaerobne razgradnje organske materije obuhvaća: pripremu sirovine, digestore, sakupljače plina, sustave za korištenje plina i korištenje mulja kao gnojiva. Proces anaerobne digestije može se podijeliti na pet koraka:

- **Aerobno.** Jedan dio kisika ulazi u anaerobnu digestiju dodavanjem sirovine koja se podvrgnula fermentaciji. Dakle, prvo aerobne bakterije na ulazu potroše kisik, proizvedu ugljični dioksid i malo topline. To je ujedno i sva toplina koju razvije anaerobna digestija.
- **Enzimi.** U toj fazi anaerobne bakterije oslobađaju enzime koji razlažu složene organske molekule u jednostavnije molekule.
- **Kisela faza.** Bakterije apsorbiraju „pojedu“ još uvijek relativno velike i kompleksne molekule.

Glavni proizvodi tog procesa su: Jednostavne molekule od kojih su većina masne kiseline, vodik, ugljikov dioksid.

- Proizvodnja plina. Zadnja grupa bakterija u lancu prerađuje masne kiseline u vodu, vodikov sulfid, ugljični dioksid i na kraju metan.
- Dobiveni plin "BIOPLIN", je mješavina metana, ugljikovog dioksida, sumporovodika, i vodene pare.

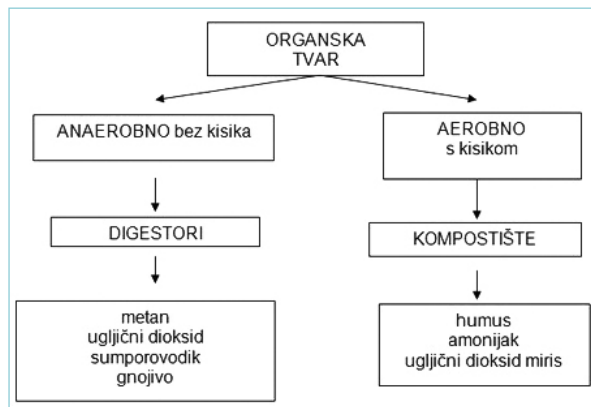
## 2. DIGESTOR

Za proces anaerobne digestije potrebna su veća početna ulaganja u obliku izrade postrojenja koje će omogućiti odvijanje digestije bez prisutnosti kisika. Razvijene su bezbrojne varijante digestora; mali, veliki, podzemni, nadzemni, djelomično ukopani, okrugli pravokutni, uspravni, položeni, metalni, plastični, betonski. Svi su oni izvedivi i mogući uz osnovno pravilo priuštivosti i iskoristivosti.

### a) Osnovne karakteristike i princip rada digestora

- Digestor se puni humanim i animalnim izmetom, biljnim ostacima, otpadom pivarske, pekarske, i sličnih industrija. Moguće je koristiti i otpad mesne industrije uz obavezno odvajanje masti (ova vrsta digestora ne voli masti).
- Omjer miješanja sirovina/voda je 1/10, a pH je lagano lužnat.
- Vrijeme zadržavanja sirovine u digestoru je 40-60 dana.
- Važno je dodavanje sirovine u digestor u jednakim razmacima barem dva puta dnevno.
- Grijanje toplom vodom u hladnim danima. Ugrijanom vodom sistema za hlađenje motora grijati sadržaj digestora. Motor postavlja samo ako je dnevna količina proizvedenog plina dovoljna za njegov rad. Ispušni plinovi iz motora su vrlo opasna, ali i korisna rabota.

- Ocjedna voda se vraća natrag u proces (da ne bi digestor postao veliki potrošač vode).
- Pad: Horizontalni digestori 3–5 % ulaz – izlaz.
- Odnos dužina/promjer digestora je 5/1.
- Materijali za izradu: beton, čelik, prokrom, polietilen, poliesteri, ferocement.
- Plinosprema, preporučljivo odvojena od digestora.
- Veličina digestora, 10–30 m<sup>3</sup> izgleda prihvatljivo, ali 50 m<sup>3</sup> ili veće je bolje.
- Temperatura sirovine 35° C.
- Čišćenje digestora – jednom godišnje.



Slika 1: Razlike u procesu razlaganja organske tvari (izvor: obnovljivi.com)

### b) Nusprodukt anaerobne digestije

Kao nusprodukt dobiva se bioplina kojeg čine 60–70% metana, 30–40% ugljičnog dioksida, nekoliko postotaka sumporovodika i vodene pare.

Proizvod anaerobnog procesa u digestoru je digestorski mulj (digestat, efluent) iskoristiv kao izvanredno gnojivo dobiveno nakon aeriranja, cijedenja i sušenja tijekom nekoliko tjedana.

Vrijednost gnojiva u obliku humusa koje se dobije iz digestora je neusporedivo veća od umjetnih gnojiva. Pri organskoj gnojivbi humus obogaćuje hranjivim tvarima površinski sloj (u kojem raste bilje) i štiti ga, dok umjetna gnojiva ne sudjeluju u zaštiti površinskog sloja, već doprinose njegovoj eroziji i zasićenju zagađivačima.

Ovisno o sirovini i uvjetima digestije AD razvija između 50 i 70% metana u bioplina, idealnog za korištenje u ruralnim prostorima kao pogon stacionarnih motora, proizvodnju struje, grijanje, osvjetljenje i dr.

Uz metan, u nekoliko postotaka, razvijaju se i sumporovodik i ugljični dioksid. Sumporovodik je dobro odvajati radi mirisa koji se pojavljuje pri izgaranju, a i šteti motorima s unutarnjim izgaranjem. U velikim sustavima se odvaja kao elementarni sumpor. Ugljični dioksid nije potrebno odvajati, osim ako se želi smanjivati volumen plinospreme, povećati kalorična vrijednost bioplina, proizvoditi suhi led ili upuštati ga u staklenike.

Kako je sva sirovina u kontroliranim uvjetima, u korištenju digestora onemogućena je pojava glodavaca i zagađivanje zemlje amonijakom.

Uspješnim sustavom anaerobne digestije smatra se onaj koji ostvaruje prihod i to kroz:

- Plin: Proizvodnja struje, grijanje, prodaja eventualnog viška.
- Digestorski mulj: Distribucija po poljima u tekućem obliku, cijedenjem i sušenjem dobiva se humus koji se također koristi kao gnojivo
- Ugljični dioksid: Njegovim odvajanjem povećava se kalorijska vrijednost plina, odvojen CO<sub>2</sub> se može direktno upuštati u staklenike, može se proizvoditi suhi led.
- Sumporovodik H<sub>2</sub>S: Njegovim odvajanjem smanjuje se miris pri izgaranju, a smanjuje se i opasnost od korozije u sustavima i dobiva se elementarni sumpor.

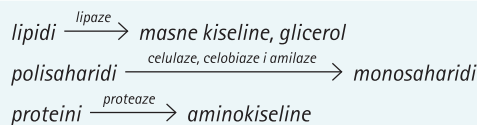
## 3. BIOPLIN

U slučajevima kada se za proces anaerobne digestije koristi homogena mješavina iz dvaju ili više različita supstrata, kao na primjer gnojnica i organski otpad iz prehrambene industrije, postupak se naziva *kodigestija*. Kodigestija je najčešći način proizvodnje bioplina. Bioplina je gorivi plin koji se primarno sastoji od metana i ugljikovog dioksida. Digestat je procesirani ostatak supstrata nastao tijekom proizvodnje bioplina. Tijekom proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnim razgradnjom (uz prisutnost kisika) ili kompostiranjem. Energija koja se nalazi u kemijskim vezama supstrata oslobađa se u obliku bioplina. Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se inicijalni supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve, sve do nastanka bioplina. U pojedinim fazama proizvodnje bioplina djeluju specifične grupe mikroorganizama.

Digestor ili fermentator je centralni dio bioplinskog postrojenja. Fermentator je zračno nepropusni spremnik u kojemu se odvija proces anaerobne digestije i gdje se proizvodi bioplina. Fermentator je dio sustava u koji punjenjem ulazi sirovina te nakon anaerobne digestije izlazi bioplina i digestat. Fermentatori moraju biti toplinski izolirani i grijani. Napravljeni su od betona, čelika ili cigle. Oblikovani su poput silosa, a mogu biti smješteni ispod ili iznad površine tla.

### a) Faze u procesu nastanka bioplina

1. Hidroliza je teoretski prva faza anaerobne digestije tijekom koje se organska tvar razlaže na manje jedinice. Tvari poput ugljikohidrata, lipida, aminokiselina i bjelančevina transformiraju se u glukozu, glicerol, purine, piridine i sl. Hidrolitičke bakterije luče hidrolitičke enzime i transformiraju biopolimere u jednostavne i topljive spojeve kako je prikazano:



Opisani lančani procesi odvijaju se istodobno unutar fermentatora. Brzina cjelokupnog procesa razgradnje određena je brzinom odvijanja najsporije reakcije u lancu. U procesu hidrolize sudjeluje široki spektar bakterija koje izlučuju egzoenzime, koji razgrađuju čestice supstrata. Produkti hidrolize dalje razgrađuju prisutne bakterije, koje ujedno koriste ove spojeve za vlastite metaboličke procese.

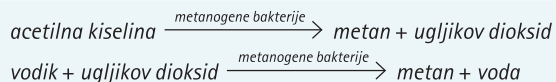
**2. Acidogeneza:** U fazi acidogeneze proizvodi hidrolize se uz pomoć acidogenih bakterija transformiraju u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, ugljikov dioksid i vodik (70%) te na hlapljive masne kiseline i alkohole (30%).

**3. Acetogeneza :** Tijekom acetogeneze se proizvode fermentacije koje se ne mogu metanogenim bakterijama direktno transformirati u metan nego se pretvaraju u metanogene spojeve. Hlapljive masne kiseline i alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Hlapljive masne kiseline koje imaju lance ugljika duže od dvije jedinice i alkohol s više od jedne molekule ugljika oksidiraju u acetate i vodik. Nastanak vodika povećava parcijalni tlak vodika u digestoru, što se može smatrati otpadnim proizvodom acetogeneze, jer inhibira metabolizam acetogenih bakterija. Tijekom metanogeneze vodik se transformira u metan. Proces acetogeneze i metanogeneze uglavnom se odvijaju paralelno kao simbiotsko djelovanje dvije grupe organizama.

**4. Metanogeneza**

Proizvodnja metana i ugljikovog dioksida potaknuta je aktivnošću metanogenih bakterija. 70% metana

nastaje iz acetata, dok ostalih 30 posto nastaje pretvorbom iz vodika i ugljikog dioksida, kako je opisano u jednadžbi:



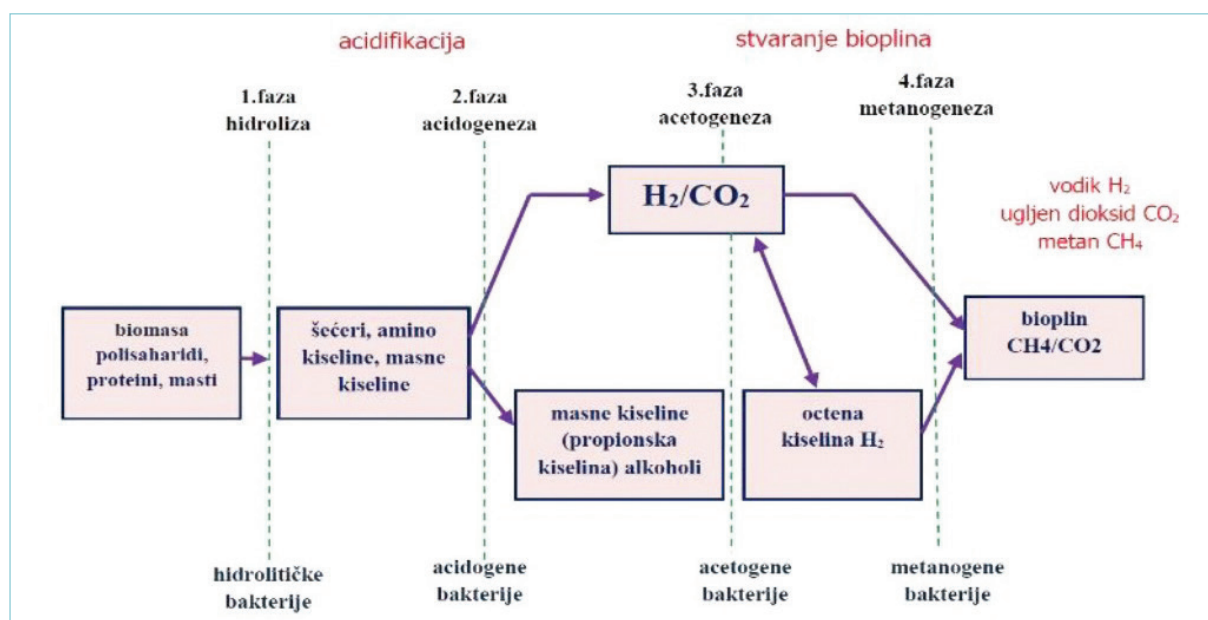
Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje, jer predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Metanogeneza uvelike ovisi o uvjetima rada, odnosno uvjetima medija. Na uspješnost metanogeneze utječe niz čimbenika kao što su sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura i pH vrijednost supstrata. (slika 2)

**b) Parametri koji utječu na proces anaerobne digestije i dobivanje bioplina**

Učinkovitost anaerobne digestije ovisi o nekoliko ključnih parametara. Na njihov rast i aktivnost snažno utječu vrsta i sastav supstrata, temperatura, pH vrijednost, intenzitet miješanja kao i prisutnost inhibitora. Metanske bakterije su anaerobi i zato se mora spriječiti svaki dotok kisika u digestor.

Vrsta i sastav supstrata izravno utječu na proizvodnju bioplina, jer supstrat sadrži izvor energije i hranjivih tvari: C, N, P, S, K, Ca, Mg i Fe, te organske komponente neophodne za rast mikroorganizama. Omjeri osnovnih elemenata C:N=10:1 do 30:1; N:P=1 do 7:1; KPK:N:P=420:7:1 do 1.500:7:1 osiguravaju dobre uvjete za provođenje procesa.

Na proces utječe i temperatura. Naime, sam postupak anaerobne digestije može se odvijati na različitim temperaturama. Temperature se klasificiraju



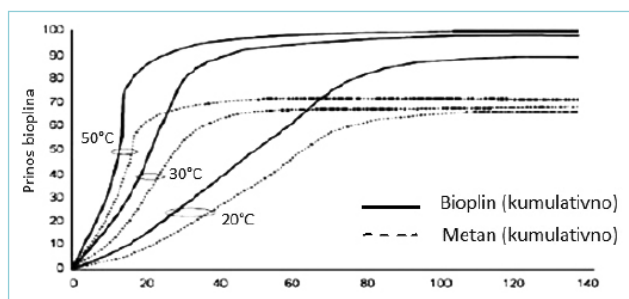
Slika 2. Četiri faze fermentacije za stvaranje bioplina (izvor: <https://repositorij.ptfos.hr/islandora/object/ptfos%3A175/datastream/PDF/view>)

u tri temperaturne zone: psihofilnu temperaturnu zonu (ispod 25°C), mezofilnu zonu (25 – 45°C) i termofilnu zonu (45 – 70°C). Duljina trajanja postupka anaerobne digestije u direktnoj je vezi s temperaturom na kojoj se postupak odvija.

Tablica 1: Temperature i duljina trajanja procesa

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa
Psihofilno	<25°C	70 do 80 dana
Mezofilno	25 do 45°C	30 do 40 dana
Termofilno	45 do 70°C	15 do 20 dana

Stabilnost temperature je ključna za anaerobne digestije. Radna temperatura se odabire prema vrsti supstrata, a neophodna temperatura se održava putem podnih ili zidnih sustava grijanja unutar digestora. Na -i je prikazana stopa relativnog prinosa bioplina, ovisno o temperaturi i vremenu retencije.

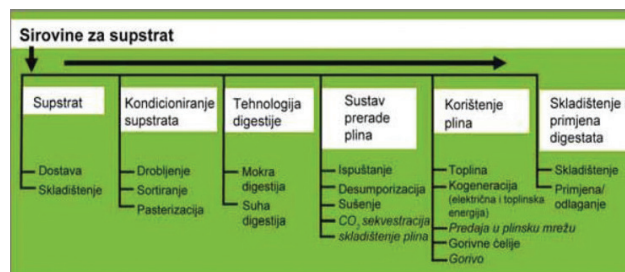


Slika 3: Relativan prinos bioplina, ovisno o temperaturi i vremenu retencije (<http://repositorij.fsb.hr>)

Većina suvremenih postrojenja za proizvodnju bioplina rade na termofilnim temperaturama, jer to ima brojne prednosti u odnosu na procese koji se odvijaju na mezofilnim i psihofilnim temperaturama. Viskozitet sadržaja unutar digestora obrnuto je proporcionalan temperaturi. Što su temperature veće supstrat je manjeg viskoziteta, odnosno prelazi u tekuće stanje, čime je olakšana difuzija otopljenih tvari. Postupak na termofilnim temperaturama rezultira bržim kemijskim reakcijama, a time i većom učinkovitošću proizvodnje bioplina i manjim viskozitetom. Veći utrošak energije pri termofilnim procesima opravdan je boljim prinosom bioplina. Temperaturu procesa važno je održati konstantnom, jer promjene ili variranja temperature negativno utječu na proizvodnju bioplina.

Kiselost, odnosno bazičnost mješavine supstrata izražava se pH vrijednošću koja utječe na rast i razvoj metanogenih mikroorganizama i kvalitetu odvijanja pojedinih spojeva važnih za uspješnost procesa AD (amonijak, sulfidi i organske kiseline). Nastanak metana odvija se u relativno uskom području pH vrijednosti od otprilike pH 5,5 do 8,5, dok su za acidogene bakterije u mnogim slučajevima optimalne niže vrijednosti pH-

a. Optimalne pH vrijednosti za mezofilnu digestiju su u rasponu od 6,5 do 8, a do inhibicije procesa dolazi ako pH vrijednost padne ispod 6 ili poraste iznad 8,3.



Slika 4: Procesni koraci u proizvodnji bioplina. (Izvor: LFU, 2007.)

#### 4. UPORABA DIGESTATA

Digestat je nusproizvod koji sadrži makro hranjiva (dušik-N, fosfor-P, i kalij-K) i mikro hranjiva (magnezij-Mg, sumpor-S, kalcij-Ca, bor-B, bakar-Cu, kobalt-Co, mangan- Mn, i cink-Zn).

Ovisno o ulaznoj sirovini digestat iz postupka anaerobne digestije može biti visoko vrijedno organsko gnojivo. Ovisno o sirovini koja ulazi u digestor, predtretmani su: pasterizacija/ higijenizacija i usitnjavanje. Komparativna istraživanja provedena u tekućoj fazi digestata i gnoju pokazala su da je tekuća faza digestata u odnosu na gnoj: (tablica 2)

- bogatija amonijačnim ionima (NH<sub>4</sub>±N)
- smanjen sadržaj organske tvari i biološkog kisika (O<sub>2</sub>)
- povišen pH
- smanjen C:N omjer

Tablica 2: Indikativan sadržaj hranjiva za digestat iz prehrambene industrije

	jedinica	digestat
Sadržaj suhe tvari	%	4
Sadržaj hranjiva		
Dušik, N	kg/t	5
Fosfor, (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	kg/t	0,5
Kalij, (K <sub>2</sub> O)	kg/t	2,0
Magnezij, (MgO)	kg/t	0,1
Sumpor, (SO <sub>2</sub> )	kg/t	0,4
Raspoloživ dušik, N	kg/t	4

Analize su pokazale kako količina ukupnog dostupnog dušika u digestatu varira između 45-70% Istraživanja usmjerena na primjenu digestata kao izvora dušika su pokazala da je 60% od ukupnog sadržaja dušika, 50% ukupnog fosfora i 80% ukupnog kalija dostupno biljkama na iskorištavanje u godini aplikacije na tlo. Primjenom digestata kao izvora dušika u tlo se unose fosfati te kalij koji zajedno s manjim količinama drugih mikro hranjiva i elemenata u tragovima pomažu održavanju plodnosti tla.

### a) Skladištenje digestata

Odfementirani supstrat se u intervalima iznosi iz fermentatora kao digestat i putem cjevovoda dovodi u spremnike za skladištenje digestata. Spremnici se nalaze u blizini fermentatora a u njima se digestat skladišti. Ukupni kapacitet spremnika mora biti dovoljan za prihvatanje proizvodnje digestata od nekoliko mjeseci. Time se osigurava optimalno i učinkovito korištenje digestata kao gnojiva u poljoprivredi. Digestat se može uskladištiti u betonska spremišta koja su pokrivena membranom. Kako bi se spriječila emisija metana i sakupila dodatna proizvodnja plina, spremnici za skladištenje trebali bi uvijek biti pokriveni s plinsko nepropusnom membranom radi sakupljanja plina.

### b) Praktična iskustva u korištenju digestata

- značajno je poboljšanje strukture tla za poljoprivrednike koji koriste digestat
- konvencionalni poljoprivrednici navode smanjeno korištenje kemijskih raspršivača i manju potrebu za mineralnim gnojivom zbog upotrebe digestata
- nakon primjene digestata, na polju se može uočiti divljač, a stoka je voljna pasti travu s livade nedugo nakon što je pognojena
- takva zapažanja upućuju na smanjeni gubitak ukusnosti vegetacije na tlu kod primjene digestata u usporedbi sa sirovim gnojem
- mnogi poljoprivrednici koji koriste digestat za gnojidbu, i to kroz duže vrijeme, potvrđuju povećani udio vrijednih travnatih vrsta na svojim poljima
- rezultat nije samo smanjenje gubitaka pri opskrbi biljaka s prikladnim hranjivima, nego i povećana mikrobiološka aktivnost u tlu (zdrave biljke)
- mnogi poljoprivrednici navode povećane prinose pri sakupljanju slame i sijena kao i bolju kvalitetu usjeva, što povezuju s primjenom digestata kao gnojiva

### c) Prednosti digestata pred stajskim gnojem

Digestat ima poboljšanu gnojdbenu učinkovitost radi homogenizacije hranjivih tvari, veću gnojdbenu vrijednost od svježeg stajskog gnoja zbog svoje ujednačenosti i hranidbenih tvari u obliku u kojem ih biljke mogu bolje apsorbirati, bogat je dušikom, fosforom, kalijem, te brojnim mikro nutritivima, može se aplicirati na tlo poput obične gnojovke ili komposta. Prednosti digestata pred svježim stajskim gnojem su i smanjenje neugodnih mirisa i muha pri proizvodnji bioplina, neugodni mirisi se značajno smanjuju zajedno sa sjemenom korova u gnoju, dok se hranjive tvari zadržavaju u digestatu. Rezultat pokusa usjeva koji su koristili digestat je pokazao značajne pokazatelje rasta usjeva.

Ključni razlozi za korištenje digestata u gnojdbi kao djelomična zamjena za mineralna gnojiva su:

- ako uzmemo u obzir kalkulaciju da na 1 ha za pojedine kulture trošimo prosječno 800 kg mineralnog gnojiva, koji u prosjeku košta 0,40

euro centi za kg, dolazimo do podatka da nam za 1 ha treba 320 eura

- ako zamijenimo mineralno gnojivo sa 30% digestata, dolazimo do uštede od 96 € po hektaru
- ako uzmemo u prosjeku 50 ha, dolazimo do uštede od 4.800,00 € zbog upotrebe digestata
- 100 kg digestata prosječno sadrži: 2-3 kg N (dušika), 3-3,8 kg P (fosfora), 2-3 kg K (kalija)
- digestat ima visok pH 8,7 (lužnata sredina), što je jako korisno za popravljavanje pH tla
- većina biljaka za svoj dobar rast i razvoj, a na kraju i dobar urod traži plodna tla povoljne strukture i teksture, te odgovarajuće reakcije tla, neutralne do slabo kisele pH 5,5-7,5
- upravo je to glavni razlog korištenja digestata i njegove prednosti nad mineralnim gnojivima
- tla hranjena digestatom ne ulaze u anaerobnu fazu, odnosno koriste manje kisika raspoloživog u tlu
- kako je korištenje kisika iz tla smanjeno, tako je smanjena i tendencija stvaranja dijelova tla bez kisika poput anaerobnih zona koje sadrže dušik koji nije direktno iskoristiv biljkama
- sposobnost stvaranja novog tla i reprodukcija humusa kroz dostavljenu organsku tvar također je veća ukoliko se uspoređuje s gnojdbom netretiranom gnojovkom

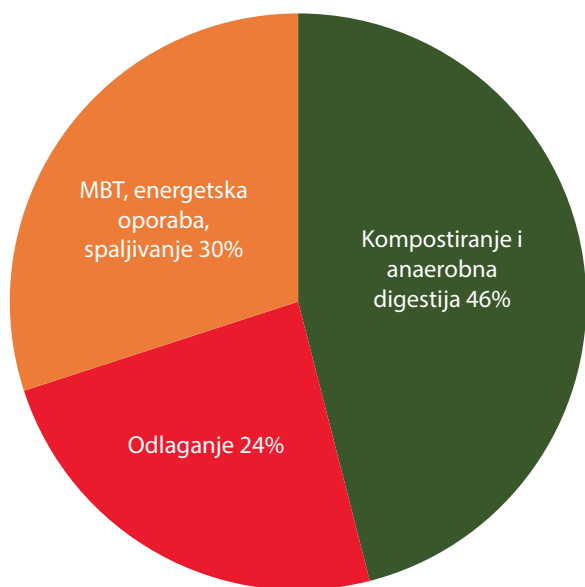
## 5. ISKUSTVA UPORABE I EKONOMSKE PREDNOSTI ANAEROBNE DIGESTIJE

U Europi je osobito razvijena anaerobna tehnologija i sustavi tijekom II. svjetskog rata kada je vladala nestašica energenata. Kasnije je taj vid energije zapostavljen radi relativno jeftinih fosilnih goriva, a nakon 70-ih ponovo raste interes za anaerobne sustave.

Tako u Europi uspješno radi preko 1.000 anaerobnih većih ili manjih sustava. Samo u Njemačkoj je u zadnjih 5 godina postavljeno preko 250 anaerobnih sustava. Najveće iskustvo s anaerobnim sustavima ima Danska u kojoj sada postoji i uspješno radi preko 18 velikih centraliziranih anaerobnih sustava.

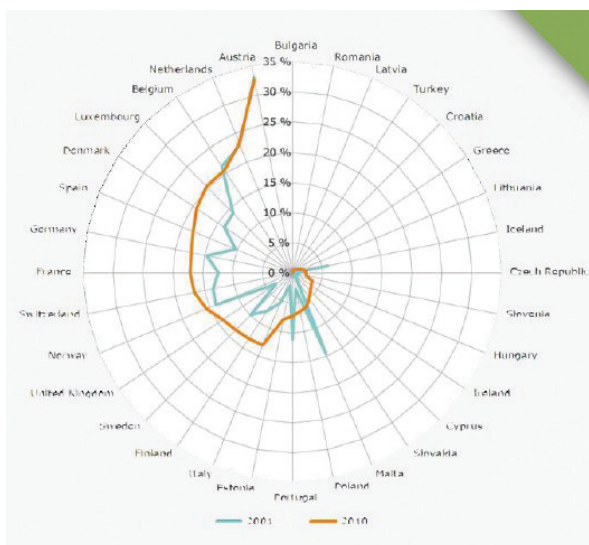
Glavna prijetnja i učinak biorazgradivog otpada (uključujući biootpad) je produkcija metana (koji je puno jači staklenički plin nego CO<sub>2</sub>) koji nastaje na odlagalištima uslijed razgradnje otpada. To predstavlja ozbiljan problem jer sudjeluje s oko 3% u ukupnim emisijama stakleničkih plinova u EU-15 u 1995. Kao rezultat takvog stanja, EU direktiva o odlagalištima obvezuje države članice da smanje količinu biorazgradivog komunalnog otpada koji odlaze na 35% s obzirom na razinu iz 1995. do 2016. Za neke zemlje rok je produljen do 2020.

Na kompostiranju i anaerobnoj digestiji godišnje završi oko 45% proizvedenog komunalnog biootpada, a na odlaganju oko 25% količine komunalnog biootpada. Preostala količina se obradi mehaničko-biološkim postupcima i spaljivanjem.



Slika 5: Postupanje s proizvedenim količinama komunalnog biootpada na EU razini (Izvor: Eurostat, Euronomia)

U EU se prosječno 40% biootpada još uvijek odlaže na odlagališta. Temeljem podataka o količinama komunalnog otpada za 2016. godinu koje nastaju na razini EU 28 i udjela biootpada u ukupnom komunalnom otpadu, može se zaključiti da godišnja količina komunalnog biootpada za EU razinu iznosi 87.5 milijuna tona, odnosno 171 kg/stanovnik, dok se količina biootpada koji potječe iz industrije hrane procjenjuje na 37 milijuna tona. Time ukupna godišnja količina biootpada u EU iznosi oko 125 milijuna tona (244 kg/stanovnik).



Slika 6: Recikliranje biootpada u EU (izvor: EEA Report, 2/2013)

Europska komisija razmatrala je reviziju ciljeva vezanih uz otpad unutar Direktive o odlaganju otpada. Vezano uz biootpad, glavni elementi su:

- Recikliranje i priprema za uporabu komunalnog otpada (uključujući biootpad) treba se povećati na 70% do 2030.
- Prestanak odlaganja reciklabilnog otpada do 2025. (uključuje plastiku, papir, metale, staklo i biootpad) na odlagališta za neopasni otpad korespondira s maksimalnom stopom odlaganja od 25%.
- Mjere usmjerene na smanjenje proizvodnje otpada od hrane za 30% do 2025.
- Uvođenje odvojenog prikupljanja biootpada

Oko 90 milijuna tona otpada hrane generira se u EU godišnje ili oko 180 kg po osobi.

Postoji nekoliko specifičnih mogućnosti za tretiranje biootpada (spaljivanje, kompostiranje i anaerobna razgradnja). Nažalost, Direktiva o odlagalištima ne propisuje određene opcije za tretiranje. Najznačajnije prednosti pravilnog tretiranja biootpada su proizvodnja kvalitetnog komposta i energije u obliku bioplina/biometa. S jedne strane to doprinosi povećanju kvalitete tla te s druge smanjuje energetske ovisnosti. Nažalost, zemlje članice se još uvijek oslanjaju na jeftinije i lakše opcije kao što su spaljivanje i odlaganje. (slika 5)

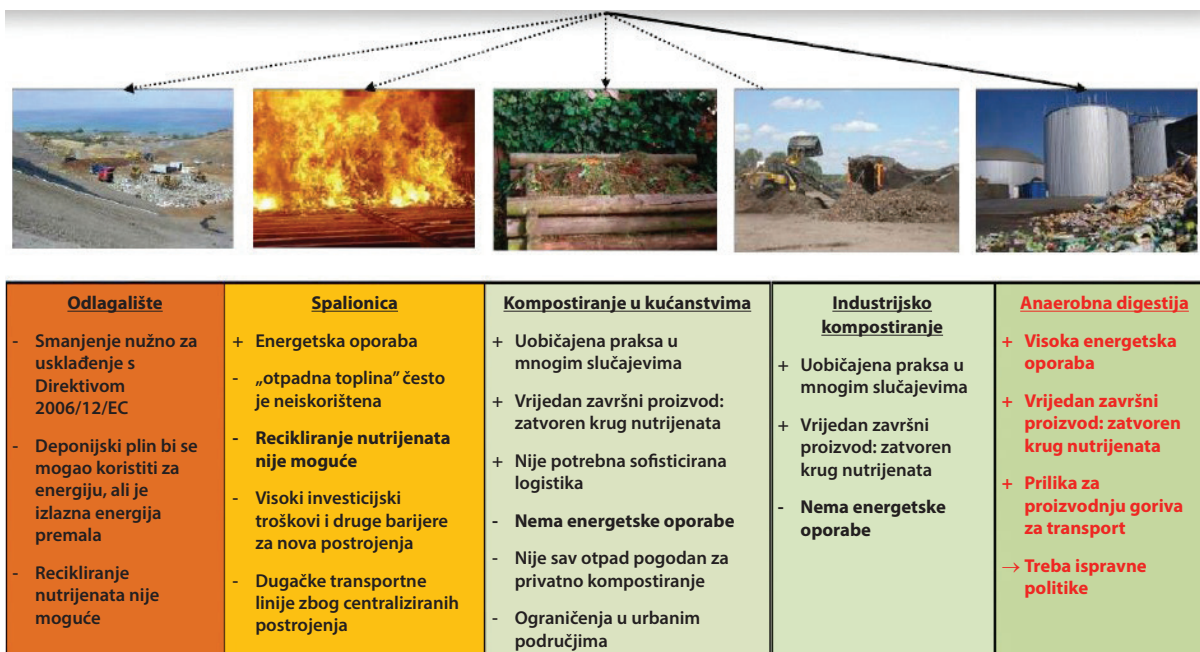
U Republici Hrvatskoj, anaerobnom digestijom i kompostiranjem obrađeno je svega 14% proizvedenog biootpada, energetske uporabom 0,5%, a na obradi u izvozu je završilo 1% biootpada. Preostala količina biootpada je obrađena postupcima predobrade. U 2017. godini 77% biootpada je završilo na odlagalištima otpada. Unatoč tome što je odlaganje otpada jedna od najnepoželjnijih opcija u redu prvenstva gospodarenja otpadom, u RH je ista najzastupljenija. Procijenjena količina biootpada koja je u 2017. godini završila na odlagalištima otpada iznosi 452.319 tona. Samo u sklopu miješanog komunalnog otpada je bilo odloženo 426.813 tona biootpada. Odložene količine odvojeno sakupljenog biootpada iznosile su 22.328 tona.

Odvojeno sakupljanje biootpada se provodi u tek 22% JLS.

U 2017. godini biootpad se obrađivao anaerobnom digestijom u 11 od 25 postojeći bioplinskih postrojenja. Količina digestiranog biootpada iznosila je 46.546 tona. Najveća količina digestiranog otpada potječe iz prerađivačke industrije (99%). Od biootpada iz komunalnog otpada uglavnom je digestiran biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina. Količine otpadnog jestivog ulja, biorazgradivog otpada iz vrtova i parkova i otpada s tržnica koje su ušle u proces anaerobne digestije su bile zanemarive.

## 6. ZAKLJUČNA PROMIŠLJANJA

Digestat je visokovrijedno organsko gnojivo u ratarskoj proizvodnji na oraničnim površinama. Nastaje kroz proces anaerobne fermentacije u bioplinskim postrojenjima



Slika 7: Prednosti i nedostaci pojedinih načina gospodarenja biootpadom (Izvor: <http://www.bin2grid.eu>)

unutar kojih se organski supstrati (gnojovka i stajnjak iz stočarske proizvodnje, nusproizvodi prehrambene industrije, kukuruz i ostale energetske biljke) putem biokemijskih reakcija razlažu u jednostavnije spojeve (komponente) koji su kao hranjivi elementi lako dostupni biljkama koje se uzgajaju na osnovu planirane gnojidbe digestatom.

U novije vrijeme znanstvena preporuka je gnojidba visokovrijednim organskim gnojivima kako bi se poboljšala razina humusa u tlu, te smanjilo ocjeđivanje i erozija tla, na koje se duži niz godina primjenjivala gnojidba mineralnim gnojivima. Navedene operacije treba primjenjivati planirano i u skladu sa zakonskom regulativom koja je trenutno na snazi.

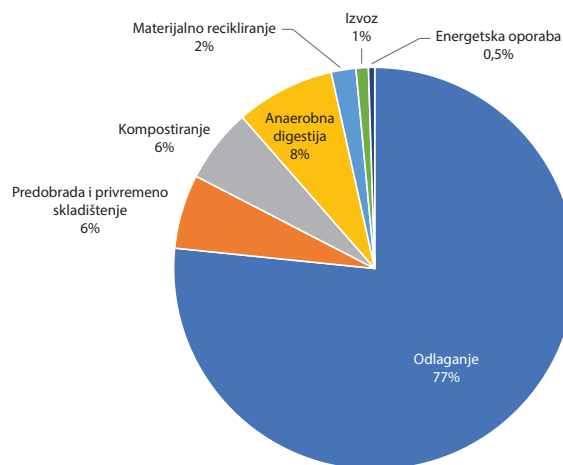
Na pet međunarodnih simpozija o anaerobnoj digestiji čvrstog otpada, održanim u Veneciji 1992. g., Barceloni 1999. g., Minhenu 2002. g., Kopenhagenu 2005. g. i Hammametu 2008. g., primjena anaerobne digestije u tretmanu čvrstog otpada dobila je veliki značaj i postala predmet velikog interesa najvećih imena naučne zajednice, dobila je podršku industrijskog sektora i političkih zvaničnika EU. Sve to anaerobnu digestiju svrstava među najbolje raspoložive tehnike/tehnologije za tretman otpada, jer zadovoljava europske principe i načela upravljanja otpadom, zaštite okoliša i održivog razvoja.

Važno za naglasiti; svaki digestat je različit i sastav ovisi o ulaznim sirovinama i tehnološkim procesnim uvjetima bioplinskog postrojenja.

Na nacionalnoj razini prilikom planiranja potrebno je pratiti i europske trendove u razvoju novih tehnologija obrade biootpada.

EU je postavila nova pravila za stavljanje gnojidbenih proizvoda na tržište EU-a. Vijeće je 21. 05. 2019.g. donijelo uredbu kojom se usklađuju zahtjevi za gnojiva proizvedena od fosfatnih minerala i iz organskih ili sekundarnih sirovina u EU-u, čime se otvaraju nove mogućnosti za njihovu široku proizvodnju i stavljanje na tržište. Uredbom se utvrđuju usklađene granične vrijednosti za različite kontaminante, kao što je kadmij, sadržane u mineralnim gnojivima.

Komisija je prijedlog predstavila u ožujku 2016. u sklopu akcijskog plana EU-a za kružno gospodarstvo. Jedan je od glavnih političkih ciljeva te inicijative potaknuti široku proizvodnju gnojiva iz domaćih organskih ili sekundarnih sirovina pretvaranjem otpada u nutrijente za usjeve, što je u skladu s modelom kružnog gospodarstva. ■



Slika 8: Postupanje s otpadom u RH u 2017. godini (Izvor: Baza ROO, Ministarstvo poljoprivrede)

## LITERATURA

Irsag, B. : Razvoj bioplinskog postrojenja.

Janssen R.; Rutz D.; Al Seadi T. : Biogas.

Voća, N. : Proizvodnja bioplina iz poljoprivredne sirovine i otpada.

Galović A.: Termodinamika II.

Tidwell J.; Weir T. : Renewable energy resources.

Schauperl Z. : Bioplin u Hrvatskoj.

Gulić G.: Goriva i izgoretine

Pukšec T. : Mjere za smanjenja emisija stakleničkih plinova i povećanje energetske učinkovitosti na farmama mliječnih krava.

Web stranica Ministarstvo zaštite okoliša i energetike <https://mzoe.gov.hr/>

Web stranica Ministarstvo poljoprivrede <https://poljoprivreda.gov.hr/>