

**ZAMENA MINERALNIH HRANIVA OSTATKOM FERMENTACIJE
SUBSTITUTION OF MINERAL FERTILIZERS BY USING FERMENTATION
RESIDUE**Marko Delić, Miodrag Višković, Milan Martinov, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE
SREDINE**

Kratak sadržaj – U ovom radu prikazana je ušteda u energetske inputu, proizvodnje i raspodele mineralnih hraniva, korišćenjem ostatka fermentacije - digestata.

Ključne reči – energetske input, hranivo, digestat

Abstract – This paper shows savings in energy input, in production and spreading, of mineral fertilizers, by using fermentation residue – digestate.

Keywords – energy input, fertilizer, digestate

1. UVOD

Poznato je da je za proizvodnju i raspodelu azotnih hraniva vrlo visok input energije, prosečno oko 60 MJ po kilogramu aktivne materije, te je primena digestata, koji sadrži ovo hranivo, i sa tog stanovišta poželjna. Dakle, primena digestata za amelioraciju zemljišta doprinosi i povoljnijem energetske bilansu gajenja. Ostali prateći efekti korišćenja digestata, povećanje organske materije i organskog ugljenika, kao i drugi, ovde nisu razmatrani.

Mogućnosti, značaj i postupci za korišćenje digestata su različite, a ovde se razmatra sa stanovišta primene kao supstitucije azotnih hraniva iz drugih izvora, odnosno mineralnih hraniva. Stoga će se mogućnost razmatranja potencijala digestata, u smanjenju količine azotnih hraniva, posmatrati sa aspekta sadržaja ukupnog, organskog, a prvenstveno amonijačnog azota (u daljem tekstu N_{uk} , N_{org} i NH_4-N). Pomenuti potencijal digestata može da se razmatra sa aspekta sadržaja fosfor (V)-oksida i kalijum oksida (u daljem tekstu P_2O_5 i K_2O), što je takođe obuhvaćeno. Pored toga, primarna mineralna makro hraniva predstavljaju najveći, ili indirektno najveći, energetske trošak u ratarskoj proizvodnji. Stoga je od značaja da se oceni primena digestata i sa stanovišta smanjenja energetske inputa u proizvodnji i raspodeli, što ima direktan uticaj na smanjenje emisija GHG.

Primarni makronutrijenti, definisani su u regulativi 2019/1009 [1].

Proizvodnja i korišćenje mineralnih hraniva zahteva korišćenje fosilnih goriva što omogućava emisije gasova GHG, u obliku azotnih oksida. Digestat, kao organsko hranivo, može da snizi troškove upotrebe mineralnih i azotnih hraniva iz drugih izvora, kao i uticaj na životnu sredinu, sprečavanjem prekomerne upotrebe hraniva, što

spečava ispiranje azota i zagađenje podzemnih voda i emisije azotnih oksida (NO_x), što se najviše povezuje sa upotrebom mineralnih hraniva.

Zbrinjavanje i korišćenje digestata je jednostavno, zbog čega je prihvatljiv za korišćenje kao supstitucija azotnih hraniva iz drugih izvora. Sadržaj NH_4-N , odnosno forme azota u digestatu koji koristi biljka, zavisi od supstrata koji se koriste u procesu anaerobne digestije. Svi nutrijenti, koji sa supstratom ulaze u proces anaerobne digestije, ostaju u digestatu, tako da osobine digestata zavise od ulaznih supstrata. U pogledu azotnih hraniva, procesom digestije se, najčešće, ostvaruje povećanje količine azota u formama dostupnim biljkama, što predstavlja doprinos sa stanovišta spstitucije i smanjenja korišćenja azotnih hraniva.

Od ulaznih supstrata, osobine digestat i potrebe biljaka za nutrijentima, zavisi koja količina digestata će se koristiti. Važno je naglasiti da se digestat koristi kao tečni ili čvrsti, posle čvrste separacije, koji predstavlja meru zbrinjavanja digestata. Druga mera vezana za zbrinjavanja digestata je njegovo skladištenje, koje bi trebalo da se sprovede na način koji nema negativnih uticaja na životnu sredinu, ili su oni svedeni na najmanju moguću meru.

Koji se to supstrati koriste za anaerobnu digestiju, preciznije je određeno regulativom 1774/2002 [2].

**2. POTENCIJAL DIGESTATA KAO HRANIVA I
ZBRINJAVANJE**

Procenjuje se potencijal digestata, pre i posle čvrste separacije, za korišćenje kao biljno hranivo. Pri tome se smatra da se kao supstarati koriste: stajnjak (tečni ili čvrsti), energetske bilje (npr. silaža kukuruza), žetveni i drugi ostaci za primenu u poljoprivrednim biogas postrojenjima.

Zbrinjavanje digestata podrazumeva čvrstu separaciju, skladištenje čvrstog i tečnog digestate i njihovu raspodelu po poljoprivrednim površinama. Pretpostavlja se da su tona, t i m^3 tečnog digestata, kao i polaznog digestata, približno isti, dok se za čvrste digestate koristi tona, t.

2.1 Osobine supstrata i uticaj na potencijal digestata

Količina NH_4-N , u supstratima, varira, kao udeo u SM, što je prikazano u [3,4]. Pošto je i sadržaj SM različit za pojedine supstrate, to takođe utiče na količinu NH_4-N koji će se naći u digestatu. Naravno, prilikom fermentacije dolazi i do promene sadržaja NH_4-N , što je dalje prikazano.

2.2 Osobine digestata

Uočava se da je sadržaj NH_4-N u digestatima viši nego u tečnom stajnjaku [5]. To je u suprotnosti sa podacima koje prikazuju [3,4], za supstrate, a što je posledica

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Pavle Pitka, docent.

procesa koji se odvijaju u fermentoru. Očigledno je da su forme azota koje biljka ne usvaja kao hranivo, N_{org} , transformisane u mineralni, dostupan biljkama, NH_4-N .

Laboratorijski rezultati

Digestat je dobijen iz tri reaktora kontinualnog anaerobnog fermentacionog testa, u Laboratoriji za monitoring životne i radne sredine i analiziran za sastav azota u analitičkoj laboratoriji Instituta za ratarstvo i povrtarstvo. Digestat je dobijen iz anaerobne digestije kukuruzovine. Sadržaj azota u kukuruzovini i digestatu su prikazani u tab. 1 i 2, kako bi se ustanovilo poreklo NH_4-N i njegova transformacija iz N_{org} od kukuruzovine. Tabele su preuzete iz [6].

Tab. 1 Sadržaj azota u kukuruzovini

Parametri	Kukuruzovina	Inokulum
Količina, g	1.000,00	4.000,00
SM, %	81,30	0,40
OSM, %	77,25	0,30
OSM, % SM	95,02	75,00
N_{uk} , % SM	0,65	0,25
NH_4-N , % SM	0,05	0,15
N_{org} , % SM	0,60	0,10

Tab. 2 Sastav digestata

Parametri	Reaktor 1	Reaktor 2	Reaktor 3
Količina, g	1.830	1.830	1.830
SM, %	0,17	0,19	0,18
OSM, %	0,14	0,15	0,14
OSM, % SM	82,4	88,2	77,8
N_{uk} , % SM	0,26	0,28	0,27
NH_4-N , % SM	0,18	0,19	0,18
N_{org} , % SM	0,08	0,09	0,08

Na osnovu pretpostavke da inokulum ostaje nepromenjen, tokom procesa anaerobne digestije, kako on ima ulogu pokretača procesa, može da se odredi NH_4-N , iz digestata, koja vodi poreklo od kukuruzovine.

13 % N_{org} , iz kukuruzovine, ostaje u digestatu. 87 % NH_4-N , u digestatu, vodi poreklo od kukuruzovine, ali je 8 % već u formi NH_4-N , što znači da je 79 % N_{org} , iz kukuruzovine, se razgradilo i prešlo u formu NH_4-N .

2.3 Čvrsto-tečna separacija digestata

Prilikom same separacije može da dođe do gubitaka NH_4-N , usled emisije amonijaka (NH_3). Najbolji način za sprečavanje tih emisije je njeno sprovođenje u zatvorenom prostoru i tretmanom otpadnog vazduha, postupkom kiselog pranja, kako se navodi u [7].

Uređaji za čvrsto-tečnu separaciju digestata su:

- pužna presa i
- centrifuga

Karakteristike pužne prese navedeni su u [8]. Pužna presa sabija vlakna uz cilindrični ram. Tečna faza digestata napušta separator kroz sito. Zbog povećanja prečnika prese po dužini, pritisak na vlakna se povećava, sa njihovim napredovanjem kroz separator. Na izlazu iz separatora, izdvaja se čvrsta faza digestata, pri čemu se

otpor separacije može regulisati mehanički. Na stepen separacije utiče prečnik pora na mreži rama. Manje čestice prečnika od 0,5 do 1 mm ostaju u tečnoj fazi. Glavna faza koja ističe iz separatora je tečna frakcija. Deo tečne faze se često reciklira da bi se podesio sadržaj čvrste materije ulaznog supstrata. Prednost pužne prese su malim investicionim troškovima, koji iznosi oko 20.000 € za biogas postrojenje snage 500 kW_{el} i malom inputu energije, koji iznosi od 0,4 do 0,5 kWh/m^3 .

Karakteristike centrifuge navedene su u [8]. Digestat ulazi kroz centralni ulaz centrifuge, sa donje strane, nakon čega dospeva do centralnog dela centrifuge. Čvrsta faza digestata se odvaja pomoću centrifugalne sile. Učinak separacije zavisi od veličine, oblika i razlike u gustini, između čestica. Čestice čvrste faze se sakupljaju na zidovima centrifuge i dalje se transportuju preko vijka. Čvrsta faza se izdvaja na desnom izlazu, a tečna faza na levom izlazu. Input energije je značajno viši i iznosi od 3 do 5 kWh/m^3 .

Čvrsta separacija pomoću pužne prese, je prihvatljivija, zbog malog energetskeg inputa, pri čemu se dobijaju tečni i čvrsti digestat, uporedivi sa onima dobijenih pomoću centrifuge, sa aspekta sadržaja primarnih makronutrijenata. To znači da će se u narednim poglavljima razmatrati energetske input raspodele i potencijal u snabdevanju useva, primarnim makronutrijentima, za izračunavanje količine uskladištenog čvrstog i tečnog digestata, koji su dobijeni pomoću pužne prese.

2.4 Osobine čvrstog i tečnog digestata

Čvrstom separacijom digestata, pomoću pužne prese, u tečnom digestatu se nalazi najveći sadržaj NH_4-N i K_2O , ali i najmanji sadržaj P_2O_5 . Udeli SM u polaznom, tečnom i čvrstom digestatu, su preuzeti od [9], a sastavi polaznog, tečnog i čvrstog digestata od [5]. Postoji slučaj gde tečni digestat ima isti sadržaj P_2O_5 , kao i neseparisani, odnosno polazni digestat, koji je naveden u [8]. Najveće količine P_2O_5 su raspoređene u čvrstom digestatu, koji sadrži nešto manje količine NH_4-N i K_2O .

Čvrstom separacijom digestata, pomoću centrifuge, čvrsti digestat raspolaže sa najvećim sadržajem primarnih makronutrijenata, NH_4-N i P_2O_5 . Gotovo cela količina K_2O , iz polaznog digestata, ostaje u tečnom digestatu [8].

Može da se smatra da je digestat, dobijen separacijom pomoću pužne prese, dobijen digestijom tečnog i čvrstog stajnjaka i energetskeg bilja. Čvrsti digestat, pokazuje veći sadržaj svih primarnih makronutrijenata, u poređenju sa čvrstim stajnjacima. Tečni digestat, ne pokazuje veći potencijal, u sadržaju nutrijenata, u poređenju sa tečnim stajnjakom [3,4].

Postoji mogućnost da digestat, podvrgnut separaciji pomoću centrifuge, čije su osobine prikazane u [7], nije dobijen digestijom tečnog i čvrstog stajnjaka, sa energetskeg biljem. Ipak digestati, dobijeni čvrstom separacijom, pomoću centrifuge, mogu da se uporede sa digestatima, dobijenih čvrstom separacijom pomoću pužne prese, na osnovu odnosa primarnih makronutrijenata, NH_4-N , P_2O_5 i K_2O , u njima. Čvrsti digestat, dobijen pomoću centrifuge, pokazuje potencijal u sadržaju NH_4-N , a čvrsti digestat, dobijen pomoću pužne prese, pokazuje potencijal u sadržaju K_2O . Sadržaji P_2O_5 , u čvrstom i tečnom digestatu, dobijeni pomoću pužne prese i centrifuge, su uporedivi.

2.5 Skladištenje čvrstog i tečnog digestata

Različiti su postupci skladištenja digestata posle čvrsto-tečne separacije. Polazni, odnosno neseeparisani, digestat može da se skladišti u sekundarnom fermentoru, koji je opremljen mešalicom, koji homogenizuje digestat, pri čemu se izdvaja zaostali biogas, koji je u najvećoj meri sačinjen od metana (u daljem tekstu CH_4). Digestat, posle, može da se skladišti u bazenima, od betona i nerđajućeg čelika, kako bi se digestat homogenizovao i sprečilo nastajanje plivajućeg sloja, neposredno pre čvrste separacije.

Postupci skladištenja čvrstog i tečnog digestata, dati su u [7]. Tečni digestat se skladišti u vertikalnim rezervoarima od betona i nerđajućeg čelika, ili u lagunama. Skladišta treba da poseduju gasno nepropusni ili gasno propusni pokrivač. Skladišta za tečni digestat su uporedivi sa bazenima za skladištenje polaznog, odnosno neseeparisanog digestata. Emisije azotsuboksida (N_2O) su zanemarljivo niske, u poređenju sa emisijama CH_4 i $\text{NH}_4\text{-N}$ i ograničene su na površinski plivajući sloj, te se u potpunosti eliminišu, uz korišćenje gasnonepropusnog pokrivnog sloja, koji održava anaerobne uslove u skladištu i time sprečava formiranje slobodnog plivajućeg sloja, na površini digestata.

Pokrivnim, gasnonepropusnim slojem, se sprečavaju emisije $\text{NH}_4\text{-N}$, tako da nema potrebe za ventilacijom, koji onemogućava aerobne uslove na površini digestata i emisije $\text{NH}_4\text{-N}$, pri visokim pH vrednostima.

Pokrovni sloj, od materijala šatorskog krila, su najefikasniji i imaju učinak u sprečavanju emisija $\text{NH}_4\text{-N}$, od 85 do 95 %. Potreba za održavanjem je mala, nema unosa atmosferske vode i košta oko 50 €/m². Pokrovni sloj u obliku plivajućih objekata imaju učinak, u sprečavanju emisija NH_3 , od 90 do 98 %, ali su iskustva malobrojna, kako se radi o novom proizvodu, ali je utvrđeno da ima dug vek trajanja i košta oko 35 €/m². Karakteristike pomenitih pokrovnih slojeva date su u [5].

Čvrsta frakcija digestata se skladišti na otvorenom ili u halama, na nepropusnim podlogama od betona ili asfalta. Skladištenje može da se sprovodi u pokretnim rezervoarima i kontejnerima, što je slučaj kada se izdvaja čvrsta frakcija, tokom separacije.

Zabrana raspodele čvrstog i tečnog digestata su različiti u zemljama Evrope. Zabrana raspodele van vegetacionog perioda, predstavlja njihov period skladištenja, kao i količine koje se skladište, što će se precizno odrediti na konkretnom primeru.

U Srbiji ne postoje propisi kojima se definiše zabrana raspodele, ali se očekuje da će oni biti doneti. Najverovatnije da će trajanje zabrane biti 4,5 do 5,5 meseci.

Pravilna raspodela sprovodi se neposredno pre setve ozimih i jarih uslova. U pojedinim slučajevima, u zavisnosti od biljne vrste, međurednog razmaka i raspoloživosti odgovarajuće mehanizacije, što je u narednom poglavlju definisano, moguće je da se sprovede i prihranjivanje tečnim stanjakom, odnosno tečnim digestatom.

Zabrana raspodele van vegetacionog perioda, jesen-zima, je, ili će biti zabranjena, a ona koja se sprovodi nakon skidanja useva do ozime setve treba da se obavi neposredno pre setve, da bi se smanjili gubici ispiranjem, a kod azotnih hraniva i demineralizacijom.

3. POSTUPCI RASPODELE DIGESTATA I ENERGETSKI DOPRINOS

Cilj raspodele čvrstog i tečnog digestata, na poljoprivrednim površinama, jeste da maksimalne količine $\text{NH}_4\text{-N}$ dospeju do korenovog sistema, kako bi se gubici $\text{NH}_4\text{-N}$ svele na minimum.

Kako gubici $\text{NH}_4\text{-N}$ rastu sa porastom temperature, oni mogu da se očekuju pri visokim temperaturama, u periodu raspodele, kako je navodeno u [5]. Oni mogu da se spreče odabirom pravilnih postupaka za raspodelu tečnog i čvrstog stajnjaka, pa tako i digestata, tj. smanjivanjem kontakta između hraniva i vazduha. Dakle, ranije, a kod nas još uvek dominantna primena raspodeljivača tečnog stajnjaka mašinama sa udarnom pločom, uzrokuje značajne gubitke azotnih hraniva i zagađuje vazduh.

3.1 Raspodela tečnog digestata

Tečni stajnjak, pa tako i tečni digestat, mogu da se raspodeljuju u lepezi, kako je prikazano na sl. 3, pomoću vučene, traktorske cisterne ili uređaja za raspodelu, u zavisnosti od toga da li se raspodela sprovodi, pre setve ili za prihranjivanje useva. Primena ovog rešenja ima za posledicu velike gubitke $\text{NH}_4\text{-N}$, zbog velikog kontakta lepeze sa vazduhom, pre stupanja u kontakt sa površinom zemljišta. Tehnička rešenja, u cilju smanjenja lepeze, odnosno kontakta sa vazduhom i obuhvatanja veće površine je doprinela smanjenju gubitaka $\text{NH}_4\text{-N}$. Proizvodnja ovakvih raspodeljivača je već zabranjena, npr. u Nemačkoj, pri čemu je dozvoljeno korišćenje već postojećih. U Srbiji ne postoji zabrana korišćenja pomenute vrste raspodeljivača, zbog njihovog jeftinog tehničkog rešenja i nabavne cene.

Savremeno rešenje bilo bi sa primenom lokacijski specifične raspodele. Optičkim uređajem koji identifikuje opskrbljenost useva sa N, kao što je to slučaj i sa prihranjivanjem mineralnim hranivima, količina se podešava levo i desno od putanje mašine, kao i dužinom parcele. Takođe, pri upravljanju količinom, koristi se i mapiranje plodnosti-potencijala, te na osnovu ta dva podatka definiše količina. Pri ovakvoj primeni koristi se uređaj sa mogućnošću podešavanja količine u toku kretanja, *Variable Rate Technology*, VRT.

Pored navedenog, mogu za raspodelu da se koriste i uređaji za navodnjavanje koji su prilagođeni za tečni stajnjak, fertigacija.

3.2 Raspodela čvrstog digestata

Kako se čvrsti, odnosno izdvojeni digestat, skladišti na otvorenom, neophodno ga je preuzeti i upotrebiti odmah, ili upotrebiti rastvor amonijum-sulfata ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) i sumporne kiseline (H_2SO_4), kako bi se pH vrednost snizila na 5 i značajno sprečila emisija i gubitak $\text{NH}_4\text{-N}$, u slučaju skladištenja, koje može biti duže samo u slučaju skladištenja u zatvorenim halama, kako navode u [9]. Duže skladištenje je poželjno da bi se obezbedila raspodela u zalihama, pri čemu se u čvrstom digestatu dodaju, pored rastvora za snižavanje pH i nitrifikacioni inhibitori kako bi se smanjio gubitak $\text{NH}_4\text{-N}$, usled nitrifikacije. Za raspodelu, koriste se raspoloživi raspodeljivači čvrstog stajnjaka. Ukoliko se nabavlja novi, sa mogućnošću promene na radnom organu za izuzimanje mase, koristi se najmanje agresivan, jer je digestat usitnjen.

To je raspodeljivač sa horizontalnim radnim organima, a dodano su postavljeni diskovi za povećanje radnog zahvata. To omogućava značajno povećanje učinka.

Zamenom alata na horizontalnim radnim ogranimi, onima koji su sa agresivnim sečivom, isti uređaj može da se koristi i za raspodelu čvrstog digestata.

I kod ovog uređaja moguće je da se primeni VRT, a količina raspodele bi se definisala na osnovu razlike u utvrđenoj plodnosti-potencijalu zemljišta, po dužini, te levo i desno.

3.3 Energetski input raspodele tečnog i čvrstog digestata

Pretpostavlja se da energetski trošak, za $\text{NH}_4\text{-N}$, P_2O_5 i K_2O , iz čvrstog i tečnog digestata, iznosi isto koliko i energetski trošak za makronutrijente iz mineralnih hraniva. Za raspodelu čvrstog i tečnog digestata, na površini od 1 ha, uzima se količina od 20 t.

Energetski trošak, za svaki makronutrijenat, prikazan je u [10].

Udeli SM u polaznom, čvrstom i tečnom digestatu, su zaokruženi, a sastavi polaznog tečnog i čvrstog digestata, su izmenjeni na osnovu zakruženih vrednosti SM, za polazni, tečni i čvrsti digestat [5,9].

Energetski inputi, primarnih makronutrijenata, iz tečnog i čvrstog digestata, prikazani su u tab. 1, 2 i 3.

Tab. 1 Energetski input $\text{NH}_4\text{-N}$, iz tečnog i čvrstog digestata

Digestati	Količina, t/ha	Ukupan energetski input $\text{NH}_4\text{-N}$, MJ/ha
Tečni digestat	20	3.840
Čvrsti digestat	20	3.240

Tab. 2 Energetski input P_2O_5 , iz tečnog i čvrstog digestata

Digestati	Količina, t/ha	Ukupan energetski input P_2O_5 , MJ/ha
Tečni digestat	20	400
Čvrsti digestat	20	1.400

Tab. 3 Energetski input K_2O , iz tečnog i čvrstog digestata

Digestati	Količina, t/ha	Ukupan energetski input K_2O , MJ/ha
Tečni digestat	20	1.536
Čvrsti digestat	20	1.152

Može da se vidi potencijal zamene i energtski input primarnih makronutrijenata, iz mineralnih hraniva, primarnim makronutrijentima iz tečnog i čvrstog digestata, što će biti prikazano na konkretnom primeru količina tečnog i čvrstog digestata, nakon skladištenja, a koji su dobijeni iz pretpostavljenog biogas postrojenja, u narednom poglavlju.

Tečni digestat predstavlja najveći izvor K_2O , a za njim i $\text{NH}_4\text{-N}$, a najmanji izvor P_2O_5 .

Čvrsti digestat predstavlja najveći izvor P_2O_5 , sa nešto manjim potencijalom kao izvor K_2O i $\text{NH}_4\text{-N}$, u poređenju sa tečnim digestatom, što se podudara sa raspoređivanjem primarnim makronutrijenata, u čvrstom i tečnom digestatu, posle čvrste separacije pomoću pužne prese [5].

4. PRIMER ZA IZVEDENO BIOGAS POSTROJENJE

Za izvođenje proračuna odabrano je jedno poljoprivredno biogas postrojenje, tj. preuzete su mase supstrata i izračunati udeli i mase SM i OSM u supstratima, gde pomenute mase i udeli fugurišu u jednačinama, pomoću koji se izvode proračuni.

Neke mase su i dodate, odnosno pretpostavljene, ali su udeli SM i OSM realni i izračunati, tako da se postrojenje može smatrati za hipotetičko. Cilj je da se dobiju mase digestat, pa tako tečnog i čvrstog, posle čvrste separacije, za hipotetičko, odnosno pretpostavljeno, poljoprivredno biogas postrojenje, pretpostave kapaciteti za skladištenje čvrstog i tečnog digestata i proceni poljoprivredna površina, za raspodelu tečnog i čvrstog digestata, pre setve, na osnovu sadržaja primarnih makronutrijenata u njima.

Godišnja potrošnja supstrata, udeo i količina SM, OSM i neorganske suve materije (u daljem tekstu NSM), u supstratima, koji se koriste u Srbiji, prikazani su u tab.5. Udeo SM i OSM je izmeren, za supstrate tečnog i čvrstog stajnjaka, taloga i energetskog bilja (silaze raži i sirka), u Laboratoriji za monitoring životne i radne sredine, departmana za inženjerstvo zaštite životne sredine. Količina NSM je dobijena iz razlike količina SM i OSM. Godišnja potrošnja supstrata, tečnog i čvrstog stajnjaka i taloga, je preuzeta od kompanije *Global seed*, sa biogas postrojenja u Čurugu, snage 1,2 MW. Godišnja potrošnja supstrata silaze raži i sirka, je pretpostavljena, što znači da ukupupan ulaz količine supstrata odgovara postrojenju jačne 1,6 MW.

4.1 Količina digestata

Pre proračuna mase digestata, neophodno je izračunati masu tečnog digestata, koji se recirkuliše, dodaje ulaznim supstratima, da bi se ostvarilo razblaživanje i omogućio hidraulički transport. Recirkulisani tečni digestat će u daljem tekstu biti nazvan recirkulantom. Uopšteno se smatra da sadržaj SM treba da bude manji od 12 %, a ovde je usvojeno da bude 11 %. Takođe je usvojeno da je sadržaj SM tečnog digestata 2 %. Ovo je preuzeto iz [10]. Na osnovu usvojenih vrednosti i masenog bilansiranja, ukupnog i SM, sprovodi se dalji proračun.

Konačan rezultat i zaokružena vrednost mase recirkulanta ($M_{\text{TD(ul.)}}$) iznosi:

$$M_{\text{TD(ul.)}} = 54.400 \text{ t/a}$$

Konačna vrednost mase digestata (M_{D}), zaokružuje se na:

$$M_{\text{D}} = 98.000 \text{ t/a}$$

Konačna vrednost mase SM u digestatu (M_{SMD}), zaokružuje se na:

$$M_{\text{SMD}} = 5.100 \text{ t/a}$$

Tako se dobija da udeo SM u digestatu iznosi:

$$\text{SM} = 5,2 \%$$

4.2 Količina tečnog i čvrstog digestata

Masa čvrstog i tečnog digestata izračunava se na osnovu masenog bilansiranja ukupne i čvrste materije

Kao konačna vrednost mase čvrstog digestata (M_{CD}), dobija se:

$$M_{CD} = 15.700 \text{ t/a}$$

Konačna vrednost dostupne mase tečnog digestata, nakon recirkulacije ($M_{TD(dost.)}$), zaokružuje se na:

$$M_{TD(dost.)} = 28.000 \text{ t/a}$$

4.3 Kapaciteti za skladištenje čvrstog i tečnog digestata

Tečni digestat koristi se, gotovo isključivo, za amelioraciju zemljišta. Operacija raspodele tečnog stajnjaka, pa tako i tečnog digestata, obavlja se pre setve, jare ili ozime. To znači, od sredine marta do druge polovine aprila, odnosno od sredine septembra do kraja oktobra. Postoji mogućnost raspodele tečnog digestate i za prihranjivanje, ali u posebnim slučajevima, kao što je navedeno u poglavlju 3, što ovde nije uzeto u obzir. Dakle, može se reći, tokom maksimalno tri meseca. U ostalo vreme tečni digesta se skladišti. To bi značilo da se skladišti digestat tokom 4,5 meseci. Naravno ima mnogo uticaja na terminiranje raspodele. Na primer, razlika u površinama ozimih i jarih useva. Stoga, u praksi, se računa sa većim kapacitetom skladišta, za šest meseci.

Iako biogas postrojenje ne radi 8.760 sati godišnje, a u konkretnom slučaju efektivno radi 8.300 sati, što je 19 dana manje, za okvirnu procenu može da se uzme u obzir otprilike polovina godišnje količine. To bi, u ovom slučaju, bilo 14.000 m³.

Iako se tečni digestat koristi za amelioraciju zemljišta, ne bi trebao da se raspodeljuje u uslovima povećane vlažnosti i padavina, zbog ispiranja nutrijenata u dublje slojeve zemljišta, koji neće dospeti do biljke. Čvrsti digestat je povoljniji za korišćenje pri pomenutim uslovima, kako padavine i uslovi povećane vlažnosti, mogu da uzrokuju brže dospevanje nutrijenata do biljaka, a poznato je da čvrsti digestat sadrži skoro isti sadržaj NH₄-N, niži sadržaj K₂O, ali veći sadržaj P₂O₅, što znači da i on poseduje karakteristike koji mu omogućavaju korišćenje za amelioraciju zemljišta.

Kada se uzme u obzir broj sati efektivnog rada biogas postrojenja i da se čvrsti stajnjak, samim tim i čvrsti digestat, raspodeljuje pre setve, imajući u vidu njihov nutritivni sastav i amelioracione sposobnosti, te da se za period njihovog skladištenja može usvojiti vreme od 4, 5 meseci, takođe se za procenu kapaciteta skladištenja čvrstog digestata može uzeti polovina godišnje količine. To bi bilo oko 7.900 m³.

Kapacitet dva separatora od 2 t/h SM, odnosno 17.600 t/a SM [10]. To je i više nego dovoljno za separaciju 98.000 t/a digestata, koji sadrži 5.000 t/a SM.

Za količine čvrstog i tečnog digestat, dobijene nakon pola godine skladištenja, mogu da se usvoje sadržaji nutrijenata iz [5], i u udelima čvrste materije, koje iz [9]. Cilj je da se utvrdi ušteda u energetskom inputu i količini nutrijenata, koja bi se raspodelila iz mineralnih hraniva, što je prikazano u tab. 4, u slučaju gajenja kukuruza.

Potvrđuje se veći potencijal tečnog digestata, u snabdevanju useva, pšenice i kukuruza, pre setve, sa NH₄-N i K₂O i veći potencijal čvrstog digestata, u snabdevanju istih useva, u pomenutom periodu, sa P₂O₅, što potvrđuje rezultate o raspoređivanju nutrijenata, u čvrstom i tečnom digestatu, nakon čvrste separacije polaznog digestata pužnom presom, kako je prikazano u [5].

Tab. 4 Raspodela hraniva, pre setve, u gajenju kukuruza

Digestati	Količina, t	Ukupan energetski input, GJ
Tečni	52 NH ₄ -N	3.360 NH ₄ -N
	22 P ₂ O ₅	310 P ₂ O ₅
	90 K ₂ O	1.152 K ₂ O
Čvrsti	21 NH ₄ -N	1.300 NH ₄ -N
	44 P ₂ O ₅	620 P ₂ O ₅
	38 K ₂ O	460 K ₂ O

5. ZAKLJUČCI

Zaključci se donose za svako poglavlje, koji sačinjavaju celovitu sliku, od potencijala i doprinosa u zaštiti životne sredine, u smanjenju, odnosno zameni količina mineralnih hraniva, do zbrinjavanja i raspodele digestata, odnosno čvrstog i tečnog, posle separacije.

Poglavlje 1

Razmatranje potencijala digestata, kao organskog hraniva, u zameni ili smanjenju korišćenja mineralnih hraniva, sa aspekta sadržaja N, koji je odmah dostupan usevima, a koji se u digestatu nalazi u formi NH₄-N, je logičan, zbog ograničenja količine raspodele N, u godini od strane direktive 91/676/EEC, koji inače važi za stajnjak, samim tim i za tečni i čvrsti. Ako direktiva ograničava količine raspodele N, samo za organska hraniva, logično je da se ima za cilj zamena ili smanjenje korišćenja aminerlnih hraniva, koji ne podležu pomenutim ograničenjima i na taj način se smanji zagaćenje zemljišta i podzemnih voda, ispiranjem N, kao posledica prekomerne upotrebe, pri čemu se smanjuje i emisija NO_x, gasova GHG, sa poljoprivrednih površina. Istina, zamena ili smanjenje upotrebe mineralnih hraniva, moći će u budućnosti da se sprovede pomoću ostalih organskih hraniva, koji mogu da se sastoje od digestata, na osnovu 7 kategorija proizvoda i 11 kategorija materijala, definisanih regulativom 2019/1009.

Poglavlje 2

Raspodela digestata se sprovodi nakon čvrste separacije, čime se smanjuje kapacitet skladištenja tečnog digestata, koji bi bio neophodan za skladištenje neseparisanog digestata. Prednost je i jednostavnost skladištenja čvrstog digestata. Period skladištenja stajnjaka, koji obuhvata vanvegetacioni period i period između dve setve, takođe je u skladu sa direktivom 91/676/EEC, koja se odnosi na stajnjak, aki je takođe usvojena i za digestat. Kada se u Srbiji donese propis, vezan za period raspodele, poželjno je da se usvoji za sva organska hraniva, tj. za stajnjak i digestat, po uzoru na Uredbu o hranivima (Düngemittelverordnung, DüMV).

Poglavlje 3

Raspodela 20 t/ha, čvrstog i tečnog digestata, pre setve, traktorima sa prikolicama, sa ugrađenim raspodeljivačima za čvrsti digestat i cisternama, sa priključenim raspodeljivačima za tečni digestat, uz primenu VRT tehnologija, su već poznata rešenja, kojima se ostvaruje zamena, odnosno smanjenje upotrebe mineralnih hraniva. Ova rešenja nisu moguća kada se sprovodi prihranjivanje useva. Rešenje za raspodelu, u svrhu prihranjivanja, je korišćenje uređaja, kod širokorednih biljnih vrsta, uz postojanje stalnih tragova, ili fertigacijom, uz primenu

VRT tehnologija, pri čemu je moguće raspodeliti samo tečni stajnjak, što se, u slučaju fertigacije, sprovodi pomoću sistema za navodnjavanje useva.

Poglavlje 4

Za raspodelu čvrstog i tečnog digestata, može da se snabdeva ukupna površina gajenog useva, u skladu sa količinom nutrijenta, kojeg ima najviše u pomenutim digestatima, kada se posmatra sadržaj nutrijenata u količini čvrstog i tečnog digestata, nakon skladištenja, bilo da se raspodela planira za period pre setve, ili u toku prihranjivanja useva. Nedostatak ostalih nutrijenata može da se nadoknadi, raspodelom mineralnih hraniva, pri čemu se ostvaruje smanjenje, odnosno zamena, one količine mineralnih hraniva, koja bi se inače raspodeljivala na ukupnoj površini gajenih useva.

6.0 LITERATURA

- [1] Official Journal of the European Union. 2019. L 170. *Laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003.* Regulation (EU) 2019/1009 of the European of the European Parliament and of the Council. 05.06.2019.
- [2] Official Journal of the European Union. 2002. L 273. *Laying down health rules concerning animal by-products not intended for human consumption.* Regulation (EU) 1774/2002 of the European of the European Parliament and of the Council. 03.10.2002.
- [3] Anonim. 2016 a. *Opis odabranih supstrata.* Priručnik o biogasu od proizvodnje do korišćenja. FNR, FKZ: 22005108.
- [4] Anonim. 2006. *Handreichung: Biogasgewinnung und -nutzung.* Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. FNR. Gülzow, Nemačka.
- [5] Anonim. 2016 b. *Kvalitet i korišćenje ostatka fermentacije.* Priručnik o biogasu od proizvodnje do korišćenja. FNR, FKZ: 22005108.
- [6] Delić M. 2018. *Transformacija jedinjenja azota u kukuruzovini tokom anaerobne digestije.* Dipl. rad, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
- [7] Anonim. 2016 c. *Oprema za proizvodnju biogasa.* Priručnik o biogasu od proizvodnje do korišćenja. FNR, FKZ: 22005108.
- [8] Drog B, Fuchs W, Al Seadi T, Madsen M, Linke B. 2015. *Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing.* IEA Bioenergy. ISBN 978-1-910154-15-1.
- [9] Seide H, Beier C, Vuković D, Lystad H. 2019. *Digestat as Fertilizer.* German biogas association.
- [10] Martinov M. 2017. Lično saopštenje. *Udeo SM u ulaznim supstratima, posle recirkulacije tečnog digestata i udeo SM u tečnom i čvrstom digestatu, posle čvrste separacije.* Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.

Kratka biografija:

Marko Delić rođen je u Novom Sadu 1993. godine. Osnovne akademske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu upisuje 2012. godine, a master akademske studije 2018. godine na studijskom programu *Zaštita životne sredine*.

Miodrag Višković rođen je u Senti 1987. Od 2021. Godine je docent na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Oblast interesovanja je biomasa za energiju.

Milan Martinov: Od 1977 do 1978. godine je asistent u nastavi na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu. Od 1978. godine je asistent u naučnom radu, asistent u nastavi, docent, vanredni profesor i redovni profesor, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.