



IMPLEMENTACIJA I OPTIMIZACIJA POSTROJENJA ZA ANAEROBNU DIGESTIJU KOMUNALNOG OTPADA - STUDIJA SLUČAJA NA ISLANDU

IMPLEMENTATION AND OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION PLANT FOR MUNICIPAL WASTE - A CASE STUDY IN ICELAND

Teodora Anđelković, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast- INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

Kratak sadržaj – Osnovna svrha rada jeste testiranje i optimizacija pilot biogasnog postrojenja za preradu komunalnog otpada u okviru gradske deponije u Rejkjaviku na Islandu. Glavni proces tretmana otpada obuhvata ispiranje organskih jedinjenja iz komunalnog otpada i korišćenje ove tečnosti za kao hrana za anaerobni digestor, odnosno za proizvodnju biogasa. Ostatak otpada se aerobno kompostira. Da bi se poboljšala početna hidroliza organskog otpada, moguće pokrenuti postupak na višim temperaturama (npr. 55°C). Bilo je neophodno izvoditi nekoliko simuliranih procesa na mezofilnim i termofilnim uslovima određivanje masene i energetske ravnoteže procesa u zavisnosti od toga. Rađeno je na tome da ceo sistem bude automatizovan uz minimalnu asistenciju ljudi.

Ključne reči: komunalni otpad, postrojenje za biogas, automatizacija, anaerobna digestija.

Abstract – The main purpose of the master theses is to test and optimize a pilot biogas plant for municipal waste treatment within the municipal landfill in Reykjavik, Iceland. The main waste treatment process involves the flushing of organic compounds from municipal waste and the use of this liquid as food for anaerobic digesters and for biogas production. The rest of the waste is aerobically composted. In order to improve the initial hydrolysis of organic waste, it is possible to start the process at higher temperatures (eg 55 ° C). It was necessary to perform several simulated processes on mesophilic and thermophilic conditions. The whole system was designed to be automated with minimal assistance from people.

Keywords: municipal waste, biogas plant, automation, anaerobic digestion.

1. UVOD

Pre anaerobne digestije, deponovanje komunalnog čvrstog otpada je bila a uobičajena tehnika za upravljanje otpadom. Promena u zakonodavstvu ima za cilj da smanji deponovanje organskog otpada.

Anaerobna digestija predstavlja najisplativije rešenje zbog ograničenog uticaja na životnu sredinu.

Anaerobna razgradnja organske materije je složen proces u kojem mnoge različite bakterijske grupe rade na pretvaranju proteina, ugljenih hidrata i masti u metan i ugljen dioksid.

NAPOMENA:

Ovaj rad je proistekao iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Nemanja Stanisavljević.

Cilj ovog rada jeste uspostaviti pilot-postrojenje/laboratoriju za sprovođenje eksperimenata za dobijanje podataka o rizicima koji mogu nastati prilikom upravljanja biogasnim postrojenjem. Sakupljanjem ovog opada se bavi SORPA, kompanija za reciklažu iz Rejkjavika. Ovo će poslužiti kao prethodnica predloženoj izgradnji postrojenja za proizvodnju biogasa i komposta za procenu održivosti procesa, relevantne procene rizika i prilagođavanje procesa različitim tokovima otpada u Alfsnesu.

Glavni zadatak je bio pokrenuti pilot postrojenje za biogas koji tretira komunalni otpad u dvostepenom sistemu koji se sastoji od hidrolizne faze i metanogenske faze za tretiranje procedne tečnosti koja se dobija u prvom koraku. Čvrsti materijal nakon upotrebe u perkolatoru se baca na deponiju.

2. UPRAVLJANJE ORGANSKIM KOMUNALNIM OTPADOM

Anaerobna digestija se sastoji od četiri biohemijska koraka u kojima bakterije razgrađuju organske materije u anaerobnim uslovima. Dve glavne grupe mikroorganizama vrše potpunu razgradnju ovih organskih materija: fermentori i metanogeni. Ceo proces se može podeliti u četiri koraka, Prva faza anaerobne digestije je hidroliza. Drugi stadijum je acidogeneza, zatim acetogeneza i poslednja faza metanogeneza.

Anaerobna digestija sa temperaturnim fazama tretira organski otpad koristeći dva rezervoara u seriji: prvi reaktor sadrži inokulum gde se dešavaju hidrolizne / acidogene hemijske reakcije, dok se u drugom reaktoru odvijaju acetogeni / metanogeni procesi.

Ovakvi sistemi mogu da rade sa većim stepenom organskog opterećenja, imaju povećanu deaktivaciju patogena i manje su osetljivi na promene karakteristika uticajnih taloga od jednostepenog anaerobnog digestora.

Utvrđeno je dosadašnjim metodama poboljšanja pretvaranja otpada u gas da ovakvi sistemi pokazuju bolju opciju od jednog sistema reaktora. To uključuje pokretanje faze hidrolize sa kraćim hidrauličkim vremenom zadržavanja (i dužim hidrauličkim vremenom zadržavanja u fazi formiranja biogasa sa različitim temperaturama.

3. UPRAVLJANJE OTPADOM NA ISLANDU

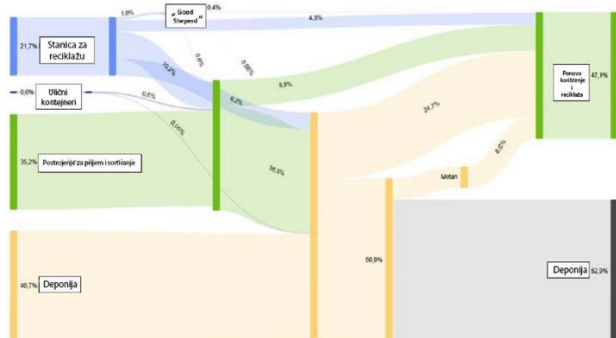
Island je ostrvo u Severnom Atlantskom okeanu sa populacijom od oko 332.000 ljudi. a oko 2/3 stanovništva živi u šest opština u glavnom gradu Rejkjavik. Šest opština 1991. godine je osnovalo zajedničko komunalno preduzeće za upravljanje otpadom.

SORPA je firma za upravljanje otpadom u vlasništvu opština u šest glavnih oblasti na Islandu; Reikjavik, Hafnarfjordur, Kopavogur, Seltjarnarnes, Mosfellsber i Gardaber. SORPA ima oko 120 zaposlenih koji rade u različitim jedinicama organizacije.

Komprimovani čvrsti otpad nakon sortiranja se sabija do 70% zapremine i slaže u bale, a zatim se transportuje na deponiju u Alfnsnesu. Bale otpada su složene i zakopane pod slojeve zemlje kao što se. Deponija je dizajnirana efikasnim sistemom za sakupljanje gasa koji ima oko 180 operativnih bunara koji su međusobno povezani i rade sa naprednim sistemom usisavanja. Biogas se skuplja iz bunara i šalje do stanice gde se tretira, gde sistem za prečišćavanje vode isporučuje metan u gasovitom obliku. Gas metana se komprimuje i šalje na benzinske stanice na prodaju kao transportno gorivo. Procedne vode se ne tretiraju i ispuštaju u obalne vode u blizini deponije. Nakon zatvaranja deponije na tim površinama se sadi trava.

U budućnosti bi ove površine mogle poslužiti kao rekreativne površine.

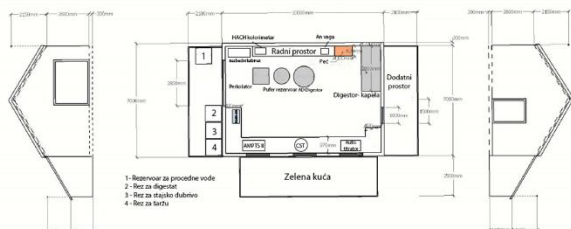
U podacima o toku protoka otpada iz 2017. godine iz SORPA-e, 47% primljenog komunalnog otpadnog otpada bilo je reciklirano ili ponovo upotrebljeno, a oko 53% je odloženo na deponije.



Slika 1. Protok otpada prema [1]

4. OPIS PILOT BIOGASNOG POSTROJENJA

U glavnom, centralnom delu laboratorije se nalazi oprema koja se sastoji iz nekoliko zasebnih jedinica, slika 2. Mesto gde se jedna serija otpada tretira se naziva perkolator.



Slika 2. Skica laboratorije

Prema „AIKAN“ procesu, procedna tečnost iz perkolatora više puta cirkuliše kroz otpad a zatim u manuelno zadatim ciklusima razmenjuje sa digestatom iz reatora. Konverzija VFA u biogas se događa u anaerobnom reatoru. Perkolator je napravljen od nerđajućeg čelika i sastoji se od rezervoara, zapremine 1m³. Četvrtastog je oblika, sa 4 točka. Na prednjem delu se nalazi staklo koje omogućava vizuelni pregled postupka pranja. Sa gornje strane se

nalazi poklopac, otvor za vazduh i prskalica. Perkolator se puni sa gornje strane. Sklanjanjem poklopca za sada jedini način kako napuniti perkolator. Na dnu ima perforiranu plastičnu ploču koja omogućava neometano ispuštanje perkolata u odvodno crevo.

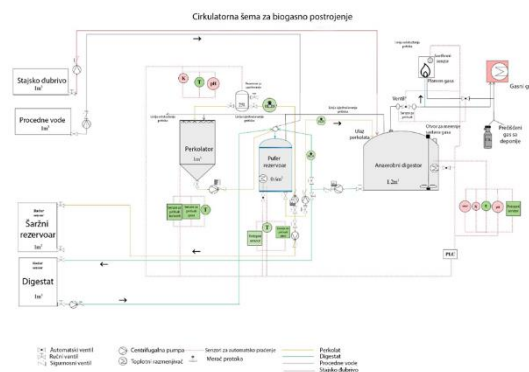
Perkolator jer dobro zatvoren tako da može da drži pritisak do 50 mB. Prekolator ima sistem za izjednačavanje pritiska. Izlaz u gornjem delu crevom je povezan sa rezervoarom.

Pritisak u perkolatoru se meri sa dva senzora za pritisak, jedan u gornjem a drugi u donjem delu. Dve jake pumpe regulišu cirkulaciju između perkolatora i rezervoara.

Pufer rezervoar je je stari rezervoar za mleko od nerđujućeg čelika. U na njegovom dnu je postavljen sistem cevi koje služe za grejanje.

Glavna uloga ovog rezervoara je sladištenje perkolata za vreme cirkulacije i mešanje perkolata sa digestatom tokom procesa razmene. Ovo se radi da ne bi došlo do naglih promena u pH vrednosti tokom hidrolize i metanogeneze. On se direktno puni procednom tečnošću iz perkolata i ujedno razmenjuje tu tečnost sa digestatom.

Na kraju svake šarže rezervoar prima svu tečnost dobijenu cirkulacijom. Na vrhu rezervoara nalaze se senzor za merenje vazdušnog pritiska i senzor za merenje vodenog pritiska. Oni zajedno služe da bi se izmerio nivo tečnosti u rezervoaru, slika 3.



Slika 3. Cirkulatorna šema

Pored toga na donjem delu rezervoar nalazi se senzor za merenje temperature. Rezervoar je povezan sa rezervoarom van glavnog dela laboratorije gde se skladišti digestat. Na izlasku rezervoara, na mestu gde se perkolat pumpa u anaerobni digestor postavljen je impulsni merač protoka. Njegova uloga je da se što preciznije odredi količina razmenjene tečnosti sa digestatom. Merač protoka je automatski regulisan preko računara.

Anaerobni digestor je rezervoar koji se nekada koristio u mlekarskoj industriji. Zapremine je 1,2m³, dubine 1 metar. Upotpunosti zatvoren tako da može da izdrži pritisak od 50mB.

Reaktor ima mogućnost kontinuiranog mešanja (CSTR – „continuously stirred tank“) koji je sličan reaktorima koji će se koristiti u glavnom postrojenju za biogas. Kontroler brzine i tajmer je priključen na motor za mešanje kako bi se obezbedila efektivna razmena mase i mešanje stajiva i suptrata.

Na dnu je proveden sistem za grejanje koji se automatski regulše. Potreban je izvestan vremenski period kako bi došlo do konverzije u VFA. Ova konverzija se prati uz

pomoć nekoliko tipova senzora. Na samom rezervoaru ima nekoliko otvora sa strane i na vrhu za različite vrste senzora. Senzor za temperaturu, pH, konduktivnost i oksido redukcionu potencijal ORP, senzor za vazdusni pritisak i potopni senzor za merenje dubine i merač protoka. Maksimalna količina tečnosti u digestoru može biti 900 l.

5. MONITORING PROCESA

Industrijski kontroler ili PLC od Programmable Logic Controller - programabilni logički kontroler. PLC projektovan kao namenski mikroprocesorski sistem za upravljanje i nadzor rada nekog procesa, i u skladu sa tim ima poseban operativni sistem koji obezbeđuje periodično ponavljanje ciklusa. Primena PLC-a u praksi, zahtevala je i da se njegovo programiranje prilagodi tehnicima koja je svim korisnicima relearnih sistema dobro poznata. Iz svih ovih razloga, za projektovanje PLC-ova razvijen je programski jezik zasnovan na leder (lestvičastim) dijagramima – leder programski jezik.

Jedna programska linija leder jezika sastoji se iz niza grafičkih simbola (programskih naredbi) koji predstavljaju različite logičke elemente i druge komponente kao što su tajmeri i brojači, koji su poređani duž horizontalne linije – rang (rung) – koja je na oba kraja spojena sa dvema vertikalnim linijama. Prema tome, leder dijagram ima izgled lestvica, odakle potiče i njegov naziv (ladder – lestvice).

Svaki rang leder dijagrama sastoji se iz dva dela. Na levoj strani ranga nalazi se uslov izražen u formi kontaktne (prekidačke) logike, dok se na desnoj strani ranga nalazi akcija koja treba da se izvrši ukoliko je uslov ispunjen (true-istinit).

Leder program se izvršava u toku programskog dela sken ciklusa i to tako što se obrađuje rang po rang u nizu kako su oni definisani. U svakom rangu ispituje se istinitost uslova i ukoliko je uslov istinit izvršavaju se odgovarajuće naredbe u desnom delu ranga.

Četiri osnovne jedinice svakog PLC sistema kao i način na koji su međusobno povezane:

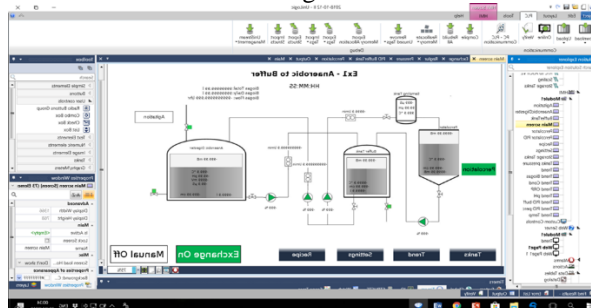
1. Centralna procesorska jedinica (CPU) ili logička jedinica. Predstavlja „mozak“ sistema, a sastoji se iz sledeće tri podjedinice: -

- a. Mikroprocesor –
- b. Memorija – za čuvanje sistemskog softvera i korisničkog programa –
- c. Izvor napajanja – obezbeđuje napajanje mikroprocesora, memorije, ulaznog i izlaznog modula.

2. Programator/Monitor (PM). PM je uređaj koji se koristi za komunikaciju sa PLC-om. Primeri PM-ova su: ručni terminali, industrijski terminali i personalni računari. Sa jedne strane, prema operateru, ovi uređaji poseduju ekran i tastaturu, dok sa druge, prema PLC-u, odgovarajući komunikacioni interfejs za prenos programa, podataka, statusnih informacija ka/iz PLC-a

3. U/I moduli. Ulazni modul poseduje terminale (priključne tačke) na koje se dovode električni signali koje generišu senzori ili prevarači. Izlazni modul poseduje terminale preko koji PLC šalje izlazne signale kojima pobuđuje rele, solenoide, motore, displeje i druge izlazne uređaje ili aktuatorne.

4. Rekovi i šasijske. Delovi PLC sistema CPU, PM i U/I moduli smeštaju se u metalne ormare – tzv. rekove. Na slici 4. prikazani su svi parametri koje je moguće direktno pratiti, parametri koji se mogu modifikovati. U svako vreme može se imati uvid u to koliki je protok biogasa u litrama, koja je količina gasa je nastala za ceo eksperiment i količina gasa za taj dan. Koja je temperatura i koliki su pritisci u perkulatoru, pufar rezervoaru i anaerobnom digestoru



Slika 4. HMI deo u programu

6 KALIBRACIJA

Da bi se prikupili najpreciznija merenja neophodno je uraditi kalibraciju senzora. Na osnovu iskustva preporuka je da se ovo radi u okviru svake 2 nedelje u pauzama između eksperimenata. U rezervoaru za uzorkovanje se nalaze pH senzor i senzor za konduktivnost a u anaerobnom digestoru pH senzor, senzor za konduktivnost i za merenje ORP-a. Senzori su elektrohemijski i potrebno je imati standardne rastvore za svaki od njih.

Da bi se postigla što bolja kalibracija neophodno je ručno izvaditi senzore iz rezervoara za uzorkovanje i iz anaerobnog digestora. Vađenje senzora nije nimalo lak posao. Potrebno je biti jako pažljiv u rukovanju. Ako se ovo prvi put radi za početak treba poveriti na ručnom ventilu rezervoara za uzorkovanje da li je rezervoar prazan. Da bi se senzori bolje očuvali oni moraju konstantno biti potopljeni. Tako da gotovo nikad rezervoar za uzorkovanje ne sme biti prazan. Potrebno je naći dovoljno veliku kofu u koju je moguće sipati sav zaostali perkolat. Pre kalibracije potrebno je pripremiti sve materijale za kalibraciju. Staklene čase koje su dobro oprane u dejonizovanoj vodi i ispunjene u dovoljnoj količini standardnim rastvorima tačno određene koncentracije. Prskalicu sa dejonizovanom vodom za ispiranje senzora i ubrus za njihovo pražljivo sušenje, laboratorijski mantil, zaštitne rukavice. Perkolat je izuzetno neprijatnog mirisa. Iznad digestora se nalazi ekran sa kojima su senzori povezani. Koristeći manual od proizvođača, prateći korake procedure potrebno je podesiti modul senzora za kalibraciju. Ova dokumenta se nalaze u plakarima kod anaerobnog digestora.

Nakon završene kalibracije svaki senzor obmotati zaštitnom belom trakom i vratiti u prvobitni položaj. Ako nije planirano da u narednom periodu se izvode eksperimenti, zatvoriti sve ventile na rezervoaru i napuniti rezervoar vodom iz vodovoda do vrha. Kalibracione tečnosti skladštitu u staklenim flašicama do sledeće kalibracije. vazduha u sistem.

Kalibracija procesa razmene

Neophodno je uraditi ako n a PLC-u, merači protoka ne očitavaju protok tokom postupka razmene i ako ekran

jednog od merača protoka (ili oba) treperi dok pumpe rade. (To znači da merač protoka ne očitava, što dovodi do prekomernog razmenjivanja digestata.) • Proces je neuravnotežen, ako jedna pumpa daje previše / premale količine digestata / perkolata. (Primetno je ako se sadržaj digestora s vremenom smanjuje / povećava) Ovo trepenje se takođe može dešavati ukoliko proces tek započinje pa dolazi do pumpanja vazduha kroz merač protoka. Ovo može predstavljati problem u početku procesa.: Otvorite regulacioni ventil iz rezervoara (ventil odmah posle blokade) i vratite ventil na bravu. (Važno je da regulacioni ventil bude uključen, jer dodaje povratni pritisak i reguliše protok.) Regulacijske ventile otvorite maksimalno do njihovog otvaranja. Crevo sa regulacijskim ventilom stavite u kante i osigurajte da čvrsto stoje. Započnite kalibracijom protoka iz puferskog rezervoara do digestora i zatvorite kuglasti ventil na izlazu anaerobnog digestara. Na PLC-u pored vrata pritisnite dugme „Proces zamene“. Pumpe će početi da rade i možete videti protok na PLC-u (pre kalibracije protok će prikazati 0,00L/min). Polako zatvorite regulacioni ventil dok ekran merača protoka ne postane plav i ne počnete da čitate protok. Automatizacija će upravljati procentom pumpe tako da ima 3L / min. Nastavite zatvarati ventil sve dok procenat pumpe ne opadne na vrednost između 20 i 40%. Vratite sadržaj kante u odgovarajući rezervoar. Ponavljajte postupak sve dok se dobije stabilno očitavanje (ekran merača protoka ostaje plav, a PLC prikazuje protok) za celu dužinu procesa (tj. 5L sa trenutnim podešavanjima) Jednom kada nađete stabilan protok, ponovite postupak za računanje protoka anaerobnog digestora.

7. ZAKLJUČAK

Praksa i pisanje rada u firmi Sorpa omogućilo mi je da napravim prve korake u polje inženjerstva, upravljanju otpadom i proizvodnji biogasa u praktičnom smislu. Organizovanje laboratorije, obeležavanje delova laboratorije, pravljenje priručnika za upotrebu svih metoda koje je moguće sprovesti. Kupovina i osmišljavanje kako dodavati nove uređaja za merenje. Sklapanje uređaja za titraciju, sklapanje i korišćenje uređaja za ispitivanje potencijala dobijanja biogasa. Postavljanje bezbedonosnih lista o korišćenju hemikalija, reorganizovanje prostora, opremanje laboratorije, postavljanje nove opreme (senzori, titrator) i pokretanje iste zarad dobijanja podataka o zdravlju digestora. Ovo su bile smo od nekih stvari neophodnih da se ova laboratorija pokrene. Pored ovoga rad sa ugovaračima, vodoinstalaterima, električarima, mehaničarima, programerima. Manuelni rad na vodovodnim delovima koji je podrazumevao modifikaciju delova sistema, on-line i direktno nadgledanje procesa. Tokom izvođenja različitih eksperimenata u laboratoriji, uključen je čitav aspekt hemijskog inženjerstva. Održavanje i kalibracije instrumenata, skladištenje hemikalija i upravljanje otpadom.

U velikoj meri ostvareno je dosta rezultata u okviru definisanih ciljeva. Eksperimentalna postavka je završena i testirana za sprovođenje eksperimenata Urađena je automatizacija perkolatornog ciklusa, prvog dela procesa gde se odvija hidroliza, a zatim i automatizacija razmene ove tečnosti sa anaerobnim digestorom. Utvrđen je

vremenski opseg ciklusa razmene i samog experimenta i postavljeni su početni parametri recepta za pokretanje procesa.

Zbog izazova sa isporukom i odabirom opreme, vreme predviđeno za automatizaciju se produžilo. Da bi se potvrdilo da celokupna oprema služi svrsi sprovedeni su mnogi test eksperimenti na osnovu kojih je menjana oprema. Na perkolatoru je bilo neophodno postaviti dodatni kanal koji služi za izjednačavanje pritisaka iznad i ispod otpada. Ovo je bilo neophodno kako bi se dobila precizna informacija o tome koliko je tečnosti u samom perkolatoru. Cilj je bio da sam otpad nikada ne bude natopljen.

Upotpunosti su menjani senzori za merenje dubine i pritisaka u reaktoima. Na anaerobnom digestoru su dodati automatski ventili koji bi se otvarali/zatvarali u zavisnosti od samog pritiska u reaktoru, da bi se sprečo ulazak vazduha u sistem.

Ono što je očigledno je da veličina elemenata laboratorije nije srazmerna jedno drugim. Potrebno je ili češće puniti perkolator kako bi bilo dovoljno sirovine za hranjenje digestora ili osmisli drugi dizajn samog perkolata. regulaciji na grejnim telima uz pomoć radijatorskih termostatskih ventila.

8. LITERATURA

- [1]. [Andersen A., 2001. Disposal and Recycling Routes for Sewage sludge: Part 3 - Scientific and Technical Report. European commission, DG Environmen, Brussels, Belgium
- [2]. Aikan. (2016). *Pre-phase proposal of a waste treatment plant based on Aikan*
- [3]. *Technology in Álfsnes, Iceland.*
- [4]. Cavinato, C., Bolzonella, D., Pavan, P., Fatone, F., & Cecchi, F. (2013). Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of waste activated sludge and source sorted biowaste in pilot- and full-scale reactors. *Renewable Energy*, 55, 260–265. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.044>
- [5]. Dooms, M., Benbelkacem, H., & Buffière, P. (2018). High solid temperature phased anaerobic digestion from agricultural wastes: Putting several reactors in sequence. *Biochemical Engineering Journal*, 130, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.11.011>
- [6]. Mata-Alvarez, J., Macé, S., & Llabré, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solidwastes. An overview of research achievements and perspectives. *BioResource Technology*.
- [7]. Mario Alejandro Rosato (2018) *Managing Biogas Plants, a practical guide.* Tailor and Francis group P13

Kratka biografija:



Teodora Anđelković rođena je u Šapcu 1993. godine. Fakultet tehničkih nauka, odsek Inženjerstvo zaštite životne sredine –Osnovne akademske studije završila je 2016. godine.