

Analiza ekonomske isplativosti bioplinskog postrojenja

Irsag, Bojan

Master's thesis / Diplomski rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:795000>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Bojan Irsag

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Student:

Bojan Irsag

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Prof. dr. sc. Nevenu Duiću, i asistentu Tomislavu Pukšecu na podršci i pomoći pri izradi ovog rada. Zahvaljujem se svojoj obitelji na pruženoj podršci tijekom studija.

Bojan Irsag

SADRŽAJ

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | UVOD..... | 9 |
| 1.1 | Zakonski okvir..... | 10 |
| 2 | BIOPLIN..... | 13 |
| 2.1 | Bioplinska postrojenja..... | 14 |
| 3 | METODOLOGIJA | 16 |
| 3.1 | Metodologija pregleda farmi..... | 16 |
| 3.2 | Metodologija proračuna postrojenja..... | 18 |
| 3.3 | Određivanje redukcije stakleničkih plinova uz gradnju bioplinskog postrojenja..... | 21 |
| 3.4 | Metodologija izračuna maksimalne udaljenosti | 22 |
| 3.5 | Isplativost korištenja raznih energenata za postrojenje..... | 24 |
| 4 | STUDIJA SLUČAJA ČETIRI FARME | 26 |
| 4.1 | I. farma | 27 |
| 4.1.1 | Opis farme..... | 27 |
| 4.1.2 | Energetski potrošači | 28 |
| 4.1.3 | Potrošnja energije..... | 29 |
| 4.1.4 | Bioplinski potencijal | 30 |
| 4.1.5 | Mjere za uštedu | 30 |
| 4.2 | II. farma..... | 31 |
| 4.2.1 | Opis farme..... | 31 |
| 4.2.2 | Energetski potrošači | 31 |
| 4.2.3 | Potrošnja energije..... | 33 |
| 4.2.4 | Bioplinski potencijal | 33 |
| 4.2.5 | Mjere za uštedu | 34 |
| 4.3 | III. farma..... | 35 |
| 4.3.1 | Opis farme..... | 35 |
| 4.3.2 | Energetski potrošači | 36 |
| 4.3.3 | Potrošnja energije..... | 37 |
| 4.3.4 | Bioplinski potencijal | 37 |
| 4.3.5 | Mjere za uštedu | 38 |
| 4.4 | IV. farma | 39 |
| 4.4.1 | Opis farme..... | 39 |
| 4.4.2 | Energetski potrošači | 40 |
| 4.4.3 | Potrošnja energije..... | 41 |
| 4.4.4 | Bioplinski potencijal | 41 |
| 4.4.5 | Mjere za uštedu | 41 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5 | INVESTITOR, LOKACIJA, LOGISTIČNI I PROSTORNI PARAMETRI | 42 |
| 5.1 | Investitor..... | 42 |
| 5.2 | Opis lokacije osnovne verzije postrojenja..... | 42 |
| 5.3 | Sirovinska baza za osnovnu verziju postrojenja | 44 |
| 5.4 | Lokacija, prostorni parametri i parametri priključka druge verzije postrojenja..... | 45 |
| 5.5 | Sirovinska baza za drugu verziju postrojenja..... | 47 |
| 6 | BIOPLINSKO POSTROJENJE..... | 48 |
| 6.1 | Osnovni slučaj postrojenja | 48 |
| 6.1.1 | Digestor..... | 50 |
| 6.1.2 | Motor s unutrašnjim izgaranjem | 51 |
| 6.1.3 | Sušara..... | 52 |
| 6.1.4 | Priključak na EES RH..... | 53 |
| 6.1.5 | Smanjenje emisija CO ₂ | 55 |
| 6.2 | Ekonomska analiza opravdanosti investicije..... | 55 |
| 6.2.1 | Trošak postrojenja..... | 55 |
| 6.2.2 | Dobit | 57 |
| 6.2.3 | Transport..... | 58 |
| 6.2.4 | Ocjena isplativosti..... | 59 |
| 6.2.5 | Ocjena likvidnosti | 61 |
| 6.2.6 | Ocjena rentabilnosti | 61 |
| 6.2.7 | Ocjena osjetljivosti..... | 62 |
| 6.3 | Postrojenje uz industriju..... | 65 |
| 6.3.1 | Parametri postrojenja | 65 |
| 6.3.2 | Transport..... | 68 |
| 6.3.3 | Smanjenje u emisijama CO ₂ | 69 |
| 6.3.4 | Ekonomska analiza opravdanosti investicije | 70 |
| 6.3.5 | Ocjene isplativosti, likvidnosti, rentabilnosti i osjetljivosti projekta..... | 72 |
| 7 | ISPLATIVOST POSTROJENJA UZ RAZLIČITE ENERGENTE | 77 |
| 8 | ZAKLJUČAK..... | 78 |
| 9 | LITERATURA | 80 |

POPIS SLIKA I DIJAGRAMA

| | |
|--|----|
| Slika 1 Administrativna procedura za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača [3] | 12 |
| Slika 2 Važan čimbenik bioplinskog postrojenja..... | 26 |
| Slika 3 Staje na I. farmi..... | 27 |
| Slika 4 I. farma..... | 29 |
| Slika 5 Staje na drugoj farmi | 31 |
| Slika 6 II. farma | 33 |
| Slika 7 Staje na III. farmi | 35 |
| Slika 8 Slika s III. farme | 37 |
| Slika 9 Staje na III. farmi | 39 |
| Slika 10 Lokacija na topografskoj karti[13] | 42 |
| Slika 11 Lokacija postrojenja na karti i slikama [8] | 43 |
| Slika 12 Lokacije farmi i druge verzije postrojenja (crvena točka)[8] | 45 |
| Slika 13 Prikaz lokacije postrojenja na karti [8]..... | 46 |
| Slika 14 Caterpillar G3406 NA, tip DM 8660 [16] | 52 |
| Slika 15 Približna lokacija postrojenja na karti EES (zeleni krug)[17]..... | 53 |
| Slika 16 Principijelna shema spajanja postrojenja na EES RH [18]..... | 54 |
| | |
| Dijagram 1 Akumulirani financijski tok novca | 59 |
| Dijagram 2 Analiza osjetljivosti | 63 |
| Dijagram 3 Osjetljivost- usporedba parametara | 64 |
| Dijagram 4 Akumulirani tok novca i investicija u drugoj verziji postrojenja | 72 |
| Dijagram 5 Analiza osjetljivosti | 75 |
| Dijagram 6 Osjetljivost- usporedba parametara | 76 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1 Podatci o sirovini | 17 |
| Tablica 2 Vrijednosti vezane za dobivanje metana..... | 18 |
| Tablica 3 Vrijednosti vezane za račun grijanja digestora | 20 |
| Tablica 4 Promijene bitnih vrijednosti kod raznih energenata | 24 |
| Tablica 5 Masa i maseni omjeri kod postrojenja od 100 kW | 25 |
| Tablica 6 Masa i maseni omjeri kod postrojenja od 250 kW | 25 |
| Tablica 7 Sustavi za mlijeko- I. farma | 28 |
| Tablica 8 Rasvjeta na I. farmi | 28 |
| Tablica 9 Prijevoz na I. farmi | 28 |
| Tablica 10 Ostali potrošači na I. farmi..... | 29 |
| Tablica 11 Prosječna potrošnja | 29 |
| Tablica 12 Vrijednosti vezane za bioplinsko postrojenje | 30 |
| Tablica 13 Sustavi za mlijeko na II. farmi | 32 |
| Tablica 14 Rasvjeta na II. farmi..... | 32 |
| Tablica 15 Prijevoz na II. farmi | 32 |
| Tablica 16 Ostali potrošači na II. farmi | 32 |
| Tablica 17 Potrošnja energije..... | 33 |
| Tablica 18 Vrijednosti vezane za bioplinsko postrojenje sa II. farme | 34 |
| Tablica 19 Sustavi za mlijeko na III. farmi..... | 36 |
| Tablica 20 Rasvjeta na III. farmi | 36 |
| Tablica 21 Prijevoz na III. farmi..... | 36 |
| Tablica 22 Ostali potrošači na III. farmi | 36 |
| Tablica 23 Potrošnja energije na III. farmi | 37 |
| Tablica 24 Vrijednosti vezane za bioplinski potencijal sa III. farme | 38 |
| Tablica 25 Sustavi za mlijeko na IV. farmi | 40 |
| Tablica 26 Rasvjeta na IV. farmi | 40 |
| Tablica 27 Prijevoz na IV. farmi..... | 40 |
| Tablica 28 Ostali potrošači na IV. farmi..... | 41 |
| Tablica 29 Mjesečna potrošnja na IV. farmi..... | 41 |
| Tablica 30 Bioplinski potencijal sa IV. farme | 41 |
| Tablica 31 Koordinate osnovne verzije postrojenja..... | 43 |
| Tablica 32 Sažeti podatci o farmama..... | 44 |

| | |
|--|----|
| Tablica 33 Količina za dnevnu opskrbu..... | 44 |
| Tablica 34 Koordinate druge lokacije, lokacije uz industriju | 46 |
| Tablica 35 Sirovina za drugu verziju postrojenja | 47 |
| Tablica 36 Uz ostatke mesne industrije [14]..... | 47 |
| Tablica 37 Postrojenje..... | 49 |
| Tablica 38 Postrojenje u pogledu učinkovitosti..... | 49 |
| Tablica 39 Podatci o digestoru..... | 51 |
| Tablica 40 Potreba za sušenjem | 52 |
| Tablica 41 Vrijednosti potrebne za proračun emisija | 55 |
| Tablica 42 Emisije stakleničkih plinova | 55 |
| Tablica 43 Troškovi postrojenja u pogonu | 56 |
| Tablica 44 Amortizacija..... | 57 |
| Tablica 45 Godišnja zarada (Profit)..... | 57 |
| Tablica 46 Transport..... | 58 |
| Tablica 47 Ekonomska analiza osnovnog slučaja postrojenja | 60 |
| Tablica 48 Ovisnost parametara o ocjeni osjetljivosti | 62 |
| Tablica 49 Podatci o verziji postrojenja uz industriju | 66 |
| Tablica 50 Podatci o digestoru..... | 66 |
| Tablica 51 Sustav grijanja industrije..... | 67 |
| Tablica 52 Transport u drugoj verziji | 68 |
| Tablica 53 Vrijednosti potrebne za račun emisija iz druge verzije postrojenja..... | 69 |
| Tablica 54 Emisija iz druge verzije postrojenja..... | 69 |
| Tablica 55 Troškovi većeg postrojenja (Postr. uz industriju) | 70 |
| Tablica 56 Trošak goriva | 70 |
| Tablica 57 Amortizacija u drugoj verziji | 71 |
| Tablica 58 Ekonomska analiza postrojenja uz industriju | 73 |
| Tablica 59 Parametri u analizi osjetljivosti..... | 74 |
| Tablica 60 Cijene energenata..... | 77 |
| Tablica 61 Trošak energenata- verzija od 100 kW | 77 |
| Tablica 62 Trošak energenata- verzija od 250 kW | 77 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|--------------------|--------------|---|
| DMT | m^3 | Dnevni volumen tvari |
| i | | Volumen izmeta |
| o | | Omjer ukupne tvari i izmeta na jednoj farmi |
| f | | Proizvoljni faktor |
| DMT | | Dnevna masa tvari |
| φ_{izm} | kg/m^3 | Gustoća izmeta |
| O | | Navedeni omjer |
| φ_{slam} | kg/m^3 | Gustoća slame |
| P | kW | Ukupna snaga postrojenja |
| P_i | kW | Snaga ostvariva iz izmeta |
| P_s | kW | Snaga ostvariva iz slame |
| q_{mM} | kg/s | Maseni tok metana |
| h_{dM} | kJ/kg | Ogrijevna moć metana |
| CH_4 | dm^3/kg VS | Potencijal metana po kilogramu hlapljivih tvari |
| q_M | dm^3/dan | Volumni tok metana |
| V_{dig} | m^3 | Volumen digestora |
| DMT_{i+s} | kg | Dnevna ukupna masa materije |
| t_r | s | Vrijeme zadržavanja |
| A_o | m^2 | Površina oplošja |
| v | m | Visina digestora |
| Φ_m | kW | Toplinski tok potreban za grijanje materije |
| C | kJ/kgK | Toplinski kapacitet |
| $\Delta\vartheta$ | K | Temperaturna razlika |
| Φ_g | kW | Toplinski gubitci kroz zid |
| U_{zid} | W/m^2K | Koeficijent prolaska topline |
| U_{CO_2} | t | Ukupna smanjena emisija CO_2 |
| $CO_2_{Met\ ekv.}$ | t | CO_2 ekvivalent emisiji metana |
| CO_2_{Bp} | t | CO_2 iz bioplinskog postrojenja |
| $CO_2_{El.en}$ | T | Smanjenje CO_2 zbog proizvedene el. en. iz bioplina |
| \bar{D} | HRK | Prosječna dobit |
| Z | HRK | Zarada od prodaje el. energije |
| T | HRK | Troškovi |
| Por | HRK | Porez |
| Inv | HRK | Iznos investicije |
| P_e | kW | Električna snaga postrojenja |

| | | |
|--------------------|---------|--------------------------------|
| h | | Sati u godini |
| a | | Avaliabilty |
| \bar{c}_e | HRK/kWh | Prosiječna cijena el. energije |
| T_o | HRK | Trošak održavanja |
| T_r | HRK | Trošak rada |
| T_p | HRK | Trošak prijevoza |
| O_p | l/km | Omjer potrošnje |
| \bar{c}_g | HRK/l | Prosiječna cijena goriva |
| d_{max} | Km | Maksimalna udaljenost |
| \overline{Amor} | HRK | Prosiječna amortizacija |
| ε_{el} | | Električna učinkovitost |
| M_{KS} | kg | Masa sa stelje (kosa stelja) |

SAŽETAK

Posljednje desetljeće u energetici obilježio je strelovit uspon korištenja obnovljivih izvora energije. Danas obnovljivi izvori nisu samo eksperiment već i ekonomska realnost. Isplativost svakog energetskog postrojenja ovisi o mnogo čimbenika što dolazi do izražaja upravo kod obnovljivih izvora. Kad se promatraju obnovljivi izvori energije korištenje bioplina je u usponu. Predmet ovog rada je jedno bioplinsko postrojenje. Analiza koja je provedena u ovom radu stavlja količinu potrebne sirovine, a tim i veličinu ili količinu farmi u vezu s bioplinskim postrojenjem odgovarajuće veličine. Predmet analize su četiri farme, njihova potrošnja i njihov bioplinski potencijal. Na temelju ovih farmi predloženo je i dodatno analizirano bioplinsko postrojenje. Procjenjena je ekonomska isplativost dvije verzije postrojenja te su osim ocjene isplativosti dane ocjene likvidnosti, rentabilnosti i osjetljivosti projekta. Procjenjeno je smanjenje emisija stakleničkih plinova koje se može ostvariti uvođenjem bioplinskog postrojenja te je analizirana isplativost gradnje postrojenja s obzirom na različitu ulaznu materiju. Važan čimbenik kod procjene isplativosti je transport. U ovom radu je određena maksimalna udaljenost izvora do postrojenja koja još uvijek čini gradnju postrojenja isplativom.

1 UVOD

U Europi pa tako i u Hrvatskoj sve se više ulaže u energetske sektor, posebice u obnovljive izvore i visokoučinkovitu kogeneraciju. Razlog ovomu je regionalni i globalni rast potražnje za energijom koji se očekuje kao i sve veći zahtjevi za „zelenom“ energijom koja će umanjiti emisije stakleničkih i štetnih dimnih plinova.

Bioplin kao takav predstavlja primamljiv izvor energije posebno iz razloga što je u slučaju bioplina energent materija koja je u protivnom (od iskorištavanja u postrojenju) trošak i teret koji treba ukloniti. Nakon ulaska u Europsku uniju na snagu stupa popularno nazvana *Nitrarna direktiva* koja se uvodi sa svrhom zaštite i sprečavanja prekomjernog onečišćenja podzemnih i pitkih voda nitratima, koji su velikim dijelom posljedica odlaganja nitratima bogatih tvari poljoprivrednog porijekla, tj. nepravilnog skladištenja stajnjaka te neadekvatne gnojidbe. Bioplinsko postrojenje nudi izvrsnu opciju pretvaranja stajnjaka i gnojovke u energiju. Kao nusprodukt u procesu anaerobne digestije u digestoru bioplinskog postrojenja dobiva se organski otpad koji se može koristiti kao gnojivo odlične kvalitete. Svake godine prirodna razgradnja organskih tvari otpusti 590- 800 milijuna tona metana u atmosferu [1]. Bioplinska postrojenja mogu pridonijeti tome da jedan dio ovog metana bude iskorišten za dobivanje energije.

Posljednjih godina kako raste važnost obnovljivih izvora energije u svijetu, raste i važnost bioplina. U Europi i Sjedinjenim Američkim Državama primjetljiv je značajan rast bioplinskih postrojenja a u mnogoljudnim, slabije razvijenim zemljama poput Indije, Pakistana i Kine bioplin se smatra kao idealno rješenje za brojne farme i mala gospodarstva. Tu se radi o malim konstrukcijama, nekad i kućne radinosti. Trenutačno se smatra da postoji do najviše 27 milijuna malih i velikih sustava za iskorištavanje bioplina u Kini i Indiji [1].

U ovoj analizi procijenjena je isplativost bioplinskog postrojenja za četiri farme. U ovom slučaju energent je gnojivo s farmi pa se može reći da je osim troškova prijevoza on potpuno besplatan te možemo reći kako bioplinsko postrojenje pruža odličan način zbrinjavanja gnojiva. Kao jedan od produkata anaerobne digestije na izlazu iz digestora je organski otpad koji se može koristiti kao gnojivo na farmama.

Naizgled, bioplinsko postrojenje je idealno rješenje za farme koje imaju potencijala po pitanju goriva, no da li dobit od ovakvog rješenja opravdava investiciju? Odgovor na ovo pitanje je jedinstven za svaki poseban slučaj, a upravo jedan takav je predmet ovog rada.

1.1 Zakonski okvir

Početak liberalizacije tržišta energijom je 1997. godina kada se počela primjenjivati direktiva EC 96/92. Ovim se započinje razdvajanje djelatnosti te se ostvaruje put prema ukidanju prirodnog monopola koji je zastupao energetski sektor. Doneseni Zakon o energiji (NN68/01) i zakon o tržištu električne energije (NN68/01) doprinose povećanju obujma poslovanja HEP-a, a time i potencijalnom povećanju instaliranih kapaciteta. Polako HEP postaje otvoren za preuzimanje el. energije, uz naknadu, od privatno upravljanih subjekata (postrojenja). Sam energetski sektor razvijao se prema strateškom okviru za razvoj donesenom 2006. koji opisuje razvoj do 2013. godine. Razvoj energetskog tržišta je prema Strategiji održivog razvitka RH (NN, br. 30/2009) i Strategiji energetskog razvoja (NN, br. 130/2009) napredovao prema više liberaliziranom obliku. Strategija energetskog razvoja je temeljni strateški dokument za sektor energetike. Sama strategija preko planiranog održavanja konkurentnosti i širenja kapaciteta potiče izgradnju pouzdanih i isplativih obnovljivih izvora energije. Otvoreni energetski sustav je privlačan domaćem i inozemnom kapitalu pri čemu je financiranje projekata od strane Europske unije dobrodošlo.

Temeljni zakon koji opisuje hrvatsko unutarnje tržište energijom je Zakon o energiji (NN 68/01) koji je opći propis koji utvrđuje uz akte što određuje energetski sektor. U potpunosti je Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o energiji NN (177/04). Zakonom o energiji propisano je da je Strategija energetskog razvoja osnovni akt kojim se utvrđuje energetska politika i planira energetski razvitak. Ovim zakonom određeno je i da li će se energetske djelatnosti obavljati kao tržišne djelatnosti ili kao pružanje javnih usluga. [2]

Slijedeći nužan zakon je Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti kojim se uređuje uspostava i provođenje sustava regulacije energetskih djelatnosti. Ovim zakonom osnovano je tijelo za regulaciju energetskih djelatnosti- HERA¹. [2]

Energetski sektor definiran je i podzakonskim aktima vezanima uz obnovljive izvore i kogeneraciju; Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, te daljnjim uredbama kao što su: Uredba o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče; uredba iz Zakona o energiji- Uredba o naknadama za poticanje

¹ Hrvatska energetska regulatorna agencija, www.hera.hr

proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije; Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije.

Kad se govori o energetskej efikasnosti; glavna državna tijela koja se bave energetskej efikasnošću su Ministarstvo gospodarstva, uprava za energetiku te Fond za zaštitu okoliša i energetskej učinkovitost koji je osnovan je na temelju odredbi članka 60. stavka 5. Zakona o zaštiti okoliša ("Narodne novine", br. 82/94. i 128/99.) i članka 11. Zakona o energiji ("Narodne novine", br. 68/01.). Zakon o Fondu za zaštitu okoliša i energetskej učinkovitost objavljen je u "Narodnim novinama" br. 107/03), a primjenjuje se od 01. siječnja 2004. godine.

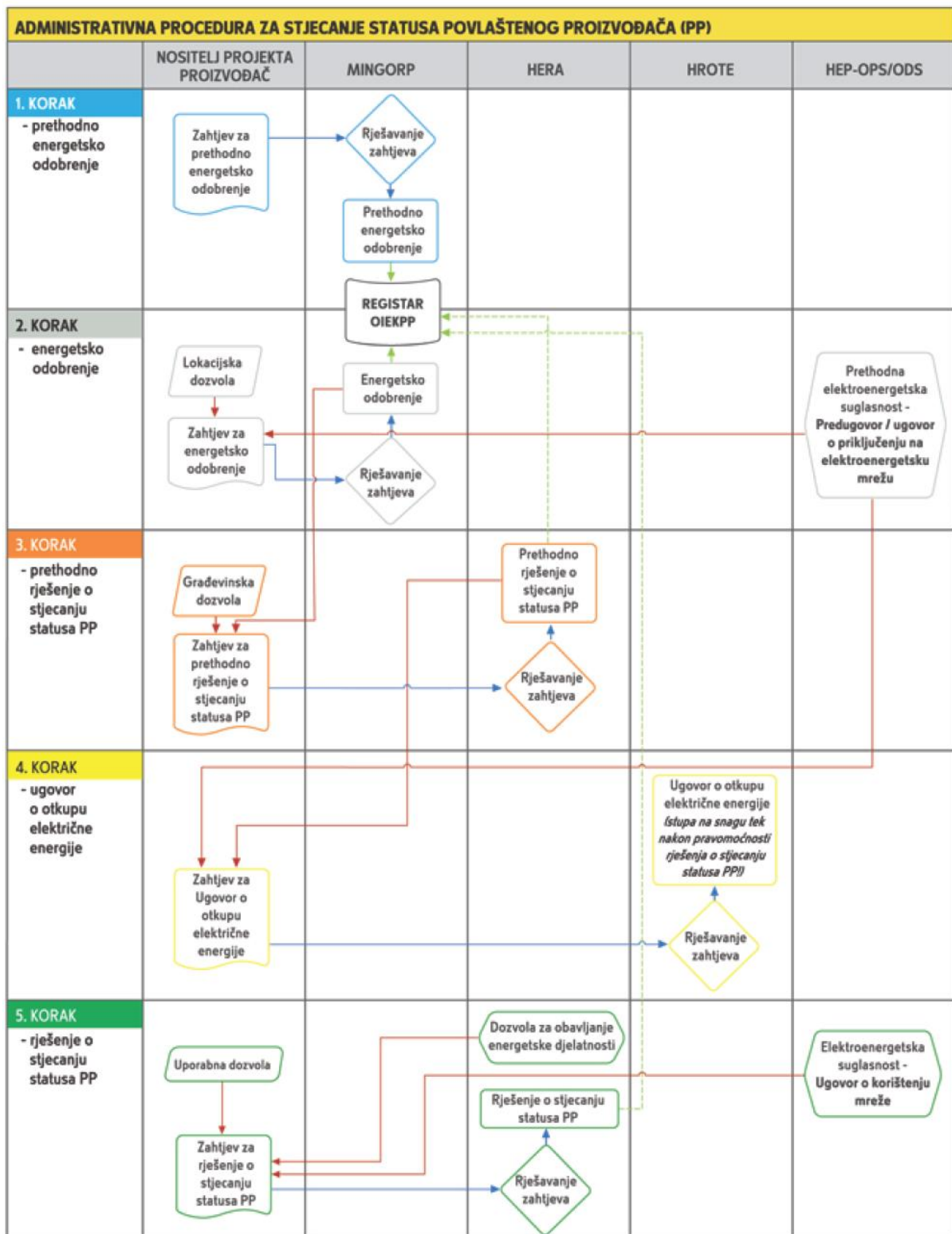
Procedura kojom je moguće steći status povlaštenog proizvođača je prilično složena te započinje s dobivanjem Lokacijske dozvole. Nakon ovoga slijedeći korak je rješavanje tj ishodenje Prethodne elektroenergetske suglasnosti te je potrebno potpisati Ugovor o priključenju s lokalnim HEP-ODS d.o.o.

Potrebno je od Ministarstva gospodarstva, rada i poduzetništva dobiti Energetskej odobrenje. Nakon što se ostvari ishodenje Prethodnog rješenja o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača pri HERA-i zadovoljeni su uvjeti da se s HROTE²- om sklopi Ugovor o otkupu električne energije.

Prethodno energetskej odobrenje (PEO) je nužan korak kod izgradnje postrojenja većih od 30 kW nazivne snage kako bi se postrojenje moglo upisati u registar OEIKPP te potvrditi uređenje imovinskej pravnih odnosa na zemljištu. Ovo je početni korak u postupku dobivanja statusa povlaštenog proizvođača. Na temelju PEO-a nositelj projekta mora u roku od 6 mjeseci od dana odobrenja PEO-a započeti s ispitivanjem potencijala obnovljivih izvora energije te pokazati dokaz za takvo ispitivanje nadležnom ministarstvu, a u roku od 36 mjeseci podnijeti zahtjev za izdavanje lokacijske dozvole te o tome podastrijeti dokaz. Ako nositelj projekta ne podnese zahtjev za energetskej odobrenje 18 mjeseci od odobrenja PEO-a za projekte za koje nije potrebna lokacijska dozvola, rješenje se ukida i projekt se briše iz registra.

Na slici 1 je vizualni prikaz cijelog administrativnog postupka.

² Hrvatski operator tržišta energije, www.hrote.hr



Slika 1 Administrativna procedura za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača [3]

2 BIOPLIN

Bioplin je plin koji se dobiva biološkom razgradnjom organske tvari u anaerobnim uvjetima. Ovaj proces zove se anaerobna digestija i odvija se u digestoru bioplinskog postrojenja. Osnovni dijelovi bioplinskog postrojenja su digestor, gdje se odvija anaerobna digestija, motori s unutrašnjim izgaranjem gdje se izgaranjem bioplina dobiva mehanički rad i generator koji taj rad pretvara u električnu energiju.

Većina bioplina je metan, oko 60% a ostatak je ugljik dioksid. Anaerobna digestija (AE) podrazumijeva više procesa koji počinju od sirovog materijala (ovlaženog vodom kako bi se stvorili idealni uvjeti) u kojem su aktivni sudionici u procesu ugljikohidrati, masti i proteini. AE je okončana konačnim rezultatom koji je stvaranje metana i ugljikovog dioksida. Procesu unutar anaerobne digestije su redom hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza. U procesu hidrolize sirovina koja se nalazi unutar digestora reagira s vodom. Potrebno je dovoditi vodu u digestor i nakon reakcije hidrolize slijedi acidogeneza, sad su ugljikohidrati, masti i proteini s početka razgrađeni u masne kiseline, aminokiseline itd... Nakon ovog u procesu dolazi do acetogeneze gdje se iz postojećih kiselina jednim dijelom stvara octena kiselina. Završna faza je metanogeneza gdje se octena kiselina, vodik i ugljik dioksid pretvaraju u metan i ugljik dioksid uz još mali postotak ostalih tvari.

Vrijeme potrebno za odvijanje ovih procesa nazivamo vrijeme zadržavanja. Trajanje ovog perioda ovisi o samoj mješavini sirovine sa vodom tj. o omjeru miješanja. Obično vrijeme zadržavanja u mezofiličnom području iznosi od tridesetak do šezdeset dana. Digestor bioplinskog postrojenja izloženog u ovom radu zamišljen je za vrijeme zadržavanja od maksimalno pedeset dana. Anaerobna digestija može se odvijati pri nižim (otprilike 35°C) i višim (otprilike 55°C) temperaturama. Ova dva područja koja otprilike obuhvaćaju raspone temperatura od dvadeset do četrdeset i četrdeset do šezdeset stupnjeva zovu se mezofilično i termofilično područje. Većina digestora projektirana je za mezofilično područje. Postoji više standardnih izvedbi ukopanih i neukopanih digestora, osnovna podjela je na šaržne (jednokratno punjenje) i protočne (kontinuirano punjenje) digestore. U ovom slučaju odabrana je najjednostavnija izvedba vanjskog protočnog digestora čije su karakteristike navedene u danjem tekstu (6.1.1.).

2.1 Bioplinska postrojenja

U grubo bioplinsko postrojenje može se podijeliti na dva dijela. Jedan je digester u kojemu se procesom anaerobne digestije stvara bioplin a drugi je agregat gdje se taj bioplin pretvara u električnu energiju. Digester je komponenta koja je specifična za bioplinska postrojenja. Sam digester potrebno je grijati i dovoditi vodu kako bi započeo proces hidrolize materije. Digester nosi najviše investicijske troškove kod bioplinskog postrojenja a nosi i pogonske troškove koji proizlaze iz potrošnje energije za grijanje digestora i vode. Upravo iz ovog razloga je česta izvedba gdje se otpadna toplina iz procesa proizvodnje el. energije koristi za grijanje digestora. Često iznad digestora nalazi se spremnik gdje se pod sigurnosnom membranom drži proizvedeni bioplin. Pojedine komponente digestora opisane su kasnije pod zasebnim poglavljem 6.1.1. gdje je pobliže opisan digester kakav se predlaže za osnovnu verziju postrojenja koja je predmet ovog rada. Postoji više raznih klasifikacija digestora ovdje je u nastavku navedena jedna. Svaki od ovi tipova može biti vanjski ili ukopani no češće su manji digestori ukopani u tlo.

Horizontalni digestori, standardni poljoprivredni digestori i veliki digestori. Horizontalni digestori se najčešće primjenjuju za male sustave volumena materije 50- 150 m³. Jeftini su , nekad su izvedeni iz starih spremnika. Standardni poljoprivredni digestori imaju prepoznatljivi valjkasti oblik , često sa zaobljenom kupolom na vrhu. Na vrhu kupole se nalazi spremnik bioplina. Koriste se volumeni materije od 500- 1500 m³, nekad i više. Spremnik bioplina je izveden s dvije membrane između kojih struji zrak. Vanjska membrana je zaštita od nepovoljnih atmosferskih uvjeta, u unutrašnjoj se nalazi bioplin. Zrak koji prisilno struji obično sa puhalom stvara pretlak unutar kupole te tako drži kupolu i membrane napete. Veliki digestori su slične izvedbe kao i standardni no ovdje se kao konstrukcijski materijal koristi beton, nekad i čelik. Često u kompliciranijim izvedbama sa predgrijanjem materije potrebno je kraće vrijeme zadržavanja. Volumen velikih digestora ide do 5000 m³. [4]

Agregat kod bioplinskih postrojenja je motor s unutrašnjim izgaranjem i generator el. energije za manja i srednja postrojenja dok se kod većih može koristiti turbinski agregat. Kod oba bitno je iskorištavanje otpadne topline jer izuzev malih sustava gradnja postrojenja bez regenerativnog iskorištenja topline gotovo sigurno nije isplativa. Turbine trebaju biti konstruirane posebno za rad s bioplinom no kod motora s unutrašnjim izgaranjem moguće su modifikacije plinskih motora iako je takav pristup rijedak kod ozbiljnijih projekata. Niža cijena i veća fleksibilnost u pogonu čini motore s unutrašnjim izgaranjem boljim izborom kod

manjih ali i srednjih postrojenja. Često je izvedba s motorom lakša i isplativija, ipak turbina ima prednosti po pitanju iskoristivosti otpadne topline i termodinamičkih svojstava pa se koristi kod velikih postrojenja.

Česta klasifikacija bioplinskih postrojenja je: velika bioplinska postrojenja, kodigestijska bioplinska postrojenja i farmska bioplinska postrojenja. [1] Ovaj zadnji tip odnosi se na male sustave za iskorištavanje bioplina na najčešće jednoj ili par farmi male ili srednje veličine. Od ukupnog broja bioplinskih postrojenja veličina su male ili srednje veličine upravo zato jer velika postrojenja zahtjevaju veliki količinski izvor materije gdje se onda javlja problem cijene i transporta.

Velika bioplinska postrojenja sa volumenom digestora od par stotina do nekoliko tisuća kubnih metara često se grade za kodigestiju tj. iskorištavanje više različitih vrsta otpada.

Posebnu ulogu bioplinska postrojenja imaju u zemljama u razvoju. Što se digestori nalaze u toplijim krajevima to je i jednostavnija njihova izvedba. U tropskim krajevima nije potrebno nikakvo grijanje digestora. U zemljama u razvoju pretežno se koriste mali digestori napravljeni kako bi napajali jedno ili par kućanstava[1]. Sam sustav je jednostavne izvedbe te je za tamošnje prilike praktičan i isplativ.

3 METODOLOGIJA

U ovom poglavlju detaljno je pojašnjen postupak proračuna postrojenja, vrijednosti vezanih za farme i faktora koji su u ovom radu uvedeni kako bi predstavljali sredstvo za pojednostavljeno proračunavanje postrojenja.

Proračun isplativosti proveden je za dvije verzije postrojenja koje su u kasnije u ovom radu detaljnije opisane. U oba slučaja postrojenje radi u režimu maksimalne snage izlazne el. energije. Dvije verzije su osnovna verzija i verzija postrojenja uz industriju. Kod verzije uz industriju sva se energija prodaje HEP-u a toplinska se energija koristi za grijanje digestora, grijanje industrijskog prostora i sušaru. Sušara je iste snage u obje verzije i detaljnije je opisana kasnije u radu.

Osim ove dvije verzije još jedna opcija bila bi potrošnja otpadne topline za grijanje plastenika. U takvim plastenicima može se uzgajati voće ili povrće. Ova opcija nije detaljnije analizirana jer se naručitelji ne bave intenzivnom povrtlarskom proizvodnjom pa bi analiza ove opcije išla van područja kojim se bavi ovaj rad.

Pod metodologijom, redom je opisan postupak proračuna potrebnog za određivanje vrijednosti vezanih za sirovinu s farmi, proračun veličine i način određivanja faktora postrojenja, transport, osnovna metodologija ekonomske analize, računanje eksternih troškova te metodologija usporedbe isplativosti s obzirom na razne energente.

3.1 Metodologija pregleda farmi

Na svakoj farmi obavljen je kratak energetske pregled te je određena količina sirovine koja se može iskorištavati u bioplinskom postrojenju. Tijekom energetskog pregleda pobrojani su potrošači na svakoj farmi te je ustanovljena prosječna mjesečna potrošnja. Slijedeća važna točka je određivanje količine sirovine koja se može iskoristiti. Tri od četiri farme koriste kosu stelju kao podlogu za stoku. Ovo podrazumijeva da će se sirovina koja se svakodnevno može odvesti sastoji od kravljeg izmeta i slame koja se dodaje podlozi. U četvrtoj farmi slamu je potrebno dodavati kravljem izmetu koji se redovito čisti kako bi se ostvario povoljan omjer ugljika i dušika u sirovini.

Svaki farmer dao je neke osnovne informacije o količini sirovine koja odlazi s farme. Kako su podatci zbog prevelikih razlika bili u nekim dijelovima nepouzdana, polazna točka bila je literatura.

Iz literature [5] određeno je koliko prosječno izmeta proizvede jedna krava te je taj broj pomnožen s brojem krava na farmi. Iz ovog iznosa na dnevnoj bazi određena je količina ukupne suhe tvari i hlapljivih tvari uz literaturu [5]. Na jednoj farmi dobiven je podatak o iznosu dnevne mase izmeta i ukupnom volumenu tvari te je uz pomoć tog omjera izračunat ukupan volumen tvari na svim farmama kako je navedeno u formuli 1. Ova vrijednost je na svakoj farmi pomnožena s faktorom f koji umanjuje ili uveća vrijednost volumena za do 20% ovisno o farmi. Ovaj faktor je proizvoljno odabran i uz poznavanje svih farmi i njihove usporedbe.

$$DVT = \frac{i}{o} \cdot f \quad (1)$$

Nakon određivanja ukupnog dnevnog volumena tvari sa svake farme potrebno je odrediti masu tvari. Ovo se određuje iz volumena uz gustoću izmeta i slame (10% vlage) te pretpostavljenog omjera izmeta i slame u masi ukupne tvari. U masi je znatno više slame; omjer s ostalim vrijednostima je prikazan u tablici 1.

Tablica 1 Podatci o sirovini

| | | |
|-----------------------------------|-----|-------------------|
| Gustoća izmeta | 710 | kg/m ³ |
| Gustoća slame uz 10% vlage | 135 | kg/m ³ |
| Omjer (O) | 2/5 | |

Formula za masu tvari s farme:

$$DMT = DVT(\varphi_{izm} \cdot O + \varphi_{slam} \cdot (1 - O)) \quad (2)$$

3.2 Metodologija proračuna postrojenja

Kod proračunavanja postrojenja prvo se određuje veličina postrojenja. U proračunu su rađene dvije verzije postrojenja; osnovna verzija i verzija uz industriju. Sa stajališta metodologije ove verzije se razlikuju po tome što je veličina osnovne verzije određena iz količine metana koji se može dobiti iz sirovine s farmi dok je verzija uz industriju proračunata za nazivnu snagu od 250 kW od čega se dio namiruje s farmi, a dio ostacima mesne industrije i kupnjom sirovine s drugih farmi.

Nazivna snaga postrojenja proizlazi iz ostvarivog toka metana koji je izračunat prema dostupnoj sirovini uz literaturu [6][7].

Ukupna snaga postrojenja jednaka je snazi izračunatoj za tok metana koji je ostvariv iz izmeta plus snazi izračunatoj za tok metana koji je ostvariv iz slame tj. snaga je jednaka zbroju masenih tokova metana iz slame i izmeta pomnoženog s ogrjevnoj moći metana.

$$P = P_i + P_s \quad (3)$$

$$P = q_{mM} \cdot h_{dM} \quad (4)$$

Protok metana računa se iz dnevno ostvarive količine metana određene iz podatka o iznosu dnevne mase tvari (DMT). Iz dnevne mase tvari određuje se iznos ukupne suhe tvari (Total solids- TS) i hlapljive tvari (Volatile solids- VS). Iz podataka o iznosu hlapljive tvari po kilogramu za kravljji izmet [5] i slamu [7] pa zatim uz podatak o iznosu metana po hlapljivoj tvari izmeta[6] ili slame[7] dobiva se tok metana prema jednadžbi 5. Podatci vezani uz ovo navedeni su u tablici 2.

$$q_M = DMT \cdot f_i \cdot CH_4 \quad (5)$$

Faktor f_i pokazuje koliki postotak u ukupnoj masi imaju hlapljive tvari. Valja napomenuti kako se kod slame ovaj postotak odnosi na suhu slamu tj. masu slame bez vlage.

Tablica 2 Vrijednosti vezane za dobivanje metana

| | f_i | CH_4 [dm^3/kg VS] |
|--|-------|------------------------|
| Kravljji izmet | 15% | 190.36 |
| Slama (faktor f_i ne uključuje DM) | 81% | 230 |

Nakon ovoga, izračunata snaga P predstavlja ukupno ostvarivu snagu postrojenja. Slijedeći element koji je glavni za određivanje parametara postrojenja je turbina ili motor. U svrhu ovog rada proizvoljno su odabrane karakteristične vrijednosti učinkovitosti jednog motora s unutrašnjim izgaranjem. U jednom od narednih poglavlja dan je i konkretan prijedlog motora.

Postrojenje ne podmiruje vlastite potrebe el. energije iz vlastite proizvodnje već tu el. energiju kupuje. Ipak uračunata je i vlastita potrošnja el. energije koja se koristi za potrebe odvijanja samog procesa u digestoru.

Postrojenje proizvodi električnu, te u većem dijelu, toplinsku energiju. Proizvedena toplinska energija se koristi za grijanje digestora i kod osnovne verzije postrojenja za sušaru, a kod verzije uz industriju za sušaru i grijanje prostora u industriji. Za obje verzije izračunata je količina toplinske energije koja je potrebna za grijanje digestora koji je tipičan za takvo postrojenje, a za potrebe ekonomskog proračuna kratkim proračunom je određeno koliko se prostora u industriji može zagrijati preostalom toplinskom energijom (nakon digestora i sušare).

U digestoru računaju se tri toplinska toka: prolaz topline kroz zid (gubitci), grijanje ulazne materije i gubitci cjevovoda od izvora topline do digestora. Za proračun digestora prvo je potrebno odrediti volumen za koji je potrebna dnevna masa tvari i vrijeme zadržavanja, zatim se može odrediti ovojnica digestora koja je potrebna za izračun toplinskih gubitaka.

$$V_{dig} = DMT_{i+s} \cdot t_r \quad (6)$$

$$A_o = \sqrt{4 \cdot V_{dig} \cdot \pi \cdot v} \quad (7)$$

Toplinski gubitci izračunati su uz pretpostavljen koeficijent prolaza topline, a razlika u temperaturama je između unutarnje temperature za mezofilično područje rada digestora i vanjsku projektnu temperaturu. Ovo su maksimalni toplinski gubitci.

$$\Phi_m = \frac{DMT_{i+s}}{D \cdot h} \cdot C \cdot \Delta\vartheta \quad (8)$$

Za toplinski tok potreban za grijanje materije koristi se ista temperaturna razlika i toplinski kapacitet vode što preračunava gubitke, no ne značajno.

$$\Phi_g = \frac{A_o \cdot U_{zid} \cdot \Delta\vartheta}{1000} \quad (9)$$

Tablica 3 Vrijednosti vezane za račun grijanja digestora

| | | |
|--------------------|--------|--------------------|
| $DMT_{(t+s)}$ | 15.478 | t |
| $\Delta \vartheta$ | 50 | K |
| U_{zd} | 0.7 | W/m ² K |
| t_r | 50 | dana |
| v | 10 | m |

Transport tvari na farmu čini bitan faktor koji utječe na isplativost postrojenja. Trošak transporta ovisi o udaljenosti, prijevoznom sredstvu i cijeni goriva. Na konkretnom primjeru obje verzije postrojenja ovo je veoma jednostavan račun. Do svake farme je očit izbor najboljeg puta pa je udaljenost određena preko interneta [8] i pomnožena s dva kako bi uključila povratak. Prijevozno sredstvo u svakom slučaju je traktor čija je potrošnja određena pregledom specifikacija s interneta. Cijena goriva navedena je u kasnijem poglavlju 6.2.3. zajedno s ostalim spomenutim faktorima.

Kod ekonomskog proračuna pokazatelj isplativosti postrojenja je unutrašnja stopa povrata (IRR³). IRR se računa iz ekonomske bilance toka novca. Ona je jednaka ukupnoj zaradi umanjenoj za troškove bez amortizacije i za porez. Za svaku verziju je u svrhu određivanja likvidnosti i rentabilnosti projekta izračunat i financijski tok novca uz pretpostavljene kamatne stope kredita te sadašnja netto vrijednost projekta. Za svaku verziju je osim ocjena isplativosti likvidnosti i rentabilnosti dana i ocjena osjetljivosti. Ocjena osjetljivosti ukazuje u kojoj mjeri će se promijeniti isplativost postrojenja promjenom određenih ulaznih parametara. Svaka od ovih ocjena je detaljnije objašnjena na konkretnom primjeru.

Zarada se ostvaruje od prodaje električne energije i od sušenja. Farmeri svake godine potroše određeni iznos novca za sušenje, centralnom sušarom taj trošak se ukida te ga se može smatrati prihodom od sušare. Osim navedene, verzija postrojenja uz industriju, ostvaruje zaradu o toplinske energije koja se prodaje industriji.

Troškovi se svode na investicijske i troškove koji se obračunavaju svake godine: troškovi održavanja, troškovi transporta te trošak rada tj. plaće. Godišnji troškovi održavanja određeni su kao 2% investicije. Ukupni troškovi investicije i rada procijenjeni su prema literaturi dok su detaljniji troškovi određeni za račun amortizacije i prikazani pod zasebnim odlomkom.

³ IRR- Internal rate of return, Unutrašnja stopa povrata

3.3 Određivanje redukcije stakleničkih plinova uz gradnju bioplinskog postrojenja

Emisije stakleničkih plinova iskazuju se u emisijama ekvivalentnim CO₂ pa je i ovaj račun rađen tom metodom. Uvođenjem bioplinskog postrojenja ostvaruje se smanjenje emisija CO₂. Smanjenje proizlazi iz eliminacije emisija metana zbog odlaganja iskorištene stelje i zbog električne energije iz obnovljivog izvora. Bioplinska postrojenja nisu potpuno bez emisija CO₂ te je to isto potrebno uračunati u jednadžbu.

$$U_{CO_2} = CO_{2\text{Met ekv.}} - CO_{2\text{Bp}} + CO_{2\text{El.en}} \quad (10)$$

Emisija stakleničkih plinova iz prijevoza nije uzimana u obzir jer razlika u prijevozu do postrojenja ili odlagališta ne iznosi veliku razliku s obzirom na male udaljenosti koje se prelaze.

3.4 Metodologija izračuna maksimalne udaljenosti

Maksimalnom udaljenosti se smatra ona ukupna udaljenost svih izvora od postrojenja na kojoj je izračunati IRR postrojenja prihvatljiv. Ako se farma nalazi na većoj udaljenosti IRR je manji od 12 % te je projekt nelikvidan. Ovo je određeno iz provedenog proračuna za osnovnu verziju postrojenja.

$$\bar{D} = Z - T - Por \quad (11)$$

Gornja jednadžba opisuje osnovnu bilancu po kojoj je izračunata godišnja dobit. Unutarnja stopa povrata (IRR) određena je iz 15 godišnjeg ekonomskog toka novca tj. dobiti određene po gornjoj formuli. Gornja jednadžba je polazište iz kojeg je izvedena formula za maksimalnu udaljenost. \bar{D} je prosječan iznos dobiti koja mora biti ostvaren svake godine kako bi IRR bio 12%. Uz odabrane parametre u osnovnoj verziji postrojenja otprilike na najmanje tom iznosu IRR-a je financijski tok novca pozitivan tj. projekt je likvidan.

Udaljenost je u krajnjem obliku izražena preko svega nekoliko faktora dok je velik dio troškova kao i dobit izražen preko investicije. Ovdje se ovaj rad direktno referira na rad koji prikazuje ovisnost investicije i snage bioplinskog postrojenja [9]. Uz navedeno, tražena dobit izražena je u jednadžbi 12.

$$\bar{D} = 14,68 \% \cdot Inv \quad (12)$$

$$Z = P_e \cdot h \cdot a \cdot \bar{c}_e \quad (13)$$

Troškovi su jednaki zbroju troškova održavanja, rada i prijevoza. Kod troškova prijevoza uzima se pretpostavljena prosječna cijena goriva kroz narednih petnaest godina. Postotci koji izražavaju troškove održavanja i rada su pretpostavljeni i izvedeni iz već spomenutog rada [9] te se može pretpostaviti da će za elektrane do barem 500 kW biti u približno tim omjerima.

$$T = T_o + T_r + T_p \quad (14)$$

$$T_o = 2\% \cdot Inv \quad (15)$$

$$T_r = 2,74\% \cdot Inv \quad (16)$$

$$T_p = O_p \cdot \bar{c}_g \cdot d_{max} \cdot 30 \cdot 12 \quad (17)$$

Porez na dobit je izračunat prema jednadžbi 18 pri čemu je amortizacija određena kao investicija podijeljena sa životnim vijekom što odgovara prosječnom godišnjem iznosu amortizacije za cijeli životni vijek.

$$Por = 20\% \cdot (Z - T - \overline{Amor}) \quad (18)$$

$$\overline{Amor} = \frac{Inv}{15} \quad (19)$$

Uvrštavanjem vrijednosti u jednadžbu 11 te daljnjim izvođenjem dobiva se izraz 20. Te se iz njega izvodi formula za maksimalnu udaljenost navedena u jednadžbi 21. Završna formula za maksimalnu udaljenost daje ukupni iznos udaljenosti koja se treba preći prijevozom za sve farme. Faktor n_f označuje okupan broj farmi. Uz faktor n_f rezultat formule odgovara prosječnoj maksimalnoj udaljenosti na kojoj može biti jedna farma.

$$2,87682 \cdot 10^{-5} \cdot Inv = P_e \cdot a \cdot \bar{c}_e - 1,71233 \cdot 10^{-4} \cdot (O_p \cdot \bar{c}_g \cdot d_{max} \cdot 30 \cdot 12) \quad (20)$$

$$d_{max} = \frac{P_e \cdot a \cdot \bar{c}_e - 2,71682 \cdot 10^{-5} \cdot Inv}{0,061643 \cdot O_p \cdot \bar{c}_g \cdot n_f} \quad (21)$$

Kako bi se detaljnije mogla odrediti isplativost farme, snaga P može biti izražena preko ukupne materije koja odlazi s farme. Ovdje se onda svaka formula u kojoj je snaga izražena preko ulazne materije razlikuje ovisno o vrsti materije. U slučaju osnovne verzije postrojenja ona je izražena kako je prikazano u jednadžbi 26.

$$P = q_{mM} \cdot h_{dM} \cdot \varepsilon_{el} \quad (22)$$

$$q_M = (DMT_i \cdot O_i + DMT_s \cdot O_s) \quad (23)$$

$$DMT_i = M_{KS} \cdot 44\% \cdot \%TS \cdot \%VS \cdot O_i \quad (24)$$

$$DMT_s = M_{KS} \cdot 56\% \cdot \%TS \cdot \%VS \cdot O_s \quad (25)$$

$$P = M_{KS} \cdot 8,51925 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_{el} \quad (26)$$

U gornjim jednadžbama prikazan je izvod jednadžbe za snagu postrojenja. Odnos mase izmeta i slame u kosoj stelji određen je iz prethodnog proračuna osnovne verzije postrojenja. U ukupnu masu kose stelje ne spada vlaga. U proračunu je velika masa vlage iz sijena oduzeta iz mase kose stelje. S ovim je sjeno računato uz nisku količinu vlage koja je uobičajena (otprilike 10%). U jednadžbi 26 u brojanu vrijednost je uključeno svo potrebno preračunavanje jedinica.

3.5 Isplativost korištenja raznih energenata za postrojenje

U tablici 4 navedene su vrijednosti koje su u ovoj analizi potrebne za izračun isplativosti postrojenja. Vrijednosti ovih parametara prikupljene su iz izvora [6][7][10][11][12].

Tablica 4 Promijene bitnih vrijednosti kod raznih energenata

| | %TS | %VS | O [$\text{dm}^3_{\text{met}}/\text{kg}_{\text{vs}}$] |
|------------------------------|-------|-------|--|
| Kravljji izmet | 15.00 | 80 | 190.36 |
| Slama | 93 | 87 | 230 |
| Izmet pilića | 46.46 | 87.8 | 312.1298 |
| Izmet kokoši nesilica | 26.15 | 81.58 | 312.1298 |
| Otpad hrane | 28.00 | 85.7 | 256 |
| Kukuruzna silaža | 90.6 | 92.8 | 350 |

Slijedeća analiza provedena je tako da se na postojeći proračun osnovne i druge verzije bioplinskog postrojenja kao ulazna materija uzeo drugačiji energent. Ovisno o tome koliko se energije može dobiti iz energenta ovisit će njegova količina. Na ovaj način, ako se pridoda cijena svakom energentu, može se odrediti trošak energenta koji je potreban za postrojenje određene veličine. Kao dodatni energenti za analizu odabrani su stelja s farme pilića, otpadci od hrane i kukuruzna silaža. Potrebni faktori za preračunavanje navedeni u tablicama 5 i 6 uzeti su iz literature [5][11][12]. Proračun postrojenja je identičan kao u metodologiji. Pileći izmet potrebno je kombinirati sa slamom kako bi se postigao povoljni omjer dušika i ugljika. Maseni omjer pilećeg izmeta i slame je uzet isto kao i kod goveđe stelje, a vrijednosti o postotku suhih i hlapljivih tvari uzet je uz 50:50 odnos pilića i kokoši.

Tablica 5 Masa i maseni omjeri kod postrojenja od 100 kW

| | Maseni omjer za dobivanje metana kg VS _i /kg VS _{i+j} | Masa kg VS | DMT kg |
|--------------------|--|-----------------|----------------|
| Pileći izmet | 44.00% | 1101.29 | 3545.40 |
| Slama | 56.00% | 1902.15 | 2350.95 |
| Ukupno | | 3003.44 | 5896.35 |
| Otpad hrane | Masa kg VS | DMT [kg] | |
| | 3051.72 | 12717.62 | |
| Kukuruz | Masa kg VS | DMT [kg] | |
| | 2232.11 | 2654.85 | |

U tablici 6 nalaze se isti podatci samo za drugu verziju postrojenja. Pod kasnijim poglavljem, u rezultatima, prikazana je i ekonomska računica za obje verzije postrojenja te su navedeni zaključci izvedeni iz ove analize.

Tablica 6 Masa i maseni omjeri kod postrojenja od 250 kW

| | Maseni omjer za dobivanje metana kg VS _i /kg VS _{i+j} | Masa kg VS | DMT kg |
|--------------------|--|-----------------|-----------------|
| Pileći izmet | 44.00% | 2548.80 | 6248.30 |
| Slama | 56.00% | 4402.28 | 5440.97 |
| Ukupno | | 6951.09 | 11689.27 |
| Otpad hrane | Masa kg VS | DMT [kg] | |
| | 7062.82 | 29433.33 | |
| Kukuruz | Masa kg VS | DMT [kg] | |
| | 5165.95 | 6144.32 | |

4 STUDIJA SLUČAJA ČETIRI FARME

Pod ovim odlomkom prikazano je stanje na četiri farme koje su zamišljene kao izvor sirovine za bioplinsko postrojenje. Farme su osnova od koje se polazi kad se planira postrojenje, upravo zato jer će veličina pa i ostali parametri postrojenja zavisiti o mogućem potencijalu farmi. Kasnije u ovom radu prikazane su dvije verzije bioplinskog postrojenja. Prva, osnovna verzija proračunata je u potpunosti ovisno o farmama tj. veličina postrojenja određena je isključivo iz količine sirovine s farmi koja se može iskoristiti. Sve četiri farme nalaze se u Slavoniji, u okolici Požege, a vlasnici su članovi udruge Simentalac koja okuplja mljekarske farmere.

Poljoprivredna zadruga „Uzgojno poslovno obrazovni centar Simentalac“ osnovana je 2008. godine temeljem Zakona o Zadrugama rješenjem na trgovačkom sudu u Slavonskom brodu. Zadruga je proizašla iz Udruge uzgajatelja simentalskog goveda- Požeštine koja je osnovana 2001. godine. U lipnju 2010. godine počeo je profesionalni rad UPO Centra. Pri osnutku zadruga je brojala dvadeset članova, njeni ciljevi su sadržani u samom nazivu. Uzgoj, trgovina i obrazovanje stočarskih farmera. Danas zadruga broji petnaest članova te planira još projekata osim ovog, a iza sebe ima i uspješan projekt izgradnje veterinarske ambulante koji je samostalno financiran od strane zadruge.



Slika 2 Važan čimbenik bioplinskog postrojenja

4.1 I. farma

4.1.1 Opis farme

Ova farma srednje veličine nalazi se u blizini Požege u srcu hrvatske Slavonije, točnije farma je smještena u selu Lukoć. Tihomir Strupoč, vlasnik farme ujedno je i član udruge „Simentalac“ koja okuplja farmere koji se bave opskrbom mlijeka. Krave su smještene u stajama koje su najveći objekti na farmi i vidljive su odmah po ulazu na farmu. Radi se o dvije velike otvorene hale u kojima se nalaze krave, junad i telad. Pored jedne hale je prostor za mužnju i spremanje mlijeka. Ovdje nalazi se više prostorija u kojima su zasebno smješteni laktofriz, vakuum pumpe, prostor za mužnju krava i popratna potrebna oprema. Objekti su neizolirani i bez fasade no s obzirom na prirodu objekata ovo ne predstavlja gubitke. Mlijeko se dobiva svakodnevno i prodaje se Dukatu. Osim ovoga potrošači na farmi su mlin i silos. Trenutno vlasnik odlaže gnoj u lagunu ili ga prodaje. Uz samu farmu nalazi se i malo domaćinstvo koje nije predmet ove kratke analize. Na farmi se koristi jedino dizel za traktore i električna energija; spoj na mrežu je jednostavan kako se u blizini nalazi distribucijska mreža.



Slika 3 Staje na I. farmi

4.1.2 Energetski potrošači

Ovo je mljekarska farma i osim u transportu kod sustava za mlijeko je najveća potrošnja. Kotao naveden u tablici 7 grije vodu na 95°C. Od dvije navedene pumpe koristi se samo jedna dok druga ima funkciju rezervne pumpe. Navedena oprema u tablici 7 radi pri samom procesu mužnje pa se rad te opreme dnevno svede na najviše par sati osim laktofriza koji je u funkciji dobar dio radnog dana.

Tablica 7 Sustavi za mlijeko- I. farma

| Sustavi za mlijeko | | | | | |
|---------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|
| | Energent | Oprema | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dnevni kapacitet [l] |
| Grijanje vode | EL. energija | Kotao [95°C] | 1 | 2 | 300 |
| Hladenje mlijeka | EL. energija | Laktofriz | 1 | 5 | 1500 |
| Sustav za mužnju | EL. energija | Vakuumpumpa | 2 | 4.4 | |
| Ventilacija | Nema | | | | |

U tablici navedeni su podatci o rasvjeti.

Tablica 8 Rasvjeta na I. farmi

| Rasvjeta | Vrsta/Tip | Broj | Ukupna snaga | Dodatno |
|-----------------|------------------|-------------|---------------------|----------------|
| | Štedna žarulja | 30 | 0.018 | Vanjska |

Sav teži rad poput prijenosa hrane, stajnjaka, gnojiva itd obavlja se traktorima. Traktore farmer koristi i za obradu zemljišta uz farmu a namijenjeni su i kao prijevozno sredstvo sirovine u bioplinsko postrojenje u slučaju njegove gradnje. Podatci o prijevozu su u tablici 9.

Tablica 9 Prijevoz na I. farmi

| | Način | Broj | Godišnja potrošnja [l] |
|---------------------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| Prijenos i opskrba | Traktorima | 6 | 17000 |

Ostali potrošači prisutni na farmi navedeni su u tablici 10.

Tablica 10 Ostali potrošači na I. farmi

| Ostali potrošači | Uređaj | Vrsta | Broj | Ukupna snaga |
|------------------|----------------|---------|------|--------------|
| Alati | Kompresor | | 1 | 1.1 |
| Mlin i Silos | Mlin | Čekičar | 1 | 3.5 |
| | Pumpe za silos | | 2 | 1.1 |
| | Mješalica | | 1 | 3.5 |



Slika 4 I. farma

4.1.3 Potrošnja energije

Može se primijetiti da su troškovi električne energije u razini očekivanog s obzirom na veličinu farme.

Tablica 11 Prosječna potrošnja

| Prosječna mjesečna potrošnja | | |
|------------------------------|---------|-----|
| El. energije | 3117.06 | kWh |
| Plavog dizela | 1416.67 | L |

4.1.4 Bioplinski potencijal

U tablici 12 navedeni su osnovni parametri važni za opskrbu bioplinskog postrojenja sirovinom.

Tablica 12 Vrijednosti vezane za bioplinsko postrojenje

| | |
|--|-------------------------|
| Dnevno ukupni volumen tvari [m³] | 8.27 |
| Broj krava i junadi | 150 |
| Broj junadi | 50 |
| Dnevno kravljeg izmeta [kg] | 2850.07 |
| Dnevno ukupna masa tvari | 3017.65 |
| | Sušenje na farmi |
| Količina tvari za mjesečno sušenje [t] | 0 |

4.1.5 Mjere za uštedu

Pod male mjere za povećanje energetske efikasnosti nema mnogo prostora, osim možda primjena ovakvih mjera na kućanstvo uz farmu. Zbog lakog pristupa i povoljnog smještaja instrumentacije na farmi, mehanizacija hranjenja bi se trebala razmotriti kao mogućnost. Drugi važni prijedlog je pogon varijabilne frekvencije za vakuum pumpe. U budućnosti je moguća ugradnja ventilatora. Uz dva veća krova s pogledom na jug moguća je i ugradnja solarnih panela.

4.2 II. farma

4.2.1 Opis farme

Ova farma kao i prva nalazi se u okolici Požege i Kutjeva. Vlasnik farme je Željko Strupoč, brat vlasnika prve farme. Odmah po ulazu na prostor farme može se primijetiti domaćinstvo tj. obiteljska kuća koja nije predmet ove analize. Dalje nalaze sušara, prostor za mužnju alatnica i još neke prostorije u kojima je smještena oprema. Sljedeće su staje u kojima su smještena goveda nakon čega se može primijetiti zemlja koju farmer obrađuje. Osim nešto kukuruza, u manjoj mjeri sadi se i duhan koji se kao i kukuruz suši u sušari. Energenti koji se koriste na farmi su električna energija, dizel i prirodni plin koji se koristi u sušari. Prostor za mužnju je pored poluotvorenih staja, pokraj tog prostora je slijedeći u kojem su smješteni dva kotla i laktofriz. Krave se muzu svakodnevno te se mlijeko prodaju Dukatu. Kao podloga za goveda je kosa stelja.



Slika 5 Staje na drugoj farmi

4.2.2 Energetski potrošači

Od dva navedena Kotla u tablici 13, jedan grije vodu na 95°C, drugi na 60°C. Druga vakuum pumpa ima funkciju rezervne pumpe. Kao i u prošlom primjeru navedena oprema u tablici 13 radi pri samom procesu mužnje pa se rad te opreme dnevno svode na najviše par sati osim laktofriza koji je u funkciji dobar dio radnog dana.

Tablica 13 Sustavi za mlijeko na II. farmi

| Sustavi za mlijeko | | | | | |
|--------------------|--------------|--------------|------|-------------------|----------------------|
| | Energent | Oprema | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dnevni kapacitet [l] |
| Grijanje vode | EL. energija | Kotao | 2 | 3 | 300 |
| Hlađenje mlijeka | EL. energija | Laktofriz | 1 | 5 | 1600 |
| Sustav za mužnju | EL. energija | Vakuum pumpa | 2 | 4.8 | |
| Ventilacija | Nema | | | | |

U tablici navedeni su podatci o rasvjeti.

Tablica 14 Rasvjeta na II. farmi

| Rasvjeta | Vrsta/Tip | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dodatno |
|----------|-----------|------|-------------------|---------|
| | Žarna nit | 16 | 0.1 | Vanjska |

Traktori se kao i u prošloj farmi koriste za prijenos hrane, stajnjaka, gnojiva ali i za obradu zemljišta uz farmu a namijenjeni su i kao prijevozno sredstvo sirovine u bioplinsko postrojenje. Podatci o prijevozu su u tablici 15.

Tablica 15 Prijevoz na II. farmi

| | Način | Broj | Godišnja potrošnja [l] |
|--------------------|------------|------|------------------------|
| Prijevoz i opskrba | Traktorima | 9 | 34000 |

Ostali potrošači prisutni na farmi navedeni su u tablici 16.

Tablica 16 Ostali potrošači na II. farmi

| Ostali potrošači | Uređaj | Vrsta | Broj | Ukupna snaga [kW] |
|------------------|-----------|-------|------|-------------------|
| Alati | Kompresor | | 1 | 1.1 |
| Sušara | El. motor | | 6 | 27 |



Slika 6 II. farma

4.2.3 *Potrošnja energije*

S obzirom na veličinu farme može se primijetiti kako se troši značajno više nego je to prosjek na drugim farmama. Značajno veći dio potrošnje električne energije otpada na kućanstvo nego što je to u prvoj farmi.

Tablica 17 *Potrošnja energije*

| Prosječna mjesečna potrošnja | | |
|------------------------------|---------|-----|
| El. energije | 5535.67 | kWh |
| Plavog dizela | 2833.33 | L |

Prosječna potrošnja plina je 156 250 m³, no ovaj energent se u prosijeku troši samo dva mjeseca u godini.

4.2.4 *Bioplinski potencijal*

U tablici 18 navedeni su osnovni parametri važni za opskrbu bioplinskog postrojenja sirovinom

Tablica 18 Vrijednosti vezane za bioplinsko postrojenje sa II. farme

| | |
|---|---------|
| Dnevno ukupni volumen tvari [m ³] | 13.00 |
| Broj krava i junadi | 226.00 |
| Broj junadi | 116.00 |
| Dnevno kravljeg izmeta [kg] | 3734.58 |
| Dnevno ukupna masa tvari 2.5:1 u korist slame | 4745.00 |
| Sušenje na farmi | |
| Količina tvari za mjesečno sušenje [t] | 70.00 |

4.2.5 Mjere za uštedu

S obzirom na broj krava staje bi se mogle proširiti, a moguća je i ugradnja ventilatora. Od manjih mjera, samo informiranje po pitanju energetske efikasnosti i mogućih ušteda moglo bi biti korisno. Preporučuje se i zamjena žarulja i analiza kućanstva koje nije predmet ove analize. Daljnje moguće mjere su pogon varijabilne frekvencije za vakuum pumpe i mehanizacija hranjenja. Najveća potrošnja čini se da ide iz sušare tako da bi ovaj farmer mogao postići goleme uštede sušenjem na otpadnu toplinu iz centraliziranog bioplinskog postrojenja. S obzirom na visoke račune preporučuje se detaljnija analiza računa. Možda je potrebna promjena tarife.

4.3 III. farma

4.3.1 Opis farme

Treća farma koja je predmet ove analize nalazi se u selu Tominovac u istom predjelu Hrvatske kao i ostale farme. Selo Tominovac je na najmanjoj udaljenosti od planirane lokacije osnovne verzije bioplinskog postrojenja. Isto kao i ostali vlasnici farmi, Vladimir Tadijal, vlasnik ove farme član je udruge „Simentalac“ koja okuplja mljekarske farmere. Na ovoj farmi krave su smještene u jednoj zatvorenoj staji koja sadrži i dodatne prostore gdje se nalazi prostor za mužnju i prostor za spremanje mlijeka gdje je smješten laktofriz. Blizu ovih prostora su smještene i vakuum pumpe. Na farmi nalazi se i sušara u kojoj farmer uglavnom suši kukuruz. Kao podloga u stajama koristi se kosa stelja. Osim velikih staja, na farmi je prisutno još objekata u kojima su smješteni mlin, miješalice kukuruz sijeno... Na poljima uz farmu farmer sadi kukuruz. Uz samu farmu smješteno je i domaćinstvo koje nije predmet ove analize. Ovo je po broju goveda najveća od analiziranih farmi i ima potencijal rasta kako je većina goveda mlado. Na farmi se mlijeko dobiva svakodnevno i prodaje Dukatu. Objekti na farmi su u dobrom stanju i nije potrebna nikakva nadogradnja u svrhu poboljšavanja energetske efikasnosti. Priključak na elektroenergetsku mrežu je jednostavan, izveden je spojem na distribucijsku mrežu u blizini farme. Osim električne energije na farmi se koristi prirodni plin i dizel. Dizelsko gorivo koristi se za prijevoz a prirodni plin se troši u Sušari.



Slika 7 Staje na III. farmi

4.3.2 Energetski potrošači

S obzirom na veličinu na ovoj farmi ima mjesta za unaprijeđenije kapaciteta uređaja. Moguće je da bi bilo korisno instalirati opremu sličnu onoj na četvrtoj farmi.

Tablica 19 Sustavi za mlijeko na III. farmi

| Sustavi za mlijeko | | | | | |
|--------------------|--------------|-------------|------|-------------------|----------------------|
| | Energent | Oprema | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dnevni kapacitet [l] |
| Grijanje vode | EL. energija | Kotao | 2 | 3 | 200 |
| | EL. energija | Grijač | 1 | 3 | |
| Hladenje mlijeka | EL. energija | Laktofriz | 1 | 3 | 500 |
| Sustav za mužnju | EL. energija | Vakuumpumpa | 2 | 8 | |
| Ventilacija | Nema | | | | |

U tablici 20 navedeni su podatci o rasvjeti.

Tablica 20 Rasvjeta na III. farmi

| Rasvjeta | Vrsta/Tip | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dodatno |
|----------|------------------|------|-------------------|---------------------|
| | Žarna nit | 30 | 0.02 | Vanjska |
| | Neonska rasvjeta | 96 | | Vanjska i unutarnja |

Hranjenje, prijenos stajnjaka obavlja se traktorima, no osim traktora na farmi se može naći veći broj vozila uključujući kamione i kombajne. Podatci o prijevozu su u tablici 21.

Tablica 21 Prijevoz na III. farmi

| | Način | Broj | Godišnja potrošnja [l] |
|--------------------|------------|------|------------------------|
| Prijenos i opskrba | Traktorima | 4 | 30000 |

Ostali potrošači prisutni na farmi navedeni su u tablici 22.

Tablica 22 Ostali potrošači na III. farmi

| Ostali potrošači | Uređaj | Vrsta | Broj | Ukupna snaga [kW] |
|------------------|------------|---------|------|-------------------|
| Alati | Kompresor | | 1 | 3 |
| Mlin i Silos | Mlin | Čekičar | 1 | 6 |
| | Miješalica | | 2 | 5.5 |
| Sušara | El motor | | 2 | 6 |



Slika 8 Slika s III. farme

4.3.3 *Potrošnja energije*

Može se primijetiti da su troškovi električne energije u razini očekivanog s obzirom na veličinu farme.

Tablica 23 Potrošnja energije na III. farmi

| Prosječna mjesečna potrošnja | | |
|------------------------------|---------|-----|
| El. energije | 5772.33 | kWh |
| Plavog dizela | 2500 | l |

Osim dva energenta navedena u tablici 23 na farmi, u gorionicima sušare, troši se prirodni plin. Prosječna potrošnja u dva mjeseca koliko se u prosijeku koristi sušara u godini je 56 250 m³.

4.3.4 *Bioplinski potencijal*

U tablici 24 navedeni su osnovni parametri važni za opskrbu bioplinskog postrojenja sirovinom.

Tablica 24 Vrijednosti vezane za bioplinski potencijal sa III. farme

| | |
|---|---------|
| Dnevno ukupni volumen tvari[m3] | 14.15 |
| Broj krava i junadi | 250.00 |
| Broj junadi | 160.00 |
| Dnevno kravljeg izmeta [kg] | 3695.27 |
| Dnevno ukupna masa tvari 2.5:1 u korist slame | 5164.56 |
| Sušenje na farmi | |
| Količina za mjesečno sušenje [t] | 200.00 |

4.3.5 Mjere za uštedu

Ove velike staje imaju potencijal za mehanizaciju hranjenja. Ova farma će uskoro imati najveći broj krava, a ima i potencijala za širenje. Preporuča se ugradnja pogona varijabilne frekvencije za vakuum pumpe. Ostvarive uštede su slične kao i na ostalim farmama samo ovdje bi trebalo istaknuti i veliki krov s pogledom na jug koji predstavlja potencijal za ugradnju solarnih kolektora.

4.4 IV. farma

4.4.1 Opis farme

Četvrta farma je u vlasništvu Ivana Babeka, mljekarskog farmera koji je isto kao i ostali farmeri član udruge „Simentalac“. Farma se nalazi u selu Novoselci koje se isto nalazi u okolici Požege. Između ove farme i planiranog bioplinskog postrojenja je najveća udaljenost. Ovo je manja farma nego ostale pa je njeno uključivanje u račun bioplinskog postrojenja upitno. Krave su smještene u dvama stajama većim i manjim, uz veće staje smješteni su laktofriz, vakuum pumpe i De Laval izmjenjivač topline s regulacijom. S obzirom na trenutnu količinu mlijeka koja prolazi kroz laktofriz oprema je možda i prevelike snage. Objekti su u dobrom stanju, kao podloga u stajama je ravna porozna ploča ispod koje se skuplja kravljji izmet. Sirovina s ove farme ne dolazi sa kose stelje već je odlazna materija s farme kravljji izmet bez slame. Mlijeko se dobiva svakodnevno i prodaje se Dukatu. Na farmi se troši dizel i električna energija, farmer ne posjeduje sušaru, no ima potrebe za sušenjem koje namiruje u centraliziranoj sušari u tom području. Osim potrošnje koja odlazi za pripremu mlijeka na farmi su i mlin i silosi. Uz farmu je kućanstvo koje nije predmet ove analize.



Slika 9 Staje na III. farmi

4.4.2 Energetski potrošači

Najveća potrošnja je kod mljekarskih sustava. De Laval-ov izmjenjivač je najmodernija oprema koja se koristi na prikazanim farmama te po pitanju opreme ova farma se još može širiti kako bi ispunila svoj kapacitet. Od dvije vakuum pumpe, jedna je rezervna.

Tablica 25 Sustavi za mlijeko na IV. farmi

| Sustavi za mlijeko | | | | | |
|---------------------------|-----------------|----------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|
| | Energent | Oprema | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dnevni kapacitet [l] |
| Grijanje vode | EL. energija | Kotao | 2 | 6 | 300 |
| Hlađenje mlijeka | EL. energija | Laktofriz | 1 | 5 | 1500 |
| | EL. energija | De Laval izmjenjivač | 1 | 13 | |
| Sustav za mužnju | EL. energija | Vakuum pumpa | 2 | 4.4 | |
| Ventilacija | Nema | | | | |

U tablici navedeni su podatci o rasvjeti.

Tablica 26 Rasvjeta na IV. farmi

| Rasvjeta | Vrsta/Tip | Broj | Ukupna snaga [kW] | Dodatno |
|-----------------|------------------|-------------|--------------------------|----------------|
| | Žarna nit | 11 | 1100 | Vanjska |
| | Žarna nit | 2 | 400 | |
| | Neonska rasvjeta | 18 | | |

Sav teži rad poput prijenosa hrane, stajnjaka, gnojiva, obavlja se traktorima. Traktore farmer koristi i za obradu zemljišta uz farmu a namijenjeni su i kao prijevozno sredstvo sirovine u bioplinsko postrojenje u slučaju njegove gradnje. Podatci o prijevozu su u tablici 27.

Tablica 27 Prijevoz na IV. farmi

| | Način | Broj | Godišnja potrošnja [l] |
|---------------------------|--------------|-------------|-------------------------------|
| Prijenos i opskrba | Traktorima | 9 | 11000 |

Ostali potrošači prisutni na farmi navedeni su u tablici 28.

Tablica 28 Ostali potrošači na IV. farmi

| Ostali potrošači | Uređaj | Vrsta | Broj | Ukupna snaga |
|------------------|----------------|---------|------|--------------|
| Alati | Kompresor | | 1 | 1.8 |
| Mlin i Silos | Mlin | Čekićar | 1 | 7.5 |
| | Pumpe za silos | | 2 | 1.1 |
| | Miješalica | | 1 | 2 |

4.4.3 Potrošnja energije

Može se primijetiti da su troškovi električne energije u razini očekivanog s obzirom na veličinu farme.

Tablica 29 Mjesečna potrošnja na IV. farmi

| Prosječna mjesečna potrošnja | | |
|------------------------------|----------|-----|
| El. energije | 2886.169 | kWh |
| Plavog dizela | 2833.33 | l |

4.4.4 Bioplinski potencijal

U tablici 30 navedeni su osnovni parametri važni za opskrbu bioplinskog postrojenja sirovinom

Tablica 30 Bioplinski potencijal sa IV. farme

| | |
|---|---------|
| Dnevno ukupni volumen tvari [m ³] | 6.99 |
| Broj krava i junadi | 119.00 |
| Broj junadi | 65.00 |
| Dnevno kravljeg izmeta [kg] | 1912.50 |
| Dnevno ukupna masa tvari 2.5:1 u korist slame | 2551.44 |
| Sušenje na farmi | |
| Količina za mjesečno sušenje [t] | 50.00 |

4.4.5 Mjere za uštedu

Uz modernu opremu i dobro stanje građevina kakvo je prisutno na farmi nema prostora za veće poboljšanje energetske efikasnosti. Preporučuje se ugradnja pogona varijabilne frekvencije za vakuum pumpe.

5 INVESTITOR, LOKACIJA, LOGISTIČNI I PROSTORNI PARAMETRI

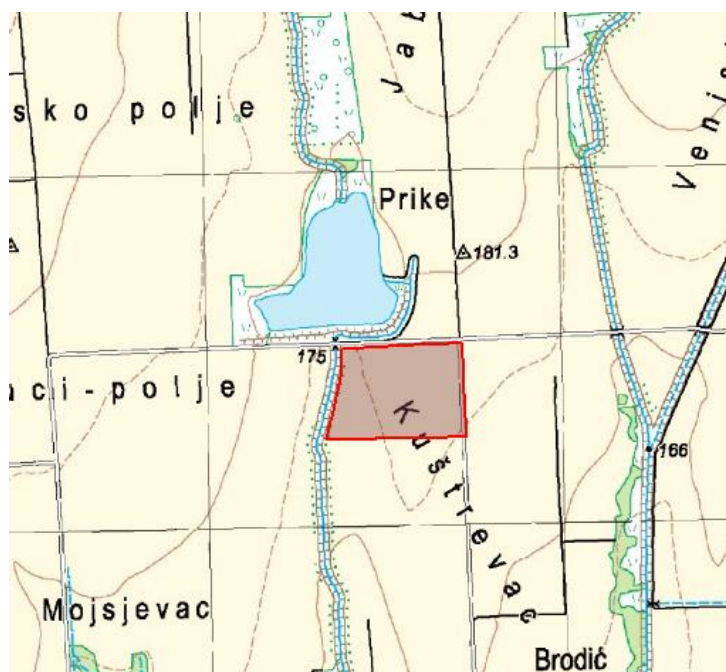
5.1 Investitor

Investitor u projekt je Poljoprivredna zadruga „Uzgojno poslovno obrazovni centar Simentalac“ Ova zadruga proizvođača mlijeka ukupno broji oko tisuću i petsto grla i do sad već ima iskustva u poslovanju s brojnim partnerima poput Mljekare BIZ, RWA Raiffesen Agro, Arosa Grande d.o.o., Poljonova, Bomark, Ecolab, Petrokemija-Kutina, Sano, Schaumann, Kutjevo d.d., Žito d.o.o., Agrokor, Kumal-Sirač, Brenntag-Hrvatska.

Trenutačna adresa UPO Centra je Kamenjača bb, 34340 Kutjevo.

5.2 Opis lokacije osnovne verzije postrojenja

Zemljište predviđeno za bioplinsko postrojenje nalazi se o okolici Požege, točnije, istočno od Požege prije Kutjeva. Lokacija predviđena za bioplinsko postrojenje je razumno udaljena od rezidencijalnih područja što umanjuje rizik protivljenja lokalnog stanovništva. Najbliže rezidencijalno područje je Tominovac. Pristup parceli je jednim putem sa obližnje ceste. Oko same parcele nalaze se oranice te je sama parcela dostupna poljoprivrednoj zadruzi. Satelitska snimka lokacije kao i prikaz lokacije na katastarskoj karti vidljivi je na slikama 10 i 11.



Slika 10 Lokacija na topografskoj karti[13]

Zemljište je površine otprilike 10 ha, domaće ime Kuštrevci, Arkod kod 589310.

Tablica 31 Koordinate osnovne verzije postrojenja

| Koordinatni sustav | Koordinate |
|--|-------------------------------|
| HTRS 96/TM (Gauss- Krügerove koordinate) | 603511.286 5029654.577 |
| HRTS 96 | 45°23'57.03" N 17°49'19.78" E |
| WGS 84 | 45°23'57.05" N 17°49'19.8" E |



Slika 11 Lokacija postrojenja na karti i slikama [8]

Postrojenje je osmišljeno kako bi radilo u režimu maksimalne izlazne električne snage neovisno o potrebi za električnom energijom. Sva proizvedena električna energija se prodaje. Proizvedena toplinska energija iskorištava se za pokrivanje potreba postrojenja tj. regenerativni proces grijanja digestora. Ne postoji mogućnost spajanja na postojeću toplinsku mrežu a izgradnja nove mreže za grijanje najbližih potrošača procijenjena je neisplativom. Ostatak toplinske energije koristio bi se u sušari izgrađenoj uz postrojenje. Ova sušara mogla bi djelovati kao centralizirana sušara za to područje te na taj način stvarati dodatan profit koji nije uključen u ekonomsku analizu prikazanu nakon poglavlja 6.2. Postoji i mogućnost gradnje plastenika koji bi za grijanje koristili otpadnu toplinu. Ovako zamišljena verzija postrojenja nije uključena u procjenu pošto uzgajanje u plastenicima nije djelatnost kojom se investitor već bavi, a sva se toplinska energija može iskoristiti u već potrebnoj sušari.

5.3 Sirovinska baza za osnovnu verziju postrojenja

Planirano bioplinsko postrojenje opskrbljivalo bi se sirovim materijalom sa četiri obližnje farme. Te farme su navedene i opisane od poglavljem 4. Pod sirovi materijal spada iskorištena stelja sa farmi. Stelja se sastoji od kravljeg izmeta i sjena. Volumno više pridonosi sijeno kako se radi o kosoj stelji na tri farme te se s četvrte farme kravljji izmet može opskrbiti odvojeno. Farme su sve u krugu od nekoliko kilometara. Najudaljenija je ona u Novoselcima dok se ostale farme nalaze u okolnim selima Vetovo, Lukoč i Tominovac. Sirovinska baza je u sažetom obliku navedena u tablici 33.

Tablica 32 Sažeti podatci o farmama

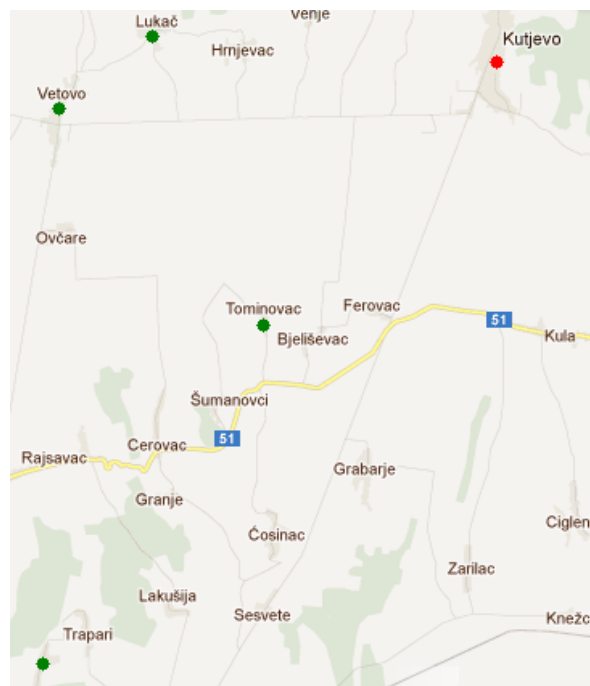
| FARME | 1. | 2. | 3. | 4. |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Dnevno ukupni volumen tvari[m3] | 8.27 | 13.00 | 14.15 | 6.99 |
| Broj krava i junadi | 150 | 226 | 250 | 119 |
| Broj junadi | 50 | 116 | 160 | 65 |
| Dnevno kravljeg izmeta [kg] | 2850.07 | 3734.58 | 3695.27 | 1912.50 |

Tablica 33 Količina za dnevnu opskrbu

| | |
|---------------------------------|---------|
| Dnevno ukupni volumen tvari[m3] | 42.4 |
| Dnevno kravljeg izmeta [kg] | 12192.4 |
| Dnevno slame [kg] | 3286.2 |

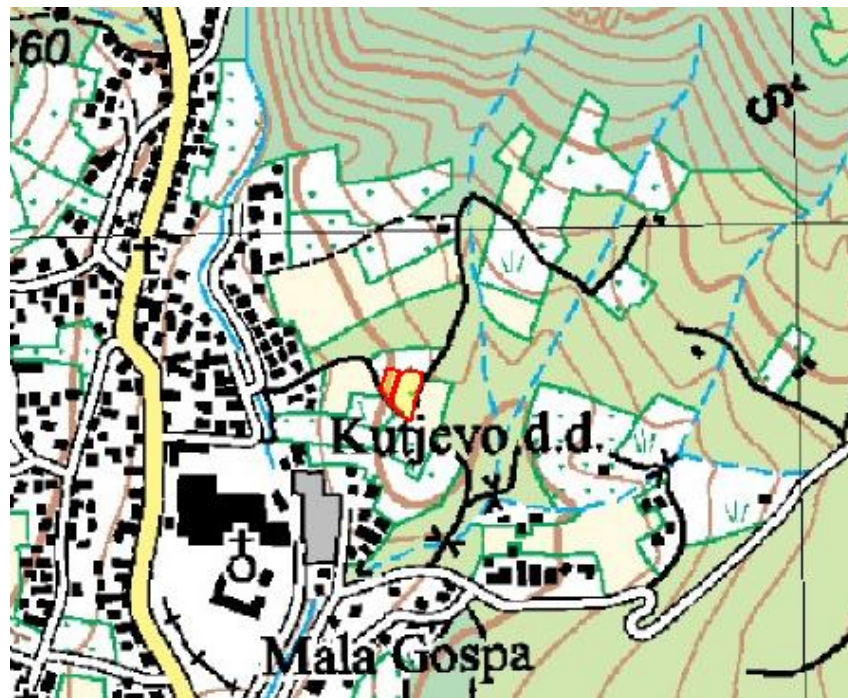
5.4 Lokacija, prostorni parametri i parametri priključka druge verzije postrojenja

Zemljište koje je predviđeno za bioplinsko postrojenje nalazi se u industrijskoj zoni u gradu Kutjevu gdje je naravno cestovna dostupnost izvrsna. Sama parcela je u neposrednoj blizini kutjevačke mesne industrije. Farme su u ovom slučaju na većoj udaljenosti nego u prethodno izloženoj verziji postrojenja; ovo je detaljnije opisano pod parametrima transporta tablicom 52. I ovo postrojenje osmišljeno je kako bi radilo u režimu maksimalne izlazne električne snage. Sva proizvedena električna energija se prodaje, a proizvedena toplinska energija iskorištava se u regenerativnom procesu grijanja digestora, za sušaru te se prodaje industriji. Na slici 12 prikazana je lokacija postrojenja i industrije u odnosu na farme.



Slika 12 Lokacije farmi i druge verzije postrojenja (crvena točka)[8]

Sa strane priključka na električnu mrežu najbliži priključak nije u Požezi već bi najisplativiji bio priključak na distribucijsku mrežu u Kutjevu. Na slici 15 prikazano je stanje elektroenergetske mreže u tom području. Grad Kutjevo nalazi se u blizini kabela prijenosne mreže na naponskoj razini od 400 kV, otprilike na dijagonali između Požege i Kutjeva. Ako je potrebno da se postrojenje priključi na mrežu naponske razine od 110 kV najbliža točka za priključak je cementara u okolici Našica prikazana na slici 15 (iako udaljenost do Požege gdje je priključak isto ostvariv nije mnogo veća).



Slika 13 Prikaz lokacije postrojenja na karti [8]

Lokacija je u neposrednoj blizini industrije. Zemljište je površine otprilike 11 ha, Arkod kod 2747399.

Tablica 34 Koordinate druge lokacije, lokacije uz industriju

| Koordinatni sustav | Koordinate |
|--|-------------------------------|
| HTRS 96/TM (Gauss- Krügerove koordinate) | 603511.955 5033256.069 |
| HRTS 96 | 45°25'50.92" N 17°49'53.14" E |
| WGS 84 | 45°25'50.93" N 17°49'53.14" E |

5.5 Sirovinska baza za drugu verziju postrojenja

Sirovinska baza za ovo postrojenje priskrbljuje se sa sve četiri farme, od mesne industrije-mesni ostaci te se dio kupuje. Sav dodatan materijal u računu potrebne kilaže ima ista svojstva kao i stelja sa četiri farma jer se radi o istoj vrsti sirovine. Iznimka su ostaci mesne industrije koji su proračunati uz važne parametre navedene u tablici 36. Zbog nedostatka adekvatnog prijevoda neki izrazi su na engleskom jeziku.

Tablica 35 Sirovina za drugu verziju postrojenja

| Izvor | DMT [kg] |
|----------------------------|-------------|
| S 4 farme (stelja, ukupno) | 15478.64785 |
| S dodatnih farmi | 7739.323925 |
| Kupljeno gnojiva | 2339.850604 |
| Od mesne industrije | 13796.0275 |

Tablica 36 Uz ostatke mesne industrije [14]

| | Udio u masi mesnih ostataka | VS | m ³ CH ₄ /tVS |
|-------------------|-----------------------------|-------|-------------------------------------|
| Probavni trakt | 30% | 11% | 310 |
| Drumsieve waste | 20% | 14% | 340 |
| DAF Sludge | 30% | 3.50% | 350 |
| Grease tap sludge | 20% | 11% | 840 |

6 BIOPLINSKO POSTROJENJE

U potpunoj analizi provedeni su proračuni za dvije verzije postrojenja. Jedna na temelju osnovnih podataka uzetih sa farmi u prethodno opisanom poglavlju i druga uz dodatni unos tvari u postrojenje tj. većom izlaznom snagom postrojenja. U oba slučaja postrojenje radi u režimu maksimalne izlazne električne snage tj. sva se energija prodaje na tržištu, toplinska energija se koristi za grijanje digestora te za centraliziranu sušaru planiranu uz postrojenje. U drugom slučaju otpadna toplina od motora koristi se za grijanje digestora i sušare uz još i grijanje prostora industrijskog postrojenja. Zbog ovog lokacija postrojenja u drugom slučaju je promijenjena te se ono nalazi u gradu Kutjevu. Pri tekstu koji se odnosi na osnovnu verziju postrojenja u kratko su opisane i pojedine komponente koje su zamišljene za postrojenje.

6.1 Osnovni slučaj postrojenja

Analiza ekonomske isplativosti je provedena za slijedeće bioplinsko postrojenje proračunato na temelju ulaznih podataka za gorivo tj. tok gnojiva i tok metana iz digestora. Tok metana iz digestora koji se može ostvariti uz prije navedenu količinu sirovine određen je uz pomoć znanstvenih radova [6],[7]. Komponente za pretvorbu energije, osim generatora su digestor i motor s unutrašnjim izgaranjem. Digestor je zatvorenog tipa, puni se svakodnevno i radi u mezofiličnom području na temperaturi oko 35°C. Kod punjenja digestora materijal se dovozi traktorima te ubacuje na predviđeno mjesto nakon čega se miješa s vodom u prostoru za predobradu te podliježe anaerobnoj digestiji u samom digestoru. Prostor za odlaganje sirovog materijala je prekrivena laguna. Ovakvo rješenje umanjuje neugodne mirise uz razuman trošak. Vrijeme zadržavanja materije u digestoru je pedeset dana. Podatci o digestoru su u tablici 39; dok je sam digestor detaljnije opisan pod posebnim naslovom kako je ovo najvažniji dio bioplinskog postrojenja. Efikasnost rada motora na nazivnoj snazi uz 60% metana u bioplina dana je u tablici 38. Digestoru je potrebno dovoditi energiju za grijanje ulazne materije, energiju za kompenzaciju toplinskih gubitaka kroz zidove i kompenzaciju za gubitke cjevovoda. Ovo se ostvaruje korištenjem otpadne topline motora. Proračun za maksimum dovodjenje energije za grijanje je uz projektnu vanjsku temperaturu -15°C. Detalji su u tablici 39. Općeniti podatci o postrojenju navedeni su u tablici 37. Ukupna snaga postrojenja iznosi oko 330 kW od čeka oko 100 kW može biti iskorišteno kao izlazna električna snaga. Ovaj iznos od 100 kW predaje se prijenosnoj mreži na 110 kV. Prijenosna mreža u Hrvatskoj izvedena je na razinama napona od 400, 220 i 110 kV. Faktor dostupnosti tj. „Availability“ je 85%.

Tablica 37 Postrojenje

| | | |
|------------------------------------|----------|----|
| Ukupna snaga postrojenja | 324.1915 | kW |
| El. snaga postrojenja | 108.0206 | kW |
| Toplinska snaga postrojenja | 142.9685 | kW |
| Isporučeno mreži | 99.37896 | kW |

Tablica 38 koja sadrži pojedine učinkovitosti komponenti postrojenja oslikava gdje se u postrojenju nalaze gubitci koji spuštaju ukupnu učinkovitost na 77%. Ovo nije detaljna slika, no s navedenim iznosima prikazuje uobičajenu učinkovitost pri ovakvom pogledu iskorištavanja energije.

Tablica 38 Postrojenje u pogledu učinkovitosti

| | |
|---------------------------------------|------|
| El. efikasnost | 34 % |
| Toplinska efikasnost | 45% |
| Ukupna efikasnost motora | 79% |
| Ukupna efikasnost | 77% |
| Vlastita potrošnja postrojenja | 8% |

Ukupna snaga postrojenja od 324 kW izvedena je iz potencijala koji je ostvariv sa farmi.

Prema saznanjima od članova zadruge, očekuje se da će se farme širiti pa se može reći da posjeduju veći potencijal nego što je potrebno da se zadovolji snaga motora koji je predložen u nastavku.

Efikasnosti u tablici 38 su pretpostavljene u skladu s uobičajenim vrijednostima; električna i toplinska učinkovitost predloženog motora s unutarnjim izgaranjem navedena je u poglavlju 6.1.2.

6.1.1 Digestor

Pod ovim naslovom opisani su sastavni dijelovi digestora, njihova uloga te kakve komponente čine digestor postrojenja opisanog u ovom radu.

Najvažniji dio digestora je reaktor u kojem se odvija proces anaerobne digestije. Reaktor može biti ukopan ili vanjski. Za ovo postrojenje predviđen je vanjski reaktor kojemu je baza kružnog presjeka visine otprilike pet metara. Promjer baze je dvadeset metara, reaktor je protočni te se puni svakodnevno. Oplata nije od betona već od čeličnih ploča sa staklenom presvlakom. Prednost ovakve konstrukcije je kemijska izdržljivost, dug životni vijek, lako rastavljanje i popravak. S obzirom na veličinu i visinu reaktora ovo je najbolje rješenje.

Osim reaktora sastavne komponente su mehanizirani pužni punjač, miješalica pogonjena električnim motorom napravljena od nehrđajućeg čelika. Miješalica se pomiče ili mijenjanjem kuta ili u gore- dole u „uronjenoj“ verziji izvedbe. Ova druga verzija je skuplja i služi za kompliciranije izvedbe; nije namijenjena za ovakvo postrojenje.

Važna komponenta je i sustav za grijanje koji u ovom slučaju toplinu priskrbljuje regenerativno od motora s unutrašnjim izgaranjem. Ne koristi se sva toplina već onoliko koliko je navedeno u tablici 39.

Nakon procesa anaerobne digestije tvar ide u separator gdje se odvajaju tekuća i kruta faza. Iz ovoga se može iskoristiti organski otpad kao kvalitetno gnojivo. Separator mora biti načinjen od nehrđajućeg kemijski otpornog čelika.

Bioplin se drži u prostoru na vrhu kupole digestora ograđenom dvostrukom membranom, prva je od PVC materijala kako ne bi bilo puštanja, druga isto od specijalnih polimernih materijala. Između te dvije membrane se upuhuje zrak koji diže plastični krov dajući sferični oblik krova i stvara pretlak za bioplin koji se skuplja iza druge membrane.

Sastavni dio troška je i baklja koja se koristi za spaljivanje bioplina u slučaju da ga se ne može iskoristiti. Cijelo postrojenje je zamišljeno kao automatizirano i velikim dijelom kompjuterski upravljano.[15]

Tablica 39 Podatci o digestoru

| | | |
|-------------------------------------|---------|-------------------|
| Grijanje digestora | 45.95 | kW |
| Protok goriva(bioplina) | 45.37 | m ³ /h |
| Ukupni volumen digestora | 2120.00 | m ³ |
| Površina ovojnice digestora | 516.02 | m ² |
| Gubitci kroz zid | 14.45 | kW |
| Grijanje ulazne materije | 30.00 | kW |
| Gubitci cjevovoda od izvora topline | 1.50 | kW |

6.1.2 Motor s unutrašnjim izgaranjem

Zbog gubitaka osjetne topline koja se preda okolišu, konvekcije i zračenja na okolne plohe sva toplinska energija ne može se u potpunosti iskoristiti. Ispušni dimni plinovi moraju izaći u okoliš s bar 180 °C kako ne bi došlo do kondenzacije u konvektivnom kanalu.

Energija se izmjenjuje u dva izmjenjivača jedan za grijanje digestora i jedan za sušaru. Uz pretpostavku da je sušara izvedena sa grijanim plohamama i ventilatorom koji upuhuje tako grijani zrak za sušenje, izmjenjivači bi trebali biti u izvedbi dimni plinovi- voda. Isto tako izmjenjivači trebaju biti projektirani na način da se može mijenjati izmijenjena snaga ovisno o potrebi za grijanjem digestora.

Kao prijedlog dan je Caterpillar G3406 NA, tip DM 8660 50 Hz. Ovaj motor s unutrašnjim izgaranjem nazivne je snage 103 kW[16]. Toplinska energija koja ide uz proizvodnju električne energije odvodi se vodenim hlađenjem. Ova toplinska energija može biti iskorištena preko izmjenjivača topline. Postojeći model može se modificirati; 123 kW se preda vodenom hlađenju te danjih 84 kW se preda do 120°C ispuha. S obzirom na ove podatke u proračunu je primijenjen iznos od 143 kW toplinske energije koja se može iskoristiti u izmjenjivačima. Modifikacija uključuje i novi regulacijski termostat za temperaturu motora, koji je potreban za održavanje temperature motora uz reguliranje predane topline izmjenjivačima i temperature ispuha. Sama električna efikasnost motora je otprilike 29% a toplinska 40%. Motor čini agregat s četveropolnim generatorom koji je spojen i sinkroniziran s mrežom preko priključka. Cijena ovakvog stroja je otprilike 400 dolara po kilovatu električnom, no uz dostavu i modifikacije raste i trošak. U svrhu ovog rada pretpostavljena je uvećana cijena od 320000 HRK.



Slika 14 Caterpillar G3406 NA, tip DM 8660 [16]

6.1.3 Sušara

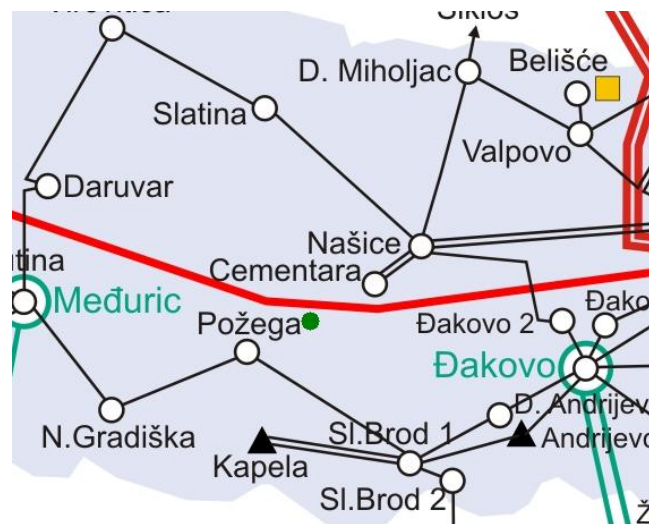
Uz samo postrojenje je centralizirana sušara koju mogu koristiti svi farmeri za svoje potrebe. Direktna novčana dobit dolazi od poništavanja postojećih troškova koje farmeri moraju podmiriti za sušenje svojih dobara. Sama sušara treba biti projektirana i izgrađena za maksimalnu snagu grijača od 150 kW. Ovakva sušara je dovoljna da zadovolji potrebe farmera, a ima i potencijal da se koristi kao centralizirana sušara za obližnji kraj, posebice u kasnim ljetnim i jesenskim mjesecima kada još nije potrebna maksimalna snaga koju zahtjeva grijanje digestora (45 kW). Za ukupnu investiciju sušare uzima se paušalno 50000 Eura. Ova investicija je razumno veća od uobičajenih troškova za sušaru navedene snage. Razlog tome je što bi ovakva sušara zahtijevala specifičnu izvedbu te posebno projektiranje kako bi iskorištavala otpadnu toplinu. Sama sušara trebala bi biti prilagođena za sušenje kukuruza i uobičajenih kultura, ali i duhana. Tablica 40 prikazuje neke parametre za sušenje.

Tablica 40 Potreba za sušenjem

| Sušenje na farmi | 1. | 2. | 3. | 4. |
|----------------------------------|----|----------------|---------|---------|
| Količina za mjesečno sušenje [t] | 0 | 70 | 200 | 50 |
| Što se sve suši? | | duhan, kukuruz | kukuruz | kukuruz |

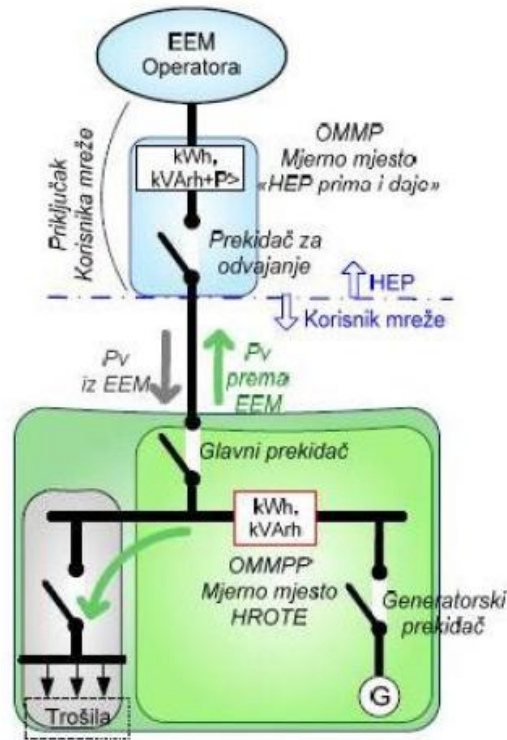
6.1.4 Priključak na EES RH

Postrojenje je zamišljeno tako da svu proizvedenu energiju prodaje u sustav što podrazumijeva da sustav može preuzeti proizvedenu električnu energiju snage 100 kW. Odgovarajući priključak za ovo je na prijenosnoj mreži od 110kV. Priključak na prijenosnu mrežu može najbliže biti ostvaren u Požegi dok udaljenost do prijenosne mreže iznosi otprilike 18 km slijedeći cestu. U blizini lokacije nalazi se i dalekovod prijenosne mreže na naponskoj razini od 400 kV. Postoji i mogućnost priključka na bližu niskonaponsku distribucijsku mrežu, pri čemu se kao uređaj za odvajanje koristi četveropolni prekidač. Preporučeno je i spajanje na niskonaponsku mrežu bez trafo stanice. Točniji parametri vezani uz priključak trebaju se utvrditi elaboratom optimalnog tehničkog rješenja priključka.



Slika 15 Približna lokacija postrojenja na karti EES (zeleni krug)[17]

Sljedeća slika prikazuje izgled priključka s obzirom na trenutno primjenjivanu koncepciju obračunskog mjerenja.



Slika 16 Principijelna shema spajanja postrojenja na EES RH [18]

Postrojenje dijelom pokriva vlastitu potrošnju električne energije električnom energijom kupljenom od operatera. Obračunska mjerna mjesta nalaze se na samom priključku i neposredno kod proizvođača. Potrošnja električne energije na lokaciji je dijelom el. energija kupljena od operatera, no dio potrošnje el. energije, onaj dio koji je potreban za odvijanje procesa u samoj proizvodnji, je gubitak.

6.1.5 Smanjenje emisija CO₂

Smanjenje emisija izračunato je prema formuli u metodologiji i navedeno je u tablici 41. U tablici 41 navedeni su neki osnovni parametri prema kojima je računato smanjenje emisija za prvu verziju postrojenja.

Tablica 41 Vrijednosti potrebne za proračun emisija

| | | |
|---|---------|----------------------------------|
| Preračunavanje emisije metana | 0.0385 | kg CH ₄ /glava godina |
| Preračunavanje emisije slame | 230 | dm ³ /kgVS |
| Ukupni broj glava | 745 | |
| Masa slame | 3286.23 | kg |
| Metanski ekvivalent CO ₂ | 25 | |
| Specifični faktor emisije po ukupno potrošenoj el. en 2005-2010 | 0.227 | kgCO ₂ /kWh |

Vrijednosti navedene u tablici 41 preuzete su iz više izvora[19][20]. Emisije metana očitane su za temperature bliske hrvatskom podneblju.

Tablica 42 Emisije stakleničkih plinova

| | | |
|--|------------|--------------------|
| Emisija metana s odlagališta | 247816.80 | kg CH ₄ |
| CO ₂ ekvivalent emisiji s odlagališta | 6195420.00 | |
| CO ₂ iz proizvodnje el. energije | 162988.95 | kg CO ₂ |
| CO ₂ iz bioplinskog postrojenja | 255408.69 | kg CO ₂ |
| Godišnje smanjenje CO ₂ | 6103.00 | t |

6.2 Ekonomska analiza opravdanosti investicije

6.2.1 Trošak postrojenja

6.2.1.1 Investicijski

Investicijski trošak sačinjava više većih komponenata. U najvećoj mjeri to je trošak digestora, zatim trošak motora s unutrašnjim izgaranjem i generatora. Navedeni su troškovi nabave potrebnih komponenti; još valja spomenuti i trošak manjih komponenti, pumpi, el. opreme i sl. Investicijski trošak također čini i trošak građevinskih i instalacijskih radova pod što spada i trošak postavljanja priključka za vodu, trošak cijevi, opreme i materijala za gradnju te trošak planiranja i projektiranja. Uz samo postrojenje trebalo bi kupiti i manji bager s prikolicom koji služi za baratanje i utovar sirovog materijala.

Vrijednost troška procijenjena je prema znanstvenom radu [9]. Vrijednost se može očitati točno za postrojenje od 100 kWe. Ovaj iznos trebao bi biti paušalno točan što se može naslutiti s obzirom na cijenu komponenti koja je utvrđena. Ukupni investicijski trošak iznosi **3 389 804, 80 HRK**.

6.2.1.2 Fiksni i varijabilni troškovi u pogonu

Danji troškovi koji se javljaju kod ovakvog tipa postrojenja su troškovi održavanja, troškovi transporta te trošak rada tj. Plaće. Njih sve obračunavamo godišnje. Ovakav tip postrojenja zahtjeva redovito održavanje, no ovo je zahvaljujući automatizaciji procesa izvedivo s minimalnom radnom snagom. Svrha modernih kompjuterski upravljanih postrojenja je niža pogonska cijena što pridonosi bržem povratu investicije. Godišnji troškovi održavanja određeni su kao 2% investicije. Transport je detaljnije obrađen u sljedećem poglavlju jer zahtjeva detaljniju analizu i kao takav značajno utječe na isplativost projekta. Cijena rada uzeta je iz znanstvenog članka iz kojeg je određena početna investicija; može se zaključiti da pouzdano oslikava uobičajene plaće na tržištu rada.

Tablica 43 Troškovi postrojenja u pogonu

| | |
|---|----------|
| Godišnji troškovi održavanja [HRK] | 67796.10 |
| Godišnji trošak goriva(prijevoz) [HRK] | 64223.28 |
| Godišnji trošak rada (plaće) [HRK] | 93018.02 |

6.2.1.3 Amortizacija i trošak kapitala

Rok za amortizaciju određen je s obzirom na različite komponente postrojenja, ovaj rok je vrijeme nakon kojeg pojedine komponente postrojenja nemaju knjigovodstvenu vrijednost.

Određena je rata amortizacije koja je korištena za pojedinu grupu komponenti postrojenja; ova rata je svake godine ista tj. radi se o linearnoj amortizaciji. Vrijednosti važne za amortizaciju prikazane su u tablici 44. Važno je napomenuti kako su udjeli u ukupnoj investiciji određeni paušalno s obzirom na uobičajene primjere. Digestor uzima najveći udio u ukupnoj investiciji; ukupan trošak digestora čini reaktor, što se odnosi na sam materijal i konstrukciju čelične oplata reaktora ali i građevinski radovi (temelj) i oprema (npr. miješalica).

Tablica 44 Amortizacija

| | Postotak investicij e | Cijena [HRK] | Godišnja stopa | Godine amort. | Rata amortizacije |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Reaktor | 38.00% | 1288125,83 | 6.67% | 15 | 85875,05 |
| Agregat | 9.44% | 320000,00 | 20.00% | 5 | 64000 |
| Građevinski radovi | 28.56% | 968125,83 | 10.00% | 10 | 96812,58 |
| Namještaj, oprema, ostalo... | 24.00% | 813553,15 | 12.50% | 8 | 101694,14 |
| Amortizacija sušare | | 375375,38 | 20.00% | 5 | 75075,07 |

Predviđeno je da se projekt financira od kredita Banke za obnovu i razvoj u iznosu od 75% investicije; kamatna stopa ovog kredita je 5%. Ostalih 25% pokriveno je kreditom iz druge banke po manje povoljnoj kamatnoj stopi od 10%. Kredit je uzet uz konstantnu jednaku ratu kredita, nepromjenjive su i kamatne stope kredita. Kredit kod banke za obnovu i razvoj uzet je uz deset godina otplate, a kredit kod druge banke uz sedam godina otplate. U ekonomskom proračunu izračunat je ekonomski i financijski tok novca uz porez na dobit od 20%.

6.2.2 Dobit

Prihodi se ostvaruju od prodaje električne energije i od sušenja. Farmeri svake godine potroše određeni iznos novca za sušenje, centralnom sušarom taj trošak se ukida te ga se može smatrati prihodom od sušare. El energija iz bioplinskog postrojenja se u 2012. godini prodaje uz cijenu od **1,3837 HRK** po kilovatsatu.. Varijacija cijene u budućnosti pokrivena je analizom osjetljivosti.

Tablica 45 Godišnja zarada (Profit)

| | |
|--|------------|
| Zarada | 1023904.46 |
| Zarada od sušare (ukidanje bivših troškova) | 93000.00 |

6.2.3 Transport

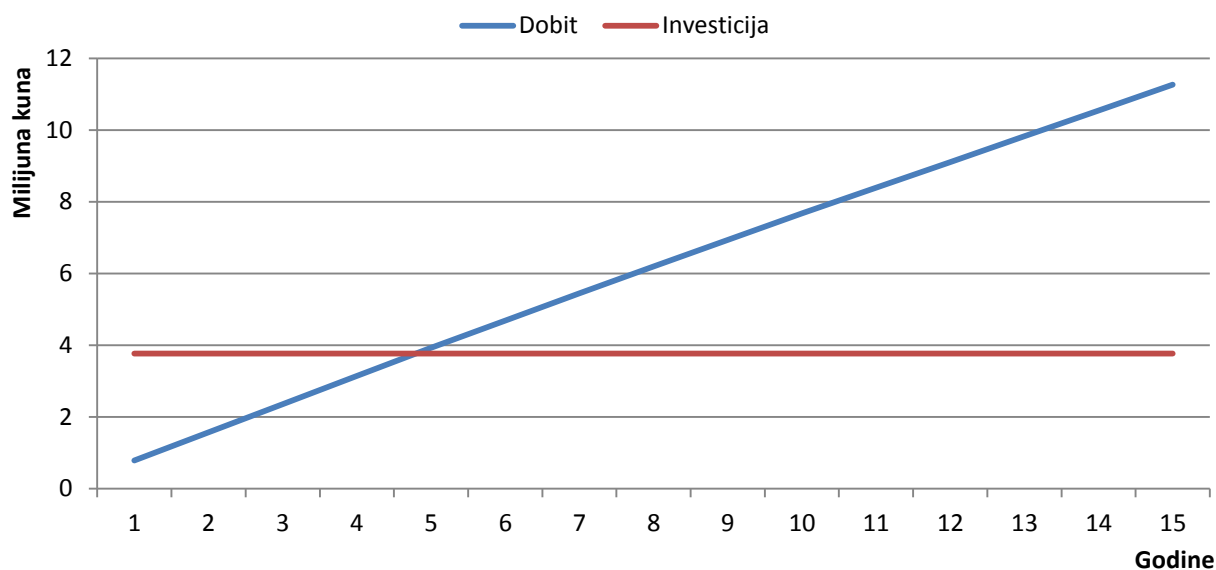
Važan faktor kod određivanja troška su troškovi transporta sirove tvari od farme do postrojenja. Planiran je svakodnevni prijevoz traktorom s prikolicom s farmi. Sa svake farme prijevoz obavlja sam farmer koji za to nije plaćen tako da se troškovi svedu samo na trošak goriva. Tablica 46 prikazuje detalje vezane uz transport. Sve farme su u neposrednoj blizini postrojenja te do samog postrojenja može se lako odrediti jedini najisplativiji put sa svake farme, četvrta farma je udaljenija od ostalih. Zbog udaljenosti četvrte farme postojala je mogućnost da bi uz povećane troškove uključivanje ove farme u proračun postrojenja bilo neisplativo, no troškovi transporta ne premašuju dobit. Vrijednost potrošnje goriva po kilometru uzeta je paušalno iz iskustvenih podataka. Potrošnja traktora se tipično izražava po radnom satu pa je teško potpuno točno odrediti kolika će biti prosječna potrošnja na cesti pod opterećenjem. Otprilike to je 0.5 l/km; ova vrijednost je zbog sigurnosti proračuna povećana na 0.75 l/km.

Tablica 46 Transport

| TRANSPORT | Osnovni slučaj |
|---|-----------------------|
| Dnevno pređeno km (1.) | 6 |
| Dnevno pređeno km (2.) | 5 |
| Dnevno pređeno km (3.) | 4 |
| Dnevno pređeno km (4.) | 15 |
| Potrošnja l po km | 0.75 |
| Kuna po litri (Plavi dizel) | 5.83 |
| Godišnja potrošnja (uz availability factor) | 80279.10 |
| Dnevna potrošnja(4 traktora) | 131.18 |
| Mjesečna potrošnja | 3935.25 |

6.2.4 Ocjena isplativosti

Rezultat analize prikazan je dijagramom 1 koji prikazuje akumulirani financijski tok novca. Prikazan je tok novca u petnaest godina što je životni vijek postrojenja, iako je vjerojatan dulji životni vijek. Promjena je linearna uz promjene nagiba u više točaka koje su dovoljno zanemarive da se na dijagramu ne mogu uočiti. Može se iščitati kako se povrat investicije ostvaruje za otprilike šest godina. Izračunat je i IRR koji iznosi **19.16%**.



Dijagram 1 Akumulirani financijski tok novca

Proračun je proveden uz fiksnu cijenu električne energije navedenu pod 6.2.2. Izračunata je i sadašnja vrijednost projekta (*Net present value*) koja iznosi **318 169, 05 HRK**. Uz ove pokazatelje može se zaključiti da je projekt isplativ. Ovisnost o važnim fiksnim parametrima u ovoj analizi prikazana je u poglavlju 6.2.7. Ocjena osjetljivosti.

Tablica 47 Ekonomska analiza osnovnog slučaja postrojenja

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| Investicija | 3,389,805 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Inv u sušaru | 375375.3754 | | | | | | | | | | | | | | | |
| pozajmnica ukupno | 3,765,180 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zivotni vijek | 2012 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Zarada | | 1023904.5 | 1023904.5 | 1023904.5 | 1023904.5 | 1023904.46 | 1023904.46 | 1023904 | 1023904 | 1023904 | 1023904 | 1023904 | 1023904.463 | 1023904 | 1023904 | 1023904 |
| Zarada od sušare (ukidanje bivših troškova) | | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 |
| Ukupna zarada | | 1116904.5 | 1116904.5 | 1116904.5 | 1116904.5 | 1116904.46 | 1116904.46 | 1116904 | 1116904 | 1116904 | 1116904 | 1116904 | 1116904.463 | 1116904 | 1116904 | 1116904 |
| Amortizacija sušare | | 75075.075 | 75075.075 | 75075.075 | 75075.075 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 | 75075.0751 |
| Reaktor | | 85875.055 | 85875.055 | 85875.055 | 85875.055 | 85875.0551 | 85875.0551 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.05506 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 |
| Agregat | | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 | 64000 |
| Građevinski radovi | | 96812.583 | 96812.583 | 96812.583 | 96812.583 | 96812.5826 | 96812.5826 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 | 96812.58 |
| Namještaj, oprema, ostalo... | | 101694.14 | 101694.14 | 101694.14 | 101694.14 | 101694.144 | 101694.144 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 |
| Ukupna amortizacija | | 423456.86 | 423456.86 | 423456.86 | 423456.86 | 423456.857 | 284381.782 | 284381.8 | 284381.8 | 182687.6 | 182687.6 | 85875.06 | 85875.05506 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 |
| Troškovi održavanja [KN] | | 67796.096 | 67796.096 | 67796.096 | 67796.096 | 67796.0961 | 67796.0961 | 67796.1 | 67796.1 | 67796.1 | 67796.1 | 67796.1 | 67796.0961 | 67796.1 | 67796.1 | 67796.1 |
| Trošak goriva(prijevoz) [KN] | | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 | 80279.1 |
| Trošak rada (plaće) [KN] | | 93018.018 | 93018.018 | 93018.018 | 93018.018 | 93018.018 | 93018.018 | 93018.02 | 93018.02 | 93018.02 | 93018.02 | 93018.02 | 93018.01802 | 93018.02 | 93018.02 | 93018.02 |
| pozajmnica1 | 2823885.135 | 2599373.3 | 2363636 | 2116111.7 | 1856211.3 | 1583315.79 | 1296775.53 | 995908.3 | 679997.6 | 348291.5 | | | | | | |
| pozajmnica2 | 941295.0451 | 842077.37 | 732937.93 | 612884.54 | 480825.82 | 335561.22 | 175770.163 | 9.31E-10 | | | | | | | | |
| kamata 1 | | 141194.26 | 129968.67 | 118181.8 | 105805.59 | 92810.5634 | 79165.7893 | 64838.78 | 49795.41 | 33999.88 | 17414.57 | | | | | |
| kamata 2 | | 94129.505 | 84207.737 | 73293.793 | 61288.454 | 48082.5817 | 33556.122 | 17577.02 | | | | | | | | |
| glavnica1 | | 224511.79 | 235737.38 | 247524.25 | 259900.46 | 272895.481 | 286540.255 | 300867.3 | 315910.6 | 331706.2 | 348291.5 | | | | | |
| glavnica2 | | 99217.675 | 109139.44 | 120053.39 | 132058.72 | 145264.597 | 159791.057 | 175770.2 | | | | | | | | |
| rata1 | | 365706.04 | 365706.04 | 365706.04 | 365706.04 | 365706.044 | 365706.044 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | | | | | |
| rata2 | | 193347.18 | 193347.18 | 193347.18 | 193347.18 | 193347.179 | 193347.179 | 193347.2 | | | | | | | | |
| Financijski novčani tok | -3765180.18 | 226287.15 | 226287.15 | 226287.15 | 226287.15 | 226287.147 | 198472.132 | 198472.1 | 391819.3 | 371480.5 | 371480.5 | 717824 | 717824.0104 | 717824 | 717824 | 717824 |
| Trošak bez amortizacije | | 241093.21 | 241093.21 | 241093.21 | 241093.21 | 241093.214 | 241093.214 | 241093.2 | 241093.2 | 241093.2 | 241093.2 | 241093.2 | 241093.2141 | 241093.2 | 241093.2 | 241093.2 |
| Dobit(Knjigovodstvena bilanca- Knjižnična) | | 452354.39 | 452354.39 | 452354.39 | 452354.39 | 452354.392 | 591429.467 | 591429.5 | 591429.5 | 693123.6 | 693123.6 | 789936.2 | 789936.1941 | 789936.2 | 789936.2 | 789936.2 |
| Porez | | 90470.878 | 90470.878 | 90470.878 | 90470.878 | 90470.8785 | 118285.893 | 118285.9 | 118285.9 | 138624.7 | 138624.7 | 157987.2 | 157987.2388 | 157987.2 | 157987.2 | 157987.2 |
| Dobit s porezom | -3765180.18 | 785340.37 | 785340.37 | 785340.37 | 785340.37 | 785340.371 | 757525.356 | 757525.4 | 757525.4 | 737186.5 | 737186.5 | 717824 | 717824.0104 | 717824 | 717824 | 717824 |
| IRR | 0.191561751 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sadašnja vrijednost | | 403887.85 | 360614.15 | 321976.92 | 287479.39 | 256678.031 | 299636.574 | 267532.7 | 238868.4 | 249947.3 | 223167.3 | 227087.8 | 202756.9461 | 181033 | 161636.6 | 318169.1 |
| Sadašnja vrijednost projekta | 318169.0509 | | | | | | | | | | | | | | | |

6.2.5 Ocjena likvidnosti

Likvidnost podrazumijeva da se u svakom trenutku mogu podmiriti dugovi tj, financijske obveze. Za projekt je bitno da je likvidan, no ne na račun gubitka rentabilnosti. Osnovni pokazatelj likvidnosti je financijski tok novca; financijski tok je zarada u godini minus trošak minus rata kredita minus porez na dobit. U tablici 47 prikazana je cjelokupna ekonomska analiza kao i financijski novčani tok. Tijekom cijelog perioda financiranja projekta financijski tok novca je pozitivan, što znači da se stvara dovoljan profit da se u svakom trenutku mogu podmiriti financijske obveze.

6.2.6 Ocjena rentabilnosti

Ekonomska ocjena tj. rentabilnost projekta je pokazatelj da li se imovina projekta povećala ili smanjila u periodu životnog vijeka projekta. Kod procjenjivanja rentabilnosti može se koristiti više pristupa od kojeg svaki ima svoje prednosti i nedostatke. Jedan pristup je metoda razdoblja povrata investicijskih ulaganja gdje je potrebno unutar minimalnog perioda povrata izbalansirati pozitivne i negativne neto primitke; metoda neto sadašnje vrijednosti projekta sastoji se od zbrajanja vrijednosti neto primitaka kroz životni vijek postrojenja te svođenja vrijednosti tog zbroja na njegovu vrijednost u početnoj godini projekta. Ova metoda, ovdje je provedena uz diskontnu stopu u vrijednosti između kreditnih stopa dvaju kredita s obzirom na iznos samih kredita. Ocjena je pozitivna tj. projekt je prihvatljiv ako je neto sadašnja vrijednost veća od nule što je u konkretnom slučaju ostvareno.

Uz kamatnu stopu od 6.25% neto sadašnja vrijednost (NPV) iznosi **318 169, 05 HRK**.

Slijedeća je metoda interne stope rentabilnosti projekta. Interna stopa rentabilnosti je stopa uz koju se neto sadašnja vrijednost projekta svodi na nulu. Na ovaj način može se dobiti informacija o prosječnoj godišnjoj stopi akumulativnosti. Vrijednost ovoga jednaka je IRR-u koji iznosi **19.16%** što se može smatrati pouzdanim da zadovoljava minimalnu stopu rentabilnosti koja se može tražiti.

6.2.7 Ocjena osjetljivosti

Ocjena osjetljivosti ukazuje u kojoj mjeri će se promijeniti isplativost postrojenja promjenom određenih ulaznih parametara. Prikazana je promjena IRR- a s obzirom na cijenu električne energije, ukupni investicijski trošak te cijenu plavog dizela koji se koristi za transport. Investicijski trošak je analiziran jer se može očekivati da postoji određena greška u njegovom iznosu; razlog za to je taj što je investicijski trošak određen iz znanstvenog rada, a ne direktnom procjenom. Investicijski trošak direktno utječe na troškove održavanja. Promjena pokazatelja isplativosti variranjem investicijskog troška od plus do minus petnaest posto daje pouzdanu sliku o sigurnosti ulaganja. Ova promjena procijenjenog troška investicije je bitna jer ukazuje na veličinu greške koja nastaje eventualnom pogrešnom procjenom investicije. Nužno je i variranje cijene plavog dizela koja će tokom petnaest godina radnog vijeka sigurno rasti.

Tablica 48 Ovisnost parametara o ocjeni osjetljivosti

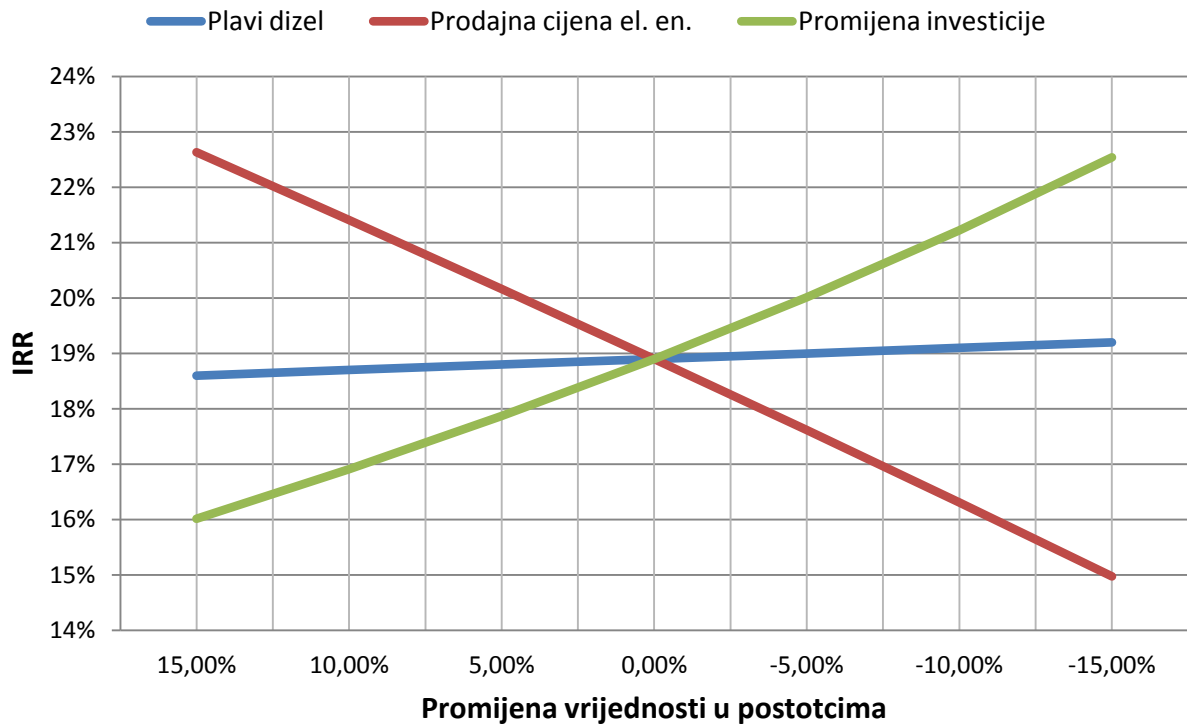
| Plavi dizel | IRR | Prodajna cijena industriji | IRR | Postotak | IRR |
|--------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------|------------|
| 5.83 | 15.86% | 0.9 | 9.75% | -15.00% | 19.17% |
| 6.5 | 15.66% | 1 | 11.87% | -10.00% | 17.97% |
| 7 | 15.52% | 1.1 | 13.90% | -5.00% | 16.87% |
| 8 | 15.23% | 1.2 | 15.86% | 0.00% | 15.86% |
| 9 | 14.94% | 1.3 | 17.75% | 5.00% | 14.91% |
| 10 | 14.65% | 1.4 | 19.60% | 10.00% | 14.03% |
| 11 | 14.36% | 1.5 | 21.40% | 15.00% | 13.21% |

Tablica 48 prikazuje parametre u ocjeni osjetljivosti dok je isto prikazano na dijagramu 2 grafički uz linearne aproksimacije vrijednosti prikazanih u tablici 48.



Dijagram 2 Analiza osjetljivosti

Gornji dijagram prikazuje osjetljivost projekta s obzirom na parametre prikazane u tablici 48. Kako bi prikazali koliko pojedini parametar utječe na isplativost projekta u usporedbi s ostalima potrebno je sve parametre promijeniti za isti postotak. Ovo je prikazano u dijagramu 3.



Dijagram 3 Osjetljivost- usporedba parametara

6.3 Postrojenje uz industriju

Nakon poglavlja 6.1 do ovog poglavlja opisana je osnovna verzija postrojenja koja može biti izgrađena uz opisane uvjete. Ista analiza provedena je i za drugu verziju postrojenja koje uz veću nazivnu električnu snagu, otpadnu toplinu koristi za grijanje digestora, za identičnu sušaru poput one opisane pod osnovnom verzijom postrojenja te za grijanje prostora i/ili industrijskih procesa u mesnoj industriji. Ovo je moguće jer je lokacija postrojenja promijenjena u odnosu na prošlu verziju i nalazi se u neposrednoj blizini mesne industrije u Kutjevu.

Ovakvo postrojenje zahtjeva veća ulaganja i veće troškove vođenja i održavanja. U narednim poglavljima prikazana je analiza postrojenja uz industriju te je na kraju dan zaključak.

6.3.1 Parametri postrojenja

Proračun postrojenja proveden je s obzirom na ukupnu sirovinu koja je dostupna s farmi i sirovinu koja je potrebna za postrojenje izlazne električne snage 250 kW uz sve efikasnosti navedene u tablici 49.

Komponente za pretvorbu energije, osim generatora su digestor i dva motora s unutrašnjim izgaranjem. Digestor je zatvorenog tipa, puni se svakodnevno i radi u mezofiličnom području na temperaturi oko 35°C. Vrijeme zadržavanja materije u digestoru je kao u prethodnom slučaju pedeset dana. Efikasnost rada motora na nazivnoj snazi uz 60% metana u bioplenu dana je u tablici 49. Digestoru je potrebno dovoditi energiju za grijanje ulazne materije, energiju za kompenzaciju toplinskih gubitaka kroz zidove i kompenzaciju za gubitke cjevovoda. Ovo se ostvaruje korištenjem otpadne topline motora. Proračun za maksimum dovodenje energije za grijanje je uz projektnu vanjsku temperaturu -15°C. Detalji su u tablici 50. Općeniti podatci o postrojenju navedeni su u tablici 49.

Tablica 49 Podatci o verziji postrojenja uz industriju

| POSTROJENJE UZ INDUSTRIJU | | |
|---------------------------------------|--------|-------------------|
| El. efikasnost | 34% | |
| Toplinska efikasnost | 45% | |
| Ukupna efikasnost motora | 79% | |
| Ukupna efikasnost | 77% | |
| Vlastita potrošnja | 8% | |
| Efikasnost ostatka postrojenja | 98% | |
| Vlastita potrošnja postrojenja | 20.00 | kW |
| El snaga postrojenja | 250.00 | kW |
| Predano mreži | 230.00 | kW |
| Ukupna snaga | 735.29 | kW |
| Toplinska snaga | 330.88 | kW |
| Protok metana | 85.76 | m ³ /h |
| Protok bioplina | 102.91 | m ³ /h |
| Avaliability | 0.85 | |
| Toplina za industriju | 136.75 | kW |
| Toplina za sušaru | 100.00 | kW |

Kod postrojenja uz industriju, digestor je veći jer je količina ulaznog materijala veća, no princip gradnje digestora te tehnologija koja ga čini, a поближе je opisana pod 6.1.1. ostaje ista. U tablici 50 prikazani su osnovni parametri koji su bitni za tehno-ekonomsku analizu postrojenja, a vezani su uz digestor.

Tablica 50 Podatci o digestoru

| DIGESTOR | | |
|--|---------|----------------|
| Grijanje digestora | 94.13 | kW |
| Protok bioplina | 102.91 | kW |
| Kapacitet digestora | 2000.00 | m ³ |
| Ovojnica digestora | 501.20 | m ² |
| Gubitci kroz zid | 14.03 | kW |
| Grijanje ulazne materije | 76.28 | kW |
| Gubitci cjevovoda od izvora topline | 3.81 | kW |

Toplina koja se proizvede kao nusprodukt proizvodnje električne energije može se iskoristiti u korisnu svrhu grijanja industrijskog prostora u neposrednoj blizini samog postrojenja. Predložena lokacija za postrojenje omogućuje isplativo grijanje zbog već spomenute blizine i lake dostupnosti postrojenju. Sam sustav grijanja određen je paušalno pomoću podataka dostupnih na internetu tj. vrijednosti vezane uz slične projekte. Osim ove procjene, koja je nužna za ekonomsku analizu, nije razrađen u detalje. Pod „slični projekti“ smatra se instalacija novog sustava za grijanje. Kako već postoji sustav možda je moguće unaprijediti ga u smanjeni trošak od navedenog u tablici 51.

Tablica 51 Sustav grijanja industrije

| SUSTAV ZA GRIJANJE INDUSTRIJE (Investicija) | | |
|--|-------------------------|--------------------|
| Određeno | 1kW za 10m ² | |
| Specifični trošak | 125,69 | HRK/m ² |
| Kvadratura tvornice za grijanje | 1200.00 | m ² |
| Cijena instalacije | 150832,26 | HRK |

Cijena instalacije koja ulazi u proračun je 200 000 HRK. Ona je uvećana s obzirom na cijenu prikazanu u tablici 51; ovo je namjerno učinjeno kako bi se cijenom obuhvatio maksimalni mogući predviđeni trošak.

6.3.2 Transport

Trošak transporta je kao u prošlom primjeru izračunat iz podataka Google maps aplikacije o udaljenosti pojedinih farmi do postrojenja. Proračun je isti kao u prošlom primjeru, no sad su udaljenosti veće. Kao i u prošlom primjeru sav trošak transporta svodi se na trošak goriva. Kako se transport obavlja vozilima već u posjedu farmera u proračun postrojenja nije uzet trošak servisa i rezervnih dijelova za traktore. U proračunu uključen je trošak polaska i povratka no u tablici 52 prikazane su udaljenosti samo u jednom smjeru.

Tablica 52 Transport u drugoj verziji

| TRANSPORT | Veće postrojenje | |
|--|-------------------------|-------|
| Dnevno pređeno km (1.) | 7.80 | Km |
| Dnevno pređeno km (2.) | 8.60 | Km |
| Dnevno pređeno km (3.) | 8.80 | Km |
| Dnevno pređeno km (4.) | 18.20 | Km |
| Potrošnja l po km | 0.75 | l/km |
| Kuna po litri (Plavi dizel) | 5,83 | HRK/l |
| Godišnja potrošnja (uz avaiability faktor) | 116137,10 | HRK |
| Dnevna potrošnja(4 traktora) | 189,77 | HRK |
| Mjesečna potrošnja | 5693,00 | HRK |

6.3.3 Smanjenje u emisijama CO₂

Parametri za izračunavanje emisija stakleničkih plinova navedeni su u tablici 53. Dio vrijednosti je isti kao i kod osnovne verzije no neke su promijenjene.

Tablica 53 Vrijednosti potrebne za račun emisija iz druge verzije postrojenja

| | | |
|--|------------|-------------------------------------|
| Preračunavanje emisije metana | 0.0385 | kg CH ₄ /glava godina |
| Preračunavanje emisije slame | 230 | dm ³ /kgVS |
| Ukupni broj glava | 1200 | |
| Masa slame | 5402.86279 | Kg |
| | 4 | |
| metanski ekvivalent CO ₂ | 25 | |
| Specifični faktor emisije po ukupno potrošenoj el. en. 2005-2010 | 0.227 | kg _{CO₂} /kWh |

Godišnje smanjenje emisija CO₂ ekvivalentno navedeno je u tablici 54. Očekivano, kod verzije postrojenja uz industriju postižu se kvalitativno znatno veća smanjenja emisije stakleničkih plinova.

Tablica 54 Emisija iz druge verzije postrojenja

| | | |
|---|------------|--------------------|
| Emisija metana s odlagališta | 399168.00 | kg CH ₄ |
| CO ₂ ekvivalent | 9979200.00 | |
| CO ₂ iz proizvodnje el. energije | 162988.95 | kg CO ₂ |
| CO ₂ iz bioplinskog postrojenja | 255408.69 | kg CO ₂ |
| Godišnja ušteda CO ₂ | 9886.78 | T |

6.3.4 Ekonomska analiza opravdanosti investicije

Sve što vrijedi za strukturu troškova kod osnovne verzije postrojenja, vrijedi i kod ove verzije s industrijom, samo su u ovom slučaju troškovi veći, što je i vidljivo iz tablice 55. Dodatan trošak je trošak energenta naveden u tablici 56; trošak transporta dodatno je opisan tablicom 52.

Tablica 55 Troškovi većeg postrojenja (Postr. uz industriju)

| TROŠKOVI | | |
|---------------------------|------------------|-----|
| | Veće postrojenje | |
| Trošak investicije | 7331246,2 | HRK |
| Trošak održavanja | 146624,924 | HRK |
| Trošak rada | 174737,2372 | HRK |
| Trošak transporta | 92909,68 | HRK |
| Trošak energenta | 53753,32468 | HRK |

Ovo postrojenje, nazivne električne snage 250 kW zahtijeva veću količinu ulaznog materijala. Kao izvor ulaznog materijala može poslužiti ista industrija koju postrojenje opskrbljuje toplinskom energijom. Dodatna sirovina koju je potrebno unijeti u postrojenje sastoji se od mesnih ostataka koji industriji predstavljaju trošak koji je potrebno podmiriti za zbrinjavanje i dodatnog gnojiva. Dodatno gnojivo se kupuje po cijeni navedenoj u tablici 56. Mesni ostaci se nabavljaju bez troška jer oni za industriju iz koju potječu predstavljaju umanjivanje troška. Točna procjena troška nije moguća jer ovisi o samom dogovoru između strana postrojenja i industrije. Iz ovog razloga odabrana je struktura troškova prikazana u tablici 56.

Tablica 56 Trošak goriva

| | Gnojiva | Mesnih ostataka |
|---------------------------------|----------------|------------------------|
| Cijena gnojiva | 75,00 | HRK/t |
| Cijena mesnih ostataka | 0,00 | HRK/t |
| Dnevni trošak | 23.40 | 0.00 |
| Mjesečni trošak | 701.96 | 0.00 |
| Godišnji trošak | 7159.94 | 0.00 |
| Godišnji trošak u kunama | 53753.32 | 0.00 |

Kao i u prošlom slučaju amortizacija se odnosi na isti tip pojedinih komponenata postrojenja navedenih u tablici 57. U ovom slučaju predviđena je kupnja CHP motora GE Jenbacher Type-2 izlazne električne snage 249 kW. Kao cijena motora pretpostavljena je udvostručena

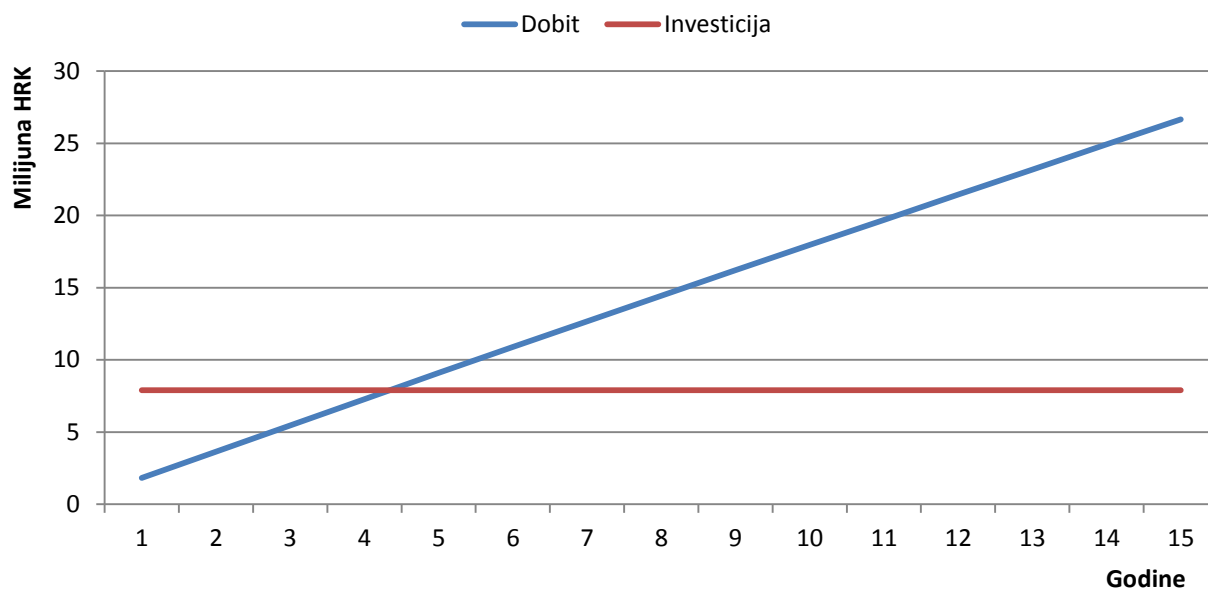
investicija za motor u usporedbi s prošlim primjerom. Uz ostale vrijednosti određene na isti način kao u prvom primjeru, određeni su parametri po kojima se provodi amortizacija postrojenja uz industriju u ovom radu.

Tablica 57 Amortizacija u drugoj verziji

| | Postotak investicije | HRK | Godišnja stopa | Godine amortizacije | Rata amortizacije |
|-------------------------------------|-------------------------|------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| Reaktor | 38.00% | 1288125,83 | 6.67% | 15 | 85875,05 |
| Agregat | 8.73% | 640000,00 | 20.00% | 5 | 128000 |
| Građevinski radovi | 29.27% | 992204,09 | 10.00% | 10 | 99220,41 |
| Namještaj, oprema, ostalo... | 24.00% | 813553,15 | 18.54% | 8 | 101694,14 |

6.3.5 Ocjene isplativosti, likvidnosti, rentabilnosti i osjetljivosti projekta

Dijagramom 4 prikazan je akumulirani financijski tok novca. S obzirom na analizu progresija dobiti je linearna te se može iščitati kako se povrat investicije ostvaruje za otprilike pet godina. Izračunat je i IRR koji iznosi **21.78%**.



Dijagram 4 Akumulirani tok novca i investicija u drugoj verziji postrojenja

Proračun je proveden uz fiksnu cijenu električne energije navedenu pod 6.2.2. Ovo nije točna cijena koja vrijedi za svaku godinu te se odraz promjene cijene na IRR može iščitati iz analize osjetljivosti.

Analiza likvidnosti provedena je uz financijski tok novca kao i u prethodnom primjeru te je rezultat vidljiv u tablici 58. Tijekom cijelog perioda financiranja projekta financijski tok novca je pozitivan što znači da se stvara dovoljan profit da se u svakom trenutku mogu podmiriti financijske obveze.

Tablica 58 Ekonomska analiza postrojenja uz industriju

Osnovni slučaj + industrija

| Investicija u sustav grijanja | 200000 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Investicija | 7331246 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Inv u sušaru | 375375.4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 |
| Zarada | | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 | 2369697 |
| Zarada od sušare (ukidanje bivših troškova) | | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 | 93000 |
| Zarada od prodaje toplinske energije | | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 | 181795.5 |
| Ukupna zarada | | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 | 2644492 |
| Ukupna zarada s porezom | | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 | 2115594 |
| Amortizacija sušare | | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 | 75075.08 |
| Reaktor | | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 |
| Agregat | | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 | 128000 |
| Građevinski radovi | | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 | 99220.41 |
| Namještaj, oprema, ostalo... | | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 | 101694.1 |
| Ukupna amortizacija | | 489864.7 | 489864.7 | 489864.7 | 489864.7 | 489864.7 | 286789.6 | 286789.6 | 286789.6 | 185095.5 | 185095.5 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 | 85875.06 |
| Troškovi održavanja | | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 | 146624.9 |
| Trošak goriva(prijevoz) | | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 | 116137.1 |
| Trošak rada (plaće) | | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 | 174737.2 |
| Trošak plaćanja goriva | | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 | 53753.32 |
| pozajmnica ukupno | 7906622 | | | | | | | | | | | | | | | |
| pozajmnica1 | 5929966 | 5458507 | 5365726 | 5268306 | 5166016 | 5058610 | 4945835 | 4827420 | 4703085 | 4572534 | 4435454 | | | | | |
| pozajmnica2 | 1976655 | 1768305 | 1751788 | 1733620 | 1713635 | 1691651 | 1667469 | 1640869 | | | | | | | | |
| kamata 1 | | 296498.3 | 272925.3 | 268286.3 | 263415.3 | 258300.8 | 252930.5 | 247291.7 | 241371 | 235154.3 | 228626.7 | | | | | |
| kamata 2 | | 197665.5 | 176830.5 | 175178.8 | 173362 | 171363.5 | 169165.1 | 166746.9 | | | | | | | | |
| glavnica1 | | 471459.4 | 92780.71 | 97419.74 | 102290.7 | 107405.3 | 112775.5 | 118414.3 | 124335 | 130551.8 | 137079.4 | | | | | |
| glavnica2 | | 208350.3 | 16516.67 | 18168.34 | 19985.18 | 21983.69 | 24182.06 | 26600.27 | | | | | | | | |
| rata1 | | 767957.7 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | 365706 | | | | | |
| rata2 | | 406015.9 | 193347.2 | 193347.2 | 193347.2 | 193347.2 | 193347.2 | 193347.2 | | | | | | | | |
| Financijski novčani tok | -7906622 | 979266.2 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1787534 | 1787534 | 1787534 | | | | | |
| Novčani tok netto | | 646591.2 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1594187 | 1787534 | 1787534 | 1787534 | | | | | |
| Trošak bez amortizacije | | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 | 491252.6 |
| Dobit | | 1663375 | 1663375 | 1663375 | 1663375 | 1663375 | 1866450 | 1866450 | 1866450 | 1968144 | 1968144 | 2067365 | 2067365 | 2067365 | 2067365 | 2067365 |
| Porez | | 332675 | 332675 | 332675 | 332675 | 332675 | 373290.1 | 373290.1 | 373290.1 | 393628.9 | 393628.9 | 413473 | 413473 | 413473 | 413473 | 413473 |
| Dobit s porezom | -7906622 | 1820565 | 1820565 | 1820565 | 1820565 | 1820565 | 1779950 | 1779950 | 1779950 | 1759611 | 1759611 | 1739767 | 1739767 | 1739767 | 1739767 | 1739767 |
| IRR | 0.21778 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sadašnja vrijednost | | 1485156 | 1326033 | 1183958 | 1057105 | 943843.8 | 844287.3 | 753828 | 709732.6 | 633689.8 | 594318 | 530641.1 | 473786.7 | 423023.8 | 377699.8 | |
| Sadašnja vrijednost projekta | 377699.8 | | | | | | | | | | | | | | | |

Ekonomska ocjena tj. rentabilnost projekta donesena je na temelju metode neto sadašnje vrijednosti projekta te IRR-a. Oba parametra ukazuju na rentabilan projekt pa je shodno tome ocjena pozitivna.

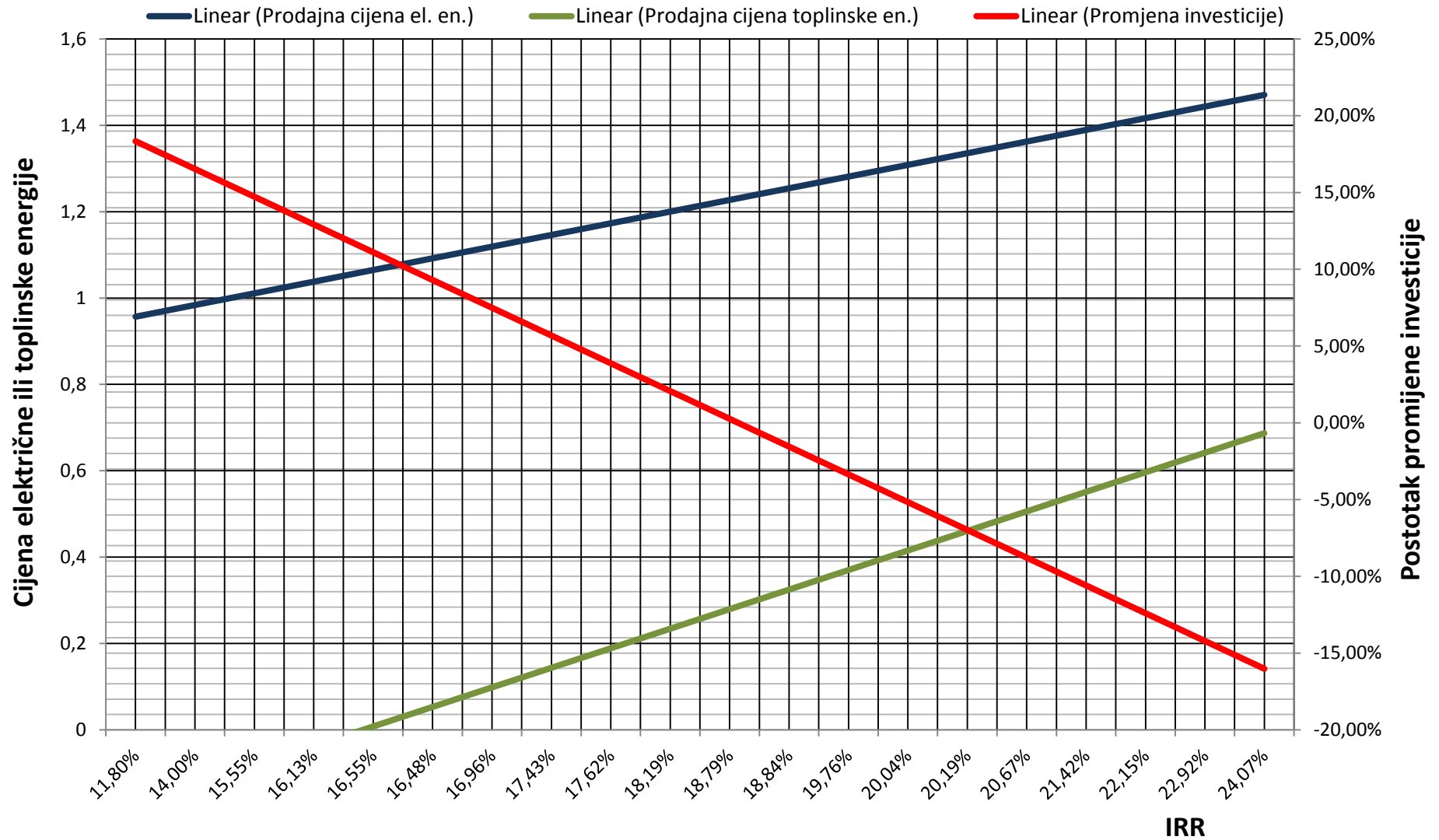
Uz kamatnu stopu od 6.25% neto sadašnja vrijednost (NPV) iznosi **377 699,82 HRK**.

IRR iznosi **21.78%** što se može smatrati pouzdanim da zadovoljava minimalnu stopu rentabilnosti.

Zadnji pokazatelj je ocjena osjetljivosti. Ovoj je provedeno kao i kod prethodnog, osnovnog, slučaja postrojenja no u ovom slučaju odabrani parametri koji se mijenjaju su prodajna cijena električne energije, toplinske energije te promjena investicije. Parametri vezani za ocjenu osjetljivosti prikazani su u tablici 59.

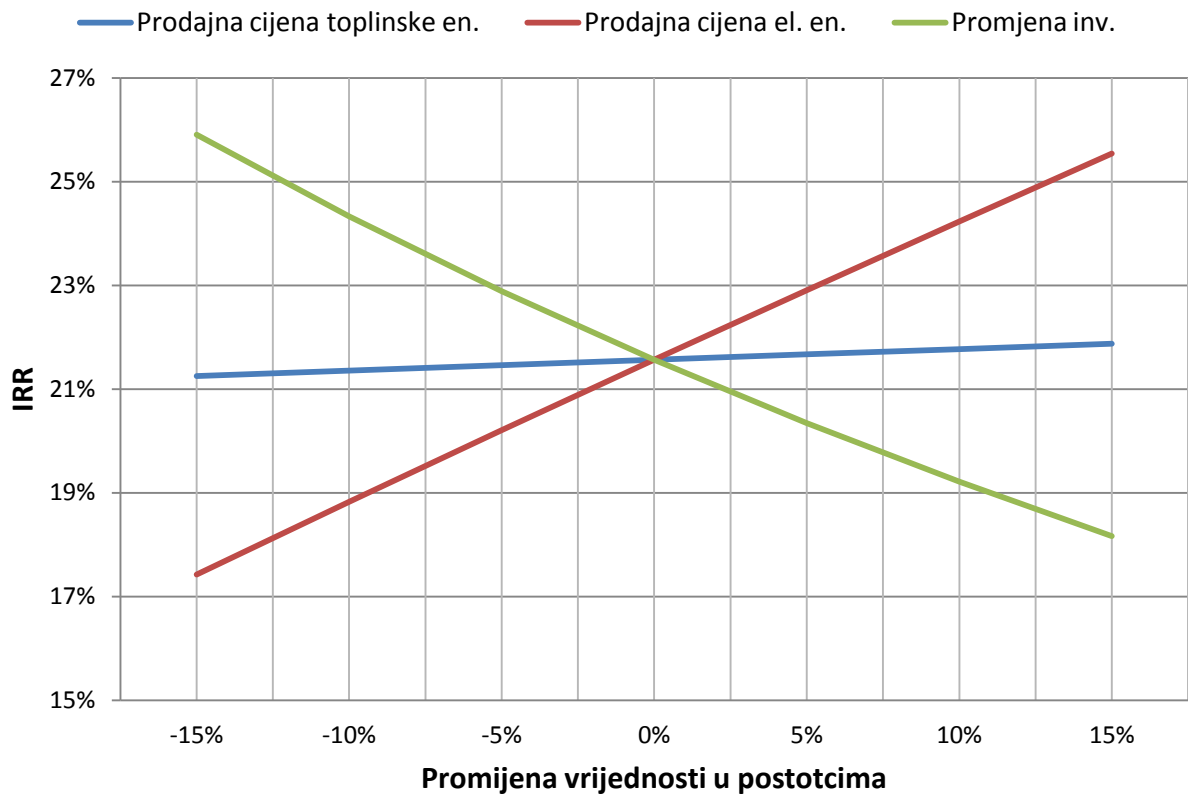
Tablica 59 Parametri u analizi osjetljivosti

| Prodajna cijena toplinske en. | IRR | Prodajna cijena el. en. | IRR | Promjena invest. | IRR |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------|------------|-------------------------|------------|
| 0.05 | 16.48% | 0.9 | 11.80% | -15% | 22.92% |
| 0.1 | 16.96% | 1 | 14.00% | -10% | 21.42% |
| 0.15 | 17.43% | 1.1 | 16.13% | -5% | 20.04% |
| 0.23 | 18.19% | 1.2 | 18.19% | 0% | 18.79% |
| 0.3 | 18.84% | 1.3 | 20.19% | 5% | 17.62% |
| 0.4 | 19.76% | 1.4 | 22.15% | 10% | 16.55% |
| 0.5 | 20.67% | 1.5 | 24.07% | 15% | 15.55% |



Dijagram 5 Analiza osjetljivosti

Dodatan dijagram kao i kod prošle verzije:



Dijagram 6 Osjetljivost- usporedba parametara

7 ISPLATIVOST POSTROJENJA UZ RAZLIČITE ENERGENTE

Pod metodologijom već je objašnjen princip pod kojim se proveo ovaj račun. U ovom dijelu pokazana je ekonomska strana koja svjedoči o isplativosti određenog energenta. U tablici 60 navedene su cijene pojedinih energenata korištenih u postrojenju. Teško je odrediti koja bi bila tržišna vrijednost ovih sirovina i vjerojatno je da bi u određenim okolnostima netko platio odvoz nekih navedenih sirovina, no kako bi stvorili dojam o tome koliko su općenito neki energenti isplativi, svakom energentu određena je cijena. Cijena goveđe stelje određena je u savjetovanju s jednim farmerom koji prodaje svoj višak prirodnog gnojiva, a za stelju kokoši i pilića uzeta je ista vrijednost iako je ona, ako je ima, vjerojatno niža. Otpad hrane ima pretpostavljenu visoku cijenu s obzirom na prethodna dva energenta. To je zato jer je ovaj energet gotovo uvijek potrebno prethodno obraditi što iziskuje dodatne troškove. Cijena kukuruzne silaže odabrana je identična trošku goveđe i pieće stelje zbog lakše usporedbe.

Tablica 60 Cijene energenata

| | | |
|-------------------------------|-------|--------|
| Goveđa stelja- gnojivo | 0.075 | HRK/kg |
| Pileća stelja- gnojivo | 0.075 | HRK/kg |
| Otpad hrane | 0.5 | HRK/kg |
| Kukuruzna silaža | 0,075 | HRK/kg |

Kod verzije od 100 kW preko rezultata može se jasno zaključiti kako je kukuruzna silaža najisplativiji energent za bioplinsko postrojenje. Otpadci hrane su najneisplativiji uglavnom zbog visoke cijene koja im je određena. Pileća stelja je po trošku veoma blizu kukuruznoj silaži pa se može zaključiti kako su taj energent ili njegova kombinacija s kukuruznom silažom isto isplativi.

Tablica 61 Trošak energenata- verzija od 100 kW

| | | |
|-------------------------------|------------|-----|
| Goveđa stelja- gnojivo | 418341,83 | HRK |
| Pileća stelja- gnojivo | 159360,83 | HRK |
| Otpad hrane | 2289173,17 | HRK |
| Kukuruzna silaža | 71680,95 | HRK |

Verzija od 250 kW ne unosi promjene u odnosima energenata. Primjetan je očekivani veći kvantitativni trošak energenata.

Tablica 62 Trošak energenata- verzija od 250 kW

| | | |
|-------------------------------|------------|-----|
| Goveđa stelja- gnojivo | 1004508,33 | HRK |
| Pileća stelja- gnojivo | 315926,28 | HRK |
| Otpad hrane | 5298000,80 | HRK |
| Kukuruzna silaža | 165896,64 | HRK |

8 ZAKLJUČAK

Svrha ovog rada je prikazati na konkretnom primjeru koliko je investicija u jedan slučaj bioplinskog postrojenja manje veličine isplativa. Ovaj rad prikazuje osnovne podatke o projektu te preko analize isplativosti ukazuje na opravdanost investiranja u ovo postrojenje. Ovdje nije prikazana detaljna analiza isplativosti, već je preko nekoliko osnovnih parametara ukazano na ekonomsku isplativost investicije. Za razliku od detaljne studije isplativosti ovaj rad nije uključivao procjenu konkretne opreme koja će činiti postrojenje. Glavni izvor netočnosti je to što je investicija procijenjena iz literature, a ne preko konkretnih ponuda izvođača te to što su poneki parametri paušalno određeni. Svaki takav slučaj paušalnog određivanja parametara je napomenut u samom radu. Unatoč netočnostima, pregledom ovog rada može se zaključiti kako je analiza dovoljno detaljna da se stvori okvirna slika o opravdanosti investicije. Iz analize osjetljivosti za obje verzije postrojenja vidljivo je kako utjecaj pojedinih faktora utječe na vrijeme povrata investicije. Povećanje cijene prodaje električne energije za samo **0,1 HRK/kWh** ubrzati će povrat investicije za otprilike pola godine. Cijena prodaje električne energije najviše utječe na isplativost postrojenja (značajno više nego cijena plavog dizela ili pogrešna procjena investicije) te možemo zaključiti da i uz detaljnu analizu IRR ne bi smio varirati više od 2 %. Cijena plavog dizela će gotovo sigurno rasti u budućnosti, no iz analize osjetljivosti može se iščitati kako ona najmanje utječe na IRR.

Osnovni parametar koji ukazuje na isplativost investicije je IRR koji u osnovnom slučaju postrojenja iznosi **19.16%**, a u drugoj verziji **21.78%**. Oba iznosa su ohrabrujuća jer se radi o visokim iznosima. Dobrim odabirom i povoljnom gradnjom samog postrojenja može se postići i viši iznos IRR-a. Ova analiza ukazuje na veću isplativost druge verzije postrojenja koja je jednim dijelom uvjetovana dogovorom s industrijom. Procjena isplativosti druge verzije postrojenja manje je pouzdana jer ovisi o cijeni koja se treba ugovoriti s industrijom, procijenjenim troškovima ugradnje te o tome da li je potrebno termički obraditi sirovinu prije ulaza u digestor. U ovom radu termička pred obrada nije uzeta u obzir.

Rad ukazuje da je investicija u bioplinsko postrojenje u oba slučaja opravdana te da se povrat investicije odvija u razumnom roku. Digestat koji je nusprodukt proizvodnje bioplina se može koristiti kao gnojivo dobre kvalitete, a dodatna pogodnost postrojenja je ta što pruža način za zbrinjavanje gnojiva koje bi se inače odlagalo. Na ovaj način se zadovoljava Nitratna direktiva koja će u Hrvatskoj uskoro stupiti na snagu.

Osim analize isplativosti za dvije verzije ispitana je isplativost uz različitu sirovinu. Rezultati pokazuju kako je korištenje kukuruzne silaže najisplativije za daljnje iskorištavanje u bioplinskom postrojenju.

9 LITERATURA

- [1] Tom Bond, Michael R. Templeton, History and future of domestic biogas plants in the developing world, *Energy for Sustainable Development* 15 347–354, 2011.
- [2] Marina Kasunić Peris, Ana Milićević Pezelj, Jagoda Milidrag Šmid, Darko Šeperić, Analiza zakonodavnog okvira na području energetike i socijalne skrbi, Zagreb, 2011.
- [3] Ministarstvo gospodarstva rada i poduzetništva, Europska unija, Kratki Vodič, Mingorp(RELEEL), 2009
- [4] Torsten Fischer, Andreas Krieg, Planing and construction of biogas plants
- [5] Internet izvor, Methane Digesters For Fuel Gas and Fertilizer, L. John Fry, http://journeytoforever.org/biofuel_library/MethaneDigesters/MD3.html, 2012.
- [6] T. Amon, V. Kryvoruchko, B. Amon, Methane production from maize, grassland and animal manures through anaerobic digestion, *Organic Waste Treatments: Safety Implications*
- [7] Prasad Kaparaju, María Serrano, Anne Belinda Thomsen, Prawit Kongjan, Irini Angelidaki, Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept, *Bioresource Technology*, 100, 2562–2568, 2009
- [8] Google maps, <http://maps.google.com/>, 2012
- [9] C. Walla, W. Schneeberger, The optimal size for biogas plants, *Biomass and bioenergy*, 32, 551 – 557, 2008
- [10] S. Kukić, B. Bračun, D. Kralik, R.T.Burns, S. Rupčić, Daria Jovičić, Comparison between biogas production from manure of laying hens and broilers, *Poljoprivreda* 16:2010 (1) 67-72
- [11] Ruihong Zhang, Hamed M. El-Mashad, Biogasproduction from co-digestion of dairy manure and food waste, *Bioresource Technology* Volume 101, Issue 11, June 2010, Pages 4021–4028
- [12] Miroslav Hutňan, Viera Špalková, Igor Bodík, Nina Kolesárová, Michal Lazor, Biogas Production from Maize Grains and Maize Silage, *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 19, No. 2, 323-329, 2010
- [13] Sustav evidencije zemljišnih parcela u RH- ARKOD, <http://www.arkod.hr/>, 2012
- [14] Sami Luste, Sari Luostarinen, Mika Sillanpaa, Effect of pre-treatments on hydrolysis and methane production potentials of by-products from meat-processing industry, *J Hazard Mater.* 164(1):247-55, 2009
- [15] Zorg biogas web stranice, <http://zorg-biogas.com>, 2012

- [16] Caterpillar web stranice, <http://www.cat.com/>, 2012
- [17] Internetske stranice Hrvatske elektroprivrede, www.hep.hr, 2012
- [18] Mr.sc. Davor Petranović, dipl.ing.el., Priključak proizvođača na distribucijsku mrežu, Zagreb, 2011
- [19] Ministarstvo gospodarstva, Energija u Hrvatskoj 2010, <http://www.mingorp.hr>
- [20] E. Gonzales Avalos, L.G. Ruiz Suarez, Methane emission factors from cattle manure in Mexico, Bioresource technology 80 63-71, 2001