

Potencijal mjera energetske učinkovitosti i implementacije obnovljivih izvora energije na farmama mliječnih krava

Vuleta, Goran

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:235:178895>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-06**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Goran Vuleta

Zagreb, 2012. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić

Student:

Goran Vuleta

Zagreb, 2012. godina.

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

Zahvaljujem se mentoru Nevenu Duiću i asistentu Tomislavu Pukšecu na svrsishodnoj i nesebičnoj pomoći tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Goran Vuleta

Sadržaj

Popis slika.....	6
Popis tablica	8
1. Uvod.....	14
1.1. Utjecaj proizvodnje mlijeka na okoliš	14
1.1.1. Tlo	14
1.1.2. Voda.....	15
1.1.3. Zrak	15
1.2. Obnovljivi izvori energije.....	18
2. Općenito o bioplinu	20
2.1. Prednosti korištenja bioplina	20
2.1.1. Ekološke prednosti	20
2.1.2. Društvene koristi	21
2.1.3. Koristi za poljoprivrednike	22
2.2. Bioplin	24
2.2.1. Sirovine za proizvodnju bioplina.....	25
2.2.2. Proces anaerobne digestije	30
2.2.3. Trenutno stanje i budući potencijal korištenja bioplina u RH	32
3. Metodologija	34
3.1. Obrada podataka iz energetskeg pregleda	34
3.2. Izračunavanje potencijala obnovljivih izvora energije	37
3.2.1. Bioplinsko postrojenje	37
3.2.2. Fotonaponski sustav	39
3.3. Izračunavanje smanjenja emisije stakleničkih plinova	40
4. Energetski pregled	42
4.1. Opći podatci	42

4.2.	Potrošnja energije	45
4.2.1.	Električna energija	49
4.2.2.	Potrošnja vode.....	59
4.2.3.	Potrošnja diesel goriva	60
4.3.	Trenutne emisije stakleničnih plinova	62
4.4.	Mjere povećanja energetske efikasnosti	63
4.4.1.	Ugradnja varijabilnog frekvencijskog pretvarača	65
4.4.2.	Zamjena postojećih ventilatora sa HVLS ventilatorima.....	68
4.4.3.	Ugradnja automatskog sustava hranjenja u glavnu štalu.....	72
5.	Upotreba obnovljivih izvora energije	76
5.1.	Bioplinsko postrojenje 100 kW	76
5.2.	Fotonaponski sustav 30 kW	84
6.	Zaključak	93
	Literatura	94

Popis slika

Slika 1.	Emisije metana s obzirom na način odlaganja ekskremenata	16
Slika 2.	Pokrivenost energetske potrebe RH domaćom proizvodnjom.....	18
Slika 3.	Količina neugodnih mirisa	22
Slika 4.	Ciklus hranidbenih tvari	23
Slika 5.	Iskoristivost dušika u svježem i obrađenom gnoju	24
Slika 6.	Prinos metana po vrsti sirovine	28
Slika 7.	Udjeli sirovina u njemački bioplinskim postrojenjima	29
Slika 8.	Proces anaerobne digestije	30
Slika 9.	Struktura stočarske proizvodnje	32
Slika 10.	Horizontalno zračenje na lokaciji farme	39
Slika 11.	Farma Agrobovis d.o.o.....	42
Slika 12.	Lokacija Agrobovis farme.....	43
Slika 13.	Mikrolokacija Agrobovis farme	43
Slika 14.	Raspodjela potrošnje električne energije po objektima.....	45
Slika 15.	Raspodjela potrošnje energije po energentima.....	46
Slika 16.	Raspodjela troškova energije na farmi	48
Slika 17.	Raspodjela potrošnje električne energije po mjesecima	50
Slika 18.	Udio instalirane snage po sustavima	51
Slika 19.	Vakuumska pumpa	52
Slika 20.	Sustav mužnje (1. – izmuzište, 2. – laktofriz, 3. – Pranje, 4. – Vakuumska pumpa) 53	
Slika 21.	Izmuzište	53
Slika 22.	Sustav za grijanje vode.....	55
Slika 23.	Mlin	55
Slika 24.	Potrošnje električne energije po sustavima	57
Slika 25.	Potrošnja vode po mjesecima	60

Slika 26.	Potrošnja plavog dizela po mjesecima	61
Slika 27.	Struktura emisija stakleničkih plinova	63
Slika 28.	Eaton VFP	67
Slika 29.	HVLS MacroAir ventilator	69
Slika 30.	DeLaval RA135.....	73
Slika 31.	Struktura investicije u bioplinsko postrojenje	80
Slika 32.	Kumulativni novčani tok ulaganja u bioplinsko postojenje	82
Slika 33.	Analiza osjetljivosti ulaganja u bioplinsko postrojenje.....	84
Slika 34.	Solarno zračenje na nagnutu plohu (15^0)	85
Slika 35.	Fotonaposki paneli i inverter	86
Slika 36.	Struktura ulaganja u fotonaposki sustav.....	88
Slika 37.	Kumulativni nočani tok PV sustava uz otkupnu cijenu 3,46 kn/kWh	90
Slika 38.	Kumulativni novčani tok uz otkupnu cijenu 2,23 kn/kWh	92

Popis tablica

Tabela 1.	Struktura opće potrošnje u RH	19
Tabela 2.	Smanjenje emisije stakleničkih plinova	21
Tabela 3.	Sastav bioplina	25
Tabela 4.	Sirovine za proizvodnju bioplina	26
Tabela 5.	Energetska vrijednost različitih sirovina	29
Tabela 6.	Vrijednosti korištene u proračunu energetskeg pregleda	36
Tabela 7.	Vrijednosti za proračun hlađenja mlijeka.....	37
Tabela 8.	Vrijednosti za proračun bioplinskog potencijala.....	39
Tabela 9.	Opći podatci o farmi.....	44
Tabela 10.	Indeks iskorištenje energije (EUI).....	47
Tabela 11.	Troškovi električne energije	49
Tabela 12.	Potrošači električne energije	50
Tabela 13.	Potrošnja električne energije po sustavima	58
Tabela 14.	Potrošnja vode	59
Tabela 15.	Potrošnja plavog dizela	61
Tabela 16.	Emisije stakleničkih plinova	62
Tabela 17.	Predložene mjere energetske učinkovitosti	64
Tabela 18.	Uštede električne energije ugradnjom VFP.....	66
Tabela 19.	Ekonomski parametri ugradnje VFP	67
Tabela 20.	Uštede električne energije zamjenom ventilatora	69
Tabela 21.	Ekonomski parametri zamjene ventilatora	70
Tabela 22.	Uštede energije ugradnjom ASH.....	72
Tabela 23.	Ekonomski parametri ugradnje ASH	74
Tabela 24.	Sumarni prikaz ulaganja u OIE	76
Tabela 25.	Broj uvjetnih grla na farmi	77

Tabela 26. Prinosi suhe tvari i konverzijski faktor za biljke.....	78
Tabela 27. Potrebe dodatne količine sirovine za rad postrojenja.....	79
Tabela 28. Cijene opreme za bioplinsko postrojenje.....	79
Tabela 29. Prihodi, troškovi i kredit.....	81
Tabela 30. Troškovi amortizacije.....	82
Tabela 31. Ekonomski parametri ulaganja u bioplinsko postrojenje	83
Tabela 32. Isporučena električna energija po mjesecima.....	87
Tabela 33. Cijene opreme fotonaponskog sustva.....	88
Tabela 34. Prihodi i troškovi PV sustva.....	89
Tabela 35. Ekonomski parametri ulaganja u PV sustav.....	91

Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Opis
PE_{pd}	kWh	potrošnja plavog dizela
V_{pd}	l	potrošnja plavog dizela
H_{dpd}	kWh/l	donja ogrjevna vrijednost plavog dizela
PE_{ee}	kWh	potrošnja električne energije
EUI	kWh/grlu	indeks iskorištenja energije
EUI_{pd}	kWh/grlu	indeks iskorištenja energije plavog dizela
EUI_{ee}	kWh/grlu	indeks iskorištenje električne energije
E_{vp}	kWh	potrošnja energije vakuum pumpe
N_{kr}		broj krava
EUI_{vp}	kWh/kravi	indeks iskorištenje energije vakuum pumpe
N_{gr}		broj grla
EUI_{hm}	kWh/kg m	indeks iskorištenja energije laktofirza
E_{hm}	kWh	potrošnja energije laktofirza
m_m	kg	dnevna masa mlijeka
C_{ee}	kn	troškovi električne energije
C_{pd}	kn	troškovi plavog dizela
TC_e	kn	ukupni troškovi energije
P_{ee}	kn/kWh	cijena električne energije
P_{vt}	kn/kWh	cijena više tarife
P_{nt}	kn/kWh	cijena niže tarife
VT	%	vrijeme rada u višoj tarifi
NT	%	vrijeme rada u nižoj tarifi

P_{pd}	kn/l	cijena plavog dizela
W_j	kWh	potrošnja električne energije sustava
P_i	kW	snaga sustava
t_i	h	vrijeme rada sustava
Q_h	kJ	toplina mlijeka
c_{pm}	kJ/kg K	toplinski kapacitet mlijeka
v_1	0C	izlazna temperatura mlijeka
v_2	0C	temperatura mlijeka u laktofirzu
τ_{lf}	h	vrijeme rada laktofirza
COP_{lf}		koeficijent laktofirza
P_{lf}	kW	snaga laktofirza
UG		broj uvjetnih grla
N		broj grla
m_z	kg	prosječna masa grla
t_s	%	vrijeme provedeno u štali
V_g	m ³	volumen gnoja
VUG	m ³ /UG	volumen gnoja po UG
m_{ST}	kg	masa suhe tvari
ST_x	%	udio suhe tvari
O_x	%	udio organske tvari
V_{bpg}	m ³	volumen bioplina iz gnoja
X_{STg}	m ³ /kg ST	konverzijski faktor za goveda
A	ha	površina nasada
Y_{ST}	kg ST/ha	prinos suhe tvari
X_{STc}	m ³ /kg ST	konverzijski faktor za biljku
V_{BPC}	m ³	volumen bioplina iz nasada
V_{BP}	m ³	ukupni volumen bioplina

P_{el}	kW	snaga Otto motora
H_{dBP}	kWh/m ³	donja ogrjevna vrijednost bioplina
η_m		efikasnost motora
$\omega_{H/E}$		omjer toplinske i električne energije
AP	%	autonomna potrošnja
E_{BP}	kWh	električna energija isporučena u mrežu
μ_{BP}	%	raspoloživost postrojenja
Q_{neto}	kWh	raspoloživa toplinska energija
Q_{AD}	kWh	potrošnja topline digestora
E_{β}	kWh/m ²	količina solarnog zračenja na plohu nagnutu pod kutom β
E_h	kWh/m ²	količina solarnog zračenja na horinotalnu plohu
R_b		omjer zračenja horizontalne i nagnute plohe
μ_{PV}		efikasnot solarnog sustava
$\mu_{PV,mod}$		efikasnot PV modula
$\mu_{PV,kon}$		efikasnost invertera
$\mu_{PV,g}$		koeficijent gubitaka
E_{PV}	kWh	električne energija isporučena u mrežu
A_{PV}	m ²	površina PV modula
GHG_{ene}	t CO ₂	smanjene emisije zbog smanjenja potrošnje
ΔE	kWh	smanjenje potrošnje energije
χ_{ene}	kg CO ₂ /kWh	specifična emisija CO ₂
GHG_{met}	t CO ₂	smanjenje emisije zbog hvatanja metana
y	%	udio metana u bioplinu
$\rho(CH_4)$	kg/m ³	gustoća metana
$X(CH_4)$		faktor ekvivalencije za metan

SAŽETAK

Poljoprivredna proizvodnja ima značajan utjecaj na okoliš. Odlaganje ekskrementa sa govedih farmi predstavlja veliki izazov. Bioplinsko postrojenje sa anaerobnim digestorom predstavlja idealno rješenje odlaganja biootpada sa mljekarskih i drugih farmi.

Izvršene je energetski pregled mliječne farme od 470 grla u slavonskom selu Ivanovci. Ukupna potrošnja električne energije na farmi iznosi 74.669 kWh godišnje, a tropi se i 36.000 litara plavog dizela. Predložene su tri mjere energetske učinkovitosti čijom bi se implementacijom uštedilo 110.000 kWh energije.

Osim poboljšanja energetske učinkovitosti razmatrani su i projekti primjene obnovljivih izvora energije. Predložena su dva projekta, 100 kW bioplinsko postrojenje na temelju izračunatog bioplinskog potencijala farme. Drugi projekt je fotonaponski sustav od 30 kW. Za oba projekta izvršena je tehno-ekonomska analiza kojom je utvrđeno da su oba projekta isplativa.

1. Uvod

1.1. Utjecaj proizvodnje mlijeka na okoliš

Poljoprivreda je osnovna ljudska djelatnost koja je stoljećima bila glavni uzrok negativne interakcije između čovjeka i njegovog okruženja. Eksponencijalnim rastom populacije u zadnja dva stoljeća došlo je i do promjene načina uzgoja hrane, te se danas koriste tehnike intenzivne poljoprivrede kako bi se zadovoljile povećane potrebe za prehranjivanjem stanovništva. Takav način poljoprivredne proizvodnje ima mnogo veći utjecaj na okoliš, a širenjem intenzivne poljoprivrede postavlja se i pitanje samo održivosti sustava u cjelini.

Proizvodnja mlijeka čini značajan dio poljoprivredne proizvodnje, a njen moderni intenzivni oblik ima značajan utjecaj na okoliš. Intenzivni oblik mljekarske proizvodnje karakteriziraju veliki broj grla smještenih u staji cijelo vrijeme, koja pri tome proizvode od 7000 do 14000 kg mlijeka po grlu godišnje. Značajan je utjecaj ovakvog načina proizvodnje na okoliš, prije svega na tlo, vodu i zrak dok su utjecaji na bioraznolikost i staništa zanemarivi. [1]

1.1.1. Tlo

Mljekarska proizvodnja mijenja strukturni, kemijski i ekološki sastav tla što utječe na plodnost i mogućnost recikliranja hranjivih tvari. Tradicionalan način mljekarske proizvodnje je u svojevrsnoj ravnoteži sa procesima u tlu i povezuje se sa povećanjem ekološke i strukturne kompleksnosti tla, kao i poboljšanjem stabilnosti tla. Prelazak na intenzivno mljekarstvo donosi čitav niz ekoloških problema. Smanjuje se udio organskih tvari u tlu, što negativno djeluje na plodnost tla. Kada je tlo podvrgnuto intenzivnoj uporabi dolazi do erozije i ispiranja gornjeg sloja bogatog hranjivim tvarima. Nadalje, smanjuje se recikliranje organskih tvari u obliku životinjskog gnoja, preopterećuje se tlo upotrebom životinjskih i umjetnih gnojiva te dolazi do dodatnog zagađenja u obliku ostataka hrane, veterinarskih lijekova i pesticida. Navodnjavanje tla također može negativno utjecati na sastav i strukturu tla, jer dolazi do povećanog sadržaja soli u površinskim slojevima tla većinom u suhim klimama, a također postoji opasnost od erozije površinskog sloja bogatog hranjivim tvarima čime se smanjuje plodnost tla. [1]

Ciklus hranjivih tvari je pod utjecajem ulaznih varijabli korištenih na farmi: načina prehrane, proizvodnje hrane i krmiva za životinje, te način skladištenja i odlaganja gnoja. Osnovne hranjive tvari su fosfati, nitrati i kalij. One su ispuštaju u zrak i tlo na različitim lokacijama na

farmi. Intenzivni način proizvodnje podrazumijeva upotrebu neorganskih gnojiva, dodataka hrani i koncentriraniju upotrebu životinjskog gnoja. Umjetna i životinjska gnojiva se dodaju u tla obično u većim količinama nego što ih tlo može zadržati, pa oni zagađuju šire područje ulazeći u podzemne vode ili prelazeći u druge dijelove tla.

Osim gnojiva umjetnog i životinjskog podrijetla, i razni dodatci prehrani životinja i lijekovi negativno djeluju na tlo, jer sadrže metale poput cinka, bakra ili kadmija.

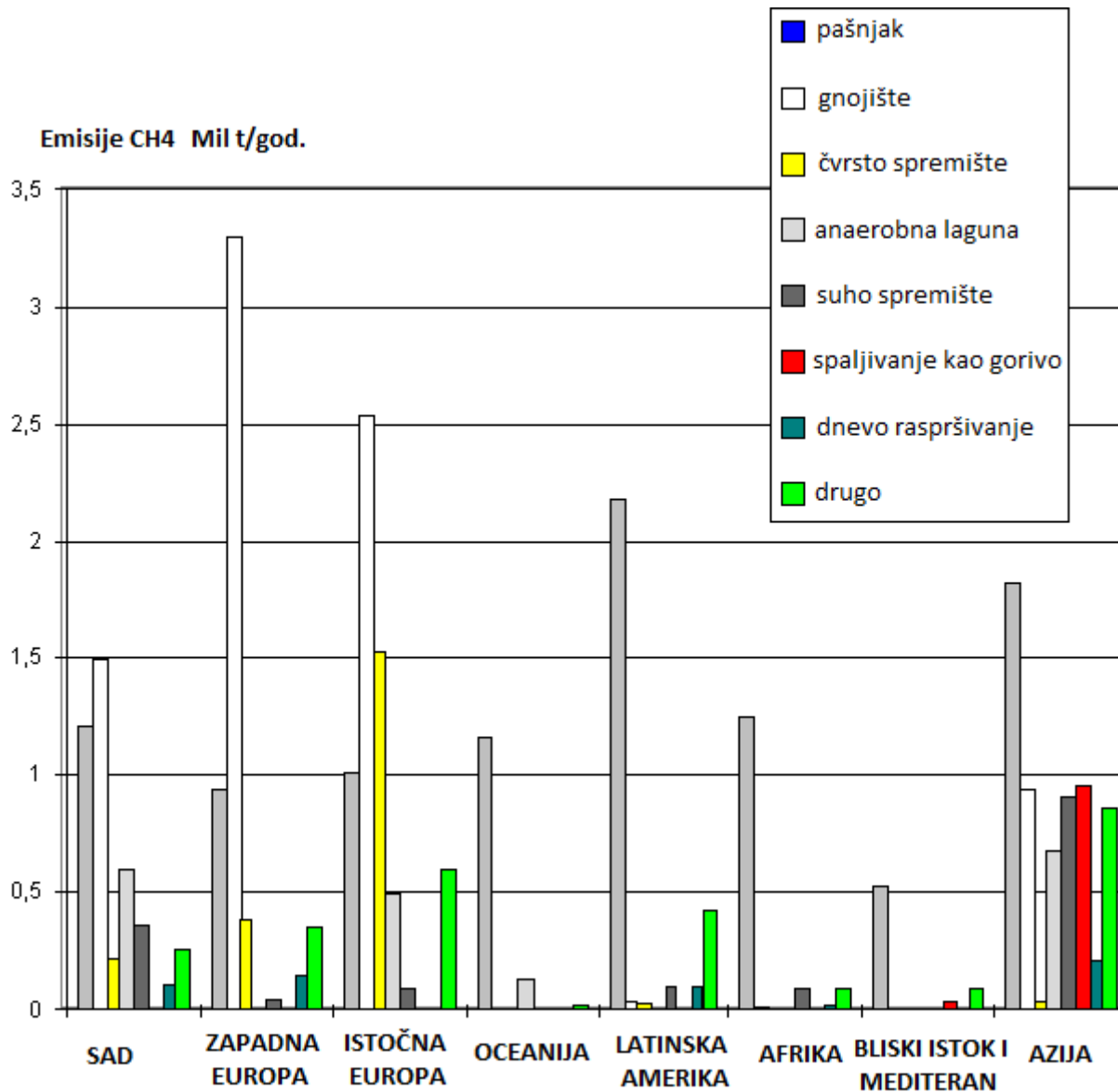
1.1.2. Voda

Mljekarska proizvodnja utječe na površinske i podzemne vode na niz načina. Već prije spomenuta prekomjerna upotreba gnojiva može dovesti do otapanja nitrata, kalija i nekih fosfata u vodi i tako prodrijeti do podzemnih i površinskih voda i povećati udio hranjivih tvari u njima, što negativno djeluje na njihovu kvalitetu.

1.1.3. Zrak

Zagađenje zraka povezano je prije svega sa emisijom stakleničkih plinova, prije svega metana, amonijaka i dušikova oksida. Ostali polutani zraka poput sumporovodika su zanemarive važnosti. Poljoprivredna proizvodnja u cjelini je odgovorna za 18% svjetskih emisija stakleničkih plinova. Od toga 37% antropološke emisije metana, 60 % dušikova oksida i 64 % emisija amonijaka dolazi iz uzgoja životinja. [2]

Preživači proizvode 20 % metana, od čega je većina (80 %, 86.6 miliona tona CH_4 godišnje) crijevnog podrijetla kojeg je moguće kontrolirati kroz prehranu životinja. Zbog upotrebe dodataka prehrani u intenzivnom načinu proizvodnje poboljšava se pretvaranje hrane, tako da krave iz intenzivnog uzgoja stvaraju manje metana od onih u tradicionalnom načinu proizvodnje. [1] Slika 1 pokazuje raspodjelu emisije metana u različitim načinima zbrinjavanja gnoja.



Slika 1. Emisije metana s obzirom na način odlaganja ekskremenata

Amonijak se oslobađa u procesu skladištenja ekskrementa i njegove upotrebe na oranicama i pašnjacima. Emisije amonijaka iz staja i skladišta gnoja predstavljaju 35 – 50 % ukupno otpuštenog dušika. Mnogo veći rizici od isparavanja amonijaka se pojavljuju nakon njegove primjene na oranicama i pašnjacima, pri čemu je količina isparenog amonijaka iz gnoja 1,5 puta veća na pašnjacima nego na oranicama.[1] Udio suhe tvari u gnoju ima presudnu ulogu na količinu otpuštenog amonijaka.

Osim emisije stakleničkih plinova koji su posljedica prirodnih procesa u samim životinjama, značajne su i indirektno emisije CO₂ koje generira mljekarski sektor. Proizvodnja hrane i krmiva za životinje, kao i gradnja staja i drugih gospodarskih objekata te korištenje

mljekarske opreme proizvode značajne količine CO₂ zbog upotrebe fosilnih goriva i električne energije.

Smanjenje negativnih utjecaja intenzivnog načina mljekarske proizvodnje od presudne je važnosti za održivost postojećeg sustava. Kao osnovni problem nameće se emisija stakleničkih plinova, koju je moguće smanjiti na dva načina:

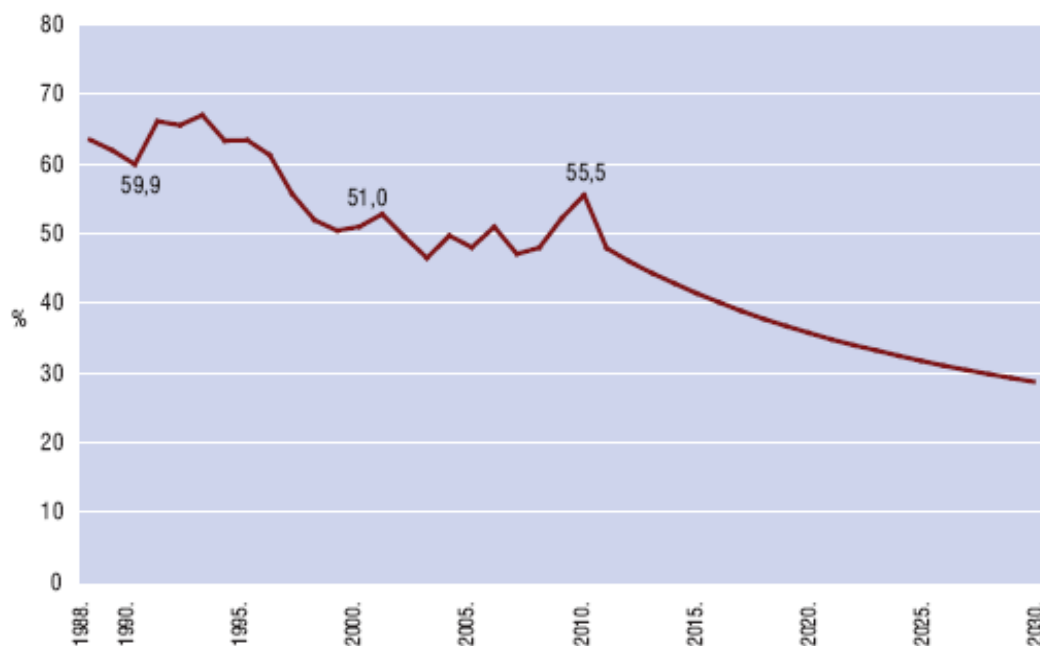
- smanjenjem upotrebe energije, tj. povećanjem energetske efikasnosti
- recikliranjem utrošene energije proizvodnjom bioplina.

Osim smanjenja emisije stakleničkih plinova potrebno je i smanjiti upotrebu gnojiva i nekontrolirano odlaganje koje dovodi u opasnost vodotokove i tlo.

1.2. Obnovljivi izvori energije

Energetska neovisnost i diversifikacija energetskeg miksa postaje sve značajnija u modernim nestabilnim vremenima. Kako je Europa, u načelu siromašna energentima, obnovljivi izvori energije predstavljaju jedini način smanjenja uvozne ovisnosti i povećanja sigurnosti opskrbe svih europskih zemalja uključujući i Hrvatsku. Hrvatska trenutačno uvozi 45 % primarne energije, sa stalnom tendencijom porasta. Procjenjuje se da će u 2030. godini Hrvatska uvoziti 70 % svojih energetske potrebe.[3]

Potpisom pristupnog ugovora sa Europskom unijom Hrvatska je preuzela i obaveze iz europske direktive 2008/28/EC.[4] U sklopu nje planirano je smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20 %, povećanje udjela obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji na 20 % i povećanje energetske efikasnosti za 20 % na razini cijele Europske Unije. Svaka zemlja članica dobila je obaveze u pogledu povećanja udjela obnovljivih izvora.



Slika 2. Pokrivenost energetske potrebe RH domaćom proizvodnjom

U sklopu energetske strategije RH donesene 2009. godine predviđena je udio obnovljivih izvora 2020. godine od 13,3 % u ukupnoj potrošnji energije.[5] Kako bi se ostvario taj cilj

potrebna su znatna ulaganja u energetske sustav RH i to u sve oblike obnovljivih izvora energije, uključujući i bioplinska kogeneracijska postrojenja.

1.3. Energetska efikasnost

Nadalje, osim povećanja udjela obnovljivih izvora energije, Hrvatska se obvezala i povećati energetske efikasnost u svim gospodarskim granama uključujući i poljoprivredu. Hrvatski poljoprivredni sektor troši 10,27 PJ energije, što čini 8 % ukupne opće potrošnje u 2010. godini.[4] Iako se ne radi o velikom udjelu, zbog sastava hrvatske poljoprivrede, kojim dominiraju mala obiteljska gospodarstva, moguće je ostvariti znatne energetske uštede. Naime, oprema i sustavi koji se koriste na hrvatskim farmama su zastarjeli i neučinkoviti, a njihovom zamjenom mogući su značajni pomaci u pogledu energetske efikasnosti.

Tabela 1. Struktura opće potrošnje u RH

	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2010./09.	2005.-10.
	PJ						%	
Kućanstva Households	81,15	78,42	72,96	76,17	77,23	80,81	4,6	-0,1
Uslužni sektor Services	28,24	28,13	27,88	29,76	30,06	31,72	5,5	2,3
Poljoprivreda Agriculture	10,14	10,27	10,05	10,59	10,47	10,27	-1,9	0,3
Građevinarstvo Construction	6,60	7,23	7,69	8,61	6,72	5,85	-12,9	-2,4
UKUPNO OPĆA POTROŠNJA TOTAL OTHER SECTORS	126,12	124,05	118,58	125,12	124,48	128,65	3,3	0,4

Izvor | Source: EIHP

2. Općenito o bioplinu

2.1. Prednosti korištenja bioplina

Jedan od načina smanjivanja negativnog utjecaja mljekarske proizvodnje na okoliš je i izgradnja postrojenja za anaerobnu digestiju u kojima se iz životinjskih i biljnih ostataka proizvodi bioplin. Osim ekoloških prednosti, korištenje bioplina nudi i čitav niz drugih prednosti u pogledu primjene obnovljivih izvora energije, koji sami po sebi donose brojne društvene i energetske koristi (vidi 1.2.). Nadalje, korištenje bioplina nudi mnoge benefite i samim poljoprivrednicima kao i poboljšanje sanitarnih i zdravstvenih uvjeta za širu zajednicu.

2.1.1. Ekološke prednosti

Procesom anaerobne digestije stvara se obnovljivi izvor energije čime se postiže dvostruki pozitivni učinak na smanjivanje emisije stakleničkih plinova:

- Zbog upotrebe bioplina smanjuje se upotreba fosilnih goriva i time se reducira emisija stakleničkih plinova nastala njihovim izgaranjem.
- Hvatanjem nekontroliranih emisija metana i dušikova oksida u digestoru smanjuje se njihova emisija u atmosferu.

Procjenjuje se da bi se anaerobnom digestijom metana moglo smanjiti njegova emisija za 13,24 Mil. t/god., a upotrebom bioplina umjesto fosilnih goriva i drva za ogrjev smanjila bi se emisija CO₂ za dodatnih 90 Mil. t/god pa ukupno smanjenje stakleničkih plinova zbog upotrebe bioplina iznosi 420 Mil. t/god CO₂ ekvivalenta. [6]

Osim smanjenja emisija metana i ugljičnog dioksida, u bioplinskim postrojenjima reducira se i emisija dušikova oksida, i to na nekoliko načina:

- nema emisija zbog skladištenja gnoja,
- izbjegnuti su anaerobni uvjeti u tlu koji pogoduju razvoju N₂O
- povećana dostupnost dušika biljkama, čime se brže apsorbira dušik u nasade
- smanjuje se upotreba umjetnih gnojiva, koji u procesu proizvodnje stvaraju stakleničke plinove uključujući i N₂O.

Ukupno smanjenje emisija N_2O teško je procijeniti, ali procjenjuje se da se anaerobnom obradom gnoja može reducirati 10% godišnjih emisija N_2O , što iznosi 15,7 Mil. t/god CO_2 ekvivalenta. Sumarni prikaz smanjenja emisija stakleničkih plinova na svjetskoj razini prikazuje Tablica 2.

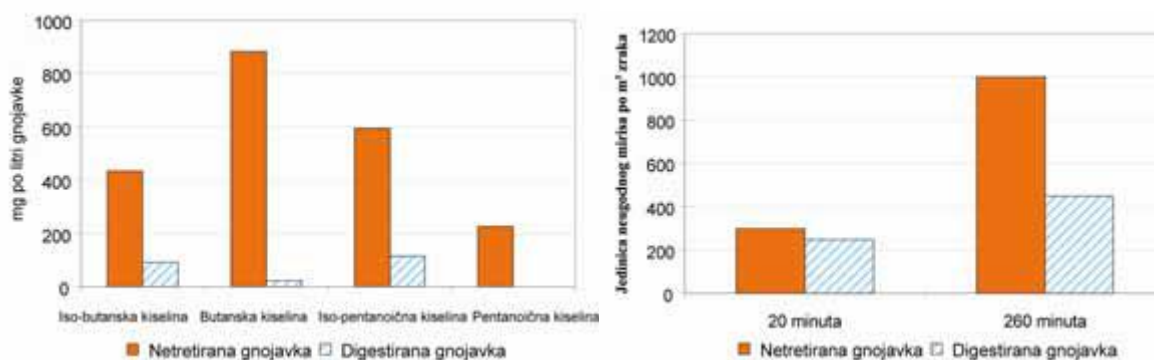
Tabela 2. Smanjenje emisije stakleničkih plinova

Vrsta stakleničkog plina	Smanjenje emisija [Mil. t/god]	Ekvivalen CO_2 [Mil t./god]
Metan [CH_4]	13,24	330
Ugljični dioksid [CO_2]	90	90
Dušikov (II) oksid [N_2O]	0,049	15,7
Ukupno		436

Pored smanjivanja emisije stakleničkih plinova, upotrebom bioplina povoljno se djeluje na okoliš i smanjenjem količine otpada i njegovim pretvaranjem u visokovrijedno organsko gnojivo. Time se smanjuje ne samo količina otpada već i veličina odlagališta i cijena zbrinjavanja otpada. Za proizvodnju bioplina koristi se najmanja količina vode u odnosu na ostala biogoriva, tako da se njegovom primjenom smanjuje potrošnja vode. Nadalje, zbog odgovarajućeg zbrinjavanja biotpada značajno se smanjuje opasnost od zagađivanja površinskih i podzemnih vodotoka. Razgradnja organskih tvari koja se događa u procesu anaerobne digestije, uključuje razgradnju organskih kiselina, mirisnih ugljikovodika i opasnih tvari što povoljno djeluje na strukturu i sastav tla kada se digestat primjenjuje kao gnojivo.

2.1.2. Društvene koristi

Obrada ljudskih i životinjskih ekskrementa u postrojenjima za proizvodnju bioplina značajno poboljšava sanitarne uvjete u lokalnoj zajednici. Procesom fermentacije značajno se smanjuje patogeni potencijal obrađenih sirovina u digestatoru. Značajno poboljšanje higijenskih uvjeta doprinosi poboljšanju zdravstvenih uvjeta, a eliminacija neugodnih mirisa poboljšava kvalitetu života na selu. Digestat ne privlači muhe i druge prijenosnike bolesti, te se time također poboljšavaju zdravstveni uvjeti kako za ljude, tako i za životinje. Slika 3. prikazuje koncentraciju neugodnih mirisa tretiranog i netretiranog stajskog gnoja.



Slika 3. Količina neugodnih mirisa

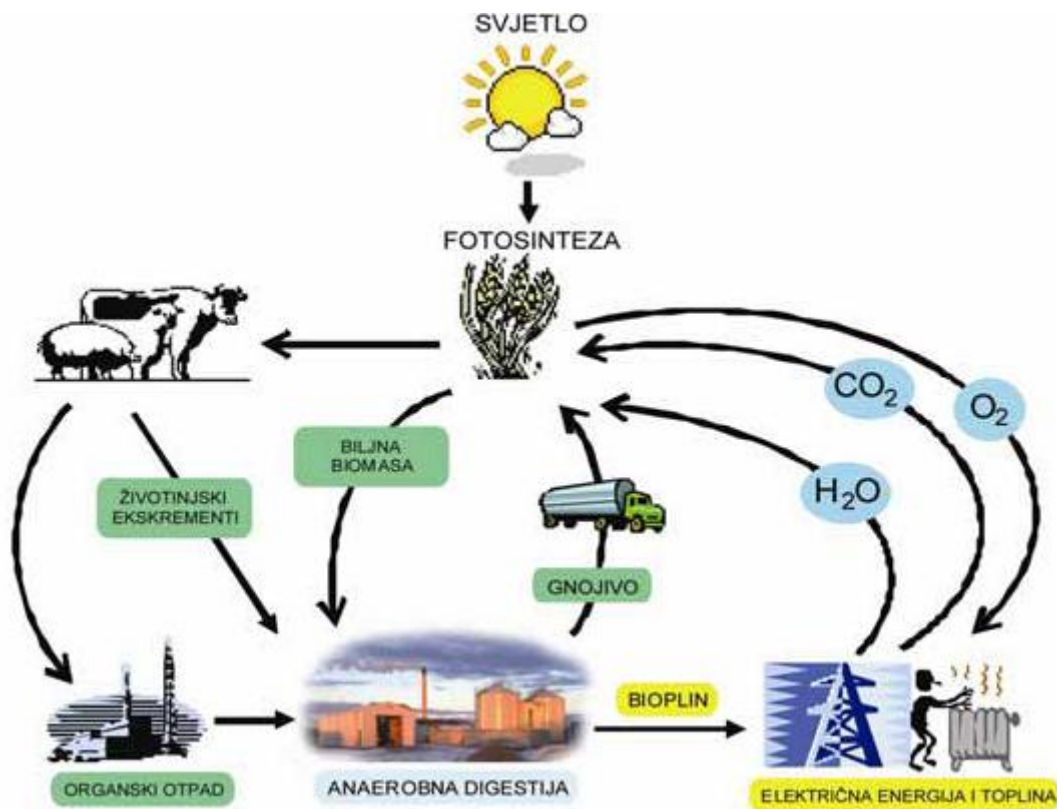
Bioplin kao obnovljiv izvor energije donosi i prednost dodatnog zapošljavanja, kako lokalnog stanovništva na održavanju postrojenja i opreme, tako i povećanju zaposlenosti u cijeloj državi na poslovima proizvodnje opreme i projektiranja postrojenja. Broj generiranih radnih mjesta ovisi o razvijenosti domaće industrije, primjerice u Njemačkoj je u 2008. godini u bioplinskim poslovima radilo 7.300 ljudi, od čega 4.000 na održavanju i vođenju postrojenja, a 3.300 na razvoju i proizvodnji opreme. Procijenjeno je da 1 TWh električne energije proizvedene iz bioplina otvara 560 novih radnih mjesta (podatak za Dansku), od čega je 420 radnih mjesta u sektoru održavanja i upravljanja postrojenjima, a 140 je proizvodnih radnih mjesta. [7]

Otvaranje novih radnih mjesta, poboljšanje kvalitete života i dodatni prihod koji ostvaraju stanovnici ruralnih područja pogoduje njihovom razvoju i zadržavanju ljudi na tim područjima, tako da bioplinska postrojenja imaju značajan potencijal za razvoj ruralnih područja.

2.1.3. Koristi za poljoprivrednike

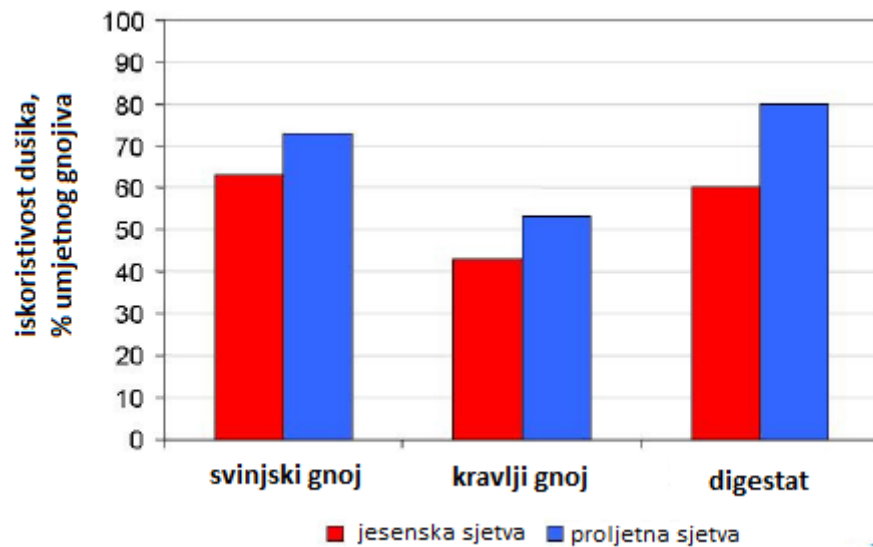
Koristi od korištenja bioplina za same poljoprivrednike su mnogostruke. Bioplinsko postrojenje proizvodi električnu energiju koju je moguće uz poticajnu cijenu prodati lokalnoj elektroprivredi i tako ostvarivati dodatni prihod. Osim električne energije kogeneracijsko postrojenje na bioplin proizvodi i toplinsku energiju koja također može biti izvor dodatnog prihoda ukoliko se prodaje, ili se ona može koristiti za potrebe sušenja žita, u staklenicima ili za potrebe grijanja farme. Svi navedeni načini upotrebe toplinske energije smanjuju potrebu za energentima i time donose uštedu poljoprivrednicima.

Proces proizvodnje bioplina od proizvodnje supstrata do korištenja digestata kao gnojiva čini zatvoreni ciklus hranjivih tvari. Ugljikovi spojevi se reduciraju postupkom digestije, metan se koristi kao gorivo, a CO_2 se ispušta u atmosferu i biva ponovo vezan u biljke putem fotosinteze. Dio ugljikovih spojeva ostaje u digestatu koji povećavaju sadržaj ugljika u tlu ako se digestat koristi kao gnojivo. [8] Slika 4. prikazuje ciklus hranidbenih tvari proizvodnjom bioplina.



Slika 4. Ciklus hranidbenih tvari

Nusprodukt anaerobne digestije je visokovrijedno organsko gnojivo bogato dušikom, fosforom, kalijem i mikro-nutrijentima. U usporedbi sa svježim stajskim gnojem digestat ima znatno bolja gnojidbena svojstva, zahvaljujući homogenijoj strukturi, većem sadržaju hranjivih tvari i bolje omjeru sadržaja dušika i ugljika. Digestat može poslužiti kao zamjena za umjetna gnojiva, čime se smanjuju troškovi poljoprivrednika za nabavu umjetnog gnojiva, a osim toga digestat je prirodni proizvod te kao takav pogodan za ekološki uzgoj hrane. Slika 5. pokazuje omjer iskoristivosti dušika u svježem gnoju i digestatu.



Slika 5. Iskoristivost dušika u svježem i obrađenom gnoju

Sirovinska baza za proizvodnju bioplina je široka, stoga poljoprivrednici mogu zbrinjavati cijeli spektar otpada organskog podrijetla čime preuzimaju ulogu ne samo proizvođača hrane, već i čuvara okoliša.

2.2. Bioplin

Bioplin je proizvod anaerobne fermentacije organskih tvari. Njegov sastav i ogrjevna vrijednost mogu značajno varirati ovisno o sastavu tvari iz kojih se dobiva. Glavni sastojci bioplina su metan (CH_4) i ugljični dioksid (CO_2). Njihov volumni udio prelazi 90%, a ostali sastojci uključuju dušik (N_2), kisik (O_2) i vodu (H_2O) te u tragovima plinove poput sumporovodika (H_2S) ili amonijaka (NH_3). [12] Sastav bioplina od različitih vrsta supstrata prikazuje Tablica 3.

Tabela 3. Sastav bioplina

Plin	Kućni biootpad	Bioplin iz pročišćivača otpadnih voda	Poljoprivredna biomasa
Metan (CH ₄)	50 – 60 %	60 – 75 %	60 – 75 %
Ugljikov dioksid (CO ₂)	34 – 38 %	19 – 33 %	19 – 33 %
Dušik (N ₂)	0 – 5 %	0 – 1 %	0 – 1 %
Kisik (O ₂)	0 – 1 %	< 0,5 %	< 0,5 %
Voda (H ₂ O)	6 %	6 %	6 %
Sumporovodik (H ₂ S)	100 – 900 mg/m ³	1000 – 4000 mg/m ³	3000 – 10000 mg/m ³
Amonijak (NH ₃)	-	-	50 – 100 mg/m ³

Proizvedeni bioplin se može koristiti za direktnu proizvodnju toplinske energije izgaranjem u ložištu kotla, ili se može koristiti u kogeneracijskom postrojenju. Kogeneracijska postrojenja su mnogo učinkovitija i moderne izvedbe mogu postići iskoristivost do 90 posto, pri čemu otprilike jedna trećina dobivene energije otpada na električnu energiju, a ostatak je toplinska energija. Proizvedena toplinska energija se djelomično koristi za grijanje digestora, a otprilike dvije trećine ukupne proizvedene energije može se koristiti za druge potrebe. Bioplinaska postrojenja najčešće koriste motore sa unutrašnjim izgaranjem za pogon generatora, a toplinska energija se dobiva kao rezultat hlađenja motora. Motor generatora može biti plinski-otto motor, plinski-dizel motor ili plinski-dizel motor s pilot paljenjem.

2.2.1. Sirovine za proizvodnju bioplina

Supstrati za proizvodnju bioplina mogu biti različite vrste biomase, od otpadnih voda, životinjskog i ljudskog izmeta, različite vrste energetskih usjeva ili biootpada različitog porijekla. Važno je samo da je sirovina dostatna u odgovarajućim količinama tokom cijele godine, da ima kemijski sastav koji omogućava efikasnu i ekonomičnu proizvodnju bioplina te da ne sadrži tvari koje djeluju toksično ili nepovoljno na proces anaerobne digestije. [2] Tablica 4. prikazuje moguće sirovinke baze za proizvodnju bioplina sa njihovim prinosima.

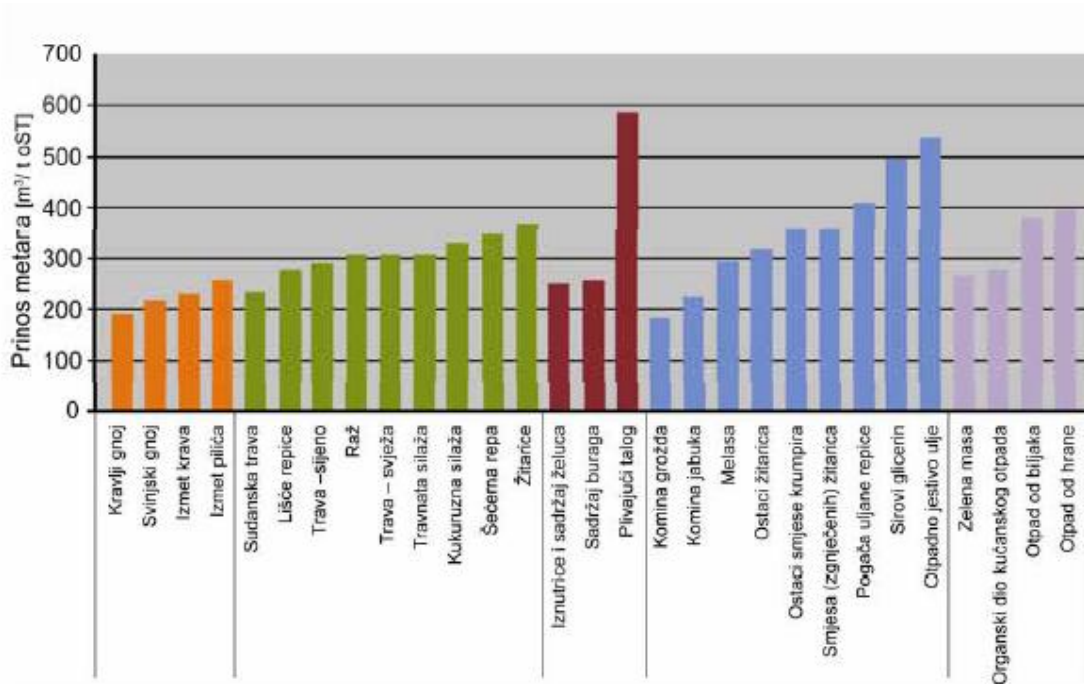
Tabela 4. Sirovine za proizvodnju bioplina

Vrsta supstrata	Organska tvar	C:N omjer	Suha tvar (ST) %	HKT * % ST	Prinos bioplina m³/kg HKT
Svinjski izmet	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50
Izmet goveda	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	6-20	5-12	80	0,20-0,30
Izmet peradi	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-10	10-30	80	0,35-0,60
Iznutrice	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	3-5	15	80	0,40-0,68
Sirutka	75-80% laktoza 20-25% bjelančevine		8-12	90	0,35-0,80
Koncentrirana sirutka – plazma	75-80% laktoza 20-25% bjelančevine		20-25	90	0,80-0,95
Otopljene životinjske masti	65-70% bjelančevine 30-35% masti				

Trop (ostatak nakon fermentacije)	Ugljikohidrati	4-10	1-5	80-95	0,35-0,78
Slama	Ugljikohidrati i masti	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35
Vrtni otpad		100-150	60-70	90	0,20-0,50
Trava		12-25	20-25	90	0,55
Travnata silaža		10-25	15-25	90	0,56
Otpad od voća		35	15-20	75	0,25-0,50
Riblje ulje	30-50% masti				
Sojino ulje i margarin	90% biljna ulja				
Alkohol	40% alkohol				
Ostaci hrane			10	80	0,50-0,60
Organski otpad iz kućanstava					
Muljevi otpadnih voda					

Slika 6. prikazuje prinos metana po toni suhe organske tvari različitih supstrata za proizvodnju bioplina. Vidljivo je da stajski gnoj ima mali potencijal za nastanak metana,

stoga se on rijetko digestira sam već mu se dodaju supstrati sa većim potencijalom za nastanak metana poput energetskih usjeva.

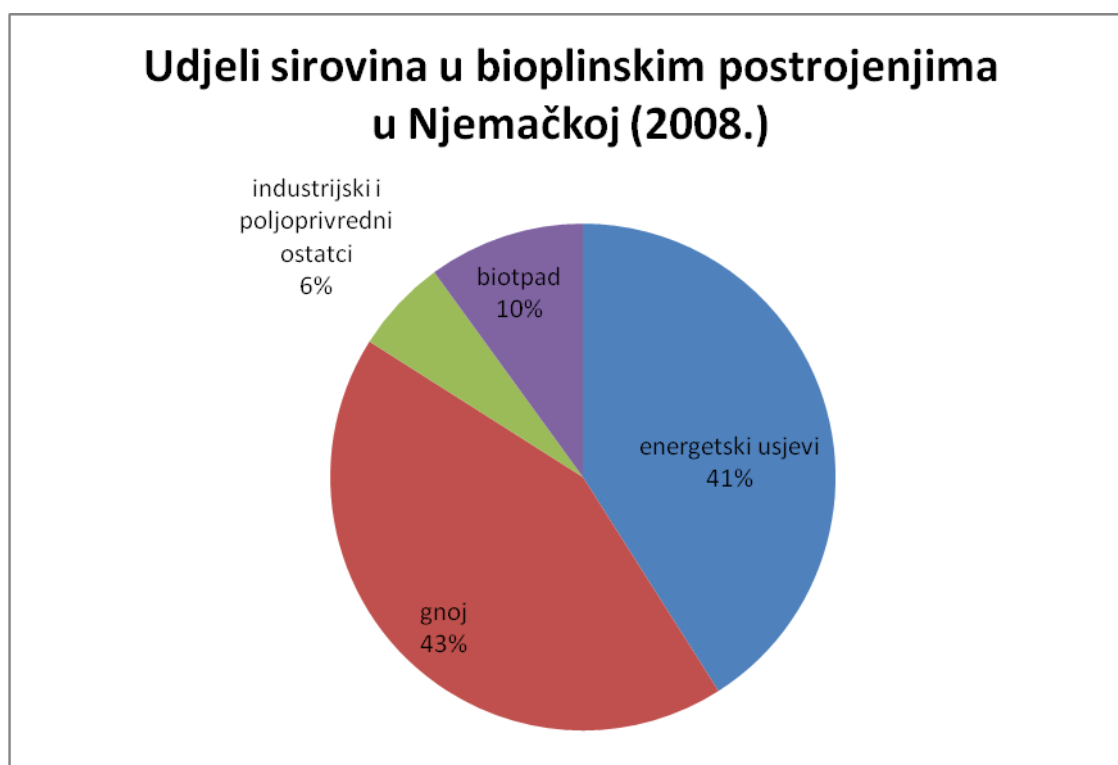


Slika 6. Prinos metana po vrsti sirovine

Međutim, korištenje životinjskih izlučevina u digestoru je poželjno iz nekoliko razloga. Životinjski izmet prirodno sadrži anaerobne bakterije čime se povećava njihov broj u digestoru i tako ubrzava i pospješuje proces anaerobne digestije. Nadalje, imaju visok udio vode koja služi kao otapalo i omogućuje dobro miješanje s drugim supstratima. Osim toga, životinjski izmet i mokraća su jeftini, lako dostupni i predstavljaju otpad na poljoprivrednim gospodarstvima.

Osim životinjskih ekskrementa, učestala je i upotreba energetski usjeva poput raznih trava, kukuruza i uljarica. Procjenjuje se da je oko 41% supstrata u bioplinskim postrojenjima u Njemačkoj 2008. bilo iz energetskih usjeva. [11] Kao sirovina za proizvodnju bioplina mogu se koristiti i drvenasti nasadi poput vrbe ili topole, ali oni imaju visoku udio celuloze, lignina i hemiceluloze pa moraju proći predtretman kako bi se uklonio lignin.

Udio metana u bioplina osnovi je determinator ogrjevne vrijednosti bioplina, a moguću količinu dobivene energije po toni supstrata prikazuje Tablica 5.



Slika 7. Udjeli sirovina u njemački bioplinskim postrojenjima

Tabela 5. Energetska vrijednost različitih sirovina

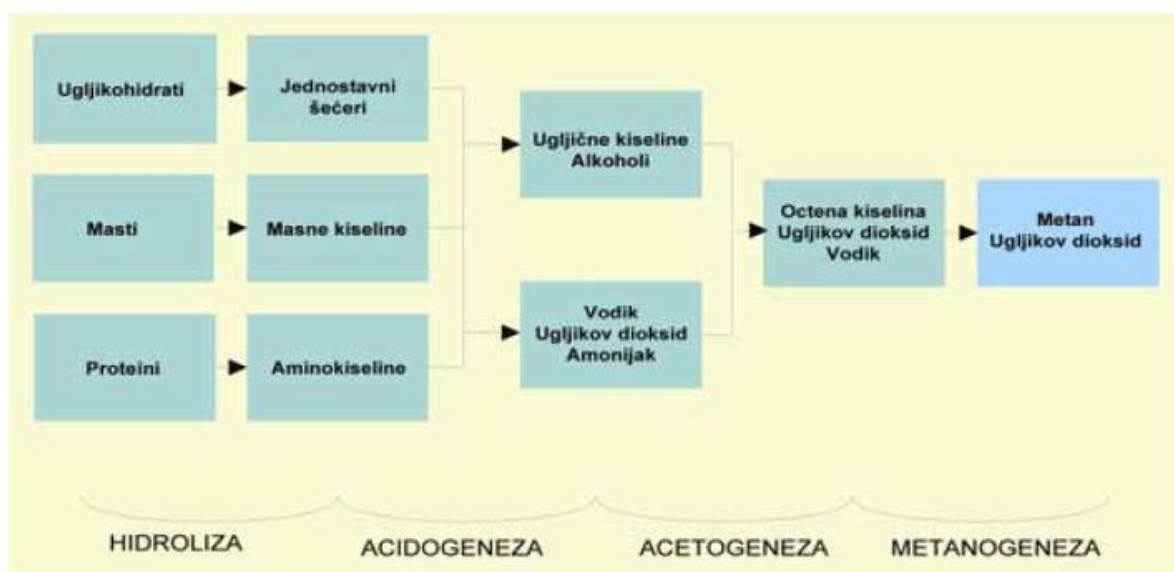
Sirovina	Energetska vrijednost [kWh/t]
Goveđi gnoj	140
Svinjski gnoj	180
Gnoj peradi	450
Trava	810
Otpad od voća i povrća	950
Kućni biotpad	1300
Biotpad iz restorana	1300
Klaonički otpad	2000
Šećeri	3900
Proteini	4900
Masti	8500

2.2.2. *Proces anaerobne digestije*

Mikrobiološki proces anaerobne digestije razgrađuje organske tvari bez prisutnosti kisika. Rezultat procesa anaerobne digestije je bioplin i čvrsti ostatak koji se naziva digestat. Za razliku od razgradnje organskih tvari uz prisustvo kisika anaerobnom digestijom oslobađa se znatno manje topline, a energija kemijskih veza tvari koji se razgrađuju se oslobađa u obliku metana. Bioplin ne nastaje u jednom koraku, već se proces oslobađanja metana vrši u niz faza u kojima se supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve. U svakoj od tih faza djeluje posebna vrsta mikroorganizama specifična za pojedini proces. Proces razgradnje supstrata u bioplin i digestat se vrši u četiri faze:

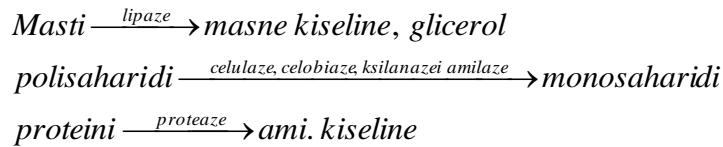
- hidroliza
- acidogeneza
- acetogeneza
- metanogeneza.

Faze anaerobne digestije prikazane na Slici 8. odvijaju se istovremeno u fermentatoru. Brzina stvaranja bioplina ovisi o brzini najsporijeg procesa anaerobne digestije. Kod supstrata koji sadrže celulozu, hemi-celulozu i lignin, hidroliza predstavlja najsporiju fazu cijelog procesa pa duljina njenog trajanja determinira i duljinu ukupnog procesa. Hidrolizom nastaje mala količina bioplina, a najviše bioplina nastaje u procesu metanogeneze.

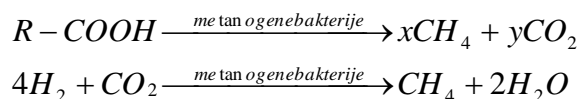


Slika 8. Proces anaerobne digestije

Hidroliza predstavlja prvu fazu procesa anaerobne digestije tijekom koje se polimeri razlažu na manje kemijske jedinice monomere i oligomere. Bjelančevine, masti i ugljikohidrati se pod utjecajem hidrolitičkih bakterija razlažu na monomere poput glukoze, glicerola, purina i sl. Bakterije luče hidrolitičke enzime koji ubrzavaju proces transformacije biopolimera u jednostavnije spojeve. [1]



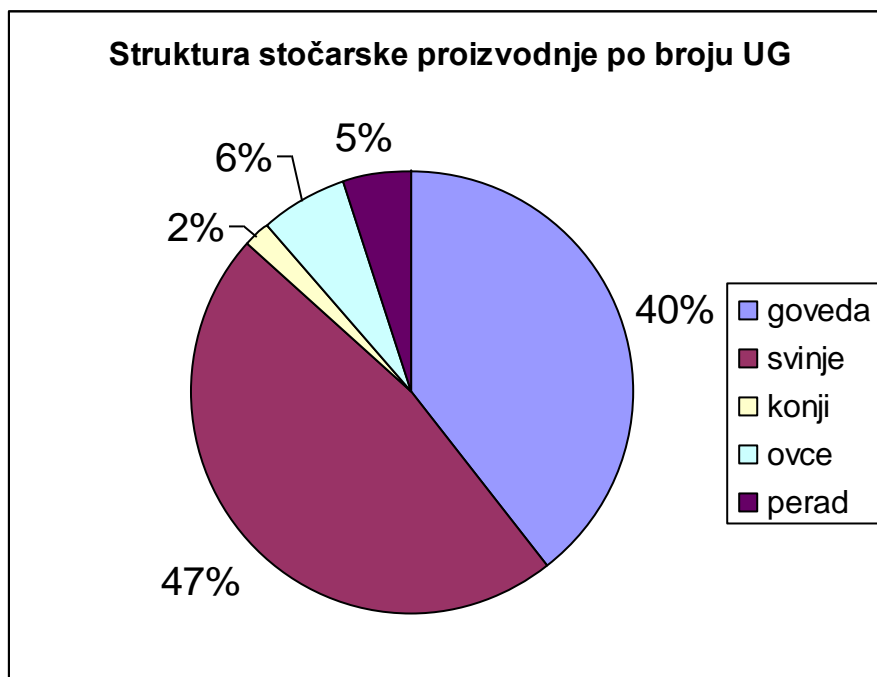
Monomeri i oligomeri nastali u fazi hidrolize se u sljedećoj fazi acidogeneze se razlažu na metanogene spojeve. Acidogene bakterije razgrađuju spojeve nastale hidrolizom na acetat, ugljikov dioksid i vodik (oko 70 %) te hlapljive masne kiseline i alkohole (oko 30 %). Spojevi koje metanogene bakterije ne mogu direktno transformirati metan razlažu se u metanogene spojeve u procesu acetogeneze. Hlapljive masne kiseline (HMK) i alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Završna faza procesa anaerobne digestije je metanogeneza u kojoj se acetati, vodik i ugljični dioksid pretvaraju u metan. Metanogeneza se odvija paralelno sa procesom acetogeneze, a predstavlja ključni korak u procesu anaerobne digestije. Većina metana nastaje iz acetata (70 %), a preostali dio sintezom vodika i ugljičnog dioksida prema jednadžbama:



Čitav niz faktora utječu na proces anaerobne digestije, odnosno njenog najvažnijeg dijela metanogeneze. Ključno je osigurati optimalne uvjete za razvoj anaerobnih organizama, a najvažniji su temperatura, sastav sirovine, stupanj dopune digestora i pH vrijednost supstrata.

2.2.3. *Trenutno stanje i budući potencijal korištenja bioplina u RH*

Potencijal za proizvodnju bioplina iz poljoprivredne proizvodnje određen je količinom biootpada nastalog u procesima uzgoja hrane. Stočarska proizvodnja, prije svega uzgoj svinja i goveda najznačajniji su proizvođači biootpada u poljoprivrednom sektoru. Stoga se i najveći potencijal za iskorištavanje bioplina nalazi u tim sektorima. [18] Osim svinja i goveda, uzgoj drugih stočarskih vrsta poput konja, ovaca ili peradi ima znatno manji udio u ukupnoj proizvodnji, samim time i u eventualnom potencijalu za iskorištavanje bioplina.



Slika 9. Struktura stočarske proizvodnje

U Hrvatskoj je u 2007. bilo 874.290 uvjetnih grla stoke, od čega je više od 85% bilo svinja i krava. Strukturu stočarske proizvodnje u Hrvatskoj 2007. godine na temelju broja uvjetnih grla prikazuje Slika 9. Količina ekskremenata na temelju broja UG iznosi 286.165.569,9 m³ godišnje. [35]

Veliki broj hrvatskih poljoprivrednih gospodarstva ima premali broj grla za izgradnju ekonomski opravdanog bioplinskog postrojenja. Samo se 20% krava uzgaja na velikim farmama, dok se nešto preko 30% svinja uzgaja na većim farmama u vlasništvu pravnih osoba. [35] Stoga je znatno umanjen trenutni potencijal za izgradnju bioplinskih postrojenja i njihovu učinkovitu eksploataciju.

Ukupan broj krava na velikim farma u 2007. godini iznosi je 11.099 što je činilo bioplinski potencijal od 1720 kW instalirane električne snage i 3017 kW iskoristive toplinske snage. Uz prosječan rad postrojenja od 7000 sati godišnje ukupni potencijal velikih govedih farmi u Hrvatskoj iznosi je 12,04 GWh električne energije i 21.12 GWh toplinske energije. Kada se tome pridoda bioplinski potencijal velikih svinjogojskih farmi koji iznosi 27,15 GWh električne energije i 47,62 GWh toplinske energije dobiva se potencijal od 39,19 GWh električne i 68,74 GWh toplinske energije. [18] Navedeni iznosi pokrili bi 0,2% potreba za električnom energijom u 2007. godini. [18]

Iako nije riječ o značajnom energetsom potencijalu, važno je naglasiti mali udio velikih farmi u ukupnom stočnom fondu. Kada bi se iskoristava sva dostupna energija iz potencijalne proizvodnje bioplina moglo bi se dobiti 341 GWh električne energije. Proizvodnja topline bila bi na razini 599 GWh. Ukoliko bi se iskoristava sav bioplinski potencijal sa govedih i svinjogojskih farmi moguće bi bilo pokriti 1,8% potreba za električnom energijom i zamijeniti 6,4% potrošnje toplinske energije iz javnih toplana u 2007. godini.

3. Metodologija

3.1. Obrada podataka iz energetske pregleda

Ukupna potrošnja energije izračunata je iz podataka o potrošnji plavog dizela i električne energije koji su dobiveni od vlasnika farme. Podatci za plavi dizel su dobiveni u litrama, V_{pd} , a potrošnja energije u kWh je dobivena množenjem sa ogrjevnom vrijednosti po litri plavog dizela, H_{dpd} .

$$PE_{pd} = V_{pd} \cdot H_{dpd} \quad (1)$$

Potrošnja električne energije očitana je iz pribavljenih računa za 2011. godinu. Ukupna potrošnja energije u 2011. godini, PE , dobivena je zbrajanjem podataka za potrošnje električne energije, PE_{ee} , i plavog dizela, PE_{pd} .

$$PE = PE_{ee} + PE_{pd} \quad (2)$$

Kako bi se moglo ocijeniti i usporediti podatke za potrošnje energije izračunat je indeks iskorištenja energije, EUI , koji predstavlja omjer potrošene energije, PE , i broja grla na farmi, N_{gr} . Osim ukupnog indeksa iskorištenja energije izračunati su i parcijalni iznosi za svaki energent, EUI_{pd} i EUI_{ee} .

$$EUI = \frac{PE}{N_{gr}} \quad (3)$$

$$EUI_{pd} = \frac{PE_{pd}}{N_{gr}} \quad (4)$$

$$EUI_{ee} = \frac{PE_{ee}}{N_{gr}} \quad (5)$$

Sustavi mužnje i hlađenja mlijeka predstavljaju ključne potrošače električne energije na farmi, stoga su izračunati i indeksi iskorištenja energije za vakuum pumpu, EUI_{vp} , i laktofriza, EUI_{hm} . [13]

$$EUI_{vp} = \frac{E_{vp}}{N_{kr}} \quad (6)$$

$$EUI_{hm} = \frac{E_{hm}}{m_m \cdot 365} \quad (7)$$

Vakuumska pumpa se koristi samo u procesu mužnje, stoga je EUI izračunat s obzirom na broj mliječnih krava, N_{kr} . Laktofirz ima funkciju hlađenja mlijeka stoga je njegov EUI izračunat s obzirom na masu ohlađenog mlijeka, m_m . Potrošnje sustava mužnje, E_{vp} , i hlađenja mlijeka, E_{hm} , izračunate su jednadžbom (12).

Troškovi energije izračunati su množenjem cijena energenta sa njihovim obračunskim jedinicama, kWh u slučaju električne energije, odnosno litara u slučaju plavog dizela.

$$C_{ee} = PE_{ee} \cdot P_{ee} \quad (8)$$

$$C_{pd} = V_{pd} \cdot P_{pd} \quad (9)$$

$$TC_e = C_{ee} + C_{pd} \quad (10)$$

Prilikom izračunavanja cijene električne energije, P_{ee} , korištena je prosječna cijena dobivena kao rezultanta cijena više, P_{vt} i niže tarife, P_{nt} . Cijene u višoj i nižoj tarifi pomnožene su sa prosječnim vremenom rada električnih uređaja u nižoj, NT , odnosno višoj tarifi, VT .

$$P_{ee} = P_{vt} \cdot VT + P_{nt} \cdot NT \quad (11)$$

Vrijednosti korištene u proračunu troškova i potrošnje energije prikazani su u Tablici 6. Također su prikazani i izvori za pojedine vrijednosti.

Tabela 6. Vrijednosti korištene u proračunu energetskeg pregleda

<i>Veličina</i>	<i>Vrijednost</i>	<i>Jednina</i>	<i>Izvor podataka</i>
V_{pd}	66.000	litara	energetski pregled
H_{dpd}	11	kWh/l	[14]
N_{gr}	470	kom	energetski pregled
N_{kv}	290	kom	energetski pregled
m_m	6727	kg/dan	energetski pregled
P_{pd}	6	kn/l	[15]
P_{vt}	1,02	kn/kWh	[16]
P_{nt}	0,52	kn/kWh	[16]

Električni sustavi

Potrošnja svih električnih sustava, W_j , izračunata je na jednak način. Snaga svakog pojedinog sustava, P_i , pomnožena je sa brojem radnih sati, t_i . Ukoliko sustav ima više komponenti, poput rasvjete ili sustava hranjenja ukupna potrošnja sustava jednaka je zbroju potrošnje svake pojedine komponente sustava.

$$W_j = \sum P_i \cdot t_i \quad (12)$$

Broj radni sati svih sustava prikupljeni su od vlasnika farme, jedino je vrijeme rada sustava za hlađenje mlijeka, τ_{lf} , izračunato na temelju rashladnih potreba. Rashladne potrebe za ohlađivanje mlijeka izračunate su na temelju temperaturne razlike i toplinskog kapaciteta mlijeka, c_{pm} .

$$Q_h = m_m \cdot c_{pm} \cdot (v_1 - v_2) \quad (13)$$

Toplina mlijeku se odvodi putem laktofriza čiji kompresor mora raditi određeni broj sati kako bi ohladio mlijeko na željenu temperaturu v_2 . Broj radnih sati kompresora ovisi o koeficijentu učinkovitosti hlađenja uređaja.

$$\tau_{lf} = \frac{Q_h / 3600}{P_{lf} \cdot COP_{lf}} \quad (14)$$

Tabela 7. Vrijednosti za proračun hlađenja mlijeka

Veličina	Vrijednost	Jedinica	Izvor
c_{pm}	3,77	kJ/kg K	[17]
P_{lf}	7,5	kW	energetski pregled
COP_{lf}	4		energetski pregled

3.2. Izračunavanje potencijala obnovljivih izvora energije

3.2.1. Bioplinsko postrojenje

Osnova za proračunavanje bioplinskog postrojenja je količina raspoložive sirovine za digestiju. Bioplinski potencijal farme izračunat je na temelju broja uvjetnih grla na farmi, UG . Broj uvjetnih grla proračunat je na temelju broja grla, N , njihove prosječne težine, $\overline{m_z}$, i vremena provedenog u staji, t_s :

$$UG = N \cdot t_s \cdot \overline{m_z} \quad (14)$$

Poznavajući volumen gnoja, V_{UG} , koje godišnje daje jedno uvjetnog grlo goveda moguće je izračunati ukupni volumen gnoja, V_g , generiranog na farmi u godini dana.

$$V_g = UG \cdot V_{UG} \quad (15)$$

Kako bi se dobio bioplinski potencijal potrebno je izračunati masu suhe tvari, m_{ST} , u stajskom gnoju koristeći podatke za udio organske, O_x i suhe tvari, ST_x .

$$m_{ST} = V_g \cdot ST_x \cdot O_x \quad (16)$$

Volumen bioplina, V_{BPg} , koji je moguće proizvesti iz izračunatog volumena stajskog gnoja računa se preko konverzijskog faktora za goveda, X_{STg} , i mase suhe tvari, m_{ST} .

$$V_{BPg} = X_{STg} \cdot m_{ST} \quad (17)$$

Osim govedeg gnoja kao supstrat za proizvodnju bioplina mogu se koristiti i tzv. energetske nasadi i drugi organski materijali. Njihov bioplinski potencijal, V_{BPc} , se računa kroz zasijanu površinu nasada, A , prinos suhe tvari po zasijanoj površini, Y_{ST} , i konverzijskog faktora za određenu biljku, X_{STc} .

$$V_{BPc} = A \cdot Y_{ST} \cdot X_{STc} \quad (18)$$

Ukupan volumni potencijal bioplina jednak je zbroju bioplinskih potencijala iz govedeg gnoja i svih energetskih nasada.

$$V_{BP} = V_{BPg} + \sum V_{BPc} \quad (19)$$

Električna snaga motora dobiva se iz satne produkcije bioplina, V_{BPh} , i omjera proizvedene električne energije i topline, $\omega_{H/E}$.

$$P_{el} = \frac{V_{BPh} \cdot H_{dBP} \cdot \eta_m}{1 + \omega_{H/E}} \quad (20)$$

Ukupna električna energija isporučena u mrežu E_{BP} , dobiva se iz snage motora, P_{el} i raspoloživosti postrojenja μ_{BP} umanjena za autonomnu potrošnju, AP .

$$E_{BP} = \mu_{BP} \cdot P_{el} \cdot 8760 \cdot (1 - AP) \quad (21)$$

Raspoloživa toplinska energija Q_{neto} , jednaka je ukupnoj proizvedenoj toplini koja se računa iz omjera toplinske i električne energije, oduzeta za toplinu potrebnu za proces AD, Q_{AD} .

$$Q_{neto} = \frac{E_{BP}}{\omega_{H/E}} - Q_{AD} \quad (22)$$

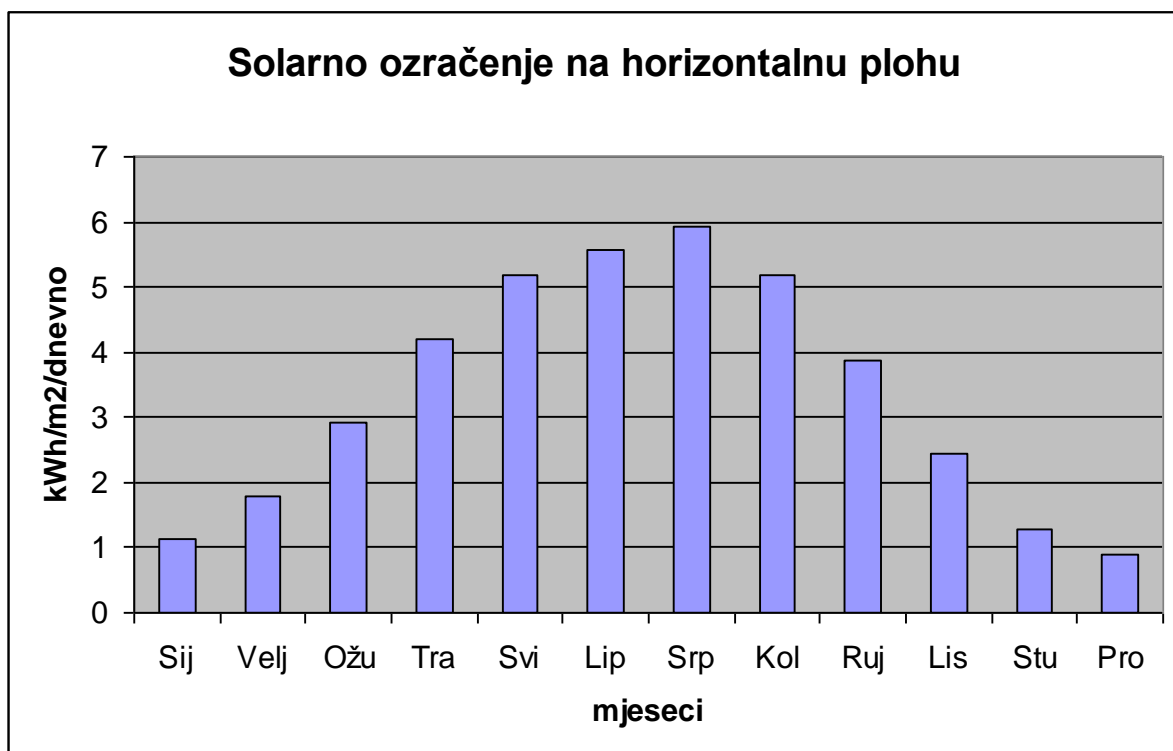
Tablica 8 prikazuje vrijednosti parametara korištenih u proračunu bioplinskog potencijala farme.

Tabela 8. Vrijednosti za proračun bioplinskog potencijala

Veličina	Vrijednost	Jedinica	Izvor
V_{UG}	17	$m^3/UG \text{ god.}$	[18]
ST_x	8	%	[18]
O_x	80	%	[18]
H_{dBP}	6	kWh/m^3	[19]

3.2.2. Fotonaponski sustav

Količina dnevnog solarnog ozračenja na horizontalnu plohu determinira potencijal za proizvodnju električne energije iz fotonaponskih sustava. Vrijednosti prosječnog dnevnog solarnog ozračenja na horizontalnu plohu na lokaciji farme Agrobavis prikazani su na Slici 10. Vrijednosti solarnog ozračenja izračunate su pomoću PVGIS – *Photovoltaic Geographical Information System* dostupnog na internetu. [27]

**Slika 10. Horizontalno zračenje na lokaciji farme**

Fotonaponski paneli se instaliraju na krov koji se nalazi nagnut u odnosu na horizontalnu plohu, stoga je intenzitet zračenja veći nego što je to u slučaju horizontalne plohe. Omjer zračenja na horizontalnu površinu i površinu pod kutom ovisi o nagibu plohe, zemljopisnoj širini i satnom kutu i deklinaciji Sunca. [20]

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \sigma + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \sigma + \sin \varphi \cdot \sin \delta} \quad (23)$$

Iz mjesečnih podataka za prosječno dnevno horizontalno zračenje i omjera zračenja dobiva se prosječno dnevno zračenje na plohu nagnutu pod kutom β za svaki mjesec u godini.

$$E_\beta = R_b \cdot E_h \quad (24)$$

Količina proizvedene električne energije ovisi o učinkovitosti sustava pretvorbe energije fotona u električnu energiju. Osnovni parametar je učinkovitost fotonaponskog modula, $\mu_{PV,mod}$, a u obzir valja uzeti i učinkovitost AC/DC konvertera $\mu_{PV,kon}$, te koeficijent gubitaka $\mu_{PV,g}$. [21]

$$\mu_{PV} = \mu_{PV,mod} \cdot \mu_{PV,kon} \cdot \mu_{PV,g} \quad (25)$$

Energija isporučena u mrežu rezultat je sunčevog zračenja na nagnutu plohu E_β , učinkovitosti fotonaponskog sustava μ_{PV} i površine koju pokrivaju fotonaponski paneli, A_{PV} .

$$E_{PV} = \mu_{PV} \cdot E_\beta \cdot A_{PV} \quad (26)$$

3.3. Izračunavanje smanjenja emisije stakleničkih plinova

Emisije stakleničkih plinova smanjuju se iz dva osnovna razloga, zbog smanjenja upotrebe energenata i sprječavanja emisija metana zbog prerade gnojiva u digestoru.

Smanjenje emisija zbog smanjivanja potrošnje energenata, GHG_{ene} , jednako je smanjenju potrošnje određenog energenta, ΔE , i emisiji stakleničkih plinova po energetskej jedinici, χ_{ene} .

$$GHG_{ene} = \Delta E \cdot \chi_{ene} \quad (27)$$

Smanjenje emisija zbog sprječavanja procesa aerobne digestije fermentacijom u digestoru, GHG_{met} , rezultat je udjela metana y u bioplinu iz stajskog gnoja, V_{BPg} . Množenjem sa

gustoćom metana, $\rho(\text{CH}_4)$ i faktorom ekvivalencije za metan, $X(\text{CH}_4)$, dobiva se godišnje smanjenje emisija CO_2 . [22]

$$GHG_{met} = V_{BPg} \cdot y \cdot \rho(\text{CH}_4) \cdot X(\text{CH}_4) \quad (28)$$

4. Energetski pregled

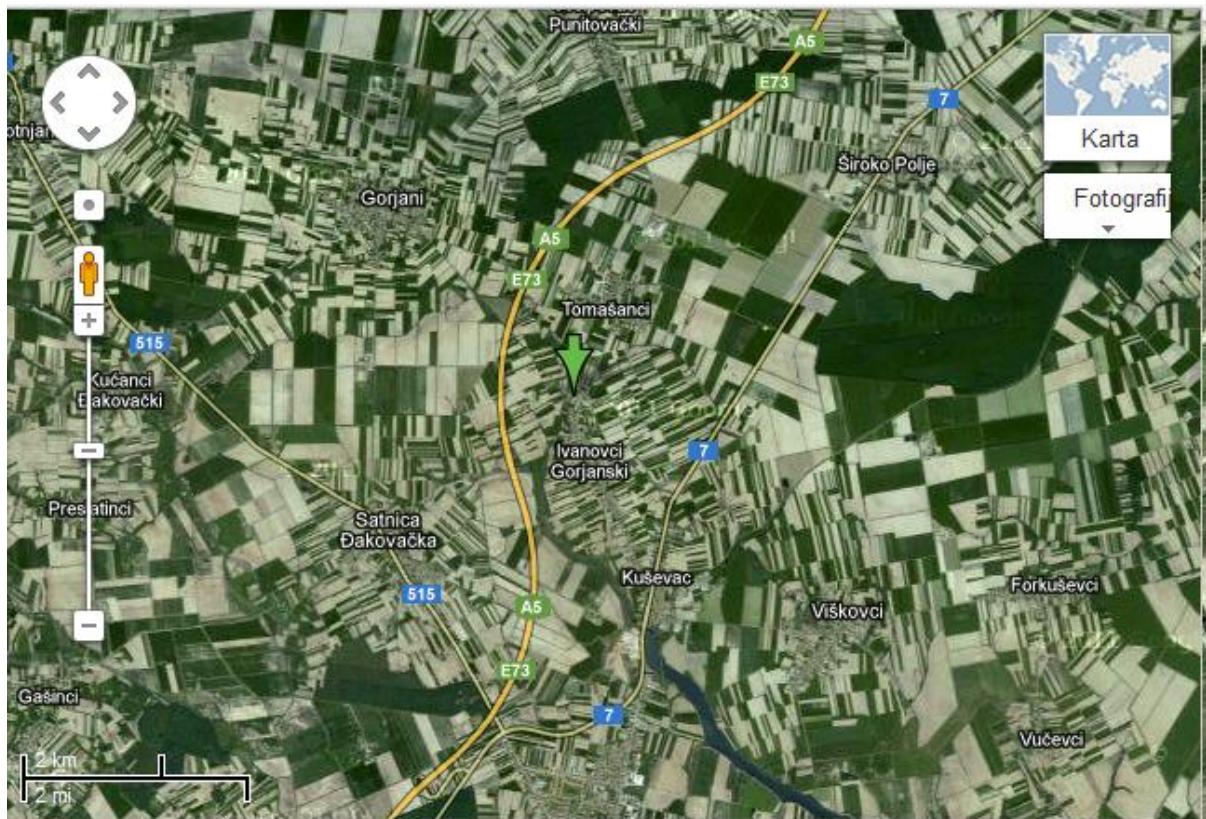
4.1. Opći podatci

Energetski pregled izvršen je na farmi mliječnih krava smještenoj u slavonskom selu Ivanovci kraj Đakova. Farma ukupno broji 470 grla, od čega je 290 mliječnih krava. Ostatak je podmladak u vidu 100 junica i 80 teladi. Sve muzne krave su smještene u glavnoj štali, dok su telad i junice smještene u druge dvije štale. Na prostoru farme osim štala, izmuzišta i ostalih objekata korištenih za osnovnu djelatnost nalaze se i uredi poduzeća Agro bovis d.o.o. koje je vlasnik farme.

Mužnja se obavlja dva puta dnevno i pritom se dobiva 6.500 litara mlijeka, koje se odvozi jednom dnevno, a otkupljivač je varaždinska Vindija. Mlijeko je najviše, E klase, a otkupljuje se po cijeni od 3,95 kn/L.



Slika 11. Farma Agrobavis d.o.o.



Slika 12. Lokacija Agrobavis farme



Slika 13. Mikrolokacija Agrobavis farme

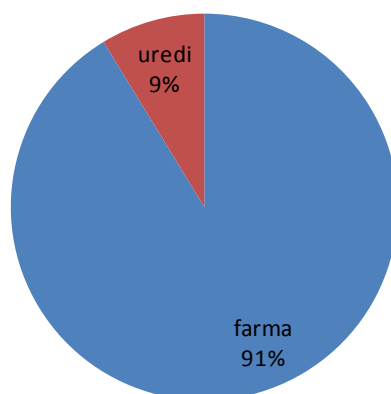
Tabela 9. Opći podatci o farmi

Naziv farme:	Agro bovis d.o.o.	Adresa:	Zmajevac bb Ivanovci 31400 Đakovo
Email:	agrobavis@os-t- com.hr	Telefon:	031/836-203
Ukupno grla	470	Vrijeme u staji	Prosječna težina
- mliječnih krava	290	100%	580
- junica	100	70%	360
- telad	80	100%	50
Mužnja	dva puta dnevno		
Količina mlijeka	6.500 litara dnevno 2.340.000 litara godišnje		

4.2. Potrošnja energije

Farma koristi dva oblika energije, plavi dizel i električnu energiju. Ukupna potrošnja plavog dizela je 66.000 litara godišnje, a električne energije 81.797 kWh. Potrošnja električne energije je podijeljena između uredskih prostorija i opreme na farmi. Farma troši 74.669 kWh dok se preostalih 7.127 kWh troši u uredskim prostorijama. Električne energije u uredskim prostorijama troši se uglavnom na rad uredske opreme i kuhinjske aparate. Ukupna količina plavog dizela dijeli na 36.000 litara potrebnih za radove na farmi, te 30.000 litara koji se iskoriste za uzgoj stočne hrane.

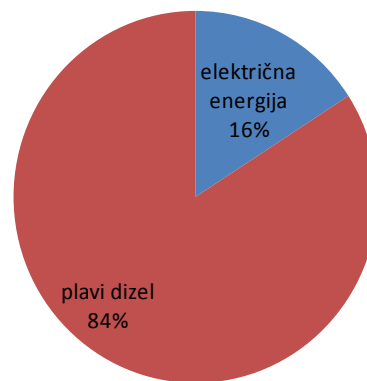
raspodjela potrošnje električne energije po objektima



Slika 14. Raspodjela potrošnje električne energije po objektima

Ogrjevna vrijednost plavog dizela iznosi 11kWh/l, što znači da ukupna potrošnja energije za 2011. godinu iznosi 462.474 kWh, od čega 396.000 kWh (84%) otpada na plavi dizel a preostalih 77.669 kWh (16%) je električna energija.

raspodjela potrošnje energije na farmi

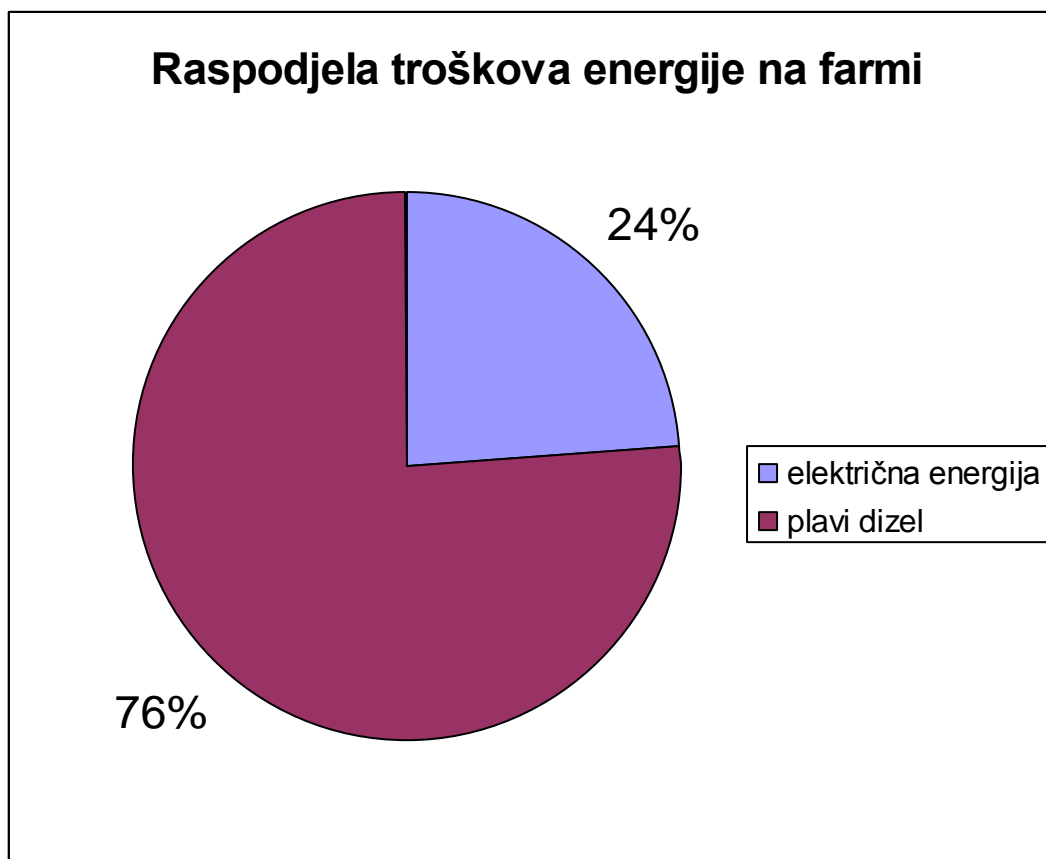


Slika 15. Raspodjela potrošnje energije po energentima

Tabela 10. Indeks iskorištenje energije (EUI)

Potrošnja energije	Količina (litara)	Ogrjevna vrijednost	Potrošnja (kWh/god)	Cijena	Godišnji troškovi (kn)	Troškovi (kn/grlu)
- diesel goriva	36.000	11 kWh/L	396.000	6 kn/L	216.000	459,58
- električna energija	-	-	74.669,40	0,9 kn/kWh	67.202,50	142,98
Ukupno	-	-	470.669,40	-	283.202,50	602,56
EUI	Ukupno	Preporuka	Diesel gorivo	Električna energija		
Farma	1001 kWh/grlu	400-1200 kWh/grlu	842 kWh/grlu	158 kWh/grlu		
Vakuumpumpa	64,5 kWh/kravi	25-100 kWh/kravi	-	64,5 kWh/kravi		
Hlađenje mlijeka	8,65 Wh/kg mlijeka	8-26 Wh/kg mlijeka	-	8,65 Wh/kg mlijeka		

Tablica 10. prikazuje indekse iskorištenja energije (eng. Energy Utilization Index) kao i godišnje troškove energije na Agrobovis farmi. Ukupni izdatci za energiju u 2011. godini bili su 283.202,50 kn. Plavi dizel čini preko $\frac{3}{4}$ izdataka za energiju, odnosno 216.000,00 kn dok na električne energiju otpada preostalih 67.202,50 kn tj. 24%. Troškovi energije po grlu iznose 602,56 kn za cjelokupne izdatke, odnosno 459,58 kn/grlu za plavi dizel i 142,98 za električnu energiju.



Slika 16. Raspodjela troškova energije na farmi

Indeks iskorištenja energije za cijelu farmu iznosi 1001 kWh/grlu što se nalazi u gornjoj polovici preporučenog raspona vrijednosti od 400 do 1200 kWh/grlu. Iako EUI za cijelu farmu nalazi unutar preporučenih vrijednosti njegov iznos pokazuje da postoji značajan potencijal za uštedu energije kako bi se približilo donjoj granici od 400 kWh/grlu godišnje. Osim za cijelu farmu izračunate su i EUI vrijednosti za sustav vakuum pumpi i hlađenja mlijeka. Dobivena vrijednost EUI za vakuum pumpe je 65 kWh/muznoj kravi što se također nalazi u gornjem dijelu preporučenog raspona vrijednosti od 25 do 100 kWh/muznoj kravi. Iz izračunate vrijednosti EUI vidljivo je da je u sustavu vakuum pumpi jedan od dijelova opreme na farmi u kojem je moguće ostvariti uštedu energije. S druge strane, EUI vrijednost za sustav

hlađenja iznosi 8,65 Wh/kg mlijeka što je na donjoj granici preporučenih vrijednosti i u tom sustavu nije moguće ostvariti uštedu energije.

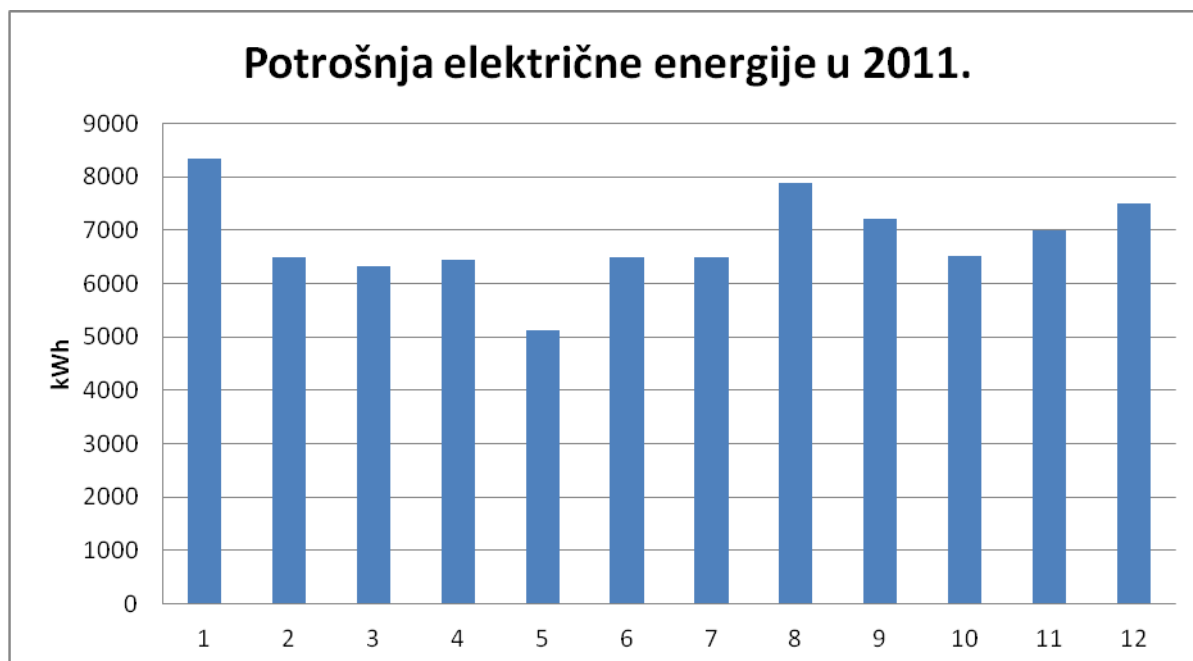
4.2.1. Električna energija

Farma je priključena na niskonaponsku električnu mrežu, a priključak posjeduje kompenzator jalove energije koji značajno smanjuje troškove za električnu energiju. Dobavljač električne energije je poduzeće HEP – Operator distribucijskog sustava, podružnica Elektroslavonija Osijek. Tarifni model je 'Poduzetništvo bijeli'. Pribavljena količina električne energije za 2011. godinu iznosi 81.797 kWh, uz ogradu da su vrijednosti za studeni i prosinac procijenjene. Analizom računa za 2011. godinu utvrđeno je da se većina energije, točnije 75%, koristi tijekom više tarife, dok se 25% energije troši tijekom niže tarife. Na temelju navedenih pondera izračunata je prosječna cijena kWh električne energije koja iznosi 0,9 kn/kWh.

Temeljem prikupljenih računa za prvih 10 mjeseci 2011. i procjene za posljednje dva mjeseca izračunati su godišnji troškovi za električnu energiju u iznosu od 73.726,92 kn.

Tabela 11. Troškovi električne energije

Mjesec	Iznos računa (kn)	Potrošnja (kWh)
Siječanj	7.517,03	8.352
Veljača	5.848,16	6.498
Ožujak	5.685,43	6.317
Travanj	5.793,21	6.437
Svibanj	4.602,94	5.114
Lipanj	5.839,65	6.489
Srpanj	5.834,39	6.483
Kolovoz	7.104,35	7.894
Rujan	6.485,11	7.206
Listopad	5.966,65	6.507
Studen*	6.300,00	7.000
Prosinac*	6.750,00	7.500
UKUPNO	73.726,92	81797



Slika 17. Raspodjela potrošnje električne energije po mjesecima

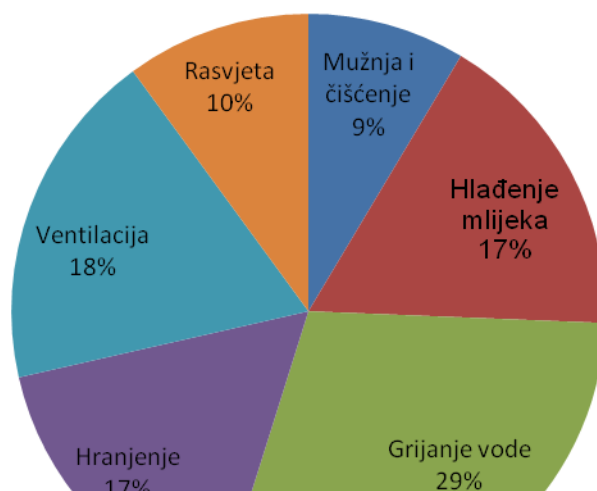
Električna energija pokreće većinu sustava na farmi. Tablica 12. prikazuje sve potrošače električne energije na farmi. Ukupna instalirana snaga svih potrošača je 51,31 kW, a raspodjelu instalirane snage po sustavima prikazuje Slika 18.

Tabela 12. Potrošači električne energije

Sustav i oprema	Tip/opis opreme	Broj	Snaga (kW/jed)
Mužnja i čišćenje			
- Vakuumpumpe	DeLaval VP 76	2	2,2
- Sustav čišćenja	DeLaval C200 – *el. Grijači. 13 kw	1	13*
Hlađenje mlijeka			
- Laktofriz	Delaval DX/CE – kapacitet 9600 L	1	7,5
- Dogrijavanje	El. Grijač 1250 W	1	1,25
Grijanje vode			
- Bojler	Električni Like 80 L	1	2
- Sustav povrata otpadne topline	DeLaval ATP - 500	1	
Hranjenje			
- Mlin	Mlin	1	3

- Silos	El. motori	3	1
- Mješač	Mješanje hrane pomoću el. motora	2	1
Ventilacija			
- Ventilator1	DeLaval DF1250	8	0,75
- Ventilator2	Ventilator	7	0,5
Rasvjeta			
- Žarulje	Neonske cijevi 36W	60	0,036
- Reflektori	Halogen reflektor 500W	6	0,5

Intalirana el. snaga po sustavima



Slika 18. Udio instalirane snage po sustavima

Najveći udio instalirane snage sa 29% čine električni grijači za toplu vodu koji se nalaze unutar sustava čišćenja.

Sustav mužnje i čišćenja

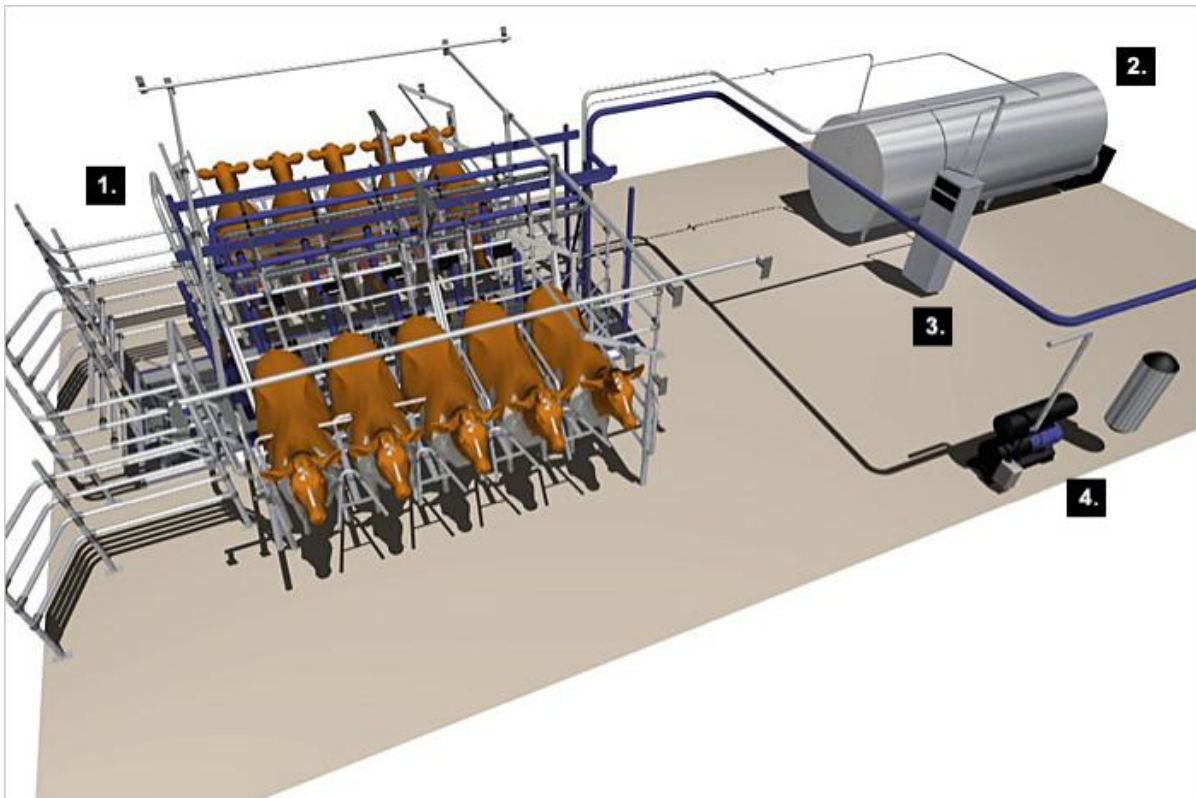
Shema sustava mužnje prikazana je na Slici 20., a glavni potrošač električne energije je vakuumski sustav(4). Vakuumski sustav se sastoji od vakuum pumpe, vakuumski regulator, pulsator, stisne gume te sabirnik. Funkcija vakuumskih pumpi je uklanjanje zraka iz zatvorenog sustava mužnje, i stvaranje vakuuma koji je potreban za nesmetan postupak mužnje.

Osim za proces mužnje vakuumske pumpe se koriste i za osiguravanje tlaka vode u sustavu čišćenja kojim se ispiru sustav mužnje nakon svake mužnje. Sustav mužnje potrebo je čistiti nakon svake mužnje kako bi se osigurala vrhunska kvaliteta mlijeka, tj. kako bi se eliminirali uvjeti za razvitak mikroorganizama. Čišćenje se vrši kipućom vodom temperature 95 °C uz dodatak kemikalija. Više o sustavu čišćenja biti će rečeno u poglavlju Zagrijavanju vode.



Slika 19. Vakuumska pumpa

Vakuumski sustav je dnevno u upotrebi 11 sati, koliko je potrebno da se obavi proces od dvije mužnje dnevno i dva čišćenja sustava mužnje na ukupno 20 muznih mjesta. Kako vakuumske pumpe nisu opremljene frekvencijskim pretvaračima cijelo vrijeme rade na nazivnoj snazi od 4,4 kW što godišnje čini potrošnju od 17.424 kWh.



Slika 20. Sustav mužnje (1. – izmuzište, 2. – laktofriz, 3. – Pranje, 4. – Vakuumska pumpa)



Slika 21. Izmuzište

Hlađenje mlijeka

Dnevno se kroz dvije mužnje dobiva 6500 litara mlijeka temperature 37 °C koje je potrebno ohladiti na 4 °C kako bi se spriječio nastanak bakterija i mikroorganizama. Dnevno je mlijeku potrebno odvesti 837.000 kJ topline, što se radi pomoću laktofriza koji ohlađuje mlijeko na potrebnih 4 °C. Snaga kompresora laktofirza je 7,5 kW a koeficijent energetske učinkovitosti (COP) hlađenja je 4. Uvrštavanjem u jednadžbu (13) dobiva se toplina koju je potrebno odvesti mlijeku.

$$Q = 1,035 * 6,5 * 3,77 * (37 - 4)$$

$$Q = 836.968 \text{ kJ}$$

Kako bi se dobila godišnja potrošnja električne energije laktofriza, potrebno je izračunati dnevnu upotrebu kompresora laktofriza kako bi se odvela toplina mlijeka izračunata u jednadžbi (13).

$$\tau = \frac{232,49}{7,5 * 4}$$

$$\tau = 7,745 \text{ h}$$

Iz jednadžbe (14) proizlazi da je potrebno 7,75 sati rada kompresora laktofriza dnevno kako bi se ohladilo 6500 litara mlijeka na temperaturu 4 °C. Na godišnjoj razini laktofriz troši 20.925 kWh što čini 28% ukupne potrošene električne energije.

Grijanje vode

Voda na farmi se zagrijava na dva načina. Otpadna toplina kompresora laktofriza koristi se za zagrijavanje vode do temperature od 60 – 70 °C a po potrebi se voda dogrijava električnim grijačima snage 13 kW smještenim u sustavu čišćenja. Sustav regeneracije otpadne topline pokriva oko 85% potreba za toplom vodom, dok se samo 3.276 kWh električne energije godišnje troši za dogrijavanje vode pomoću električnih grijača. U štali gdje su smješteni telci postoji 80-litarski bojler sa grijačem od 2 kW koji na godišnjoj bazi potroši dodatnih 720 kWh električne energije. Ukupno sustav za grijanje vode potroši 3.996 kWh električne energije, što čini 6% ukupne potrošnje. Ovako mala potrošnja je rezultat iskorištavanja otpadne topline laktofriza.



Slika 22. Sustav za grijanje vode

Hranjenje

Hranjenje se vrši pomoću traktora, ali se električna energija koristi za pripremu hrane u mlinu, mješačima i silosima. Ukupna potrošnja je gotovo zanemariva, svega 2% ukupne potrošnje otpada na pripremu hrane. Najviše potroši mlin koji ima tri električna motora ukupne snage 3,5 kW koji potroše 1.260 kWh godišnje. Silosi i mješači potroše 432 kWh.



Slika 23. Mlin

Ventilacija

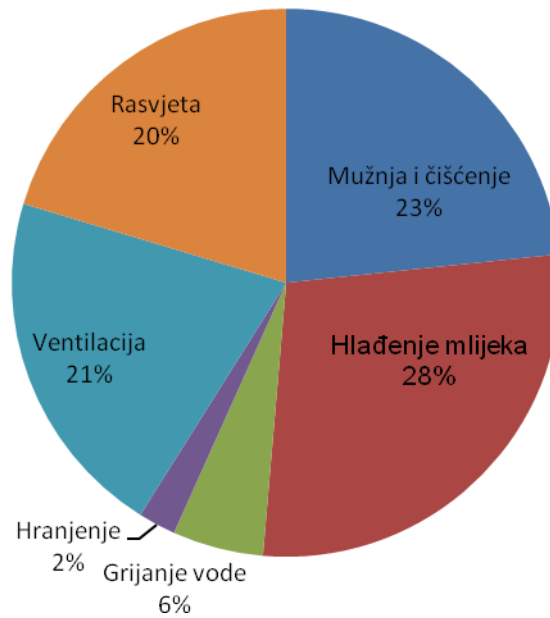
U cilju što boljih uvjeta u štali, pogotovo tijekom ljetnih mjeseci kada je primjetan pad u proizvodnji mlijeka zbog visokih temperatura štale su opremljene ventilatorima. Ukupno postoji 15 ventilatora na farmi, od čega 8 onih sa većim rotorom snage elektromotora 0,75 kW. Veći ventilatori se nalaze u štali gdje su smještene muzne krave i tijekom ljetnih mjeseci se koriste i do 16h dnevno. U štalama gdje su smješteni telci i junice instalirano je 6 manjih ventilatora snage elektromotora 0,5 kW. Jedan manji ventilator smješten je u izmuzištu i on radi 8h dnevno tokom cijele godine. Sustav ventilacije ukupno potroši 15.480 kWh godišnje što čini 21% ukupne potrošnje električne energije.

Rasvjeta

Rasvjeta na farmi je podijeljena na dva sustava. Instalirano je 6 halogenih reflektora po 500 W koji rade tokom cijele noći osvjetljavajući cijeli prostor farme. Štedne žarulje, njih ukupno 60 rade tokom radnog vremena i gase se uvečer. Ukupna potrošnja rasvjetnih tijela je 15.192 kWh, što čini 20% ukupne potrošnje električne energije.

Tablica 5 prikazuje sumarni prikaz svih potrošača na farmi, dok Slika 24. prikazuje raspodjelu potrošnje električne energije po sustavima na farmi.

Potrošnja el. energije po sustavima (2011.)



Slika 24. Potrošnje električne energije po sustavima

Tabela 13. Potrošnja električne energije po sustavima

Sustav i oprema	P (kW)	snaga (kW)	Ukupna dnevna upotreba (h/dan)												potrošnja (kWh)
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
1. Mužnja i čišćenje		4,4													17.424
- Vakuum pumpe	2,2	4,4	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	17.424
2. Hladenje mlijeka		8,75													20.925
- Laktofriz	7,5	7,5	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	7,75	20.925
- dogrijavanje	1,25	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3. Grijanje vode		15													3996
- Bojler	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	720
- Dogrijavanje	13	13	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	3.276
4. Hranjenje		8,5													1.692
- Silosi	1	3	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	360
- Mlin	3,5	3,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.260
- Mješači	1	2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	72
5. Ventilacija		9,5													15.480
- Ventilator 1	0,75	6	0	0	0	1	3	8	16	16	8	0	0	0	9.360
- Ventilator2	0,5	3	0	0	0	1	3	8	16	16	8	0	0	0	4.680
- Ventilator2	0,5	0,5	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	1.440
6. Rasvjeta		5,16													15.192
- Žarulje	0,036	2,16	7	5	3	2	1	0	0	2	3	5	5	7	2.592
- Reflektori	0,5	3	15	13	12	10	9	8	8	10	12	13	14	16	12.600
UKUPNO		51,31													74.669,4

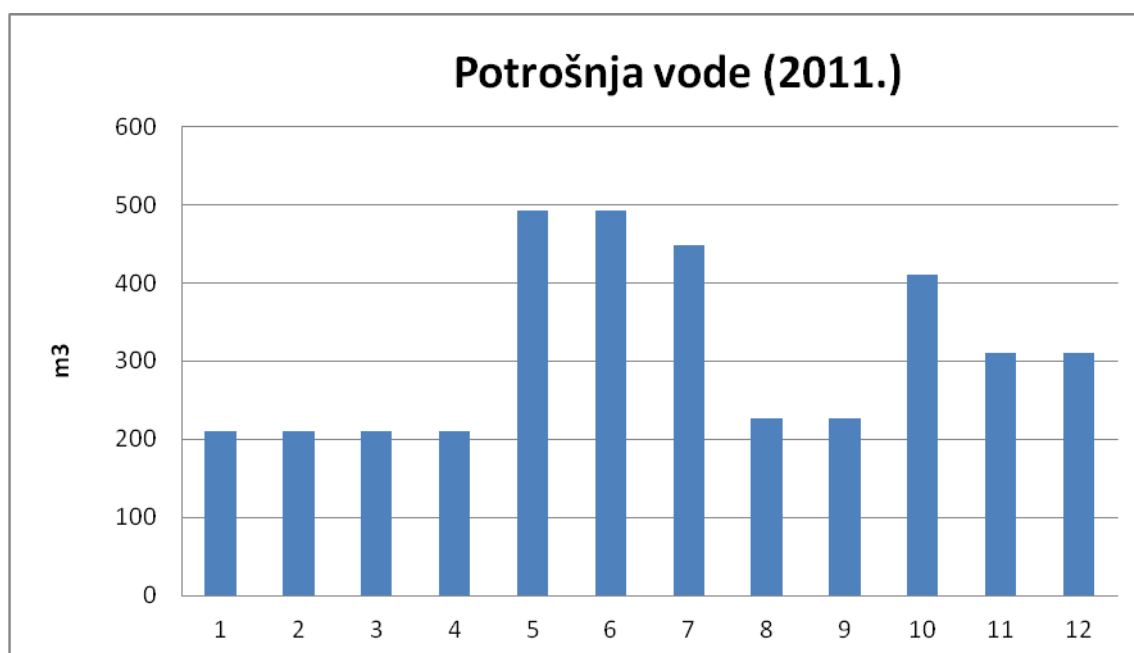
4.2.2. *Potrošnja vode*

Mliječne farme koriste velike količine vode. Ukupna potrošnja vode na farmi iznosi 3.757 m³ za 2011. godinu, odnosno 8 m³ po grlu godišnje. Sva voda se pribavlja od gradskog vodovoda, po cijeni od 11,25 kn/m³ što godišnje iznosi 42.266,25 kn.

Voda se na farmi prije svega za piće stoke. Nadalje, koristi se za čišćenje mljekarske opreme i izmuzišta, pranje krava prije ulaska u izmuzište kao i za periodičko čišćenje svih stajskih površina.

Tabela 14. Potrošnja vode

Mjesec	Datum računa	Iznos računa (kn)	Potrošnja (m ³)
Siječanj	31.01.2011.	2362,58	210
Veljača			210
Ožujak			210
Travanj	30.04.2011.	7255,21	210
Svibanj			493
Lipanj	30.06.2011.	6377,37	493
	30.06.2011.	4734,23	
Srpanj	31.07.2011.	5038,10	448
Kolovoz			227
Rujan	30.09.2011.	5094,37	226
Listopad	31.10.2011.	4621,68	410
Studeni*			310
Prosinac*			310
UKUPNO			3757



Slika 25. Potrošnja vode po mjesecima

4.2.3. Potrošnja diesel goriva

Plavi diesel na farmi se koristi za dvije osnovne namjene. Pomoću šest traktora vrši se priprema hrane i hranjenje krave, te se pomoću njih vrši čišćenje staja. Količina plavog dizela koji se iskoristi za te svrhe iznosi 3.100 litara mjesečno, tj. 36.000 litara godišnje. Ukupni troškovi za navedenu količinu plavog dizela, po cijeni od 5,96 kn/l, iznose 214.560 kn godišnje.

Osim za potrebe farme pribavlja se još 30.000 litara plavog dizela koji se troši za uzgoj stočne hrane. Ukupnu mjesečnu raspodjelu potrošnje plavog dizela prikazuje Slika 26.

Tabela 15. Potrošnja plavog dizela

Mjesec	Potrošnja (L)
Siječanj	3100
Veljača	3100
Ožujak	6700
Travanj	6700
Svibanj	6400
Lipanj	6400
Srpanj	7000
Kolovoz	7000
Rujan	7000
Listopad	3100
Studeni*	3100
Prosinac*	3100
UKUPNO	66000

**Slika 26. Potrošnja plavog dizela po mjesecima**

4.3. Trenutne emisije stakleničnih plinova

Farma Agrobavis ima 470 grla stoke i kao takva je veliki generator stakleničnih plinova. Osim velikih količina metana hranjenje krave, čišćenje štala i obrada mlijeka također pridonose emisiji stakleničnih plinova, prije svega ugljičnog dioksida. Ukupna emisija stakleničnih plinova iznosi 838 tona ekvivalenata CO₂ godišnje. Konverzijski faktor za Hrvatsku iznosi 0,33 kg CO₂/kWh [3], što znači da 74.669 kWh potrošene električne energije godišnje generira 24,64 tona CO₂ godišnje. Godišnje se potroši 36.000 litara plavog dizela što rezultira se emisijom 93,6 tona CO₂. Najveći udio u emisiji očekivano imaju krave, koje godišnje generiraju 3,85 t CO₂/UG što za 393 uvjetna grla iznosi 1507,87 tona ekvivalenta CO₂ godišnje. [31] Tablica 16. prikazuje izračun emisija CO₂, a Slika 27. pokazuje njihovu raspodjelu po izvoru.

Tabela 16. Emisije stakleničkih plinova

Izvor emisije	Iznos	Konverzijski faktor	Emisija CO ₂ (tona/god)
Električna energija (kWh/g)	74.669	0,33 kg CO ₂ /kWh	24,64
Plavi dizel (L/g)	36.000	2,6 kg CO ₂ /L	93,6
Broj uvjetnih grla	393	3,85 t CO ₂ /UG	1507,87
Metan iz gnojiva			1430,33
UKUPNO			3055,5

Broj odraslih krava na farmi je 290, a 180 grla je pomladak stoga je njihova proizvodnja stakleničnih plinova uzeta kao 60 odraslih grla.



Slika 27. Struktura emisija stakleničkih plinova

4.4. Mjere povećanja energetske efikasnosti

Obrađene su tri mjere energetske učinkovitosti:

1. Ugradnja varijabilnog frekvencijskog pretvarača (VFP)
2. Zamjena postojećih ventilatora sa HVLS ventilatorima
3. Ugradnja automatskog sustava hranjenja (ASH) u glavnu štalu

Ostale tipske mjere nisu obrađivane, prije svega one vezane sa sustav grijanja vode. Farma već posjeduje sustav rekuperacije topline od hlađenja mlijeka tako da nema potrebe za ugradnjom tog sustava. Sustav prethlađivanja mlijeka bio bi kontraproduktivan jer bi se smanjena potrošnja električne energije za hlađenje trebala iskoristiti za zagrijavanje vode. Sumarni prikaz svih mjera, kao i periodi povrata investicije i smanjenje emisija CO₂ dani su u Tablici 17.

Tabela 17. Predložene mjere energetske učinkovitosti

Br.	Mjera	Investicija	Godišnja ušteda (kWh)	Godišnje smanjenje troškova (kn)	Period povrata (godina)	Smanjenje emisije (t CO ₂ /god)
1.	Ugradnja VFP	15.000,00	7.840	7.409,55	2	2,59
2.	Zamjena postojećih ventilatora sa HVLS	80.000,00	6.117	5.505,08	14,5	2,02
3.	Ugradnja ASH	850.000,00	96.811	113.634,70	7,7	22,13
UKUPNO		945.000,00	110.768	126.549,33	7,5	26,77

4.4.1. Ugradnja varijabilnog frekvencijskog pretvarača

Vakuumske pumpe su dimenzionirane tako da mogu postići maksimalni potrebni vakuum u sustavu mužnje i čišćenja. Pumpe rade na punom opterećenju samo u malom broju slučajeva, kada postoji propuštanje u sustavu ili kada 'muznica' padne sa vimeta krave. U normalnom radu, potrebe za vakuomom su i do 50% manje nego prilikom maksimalnih opterećenja. Međutim, kako elektromotori koji pogone pumpe nemaju mogućnost promjene opterećenja, oni cijelo vrijeme rade na maksimalnoj projektiranoj snazi bez obzira na potrebno opterećenje. Tako se stvara maksimalna vrijednost vakuuma koja se smanjuje izbacivanjem 'viška' zraka u atmosferu.

Kako bi se spriječilo nepotrebno rasipanje energije, preporučuje se ugradnja varijabilnog frekvencijskog pretvarača (VFP). Frekvencijski pretvarač je opremljen senzorom koji daje informaciju kolika je vrijednost vakuuma potrebna, i u skladu s tim podešava brzinu vrtnje elektromotora. Time se značajno smanjuje potrošnja električne energije za pogon pumpi. Osim smanjenja troškova za energiju smanjuje se i razina buke koje proizvode pumpe svojim radom, produžuje se životni vijek pumpi i reduciraju se troškovi održavanja.

Vakuumske pumpe trenutno troše 17.424 kWh godišnje, a indeks iskorištenja energije iznosi 64,5 kWh/muznoj kravi što pokazuje da postoji značajan potencijal za uštede (vidi Tablicu 2.) Ugradnjom frekvencijskog pretvarača potrošnja električne energije bi se smanjila za 45% na 9.056 kWh godišnje. U razgovoru sa vlasnicima farme utvrđeno je da pumpe 85% vremena rade u periodu više tarife, a preostalih 15% u vremenu niže tarife. Stoga je i ušteda raspodijeljena u tim omjerima, tako da je u vrijeme niže tarife uštedeno 1.176 kWh, a u višoj tarifi uštedeno je 6664 kWh električne energije. Uzevši u obzir cijene kWh u višoj (1,02 kn/kWh) i nižoj tarifi (0,52 kn/kWh) ukupna godišnja ušteda na električnoj energiji iznosi 7.409,55 kn. Detaljan proces izračuna uštede prikazan je u Tablici 18.

Tabela 18. Uštede električne energije ugradnjom VFP

	1	2	3=2X1	4	5=4X3
Tarifa	Potrošnja prije ugradnje VFP	Smanjenje potrošnje	Ušteda (kWh)	Cijena (kn/kWh)	Smanjenje troškova (kn)
-viša tarifa	14.810	45%	6.664	1,02	6.797,97
-niža tarifa	2.614	45%	1.176	0,52	611,58
Ukupno	17.424				7.409,55

Izabran je varijabilni frekvencijski pretvarač njemačkog proizvođača Eaton, tip DF6-340-11k čija cijena na hrvatskom tržištu iznosi 11.269,33 kn sa PDV-om. Troškovi ugradnje procijenjeni su na 3.700 kn čime je ukupna cijena investicije zaokružena na 15.000,00 kn. Uzevši u obzir izračunate uštede u iznosu od 7.409,55 kn čisti period povrata investicije iznosi točno 2 godine.

Tabela 19. Ekonomski parametri ugradnje VFP

godina	Čisti novčani tok	PV (kn)	Kumulativni diskontirani tok	
0	-15.000,00	-15.000,00	-15.000,00	Diskontna stopa ($r = 9\%$)
1	7.409,56	6.797,76	-8.202,24	
2	7.409,56	6.236,48	-1.965,77	
3	7.409,56	5.721,54	3.755,77	Diskontirani period povrata (DPP=3,5g)
4	7.409,56	5.249,12	9.004,89	
5	7.409,56	4.815,70	13.820,59	
6	7.409,56	4.418,08	18.238,67	
7	7.409,56	4.053,28	22.291,95	Interna stopa prinosa (IRR=36%)
8	7.409,56	3.718,61	26.010,55	
9	7.409,56	3.411,57	29.422,12	
10	7.409,56	3.129,88	32.551,99	
UKUPNO	59.095,56	32.551,99		



Slika 28. Eaton VFP

Diskonta stopa iznosi 9 % za poljoprivredna poduzeća u Hrvatskoj. Izračunata je tako da je na prinos na državne obveznice RH od 7,4 % dodana premija rizika sektora, koja je za poljoprivredu procijenjena na 1,6 %. Kada se diskontiraju novčani tokovi dobiva se diskontirani period povrata od 3,5 godina. Ako se pretpostavi životni vijek opreme od 10 godina neto sadašnja vrijednost projekta ugradnje varijabilnog frekvencijskog pretvarača iznosi 32.551,99 kn. Unutarnja stopa povrata za isti projekt iznosi 36 %. Svi financijski pokazatelji upućuju da se radi o iznimno isplativom projektu. Prilikom izračuna isplativosti nisu uzeti u obzir povećanje cijene električne energije u budućnosti kao i smanjenje troškova održavanja, čije bi uključenje u proračun dodatno povećalo isplativost projekta.

Osim uštede energije i smanjenja troškova ugradnjom varijabilnog frekvencijskog pretvarača smanjena je i emisija CO₂. Smanjenjem potrošnje električne energije za 7.840 kWh smanjena je i emisija CO₂ za 2.587,2 kilograma godišnje.

4.4.2. Zamjena postojećih ventilatora sa HVLS ventilatorima

Osam ventilatora trenutno instaliranih u glavnoj štali koristi 9.360 kWh električne energije godišnje. Kada bi se sadašnji ventilatori zamijenili novim velikog protoka a male brzine (High volume low speed – HVLS) postigle bi se značajne uštede u potrošnji električne energije od čak 65 %. Umjesto dosadašnjih osam ventilatora ukupne snage 6 kW bila bi dovoljna tri, ukupne snage 2,1 kW. Smanjena angažirana snaga rezultirala bi potrošnjom električne energije od 3.234 kWh. Kada se u kalkulaciju uvrsti prosječna cijena kWh od 0,9 kn/kWh godišnja troškovi se smanjuju za 5.505,08 kn.

Tabela 20. Uštede električne energije zamjenom ventilatora

	1	2	3	4=3X2	5	6=4X5
Ventilator	broj	Snaga (kW/ve.)	Sati rada godišnje	Potrošnja	Cijena el. energija (kn/kWh)	Godišnji troškovi (kn)
-LVHS	8	0,75	1.560	9.360	0,9	8.424
-HVLS	3	0,7	1.560	3.243	0,9	2.918,92
Ušteda	5	0,05		6.117		5.505,08

Izabran je HVLS ventilator američkog proizvođača MacroAir, tip MA8XL1006. Njegova jedinična cijena iznosi 4.200,00 \$, odnosno 24.150,00 kn. Kada se dodaju troškovi prijevoza i ugradnje ukupna investicija nabave tri nova HVLS ventilatora iznosi 80.000,00 kn. Kada se u obzir uzme godišnja ušteda od 5.505,08 kn čisti period povrata iznosi 14,53 godine. Ovako dugi period povrata rezultat je visoke cijene same investicije kao i relativno kratkog korištenja ventilatora tokom godine. Kada bi se ventilatori koristili cijele godine 24 sata dnevno ušteda bi iznosila 34.347,00 kn godišnje a povrat investicije bi iznosio 2,6 godina. Međutim, obzirom da nema potrebe za cjelogodišnje korištenje ventilatora jer je štala dobro provjetrena prirodnom ventilacijom, ulaganje u HVLS ventilatore je u ovom trenutku ekonomski neopravdano.

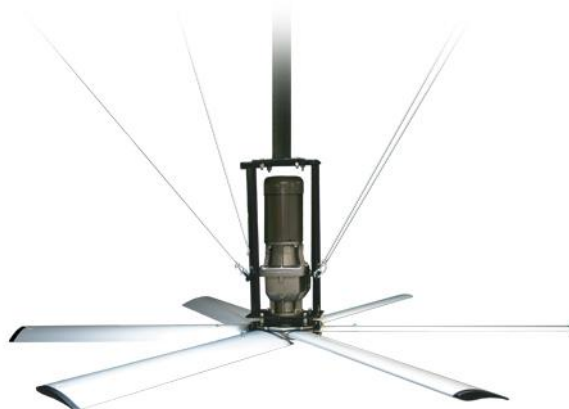
**Slika 29. HVLS MacroAir ventilator**

Tabela 21. Ekonomski parametri zamjene ventilatora

godina		PV1	PV2	
0	-80.000,00 kn	-80.000,00 kn	-58.000,00 kn	Diskontna stopa (r = 9 %)
1	5.505,08 kn	5.050,54 kn	5.050,54 kn	
2	5.505,08 kn	4.633,52 kn	4.633,52 kn	
3	5.505,08 kn	4.250,93 kn	4.250,93 kn	
4	5.505,08 kn	3.899,94 kn	3.899,94 kn	
5	5.505,08 kn	3.577,93 kn	3.577,93 kn	
6	5.505,08 kn	3.282,50 kn	3.282,50 kn	Projekt 1 IRR1 = 3,26 %
7	5.505,08 kn	3.011,47 kn	3.011,47 kn	
8	5.505,08 kn	2.762,82 kn	2.762,82 kn	
9	5.505,08 kn	2.534,69 kn	2.534,69 kn	
10	5.505,08 kn	2.325,41 kn	2.325,41 kn	
11	5.505,08 kn	2.133,40 kn	2.133,40 kn	Projekt 2 IRR2 = 7,07 %
12	5.505,08 kn	1.957,25 kn	1.957,25 kn	
13	5.505,08 kn	1.795,64 kn	1.795,64 kn	
14	5.505,08 kn	1.647,38 kn	1.647,38 kn	
15	5.505,08 kn	1.511,35 kn	1.511,35 kn	
16	5.505,08 kn	1.386,56 kn	1.386,56 kn	
17	5.505,08 kn	1.272,08 kn	1.272,08 kn	
18	5.505,08 kn	1.167,04 kn	1.167,04 kn	
19	5.505,08 kn	1.070,68 kn	1.070,68 kn	
20	5.505,08 kn	982,28 kn	982,28 kn	
	NPV	-29.746,59 kn	-7.746,59 kn	

Tablica 21. prikazuje diskontirani novčani tok za projekt zamjene ventilatora. Kao što se moglo i očekivati iz dugog vremena povrata, projekt je ekonomski neisplativ po svim parametrima. Vremenom će biti potrebno zamijeniti sadašnje ventilatore, što je razmatrano kao drugi projekt. Cijena zamjene sadašnjih LSHV ventilatora istim takvim novima iznosi

22.000,00 kn tako da je stvari investicijski trošak drugog projekta 58.000,00 kn. Čak i sa smanjenim investicijskim troškom kod drugog projekta nabava HVLS ventilatora nije, u ovom trenutku, ekonomski opravdana. Kada bi diskontna stopa iznosila 7 % projekt bi bio isplativ.

Ugradnjom HVLS ventilatora smanjila bi se i emisija CO₂, i to u iznosu od 2018,6 kilograma godišnje kao rezultat smanjenja potrošnje električne energije od 6.117 kWh.

4.4.3. Ugradnja automatskog sustava hranjenja u glavnu štalu

Trenutno se za hranjenje krava koristi traktor. Takav sustav osim što je radno intenzivan koristi i značajne količine energije. Dnevno, u prosjeku, jedan traktor potroši 4 sata rada na hranjenje muznih krava smještenih u glavnoj štali. Pritom potroši 24,7 litre plavog dizela, što iznosi 272 kWh potrošene energije. Godišnje se za hranjenje u glavnoj štali potroši 8.890 litara goriva ili 97.835 kWh. Kada se uzme u obzir cijena plavog dizela od 6 kn/L na godišnjoj bazi troškovi energije za hranjenje muznih krava iznose 53.364,71 kn. Osim troškova energije potrebno je i platiti jednog radnika puno radno vrijeme čiji je godišnji bruto trošak za poduzeće 60.000,00 kn. Ukupni troškovi hranjenja muznih krava iznose 113.364,70 kn godišnje.

Tabela 22. Uštede energije ugradnjom ASH

Trošak	1	2=1X360		4=2X1
	Dnevna potrošnja (L)	Godišnja potrošnja	Cijena (kn/L)	Trošak
-traktor	24,7	8894	6	53.364,71
-radnik	5000 kn X 12 mjeseci =			60.000,00
Ukupno				113.364,70

Automatski sustav hranjenja (ASH) umjesto traktora koristi električnu energiju te značajno smanjuje potrošnju energije, a time i troškove. Kada bi se ugradio automatski sustav hranjenja DeLaval RA135 potrošnja energije bi se smanjila sa sadašnjih 97.835 kWh na samo 3.024 kWh godišnje što je ušteda od 95 %. Troškovi za energiju pali bi sa sadašnjih 53.364,71 kn na 2.170,40 kn nakon ugradnje automatskog sustava hranjenja. Kada se smanjenju troškova energije doda i ušteda na radnoj snazi u visini od 60,000 kn ukupna ušteda na troškovima zbog ugradnje automatskog sustava hranjenja iznosi 111.190,30 kn godišnje.



Slika 30. DeLaval RA135

Procijenjena vrijednost automatskog sustava hranjenja iznosi 900.000,00 kn. Obzirom da nabavkom ASH više nema potrebe za traktorom i starom opremom za hranjenje, procijenjeno je da se prodajom opreme može zaraditi 50.000,00 kn tako da novčani tok u nultoj godini iznosi -850.000,00 kn. Čisti period povrata je 7,7 godina. Ostali ekonomski pokazatelji projekta dani su u Tablici 23.

Tabela 23. Ekonomski parametri ugradnje ASH

godina	Čisti novčani tok	PV	Kumulativni diskontirani tok	Diskontna stopa (r = 9%)
0	-850.000,00 kn	-850.000,00 kn		
1	111.190,31 kn	102.009,45 kn	-747.990,55 kn	
2	111.190,31 kn	93.586,66 kn	-654.403,89 kn	
3	111.190,31 kn	85.859,32 kn	-568.544,57 kn	
4	111.190,31 kn	78.770,02 kn	-489.774,56 kn	Diskontni period povrata (DRR = 13,5 g)
5	111.190,31 kn	72.266,07 kn	-417.508,49 kn	
6	111.190,31 kn	66.299,15 kn	-351.209,34 kn	
7	111.190,31 kn	60.824,91 kn	-290.384,43 kn	
8	111.190,31 kn	55.802,67 kn	-234.581,77 kn	
9	111.190,31 kn	51.195,11 kn	-183.386,66 kn	Interna stopa prinosa (IRR = 11,63%)
10	111.190,31 kn	46.967,99 kn	-136.418,68 kn	
11	111.190,31 kn	43.089,90 kn	-93.328,78 kn	
12	111.190,31 kn	39.532,01 kn	-53.796,77 kn	
13	111.190,31 kn	36.267,90 kn	-17.528,86 kn	
14	111.190,31 kn	33.273,31 kn	15.744,44 kn	
15	111.190,31 kn	30.525,97 kn	46.270,41 kn	
16	111.190,31 kn	28.005,48 kn	74.275,89 kn	
17	111.190,31 kn	25.693,10 kn	99.968,99 kn	
18	111.190,31 kn	23.571,65 kn	123.540,63 kn	
19	111.190,31 kn	21.625,37 kn	145.166,00 kn	
20	111.190,31 kn	19.839,79 kn	165.005,79 kn	
UKUPNO	1.373.806,12 kn	165.005,79 kn		

Neto sadašnja vrijednost projekta iznosi 165.005,79 kn, a interna stopa prinosa 11,63%. Oba ekonomska pokazatelja daju zeleno svjetlo projektu, a povrat ulaganja se može očekivati kroz 13,5 godina kada se u obzir uzmu diskontirani novčani tokovi. Prilikom izračuna u obzir nisu

uzeti troškovi održavanja, tj. pretpostavljeno je da su oni jednaki troškovima održavanja traktora i time su eliminirani iz novčanog toka.

Kada bi se ugradilo automatski sustav hranjenja na farmu osim uštede energije smanjila bi se i emisija CO₂. Zbog smanjenja potrošnje plavog dizela u iznosu 8.894 litre smanjila bi se produkcija CO₂ za 23.124,4 kilograma godišnje, međutim zbog povećanja potrošnje električne energije od 3024 kWh povećala bi se produkcija CO₂ za 997,9 kg godišnje. Kada se navedene vrijednosti oduzmu dobiva se konačno smanjenje emisije CO₂ u iznosu od 22.126,5 kilograma godišnje.

5. Upotreba obnovljivih izvora energije

Mliječne farme stvaraju značajnu količinu otpada organskog podrijetla koji čini značajan potencijal za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora. Anaerobna digestija organskih ostataka rezultira značajnim količinama bioplina koji je najefikasnije iskorišten u kogeneracijskim postrojenjima.

Farma Agrobavis također posjeduje štale značajne površine, čiji krov može biti iskorišten za instalaciju fotonaponskih panela za proizvodnju električne energije. Sumarni prikaz rezultata izgradnje bioplinskog postrojenja i fotonaponskog sustava prikazane su u Tablici 24.

Tabela 24. Sumarni prikaz ulaganja u OIE

Mjera	Snaga	Proizvodnja električne energije [kWh/god]	Investicija	Novčani tok u prvj godini	Period povrata [god]	Smanjenje emisija [t CO ₂ /god]
Bioplinsko postrojenje	100 kW	672.000	2.906.000	514.583	5,25	2.046
Fotonaponski sustav	30 kW	39.923	285.000	111.877	2,5	12,98
UKUPNO	130 kW	711.923	3.191.000	626.460	5	2.059

5.1. Bioplinsko postrojenje 100 kW

Farma Agrobavis broji 290 mliječnih krava prosječne težine 580 kg, 100 junica prosječne težine 350 kg i 80 grla teladi prosječne težine 50 kg. Mliječne krave i telad se cijelo vrijeme provode u štali, dok je junice provode 70% vremena u štali. Koristeći formulu za izračunavanje broja uvjetnih grla prema jednadžbi (14), farma Agrobavis broji 393,4 uvjetna grla.

Tabela 25. Broj uvjetnih grla na farmi

	Oznaka	Grla			Ukupno
		Krave	Junice	Telci	
Broj grla	N	290	100	80	470
Prosječna težina	$m_{\bar{z}}$	580	350	50	---
Vrijeme pravedno u štali	t_s	100%	70%	100%	---
Uvjetno grlo	UG	336,4	49	8	393,4

Iz izračunatog broja uvjetnih grla moguće je dobiti bioplinski potencijal farme. Volumen gnojiva koji se godišnje generira na farmi izračunava se iz jednadžbe (15) i iznosi $6.687,8 \text{ m}^3$.

$$V_g = 393,4 \cdot 17 = 6687,8 \text{ m}^3 / \text{god.}$$

Preko udjela organske i suhe tvari u gnojivu uvrštavajući godišnji volumen gnojiva u jednadžbu (16) dobiva se masa suhe tvari od 428 tona godišnje.

$$m_{ST} = 6687,8 \cdot 8\% \cdot 80\% = 428,0192 \text{ t} / \text{god.}$$

Količina bioplina koji se može dobiti anaerobnom digestijom iz gnoja dobiva se uvrštavanjem godišnje mase suhe tvari u jednadžbu (17). Goveda na farmi Agrobavis mogu generirati sirovine za proizvodnju **158.367,1 m³** bioplina godišnje.

$$V_{BPg} = 0,37 \cdot 428,019,2 = 158,368,1 \text{ m}^3 / \text{god.}$$

Udio metana u bioplinau iz govedeg gnoja iznosi 60%, pa je njegova donja ogrjevna vrijednost 6 kWh/m^3 . Uzevši u obzir iskoristivost motora od 90% i omjer topline i električne energije od 0,57 iz izračunate količine bioplina dobiva se potencijalna električna snaga od **62,18 kW**.

$$P_{el} = \frac{18,078 \cdot 6 \cdot 90\%}{1 + 0,57} = 62,18 \text{ kW}$$

Predloženo je bioplinsko postrojenje izlazne snage generatora od 100 kW. Vidljivo je da je količina generiranog bioplina od grla na farmi nedovoljna za zadovoljenje potreba za gorivom motora od 100 kW. Stoga je uz sirovinu sa farme potrebno skupljanje dodatne sirovine, bilo stajskog gnoja sa okolnih farmi, energetskih usjeva ili nekog drugog izvora organskih tvari

poput poljoprivrednih ostataka. Tablica 26. prikazuje prinose suhe tvari po zasijanoj površini usjeva, kao i konverzijski faktor za pojedinu biljku.

Tabela 26. Prinosi suhe tvari i konverzijski faktor za biljke

Biljka	Prinos suhe tvari [t_{ST}/ha]	Konverzijski faktor [m^3/kg]
Kukuruzna silaža	12	0,569
Travnata silaža	10	0,551
Slama	60	0,329
Šećerna repa	11	0,83

Raspoloživost postrojenja je procijenjena na 7000 sati godišnje, što znači da se godišnje proizvede **700.000 kWh** električne energije. Za proizvodnju navedene količine električne energije potrebno je **1.221.111 kWh** energije goriva uz zadržavanje pretpostavki o učinkovitosti motora i omjera topline i električne energije.

$$Q_g = \frac{700.000 \cdot 1,57}{90\%} = 1.211.111,11 \text{ kWh}$$

Pretpostavi li se sadržaj metana u bioplina od 60 %, ogrjevna vrijednost iznosi 6 kWh/m³. Godišnja količina bioplina koja je potrebna za rad motora od 100 kW 7000 sati godišnje iznosi **201.852 m³**.

$$V_{BP}(100kW) = \frac{1.211.111,11}{6} = 201.851,85 \text{ m}^3$$

Sirovinska baza od 393 uvjetna grla farme Agrobavis pokriva 78,5 % godišnjih potreba za bioplina postrojenja od 100 kW. Preostalih 43.484 m³ bioplina treba pokriti iz drugih izvora. Kada bi se koristio goveđi gnoj sa drugih farmi potrebno je dodatnih 108 uvjetnih grla ili 6,4 ha zasijana kukuruzom. Količine zasijanih površina i broja uvjetnih grla dodatno potrebnih za rad postrojenja od 100 kW prikazane su u Tablici 27.

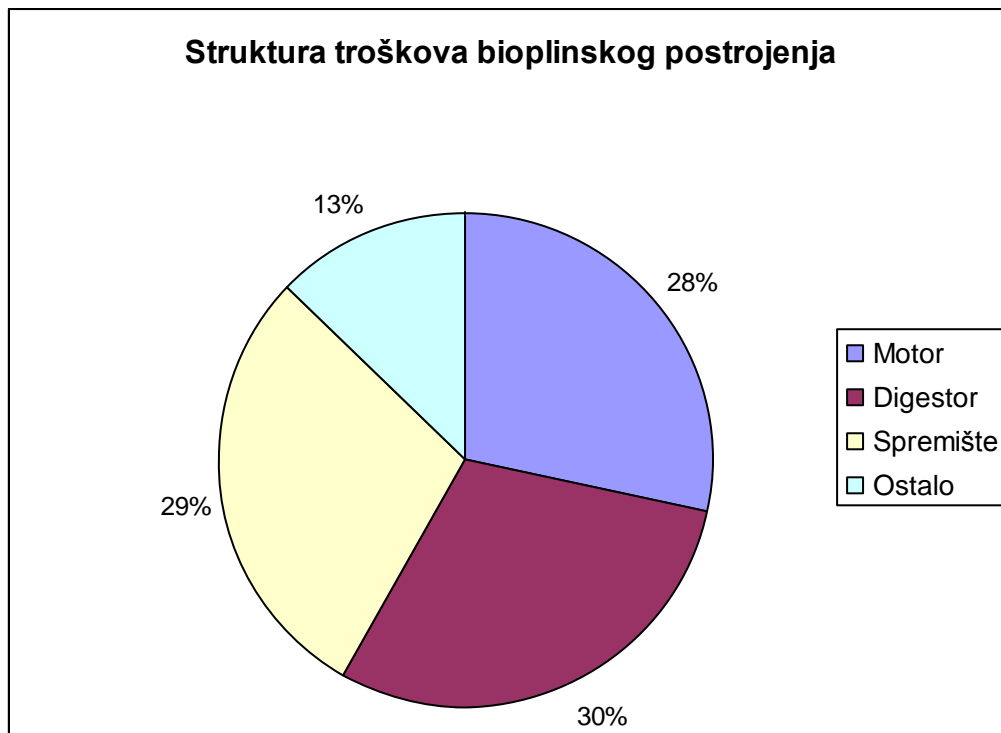
Tabela 27. Potrebe dodatne količine sirovine za rad postrojenja

Sirovina	Potreba zasijana površina [ha] ili broj UG
Kravlji gnoj	108
Kukuruzna silaža	6,4
Travnata silaža	7,9
Slama	22
Šećerna repa	4,8

Troškovi izgradnje bioplinskog postrojenja procijenjeni su na temelju postrojenja sličnih snaga motora i volumena digestora. [24] Volumen digestora i spremišta za gnoj izračunat je pomoću kalkulatora za bioplin dostupnog na internet stranici IEE Geronimo projekta. [25] Ukupna investicija u bioplinsko postrojenje iznosi 2.906.250,00 kn a njena struktura prikazana je na Slici 29. Vrijednosti pojedinih komponenti postrojenja kao i njihove jedinične cijene dane su u Tablici 28.

Tabela 28. Cijene opreme za bioplinsko postrojenje

Stavka	Cijena	Jedinica	Količina	Cijena [EUR]	Cijena [kn]
CHP motor	1.100	EUR/kW	100	110.000	825.000
Digestor	165	EUR/m ³	700	115.500	866.250
Spremište gnoja	80	EUR/m ³	1400	112.000	840.000
Ostali troškovi				50.000	375.000
Ukupno	3875	EUR/kW	100	387.500	2.906.250



Slika 31. Struktura investicije u bioplinsko postrojenje

Bioplinsko postrojenje proizvedenu električnu energiju prodaje u mrežu po poticajnoj tarifi od 1,3837 kn/kWh. [31] Autonomna potrošnja električne energije postrojenja iznosi 4% ukupne snage, i troši se za pogon mješača smjese u digestoru, dobavljača sirovine u digestor i cirkulacijskih pumpi. [26] Isporučena energija u mrežu iznosi 672.000 kWh godišnje.

$$E_e = 80\% \cdot 100 \cdot 8760 \cdot (1 - 4\%) = 672.000 \text{ kWh}$$

Ukupni prihod u prvoj godini iznosi 929.846,40 kn. Poticajna cijena je usklađena sa rastom općih cijena tako da njen iznos raste za 3% godišnje na koliko je procijenjena stopa inflacije. Troškovi pogona procijenjeni su na 4% cijene investicije, a uključuju trošak osiguranja, održavanja i radne snage. U prvoj godini troškovi pogona iznose 116.843,75 kn a i rastu po stopi inflacije svake godine. Tablica 29. prikazuje porast prihoda i troškova pogona kroz 12 godina koliko je zajamčena otkupna cijena.

Tabela 29. Prihodi, troškovi i kredit

Godina	Prihod od prodaje EE	Troškovi pogona	Anuitet	Kamate
1	929.846,40 kn	116.843,75 kn	250.820,01 kn	81.375,00 kn
2	957.741,79 kn	120.349,06 kn	250.820,01 kn	74.597,20 kn
3	986.474,05 kn	123.959,53 kn	250.820,01 kn	67.548,29 kn
4	1.016.068,27 kn	127.678,32 kn	250.820,01 kn	60.217,42 kn
5	1.046.550,32 kn	131.508,67 kn	250.820,01 kn	52.593,31 kn
6	1.077.946,82 kn	135.453,93 kn	250.820,01 kn	44.664,25 kn
7	1.110.285,23 kn	139.517,55 kn	250.820,01 kn	36.418,01 kn
8	1.143.593,79 kn	143.703,07 kn	250.820,01 kn	27.841,93 kn
9	1.177.901,60 kn	148.014,17 kn	250.820,01 kn	18.922,81 kn
10	1.213.238,65 kn	152.454,59 kn	250.820,01 kn	9.646,92 kn
11	1.249.635,81 kn	157.028,23 kn	0,00 kn	0,00 kn
12	1.287.124,88 kn	161.739,08 kn	0,00 kn	0,00 kn

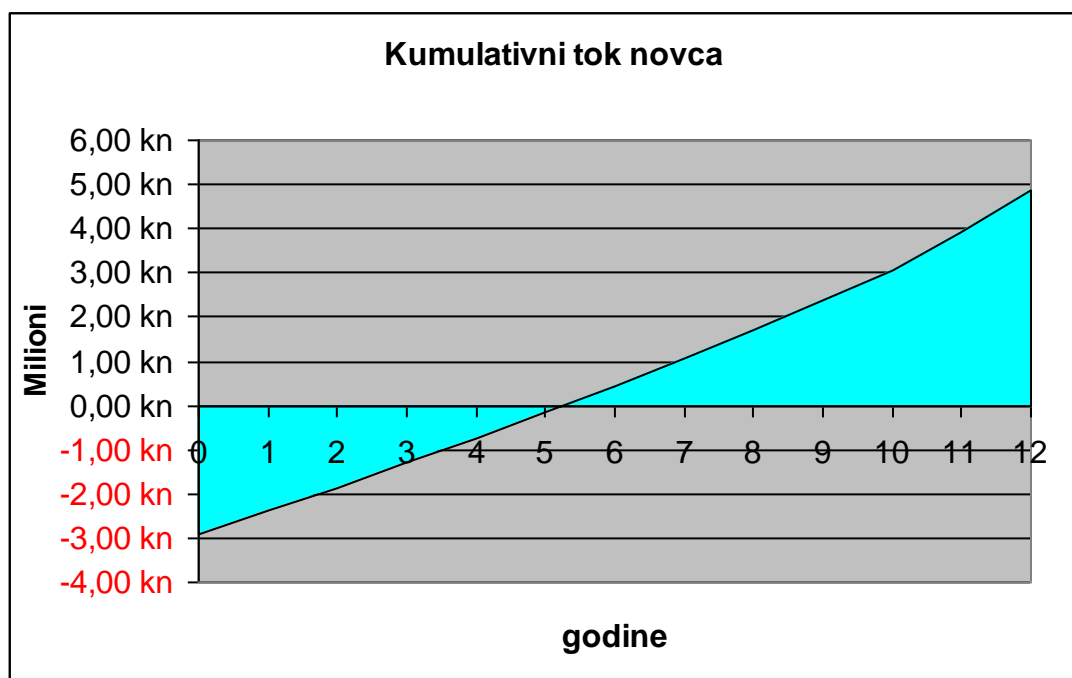
Investicija se financira iz kredita u iznosu od 70% ukupnog iznosa investicije što iznosi **2.034.375,00 kn**. Ostatak od 871.875,00 kn su vlastita sredstva investitora. Kamata na kredit iznosi 4% godišnje, a rok otplate je 10 godina. Iznos anuiteta kredita je **250.820,01 kn**, a njegov iznos zajedno sa iznosom kamata kroz godine prikazan je u Tablici 29.

Troškovi amortizacije za pojedine dijelove postrojenja prikazani su u Tablici 30. Zbog različitih perioda amortizacije njen iznos se mijenja u 6. i 11. godini eksploatacije projekta.

Tabela 30. Troškovi amortizacije

Stavka	Cijena	Period amortizacije	Iznos amortizacije
CHP motor	825.000 kn	10 god.	82.500 kn
Digestor i spremište za gnoj	1.706.250 kn	20 god.	85.312,5 kn
Ostalo	350.000	5 god.	75.000 kn
Amortizacija 0. – 5. god.			242.812,5 kn
Amortizacija 6. – 10. god.			167.812,5 kn
Amortizacija 11. – god.			85.312,5 kn

Nakon odbitka amortizacije i iznosa kamata od bruto profita dobiva se porezna osnovica na koju se zaračunava porez na dobit u iznosu od 20%. Čisti novčani tok predstavlja bruto dobit umanjenu za iznos poreza na dobit. U prvoj godini čisti novčani tok iznosi **514.583,61 kn**, a njegov iznos kroz svih 12 godina prikazan je u Tablici 31. Kumulativni tok novca prikazuje Slika 32., iz koje je vidljivo da period povrata investicije iznosi nešto više od 5 godina, točnije **5,25 godina**.

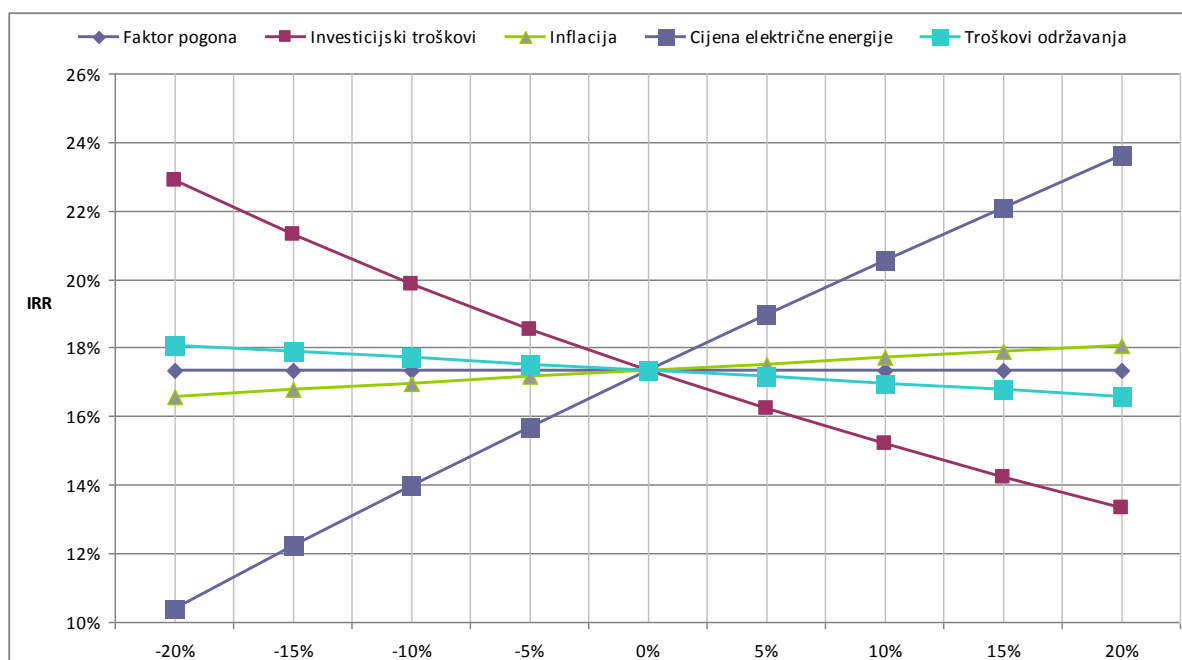
**Slika 32. Kumulativni novčani tok ulaganja u bioplinsko postojenje**

Diskontiranjem čistog novčanog toka, uz diskontnu stopu od 8%, dobivamo sadašnju vrijednost budućih novčanih tokova. Neto sadašnja vrijednost projekta na kraju razdoblja od 12 godina iznosi 1.759.822,05 kn, a sadašnja vrijednost budućih novčanih tokova prikazana je u Tablici 31. Interna stopa povrata projekta bioplinskog postrojenja od 100 kW iznosi 17,47%.

Tabela 31. Ekonomski parametri ulaganja u bioplinsko postrojenje

Godina	Čisti novčani tok	PV	Kumulativni diskontirani tok	
0	-2.906.250,00 kn	-2.906.250,00 kn	-2.906.250,00 kn	Diskontna stopa (r=8%)
1	514.583,61 kn	476.466,30 kn	-2.429.783,70 kn	
2	532.740,11 kn	456.738,78 kn	-1.973.044,92 kn	
3	551.427,75 kn	437.741,13 kn	-1.535.303,79 kn	
4	570.661,93 kn	419.453,55 kn	-1.115.850,23 kn	Diskontirani period povrata (DPP=6,9 god.)
5	590.458,47 kn	401.856,11 kn	-713.994,12 kn	
6	595.833,65 kn	375.476,27 kn	-338.517,85 kn	
7	616.804,24 kn	359.899,35 kn	21.381,50 kn	
8	638.387,44 kn	344.900,87 kn	366.282,37 kn	Interna stopa prinosa (IRR=17,47%)
9	660.601,00 kn	330.464,97 kn	696.747,33 kn	
10	683.463,12 kn	316.575,67 kn	1.013.323,00 kn	
11	891.148,56 kn	382.198,34 kn	1.395.521,34 kn	
12	917.371,14 kn	364.300,70 kn	1.759.822,05 kn	
Ukupno	4.857.231,02 kn	1.759.822,05 kn		

Svi ekonomski pokazatelji upućuju na to da je projekt izgradnje bioplinskog postrojenja na farmi Agrobavis isplativa investicija. Slika 33. prikazuje analizu osjetljivosti investicije u bioplinsko postrojenje. Vidljivo je da najveći utjecaj na isplativost imaju otkupna cijena električne energije i investicijski trošak.



Slika 33. Analiza osjetljivosti ulaganja u bioplinsko postrojenje

Osim proizvodnje toplinske i električne energije instaliranje bioplinskog postrojenja na farmu djeluje i na smanjenje emisije stakleničkih plinova. Smanjenje emisija potječe iz dva izvora, zamjene dosadašnje potrošnje električne energije onom iz obnovljivog izvora koje je izračunato temeljem jednadžbe (27).

$$GHG_{ene} = 0,33 \cdot 672.000 = 221.760 \text{ kg} = 221,760 \text{ t CO}_2$$

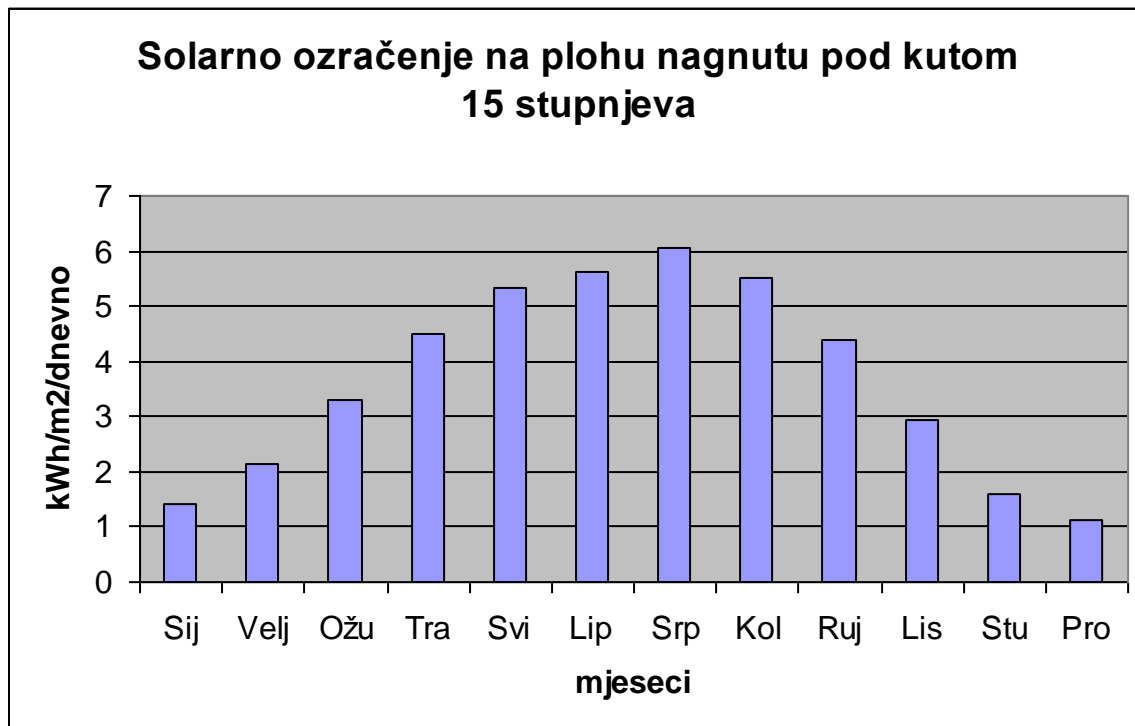
Anaerobna digestija također smanjuje emisiju stakleničkih plinova kroz 'hvatanje' metana u digestoru koji bi u suprotnosti završio u atmosferi. Količina ekvivalentnog smanjenja stakleničkih plinova izračunava se prema jednadžbi (28).

$$GHG_{met} = 201.851 \cdot 0,60 \cdot 0,7168 \cdot 21 = 1.823.054 \text{ kg} = 1.823 \text{ t CO}_2$$

Ukupno smanjenje emisije stakleničkih plinova izgradnjom bioplinskog postrojenja iznosi 2.046 tona ekvivalenta CO₂.

5.2. Fotonaponski sustav 30 kW

Dio krova glavne štale ima orijentaciju prema južnoj strani, stoga predstavlja dobar potencijal za ugradnju fotonaponskog sustava. Površina tog dijela krova je veća od 1000 m², a nagib prema horizontali iznosi 150. Prosječno dnevno solarno ozračenje na plohu nagnutu pod od 150 prema horizontali prikazuje Slika 34.

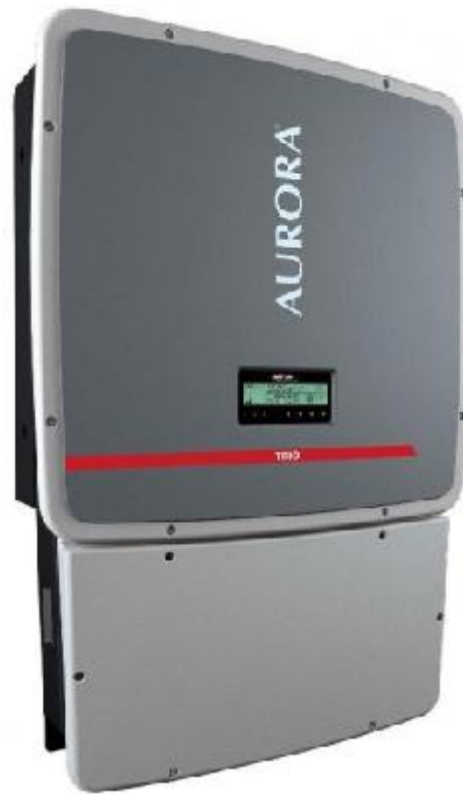


Slika 34. Solarno zračenje na nagnutu plohu (15°)

Vrijednosti su izračunate pomoću PVGIS sustava koristeći relaciju iz jednadžbe (23). Prosječno solarno ozračenje na južnu plohu krova iznosi **3,67 kWh/m²** dnevno.

Odabrani su solarni paneli Schott Poly 235 W čija je efikasnost 14%. [28] Efikasnost odabranog invertera Power One Trio 27,6TL iznosi 98% [29], pa je ukupna efikasnost solarnog sustava pretvorbe sukladno jednadžbi (25) **13,72%**.

$$\mu_{PV} = 14\% \cdot 98\% = 13,72\%$$



Slika 35.

Fotonaponski paneli i inverter

Snaga fotonaponskog sustava je 30 kW, za što je potrebno instalirati **214 m²** fotonaponskih panela na krov. Snaga isporučena u mrežu računa se prema jednadžbi (24), a mjesečne vrijednosti isporučene električne energije nalaze se u Tablici 32.

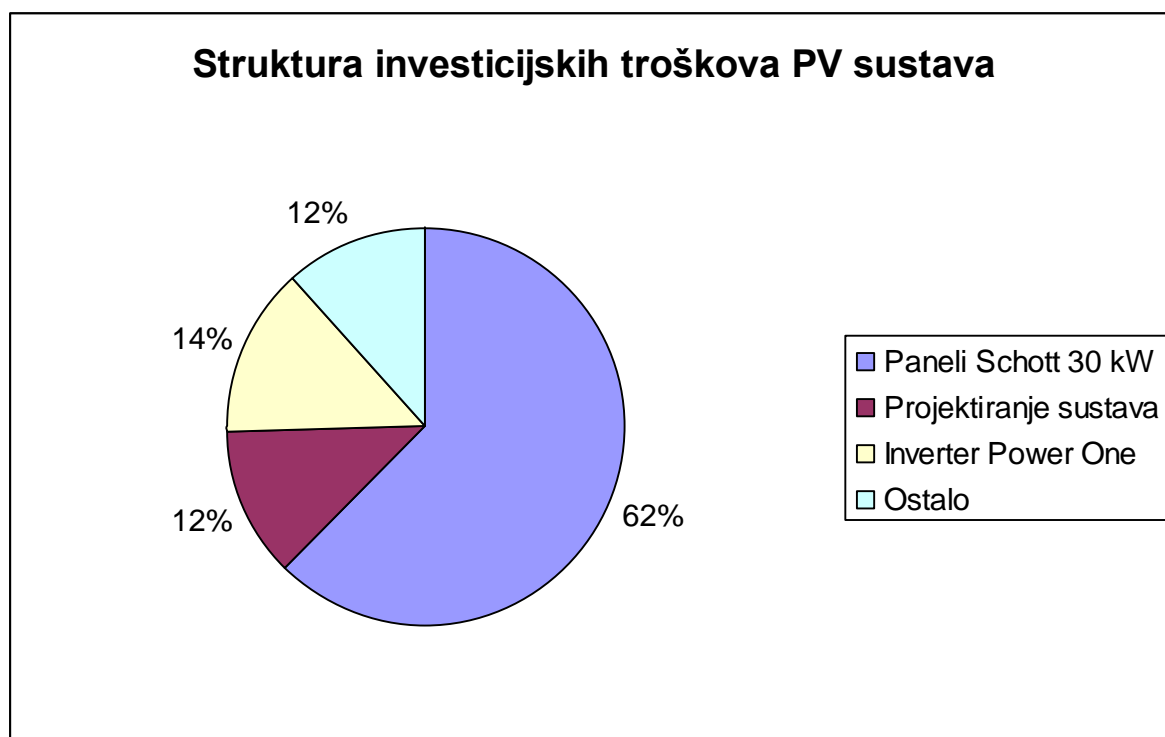
Tabela 32. Isporučena električna energija po mjesecima

Mjesec	Isporučena energija [kWh]
Siječanj	1283,36
Veljača	1767,52
Ožujak	3012,71
Travanj	3954,90
Svibanj	4851,28
Lipanj	4941,42
Srpanj	5497,52
Kolovoz	5015,12
Rujan	3866,82
Listopad	2685,05
Studeni	1409,32
Prosinac	1037,61
Ukupno godišnje	39322,63

Cijena investicije u fotonaponski sustav dobivena je od ovlaštenog zastupnika opreme [30], i ukupno iznosi 285.000 kn. Najveći trošak predstavljaju fotonaponski paneli čija cijena čini 62% ukupne investicije (vidi Sliku 36.). Komponente sustava i njihove cijene prikazane su u Tablici 33.

Tabela 33. Cijene opreme fotonaponskog sustva

Stavka	Cijena	Period amortizacije	Iznos amortizacije
Schott 30 kW panela	177.000 kn	10	17.700 kn
Projektiranje	35.000 kn	5	7.000 kn
Inverter Power One	40.000 kn	10	4.000 kn
Ostalo	33.000 kn	5	6.600 kn
Amortizacija 0. – 5. godina			35.300 kn
Amortizacija 6. – 10. godina			21.700 kn

**Slika 36. Struktura ulaganja u fotonaposki sustav**

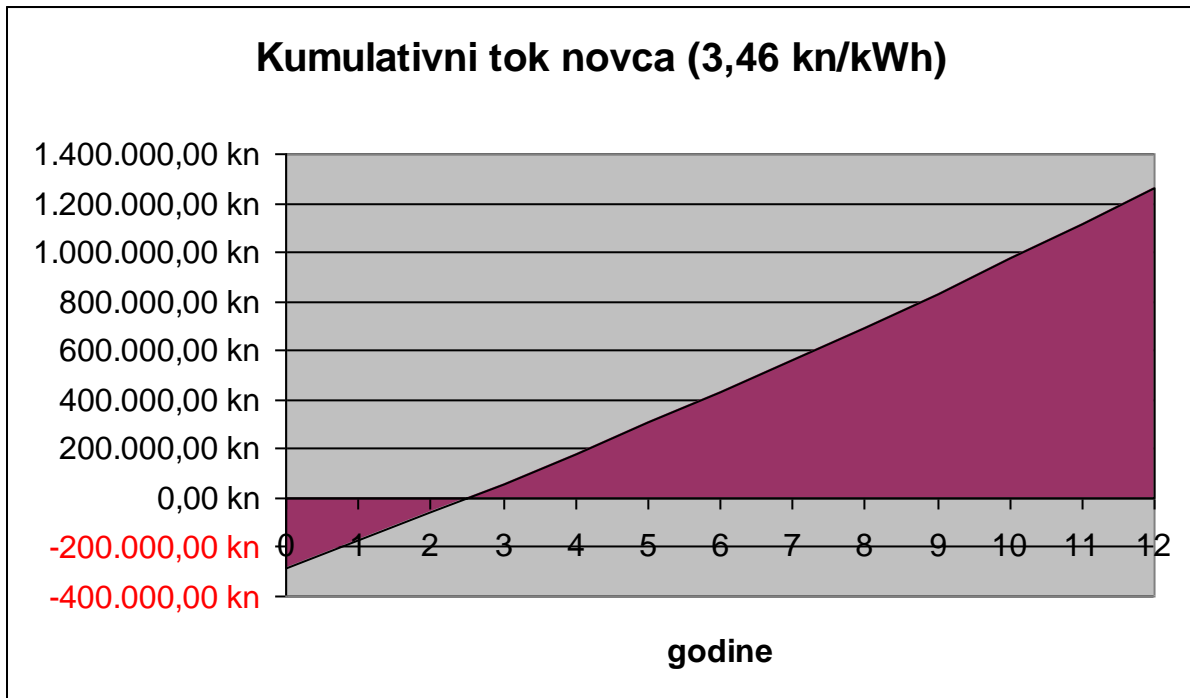
Godišnje se prodaje 39.323 kWh električne energije po poticajnoj tarifi od 3,4591 kn/kWh. [31] Prihod od prodaje električne energije u prvoj godini iznosi 136.021 kn. U sljedećim godinama raste otkupna cijena sukladno porastu opće razine cijena. Uz pretpostavljenu inflaciju od 3% godišnje, prihod od prodaje električne energije kroz 12 godina prikazan je u

Tablici 34. Tablica 34. prikazuje i porast troškova održavanja koji su procijenjeni na 5.000 kn godišnje u prvoj godini. [32]

Tabela 34. Prihodi i troškovi PV sustva

Godina	Prihod od prodaje EE	Troškovi održavanja
1	136.020,90 kn	5.000,00 kn
2	140.101,52 kn	5.150,00 kn
3	144.304,57 kn	5.304,50 kn
4	148.633,70 kn	5.463,64 kn
5	153.092,72 kn	5.627,54 kn
6	157.685,50 kn	5.796,37 kn
7	162.416,06 kn	5.970,26 kn
8	167.288,54 kn	6.149,37 kn
9	172.307,20 kn	6.333,85 kn
10	177.476,42 kn	6.523,87 kn
11	182.800,71 kn	6.719,58 kn
12	188.284,73 kn	6.921,17 kn

Oduzimanjem prihoda od troškova održavanja dobiva se bruto dobit koja se umanjuje za iznos amortizacije kako bi se dobila porezna osnovica. Iznosi amortizacije prikazani su u Tablici 33. Projekt se u cijelosti financira vlastitim sredstvima pa nema troškova kamata. Nakon odbitka porezna na dobit od bruto dobiti dobivamo neto dobit, odnosno čisti novčani tok projekta. On u prvoj godini iznosi **111.877 kn**. Novčani tok kroz 12 godina prikazuje Tablica 35., a na Slici 37. prikazan je kumulativni novčani tok.



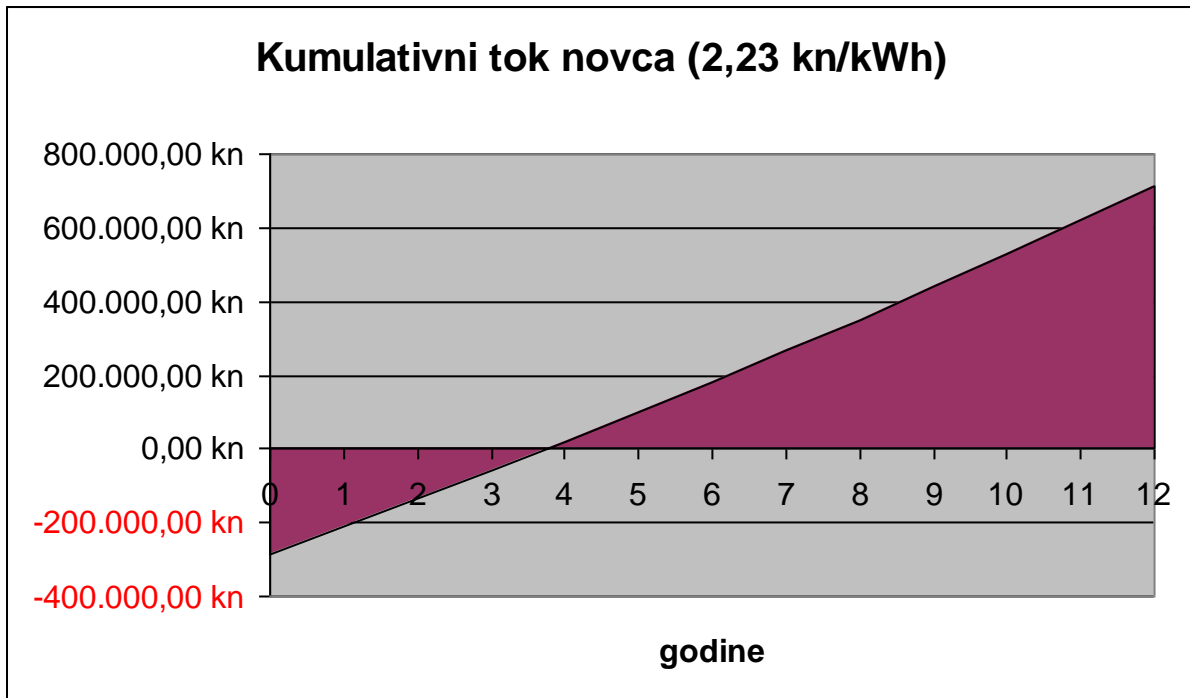
Slika 37. Kumulativni noćani tok PV sustava uz otkupnu cijenu 3,46 kn/kWh

Slika 37. jasno prikazuje da je ulaganje u PV sustav izuzetno isplativ projekt jer je period povrata na razini od 2,5 godine. Diskontna stopa iznosi 8%, a neto sadašnja vrijednost nakon 12 godina 664.394 kn. Interna stopa prinosa iznosi 41%. Svi ekonomski pokazatelji pokazuju visoke vrijednosti stoga je ulaganje u fotonaposnki sustav od 30 kW isplativa investicija.

Tabela 35. Ekonomski parametri ulaganja u PV sustav

Godina	Čisti novčani tok	PV	Kumulativni diskontirani tok	
0	-285.000,00 kn	-285.000,00 kn	-285.000,00 kn	Diskontna stopa (r=8%)
1	111.876,72 kn	103.589,55 kn	-181.410,45 kn	
2	115.021,22 kn	98.612,15 kn	-82.798,29 kn	
3	118.260,05 kn	93.878,64 kn	11.080,35 kn	Diskontirani period povrata (DPP=2,9 god.)
4	121.596,06 kn	89.376,73 kn	100.457,08 kn	
5	125.032,14 kn	85.094,77 kn	185.551,85 kn	
6	125.851,30 kn	79.307,67 kn	264.859,52 kn	
7	129.496,64 kn	75.560,05 kn	340.419,57 kn	Interna stopa prinosa (IRR=41,02%)
8	133.251,34 kn	71.991,55 kn	412.411,12 kn	
9	137.118,68 kn	68.593,48 kn	481.004,60 kn	
10	141.102,04 kn	65.357,55 kn	546.362,14 kn	
11	140.864,90 kn	60.414,54 kn	606.776,69 kn	
12	145.090,85 kn	57.617,57 kn	664.394,26 kn	
Ukupno	1.259.561,93 kn	664.394,26 kn		

Tragom informacije o smanjenju poticajnih cijena za proizvodnju električne energije izračunata je i isplativost projekta na temelju novih otkupnih cijena. Predložena nova otkupna cijena iznos 2,23 kn/kWh što je 55% manje od sadašnje otkupne cijene. Kumulativni tok novca sa novom otkupnom cijenom, prikazan je na Slici 38.



Slika 38. Kumulativni novčani tok uz otkupnu cijenu 2,23 kn/kWh

Vidljivo je da nova otkupna cijena gotovo produljuje period povrata, te on za novu cijenu iznosi 3,9 godine. Neto sadašnja vrijednost uz novu cijenu iznosi 328.927,10 kn, a interna stopa prinosa 25,92%. Unatoč značajnom smanjenju otkupne cijene investicija u fotonaponski sustav je i dalje isplativa, razumljivo uz lošije rezultate. Valja naglasiti da je vijek trajanja opreme preko 20 godina, stoga su stvarni povrati na investiciju veći. Razdoblje od 12 godina uzeto je zbog garantirane cijene otkupa električne energije.

Smanjenje emisije stakleničkih plinova dolazi iz zamjene trenutnog energetskeg miksa sa električnom energijom iz solarnog sustava. Smanjenje emisija izračunato je na temelju jednadžbe (27).

$$GHG_{ene} = 0,33 \cdot 39323 = 12.977 \text{ kg} = 12,98 \text{ t CO}_2$$

Količina električne energije od 39.323 kWh koja je predana u mrežu dovodi do smanjenja emisija od 12,98 t CO₂ godišnje.

6. Zaključak

Poljoprivredna proizvodnja predstavlja jedan od glavnih načina negativnog međudjelovanja čovjeka i njegovog okoliša. Velike energetske potrebe poljoprivrednog sektora u svijetu osiguravaju se primarno korištenjem fosilnih goriva. Takav način uzgoja hrane postaje neodrživ, jer ne samo da se iscrpljuju u osnovi neobnovljivi izvori, već se i povećava emisija stakleničkih plinova. Nadalje, stočarska proizvodnja jedna je od glavnih uzročnika emisija stakleničkih plinova, prije svega metana nastalog razlaganjem organskih tvari.

Održivost poljoprivredne proizvodnje moguće je postići uz ulaganja u smanjenje potrošnje energije i upotrebu obnovljivih izvora. Efikasnim korištenjem svih oblika energije moguće je smanjiti potrošnju fosilnih goriva i emisiju stakleničkih plinova. Velike količine električne energije rasipaju se korištenjem neefikasnih uređaja na farmama, što nije samo neodgovorno prema okolišu već i povećava troškove poslovanja i smanjuje konkurentnost. Ulaganja u efikasniju opremu brzo se isplaćuju, a osim niže cijene proizvodnje smanjuje se i negativna utjecaj na okoliš kroz smanjenje energetske potreba.

Ostatci iz poljoprivredne proizvodnje uzrokuju čitav niz negativnih utjecaja na tlo, vodu i zrak. Stoga je njihovo pravilno odlaganje od presudne važnosti za postizanje održive poljoprivrede. Najefikasniji način zbrinjavanja organskog otpada je proces anaerobne digestije čija dva nusproizvoda imaju veliku uporabnu vrijednost. Digestat koji ostaje nakon procesa ima izvrsna nutritivna svojstva što ga čini idealnom zamjenom za umjetna i prirodna neobrađena gnojiva. Njegovom upotrebom smanjuje emisija metana iz prirodnih gnojiva, ali i potrošnja energije i s njom povezana emisija stakleničkih plinova za proizvodnju umjetnih gnojiva.

Drugi nusproizvod anaerobne digestije je bioplina, koji se spaljivanjem u kogeneracijskim postrojenjima može koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije. Njegovim korištenjem eliminira se potreba za proizvodnjom električne energije iz drugih, primarno fosilnih izvora. Zahvaljujući poticajima za proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, postrojenja na bioplina imaju i snažan učinak na ekonomski položaj samih poljoprivrednika.

Literatura

- [1] THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF DAIRY PRODUCTION IN THE EU: PRACTICAL OPTIONS FOR THE IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT
- [2] Matjaž Ošljaj, Bogomir Muršec 'Bioplin kao obnovljivi izvor energije', Tehnički vjesnik, Vol. 17 No. 1, 2010
- [3] Publikacija Energija u Hrvatskoj 2010.,
http://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/EUH_od_45/Energija2010.pdf
- [4] Direktiva Europske komisije, 2009/28/EC, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:en:PDF>
- [5] Energetska strategija RH, http://www.energetska-efikasnost.undp.hr/attachments/181_Nacrt%20Energetske%20Strategije%20Zelena_knjiga_101108.pdf
- [6] <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume3.pdf>
- [7] http://www.biogasin.org/files/pdf/HCL/CRES_HLC_Sofia2010.pdf
- [8] Priručnik za bioplin, http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf
- [9] <http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/publicLCI/stucki-2011-biogas-substrates.pdf>
- [10] <http://www.thebioenergysite.com/articles/170/substrates-increase-onfarm-energy-production-in-anaerobic-digesters>
- [11] http://spin-project.eu/downloads/0_Background_paper_biogas_Germany_en.pdf
- [12] http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html
- [13] Dairy Farm Energy Management Guide,
- [14] http://www.ina.hr/userdocsimages/pdf/Katalog_goriva.pdf
- [15] <http://www.ina.hr/default.aspx?id=203>, 11.11.2011.
- [16] <http://www.hep.hr/ods/kupci/tarifni.aspx>, 11.11.2011.
- [17] http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html

- [18] Tomislav PUKŠEC, Neven DUIĆ 'Biogas Potential in Croatian Farming Sector', Strojarsstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu, Vol.52 No.4 Kolovoz 2010.
- [19] <http://en.wikipedia.org/wiki/Methane>
- [20] Ivan Cvrk, Diplomski rad: Optimiranje korištenja solarne energije fotonaponskom pretvorbom
- [21] Goran Krajačić, Diplomski rad: Energetsko planiranje otoka Mljeta uz uvjet maksimizacije korištenja obnovljivih izvora
- [22] Saeed Esfandiari, Ramin Khosrokhavar 'Greenhouse Gas Emissions Reduction through a Biogas Plant: A Case Study of Waste Management Systems at FEKA Dairy Farm', 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol.6 (2011)
- [23] Jerry Murphy, Rudolf BRAUN, Peter WEILAND, Arthur WELLINGER: Biogas from Crop Digestion
- [24]
- [25] <http://energy4farms.eu/biogas-calculator/>
- [26] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser: Biogas from waste and renewable resources
- [27] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [28] <http://www.solarni-paneli.hr/pdf/shott/SCHOTT%20POLY%20220-235%20data%20sheet%20EN%200610.pdf>
- [29] <http://www.power-one.com/renewable-energy/products/solar/string-inverters/aurora-trio/trio-200-tl-trio-276-tl/series>
- [30] <http://www.solarni-paneli.hr/pdf/cjenik.pdf>
- [31] http://www.hrote.hr/hrote/obnovljivi/HR_OIE_1.pdf
- [32] prezentacija Solar Photovoltaic Plant Operating and Maintenance Costs
- [33] <http://www.obnovljivi.com/aktualno/1215-prijedlog-novog-tarifnog-sustava-za-oie>
- [34] http://www.progressivedairy.com/index.php?option=com_content&view=article&id=6491:how-much-gas-do-cows-produce&catid=77:manure&Itemid=121
- [35] D. Brdarić, D. Kralik, S. Kukić, R. Spajić, G. Tunjić: 'Konverzija organskog gnoja u bioplin'

