



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Đorđe Đatkov

**RAZVOJ METODE ZA OCENU EFIKASNOSTI
RADA POLJOPRIVREDNIH BIOGAS
POSTROJENJA PRIMENOM FAZI LOGIKE I
EKSPERTSKIH SISTEMA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2013.



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, RBR :	–	
Identifikacioni broj, IBR :	–	
Tip dokumentacije, TD :	Monografska publikacija	
Tip zapisa, TZ :	Tekstualni štampani materijal	
Vrsta rada, VR :	Doktorska disertacija	
Autor, AU :	Đorđe Đatkov, master	
Mentor, MN :	Prof. dr Milan Martinov	
Naslov rada, NR :	Razvoj metode za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja primenom fazi logike i ekspertskih sistema	
Jezik publikacije, JP :	srpski	
Jezik izvoda, Jl :	srpski/engleski	
Zemlja publikovanja, ZP :	Republika Srbija	
Uže geografsko područje, UGP :	Autonomna Pokrajina Vojvodina	
Godina, GO :	2013.	
Izdavač, IZ :	autorski reprint	
Mesto i adresa, MA :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6	
Fizički opis rada, FO : (poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)	4/125/79/23/0/21/8	
Naučna oblast, NO :	Tehničko-tehnološke nauke	
Naučna disciplina, ND :	Obnovljivi izvori energije	
Predmetna odrednica/Ključne reči, PO :	Biogas postrojenje, ocena efikasnosti, poboljšanje efikasnosti, metoda, fazi logika, ekspertski sistem	
UDK	–	
Čuva se, ČU :	U biblioteci Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad	
Važna napomena, VN :	Tekst lektorisala Radmila Brkić	
Izvod, IZ :	Cilj ovog istraživanja bio je da se razvije metoda čijim korišćenjem može da se doprinese poboljšanju efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja. Da bi se to ostvarilo, izabrani su odgovarajući kriterijumi i parametri. Razvijena je metoda za ocenu efikasnosti, a rezultati dobijeni njenim korišćenjem ukazuju na potrebu za poboljšanjem. Razvijena je i metoda za analizu mogućnosti poboljšanja, kojom se predlažu mere za ostvarenje poboljšanja. U razvoju metoda korišćeni su principi fazi logike i ekspertskih sistema, da se modeluje neodređenost u podacima i koristi ekspertsko znanje za ocenu. Testiranjem metoda, koristeći podatke o radu petnaest postrojenja u Bavarskoj, zaključeno je da su metode primenljive u obliku pomoćnog alata za sprovođenje poboljšanja efikasnosti.	
Datum prihvatanja teme, DP :	23.02.2012.	
Datum odbrane, DO :		
Članovi komisije, KO :		
Predsednik:	dr Branislav Veselinov, vanredni profesor	Potpis mentora
Član:	dr Aleksandra Dimitrijević, docent	
Član:	dr Goran Vujić, vanredni profesor	
Član:	dr Rade Doroslovački, profesor	
Član, mentor:	dr Milan Martinov, profesor	



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	–
Identification number, INO :	–
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Ph.D. Thesis
Author, AU :	Đorđe Đatkov, MSc
Mentor, MN :	Prof. Dr. Milan Martinov
Title, TI :	Development of a method for assessing the efficiency of agricultural biogas plants using fuzzy logic and expert systems
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian/English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Autonomous Province of Vojvodina
Publication year, PY :	2013
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	4/125/79/23/0/21/8
Scientific field, SF :	Technological sciences
Scientific discipline, SD :	Renewable Energy Sources
Subject/Key words, S/KW :	Biogas plant, efficiency assessment, efficiency improvement, method, fuzzy logic, expert system
UC	–
Holding data, HD :	In the Library of the Faculty of Technical Sciences Novi Sad
Note, N :	Text edited by Radmila Brkić
Abstract, AB :	The aim of this investigation was to develop a method that can be used for improving the efficiency of agricultural biogas plants. In order to achieve this, appropriate criteria and parameters were selected. The method for assessing the efficiency was developed, which results indicate the need for improvement. The method for analyzing the possibilities of improvement was developed as well, in order to propose measures for improvement. In development of methods, principles of fuzzy logic and expert systems were used, in order to model uncertainty in the data and to use expert knowledge for assessment. According to test results, using data of fifteen biogas plants in Bavaria, it was concluded that methods can be used for efficiency improvement.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	23.02.2012
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	Dr. Branislav Veselinov, associate professor
Member:	Dr. Aleksandra Dimitrijević, assistant professor
Member:	Dr. Goran Vujić, associate professor
Member:	Dr. Rade Doroslovački, professor
Member, Mentor:	Dr. Milan Martinov, professor

Mentor's sign

ZAHVALNICA

Doktorska disertacija rezultat je saradnje Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad, Departmana za inženjerstvo zaštite životne sredine, Katedre za inženjerstvo biosistema i Instituta za poljoprivrednu tehniku iz Frajzinga u Nemačkoj (*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – LfL*). Moj desetomesečni istraživački boravak na *LfL*-u je omogućen sredstvima Nemačke službe za akademsku razmenu (*Deutscher Akademischer Austausch Dienst – DAAD*), a nekoliko kraćih boravaka ostvareno je i uz pomoć sredstava Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru bilateralnog programa PPP Nemačka – Srbija.

Zahvaljujem se prof. dr Gronauer Andreas-u, bivšem šefu „biogas” radne grupe na *LfL*-u, što mi je ukazao šansu da istraživanje sprovedem na renomiranoj instituciji iz oblasti biogasa. Dr Effenberger Mathias-u sa *LfL*-a se zahvaljujem na brojnim konsultacijama i pruženoj mogućnosti da koristim podatke o radu biogas postrojenja u Bavarskoj bez kojih ne bih uspešno završio istraživanje.

Prof. dr Tešić Milošu se zahvaljujem na korisnim savetima koji su doprineli da se rezultati istraživanja prikažu u formi naučnog rada. Svom mentoru, prof. dr Martinov Milanu, hvala na pomoći i prenesenom znanju, a posebno na ukazanom značaju da rezultati istraživanja treba da doprinesu rešavanju praktičnih problema i razvoju struke.

Svojoj porodici, ocu Milošu, majci Jovanki i bratu Nemanji se zahvaljujem što su mi omogućili školovanje i pružili podršku u svemu što radim. Svojoj devojci Nataši, koja mi je bila inspiracija i koja je imala razumevanja za brojna odricanja, posvećujem ovaj rad.

Novi Sad, maja 2013.

Đorđe Đatkov

PUBLIKACIJE OBJAVLJENE IZ REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Radovi u časopisima

- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Martinov M, Tešić M, Gronauer A. 2012. New method for assessing the performance of agricultural biogas plants. *Renewable Energy* 40(1): 104-112. **M21**
- Đatkov Đ, Effenberger M, Gronauer A. 2010. Vergleich der Prozesseffizienz in Biogasanlagen: Anwendung der Data Envelopment Analysis (DEA). *Landtechnik* 65(2): 132-135. **M51**
- Đatkov Đ, Effenberger M. 2010. Data Envelopment Analysis for assessing the efficiency of biogas plants: capabilities and limitations. *Journal on Processing and Energy in Agriculture (former PTEP)* 14(3-4): 49-53. **M51**
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Gronauer A. 2009. Assessing the overall efficiency of biogas plants by means of Data Envelopment Analysis (DEA). *PTEP* 13(2): 139-142. **M51**
- Effenberger M, Lehner A, Đatkov Đ, Gronauer A. 2009. Performance figures of Bavarian agricultural biogas plants. *Contemporary Agricultural Engineering* 35(4): 219-227. **M51**

Radovi na skupovima

- Đatkov Đ, Effenberger M, Martinov M. 2012. Development of a method for assessing the performance of agricultural biogas plants. In *Proc. 40th International Symposium: Actual Tasks on Agricultural Engineering*, 557-567. Opatija, Hrvatska, 21-24. februara. **M33**
- Effenberger M, Đatkov Đ, Ebertseder F, Kissel R. 2012. Bayerische Pilotbetriebe zur Biogasproduktion – Ergebnisse aus fünf Jahren Monitoring. In *Proc. Landestechische Jahrestagung: Energiewende und Landwirtschaft*, 45-52. Bad Staffelstein, Nemačka, 22. novembar. **M63**
- Effenberger M, Đatkov Đ. 2011. Monitoring and assessing the performance of agricultural biogas plants. In *Proc. 39th International Symposium: Actual Tasks on Agricultural Engineering*, 201-210. Opatija, Hrvatska, 22-25. februara. **M33**
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Gronauer A. 2009. Untersuchungen zur Effizienz der Bayerischen Biogas-Pilotanlagen mittels Data Envelopment Analysis. In *Proc. 18. Symposium: Bioenergie – Festbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas*, 184-188. Bad Staffelstein, Nemačka, 19-20. novembra. **M63**
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Gronauer A. 2009. Assessing the overall efficiency of Bavarian pilot biogas plants. In *Proc. International Scientific Conference: Biogas Science 2009 (science meets practice)*, 707-716. Erding, Nemačka, 2-4. decembra. **M33**

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Značaj proizvodnje i korišćenja biogasa u poljoprivredi.....	2
1.2 Pojam i značaj poboljšanja efikasnosti.....	4
1.3 Pregled prethodnih istraživanja.....	7
1.3.1 Praćenje efikasnosti.....	7
1.3.2 Ocenjivanje efikasnosti.....	10
1.3.3 Poboljšanje efikasnosti.....	13
1.3.4 Opis problema i potrebe za istraživanjem.....	14
1.4 Metodski pristupi za rešavanje problema.....	16
1.5 Cilj i hipoteza istraživanja.....	19
2. MATERIJALI I METODE	20
2.1 Materijalne podloge za razvoj metoda.....	20
2.1.1 Biogas postrojenja za testiranje metoda.....	20
2.1.2 Izbor kriterijuma i parametara.....	25
2.1.3 Podaci korišćeni za razvoj metoda.....	25
2.1.4 Računarski program za implementaciju razvijene metode.....	26
2.2 Teoretske osnove za razvoj i primenu metoda.....	26
2.2.1 Definisane neodređenosti principima rasprostiranja greške.....	26
2.2.2 Modelovanje neodređenosti fazi logikom i fazi skupovima.....	28
2.2.3 Ocena efikasnosti višeuslovnim približnim rasuđivanjem.....	31
2.2.4 Definisane mere za poboljšanje efikasnosti ekspertskim sistemima.....	33
2.2.5 Postupak testiranja razvijenih metoda.....	33
3. REZULTATI I DISKUSIJA	36
3.1 Izabrani kriterijumi i parametri.....	36
3.1.1 Kriterijumi za ocenu efikasnosti.....	36
3.1.2 Parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti.....	41
3.2 Razvijene metode.....	44
3.2.1 Metoda za ocenu efikasnosti 1a.....	45
3.2.2 Metoda za ocenu efikasnosti 1b.....	48
3.2.3 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2a.....	50
3.2.4 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2b.....	53
3.3 Rezultati testiranja razvijenih metoda.....	56
3.3.1 Metoda za ocenu efikasnosti 1a.....	56
3.3.2 Metoda za ocenu efikasnosti 1b.....	59
3.3.3 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2a.....	61
3.3.4 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2b.....	63

3.4 Ocena primenljivosti razvijenih metoda.....	71
3.4.1 Mogućnosti korišćenja razvijenih metoda.....	71
3.4.2 Ograničenja za korišćenje i potreba daljnjeg razvoja metoda.....	75
4. ZAKLJUČCI.....	77
APSTRAKT.....	80
ABSTRACT.....	82
LITERATURA.....	84
PRILOZI	
I Vrednosti kriterijuma za ocenu efikasnosti	
II Vrednosti parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti	
III Proračun rasprostiranja greške	
IV Primeri klasa efikasnosti	
V AKO-ONDA pravila	
VI Izvod iz programskog koda u <i>Matlab-u</i>	
VII Rezultati metode 2a	
VIII Rezultati metode 2b	

S P I S A K S L I K A

1	Šematski prikaz lanca proizvodnje i korišćenja biogasa.....	5
2	Udeo biogas postrojenja prema broju sati rada kogenerativnog postrojenja pri nazivnoj snazi.....	8
3	Promena u kumulativnoj potrebi za energijom za pet biogas postrojenja u toku dva različita vremenska perioda.....	9
4	Poređenje električne efikasnosti za razmatrana biogas postrojenja.....	10
5	Rezultati ocene efikasnosti četrdeset i jednog biogas postrojenja primenom DEA metode.....	11
6	„Težine”, važnost kriterijuma, za ocenu efikasnosti.....	13
7	Klasičan i fazi skup „efikasno”.....	17
8	Sastavni delovi ekspertskih sistema.....	18
9	Opšta šema procesa proizvodnje i korišćenja biogasa za petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja korišćenih za testiranje razvijenih metoda.....	24
10	Primer fazi broja i fazi intervala.....	28
11	Predstavljanje neodređenosti u vrednostima kriterijuma ili parametara pomoću fazi broja.....	29
12	Primer lingvističke varijable za pojam „efikasnost”.....	29
13	Kvalitativna ocena poređenjem fazi klasa efikasnosti i rezultujućeg fazi broja.....	30
14	Opšta šema višeuslovnog približnog rasuđivanja.....	31
15	Grafički prikaz metode interpolacije u sistemu višeuslovnog približnog rasuđivanja.....	32
16	Dijagram toka za postupak testiranja razvijenih metoda.....	35
17	Šema postupka ocene efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja.....	45
18	Primer fazi „težine” za kriterijum K2.....	47
19	Definisani postupak za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja.....	51
20	Dijagram toka predloženog načina korišćenja razvijenih metoda.....	73
21	<i>BiogasDoc</i> : a) Izveštaj o pogonskim parametrima biogas postrojenja (prvi modul); b) Ocena efikasnosti tehničkog stanovišta rada (drugi modul).....	74

SPISAK TABELA

1	Karakteristike petnaest biogas postrojenja korišćenih za testiranje razvijenih metoda.....	21
2	Najvažniji literaturni izvori korišćeni za razvoj metoda.....	26
3	Izračunavanje ukupne greške u zavisnosti od primenjene aritmetičke operacije.....	28
4	Izabrani kriterijumi za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja.....	36
5	Neodređenost u vrednostima kriterijuma za ocenu efikasnosti.....	37
6	Izabrani parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja.....	41
7	Neodređenost u vrednostima parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti.....	41
8	Definisane fazi „težine” kriterijuma korišćene u oceni efikasnosti metodom 1a....	46
9	Kvalitativna stanja za definisane klase efikasnosti i njihovo značenje.....	48
10	Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti proizvodnje biogasa za metodu 2a.....	52
11	Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti korišćenja biogasa za metodu 2a.....	53
12	Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti proizvodnje biogasa za metodu 2b.....	55
13	Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti korišćenja biogasa za metodu 2b.....	56
14	Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1a (biogas postrojenja A-J), kvalitativna ocena kriterijuma K1-K8.....	57
15	Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1a (biogas postrojenja A-J), kvalitativna i kvantitativna ocena, poredak za stanovišta S1-S3 i ukupnu efikasnost.....	58
16	Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1a (biogas postrojenja A2_I-I2_II), kvalitativna i kvantitativna ocena, i poredak u odnosu na tehničko stanovište.....	59
17	Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b (biogas postrojenja A-J), kvalitativna ocena kriterijuma K1-K8.....	59

18	Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b (biogas postrojenja A-J), kvalitativna i kvantitativna ocena, poredak za stanovišta S1-S3 i ukupnu efikasnost.....	60
19	Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b (biogas postrojenja A2_I-I2_II), kvalitativna i kvantitativna ocena, i poredak u odnosu na tehničko stanovište.....	61
20	Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2a, primer za biogas postrojenje A2_I.....	62
21	Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2a, primer za biogas postrojenje A2_II.....	63
22	Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2b, primer za biogas postrojenje A2_I.....	66
23	Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2b, primer za biogas postrojenje A2_II.....	67

SPISAK SKRAĆENICA

AF	anaerobna fermentacija
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
EBA	<i>European Biogas Association</i>
ES	ekspertski sistem
FMA	<i>Fuzzy Mathematical Approach</i>
GHG	<i>Greenhouse Gases</i> , gasovi koji uvećavaju efekat staklene bašte
KPETE	kombinovana proizvodnja električne i toplotne energije
LfL	<i>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft</i>
MCDA	<i>Multi-criteria Decision Analysis</i>
OIE	obnovljivi izvori energije
SAW	<i>Simple Additive Weighing</i>
UG	uslovno grlo

1. UVOD

Biogas je vrsta obnovljivog izvora energije (OIE), a najčešće se definiše kao vid gasovite biomase. Nastaje procesom mikrobiološke razgradnje organske materije u anaerobnim uslovima (bez prisustva kiseonika) i uz prisustvo anaerobnih vrsta bakterija (Scholwin i dr, 2009). U današnje vreme, najčešće se pod pojmom „biogas” podrazumeva gas nastao u anaerobnim fermentorima i kontrolisanim uslovima, tj. u biogas postrojenjima (Martinov i dr, 2011). Proces anaerobne razgradnje, tj. anaerobne fermentacije (AF), u prirodi je široko rasprostranjen i odvija se na mestima na kojima postoje anaerobni uslovi i anaerobne vrste bakterija, a to su: mulj močvara, dno mora i okeana, burag preživara i uskladišteni ekskrementi životinja – stajnjak (Anonim, 2006). Za proizvodnju biogasa u kontrolisanim uslovima – u biogas postrojenjima, najčešće se kao sirovina koristi stajnjak. Postoji više formi stajnjaka, a prema Burton i Turner (2003) klasifikovane su kao: 1) tečni stajnjak (osoka) – mešavina ekskremenata i vode, transportuje se i skladišti kao tečnost 2) čvrsti stajnjak – mešavina ekskremenata i prostirke, ali i u formi osušenih ili ocedenih ekskremenata, sa kojim se postupa kao sa čvrstom materijom.

Poznato je da je u domaćinstvima biogas korišćen u Kini još pre oko 2.000 godina, a u Asiriji u X i Persiji u XVI, veku za zagrevanje sanitarne vode. U Indiji je 1987. godine izgrađen prvi fermentor, u bolnici u Mumbaju. Biogas je korišćen za rasvetu, a kao sirovina koristio se kanalizacioni otpad (Abbasi i dr, 2012). Kina i Indija vodeće su zemlje po količini proizvedenog biogasa i po broju biogas postrojenja. Većina tih biogas postrojenja nalazi se u ruralnim oblastima, gde se proizvedeni biogas koristi na primitivan način, za kuvanje i rasvetu. U razvijenim evropskim zemljama (Nemačka, Velika Britanija, Francuska, Italija, Austrija, Holandija), izgrađena su brojna biogas postrojenja za generisanje električne energije. Prema podacima Evropske asocijacije za biogas (*European Biogas Association – EBA*), do kraja 2009. godine, Nemačka je lider u EU po apsolutnoj količini proizvedenog biogasa i proizvodnji po broju stanovnika, 3.675 ktoe i 44,71 toe/10³ stanovnika (*toe – ton oil equivalent*, tona ekvivalentne nafte). Krajem 2011. godine, ukupna instalisana električna snaga 7.215 biogas postrojenja u Nemačkoj iznosila je 2.904 MW (Nemačka asocijacija za biogas – *Fachverband Biogas e.V.*).

Razvoj biogas tehnologije i izgradnja brojnih biogas postrojenja u EU omogućeni su zbog težnje, ali i obaveze da se više električne energije generiše iz obnovljivih izvora energije (OIE), pa time i iz biogasa. To je definisano Direktivom 2009/28/EC (Anonim, 2009b). Prema toj Direktivi, u EU do 2020. godine udeo OIE u korišćenju primarne energije treba da bude najmanje 20 %, te da se bar 20 % električne energije generiše iz OIE, kao i da se u oblasti transporta 10 % energije obezbedi korišćenjem

biogoriva. Sve zemlje članice EU i one koje to žele da postanu, u koje spada i Srbija, imaju obavezu da doprinesu ostvarenju ovih ciljeva.

Cena električne energije generisane iz OIE viša je od one iz fosilnih izvora, pretežno zbog visokih investicija, ali i cene sirovina. To je naročito izraženo za biogas postrojenja i električnu energiju generisanu iz biogasa, jer se koriste sirovine, tj. supstrati, čija je cena visoka. Proizvodnja i korišćenje biogasa, pa i izgradnja biogas postrojenja, podržava se na razne načine, te se time doprinosi zaštiti životne sredine, a dodatno je moguće da se decentralizovano generiše energija i ostvaruju pozitivni socio-ekonomski efekti. U zemljama u kojima se proizvodnja „zelene” energije podržava, definisani su pravni okviri koji treba da omogućе ispunjenje postavljenih ciljeva. Za to postoje različiti mehanizmi finansijske podrške, a najčešći slučaj je da se vlasnicima postrojenja dodeljuje status privilegovanog proizvođača i isplaćuju subvencionisane cene, tzv. *feed-in* tarife, za električnu energiju koja se generiše iz biogasa i isporučuje u javnu električnu mrežu. U Srbiji su definisani potrebni pravni okviri (Anonim, 2009c; Anonim, 2009d), a zatim i inovirani (Anonim, 2013a; Anonim, 2013b), kojima se podstiče razvoj biogas tehnologije, pa su brojna postrojenja u fazi planiranja, projektovanja ili izgradnje.

Istraživanje koje je rezultiralo izradom ove doktorske disertacije, plod je dugogodišnje saradnje Instituta za poljoprivrednu tehniku iz Frajzinga u Nemačkoj, (*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft – LfL*) i Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad, Katedre za inženjerstvo biosistema. Ideja o potrebi za istraživanjem i mogućnostima primene dobijenih rezultata, nastala je iz zajedničke težnje da se pomogne korisnicima u oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa. U Nemačkoj je cilj da se poboljša efikasnost rada brojnih biogas postrojenja koja su u pogonu. U Srbiji, gde je primena biogas tehnologije u začetku, cilj je da se novoizgrađena i biogas postrojenja, još u fazi planiranja i izgradnje, tako koncipiraju da dostignu „najbolju moguću praksu”, tj. najvišu efikasnost koja može da se postigne postojećom tehnologijom za proizvodnju i korišćenje biogasa. Opšti cilj je da se doprinese efikasnijoj primeni biogas tehnologije i time podstakne daljnje povećanje proizvodnje i korišćenja biogasa. Nepostojanje opšteprihvaćenog postupka za ocenu efikasnosti biogas postrojenja, kao i za definisanje mera za poboljšanje efikasnosti jasan je problem, čijem rešavanju treba težiti. Jedan doprinos rešavanju navedenog problema je i istraživanje koje je rezultiralo ovom doktorskom disertacijom.

1.1 Značaj proizvodnje i korišćenja biogasa u poljoprivredi

Većina postojećih biogas postrojenja su poljoprivredna. Pod pojmom poljoprivredna biogas postrojenja podrazumevaju se ona koja isključivo ili pretežno kao supstrate koriste stajnjak, energetsko bilje, žetvene i druge ostatke iz poljoprivrede i primarne prerade poljoprivrednih proizvoda. Namena izgradnje biogas postrojenja prevashodno je bila zaštita životne sredine, ali sve više na značaju dobija decentralizovano generisanje

električne energije i ostvarenje profita. Anaerobni tretman pogodan je način i da se zbrine klanični i otpad iz prehrambene industrije, kao i da se postigne stabilizacija mulja nastalog prečišćavanjem komunalnih i industrijskih otpadnih voda. Svaka od navedenih mogućnosti primene anaerobne tehnologije razlikuje se po zahtevima za tretman supstrata, konfiguraciji postrojenja, mogućnosti odlaganja ostatka fermentacije, korišćenju energije za pogon postrojenja, visini investicije. Ovde će se isključivo razmatrati poljoprivredna biogas postrojenja, na kojima se proizvedeni biogas koristi u kogeneraciji, tj. za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (KPETE).

Direktne emisije iz poljoprivredne proizvodnje čine čak jednu petinu ukupnih emisija GHG (*Greenhouse Gases* – gasovi koji uvećavaju efekat staklene bašte) u atmosferu (Houghton i dr, 2001). Kada se razmotre i indirektno emisije, nastale tokom proizvodnje mineralnih hraniva i mehanizacije, ovaj udeo je još veći (Olesen i dr, 2006). Dejstvo metana (CH_4) na efekat staklene bašte 23 puta je intenzivnije od ugljen-dioksida (CO_2), dok je za azot-suboksid (N_2O) taj odnos 296 puta (Anonim, 2009b). Poljoprivredna proizvodnja, prvenstveno stočarstvo, učestvuje sa čak polovinom ukupnih emisija CH_4 (Mosier i dr, 1998a) i čak 80 % ukupnih emisija N_2O (Mosier i dr, 1998b), uzrokovanih čovekovom aktivnošću. Prema tome, značajan potencijalni doprinos sprečavanju klimatskih promena može da se ostvari smanjenjem emisija GHG iz poljoprivrede, prvenstveno odgovarajućim tretmanom stajnjaka.

AF jedan je od najvažnijih tretmana koji se primenjuje za stajnjak (Burton i Turner, 2003). Osim smanjenja emisija GHG u atmosferu, primena AF omogućava i iskorišćenje energetskog potencijala stajnjaka. Zbog toga postoji stav da stajnjak ne predstavlja otpad stočarstva, već koristan resurs (Burton i Turner, 2003). Gasoviti produkt AF je biogas, a kada je on proizveden u kontrolisanim uslovima, najveći udeo čini CH_4 (oko dve trećine), zatim CO_2 (oko jedne trećine), a znatno je manji udeo drugih gasova, kao što su vodena para, kiseonik, azot, amonijak, vodonik i vodonik-sulfid (Scholwin i dr, 2009; Anonim, 2006).

Energetski sadržaj biogasa bazira se na metanu, koji je jedini gorivi gas značajnog udela. Kada se sagoreva CH_4 u proizvedenom biogasu nastaje CO_2 . Cilj sagorevanja CH_4 je konverzija u toplotnu, kogeneracijom u električnu i toplotnu energiju, ili dobijanje biometana i njegovo korišćenje kao pogonskog goriva za motorna vozila (Pöschl i dr, 2010). Na taj način sprečavaju se direktne emisije CH_4 u atmosferu, koje bi, inače, nastale skladištenjem netretiranog stajnjaka, što dovodi do umanjenja uticaja na efekat staklene bašte. Dodatno, iskorišćenjem biogasa za generisanje električne i toplotne energije, zamenjuju se fosilna goriva čime se i indirektno sprečavaju emisije CO_2 koje bi nastale njihovim sagorevanjem. Emisije N_2O mogu da budu smanjene, ili čak i povećane u slučaju anaerobnog tretmana stajnjaka (Crolla i dr, 2011), a na to najviše ima uticaja period odležavanja ostatka fermentacije, pre distribucije po poljoprivrednim i drugim površinama.

Sa stanovišta zaštite životne sredine, osim uticaja na atmosferu razmatra se i uticaj stajnjaka na zemljište i podzemne vode. Prema istraživanjima koje su sproveli Michel i dr. (2010), anaerobnim tretmanom stajnjaka smanjuje se potencijal zakišeljavanja i eutrofizacije zemljišta. Prema tom izvoru, smanjuje se i zagađenje podzemnih voda, koje nastaje usled ceđenja tečne faze iz stajnjaka.

Ostatak fermentacije je nusproizvod procesa AF, a postoji više načina za njegovo iskorišćenje (Martinov i dr, 2011). Prilikom korišćenja kao hraniva, u poređenju sa netretiranim stajnjakom, ostatak fermentacije ima niz prednosti, jer ima homogeniju strukturu, povoljniji odnos ugljenika i azota – C/N, a hranljive materije su dostupnije biljkama (Al Seadi i dr, 2008). Pri tome, zamenjuju se mineralna hraniva za čiju proizvodnju je potrebno ulaganje energije, što direktno utiče i na smanjenje emisija GHG. Zbog anaerobnih uslova i povišene temperature, u fermentoru se odvija higijenzacija i odumiranje patogenih mikroorganizama (Al Seadi i dr, 2008; Lebuhn i dr, 2008). Tokom procesa AF, razgrađuje se i niz organskih supstanci koje izazivaju neprijatne mirise, čime se uklanja negativan uticaj na stanovništvo u okolini.

Proizvodnjom i korišćenjem biogasa u poljoprivredi doprinosi se i ruralnom razvoju. Za vlasnika, biogas postrojenje predstavlja mogućnost ostvarenja prihoda, koji se ostvaruje prodajom električne i valorizacijom toplotne energije. Većina postojećih biogas postrojenja radi u mezofilnom režimu (temperatura oko 40° C), pa je potrebno da se u toku većeg dela godine sprovodi grejanje fermentora. Zbog toga je moguće da se valorizuje, tj. efikasno iskoristi, samo toplotna energija koja preostaje nakon grejanja fermentora, a nadalje će za tu količinu da se koristi izraz „preostala toplotna energija”. Osim ostvarenja prihoda za vlasnika, zapošljavaju se i radnici koji rade na pogonu biogas postrojenja. Kada se za proizvodnju biogasa kao supstrat koristi i energetska bilje, zapošljava se i lokalno stanovništvo za njegovu proizvodnju. Na nacionalnom nivou, sa stanovišta makroekonomije, smanjuje se zavisnost od uvoza energenata.

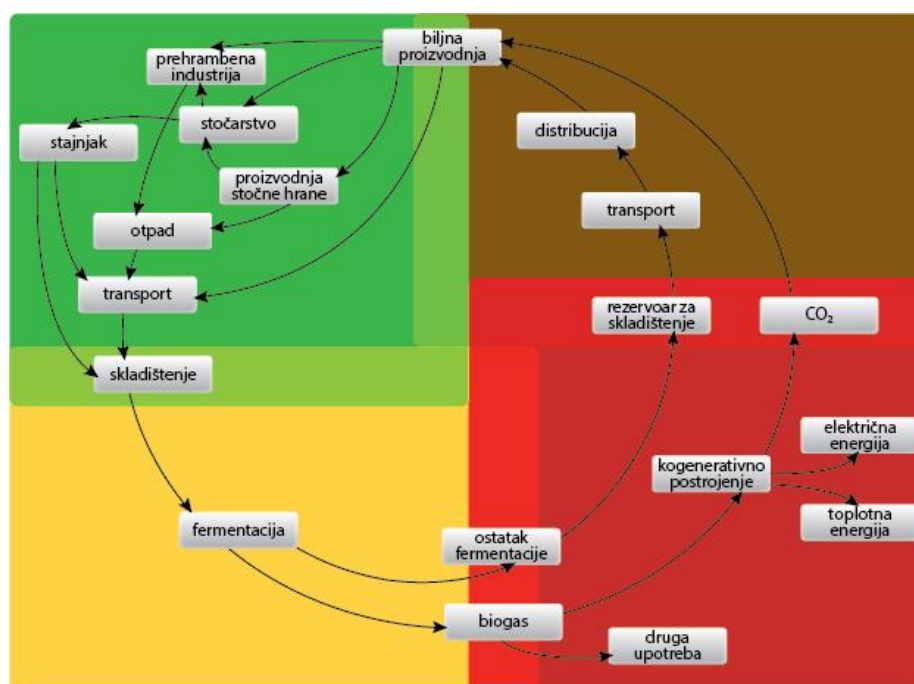
Komentar

Proizvodnja i korišćenje biogasa u poljoprivredi imaju višestruki značaj. To se prvenstveno odnosi na doprinos zaštiti životne sredine u vidu smanjenja potencijala za globalno zagrevanje, ali i očuvanju prirodnih resursa – zemljišta i vode. Proizvodnjom i korišćenjem biogasa na poljoprivrednim farmama postiže se decentralizovano generisanje energije, ostvarenje prihoda za vlasnika biogas postrojenja i zapošljavanje lokalnog stanovništva. Sve navedeno doprinosi ostvarenju pozitivnih socio-ekonomskih efekata.

1.2 Pojam i značaj poboljšanja efikasnosti rada

Biogas postrojenje predstavlja složeni mikrobiološko-biohemijsko-tehnički sistem. Od većine drugih tipova energetskih postrojenja razlikuje se po tome što procesu sagorevanja

goriva, tj. biogasa, prethodi biohemijska konverzija organske materije supstrata u biogas (Bischofsberger i dr, 2005). Zbog toga, u poređenju sa drugim tipovima postrojenja, za biogas postrojenja postoji znatno više uticaja na efikasnost rada. Generalno, lanac proizvodnje i korišćenja biogasa može da se podeli na: 1) proizvodnju supstrata; 2) proizvodnju biogasa; 3) korišćenje biogasa; 4) iskorišćenje ostatka fermentacije (sl. 1). Tokom prve faze, proizvodi se energetske bilje, ili stočna hrana te nastaje stajnjak. Nakon toga, potrebno je da se nastali supstrati za proizvodnju biogasa transportuju i skladište. U drugoj fazi proizvodi se biogas, a u trećoj biogas se koristi za generisanje električne i toplotne energije. Nakon završetka anaerobnog procesa, ostatak fermentacije privremeno se skladišti, te distribuira po poljoprivrednim i drugim površinama, tj. koristi za biljnu proizvodnju, čime se lanac proizvodnje i korišćenja biogasa zaokružuje.



Sl. 1 Šematski prikaz lanca proizvodnje i korišćenja biogasa (Braun i dr, 2007)

Za proizvodnju biogasa poželjno je da se koriste supstrati što niže cene po energetskej jedinici, odnosno da troškovi proizvodnje budu što niži. Stajnjak i energetske bilje treba da se dopremaju sa što kraćih rastojanja, da bi se umanjili troškovi i emisije GHG. Potrebno je i da se obezbedi odgovarajuće skladištenje supstrata, da ne bi došlo do njegove razgradnje i time smanjenja potencijala za proizvodnju biogasa, ali i da se minimizira emisija GHG, prvenstveno CH₄ i N₂O (Burton i Turner, 2003).

Da bi se u toku proizvodnje biogasa u što većoj meri iskoristio potencijal supstrata za proizvodnju biogasa, potrebno je da se obezbedi niz uslova: fizičkih, biohemijskih i mikrobioloških. Potrebni fizički uslovi su postojanje anaerobnih uslova u fermentoru, kao i obezbeđenje odgovarajućeg mešanja i održavanje konstantne temperature sadržaja fermentora. U odnosu na biohemijske uslove, potrebno je da pH vrednost sadržaja

fermentora i koncentracija organskih kiselina budu u opsegu koji ne remeti stabilnost procesa AF, da je anaerobnim bakterijama dostupno dovoljno hemijskih makro- i mikroelemenata, te da su koncentracije inhibirajućih supstanci za anaerobni proces ispod dozvoljenih granica (Anonim, 2010a). Mikrobiološki uslovi u fermentoru najveća su nepoznanica, jer je poznato manje od 1 % anaerobnih vrsta bakterija koje učestvuju u procesu (Kaiser i dr, 2008). To je razlog da se optimizacija mikrobioloških uslova najteže ostvaruje, a praktikuje se obezbeđivanje što ujednačenijih tehničkih i biohemijskih uslova koji na njih utiču, sa ciljem da se ostvari zadovoljavajuća proizvodnja biogasa.

U pogledu korišćenja biogasa, cilj je da se što manje energije uloži za pogon samog postrojenja, a da se što više generisane energije plasira korisnicima. Električna energija ulaže se za pogon elektromotora za pogon pumpi, mešalica, transportera, itd. (Dachs i Rehm, 2006; Effenberger i dr, 2010). Ako se ova energija obezbeđuje od generisane količine, redukuje se količina koja se plasira u javnu električnu mrežu i smanjuju se prihodi, a ako se obezbeđuje iz javne električne mreže ostvaruje se trošak (Martinov i dr, 2011). Iskorišćenje generisane toplotne energije zavisi od vrste i obima korisnika na lokaciji biogas postrojenja, ili u njegovoj neposrednoj blizini. Samo ukoliko na lokaciji biogas postrojenja, ili u njegovoj blizini, postoji korisnik toplotne energije velikog kapaciteta sa konstantnim potrebama tokom cele godine, moguće je da se iskoristi celokupna količina preostale toplotne energije (Effenberger i dr, 2010; Bachmaier i dr, 2011a; Schulz i dr, 2007), ali takvi slučajevi su retki.

Ostatak fermentacije je nusproizvod u procesu proizvodnje biogasa. Da bi se sprečili energetski gubici i emisija GHG u atmosferu – CH_4 i N_2O , često se skladišti u zatvorenom rezervoaru u kojem se sakuplja biogas, čija proizvodnja se i nadalje, ali značajno usporeno, nastavlja. Nakon odležavanja i sazrevanja, u proleće i jesen sprovodi se njegova distribucija po poljoprivrednim i drugim površinama. Ako se distribuira po sopstvenim parcelama, ostvaruje se ušteda u mineralnim hranivima (Lukehurst i dr, 2010; Al Seadi i Lukehurst, 2012). U slučaju da se plasira drugom korisniku, ostvaruju se prihodi ili smanjuju troškovi za njegovo zbrinjavanje (Martinov i dr, 2011). Pravilnim postupanjem s ostatkom fermentacije doprinosi se zaštiti životne sredine, a ostvaruju se i pozitivni ekonomski efekti.

Sa stanovišta mikroekonomije, za vlasnike biogas postrojenja najvažnije je da se ostvaruje zadovoljavajući profit, tj. da su ulaganja opravdana. Na to najviše utiču uslovi plasmana električne energije, a vrlo su značajni plasman preostale toplotne energije i ostatka fermentacije.

Komentar

U odnosu na navedene faze lanca proizvodnje i korišćenja biogasa (sl. 1), razmatrajući bitna stanovišta, pojam efikasnog rada biogas postrojenja podrazumeva da se: 1) postiže zadovoljavajuća proizvodnja biogasa, tj. da se potencijal supstrata iskoristi u što većoj

meri; 2) energetski potencijal biogasa iskoristi što više, tj. da je postrojenje energetski efikasno; 3) njegovom eksploatacijom doprinosi smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu; 4) ostvaruju pozitivni socio-ekonomski efekti. Proizvodnja i korišćenje biogasa (navedeno pod 1 i 2), zajedno opisuju efikasnost rada biogas postrojenja sa tehničkog stanovišta. Prema tome, biogas postrojenje treba da se unapredi u odnosu na **tehničko**, stanovište **zaštite životne sredine** i **socio-ekonomsko** stanovište.

Poboljšanje efikasnosti jednog stanovišta može da utiče na promenu efikasnosti drugih. Na primer, unapređenjem proizvodnje biogasa proizvodi se veća količina biogasa iz korišćenih supstrata. Time se generiše i više električne energije, čijim plasmanom se ostvaruje dodatni prihod, ali i doprinosi zaštiti životne sredine, jer se zamenjuje veća količina fosilnih goriva. Isto važi i za unapređenje korišćenja biogasa u slučaju iskorišćenja veće količine preostale toplotne energije. Prema tome, poboljšanje efikasnosti u oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa je značajno. I u slučaju da je postignuta zadovoljavajuća efikasnost, postoji mogućnost da se ona unapredi u oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa, što bi doprinelo ostvarenju veće ekonomske dobiti i smanjenju negativnih uticaja na životnu sredinu.

1.3 Pregled prethodnih istraživanja

Brojni timovi sproveli su istraživanja sa ciljem da se sakupe i evaluiraju podaci o efikasnosti rada biogas postrojenja, tj. da se sprovede praćenje efikasnosti njihovog rada. Učinjeni su pokušaji da se oceni efikasnost i da se ustanove pristupi i postupci sa ciljem da se poboljša efikasnost. Zatim je, u posebnim potpoglavljima, dat pregled i ocena prethodnih istraživanja u navedenim oblastima i nivoa do kojih su ona dovela.

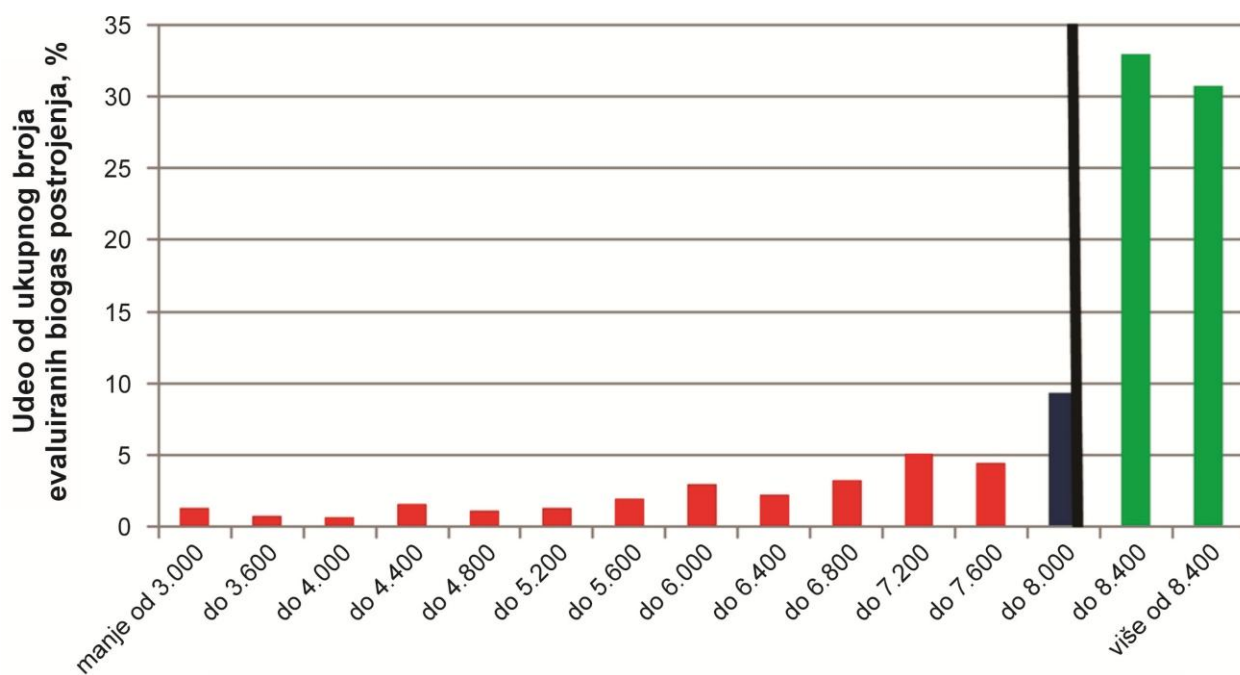
1.3.1 Praćenje efikasnosti rada

Nemačko ministarstvo za zaštitu potrošača, ishranu i poljoprivredu, sprovelo je projekat sa ciljem da se sakupe podaci o radu biogas postrojenja (Anonim, 2005). Nakon izgradnje brojnih biogas postrojenja, bilo je potrebno da se oceni stanje razvoja biogas tehnologije. U tu svrhu izabrano je pedeset i devet reprezentativnih biogas postrojenja sa teritorije Nemačke, koja se razlikuju po snazi, tehničko-tehnološkim konceptima, korišćenim supstratima i nameni. Podaci su sakupljani duže od godinu dana, da bi se omogućio uvid u celogodišnji ciklus rada postrojenja. Sakupljeni podaci poslužili su za optimizaciju pogona postojećih biogas postrojenja, kao i da se predlože smernice za budući razvoj biogas tehnologije. Nakon daljeg razvoja biogas tehnologije i izgradnje još većeg broja biogas postrojenja, sprovedeno je praćenje parametara rada dodatnog šezdeset i jednog postrojenja (Anonim, 2009a). Projekat je, takođe, rezultirao smernicama za sprovođenje optimizacije.

U okviru projekta o kojem izveštava Schöftner i dr. (2006) sprovedeno je praćenje parametara rada četrdeset i jednog biogas postrojenja u Austriji. Nakon analize parametara i definisanja brojnih pokazatelja efikasnosti, odabrano je trinaest ključnih koji opisuju efikasnost rada postrojenja u odnosu na proizvodnju i korišćenje biogasa, te postignutih ekonomskih efekata. Ocenjeno je da njihovim korišćenjem različita biogas postrojenja mogu da se uporede, te da se prepoznaju nedostaci u radu i mogućnosti za poboljšanjem efikasnosti.

Effenberger i dr. (2010) sproveli su praćenje efikasnosti rada deset poljoprivrednih biogas postrojenja sa teritorije Bavarske. Kasnije je uključeno dodatnih pet (Bachmaier i dr, 2011a). Sakupljeno je preko sto parametara, koji opisuju tehničko, socio-ekonomsko i stanovište rada biogas postrojenja u odnosu na zaštitu životne sredine. Na osnovu njih definisani su brojni pokazatelji efikasnosti, čiji je pregled dat u Effenberger i dr. (2009). Većina parametara merena je i dokumentovana kontinualno u bazi podataka, tokom tri godine. Na osnovu toga, potencijalnim investitorima i rukovaocima date su smernice za uspešno planiranje budućih biogas postrojenja, kao i predlozi za unapređenje postrojenja koja su već u pogonu.

U Anonim (2011) predloženi su kriterijumi koji opisuju efikasnost rada biogas postrojenja u odnosu na tehničko, socio-ekonomsko i stanovište koje se odnosi na zaštitu životne sredine. Predloženi kriterijumi mogu da posluže investitorima i rukovaocima da u planiranju i pogonu ocene efikasnost sopstvenog postrojenja.

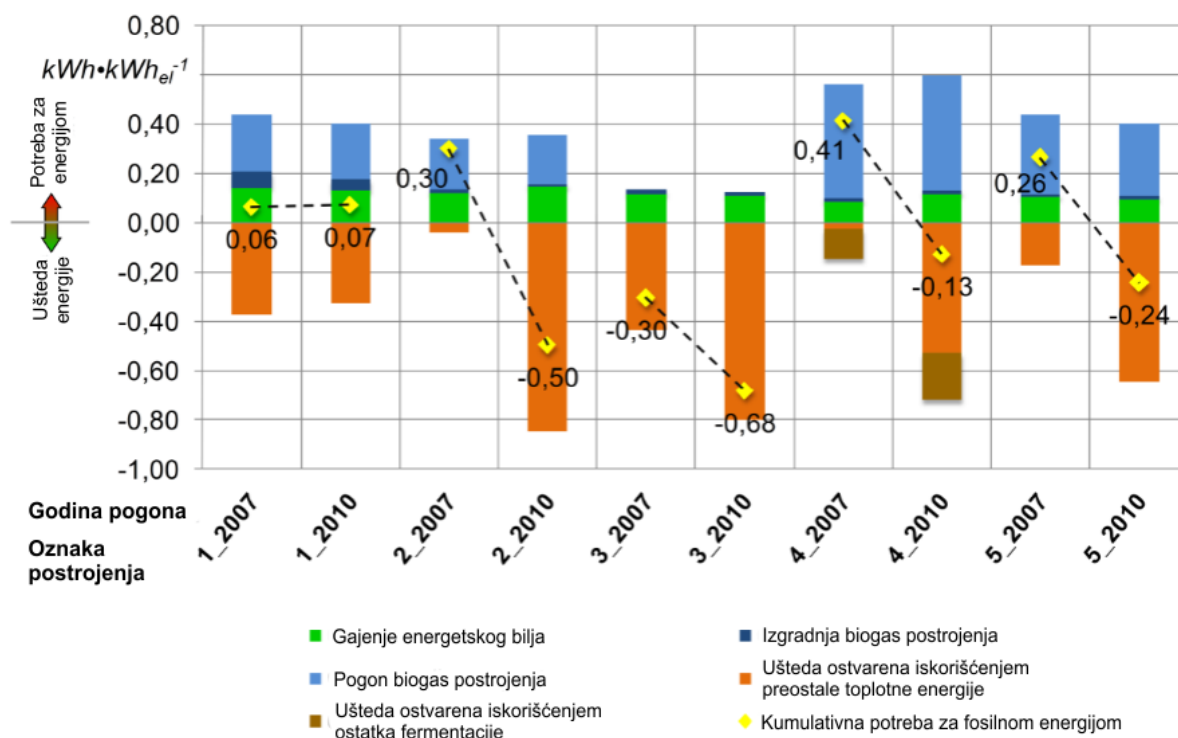


Godišnji broj sati rada kogenerativnog postrojenja pri nazivnoj snazi, h

Sl. 2 Udeo biogas postrojenja prema broju sati rada kogenerativnog postrojenja pri nazivnoj snazi (www.biogaswissen.de)

U okviru firme *Bioreact GmbH*, izrađen je internet portal „Biogaswissen“ (www.biogaswissen.de), na kojem se nalazi baza podataka o radu više od 1.600 biogas postrojenja u Nemačkoj. Podaci su sakupljeni od vlasnika i rukovalaca, koji su samostalno procenili ili jednokratno izmerili određene parametre, bez postavljanja merne opreme i detaljnog praćenja rada. Podaci su nakon toga evaluirani i prikazani u obliku dijagrama i statističkih pokazatelja. Analiza podataka o radu brojnih biogas postrojenja pruža dobar uvid o stanju i zrelosti biogas tehnologije. Na sl. 2 prikazan je udeo biogas postrojenja prema broju sati rada kogenerativnog postrojenja, pri nazivnoj snazi. Većina razmatranih postrojenja, a to je 63 %, radi pri nazivnoj snazi više od 8.000 h godišnje.

Kriterijumi koji opisuju stanovište rada biogas postrojenja u odnosu na zaštitu životne sredine opisani su u Bachmaier i dr. (2010). Za deset poljoprivrednih biogas postrojenja, koji su opisani u Effenberger i dr. (2010) pri čemu je u obzir uziman ceo lanac proizvodnje i korišćenja biogasa, bilansirana je kumulativna potreba za energijom i emisije GHG. U Bachmaier i dr. (2011b) prikazana je promena vrednosti dva parametra koji opisuju uticaj na životnu sredinu, tokom tri godine pogona biogas postrojenja. Zaključeno je da najveći doprinos smanjenju emisija GHG ima efikasno iskorišćenje preostale toplotne energije i sprečavanje direktnih emisija metana u atmosferu sakupljanjem proizvedenog biogasa u rezervoaru ostatka fermentacije. Najveće uštede kumulativne potrebe za energijom ostvarene su zamenom fosilnog energenta preostalom toplotnom energijom i zamenom mineralnog hraniva ostatkom fermentacije. Na sl. 3 prikazana je promena u kumulativnoj potrebi za energijom za pet razmatranih postrojenja.

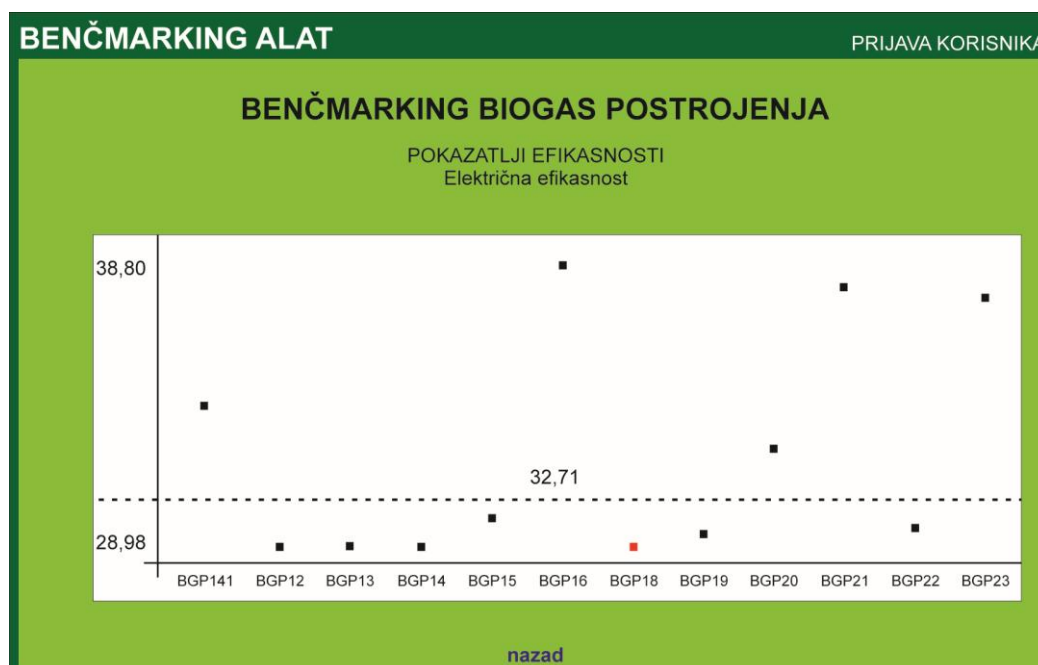


Sl. 3 Promena u kumulativnoj potrebi za energijom za pet biogas postrojenja u toku dva različita vremenska perioda (Bachmaier i dr, 2011b)

1.3.2 Ocenjivanje efikasnosti rada

Metode koje su primenjene za ocenu efikasnosti biogas postrojenja u prethodnim istraživanjima, su višekriterijumske, što je i neophodno, jer se efikasnost definiše velikim brojem parametara i pokazatelja (opisano u potpoglavlju 1.3.1). U pojedinim metodama za ocenu koriste se parametri, a u drugim specifični pokazatelji. Najbitnija razlika u metodskom pristupu je u tome što se nekim od primenjenih metoda postiže relativna, a nekim apsolutna ocena efikasnosti. Relativna ocena podrazumeva da se efikasnost definiše jedino u odnosu na skup ocenjivanih biogas postrojenja. U takvim slučajevima nepoznato je da li najbolje ocenjeno biogas postrojenje postiže „najbolju moguću praksu” ili je postignuta efikasnost neprihvatljiva. Efikasnost u apsolutnoj oceni definiše se upravo u odnosu na „najbolju moguću praksu”, pa je moguće da se ocenjuju i pojedinačna biogas postrojenja.

Schöftner i dr. (2006) razvili su u okviru projekta benčmarking alat kojim se omogućava korisniku, vlasniku ili rukovaocu, da preko internet portala priloži podatke o radu sopstvenog biogas postrojenja. Omogućeno je poređenje odgovarajućih pokazatelja efikasnosti za dvanaest biogas postrojenja, koja su izabrana kao primeri „najbolje prakse” među četrdeset i jednim postrojenjem. Na sl. 4 prikazan je primer za pokazatelj „električna efikasnost”. Prikazana je minimalna, maksimalna i srednja vrednost ovog pokazatelja za dvanaest biogas postrojenja i crvenom tačkom vrednost pokazatelja za sopstveno postrojenje.



Sl. 4 Poređenje električne efikasnosti za razmatrana biogas postrojenja (Schöftner i dr, 2006)

Braun i dr. (2007) primenili su *Data Envelopment Analysis* (DEA) metodu kao benčmarking alat sa ciljem da se identifikuju najefikasnija biogas postrojenja i predlože kao

„najbolja praksa”. Za ocenu su korišćeni podaci o radu četrdeset i jednog postrojenja koja daju Schöftner i dr. (2006). Prema principima metode DEA, rezultati ocenjivanja su relativni. Najefikasnije biogas postrojenje dobija najvišu ocenu – 1, a relevantnost ocene najefikasnijeg biogas postrojenja i izbor „najbolje prakse” zavisi od skupa biogas postrojenja čija se efikasnost razmatra. Od ulaznih parametara korišćena je količina organske suve materije supstrata i uloženog ljudskog rada za pogon biogas postrojenja. Od izlaznih parametara, korišćena je dobijena primarna energija u proizvedenom biogasu, generisana električna i valorizovana toplotna energija, kao i emisija GHG. Ni jedan od navedenih ulaznih i izlaznih parametara nisu specifični, čime su njihove vrednosti proporcionalne veličini biogas postrojenja. Na sl. 5 prikazani su dobijeni rezultati ocene četrdeset i jednog biogas postrojenja primenom DEA metode. U terminologiji metode DEA, DMU (*Decision Making Unit*) predstavlja svaku jedinicu ili objekat koji se ocenjuje, a u ovom slučaju to je biogas postrojenje. Kolone (1-6) predstavljaju rezultate dobijene primenom šest različitih modela DEA metode, a drugih šest (1all-6all) rezultate dobijene primenom istih modela, ali uključivanjem parametara koji opisuju uticaj na životnu sredinu.

DMU	1	2	3	4	5	6	1all	2all	3all	4all	5all	6all
1	0.59	0.62	0.62	0.69	0.76	0.76	0.95	0.90	0.90	0.96	0.90	0.90
2	0.82	0.83	0.85	0.82	0.88	0.88	1.00	0.93	0.95	1.00	0.93	0.95
3	0.68	0.63	0.65	0.79	0.76	0.76	0.91	0.75	0.75	0.91	0.76	0.76
4	0.61	0.57	0.57	0.79	0.80	0.80	0.81	0.67	0.67	0.99	0.96	0.96
5	0.51	0.48	0.49	0.52	0.51	0.51	0.72	0.65	0.66	0.72	0.65	0.66
6	0.68	0.65	0.66	0.83	0.86	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	0.57	0.55	0.56	0.65	0.66	0.66	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
8	0.62	0.59	0.59	0.75	0.76	0.76	0.80	0.68	0.68	0.87	0.76	0.76
9	0.61	0.65	0.66	0.66	0.74	0.74	0.99	0.94	0.94	1.00	0.94	0.94
10	0.65	0.69	0.69	0.73	0.81	0.81	0.98	0.93	0.93	0.99	0.93	0.93
11	0.70	0.66	0.66	0.83	0.84	0.84	0.85	0.73	0.73	0.93	0.84	0.84
12	0.91	1.00	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
13	0.49	0.44	0.44	0.54	0.50	0.50	0.59	0.50	0.50	0.65	0.51	0.51
14	0.51	0.45	0.46	0.59	0.53	0.53	0.67	0.52	0.52	0.70	0.53	0.53
15	0.84	0.77	0.81	0.87	0.84	0.84	0.90	0.77	1.00	0.98	0.86	1.00
16	0.71	0.62	0.68	0.71	0.63	0.68	0.85	0.71	0.95	0.85	0.71	0.95
17	0.84	0.55	0.58	1.00	0.70	1.00	0.93	0.61	0.64	1.00	0.70	1.00
18	0.73	0.66	0.66	1.00	1.00	1.00	0.88	0.72	0.72	1.00	1.00	1.00
19	0.64	0.67	0.67	0.78	0.87	0.87	0.89	0.83	0.83	0.99	0.91	0.91
20	0.71	0.82	0.85	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
21	0.68	0.81	0.83	0.79	0.98	0.98	0.85	0.93	0.94	0.94	0.98	0.98
22	0.75	0.82	0.85	0.81	0.93	0.93	0.95	0.95	0.99	0.98	0.96	0.99
23	0.56	0.57	0.58	0.65	0.68	0.68	0.62	0.58	0.62	0.74	0.68	0.68
24	0.58	0.52	0.54	0.58	0.52	0.54	0.62	0.52	0.59	0.62	0.52	0.59
25	0.55	0.49	0.51	0.55	0.49	0.51	0.66	0.52	0.75	0.66	0.52	0.75
26	0.59	0.41	0.43	0.59	0.41	0.43	0.65	0.41	0.53	0.65	0.41	0.53
27	0.57	0.49	0.51	0.62	0.57	0.57	0.66	0.52	0.57	0.72	0.57	0.57
28	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
29	0.82	0.77	0.78	0.82	0.79	0.79	0.84	0.77	0.78	0.84	0.79	0.79
30	0.56	0.51	0.51	0.56	0.54	0.54	0.81	0.72	0.72	0.81	0.72	0.72
31	0.57	0.52	0.53	0.58	0.55	0.55	0.77	0.62	0.62	0.77	0.62	0.62
32	0.54	0.38	0.56	0.54	0.40	0.57	0.68	0.42	0.98	0.68	0.42	0.98
33	0.55	0.36	0.45	0.55	0.37	0.45	0.62	0.39	0.58	0.62	0.39	0.58
34	0.67	0.62	0.63	0.83	0.84	0.88	0.74	0.63	0.68	0.92	0.84	0.89
35	0.58	0.54	0.54	0.59	0.58	0.58	0.84	0.76	0.76	0.84	0.76	0.76
36	0.65	0.77	0.79	0.71	0.88	0.88	0.93	0.99	0.99	0.93	0.99	0.99
37	0.72	0.69	0.69	0.82	0.82	0.82	0.81	0.74	0.74	0.90	0.82	0.82
38	0.55	0.60	0.60	0.59	0.68	0.68	0.75	0.76	0.76	0.76	0.77	0.77
39	0.55	0.43	0.45	0.57	0.47	0.47	0.63	0.47	0.49	0.64	0.48	0.49
40	0.55	0.59	0.60	0.55	0.60	0.60	0.72	0.72	0.73	0.72	0.72	0.73
41	0.62	0.73	0.73	0.75	0.95	0.95	0.92	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00

Sl. 5 Rezultati ocene efikasnosti četrdeset i jednog biogas postrojenja primenom DEA metode (Braun i dr, 2007)

Đatkov i dr. (2009a) koristili su, takođe, metodu DEA da se oceni efikasnost deset poljoprivrednih biogas postrojenja opisanih u Effenberger i dr. (2010). Pretpostavljeno je da biogas postrojenje predstavlja sistem za konverziju energije, a za ocenu efikasnosti

odabran je mali broj parametara. Ulazni parametri sistema su količina organske materije supstrata za proizvodnju biogasa, jer supstrati mogu da imaju značajne razlike u sadržaju vode, i električna energija iskorišćena za pogon uređaja na postrojenju. Izlazni parametri su generisana električna i valorizovana količina preostale toplotne energije.

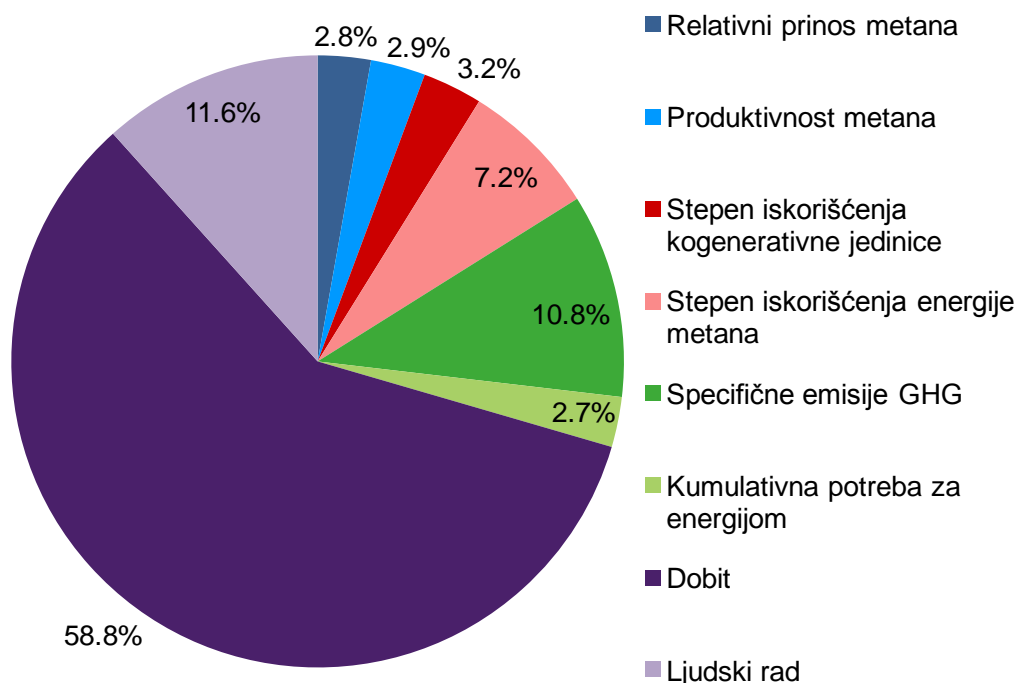
U Đatkov i dr. (2009b i 2010a) takođe su korišćeni različiti modeli u okviru DEA. Sprovedena je ocena efikasnosti deset biogas postrojenja, a više od jednog biogas postrojenja ocenjeno je kao najefikasnije, tj. nekoliko biogas postrojenja ocenjeno je najvišom ocenom u DEA metodi – 1. Zbog toga su, u okviru DEA, korišćeni i modeli koji omogućavaju da se napravi razlika među najefikasnijim postrojenjima, tj. dobijanje rezultata ocene efikasnosti većih od 1. Za ocenu efikasnosti, korišćene su i emisije GHG u vidu količine ekvivalentnog CO₂, koji se u odgovarajućem modelu tretira kao “nepoželjan” izlazni parametar. Na osnovu iskustava, te poznavanja konfiguracije i pogona ocenjenih biogas postrojenja, eksperti su potvrdili dobijene rezultate. U većini slučajeva, eksperti su se složili sa rezultujućim poretkom biogas postrojenja, koji je bio u najvećoj korelaciji sa pokazateljem o iskorišćenju preostale toplotne energije.

U Đatkov i Effenberger (2010b) opisane su i naznačene mogućnosti i ograničenja primene metodskog pristupa DEA za ocenu efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Za razliku od dotadašnjih primena metode DEA, ocena efikasnosti sprovedena je korišćenjem specifičnih parametara, u vidu pokazatelja efikasnosti. Na ovaj način, ocena efikasnosti DEA metodom sprovedena je po principima višekriterijumske analize. Kao bitan nedostatak primene DEA, naznačena je nemogućnost određivanja apsolutne efikasnosti. Istaknuta je potreba da se u budućim istraživanjima i daljim razvojem primenjenih metoda, omogući kvalitativna ocena efikasnosti.

Madlener i dr. (2009) koristili su kombinaciju DEA metode i višekriterijumskog pristupa (*Multi-criteria Decision Analysis – MCDA*) za ocenu efikasnosti u odnosu na ekonomske, socijalne i kriterijume koji opisuju uticaj na životnu sredinu. Za to su korišćeni podaci o radu četrdeset jednog biogas postrojenja koja su opisana u Schöftner i dr. (2006). Metoda DEA iskorišćena je da se odredi efikasnost ocenjivanih biogas postrojenja. U okviru MCDA pristupa, uvršćene su „težine” kriterijuma za korišćene parametre, kao i potrebni uslovi za klasifikaciju ocenjenih postrojenja u grupe efikasnosti. Predloženo je da se dve metode koriste komplementarno, DEA – da se odredi šta može da bude urađeno, i MCDA – šta treba da bude urađeno u cilju poboljšanja efikasnosti.

Đatkov i dr. (2009c) koristili su, takođe, specifične pokazatelje za ocenu efikasnosti, primenjujući kombinaciju dve višekriterijumske metode – *Analytic Hierarchy Process (AHP)* i *Simple Additive Weighing (SAW)*. AHP metoda primenjena je da se odredi važnost kriterijuma koji se koriste u oceni efikasnosti, u čemu je učestvovala grupa eksperata za oblast biogas tehnologije. Time je omogućeno uključivanje ekspertskog mišljenja u ocenu efikasnosti. SAW metoda primenjena je za određivanje „ukupne” efikasnosti, korišćenjem

dobijenih „težina” kriterijuma. Iako su dobijeni jedino rezultati u vidu relativne ocene, omogućen je uvid u razloge za nedovoljnu efikasnost. Na sl. 6 prikazane su vrednosti „težine” kriterijuma, koje su odredili eksperti i koje predstavljaju važnost kriterijuma za ocenu efikasnosti.



Sl. 6 „Težine”, važnost kriterijuma, za ocenu efikasnosti (Đatkov i dr, 2009c)

U Effenberger i Đatkov (2011) dat je uporedni pregled metoda: DEA, SAW/AHP i FMA (*Fuzzy Mathematical Approach*). Opisane su prednosti i nedostaci korišćenih metoda za ocenu efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja, a kao najpogodniji predložen je FMA. Bitan nedostatak predložene metode je kompenzacija među kriterijumima za izračunavanje ukupne efikasnosti. Pošto se za izračunavanje ukupne efikasnosti koristi aditivna funkcija, visoke vrednosti manje važnih kriterijuma za ocenu mogu da kompenzuju niske vrednosti važnijih kriterijuma, te poređenje i rangiranje ocenjenih biogas postrojenja može da bude neadekvatno.

1.3.3 Poboljšanje efikasnosti rada

U oblasti unapređenja efikasnosti rada biogas postrojenja sprovode se brojna istraživanja. Na primer, ispituju se mogućnosti primene enzima koji poboljšavaju i ubrzavaju razgradnju organske materije supstrata (Quiñones i dr, 2012), čime se povećava iskorišćenost energetskeg potencijala i skraćuje hidrauličko retenciono vreme u fermentoru. Zatim, u oblasti korišćenja biogasa, radi se na povećanju električne i ukupne efikasnosti motora s unutrašnjim sagorevanjem. Potom će se navesti rezultati istraživanja koja su imala za cilj da se omogući poboljšanje efikasnosti odgovarajućim upravljanjem pogona postrojenja, što je i tema ovog istraživanja.

U cilju određivanja nedostataka u oblasti tehnologije i efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja, Lehner i dr. (2009) sprovedli su istraživanje i odredili mogućnosti optimizacije i time poboljšanje efikasnosti. Za povećanje produktivnosti biogasa i veću iskorišćenost energetskog potencijala supstrata, predloženo je unapređenje stabilnosti procesa AF. Veliki nedostatak i uzrok neefikasnosti, je nedovoljna iskorišćenost preostale toplotne energije. Predložena je provera u nameri da se utvrdi da li karakteristike postojeće opreme odgovaraju za korišćenje nove vrste supstrata, da ne bi došlo do neplaniranih kvarova i zastoja u radu.

U okviru projekta o kojem izveštavaju Häring i dr. (2010), odabrano je dvadeset tipičnih biogas postrojenja u Nemačkoj i sprovedeno praćenje parametara njihovog rada. Na osnovu dobijenih rezultata i analiza, te detaljne analize pogonskih uslova i konfiguracije postrojenja, predložene su mere za otklanjanje nedostataka u pogonu i poboljšanja efikasnosti. Posebno je naglašeno da veština upravljanja rukovaoca biogas postrojenjem ima značajan uticaj na efikasnost biogas postrojenja.

1.3.4 Opis problema i potrebe za istraživanjem

Do sada su u ovom poglavlju prikazani rezultati prethodnih istraživanja i nivo do kojeg su ona dovela, u vezi sa praćenjem, ocenom i poboljšanjem efikasnosti rada biogas postrojenja. Na osnovu toga, potom su definisani problemi u datoj oblasti i potreba za daljim istraživanjem.

Praćenje efikasnosti rada

Više timova sprovedlo je praćenje parametara rada biogas postrojenja. Prema tome, sakupljeno je dovoljno podataka i činjenica, na osnovu kojih su definisani stavovi o efikasnom radu biogas postrojenja. Projekti i studije sa ciljem praćenja efikasnosti rezultirali su definisanjem brojnih parametara i pokazatelja, kojima se omogućava ocenjivanje efikasnosti. Ipak, nisu definisani parametri čijom analizom se omogućava predlaganje mera za poboljšanje efikasnosti, a to je zadatak za buduća istraživanja.

Da bi se sprovedla korektna ocena efikasnosti, korišćenjem parametara i pokazatelja, potrebno je da prikupljeni podaci budu pouzdani. Pouzdanost se ostvaruje na taj način što se sprovodi merenje znatnog broja relevantnih parametara, u najvećem broju slučajeva kontinualno, kao što je sprovedeno u Effenberger i dr. (2010) i Bachmaier i dr. (2011a). Za iscrpna merenja potrebna je skupa merna oprema i dodatno angažovanje rukovaoca i radnika na postrojenju. U studiji Schöftner i dr. (2006) podaci su sakupljeni povremenim uzimanjem uzoraka i popunjavanjem upitnika, čime se dobija uvid samo u trenutno stanje, a postoji verovatnoća da su neki od podataka netačni. To je naročito izraženo u podacima koji se nalaze u bazi na internet portalu „Biogaswissen” (www.biogaswissen.de). U budućim istraživanjima potrebno je da se izaberu pokazatelji efikasnosti, ali i parametri čijom analizom se omogućava definisanje mera za poboljšanje efikasnosti, za čije merenje

i određivanje vlasnik biogas postrojenja nema velikih troškova, a vrednosti su pouzdane. Potrebno je i da se istraži kako da se koriste podaci za ocenu efikasnosti, koji neizbežno sadrže netačnost, a da to ne dovede do pogrešnih rezultata.

Ocenjivanje efikasnosti rada

Zbog postojanja mnoštva parametara koji opisuju efikasnost biogas postrojenja, za ocenu je neophodna višekriterijumska analiza. DEA je neparametarska metoda, u kojoj nije potrebno da se definiše funkcionalna zavisnost ulaznih i izlaznih parametara i ne koriste se „težine“, koje predstavljaju važnost parametara za ocenu. To predstavlja prednost, jer nije potrebno da se uložiti vreme i trud da se u metodu uključi ekspertsko znanje iz oblasti biogasa, ali i nedostatak, jer rezultati ocene nisu pouzdani. Ova metoda pogodna je ukoliko se ocenjuje efikasnost brojnih biogas postrojenja, te se tada ona rangiraju i naznače najefikasnija. Ovom metodom nije moguće ocenjivanje efikasnosti pojedinačnog postrojenja.

Uključivanje ekspertskog mišljenja omogućilo je da se poveća pouzdanost ocene efikasnosti biogas postrojenja (Đatkov i dr, 2009c). Nedostatak metode je što i dalje ne postoji mogućnost da se oceni efikasnost pojedinačnog postrojenja, kao i da se dobije apsolutna ocena efikasnosti. Slično važi i za metodu koju su predložili Madlener i dr. (2009), jer se ocena efikasnosti zasniva na metodi DEA. Ipak, ovom metodom je omogućena kvalitativna ocena efikasnosti, kojom se ocenjena postrojenja, na osnovu dobijenih rezultata, svrstavaju u klase efikasnosti.

Za dalja istraživanja postoji potreba da se razvije pouzdana višekriterijumska metoda za ocenu efikasnosti biogas postrojenja, koja se zasniva na primeni ekspertskog znanja iz date oblasti. Potrebno je da se njome omogući dobijanje apsolutne ocene efikasnosti. Potrebno je i da se omogući međusobno poređenje sa drugim ocenjenim postrojenjima, da bi rukovaoci mogli da uporede rezultate ocene sopstvenog postrojenja u odnosu na najefikasnija.

Poboljšanje efikasnosti rada

Do sada je sprovedeno samo nekoliko istraživanja u kojima su date generalne smernice namenjene rukovaocima, za mogućnosti poboljšanja efikasnosti, sprečavanjem najčešćih propusta i grešaka koje se javljaju u pogonu i koje su uzrok nedovoljne efikasnosti. Nisu učinjeni napori da se razvije metoda, kojom bi se predlagale mere za poboljšanje efikasnosti. Na taj način bi se pomoglo rukovaocima i/ili vlasnicima da poboljšaju efikasnost rada svog postrojenja. Ovakvu analizu mogao bi da sprovede i ekspert ili ekspertski tim. Oni su retki, a iako postoje, zbog kompleksnosti analize i mnoštva pokazatelja i parametara koje za to koriste, potrebno je da se uložiti puno vremena, truda i sredstava. Dodatno, svaki pojedinačni ekspert koristi sopstvene principe i postupke da bi

došao do rezultata. Razvojem pomenute metode, koristili bi se usaglašeni principi i jedinstveni postupak, a rezultati bi se dobili za kraći vremenski period.

1.4 Metodski pristupi za rešavanje problema

Kao što je navedeno, ocenjivanje efikasnosti i definisanje predloga mera za njeno poboljšanje je složen zadatak. Da bi se razvila metoda koja to omogućava, potrebno je da se reše dva osnovna problema. Prvi problem je kako da se modeluje neodređenost u podacima koji se koriste za ocenu efikasnosti, kao i neodređenost u samom postupku ocene. Drugi problem je takođe kako da se u metodi uključi ekspertsko znanje iz oblasti biogas tehnologije, te koristi za ocenu efikasnosti. Pretpostavka je da bi rešavanju ovih problema moglo da potpomogne korišćenje fazi logike i ekspertskih sistema, te su stoga nadalje obrazložene teoretske osnove ova dva metoda pristupa.

Fazi logika

Osnove teorije fazi logike definisao je Lotfi Zadeh, uvođenjem teorije o fazi skupovima (Zadeh, 1965a; Zadeh, 1965b). Reč „fuzzy” podrazumeva nešto nejasno, neodređeno ili nedovoljno definisano. Smisao toga nije da postoji nešto neodređeno ili nejasno u vezi sa fazi logikom, nego da je njome omogućeno predstavljanje neodređenosti.

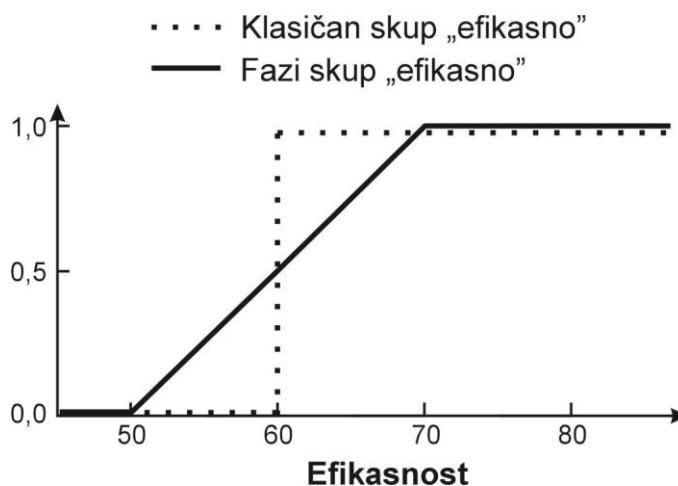
Fazi logika je opštiji slučaj klasične logike, tj. dvovrednosne logike, u kojoj promenljive mogu da imaju samo tačne ili samo netačne vrednosti. To se u programiranju predstavlja jedinicom ili nulom. U fazi logici, dozvoljene su i sve realne vrednosti u opsegu između jedinice i nule, $[0,1]$, čime je omogućeno da promenljive mogu da budu u određenoj meri tačne, ili u određenoj meri netačne.

Predstavljanje delimične tačnosti postiže se korišćenjem fazi skupova, čije granice nisu jasne i precizne. Pripadnost nekog objekta fazi skupu je stvar stepena, a ne potvrde ili poricanja kao kod klasičnih skupova. Fazi skup matematički se predstavlja karakterističnom funkcijom μ_A , koja se naziva još i funkcijom pripadnosti. Za definisani fazi skup A , karakteristična funkcija dodeljuje vrednosti elementima univerzalnog skupa X vrednosti realnih brojeva u opsegu $[0,1]$. To je prikazano jednačinom (1). Pri tome, veće vrednosti znače veće stepene pripadnosti tom skupu.

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \tag{1}$$

Na sl. 7 prikazan je primer, na osnovu kojeg se lako uočava razlika između klasičnog i fazi skupa. U primeru se razmatra efikasnost biogas postrojenja pomoću skupa „efikasno”. Univerzalni skup predstavlja vrednosti od 0 do 100, i na tom opsegu je definisana efikasnost. Ako se posmatra klasični skup, njemu pripadaju sva biogas postrojenja koja postižu vrednosti veće od 60, a ne pripadaju ona kod kojih je ova vrednost manja. To znači da čak i malo odstupanje, na primer za vrednost 1 od definisane granice, određuje

pripadnost ili nepripadnost klasičnom skupu „efikasno”, što nije u skladu sa ljudskim poimanjem ovakve vrste problema. Realnost je da pripadnost ili nepripadnost fazi skupu „efikasno” nije isključiva. Tako na primer, biogas postrojenje koje postiže vrednosti 50 do 70 pripada prelaznoj oblasti između neefikasnog i efikasnog rada. Što je vrednost bliža 70, veća je pripadnost fazi skupu „efikasno”. Neodređenost ovde predstavlja nemogućnost da se odredi tačna granica i definiše kada je biogas postrojenje efikasno, a kada ne.



Sl. 7 Klasičan i fazi skup „efikasno”

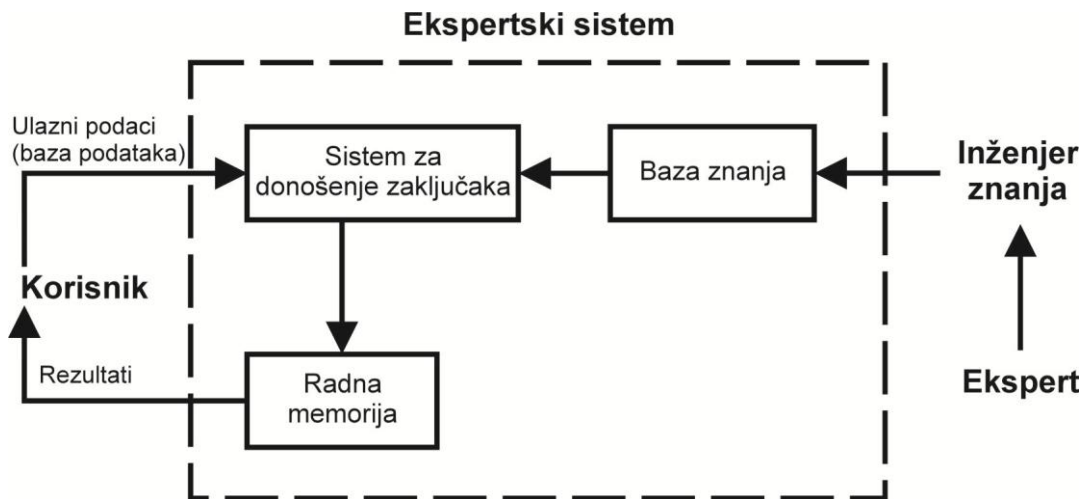
Pre definisanja pojma i primene fazi skupova, praktični problemi modelovali su se koristeći stroge matematičke i fizičke zakonitosti. Tada je neodređenost, koja je neizbežna, predstavljala problem, jer nije bilo moguće da se ona uvrsti i razmotri. Nakon definisanja fazi teorije, brojna istraživanja sprovedena su sa ciljem da se neodređenost modeluje, što je rezultiralo primenom fazi logike u gotovo svim inženjerskim oblastima, a primeri mogu da se nađu u Klir i Yuan (1995) i Ross (2010). Verma i dr. (2009) prikazali su analizu neodređenosti u podacima pomoću teorije fazi skupova. Kao što je predstavljeno u Janssen i dr. (2010), neodređenost postoji i u ekspertskom znanju koje se koristi za donošenje odluka. Uticaj načina predstavljanja neodređenosti na donošenje odluka ispitali su i diskutovali Durbach i Stewart (2011). Fazi teorija iskorišćena je u Mauris i dr. (2000) za razvoj metode za izražavanje neodređenosti u podacima dobijenim merenjem, dok je u Herrero-Perez i dr. (2010) iskorišćena za predstavljanje različitih vidova neodređenosti u podacima dobijenim mernim instrumentima.

Ekspertski sistemi

Pojam ekspertskog sistema (ES) podrazumeva napredni računarski program koji se koristi za rešavanje teških problema iz neke oblasti (Bar i Feigenbaum, 1981). To se postiže korišćenjem znanja i iskustava koje koriste relevantni eksperti. ES omogućavaju da se ekspertsko znanje i iskustvo sačuvaju u formi računarskog programa. Posebno se ističe značaj korišćenja „pravila palca” u ES (Prerau, 1990), koji eksperti primenjuju nakon dugogodišnjeg rada u određenoj oblasti i koji predstavlja prečicu u pronalaženju rešenja.

Drugim rečima, ES je računarski program koji ima ulogu da simulira rešavanje određenih problema na način kao što to rade eksperti (Kandel, 1991). Suštinska razlika između ES i drugih vrsta računarskih programa je što se u ES do rešenja problema ne dolazi numeričkim proračunima, nego rasuđivanjem sa ciljem da se donesu zaključci.

Tipičan ES sastoji se od sledećih osnovnih delova: baze podataka, baze znanja, sistema za donošenje zaključaka. Delovi ES, sa postupkom razvoja i njegovog korišćenja šematski su prikazani na sl. 8.



Sl. 8 Sastavni delovi ekspertskih sistema (delimično prerađeno od Schneider i dr, 1996)

Baza podataka sadrži podatke koji se sakupljaju od korisnika i primenjuju za rešavanje konkretnog problema, u sistemu za donošenje zaključaka. Baza znanja sadrži relevantno ekspertsko znanje i iskustvo za rešavanje problema za koji je ES namenjen. Da bi se formirala baza znanja, potrebno je da se ekspertsko znanje sakupi i na odgovarajući način predstavi. Sakupljanje znanja sprovodi inženjer znanja, direktno intervjujući eksperta, dokle god se ne sakupe relevantne informacije za rešavanje problema. Zatim, potrebno je da se odabere pogodan način za predstavljanje, a najčešći su produkciona pravila, formulacije ili objektno orijentisano programiranje (Payne i McArthur, 1990). Sistem za donošenje zaključaka omogućava da se korišćenjem baze znanja ocenjuju ulazne vrednosti iz baze podataka. Dobijeni rezultat je ekspertska ocena, ili predlog koji predstavlja rešenje razmatranog problema, a dobija ga krajnji korisnik kao povratnu informaciju od ES.

Prvi ES razvijeni su na američkom Univerzitetu Stanford tokom šezdesetih i sedamdesetih godina dvadesetog veka (Buchanan i Feigenbaum, 1978; Shortliffe, 1976), pod nazivom DENDRAL i MYCIN, za korišćenje u oblasti medicine. Nastavak istraživanja u Francuskoj rezultirao je razvojem programskog jezika PROLOG, prilagođenog za razvoj bilo kojeg ES. Ovakvi moduli nazivaju se „ljuske” ES (*Expert System Shell*), koji se konstantno razvijaju i unapređuju (Samawi i dr, 2013). Daljim razvojem personalnih računara, mogućnosti razvoja ES znatno su proširene, zbog čega su našli brojne primene

u praksi. U Hadjimichael i dr. (2009), predstavljen je razvoj ES za procenu rizika u avio-sektoru. Liu i Lai (2009) razvili su ES kao pomoćni alat pri donošenju odluka za ocenu uticaja na životnu sredinu. U Sun i dr (2012) prikazan je primer razvoja ES za upravljanje parametrima za proizvodnju u zaštićenom prostoru.

1.5 Cilj i hipoteza istraživanja

Cilj istraživanja bio je da se razvije metoda za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja, čijim korišćenjem može da se doprinese poboljšanju efikasnosti. Metoda za ocenu efikasnosti, kao što je to u naslovu opštim nazivom definisano, sastoji se iz dve celine. Prvom se, na osnovu odgovarajućih podataka o radu biogas postrojenja omogućava ocena efikasnosti. Drugom se, na osnovu analize mogućnosti, predlažu mere za poboljšanje efikasnosti.

Na osnovu postavljenog cilja definisana je hipoteza da je primenom fazi logike i ekspertskih sistema moguće da se razvije metoda za ocenjivanje efikasnosti i definisanje predloga za poboljšanje efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja.

Za proveru hipoteze, u ovom istraživanju je potrebno da se ispune sledeći zadaci:

1. Da se izaberu odgovarajući kriterijumi za ocenu efikasnosti i parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti.
2. Da se razvije metoda za ocenu efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja i komplementarna metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti.
3. Da se sprovede testiranje i ocena primenljivosti razvijene metode u obliku pomoćnog alata, koji bi se koristio prilikom sprovođenja poboljšanja efikasnosti.

2. MATERIJALI I METODE

2.1 Materijalne podloge za razvoj metoda

U potpoglavlju 2.1.1 opisano je petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja čiji podaci o radu su iskorišćeni za testiranje razvijenih metoda. U potpoglavlju 2.1.2, navedeni su literaturni izvori i definisani zahtevi koji su korišćeni prilikom izbora kriterijuma za ocenu efikasnosti biogas postrojenja i parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti. Potom su prikazani literaturni izvori koji sadrže podatke o biogas tehnologiji i pogonu poljoprivrednih biogas postrojenja, a koji su korišćeni za razvoj metoda u okviru sprovedenog istraživanja (potpoglavlje 2.1.3). Opis računarskog programa u kojem je napisan programski kod, korišćenog za testiranje i ocenu primenljivosti razvijenih metoda, prikazan je u potpoglavlju 2.1.4.

2.1.1 Biogas postrojenja za testiranje metoda

Za testiranje razvijenih metoda korišćeni su podaci o radu biogas postrojenja *LfL*-a iz Frajzinga, Nemačka. U toku višegodišnjeg praćenja rada, tj. monitoringa, sakupljeni su podaci o radu petnaest biogas postrojenja koja su izgrađena na teritoriji Bavarske. Osnovne tehničke karakteristike petnaest postrojenja prikazane su u tab. 1. Detaljan opis prvih deset biogas postrojenja, A-J, prikazan je u Effenberger i dr. (2010). Drugih pet postrojenja, A2-I2, izabrano je iz grupe od deset i opisana su u Bachmaier i dr. (2011a). Može da se konstatuje da to nisu ista biogas postrojenja, jer su im izmenjene konfiguracije i pogonski uslovi u cilju povećanja snage, kao i efikasnijeg iskorišćenja fermentora i snage kogenerativnog postrojenja.

Sva razmatrana biogas postrojenja su poljoprivredna, tj. supstrati su iz poljoprivredne proizvodnje, stočarstva i/ili ratarstva. Iz stočarstva se koristi čvrsti ili tečni stajnjak. Iz ratarske proizvodnje to je energetska bilje, najčešće u vidu silaža, ili žetveni ostaci. Jedino je na postrojenju I2 korišćen nusproizvod prehrambene industrije – rezanci šećerne repe, ali svega 2 % u odnosu na ukupnu masu korišćenih supstrata. Podaci o korišćenim supstratima za proizvodnju biogasa navedeni su u tab. 1. Udeo tečnog ili čvrstog stajnjaka u mešavini supstrata je različit – 0 do 47 %, a najveći je za postrojenje G2. Kod svih postrojenja, preostali, najveći udeo, čini energetska bilje. Razlog tome je to što specifična vrednost investicionih ulaganja, €/kW_e, opada sa porastom nazivne snage, do oko 150 kW_e vrlo značajno. Da bi se izgradilo biogas postrojenje ovalike snage, potrebno je da se obezbedi stajnjak sa farme od najmanje 1.000 uslovnih grla (UG). Prema tome,

dodatnim korišćenjem energetskog bilja omogućena je izgradnja biogas postrojenja veće snage da se ostvare zadovoljavajući ekonomski efekti.

Sva biogas postrojenja izgrađena su nakon 2000. godine i predstavljaju savremena tehničko-tehnološka rešenja za proizvodnju i korišćenje biogasa. Veličine postrojenja, izražene kroz instalisane nazivne snage kogenerativnih jedinica, u opsegu su 250-855 kW_e. Za svih petnaest biogas postrojenja karakteristično je da su supstrati obezbeđeni sa sopstvenih poljoprivrednih farmi, a svrstavaju se u biogas postrojenja srednje veličine. Ukoliko se koristi stajnjak, to je čvrsti ili tečni stajnjak od nekoliko stotina do hiljadu UG, dok je energetsko bilje uzgajano na nekoliko stotina hektara.

Tab. 1 Karakteristike petnaest biogas postrojenja korišćenih za testiranje razvijenih metoda (Effenberger i dr, 2010; Bachmaier i dr, 2011a)

BGP		A	B	C	D	E
Početak rada postrojenja	–	2005	2005	2004	2004	2005
Broj stepena procesa	–	2	2	3	2	2
Maseni udeo stajnjaka u korišćenim supstratima	% (m/m)	8	3	7	0	28
Vrste korišćenog stajnjaka	–	GTS, GČS, ČSP	GČS	GTS	–	ČSP
Vrste korišćenog energetskog bilja	–	SK, ST, SZR, SSŽ	SD, SK, MOK, SSŽ	SK, ST, SSŽ, MOK	SK, SOP, ST, SOR, SZR	SK
Ukupna zapremina fermentora ¹	m ³	3.015	2.605	3.676	2.290	2.487
Zapremina rezervoara za ostatak fermentacije	m ³	1.146	1.294	4.029	800	2.300
Tip gasnog motora	–	G	G	G	G	G
Broj gasnih motora	–	1	1	2	2	1
Nazivna električna snaga postrojenja	kW _e	329	333	380	420	347
Specifična električna snaga postrojenja	kW _e *m ⁻³	0,109	0,128	0,171	0,180	0,140
Nazivna termička snaga postrojenja	kW _e	447	232	400	np	432
Specifična termička snaga postrojenja	kW _e *m ⁻³	0,148	0,089	0,109	np	0,174

Tab. 1 Nastavak (Effenberger i dr, 2010; Bachmaier i dr, 2011a)

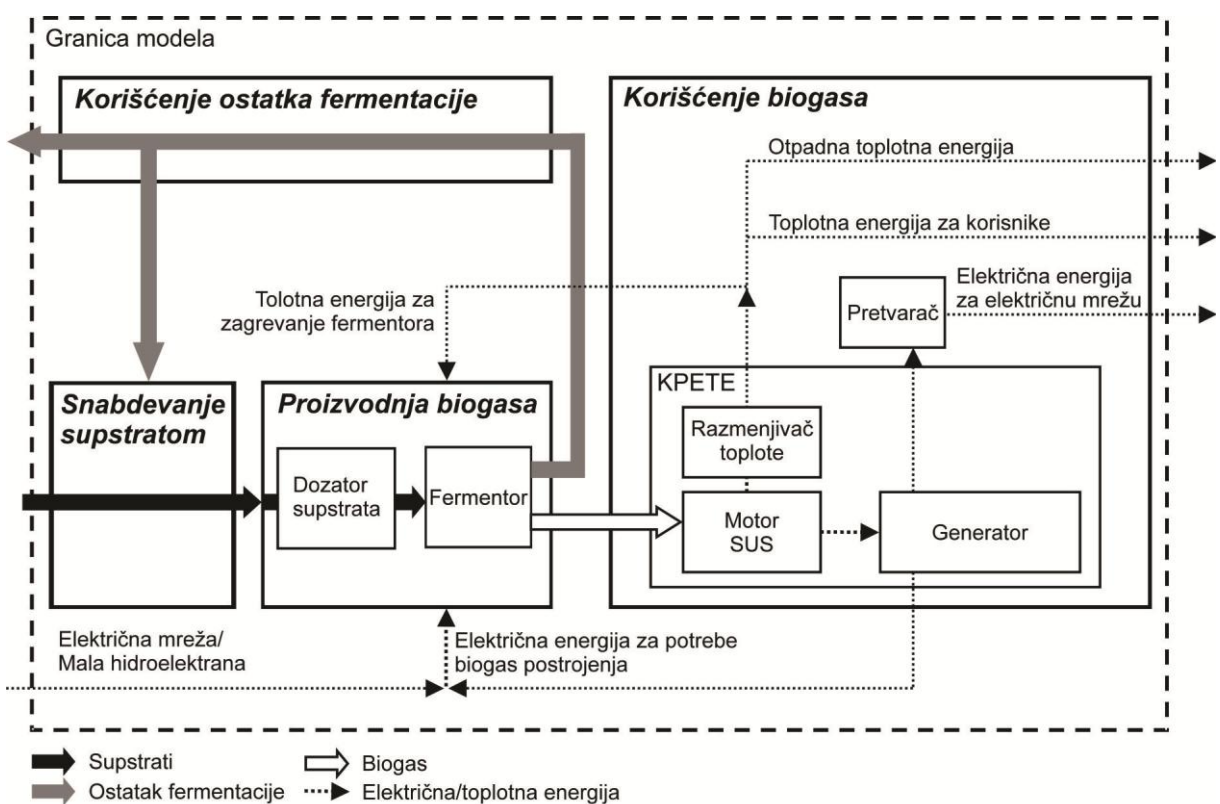
BGP		F	G	H	I	J
Početak rada postrojenja	–	2002	2005	2004	2005	2001
Broj stepena procesa	–	2	2	3	2	3
Maseni udeo stajnjaka u korišćenim supstratima	% (m/m)	15	28	0	41	38
Vrste korišćenog stajnjaka	–	ČSP	STS, GTS, GČS	–	GTS	GTS, GČS
Vrste korišćenog energetskog bilja	–	SK, DZK, SSŽ, ST, ZSŽ	SK, SSŽ, ST, SST	SK, SZR, SST	ZSŽ, DZK, SK, ŠR	SK, ST, SSŽ, ZSŽ
Ukupna zapremina fermentora ¹	m ³	3.740	1.540	1.778	1.095	3.413
Zapremina rezervoara za ostatak fermentacije	m ³	4.988	3.289	739	1.791	2.688
Tip gasnog motora	–	G	IP	IP	G	G
Broj gasnih motora	–	1	2	1	1	2
Nazivna električna snaga postrojenja	kW _e	526	280	250	324	380
Specifična električna snaga postrojenja	kW _e *m ⁻³	0,141	0,182	0,141	0,296	0,111
Nazivna termička snaga postrojenja	kW _e	566	300	262	250	400
Specifična termička snaga postrojenja	kW _e *m ⁻³	0,151	0,192	0,147	0,228	0,117

Tab. 1 Nastavak (Effenberger i dr, 2010; Bachmaier i dr, 2011a)

BGP		A2	B2	C2	G2	I2
Početak rada postrojenja	–	2005	2005	2004	2005	2005
Broj stepena procesa	–	2	2	3	2	2
Maseni udeo stajnjaka u korišćenim supstratima	% (m/m)	31	0	4	26	47
Vrste korišćenog stajnjaka	–	GTS, GČS, ČSP	–	GTS	STS, GTS, GČS	GTS, GČS
Vrste korišćenog energetskog bilja	–	SK, ST, SSŽ, SZR	SD, SK	SK, ST, SSŽ, MOK, ZSŽ	SK, ST, SSŽ, MOK, MZZ	SK, SZR, RŠR, ZSŽ
Ukupna zapremina fermentora ¹	m ³	4.020	2.605	3.676	1.540	1.095
Zapremina rezervoara za ostatak fermentacije	m ³	2.280	1.294	4.092	2.798	1.791
Tip gasnog motora	–	G	G	G	G+IP	G
Broj gasnih motora	–	2	1	3	1+1	1
Nazivna električna snaga postrojenja	kW _e	855	333	630	350	324
Specifična električna snaga postrojenja	kW _e *m ⁻³	0,21	0,13	0,17	0,23	0,29
Nazivna termička snaga postrojenja	kW _e	np	167	np	243	176
Specifična termička snaga postrojenja	kW _e *m ⁻³	np	0,064	np	0,158	0,161

¹) Suma zapremina fermentora u svim stepenima procesa, osim rezervoara za ostatak fermentacije; BGP: biogas postrojenje; G: gasni Otto motori; IP: Dizel motori s inicijalnim paljenjem; np: nije poznato; GTS: goveđi tečni stajnjak; STS: svinjski tečni stajnjak; GČS: goveđi čvrsti stajnjak; ČSP: čvrsti stajnjak peradi; SK: silaža kukuruza; ST: silaža trave; SZR: silaža zelenog raža; SSŽ: silaža strnih žita; SD: silaža deteline; MOK: mešavina oklaska i kukuruza; SOP: silaža ozime pšenice; SOR: silaža ozimog raža; DZK: drobljeno zrno kukuruza; ZSŽ: zrno strnih žita; SST: silaža sudanske trave; ŠR: šećerna repa; RŠR: rezanci šećerne repe; MZZ: mleveno zrno žitarica.

Opšta šema procesa proizvodnje i korišćenja biogasa za svih petnaest biogas postrojenja, sa materijalnim i energetskim tokovima, prikazana je na sl. 9. Ceo proces može da se podeli na: snabdevanje supstrata, proizvodnju biogasa, korišćenje biogasa i korišćenje ostatka fermentacije. Proizvedeni biogas koristi se u kogenerativnom postrojenju (motor SUS spregnut sa generatorom), za generisanje električne i toplotne energije. Generisana električna energija isporučuje se u javnu električnu mrežu. Potrebe postrojenja za električnom energijom pokrivaju se iz javne električne mreže, iz sopstvene proizvodnje ili iz male hidroelektrane. Toplotna energija sadržana u rashladnoj tečnosti i produktima sagorevanja motora, predstavlja nusproizvod. Jedan deo te toplote energije koristi se za grejanje fermentora, da bi se obezbedili uslovi za odvijanje procesa AF. Preostala toplotna energija koristi se na lokaciji biogas postrojenja, ili se isporučuje drugim korisnicima, za grejanje stambenih/poslovnih prostorija u neposrednoj okolini i/ili za sušenje poljoprivrednih proizvoda. Preostala toplotna energija rashladne tečnosti motora, koja ne može efikasno da se iskoristi, predaje se u okolinu vazдушnim hladnjacima i naziva se otpadna. Nusproizvod procesa AF je ostatak fermentacije koji se distribuira po poljoprivrednim površinama. Kod nekih postrojenja tečna faza ostatka fermentacije dobijena nakon separacije unosi se ponovo u fermentor, pošto sadrži anaerobne bakterije, pa se na taj način doprinosi stabilnosti procesa AF.



Sl. 9 Opšta šema procesa proizvodnje i korišćenja biogasa za petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja korišćenih za testiranje razvijenih metoda

Kao što je u tab. 1 i na sl. 9 prikazano, petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja karakteriše raznovrsnost u veličini, korišćenim supstratima, materijalnim i energetske tokovima, tehničko-tehnološkim konceptima. Tokom perioda od dve godine, za svako postrojenje sakupljeni su podaci za oko sto različitih parametara. Korišćeni su elektronski merni uređaji i data-logeri, a rukovaoci postrojenja zapisivali su u dnevnik informacije i komentare, koje nije bilo moguće da se sakupe merenjem (npr. vrsta sirovine za proizvodnju biogasa). Dodatno su sprovedene hemijske analize supstrata i ostatka fermentacije, te određeni materijalni i energetski bilansi. Sakupljeni podaci odnose se na definisanu granicu prikazanu na sl. 9.

2.1.2 Izbor kriterijuma i parametara

Kriterijumi za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja predstavljaju specifične pokazatelje efikasnosti postrojenja. Kriterijumi se biraju da se omogući sprovođenje ocene efikasnosti, a njima se definiše i ocenjuje ukupna efikasnost biogas postrojenja, razmatrajući tri najvažnija stanovišta – tehničko, zaštite životne sredine i socio-ekonomsko.

Parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja koriste se da se sprovede analiza mogućnosti poboljšanja efikasnosti. Njihovim korišćenjem, omogućava se definisanje mera za poboljšanje efikasnosti u odnosu na tehničko stanovište, u oblastima proizvodnje i korišćenja biogasa.

Izbor kriterijuma i parametara sproveden je na osnovu definisanih pokazatelja efikasnosti u okviru više istraživačkih projekata, a koji se nalaze u literaturnim izvorima: Anonim (2005); Schöftner i dr. (2006); Anonim (2009a); Effenberger i dr. (2009); Bachmaier i dr. (2010) i Anonim (2011). Preduslov za izbor kriterijuma i parametara je da se zadovolje sledeći zahtevi:

- Da se izračunavaju jednostavno i na osnovu podataka za čije merenje nije potrebna nabavka skupe opreme, što bi omogućilo primenu razvijenih metoda u praksi,
- da je omogućeno poređenje efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja, bez obzira na postojeće razlike u veličini, korišćenim supstratima, materijalnim i energetske tokovima, tehničko-tehnološkim konceptima,
- da vrednosti kriterijuma i parametara sadrže prihvatljivu neodređenost, u vidu ukupne greške, čime se osigurava pouzdanost rezultata.

2.1.3 Podaci korišćeni za razvoj metoda

Za razvoj metode za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja, kao i za razvoj metode za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, korišćeni su relevantni izvori u vidu podataka, principa i ekspertskog znanja iz oblasti biogas tehnologije. Literaturni izvori koji su korišćeni za to prikazani su u tab. 2. Detaljniji opis primene navedenih izvora

za razvoj metoda, prikazan je u okviru rezultata sprovedenog istraživanja u potpoglavljima 3.2 i 3.3.

Prvenstveno su iskorišćeni opšti principi koji važe u oblasti biogas tehnologije za definisanje pojma efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja, na osnovu čega su i izabrana stanovišta kojima se efikasnost definiše. Opšti principi iskorišćeni su i prilikom izbora kriterijuma i parametara. Korišćeno je i ekspertsko znanje iz oblasti biogas tehnologije, generisano analizom rezultata dobijenih monitoringom brojnih biogas postrojenja, za definisanje klasa efikasnosti, pravila zaključivanja i predloga mera za poboljšanje efikasnosti.

Tab. 2 Najvažniji literaturni izvori korišćeni za razvoj metoda

Primena	Izvor
Opšti principi	Anonim (2006, 2010, 2011b); Scholwin i dr. (2009).
Ekspertsko znanje	Anonim (2005, 2009); Schöftner i dr. (2006); Braun i dr. (2007).

2.1.4 Računarski program za implementaciju razvijene metode

Za implementaciju razvijenih metoda za ocenu efikasnosti korišćen je računarski program *Matlab*, verzija 7.8 (<http://www.mathworks.com>). U *Matlab*-u je napisan programski kod, čime je omogućeno testiranje i ocena primenljivosti razvijenih metoda u obliku pomoćnog alata, koji se koristi prilikom sprovođenja poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Posebna pogodnost korišćenja *Matlab*-a je da se definišu odgovarajući fazi brojevi za vrednosti izabranih kriterijuma i parametara. Moguće je bilo da se primene i operacije na definisanim fazi brojevima, u vidu fazi aritmetike ili sistema za zaključivanje, sa ciljem da se predlože mere za poboljšanje efikasnosti. Pojedini delovi programskog koda prikazani su u Prilogu V.

2.2 Teoretske osnove za razvoj i primenu metoda

U ovom potpoglavlju opisani su načini primene teoretskih osnova za razvoj metoda u okviru ovog istraživanja. Osim fazi logike i ekspertskih sistema, to su i teorija rasprostiranja greške i višeuslovno približno rasuđivanje.

2.2.1 Definisane neodređenosti principima rasprostiranja greške

Kao i pri svakom merenju, i u toku sakupljanja podataka za ocenu efikasnosti biogas postrojenja, nastaju greške u izmerenim vrednostima. Pod pojmom greške podrazumeva se odstupanje izmerenih od stvarnih, tačnih vrednosti, a razlozi za to su različiti (Anonim, 2008). U zavisnosti od načina nastanka greške se dele na grube, sistematske i slučajne (Hoffmann, 1999). Potrebno je da se poznaju vrednosti greške, tj. neodređenost u

izmerenim podacima, koji se koriste za ocenu efikasnosti, jer se na osnovu toga procenjuje da li korišćenjem tih podataka mogu da se dobiju pouzdani rezultati ili izvedu pouzdani zaključci. To nije slučaj ako je greška u podacima prevelika.

Za podatke koji se koriste za ocenu efikasnosti biogas postrojenja, razmatraju se samo sistematske greške, nastale zbog nedovoljne preciznosti mernog uređaja. Podrazumeva se da su grube greške, kao i sistematske greške nastale zbog pogrešnog kalibrisanja, blagovremeno otklonjene. Slučajne greške se ne razmatraju, jer se parametri koji definišu efikasnost biogas postrojenja mere kontinualno. Tipičan primer parametra čija vrednost se meri kontinualno i koristi za ocenu efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja je količina generisane električne energije.

Za ocenu efikasnosti biogas postrojenja koriste se kriterijumi koji predstavljaju specifične pokazatelje, koji se izračunavaju koristeći više izmerenih parametara. Vrednosti sistematskih grešaka, nastale zbog nedovoljne preciznosti mernog uređaja, poznate su za svaki pojedinačni izmereni parametar. Njihove vrednosti poznate su iz specifikacije merne opreme koju daje proizvođač, npr. $\pm 1\%$. Problem predstavlja određivanje ukupne greške koja se javlja u vrednostima kriterijuma, u slučajevima kada se oni izračunavaju iz više parametara. Isto važi i za parametre za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti. Ukupna greška ne izračunava se kao prost zbir pojedinačnih grešaka svakog izmerenog parametra, nego se tada koriste principi teorije rasprostiranja greške, koji su prikazani jednačinama (2) i (3). Pod pretpostavkom da se određeni kriterijum ili parametar, predstavljen funkcijom f , izračunava iz dva izmerena parametra, tj. dve promenljive x i y (2), ukupna greška izračunava se jednačinom (3).

$$f = f(x, y) \quad (2)$$

$$\delta_f = |\delta_{fx}| + |\delta_{fy}| \quad (3)$$

Jednačinom (3) izračunava se maksimalna vrednost greške koja može da se javi u kriterijumu ili parametru. Za to se koriste vrednosti greške u pojedinačnim izmerenim parametrima, prikazano jednačinama (4) i (5), iz kojih se kriterijum ili parametar izračunava. Jednačinama (4) i (5) prikazan je metod izvođenja. Svaki član predstavlja prvi član Tejlorovog reda kada se funkcija razvije u odnosu na svaku promenljivu.

$$\delta_{fx} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \delta_x \quad (4)$$

$$\delta_{fy} = \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \delta_y \quad (5)$$

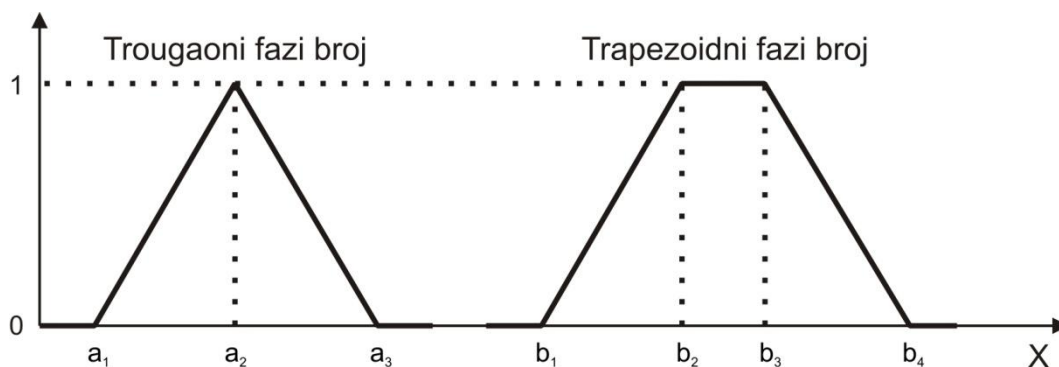
U tab. 3 prikazan je način izračunavanja ukupne greške u zavisnosti od primenjene aritmetičke operacije za izračunavanje kriterijuma ili parametra.

Tab. 3 Izračunavanje ukupne greške u zavisnosti od primenjene aritmetičke operacije

Sabiranje i oduzimanje	Množenje	Deljenje
$f = f(x, y) = x \pm y$	$f = f(x, y) = x * y$	$f = f(x, y) = x/y$
$\delta_{fx} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \delta_x = \delta_x$	$\delta_{fx} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \delta_x = y * \delta_x$	$\delta_{fx} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) \delta_x = (1/y) * \delta_x$
$\delta_{fy} = \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \delta_y = \delta_y$	$\delta_{fy} = \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \delta_y = x * \delta_y$	$\delta_{fy} = \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) \delta_y = (x/y^2) * \delta_y$
$\delta_f = \delta_x + \delta_y $	$\delta_f = y\delta_x + x\delta_y $	$\delta_f = (1/y)\delta_x + (x/y^2)\delta_y $

2.2.2 Modelovanje neodređenosti fazi logikom i fazi skupovima

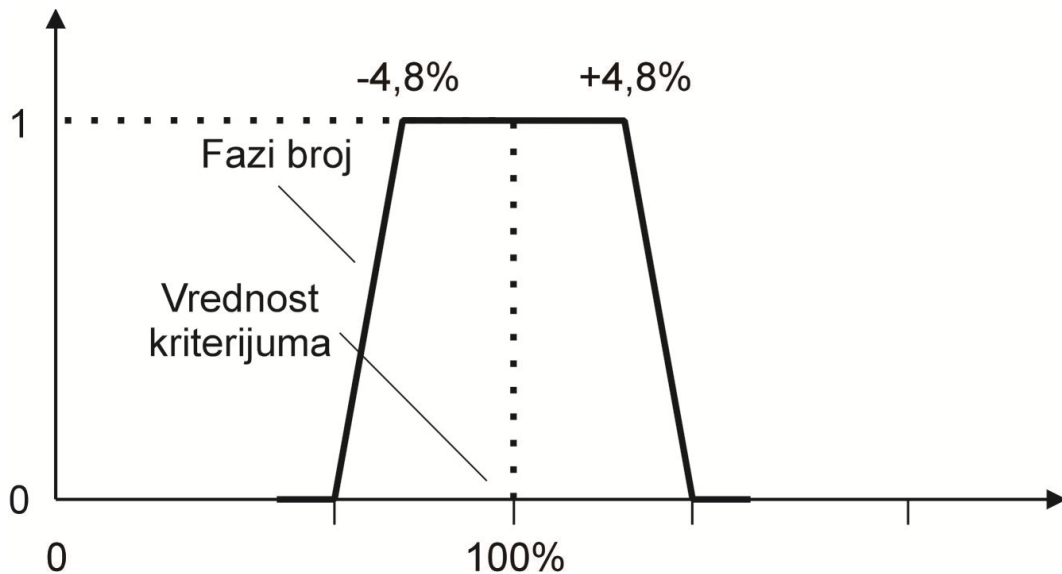
Za predstavljanje, tj. modelovanje neodređenosti, u ovom istraživanju koriste se fazi brojevi. Prema definiciji to su fazi skupovi koji zadovoljavaju tri osnovna uslova. Prvi je da je fazi skup normalan, drugi da je njegov interval zatvoren i treći da je fazi skup ograničen (Klir i Yuan, 1995). Koriste se trougaoni i trapezoidni fazi brojevi, koji imaju prednost nad drugima, jer je njihova funkcija pripadnosti linearna, te su najjednostavniji (Anonim, 2012). Na sl. 10 predstavljen je po jedan primer fazi broja i fazi intervala. Parametri a_1 do a_3 , kao i b_1 do b_4 su fazi parametri, koji određuju fazi broj i fazi interval, respektivno, a definisani su na univerzalnom skupu X . Značenje prikazanih fazi brojeva je "realan broj oko a_2 " i "približan interval b_2 do b_3 ".



Sl. 10 Primer fazi broja i fazi intervala

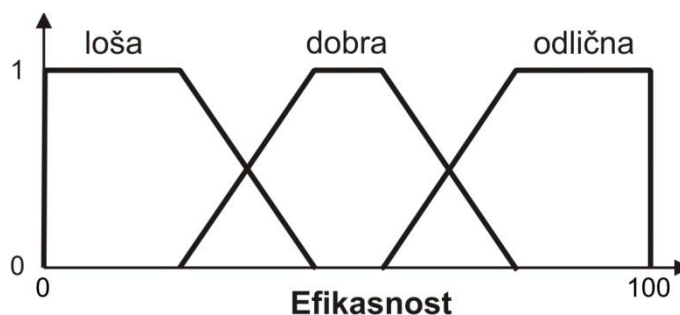
Fazi brojevima i fazi intervalima, u ovom istraživanju, predstavljaju se vrednosti kriterijuma i parametara, jer sadrže neodređenost u vidu ukupne greške određene principima rasprostiranja greške, kao i klase efikasnosti sa nedefinisanim jasnim granicama među kvalitativnim stanjima. Primer neodređenosti u vrednostima kriterijuma i parametara prikazan na sl. 11. Na primer, maksimalna greška u vrednosti kriterijuma ili parametra, određena principima rasprostiranja greške, iznosi 4,8 %. Ako je vrednost

kriterijuma ili parametra 100 %, trapezoidni fazi broj definiše se tako što se dobijenih 4,8 % koristi za izračunavanje parametara b_2 i b_3 . Na taj način, maksimalni stepeni pripadnosti definisanog fazi broja obuhvataju ceo opseg vrednosti koji teoretski može da sadrži stvarnu, tj. tačnu, vrednost izmerenog parametra. Time se greške sadržane u izmerenim podacima uzimaju u obzir, a da se pri tome ne dobiju pogrešni zaključci o efikasnosti.



Sl. 11 Predstavljanje neodređenosti u vrednostima kriterijuma ili parametara pomoću fazi broja

Teorija fazi logike u sprovedenom istraživanju iskorišćena je i primenom principa lingvističke varijable (Zadeh, 1975a, 1975b, 1975c), tj. promenljive čija su stanja izražena fazi brojevima za koje se vezuju lingvistički izrazi. Svaki kriterijum ili parametar, koji se koristi za ocenu efikasnosti ili analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, predstavlja lingvističku varijablu. Primer lingvističke varijable za pojam „efikasnost”, definisane na univerzalnom skupu A s intervalom vrednosti $[0,100]$, prikazan je na sl. 12, a stanja su „loša”, „dobra” i „odlična”. Definisana kvalitativna stanja nazvana su „klase efikasnosti” i njima je omogućeno da se ostvari kvalitativna ocena kvantitativnih podataka u vidu vrednosti kriterijuma i parametara. Ovaj postupak poznat je kao „programiranje rečima” (Zadeh, 1996).



Sl. 12 Primer lingvističke varijable za pojam „efikasnost”

Proračuni sa fazi brojevima za razvoj metoda u ovom istraživanju, tj. fazi aritmetika, omogućeni su primenom aritmetike intervala. Princip primene aritmetike intervala prikazan je jednačinama (6) i (7). Znak * predstavlja jednu od četiri aritmetičke operacije na fazi brojeve A i B . Prvobitno se odrede α -preseci za svaki od fazi brojeva i zatim primenjuje pravilo definisano u (7), koje se dobija primenom prve dekompozicione teoreme (Klir i Yuan, 1995).

$$\alpha(A * B) = \alpha A + \alpha B \quad \forall \alpha \in (0,1] \quad (6)$$

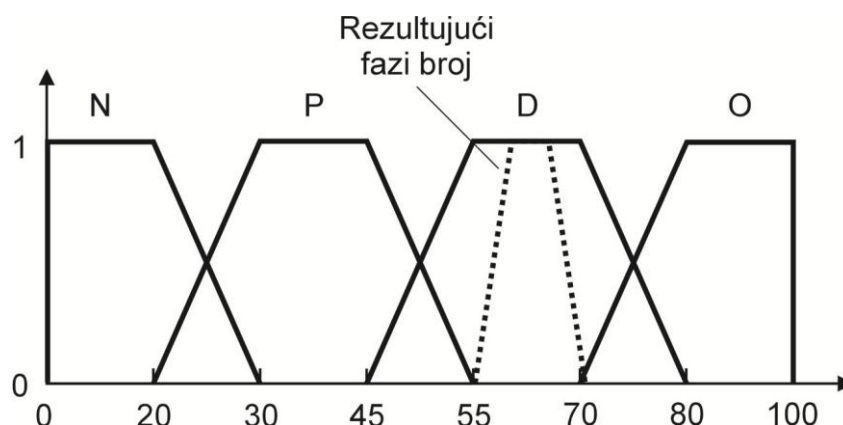
$$A * B = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha(A * B) \quad (7)$$

U razvoju metoda u ovom istraživanju je potrebno da se iz rezultujućih fazi brojeva izračunaju realni brojevi, a to se postiže postupkom „defazifikacije”. Postoji više metoda za defazifikaciju fazi brojeva (Anonim, 2012), a ovde je korišćen metod centroide. Njome se izračunava realan broj koji predstavlja centar površine ispod krive određene funkcijom pripadnosti. Matematički to se predstavlja jednačinom (8). \tilde{R} je rezultujući fazi broj, a x su vrednosti realnih brojeva na univerzalnom skupu na kojem je \tilde{R} definisan.

$$d(\tilde{R}) = \frac{\sum \tilde{R}(x) * x}{\sum \tilde{R}(x)} \quad (8)$$

Za ostvarivanje kvalitativne ocene, primenjuje se proračun Euklidijanskog rastojanja, koje se matematički predstavlja jednačinom (9). To se primenjuje za fazi vrednosti kriterijuma i fazi brojeve koji definišu klase efikasnosti, kao i za rezultujuće fazi brojeve (\tilde{R}) i fazi klase efikasnosti (\tilde{K}). Najmanje rastojanje dokazuje najveću sličnost dva fazi broja, te je lingvistički izraz fazi klase efikasnosti sa najmanjim rastojanjem od fazi vrednosti kriterijuma dodeljeno kao kvalitativno stanje. To je prikazano primerom na sl. 13, gde može i intuitivno da se zaključi da datoj vrednosti kriterijuma odgovara kvalitativno stanje DOBRO.

$$d(\tilde{R}, \tilde{K}) = \sqrt{\sum_{x=0}^{100} (\tilde{R}(x) - \tilde{K}(x))^2} \quad (9)$$



Sl. 13 Kvalitativna ocena poređenjem fazi klasa efikasnosti i rezultujućeg fazi broja (N: neprihvatljivo, P: prihvatljivo; D: dobro; O: odlično)

2.2.3 Ocena efikasnosti višeuslovnim približnim rasuđivanjem

Višeuslovno približno rasuđivanje primenjuje se da se ocena efikasnosti kriterijuma i parametara ostvari donošenjem zaključaka. Opšta šema sistema višeuslovnog približnog rasuđivanja prikazana je na sl. 14. Sistem se sastoji od n pravila, koja se nazivaju AKO-ONDA. AKO deo svakog pravila, hipoteza ili uslovni deo, sadrži uslov za dato pravilo. ONDA deo svakog pravila, posledica, sadrži zaključak datog pravila. Na osnovu ulazne veličine, tj. tvrdnje X je A' , donosi se odgovarajući zaključak Y je B' . Pri tome, $A', A_j \in F(X)$ i $B', B_j \in F(Y)$, $\forall j \in N_n$, gde su X i Y skupovi vrednosti promenljivih X i Y . Ovde je naveden jednostavan primer, gde svako pravilo sadrži samo jedan uslov i na osnovu kojeg se donosi jedan zaključak.

<i>Pravilo 1:</i>	<i>Ako X je A_1, onda Y je B_1</i>
<i>Pravilo 2:</i>	<i>Ako X je A_2, onda Y je B_2</i>
.....	
<i>Pravilo n:</i>	<i>Ako X je A_n, onda Y je B_n</i>
<i>Tvrdnja:</i>	<i>X je A'</i>

<i>Zaključak:</i>	<i>Y je B'</i>

Sl. 14 Opšta šema višeuslovnog približnog rasuđivanja

Za razvoj metoda u okviru sprovedenog istraživanja, navedeni ulazni parametar X predstavlja ili kriterijum za ocenu efikasnosti, ili parametar za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti. Vrednosti X uvek su predstavljene u vidu trapezoidnih fazi brojeva, konstruisanih na osnovu neodređenosti u kriterijumima ili parametrima. Vrednosti Y takođe su trapezoidni fazi brojevi i predstavljaju klase efikasnosti koje su definisane da se kvalitativno ocenjuju kriterijumi i parametri, tj. da se njihova ocena omogući donošenjem zaključka B' .

Za donošenje zaključka B' je primenjen metod interpolacije (Klir i Yuan, 1995), koji se sastoji od dva koraka. Prvi korak je da se odredi stepen konzistentnosti $r_j(A')$ između date činjenice i hipoteze svakog AKO-ONDA pravila. Stepem konzistentnosti predstavlja visinu preseka fazi skupa A' s odgovarajućim fazi skupom A_j , tj. maksimalni stepen pripadnosti za dobijeni presek. To je predstavljeno jednačinom (10). Nadalje, jednačinom (11) predstavljen je način dobijanja B' kada se koristi standardni fazi presek.

$$r_j(A') = h(A' \cap A_j) \quad (10)$$

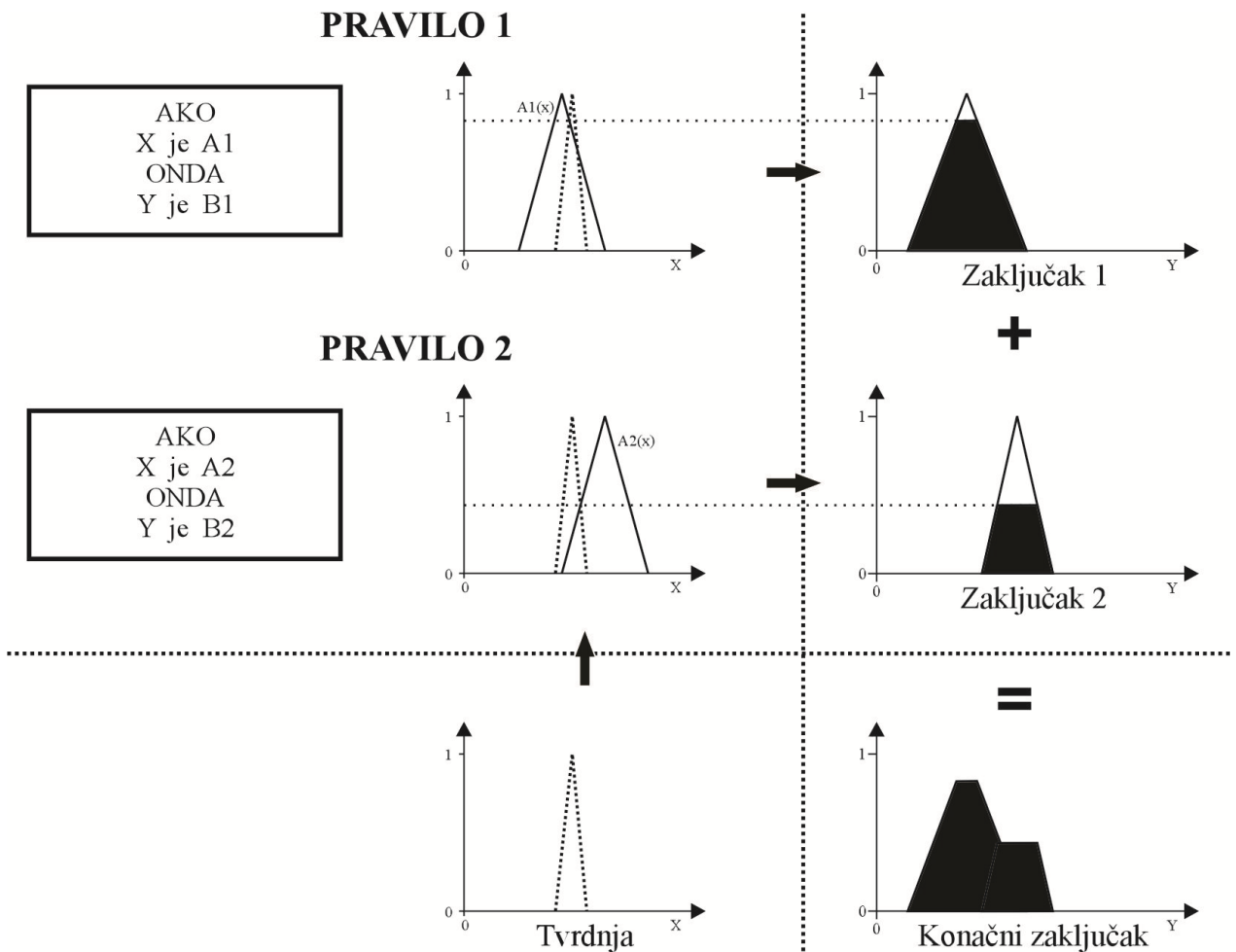
$$r_j(A') = \sup_{x \in X} \min[A'(x), A_j(x)] \quad (11)$$

Drugi korak je izračunavanje zaključka B' , što je prikazano jednačinom (12). Prvenstveno se svaki fazi skup B_j odseca pomoću odgovarajuće vrednosti stepena

konzistentnosti $r_j(A')$, funkcijom min , čime se dobija ili ne dobija zaključak za određeno pravilo, u zavisnosti od vrednosti stepena konzistentnosti. Konačni zaključak, B' , dobija se korišćenjem funkcije sup , koja je zbog ograničenog univerzalnog skupa – funkcija max .

$$B'(y) = sup_{j \in N_n} min[r_j(A'), B_j(y)] \quad (12)$$

Grafički prikaz metode interpolacije za dva AKO-ONDA pravila dat je na sl. 15. Za datu vrednost A' ulaznog parametra X , proverava se kompatibilnost A' s oba definisana stanja parametra X , A_1 i A_2 . Konzistentnost $r_j(A')$ je pokazatelj kompatibilnosti ulaznog parametra s određenim pravilom. Samo ona pravila kod kojih postoji konzistentnost, tj. za koja je $r_j(A')$ veće od nule, postaju aktivna i koriste se za određivanje zaključka. To se postiže korišćenjem vrednosti $r_j(A')$ za odsecanje fazi skupova B_1 i B_2 . Konačni zaključak dobija se kombinacijom zaključaka 1 i 2.



Sl. 15 Grafički prikaz metode interpolacije u sistemu višeuslovnog približnog rasuđivanja

Primena višeuslovnog približnog rasuđivanja u ovom istraživanju zahteva da se za donošenje zaključka koristi više od jednog uslova u hipotezi, u vidu kriterijuma ili parametra koji se ocenjuju. Zato je potrebno određivanje stepena konzistentnosti za svaki od korišćenih uslova. Odsecanje fazi skupa u zaključku, koji se naziva još i postupak

implikacije, sprovodi se koristeći vrednost koja se izračunava iz svih stepena konzistentnosti korišćenjem logičkog operatora I, tj. fazi preseka (t-norme). Funkcija koja se za to koristi je *min* (minimum), koja se naziva još i standardni fazi presek. Konačni zaključak, tj. postupak agregacije, postiže se primenom ILI logičkog operatora, tj. standardne fazi unije – funkcija *max*.

2.2.4 Definisane mere za poboljšanje efikasnosti ekspertskim sistemima

Principi teorije ES primenjuju se, u metodama koje se razvijaju u okviru ovog istraživanja, da se omogući korišćenje ekspertskog znanja iz oblasti biogas tehnologije. Sprovođenje poboljšanja efikasnosti biogas postrojenja ostvaruje se analizom mnogih podataka i činjenica, da se dobiju rešenja u vidu kvalitativnih ocena i mogućih mera za poboljšanje. Zbog toga, za eksperta bi to bio zahtevan zadatak, a razvojem metode koja se bazira na principima ES olakšava se postupak poboljšanja efikasnosti. Posebna pogodnost razvoja metode je mogućnost da se ona koristi u vidu računarskog programa.

Ekspertsko znanje je sadržano u sistemu za donošenje zaključaka, u vidu višeuslovnog približnog rasuđivanja. U tu svrhu, u bazi znanja se definišu mnoga AKO-ONDA pravila, pomoću kojih se modeluje postupak donošenja zaključaka. Definišu se i klase efikasnosti, pomoću kojih su određeni uslovi za kvalitativno ocenjivanje ulaznih podataka, tj. vrednosti kriterijuma i parametara. Za moguće kombinacije kvalitativnih ocena kriterijuma i parametara, ekspertsko znanje iz oblasti biogas tehnologije koristi se da se definišu mere za poboljšanje efikasnosti rada. Za razvoj metode na bazi ES, koriste se principi i praktični saveti dati u Prerau (1990).

2.2.5 Postupak testiranja razvijenih metoda

Bilo koji računarski program treba da se oceni, evaluira ili testira, sa ciljem da se odredi da li se dobijaju zadovoljavajući rezultati. To se u ovom istraživanju sprovodi i za razvijene metode za ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti biogas postrojenja. Testiranje računarskog programa, u vidu ES, ili programa koji se zasniva na principima ES, sastoji se od verifikacije i validacije. Verifikacijom se određuje da li ES korektno primenjuje sakupljeno ekspertsko znanje. Validacijom se određuje da li razvijeni ES ispunjava postavljeni zadatak i to na određenom nivou tačnosti, tj. da li su dobijeni rezultati, u vidu povratne informacije, za korisnika zadovoljavajući.

Verifikacija

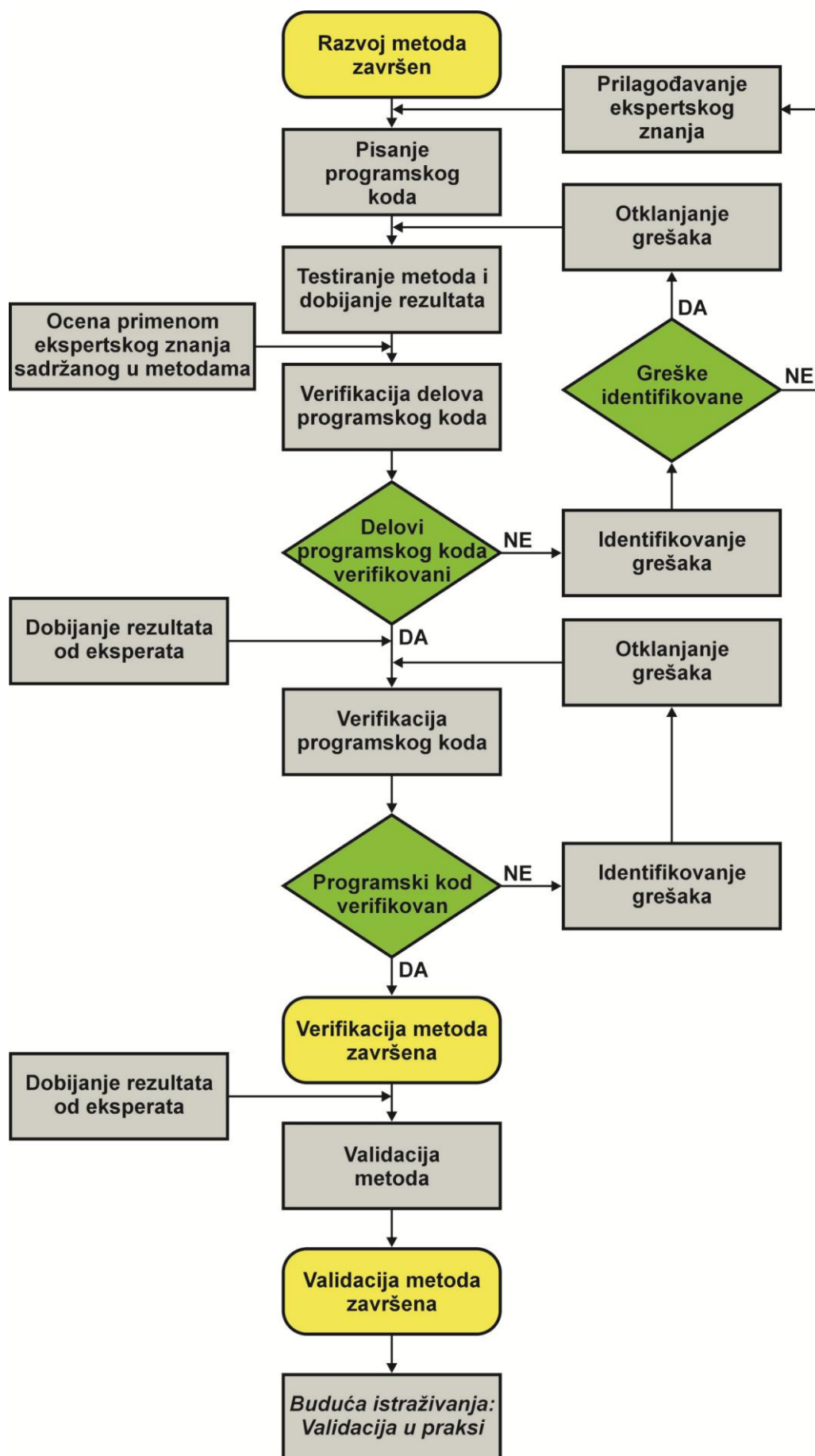
Tokom razvoja metoda, verifikacija se sprovodi prvenstveno za delove programskog koda. Na primer, testiraju se delovi koda kojima se ocenjuju pojedinačni kriterijumi ili parametri. Nakon toga, biogas postrojenja ocenjuju se primenom istovetnog ekspertskog znanja sadržanog u razvijenim metodama, te se dobijeni rezultati upoređuju sa rezultatima

dobijenim testiranjem programskog koda. Ako su dobijeni rezultati identični, smatra se da je programski kod verifikovan. U suprotnom, greška u kodu se identifikuje i otklanja. U slučajevima neslaganja rezultata, sprovodi se detaljna analiza da se ustanovi da li je ekspertska znanje u metodama pogrešno predstavljeno, a ukoliko jeste, potrebno je da se prilagodi. Nakon toga, na isti način sprovodi se i verifikacija programskog koda kao celine, u obliku metode za ocenu efikasnosti, tj. metode za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti.

Validacija

Validacija se sprovodi poređenjem dobijenih rezultata u potpoglavljima 3.3.1-3.3.4, u odnosu na rezultate eksperata. Eksperti za validaciju su istraživači sa *LfL*-a iz Frajzinga, koji su učestvovali u monitoringu petnaest postrojenja i evaluaciji podataka koji definišu njihovu efikasnost (Effenberger i dr, 2010; Bachmaier i dr, 2011a). Tokom višegodišnjeg istraživanja, ovi eksperti stekli su detaljan uvid u princip rada, kao i prednosti i nedostatke u pogonu petnaest postrojenja. Ovo iskustvo i znanje eksperata koristi se da se potvrde ili opovrgnu dobijeni rezultati, što je diskutovano u okviru potpoglavlja 3.3.1-3.3.4. Analizom rezultata dobijenih primenom metoda za ocenu efikasnosti, eksperti potvrđuju dobijeni poredak biogas postrojenja. U odnosu na rezultate dobijene primenom metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, eksperti utvrđuju tačnost i izvodljivost primene predloženih mera za poboljšanje efikasnosti. Za validaciju u realnim uslovima, vlasnik ili rukovalac biogas postrojenja primenio bi predložene mere, koje su rezultat razvijenih metoda, te se proverava da li je došlo do poboljšanja efikasnosti, što bi potvrdilo ili opovrgnulo validnost metode. Pošto je to vremenski zahtevno i često zahteva novčana ulaganja, ostavljeno je kao mogućnost za buduća istraživanja.

Na sl. 16 prikazan je dijagram toka za postupak testiranja, tj. verifikacije i validacije razvijenih metoda u okviru ovog istraživanja. Simboli za prikazivanje u skladu su sa standardom SRPS A.F0.004 (Anonim, 1972). Žuta polja označavaju granično mesto, koje je početak ili kraj aktivnosti. Siva polja označavaju operaciju, a zelena odluku u odnosu na dobijeni rezultat.



Sl. 16 Dijagram toka za postupak testiranja razvijenih metoda

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Izabrani kriterijumi i parametri

U naredna dva potpoglavlja, 3.1.1 i 3.1.2, prikazani su rezultati istraživanja o izabranim kriterijumima za ocenu efikasnosti, kao i o izabranim parametrima za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti.

3.1.1 Kriterijumi za ocenu efikasnosti

U ovom potpoglavlju prikazani su rezultati proračuna rasprostiranja greške izabranih kriterijuma za ocenu efikasnosti rada, prikazanih u tab. 4. Njihovo značenje je objašnjeno zatim u tekstu, a prikazan je i način izračunavanja jednačinama (13-20). Na kraju ovog potpoglavlja obrazloženi su razlozi izbora navedenih kriterijuma K1-K8 i naznačena ograničenja korišćenja drugih. Kriterijumima K1-K8 definišu se tri najvažnija stanovišta rada biogas postrojenja i koriste se za ocenu ukupne efikasnosti. Vrednosti kriterijuma K1-K8 za petnaest biogas postrojenja, koje su korišćene za testiranje metoda za ocenu efikasnosti, date su u Prilogu I.

Tab. 4 Izabrani kriterijumi za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja

Oznaka	Kriterijum	Jedinica	Stanovište
K1	Relativni prinos biogasa	%	
K2	Produktivnost metana	$\text{Stm}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$	Tehničko
K3	Stepen iskorišćenja kogenerativnog postrojenja	%	
K4	Stepen iskorišćenja energije metana	%	
K5	Specifične emisije GHG	$\text{g CO}_{2,\text{ek}} \cdot \text{kWh}_e^{-1}$	Zaštite životne sredine
K6	Kumulativna potreba za energijom	$\text{kWh} \cdot \text{kWh}_e^{-1}$	
K7	Dobit	$\text{€} \cdot (\text{kW}_e \cdot \text{a})^{-1}$	Socio-ekonomsko
K8	Ljudski rad	$\text{Lh} \cdot (\text{kW}_e \cdot \text{a})^{-1}$	

U tab. 5 prikazani su rezultati rasprostiranja greške za kriterijume, koji se koriste za ocenu efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Dobijeni rezultati usvojeni su za neodređenosti u vrednostima kriterijuma i iskorišćeni za razvoj metoda za ocenu efikasnosti. Za odabir kriterijuma usvojeno je da je maksimalna vrednost ukupne greške 10 %. Postupak izračunavanja rasprostiranja greške za kriterijume K1-K8 prikazan je u Prilogu III.

Tab. 5 Neodređenost u vrednostima kriterijuma za ocenu efikasnosti

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
Ukupna greška, %	4,8	3,6	2,0	6,5	10,6	16,3	1,0	1,0

Ukupna greška za K1 iznosi 1,6 %, kada se razmatra korišćenje samo jedne vrste supstrata. Međutim, svako od navedenih petnaest biogas postrojenja za proizvodnju biogasa koristi znatno veći broj supstrata, pa je ukupna greška veća. Za razvoj metode usvojena je vrednost 4,8 %, jer se na datim biogas postrojenjima koristi najviše tri vrste supstrata značajnog udela, tj. tri vrste koje skoro u potpunosti čine celokupnu masu, te jedini imaju i značajan uticaj na ukupnu grešku.

Najznačajniji uticaj na vrednost ukupne greške kriterijuma K2, kao i za K1, ima preračunavanje zapremine biogasa na standardnu vrednost, koristeći definisane vrednosti temperature i pritiska (videti Prilog III). Ukupna greška za K3 je mala, pošto na njenu vrednost utiču jedino ukupna količina generisane električne energije i nazivna snaga kogenerativnog postrojenja, a greška u vrednostima ovih parametara nije velika. Ukupna greška za K4 ima veću vrednost, 6,5 %, jer se ovaj kriterijum izračunava iz četiri parametra (videti Prilog III).

Za K5 i K6 u ovom istraživanju nije sproveden proračun rasprostiranja greške, zbog kompleksne i višestruke međuzavisnosti uticajnih parametara. Procena neodređenosti za ova dva kriterijuma sprovedena je na osnovu rezultata simulacija metodom „Monte Carlo”. Dobijeni rezultati predstavljaju maksimalne vrednosti grešaka u vrednostima dva kriterijuma, za svako pojedinačno biogas postrojenje opisano u Bachmaier i dr. (2011b, 2013). Ukupne greške za K5 i K6, koje su korišćene kao neodređenosti u ovom istraživanju i prikazane u tab. 4, izračunate su kao srednje vrednosti dobijenih maksimalnih grešaka.

Proračun rasprostiranja greške za K7 i K8 sproveden je pod pretpostavkom da vrednosti za prihod i rashod, kao i za broj časova uloženog ljudskog rada, ne sadrže grešku, jer se o tome na biogas postrojenjima vodi detaljna evidencija. Zbog toga su i vrednosti ukupne greške za ova dva kriterijuma male, tab. 4. Proračun rasprostiranja grešaka za ove kriterijume nije prikazan u Prilogu III zbog jednostavnosti, jer zavise jedino od nazivne snage kogenerativnog postrojenja.

Kriterijumi za ocenu efikasnosti tehničkog stanovišta

K1: Relativni prinos biogasa, B_r , [%], izračunava se kao odnos izmerenog (B_i) i teoretskog prinosa (B_t). Izmereni prinos biogasa određuje se iz ukupne količine proizvedenog biogasa na postrojenju za posmatrani period u odnosu na organsku suhu materiju korišćenih supstrata. Vrednosti teoretskog prinosa biogasa za korišćene supstrate

preuzete su iz literature (Anonim, 2010b). Ovaj kriterijum opisuje iskorišćenje potencijala supstrata za proizvodnju biogasa, odnosno efikasnost mikrobiološke razgradnje.

$$B_r = \frac{B_i}{B_t} \quad (13)$$

K2: Produktivnost metana, P_M [$\text{Stm}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$], izračunava se kao odnos standardizovane dnevne proizvodnje metana (M_p) i efektivne zapremine fermentora (V_F). Ovaj kriterijum opisuje efikasnost iskorišćenja zapremine fermentora za proizvodnju metana. Proporcionalan je efektivnoj električnoj snazi biogas postrojenja u odnosu na zapreminu fermentora.

$$P_M = \frac{M_p}{V_F} \quad (14)$$

K3: Stepen iskorišćenja kogenerativnog postrojenja, I_{KPETE} [%], tj. snage postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (KPETE), izračunava se kao odnos ukupne količine generisane (E_g) i teoretske količine električne energije (E_t). E_t je maksimalno moguća količina koja može da se generiše, pod uslovom da kogenerativno postrojenje radi pri nazivnoj instalisanoj električnoj snazi neprekidno u toku razmatranog perioda, na primer, 8.760. Ovaj kriterijum opisuje efikasnost iskorišćenja instalisane nazivne električne snage kogenerativnog postrojenja.

$$I_{KPETE} = \frac{E_g}{E_t} \quad (15)$$

K4: Stepen iskorišćenja energije metana, I_M [%], izračunava se kao suma generisane električne energije (E_g) i toplotne energije efikasno iskorišćene, osim one za grejanje fermentora (T_e), umanjeno za električnu energiju potrebnu za pogon uređaja na biogas postrojenju (E_{bp}). Dobijena vrednost deli se sa vrednosti primarne energije metana sadržanog u proizvedenom biogasu, računajući donju toplotnu moć (DTM_m). Ako je u sastavu kogenerativnog postrojenja dizel motor s inicijalnim paljenjem, potrebno je da se u brojiocu oduzme i električna energija generisana iz dizel goriva. Ovaj kriterijum opisuje efikasnost iskorišćenja energije metana sadržanog u proizvedenom biogasu, ali i energetska efikasnost pogona biogas postrojenja, jer se u obzir uzimaju svi energetske tokovi.

$$I_M = \frac{E_g + T_e - E_{bp}}{DTM_m} \quad (16)$$

Kriterijumi za ocenu stanovišta zaštite životne sredine

K5: Specifične emisije, GHG [$\text{g CO}_{2,ek} \cdot \text{kWh}_{el}^{-1}$], tj. emisije gasova koji uvećavaju efekat staklene bašte (GHG), izračunavaju se kao razlika količine emitovanih (GHG_e) i gasova čije su emisije u okolinu sprečene (GHG_s), u odnosu na generisanu električnu energiju (E_g). Emitovane količine nastaju usled korišćenja energije iz fosilnih izvora, ili

usled nekontrolisanog ispuštanja proizvedenog metana iz biogas postrojenja u okolinu. Indirektno sprečavanje emisija ostvaruje se zamenom fosilnih goriva, efikasnim iskorišćenjem preostale toplotne energije, ili korišćenjem ostatka fermentacije sa biogas postrojenja, kao zamene za mineralna hraniva u poljoprivrednoj proizvodnji. Dodatno se, anaerobnim tretmanom u fermentoru, sprečavaju direktne emisije GHG u atmosferu, koje bi nastale tokom skladištenja stajnjaka. U obzir su uzete emisije CO₂, CH₄ i N₂O, a vrednosti su svedene na grame ekvivalentnog CO₂.

$$GHG = \frac{GHG_e - GHG_s}{E_g} \quad (17)$$

K6: Kumulativna potreba za energijom, KPE [kWh•kWh_{el}⁻¹], izračunava se kao suma svih energetske potrebe iz neobnovljivih izvora za izgradnju (PE_i), pogon, uključujući i proizvodnju supstrata (PE_p), i zbrinjavanje nakon radnog veka biogas postrojenja (PE_z), svedeno na godišnje vrednosti. Od toga se oduzimaju energetske uštede ostvarene pogonom biogas postrojenja (PE_u), te se sve izračunava u odnosu na generisanu električnu energiju (E_g). Energetsku uštedu čini zbir efikasno iskorišćene toplotne energije koja bi se inače proizvodila iz fosilnih goriva i energije za proizvodnju mineralnog hraniva, koje se zameni distribucijom ostatka fermentacije po poljoprivrednim površinama. Ovaj kriterijum opisuje koliko je potrebno primarne energije fosilnih goriva da bi se generisala jedinična količina električne energije iz biogasa. Što je vrednost parametra manja, manja je potreba za fosilnim gorivima, te i manji uticaj na životnu sredinu.

$$KPE = \frac{PE_i + PE_p + PE_z - PE_u}{E_g} \quad (18)$$

Kriterijumi za ocenu efikasnosti socio-ekonomskog stanovišta

K7: Dobit, D [€•(kW_e•a)⁻¹], izračunava se kao razlika svih godišnjih prihoda (P) i svih godišnjih rashoda (R) ostvarenih u toku proizvodnje i korišćenja biogasa, a izračunato u odnosu na instalisanu nazivnu električnu snagu kogenerativnog postrojenja (S_{KPETE}).

$$D = \frac{P - R}{S_{KPETE}} \quad (19)$$

K8: Ljudski rad, L [Lh•(kW_e•a)⁻¹], izračunava se kao suma ljudskog rada koji je uloženi za pogon (L_p), održavanje (L_o) i reparacije biogas postrojenja (L_r), godišnje, izračunato u odnosu na instalisanu nazivnu električnu snagu kogenerativnog postrojenja (S_{KPETE}).

$$L = \frac{L_p + L_o + L_r}{S_{KPETE}} \quad (20)$$

Komentari

Tehničko stanovište. Kriterijumima K1-K4 opisuje se efikasnost rada biogas postrojenja u odnosu na razgradnju supstrata, pogon fermentora, pogon kogenerativnog

postrojenja i energetska efikasnost iskorišćenja proizvedenog biogasa. Detaljniji uvid u efikasnost razgradnje supstrata, opisano sa K1, mogao bi da se ostvari određivanjem B_t po metodi, koju su predložili Keymer i Schilcher (2003), umesto korišćenja literaturnih podataka. Međutim, ovakav način određivanja B_t zahteva podatke u obliku rezultata brojnih laboratorijskih analiza. U tom slučaju bi brojni faktori uticali na vrednost ukupne greške, koja bi iznosila čak do 14 %, što bi uzrokovalo neprihvatljivu neodređenost u vrednosti za K1. Za K2, umesto produktivnosti metana, mogla bi da se koristi produktivnost biogasa. Iako je u tom slučaju vrednost ukupne greške manja, jer nije potrebno da se razmotri udeo metana, korišćenje ovog kriterijuma bilo bi manje pouzdano za ocenu efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Nepouzdanost dolazi do izražaja kada se pogonom biogas postrojenja ostvaruje zadovoljavajuća produktivnost biogasa, ali sa niskim udelom metana.

Stanovište zaštite životne sredine. Kriterijumi K5 i K6 najčešće su korišćeni pokazatelji za kvantifikaciju uticaja na životnu sredinu, a definišu uticaj na atmosferu i klimatske promene. Za izračunavanje K5 i K6 sprovedeno je višegodišnje istraživanje Bachmaier i dr (2013). Iako su vrednosti ukupne greške za ova dva kriterijuma veće od 10 %, nije bilo moguće da se izaberu i koriste drugi kriterijumi, jer za njih ne postoje potrebne vrednosti. Osim navedenih, u literaturi postoje brojni drugi pokazatelji koji definišu uticaj na životnu sredinu. Gärtner i dr. (2008) predložili su, osim K5 i K6 koji su korišćeni u ovom istraživanju, dodatnih pet kriterijuma kojima se definiše uticaj na životnu sredinu za biogas postrojenja: eutrofizacija zemljišta, zakišeljavanje, razgradnja ozona, fotohemijski smog i toksičan uticaj na ljude. S obzirom na to da je biogas postrojenje uglavnom sastavni deo lanca proizvodnje hrane, u budućim istraživanjima potrebno bi bilo da se istraži i uticaj na plodnost zemljišta usled uzgajanja energetskog bilja i upotrebe ostatka fermentacije, umesto mineralnih hraniva.

Socio-ekonomsko stanovište. Kriterijumi K7 i K8 izabrani su kao najvažniji pokazatelji, koji definišu socio-ekonomsko stanovište rada poljoprivrednih biogas postrojenja – specifičnu dobit, koja se ostvaruje i ljudski rad, koji je potrebno da se obezbedi za pogon postrojenja. Njihovom analizom i korišćenjem za ocenu efikasnosti omogućava se međusobno poređenje biogas postrojenja u odnosu na socio-ekonomsko stanovište, ali ne i analiza ekonomske opravdanosti. K7 ukazuje na nivo automatizacije biogas postrojenja, jer njegova vrednost definiše mogućnost da se ostvari uspešan pogon biogas postrojenja sa što manje uloženog rada. Ipak, ubuduće je potrebno da se razmotre i kriterijumi koji definišu mogućnost zapošljavanja za proizvodnju energetskog bilja i doprinos ruralnom razvoju.

Komentar

U slučaju da je neodređenost, tj. ukupna greška u vrednostima kriterijuma prevelika, eksperti bi mogli da koriguju njihove vrednosti, kako bi se omogućila njihova primena u metodi za ocenu efikasnosti. Eksperti bi mogli da procene prosečnu vrednost, koja bi bila manja od ukupne greške, što je u ovom istraživanju primenljivo za K5 i K6.

3.1.2 Parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti

U ovom potpoglavlju prikazani su rezultati proračuna rasprostiranja greške za izabrane parametre za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti iz tab. 6. Značenje izabranih parametara objašnjeno je potom u tekstu, a način izračunavanja prikazan jednačinama (21-28). Korišćenjem parametara P1-P8 moguće je da se sprovede analiza mogućnosti poboljšanja efikasnosti u odnosu na tehničko stanovište, za oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa, koje su definisane kriterijumima K1-K4. Vrednosti parametara P1-P8 za petnaest biogas postrojenja, koje su korišćene za testiranje metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, date su u Prilogu II.

Tab. 6 Izabrani parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja

Oznaka	Parametri	Jedinica	Definisana oblast
P1	Hidrauličko retenciono vreme	d	Proizvodnja biogasa
P2	Specifična zapremina fermentora	$m_F^3 \cdot kW_e^{-1}$	
P3	Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	–	
P4	Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	%	Korišćenje biogasa
P5	Udeo električne energije za pogon postrojenja	%	
P6	Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	%	
P7	Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	%	
P8	Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	%	

U tab. 7 prikazani su rezultati rasprostiranja greške parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti. Dobijeni rezultati usvojeni su za neodređenosti u podacima i iskorišćeni za razvoj metoda. Postupak izračunavanja rasprostiranja greške za parametre P1-P8 prikazan je u Prilogu III.

Tab. 7 Neodređenost u vrednostima parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Ukupna greška, %	2,6	1,6	5,0	5,0	2,0	7,9	7,9	2,0

Vrednosti ukupne greške za P1 i P2 su niske, jer pretežno zavise od parametara koji opisuju veličinu biogas postrojenja. Izuzetak predstavlja zapreminski unos supstrata koji se koristi za izračunavanje P1. Za P3, koji se dobija laboratorijskim analizama, nije sproveden proračun rasprostiranja greške, a procenjeno je da ukupna greška iznosi nekoliko procenata. Zbog sigurnosti usvojena je vrednost od 5 %. Na vrednost ukupne greške za P4 najviše utiče značajna neodređenost u vrednosti za primarnu energiju metana. Vrednost ukupne greške za P5 je niska, pošto je i greška u vrednostima generisane i električne energije, iskorišćene za pogon mašina na biogas postrojenju, skoro zanemarljiva. Za P6 i P7 vrednosti ukupne greške su veće, zbog načina izračunavanja količine toplotne energije, na koju utiču temperatura i zapremina biogasa. Vrednost ukupne greške za P8 je niska, jer pretežno zavisi od parametara koje ne karakteriše visoka vrednost greške, a to su količina generisane električne energije i nazivna snaga kogenerativnog postrojenja.

Parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti u oblasti proizvodnje biogasa

P1: Hidrauličko retenciono vreme, HRV [d], izračunava se kao odnos zapremine fermentora (V_F) i zapreminskog unosa supstrata po danu (\dot{V}_S). Zapremina fermentora podrazumeva ukupnu zapreminu svih fermentora (kod kojih postoji grejanje sadržine i sakupljanje proizvedenog biogasa), ne računajući rezervoar ostatka fermentacije. Zapreminski unos supstrata po danu je prosečna vrednost tokom perioda u kojem se ocenjuje efikasnost i analizira mogućnost njenog poboljšanja. Ovaj parametar iskazuje prosečno vreme zadržavanja korišćene mešavine supstrata u fermentoru, koje predstavlja jedan ciklus u proizvodnji biogasa.

$$HRV = \frac{V_F}{\dot{V}_S} \quad (21)$$

P2: Specifična zapremina fermentora, $V_{F,S}$ [$m_F^3 \cdot kW_e^{-1}$], izračunava se kao odnos zapremine fermentora (V_F) i instalisane nazivne snage kogenerativnog postrojenja (S_{KPETE}). Ovim parametrom proverava se da li je fermentor dobro dimenzionisan u odnosu na kogenerativno postrojenje. Parametar je obrnuto proporcionalan kriterijumu – produktivnost metana (K2).

$$V_{F,S} = \frac{V_F}{S_{KPETE}} \quad (22)$$

P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije, K_{OMK} [-]. Razmatraju se ukupne mase organskih masnih kiselina, ali i posebno masa propionske kiseline, svedene na ekvivalentni gram sirćetne kiseline ($m_{SK,ekv}$). Koncentracija organskih masnih kiselina izračunava se u odnosu na jediničnu masu ostatka fermentacije koji se uzorkuje (m_{OF}).

Odnos ova dva parametra koristi se kao indikator stabilnosti procesa anaerobne fermentacije.

$$K_{OMK} = \frac{m_{SK,ekv}}{m_{OF}} \quad (23)$$

Parametri za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti u oblasti korišćenja biogasa

P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja, $\eta_{e,KPETE}$ [%], izračunava se kao odnos generisane električne energije (E_g) i primarne energije metana sadržanog u proizvedenom biogasu, koristeći njegovu donju toplotnu moć (DTM_m). Ovaj parametar opisuje energetska efikasnost kogenerativnog postrojenja u konverziji energije metana u električnu energiju.

$$\eta_{e,KPETE} = \frac{E_g}{DTM_m} \quad (24)$$

P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja, $E_{bp,u}$ [%], izračunava se kao odnos električne energije iskorišćene za pogon mašina na biogas postrojenju (E_{bp}) i generisane električne energije (E_g). Bez obzira na to da li se električna energija za pogon mašina obezbeđuje iz javne električne mreže ili sa biogas postrojenja, uvek se razmatra ukupna količina generisane električne energije.

$$E_{bp,u} = \frac{E_{bp}}{E_g} \quad (25)$$

P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije, $T_{e,u}$ [%], izračunava se kao odnos efikasno iskorišćene, osim za grejanje fermentora (T_e) i ukupne količine generisane toplotne energije (T_g). Toplotna energija je efikasno iskorišćena kada se zamenjuje druga vrsta energenta na samoj farmi, najčešće fosilno gorivo, ili kada se uz novčanu nadoknadu plasira drugom korisniku u okolini. Ukupna količina generisane toplotne energije podrazumeva toplotnu energiju sadržanu u rashladnoj tečnosti kućišta motora i ulja, kao i toplotnu energiju sadržanu u produktima sagorevanja.

$$T_{e,u} = \frac{T_e}{T_g} \quad (26)$$

P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja, $T_{bp,u}$ [%], izračunava se kao odnos toplotne energije za pogon postrojenja, pretežno za grejanje sadržaja fermentora (T_{bp}) i ukupne količine generisane toplotne energije (T_g). Ukupna količina generisane toplotne energije podrazumeva toplotnu energiju sadržanu u rashladnoj tečnosti kućišta motora i ulja, kao i toplotnu energiju sadržanu u produktima sagorevanja.

$$T_{bp,u} = \frac{T_{bp}}{T_g} \quad (27)$$

P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja, O_{KPETE} [%], izračunava se kao odnos generisane električne energije (E_g) i proizvoda instalisane nazivne snage kogenerativnog postrojenja (S_{KPETE}) i pogonskih sati kogenerativnog postrojenja u toku razmatranog perioda (h_p). Ovaj parametar sličnog je značenja kao K3. Razlika je u tome što se ovim parametrom razmatra efikasnost iskorišćenja nazivne instalisane električne snage samo u toku rada kogenerativnog postrojenja, izuzimajući zastoje zbog održavanja i popravki.

$$O_{KPETE} = \frac{E_g}{S_{KPETE} \cdot h_p} \quad (28)$$

Komentari

Parametri P1-P8 omogućavaju analizu uzroka nedovoljne efikasnosti u odnosu na tehničko stanovište, a time su obuhvaćene oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa (tab. 6). P1 je apsolutna veličina i odnosi se na pogon postrojenja, dok je P2 specifična veličina, koja definiše da li je dimenzionisanje biogas postrojenja odgovarajuće. P3 je pojam koji opisuje stabilnost procesa anaerobne fermentacije, o kojem se donosi zaključak na osnovu podataka laboratorijskih analiza. Preostali parametri P4-P8 su specifični pokazatelji kao i kriterijumi K1-K8. Stanovište zaštite životne sredine i socio-ekonomsko stanovište predstavljaju posebne oblasti, te razmatranje parametara, koji omogućavaju analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti u odnosu na ova stanovišta, izlazi izvan okvira ovog istraživanja.

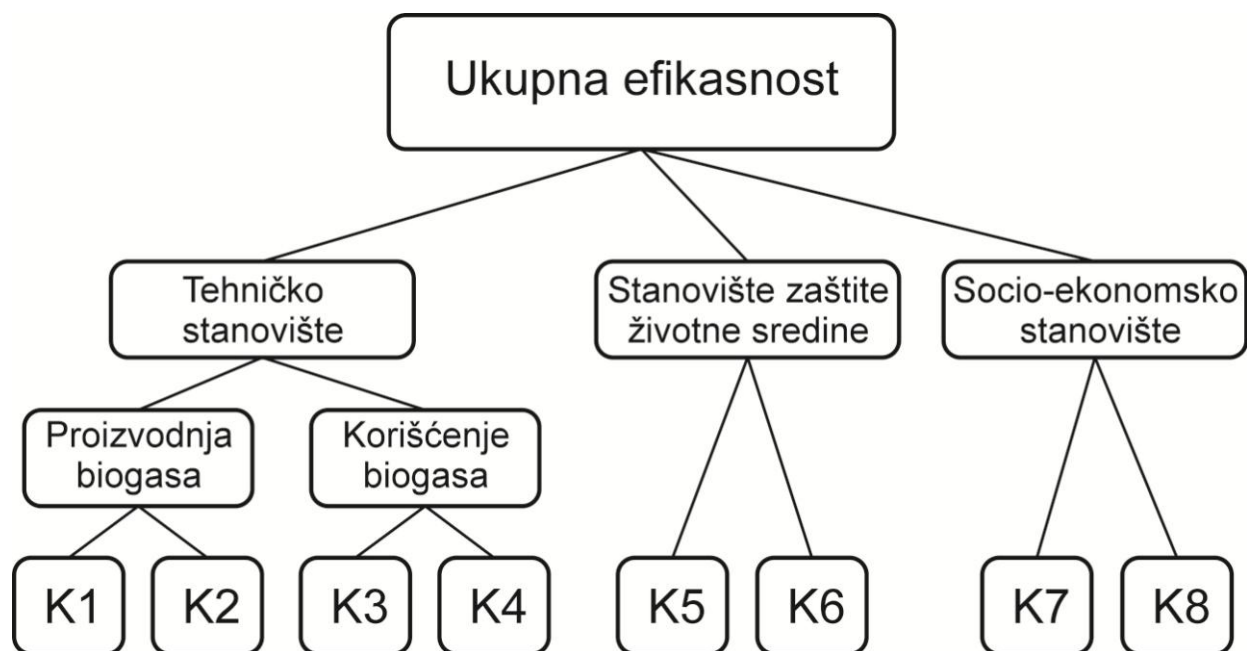
3.2 Razvijene metode

U narednim potpoglavljima opisani su sadržaji razvijenih metoda i način njihovog korišćenja, koje su rezultati ovog istraživanja ostvareni primenom teoretskih osnova iz potpoglavlja 2.2. Prvobitno je razvijena metoda za ocenu efikasnosti 1a, a rezultati ovog dela istraživanja objavljeni su u Đatkov i dr. (2012). Nakon toga, istraživanje je nastavljeno i razvijena je metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2a, kojom se definišu mere za poboljšanje efikasnosti. Utvrđeno je da primenjeni metodski pristup za ocenu kriterijuma i parametara na bazi aritmetičkih proračuna sa fazi brojevima nije odgovarajući da se omogući sprovođenje poboljšanja efikasnosti. To je pokazano i obrazloženo rezultatima testa u potpoglavlju 3.3.3. Istraživanje je nastavljeno, te je za ocenu kriterijuma i parametara primenjen metodski pristup na bazi višesuslovnog približnog rasuđivanja, koje je rezultiralo razvijenom metodom za ocenu efikasnosti 1b. Prilagođeni su i odgovarajući delovi metode za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, te je razvijena metoda 2b. Nadalje u tekstu, u opisu metode 1b naznačene su samo razlike u odnosu na 1a, a isto je sprovedeno i za metodu 2b u odnosu na 2a.

3.2.1 Metoda za ocenu efikasnosti 1a

Definisani postupak ocene efikasnosti

Na sl. 17 šematski je prikazan definisani postupak za ocenu efikasnosti u metodi 1a. Utvrđeno je da je ovaj korak u razvoju metode za ocenu efikasnosti neophodan, jer je postupak ocene pojednostavljen. Pojednostavljenje je ostvareno na taj način što se za ocenu tehničkog stanovišta ne koriste četiri kriterijuma, K1-K4, nego po dva kriterijuma za oblast proizvodnje i po dva za oblast korišćenja biogasa. Dobijeni rezultati ocene efikasnosti korišćeni su za ocenu efikasnosti tehničkog stanovišta. Konačno, kada su ocenjena sva tri stanovišta, dobijeni rezultati korišćeni su za ocenu ukupne efikasnosti.



Sl. 17 Šema postupka ocene efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja

Definisane fazi „težine“ kriterijuma

Na sl. 6 prikazane su vrednosti „težina“ kriterijuma (Đatkov i dr, 2009c), koje su određene primenom AHP metode na osnovu ekspertskog znanja iz oblasti biogas tehnologije. Ove vrednosti, svedene na opseg od 0 do 100, iskorišćene su da se definišu fazi „težine“ kriterijuma, što je prikazano u drugoj koloni u tab. 8. Prvenstveno su normalizovane kada se ocenjuje efikasnost određenog stanovišta, tako da zbir vrednosti dva kriterijuma koja definišu to stanovište iznosi 100 (treća kolona u tab. 8). Za ocenu ukupne efikasnosti, „težina“ za stanovište dobijena je sabiranjem vrednosti „težina“ za kriterijume, koji definišu to stanovište (pretposlednja kolona u tab. 8).

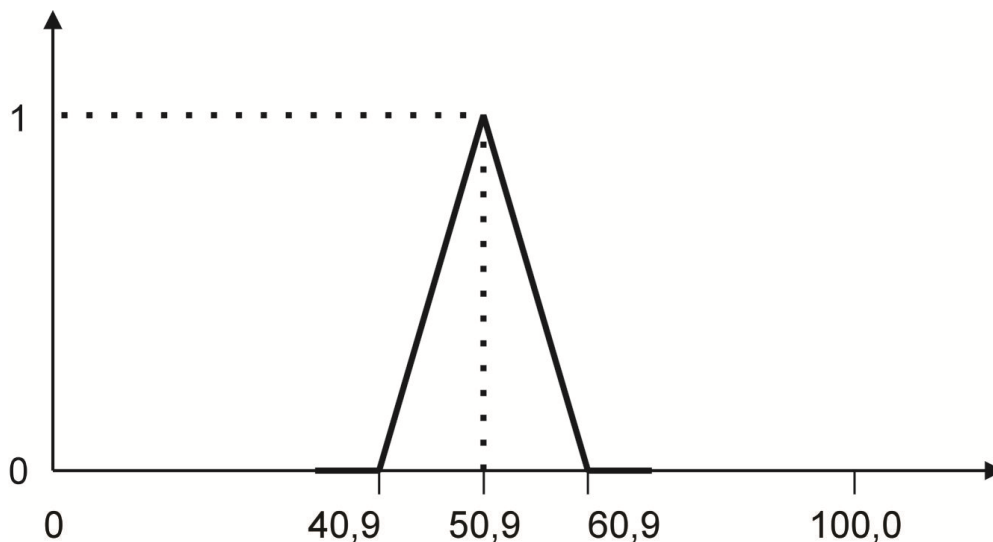
Tab. 8 Definisane fazi „težine” kriterijuma korišćene u oceni efikasnosti metodom 1a

Kriterijum	„Težine”, %	Normalizovane „težine”, %	Fazifikovane „težine” ^a , (a ₁ ;a ₂ ;a ₃)	Stanovište	„Težine”, %	Fazifikovane „težine” ^b , (a ₁ ;a ₂ ;a ₃)
K1	2,8	49,1	(39,1;49,1;59,1)	Proizvodnja biogasa	5,7	(0,7;5,7;10,7)
K2	2,9	50,9	(40,9;50,9;60,9)			
K3	3,2	30,3	(20,3;30,3;40,3)	Korišćenje biogasa	10,4	(5,4;10,4;15,4)
K4	7,2	69,7	(59,7;69,7;79,7)			
K5	10,8	80,2	(70,2;80,2;90,2)	Zaštita životne sredine	13,5	(8,5;13,5;18,5)
K6	2,7	19,8	(18,8;19,8;20,8)			
K7	58,8	83,5	(73,5;83,5;93,5)	Socio-ekonomsko	70,4	(65,4;70,4;75,4)
K8	11,6	16,5	(15,5;16,5;17,5)			

^a Fazi „težine” kriterijuma korišćene u oceni efikasnosti rada biogas postrojenja u odnosu na određeno stanovište;

^b Fazi „težine” kriterijuma korišćene u oceni ukupne efikasnosti rada biogas postrojenja.

Fazi „težine” kriterijuma predstavljaju važnost kriterijuma u oceni efikasnosti metodom 1a, koja je fazi višekriterijumska metoda. Definisane su postupkom fazifikacije vrednosti prikazanih u trećoj i preposlednjoj koloni u tab. 8, koje su iskorišćene kao fazi parametar a₂. Fazi parametri a₁ i a₃ definisani su korišćenjem fazi odstojanja 10, kada se ocenjuje efikasnost stanovišta, i odstojanja 5 kada se ocenjuje ukupna efikasnost. Na taj način dobijeni su fazi brojevi trougaonog oblika. Primer definisane fazi „težine” za K2, koji se koristi za ocenu efikasnosti oblasti proizvodnje biogasa, prikazan je na sl. 18. Fazi „težine” za K1-K8 predstavljene su fazi brojevima, te se na taj način definiše približna vrednost težina predstavljenih u trećoj i preposlednjoj koloni u tab. 8. To je u skladu sa mogućnošću eksperata da mogu jedino približno da odrede važnost kriterijuma u oceni.



Sl. 18 Primer fazi „težine” za kriterijum K2

Definisane fazi vrednosti kriterijuma

Za definisanje fazi vrednosti kriterijuma korišćeni su podaci prikazani u Prilogu I. U metodi 1a, ove vrednosti su prvenstveno skalirane u opsegu od 0 do 100. Vrednost 0 je dodeljena najnižoj vrednosti kriterijuma, a 100 najvišoj. Skalirana vrednost kriterijuma je definisana kao sredina intervala $[b_2, b_3]$, a vrednost ukupne greške za taj kriterijum određuje vrednosti b_2 i b_3 (sl. 11). Vrednosti parametara b_1 i b_4 određene su odstojanjima 2, u intervalu 0 do 100. Time maksimalni stepen pripadnosti definisanog fazi broja obuhvata ceo opseg vrednosti u vidu ukupne greške iz tab. 5, te se neodređenost u vrednostima kriterijuma uzima u obzir prilikom ocene efikasnosti.

Definisane fazi klase efikasnosti

U toku istraživanja je utvrđeno da rezultat ocene efikasnosti treba da sadrži i kvalitativnu komponentu, da bi korisnik metode stekao uvid u to da li postoji potreba da se efikasnost poboljša. Fazi klase efikasnosti definisane su tako da se omogući interpretacija dobijenih ocena efikasnosti za osam izabranih kriterijuma, za oblast proizvodnje i korišćenja biogasa, za tri stanovišta, kao i za interpretaciju dobijenih ocena za ukupnu efikasnost (videti sl. 17). Efikasnost koja se ocenjuje je lingvistička varijabla sa četiri kvalitativna stanja, definisana na intervalu 0 do 100, a njihov prikaz dat je u prvoj tabeli u Prilogu IV. U tab. 9 prikazana su četiri kvalitativna stanja i dodeljeno značenje. Na primer, ako se kao rezultat dobije NEPRIHVATLJIVO, za korisnika metode to znači da je efikasnost veoma loša i da je potrebno da se hitno sprovede njeno poboljšanje. Dakle, kvalitativna ocena efikasnosti, tj. dobijeno kvalitativno stanje, ukazuje na potrebu da se efikasnost poboljša. Definisanje potrebnih mera za poboljšanje ostvareno je analizom mogućnosti poboljšanja efikasnosti, što je objašnjeno u potpoglavlju 3.2.3 i 3.2.4.

Tab. 9 Kvalitativna stanja za definisane klase efikasnosti i njihovo značenje

Kvalitativno stanje	Značenje
ODLIČNO	Ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti
DOBRO	Poboljšanje efikasnosti je moguće, ali nije neophodno
PRIHVATLJIVO	Poboljšanje efikasnosti je neophodno
NEPRIHVATLJIVO	Poboljšanje efikasnosti je hitno potrebno

Definisani aritmetički proračuni sa fazi brojevima za ocenu efikasnosti

U metodi 1a, dobijanje rezultata ocene efikasnosti ostvareno je primenom pristupa koji se zasniva na aritmetičkim proračunima sa fazi brojevima. Prvi korak u definisanju postupka ocene bio je da se za ocenu kriterijuma primeni proračun Euklidijanskog rastojanja između fazi vrednosti kriterijuma i svake od četiri fazi klase efikasnosti iz tab. 9.

Sledeći korak u oceni efikasnosti bio je da se, pridržavajući se postupka prikazanog na sl. 17 i koristeći fazi vrednosti kriterijuma, sprovede ocena efikasnosti za oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa. Fazi vrednosti kriterijuma i odgovarajuće normalizovane fazi težine kriterijuma (tab. 8, druga kolona), kombinovane su u metodi FMA. Dobijeni rezultujući fazi broj predstavlja ocenu efikasnosti. Kvalitativna ocena efikasnosti postignuta je, takođe, proračunom Euklidijanskog rastojanja i dodeljivanjem odgovarajućeg lingvističkog izraza, kao na sl. 13. Kvantitativna ocena efikasnosti postignuta je postupkom defazifikacije, primenom metode centroida. Ocena efikasnosti tehničkog aspekta sprovedena je korišćenjem defazifikovanih vrednosti rezultujućih fazi brojeva za oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa, za koje su konstruisani fazi brojevi primenom vrednosti 5 za fazi parametre b_2 i b_3 , i 7 za b_1 i b_4 . Opisani pristup se ponavlja za ocenu efikasnosti stanovišta zaštite životne sredine i socio-ekonomskog stanovišta, kao i prilikom ocene ukupne efikasnosti.

3.2.2 Metoda za ocenu efikasnosti 1b

Definisani postupak ocene efikasnosti

U metodi 1b definisan je isti postupak ocene efikasnosti koji je prikazan i na sl. 17. To podrazumeva da je primenjen isti redosled ocene i kombinacija razmatranih kriterijuma i stanovišta, u cilju dobijanja ocene ukupne efikasnosti. Međutim, za ocenu efikasnosti je umesto primene aritmetičkih proračuna sa fazi brojevima primenjeno višeuslovno približno rasuđivanje.

Definisane fazi vrednosti kriterijuma

Za definisane fazi vrednosti kriterijuma u metodi 1b, takođe su korišćeni podaci iz Priloga I. Nije bilo potrebno da se vrednosti kriterijuma skaliraju, jer su definisane jedinstvene fazi klase efikasnosti za svaki kriterijum K1-K8, da se izračuna Euklidijansko rastojanje. Za dalji postupak definisanja fazi vrednosti kriterijuma, primenjen je isti pristup, kao u metodi 1a.

Definisane fazi klase efikasnosti

Za primenu metode 1b bilo je potrebno da se definišu dve vrste fazi klase efikasnosti. Prva se koristi za kvalitativnu ocenu oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa, za sva tri stanovišta i ukupnu efikasnost. Za kvalitativnu ocenu kriterijuma K1-K8, koriste se fazi klase efikasnosti prikazane tabelarno u Prilogu IV, posebno definisane za svaki kriterijum. Prvenstveno su definisani opsezi vrednosti, koji određuju kvalitativna stanja, a zatim i opseg, koji predstavlja prelaznu oblast između dva kvalitativna stanja. Nakon toga, definisane su fazi klase efikasnosti u vidu trapezoidnih fazi brojeva. Zatim, prikazan je postupak definisanja fazi klase efikasnosti za K3, a slično je sprovedeno i za druge kriterijume.

Definisana AKO-ONDA pravila

AKO-ONDA pravila definisana su da se u metodi 1b omogući postupak ocene zasnovan na principu donošenja zaključaka, primenom višeuslovnog približnog rasuđivanja. Obe oblasti i tri stanovišta na sl. 17, definisani su sa po dva kriterijuma, koji predstavljaju lingvističke varijable sa četiri kvalitativna stanja. Time je za ocenu oblasti i stanovišta definisano 80, a za ocenu ukupne efikasnosti 64 AKO-ONDA pravila. Prema tome, za metodu 1b je ukupno definisano 144 AKO-ONDA pravila, koja su prikazana u Prilogu V. Na primer, ako se za K1 i K2 razmotre kvalitativne ocene – DOBRO i PRIHVATLJIVO (pravilo 7 u prvoj tabeli, Prilog V), definisano je da se oblast proizvodnje ocenjuje sa DOBRO. Iako nije ostvarena dovoljno visoka vrednost za produktivnost metana, definisano je da poboljšanje efikasnosti ove oblasti nije neophodno, jer se postiže visoka vrednost za prinos biogasa (videti tab. 9). Prema istom principu definisana su i ostala pravila.

Definisano višeuslovno približno rasuđivanje

Prvi korak je, kao i u metodi 1a, bio da se proračuna Euklidijansko rastojanje i dobije kvalitativna ocena kriterijuma. Ocena efikasnosti za oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa sprovodi se korišćenjem fazi vrednosti kriterijuma, te se primenom AKO-ONDA pravila i metode interpolacije donose zaključci. Važniji delovi ovog metodskog pristupa u vidu programskog koda prikazani su u Prilogu VI. Nadalje je postupak ocene stanovišta i ukupne efikasnosti sproveden na isti način kao u metodi 1a, a jedina razlika je u tome što

je primenjen drugi metodski pristup. Umesto aritmetičkih proračuna sa fazi brojevima primenjeno je višeuslovno približno rasuđivanje.

3.2.3 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2a

Definisani postupak za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti

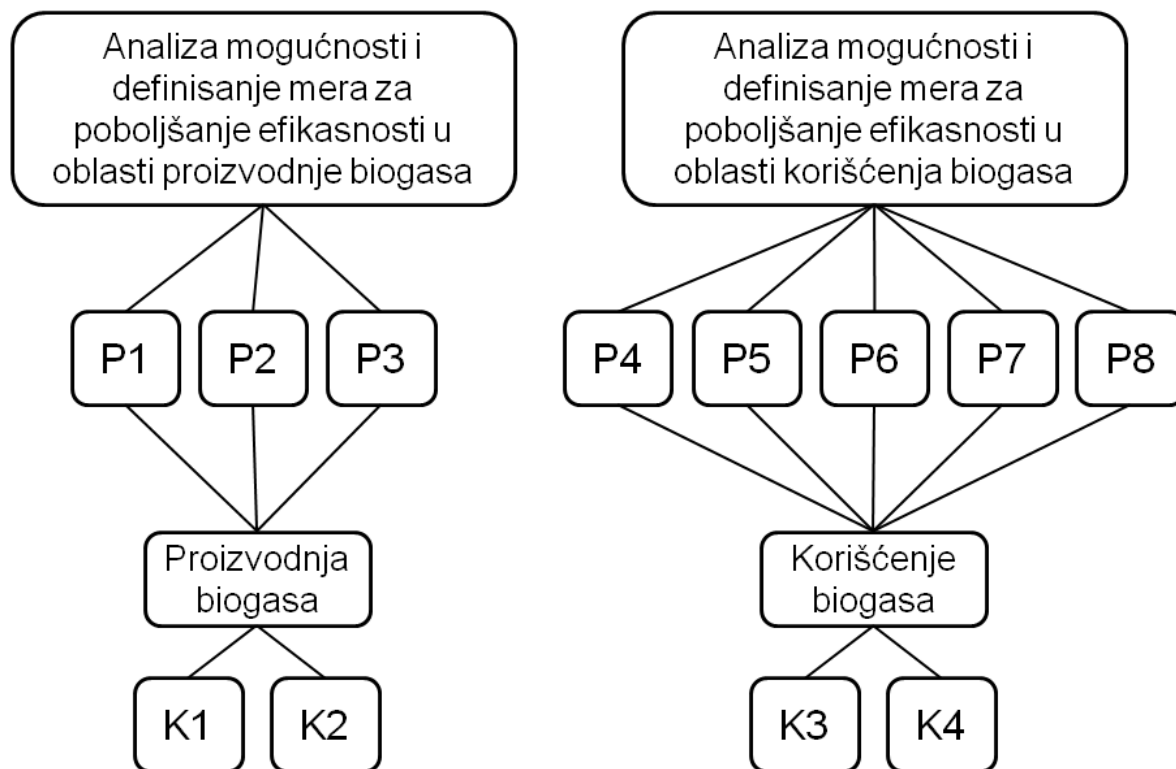
Na sl. 19 šematski je prikazan definisani postupak za dobijanje rezultata u vidu predloženih mera za poboljšanje efikasnosti za tehničko stanovište. Rezultati dobijeni metodom 1a, u vidu kvalitativne ocene kriterijuma i oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa, korišćeni su da se utvrdi potreba za poboljšanjem efikasnosti (potpoglavlje 3.2.1). Oni su, zatim, u metodi 2a kombinovani sa rezultatima kvalitativne ocene parametara P1-P8, te su utvrđene mogućnosti i predložene mere za poboljšanje efikasnosti.

Definisane fazi vrednosti parametara

Za definisane fazi vrednosti parametara korišćeni su podaci iz Priloga II, koje su fazifikovane koristeći vrednosti za neodređenosti u parametrima za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti iz tab. 7. Ovde, takođe, nije bilo potrebno da se vrednosti kriterijuma skaliraju, jer su definisane jedinstvene fazi klase efikasnosti za svaki parametar P1-P8.

Definisane fazi klase efikasnosti

Fazi klase efikasnosti u metodi 2a definisane su tako da se omogući interpretacija dobijenih ocena efikasnosti za parametre, tj. da se dobije kvalitativna ocena parametara P1-P8. Svaki parametar, koji se ocenjuje, lingvistička je varijabla sa tri kvalitativna stanja, čiji je prikaz dat u Prilogu IV. Jedino su za ocenu P1, hidrauličko retenciono vreme, tri kvalitativna stanja definisana lingvističkim izrazima – KRATKO, SREDNJE i DUGAČKO, a za P3, stabilnosti procesa anaerobne fermentacije to su – STABILNA, INDIFERENTNA i KRITIČNA. Za sve ostale parametre su tri kvalitativna stanja definisana sa – NIZAK, SREDNJI i VISOK. Kao i u metodi 1b, definisani su opsezi vrednosti za kvalitativna stanja i opsezi za prelazne oblasti između njih, a na osnovu toga fazi klase efikasnosti u vidu trapezoidnih fazi brojeva.



Sl. 19 Definisani postupak za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja

Definisane kvalitativne ocene parametara

U metodi 2a, za kvalitativnu ocenu parametara jedino je primenjen proračun Euklidijanskog rastojanja između fazi vrednosti parametara i svake od tri fazi klase efikasnosti, odgovarajuće za taj parametar. Kao i ranije, najmanjim rastojanjem dokazana je najveća sličnost dva fazi broja, te je lingvistički izraz fazi klase efikasnosti sa najmanjim rastojanjem od fazi vrednosti kriterijuma dodeljen kao kvalitativno stanje. Izuzetak je P3, jer je bilo neophodno da se kvalitativna ocena dobije izvođenjem zaključaka na osnovu podataka o koncentracijama organskih kiselina. Zbog toga je primenjeno višeuslovno približno rasuđivanje. Isto važi i za P7, ukoliko nisu na raspolaganju podaci iz kojih se ovaj parametar izračunava. U tom slučaju je dobijanje kvalitativnih ocena – NIZAK, SREDNJI ili VISOK, ostvareno „procenom” udela toplotne energije za pogon postrojenja na osnovu podataka o udelu stajnjaka u korišćenim supstratima, temperaturnom režimu i vrsti fermentora.

Definisane mere za poboljšanje efikasnosti

Mere za poboljšanje efikasnosti definisane su za sve moguće kombinacije kvalitativnih ocena kriterijuma i parametara. Za oblast proizvodnje biogasa definisano je 888, a za oblast korišćenja biogasa 3.162 mera za poboljšanje efikasnosti, ukupno 4.050. Za korisnika metode, dobijeni odgovor sastoji se iz dve celine, dijagnoze i predložene mere.

Dijagnozom je korisniku rezultata ukazano na razloge za nedovoljnu efikasnost, a predloženom merom na potrebne aktivnosti da se omogući poboljšanje efikasnosti. Zbog lakšeg snalaženja, naveden je i broj odgovora, na primer, P16_O140_V2. P16 označava pravilo koje odgovara kombinaciji za kvalitativnu ocenu K1 i K2 – NEPRIHVATLJIVO, O140 redni broj odgovora na osnovu kombinacije kvalitativnih ocena za parametre P1 i P2, a V2 njegovu verziju na osnovu kvalitativne ocene za P3, kada je neophodno da se za definisanje mere za poboljšanje efikasnosti proveriti i da li postoji poremećaj u stabilnosti procesa. Verzija u pojedinim slučajevima ima podverziju odgovora, kada je za definisanje mera za poboljšanje efikasnosti potrebno da se provere i dodatni parametri, na primer, u vidu temperaturnog režima rada fermentora.

Kao primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti proizvodnje biogasa prikazanog u tab. 10, razmotrena je kombinacija kvalitativne ocene kriterijuma u oblasti proizvodnje biogasa K1 – NEPRIHVATLJIVO i K2 – NEPRIHVATLJIVO, i kvalitativne ocene parametara P1 – SREDNJE, P2 – SREDNJA i P3 – NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA. Dobijena dijagnoza je da su priloženi podaci za ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti netačni (tab. 10), a kao predložena mera da se podaci provere i ocena ponovo sprovede. Kvalitativna ocena za K1 i K2 ukazuje na problem u vezi sa stabilnošću procesa u fermentoru i na to da ne postoji produkcija biogasa, iako to u potpunosti ne može da se utvrdi, jer ne postoji dovoljan broj podataka o laboratorijskim analizama za ocenu P3. Tvrdnja da su podaci netačni definisana je nakon razmatranja i K3 – PRIHVATLJIVO, jer nije moguće da se ostvari ova vrednost stepena iskorišćenja kogenerativnog postrojenja kada produkcija biogasa ne postoji.

Tab. 10 Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti proizvodnje biogasa za metodu 2a

<u>Oblast proizvodnje biogasa</u>
Odgovor_P16_O140_V2
Dijagnoza
Priloženi podaci su netačni.
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti
Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.

Za primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti korišćenja biogasa prikazanog u tab. 11, razmotrena je kombinacija kvalitativne ocene kriterijuma u oblasti proizvodnje biogasa K3 – PRIHVATLJIVO i K4 – PRIHVATLJIVO, te kvalitativne ocene parametara P4 – SREDNJA, P5 – NIZAK, P6 – NIZAK, P7 – SREDNJI i P8 – NIZAK. Za razliku od oblasti proizvodnje biogasa, gde je za definisanu dijagnozu izveden zaključak na

osnovu kombinacije kvalitativnih ocena kriterijuma i parametara, u oblasti korišćenja biogasa u definisanoj dijagnozi jedino je opisno prikazana kvalitativna ocena za kriterijume. Za navedenu kombinaciju parametara jedino je bilo moguće da se, kao mera za poboljšanje efikasnosti, predloži povećanje iskorišćenja toplotne energije, jer je trenutno nisko. Za generisanje i korišćenje električne energije nije predložena ni jedna mera za poboljšanje efikasnosti, jer su rezultati ocene za P4 i P5 zadovoljavajući. Kvalitativna ocena za P8, kojom se proverava da li je razlog za nisku električnu efikasnost nisko opterećenje kogenerativnog postrojenja, u ovom slučaju nije razmotrena prilikom definisanja mere za poboljšanje efikasnosti, jer je ocena za P4 zadovoljavajuća.

Tab. 11 Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti korišćenja biogasa za metodu 2a

<u>Oblast korišćenja biogasa</u>	
Parametar	Ocena
Odgovor_P11_O18_V7	
Dijagnoza	
Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije.	

3.2.4 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2b

Definisani postupak za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti

Postupak za dobijanje rezultata u vidu predloženih mera za poboljšanje efikasnosti za tehničko stanovište se u metodi 2b ne razlikuje od postupka za metodu 1b, koji je prikazan na sl. 19.

Definisane fazi vrednosti parametara

Za definisanje fazi vrednosti parametara u metodi 2b korišćeni su isti podaci i primenjen je isti postupak defazifikacije, kao i u metodi 2a. Takođe, nije bilo potrebno da se vrednosti kriterijuma pre definisanja fazi vrednosti kriterijuma skaliraju, jer su definisane jedinstvene fazi klase efikasnosti za parametre P1-P8 za izračunavanje Euklidijanskog rastojanja.

Definisane fazi klase efikasnosti

Za metodu 2b definisane su, za dobijanje kvalitativne ocene parametara P1-P8, iste fazi klase efikasnosti kao i u metodi 2a.

Definisane kvalitativne ocene parametara

U metodi 2b, za kvalitativnu ocenu parametara P1, P2 i P3, primenjeno je višeuslovno približno rasuđivanje. Za ostale parametre, P4-P8, primenjeno je izračunavanje Euklidijanskog rastojanja. Izuzetak je P7, kod kojeg nije bilo moguće da se definiše fazi vrednost parametra zbog nedostatka potrebnih podataka, a kvalitativna ocena je procenjena na osnovu drugih dostupnih podataka. Višeuslovno približno rasuđivanje primenjeno je za P1-P3, jer na kvalitativnu ocenu, osim vrednosti parametra, utiču i drugi dodatni parametri. Za sistem višeuslovnog približnog rasuđivanja definisana su AKO-ONDA pravila, za moguće kombinacije kvalitativnih stanja parametra koji se ocenjuje i kvalitativnih stanja za dodatne parametre. Na primeru za P1, razmotreno je četiri ili pet opsega za hidrauličko retenciono vreme (videti Prilog IV), u zavisnosti da li je biogas postrojenje jednostepeno ili višestepeno. Razmotren je i dodatni parametar – udeo stajnjaka u korišćenim supstratima. Stajnjak karakteriše znatno kraće hidrauličko retenciono vreme potrebno da se organska masa razgradi i ostvari proizvodnja biogasa. On se razmatra jer je za istu vrednost hidrauličkog retencionog vremena, a različite udele stajnjaka u korišćenim supstratima, potrebno da se dobiju različite kvalitativne ocene za P1. Zbog toga su definisana AKO-ONDA pravila, da se sprovede kvalitativna ocena parametra P1 i dobije rezultat – KRATKO, SREDNJE ili DUGAČKO. Za kvalitativnu ocenu P2 je, u sistem višeuslovnog približnog rasuđivanja, uvršćen i podatak o udelu stajnjaka. Za P3, dodatni parametar je informacija o tipu fermentora – horizontalan ili vertikaln, što utiče na pogonske uslove, a time i na dozvoljene koncentracije organskih kiselina koje remete stabilnost procesa. Za kvalitativnu ocenu parametara P1-P3 i P7 definisano je ukupno 88 AKO-ONDA pravila.

Definisane mere za poboljšanje efikasnosti

Za metodu 2b definisane su istovetne mere za poboljšanje efikasnosti, kao i u metodi 2a. Nadalje će za oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa biti prikazano definisanje mera za poboljšanje efikasnosti, na drugom primeru. Za oblast proizvodnje biogasa, razmotrena je kombinacija kvalitativne ocene kriterijuma u oblasti proizvodnje biogasa K1 – PRIHVATLJIVO i K2 – DOBRO, i kvalitativna ocena parametara P1 – KRATKO, P2 – NISKA i P3 – NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA. Na osnovu toga definisana je mera za poboljšanje efikasnosti, koja je prikazana u tab. 12. Sastavni deo odgovora je i opis kvalitativne ocene parametara, na osnovu kojeg se uspostavlja dijagnoza koja ukazuje na uzroke za nedovoljnu efikasnost. Razmatranjem kvalitativnih ocena za K1 i K2, uviđa se da je prinos biogasa nizak, a da je produktivnost metana visoka. Pošto je vreme zadržavanja supstrata u fermentoru kratko, u dijagnozi je definisano da su korišćeni supstrati nedovoljno razgrađeni, zbog visokog opterećenja zapremine fermentora organskom materijom. Iz istog razloga postoji i opasnost da se stabilnost procesa u

fermentoru poremeti. Definisano je i da je zapremina fermentora nedovoljna, jer je vreme zadržavanja supstrata u fermentoru kratko, a vrednost specifične zapremine fermentora niska. Pošto je zapremina fermentora nedovoljna, kao mera za poboljšanje efikasnosti definisano je da se smanji opterećenje zapremine fermentora organskom materijom, tj. količina supstrata koja se u njega unosi. Time bi se vreme zadržavanja supstrata u fermentoru produžilo, osigurala stabilnost procesa, te omogućilo poboljšanje prinosa biogasa i produktivnosti metana. Predloženo je i da se redovno sprovode laboratorijske analize, u cilju praćenja stabilnosti procesa, te da se ocena efikasnosti sprovede ponovo. Smanjeni unos supstrata uzrokovao bi i smanjenje produktivnosti biogasa, te bi postrojenje radilo manjim opterećenjem od planiranog. Zbog toga je definisana i alternativna mera, da se i dalje omogući unos planirane količine supstrata, nakon povećanja zapremine fermentora. Time bi se postigli isti efekti kao i smanjenjem opterećenja zapremine fermentora organskom materijom, ali uz povećanje stepena iskorišćenja kogenerativnog postrojenja. U odnosu na prvu definisanu meru, koja podrazumeva izmenu pogonskih uslova, ova je definisana kao alternativna, jer zahteva izmenu tehničko-tehnološkog koncepta rada postrojenja i investiranje za građevinske radove i opremu. Zbog toga je definisano i da je pre donošenja odluke o tome potrebno da se posavetuje sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije.

Tab. 12 Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti proizvodnje biogasa za metodu 2b

<u>Oblast proizvodnje biogasa</u>
Odgovor_P10_O90_V1.5
Opis Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je kratko. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je loše iskorišćena.
Dijagnoza Prinos biogasa je prihvatljiv. Produktivnost metana je dobra. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je vrlo visoko i korišćeni supstrati su nedovoljno razgrađeni. Postoji opasnost da se stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremeti. Zapremina fermentora je poddimenzionisana u odnosu na snagu instalisanog kogenerativnog postrojenja.
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti Redukovati opterećenje zapremine fermentora organskom materijom za jednu trećinu, u cilju smanjenja nestabilnosti procesa anaerobne fermentacije i povećanja razgradnje korišćenih supstrata. Sprovesti jednom nedeljno laboratorijske analize sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti u naredne dve do četiri sedmice s aktuelnim podacima. Alternativna mera za poboljšanje efikasnosti: Povećati zapreminu fermentora, u cilju većeg iskorišćenja snage instalisanog kogenerativnog postrojenja i veće razgradnje korišćenih supstrata (povećanjem prinosa biogasa). Ako se sprovodi povećanje zapremine fermentora, posavetovati se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije.

U oblasti korišćenja biogasa, prikazan je primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u tab. 13. Razmotrena je kombinacija kvalitativne ocene kriterijuma u oblasti proizvodnje biogasa K3 – NEPRIHVATLJIVO i K4 – NEPRIHVATLJIVO, i kvalitativne ocene parametara P4 – SREDNJA, P5 – NIZAK, P6 – NIZAK, P7 – SREDNJI i P8 – VISOK. Kao i u primeru za metodu 2a, jedino kvalitativna ocena za P6 nije zadovoljavajuća. Zato je jedina predložena mera za poboljšanje efikasnosti da se poveća iskorišćenje toplotne energije.

Tab. 13 Primer definisane mere za poboljšanje efikasnosti u oblasti korišćenja biogasa za metodu 2b

<u>Oblast korišćenja biogasa</u>
Odgovor_P16_O18_V7
Dijagnoza
Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti
Razmotriti mogućnosti za značajno veće iskorišćenje toplotne energije.

3.3 Rezultati testiranja razvijenih metoda

U potpoglavljima 3.3.1-3.3.4 prikazani su rezultati dobijeni testiranjem razvijenih metoda, koristeći podatke o radu petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja. Prikazani su rezultati za dve verzije metode za ocenu efikasnosti, 1a i 1b, i za dve verzije metode za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, 2a i 2b. Rezultati dobijeni primenom dve verzije razvijenih metoda su upoređeni, a zatim je i obrazloženo kako su eksperti potvrdili ili opovrgnuli dobijene rezultate, tj. da li je validacija ostvarena. Ocena primenljivosti razvijenih metoda prikazana je u potpoglavljju 3.4.

3.3.1 Metoda za ocenu efikasnosti 1a

U tab. 14 prikazani su rezultati ocene efikasnosti deset poljoprivrednih biogas postrojenja A-J, dobijeni metodom za ocenu efikasnosti koja se zasniva na primeni aritmetičkih proračuna sa fazi brojevima, metoda 1a. Prikazani su rezultati u vidu kvalitativne ocene kriterijuma K1-K8, kao i kvalitativne ocene tri stanovišta S1-S3. U narednoj, tab. 15, takođe su prikazani rezultati ocene efikasnosti deset postrojenja A-J dobijeni metodom 1a, ali u vidu kvalitativne i kvantitativne ocene tri stanovišta S1-S3 i ukupne efikasnosti. Na osnovu toga, definisan je poredak ocenjenih biogas postrojenja na osnovu postignutih efikasnosti. Vrednosti kriterijuma K1-K8, koji su korišćeni za ocenu efikasnosti, prikazani su u Prilogu I, a primenjene težine za kriterijume iz tab. 8.

Tab. 14 Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1a (biogas postrojenja A-J), kvalitativna ocena kriterijuma K1-K8

BGP	K1	K2	PB	K3	K4	KB	K5	K6	S2	K7	K8	S3
A	P	P	P	O	N	P	N	N	N	D	D	D
B	P	N	P	D	N	N	N	N	N	N	N	N
C	O	N	D	O	O	O	O	O	O	O	N	O
D	O	D	D	D	D	D	P	D	D	O	N	O
E	O	D	O	O	D	D	O	O	O	O	O	O
F	N	N	N	O	O	O	P	O	D	O	P	D
G	D	D	D	O	P	D	N	N	N	O	D	O
H	D	N	P	O	D	D	N	P	N	D	P	D
I	O	O	O	N	P	P	N	P	N	P	N	P
J	D	N	P	O	P	D	P	P	P	O	N	O

BGP: biogas postrojenje; K1-K8: kriterijumi za ocenu efikasnosti; PB: oblast proizvodnje biogasa; KB: oblast korišćenja biogasa; S2: stanovište zaštite životne sredine; S3: socio-ekonomsko stanovište; O: odlično; D: dobro; P: prihvatljivo; N: neprihvatljivo.

U odnosu na tehničko stanovište, tri biogas postrojenja izdvojila su se na osnovu postignute efikasnosti – C, E i D. Biogas postrojenje C postiže među najvišim vrednostima za K1, K3 i K4, koji su ocenjeni sa ODLIČNO. Vrednost za K2 ocenjena je sa NEPRIHVATLJIVO. Uprkos tome, tehničko stanovište postrojenja C ocenjeno je kao najefikasnije među postrojenjima (A-J). Postrojenja E i D postižu najviše vrednosti za kriterijume u oblasti proizvodnje, ali ne i za oblast korišćenja biogasa. Dobijene rezultate i ostvareni poredak eksperti su obrazložili korišćenim metodskim pristupom za ocenu efikasnosti, u vidu aritmetičkog proračuna sa fazi brojevima. Do izražaja je došla kompenzacija među kriterijumima, što je očigledno u slučaju postrojenja C. Među ocenjenim postrojenjima ono ima najveću vrednost za K4, a upravo za ovaj kriterijum, u odnosu na tehničko stanovište, najviša je vrednost težine. Takođe je prikazano obrazloženje za tehničko, a slično važi i za preostala dva stanovišta i ukupnu efikasnost.

Tab. 15 Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1a (biogas postrojenja A-J), kvalitativna i kvantitativna ocena, poredak za stanovišta S1-S3 i ukupnu efikasnost

BGP	S1			S2			S3			UE		
	KLO	KNO	PO	KLO	KNO	PO	KLO	KNO	PO	KLO	KNO	PO
A	P	35,1	9	N	18,6	6	D	63,8	7	D	57,4	7
B	P	24,7	10	N	16,2	9	N	3,0	10	N	9,7	10
C	O	86,7	1	O	97,9	2	O	77,9	4	O	84,7	2
D	D	65,6	3	D	55,1	4	O	83,4	3	D	81,4	3
E	O	77,0	2	O	98,2	1	O	101,5	1	O	92,0	1
F	D	60,5	5	D	60,7	3	D	76,4	6	D	77,2	5
G	D	62,7	4	N	17,6	7	O	85,7	2	D	77,9	4
H	D	60,1	6	N	17,6	8	D	57,9	8	D	57,2	8
I	D	51,6	7	N	10,5	10	P	43,9	9	P	44,0	9
J	P	44,9	8	P	46,0	5	O	77,5	5	D	73,3	6

BGP: biogas postrojenje; S1: tehničko stanovište; S2: stanovište zaštite životne sredine; S3: socio-ekonomsko stanovište; UE: ukupna efikasnost; KLO: kvalitativna ocena stanovišta; KNO: kvantitativna ocena stanovišta; PO: poredak biogas postrojenja u odnosu na kvantitativnu ocenu; O: odlično; D: dobro; P: prihvatljivo; N: neprihvatljivo.

U tab. 16, kao i u prethodne dve, prikazani su rezultati ocene efikasnosti dobijeni metodom 1a u vidu kvalitativne i kvantitativne ocene i dobijenog poretka, ali za pet poljoprivrednih biogas postrojenja. Sprovedena je ocena efikasnosti za tehničko stanovište, za oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa. Ocenjeno je jedino tehničko stanovište, jer su za pet biogas postrojenja na raspolaganju jedino podaci za K1-K4. Postrojenja C2_I i C2_II ocenjena su kao najefikasnija u odnosu na tehničko stanovište. Ova postrojenja odlikuju najviše vrednosti za K1, K3 i K4 i ocenjena su s ODLIČNO. Kao i za postrojenje C, vrednosti za K2 ocenjena su sa NEPRIHVATLJIVO. Prema postignutoj efikasnosti, još se izdvajaju i postrojenja G2_II i A2_I. Iako je efikasnost za G2_II u oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa ocenjena s ODLIČNO, na osnovu kvantitativne ocene ovo postrojenje zauzelo je drugo mesto među A2_I-I2_II. U oceni je, takođe, do izražaja došla kompenzacija među kriterijumima, kao i prilikom ocene postrojenja A-J. U postupku validacije, eksperti su jedino mogli da potvrde da tri navedena postrojenja imaju najvišu efikasnost u odnosu na tehničko stanovište, ali ne i da je dobijeni poredak među njima odgovarajući.

Tab. 16 Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1a (biogas postrojenja A2_I-I2_II), kvalitativna i kvantitativna ocena, i poredak u odnosu na tehničko stanovište

BGP	K1	K2	PB	K3	K4	KB	KLO	KNO	PO
A2_I	P	P	P	D	D	D	D	64,1	4
A2_II	N	N	N	P	P	P	P	39,1	10
B2_I	N	N	N	O	D	D	P	48,0	6
B2_II	N	N	N	O	P	D	P	43,3	9
C2_I	O	N	D	O	O	O	O	87,8	2
C2_II	O	N	D	O	O	O	O	88,0	1
G2_I	P	D	D	N	O	D	D	58,8	5
G2_II	D	O	O	O	D	O	O	82,1	3
I2_I	P	D	D	P	P	P	P	45,6	7
I2_II	O	O	O	D	N	N	P	44,6	8

BGP: biogas postrojenje; K1-K4: kriterijumi za ocenu efikasnosti tehničkog stanovišta; PB: oblast proizvodnje biogasa; KB: oblast korišćenja biogasa; KLO: kvalitativna ocena tehničkog stanovišta; KNO: kvantitativna ocena tehničkog stanovišta; PO: poredak biogas postrojenja u odnosu na kvantitativnu ocenu tehničkog stanovišta; O: odlično; D: dobro; P: prihvatljivo; N: neprihvatljivo.

3.3.2 Metoda za ocenu efikasnosti 1b

U tab. 17 prikazani su rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b, korišćenjem podataka o radu deset poljoprivrednih biogas postrojenja – A-J. Kvalitativno su ocenjeni kriterijumi K1-K8 i stanovišta S1-S3. U tab. 18, prikazani su rezultati – kvantitativna ocena stanovišta S1-S3 i ukupne efikasnosti, kao i dobijeni poredak.

Tab. 17 Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b (biogas postrojenja A-J), kvalitativna ocena kriterijuma K1-K8

BGP	K1	K2	PB	K3	K4	KB	K5	K6	S2	K7	K8	S3
A	D	P	D	O	N	N	D	P	P	P	N	N
B	D	P	D	P	N	N	D	N	N	N	D	N
C	O	P	D	D	O	D	D	D	D	D	D	P
D	O	D	O	N	P	P	D	D	D	O	O	O
E	O	P	D	O	P	P	D	D	D	O	N	P
F	P	N	N	D	D	D	D	D	D	P	P	P
G	O	P	D	O	N	N	P	P	P	D	N	P
H	O	P	D	D	P	P	P	D	P	N	N	N
I	O	O	O	N	N	N	P	D	P	N	O	N
J	O	P	D	P	N	N	D	P	D	D	D	D

BGP: biogas postrojenje; K1-K8: kriterijumi za ocenu efikasnosti; PB: proizvodnja biogasa; KB: korišćenje biogasa; S2: stanovište zaštite životne sredine; S3: socio-ekonomsko stanovište; O: odlično; D: dobro; P: prihvatljivo; N: neprihvatljivo.

U poređenju sa rezultatima metode 1a, ista tri biogas postrojenja izdvojila su se na osnovu postignute efikasnosti za tehničko stanovište, ali se promenio redosled u poretku D i E. Tokom validacije, eksperti su to obrazložili postignutom ocenom efikasnosti postrojenja D u oblast proizvodnje biogasa – ODLIČNO, a za postrojenje E – PRIHVATLJIVO. Time je potvrđena korektnost dobijenih rezultata, jer nema kompenzacije u oceni kriterijuma. Primećuje se i razlika za kvantitativne ocene efikasnosti, koje su za metodu 1b niže.

Tab. 18 Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b (biogas postrojenja A-J), kvalitativna i kvantitativna ocena, poredak za stanovišta S1-S3 i ukupnu efikasnost

BGP	S1			S2			S3			UE		
	KLO	KNO	PO	KLO	KNO	PO	KLO	KNO	PO	KLO	KNO	PO
A	N	16,8	5	P	37,5	3	N	13,2	8	N	14,3	8
B	N	14,4	6	N	25,0	7	N	13,7	7	N	17,2	7
C	D	62,5	1	D	62,4	2	P	48,6	3	P	49,5	2
D	P	26,5	2	D	62,5	1	O	82,7	1	D	50,0	1
E	P	26,2	3	D	62,5	1	P	37,5	4	P	37,5	4
F	N	16,8	5	D	62,5	1	P	37,5	4	P	37,5	4
G	N	16,8	5	P	36,8	4	P	34,2	5	P	30,2	5
H	P	25,8	4	P	30,4	5	N	21,9	6	P	26,2	6
I	N	12,6	7	P	26,2	6	N	12,6	9	N	13,7	9
J	N	16,8	5	D	62,5	1	D	54,2	2	P	48,4	3

BGP: biogas postrojenje; S1: tehničko stanovište; S2: stanovište zaštite životne sredine; S3: socio-ekonomsko stanovište; UE: ukupna efikasnost; KLO: kvalitativna ocena stanovišta; KNO: kvantitativna ocena stanovišta; PO: poredak biogas postrojenja u odnosu na kvantitativnu ocenu; O: odlično; D: dobro; P: prihvatljivo; N: neprihvatljivo.

U tab. 19 prikazani su rezultati ocene efikasnosti za pet poljoprivrednih biogas postrojenja, dobijeni primenom metode 1b, u vidu kvalitativne i kvantitativne ocene i dobijenog poretka. Poredak ocenjenih biogas postrojenja sličan je rezultatima dobijenim primenom metode 1a, a prema postignutoj efikasnosti takođe su se izdvojila postrojenja C2, G2 i A2. Međutim, primenom metode 1b, sva biogas postrojenja ocenjena su nižim klasama efikasnosti. Eksperti su u postupku validacije obrazložili da na to najviše ima uticaj ocena efikasnosti, koja se sprovodi u odnosu na unapred definisane uslove, u vidu klase efikasnosti za svaki od kriterijuma K1-K8. Nasuprot tome, u metodi 1a klase efikasnosti nisu definisane za kriterijume K1-K8, a najviša vrednost kriterijuma za postrojenja A2_I-I2_II uzeta je kao referenca za maksimalnu efikasnost.

Tab. 19 Rezultati ocene efikasnosti dobijeni primenom metode 1b (biogas postrojenja A2_I-I2_II), kvalitativna i kvantitativna ocena, i poredak u odnosu na tehničko stanovište

BGP	K1	K2	PB	K3	K4	KB	KLO	KNO	PO
A2_I	O	O	O	P	D	P	P	50,0	3
A2_II	P	D	P	N	N	P	N	25,6	4
B2_I	P	N	N	E	P	P	N	24,5	6
B2_II	P	P	N	D	N	P	N	25,1	5
C2_I	O	D	O	O	O	D	D	74,1	1
C2_II	O	D	O	O	O	D	D	73,7	2
G2_I	O	O	O	N	D	D	P	50,0	3
G2_II	O	O	O	D	D	P	P	50,0	3
I2_I	D	O	D	N	N	N	N	23,9	7
I2_II	O	O	O	P	N	N	N	12,6	8

BGP: biogas postrojenje; K1-K4: kriterijumi za ocenu efikasnosti tehničkog stanovišta; PB: proizvodnja biogasa; KB: korišćenje biogasa; KLO: kvalitativna ocena tehničkog stanovišta; KNO: kvantitativna ocena tehničkog stanovišta; PO: poredak biogas postrojenja u odnosu na kvantitativnu ocenu tehničkog stanovišta; O: odlično; D: dobro; P: prihvatljivo; N: neprihvatljivo.

3.3.3 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2a

U okviru ovog potpoglavlja prikazani su rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2a, na primeru za biogas postrojenje A2. Posebno su prikazani rezultati za dva različita vremenska perioda – A2_I i A2_II, u tab. 20 i 21, te je dato poređenje. Diskusija rezultata za preostala biogas postrojenja, B2_I-I2_II, data je potom u tekstu, a rezultati su zbog obima prikazani tabelarno u Prilogu VII.

Rezultati dobijeni primenom metode 2a pokazuju da primenjeni metodski pristup zasnovan na aritmetičkom proračunu sa fazi brojevima nije odgovarajući. Na primeru postrojenja A2, to se ogleda dobijanjem rezultata – PRILOŽENI PODACI SU NETAČNI. U oblasti proizvodnje biogasa, ovakvi rezultati ne dobijaju se jedino za postrojenja G1_II, I2_I i I2_II. U odnosu na oblast korišćenja biogasa, rezultat da su priloženi podaci netačni dobija se za A2_I i G2_I. Razlog je što se ocenom kriterijuma K1-K4 i analizom parametara P1-P8, dobijaju rezultati za koje je u toku razvoja metode utvrđeno da čine neizvodljivu kombinaciju podataka, koji opisuju rad bilo kojeg biogas postrojenja, te je jedina mogućnost da se definiše da postoji greška u priloženim podacima. Međutim, za biogas postrojenja A2_I-I2_II je nakon monitoringa sprovedena detaljna evaluacija podataka, te su netačni podaci ispravljeni. Prema tome, razlog dobijanja rezultata – PRILOŽENI PODACI SU NETAČNI, jedino može da bude to što nije primenjen odgovarajući metodski pristup u 1a i 2a. Na primeru postrojenja I2_I (videti Prilog VII), uviđa se da su dobijeni pogrešni rezultati za kvalitativnu ocenu parametara za analizu

mogućnosti poboljšanja efikasnosti. U dijagnozi i predloženim merama je naznačeno da je proces termofilan, iako temperatura u fermentoru ovog postrojenja odgovara mezofilnom režimu.

Tab. 20 Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2a, primer za biogas postrojenje A2_I

<u>Oblast proizvodnje biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA
Odgovor_P11_O95_V3	
Dijagnoza	
Priloženi podaci su netačni.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.	

<u>Oblast korišćenja biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Step opterećenja kogenerativnog postrojenja	SREDNJI
Odgovor_P5_O17_V2	
Dijagnoza	
Priloženi podaci su netačni.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom generisane električne energije, efikasnim korišćenjem toplotne energije i količine električne energije za pogon postrojenja.	

Tab. 21 Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2a, primer za biogas postrojenje A2_II

<u>Oblast proizvodnje biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA
Odgovor_P16_O140_V2	
Dijagnoza	
Priloženi podaci su netačni.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.	

<u>Oblast korišćenja biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	NIZAK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	NIZAK
Odgovor_P11_O18_V7	
Dijagnoza	
Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije.	

3.3.4 Metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti 2b

U ovom potpoglavlju, takođe, prikazani su rezultati dobijeni primenom metode 2b za biogas postrojenje A2, u tab. 22 i 23. Postrojenje A2 je izabrano da se prikažu rezultati i detaljnija diskusija, jer su sprovedene najveće izmene tehničko-tehnološkog koncepta rada u odnosu na postrojenja A-J. To je detaljno opisano u Effenberger i dr. (2010) i Bachmaier i dr. (2011a). Prvenstveno su obrazloženi efekti izmene tehničko-tehnološkog koncepta rada postrojenja A na postignutu efikasnost postrojenja A2. Zatim su obrazloženi

dobijeni rezultati, posebno za A2_I i A2_II, te ukazano na značajne razlike. Zbog obima, rezultati za preostala postrojenja – B2_I-I2_II, prikazani su u Prilogu VIII, a diskusija je data u okviru ovog potpoglavlja, nadalje u tekstu.

Biogas postrojenje A2

Na postrojenju A2 je u odnosu na postrojenje A izgrađen novi rezervoar za ostatak fermentacije zapremine 2.280 m³. Prethodno korišćeni rezervoar ostatka fermentacije, zapremine 1.146 m³, koristi se kao tercijarni fermentor. Instalirano je i dodatno kogenerativno postrojenje nazivne snage 526 kW_e na udaljenosti 2 km. Proizvedeni biogas se do te lokacije transportuje mikrogasnom mrežom, a na njoj se generisana toplotna energija tokom cele godine u potpunosti koristi za procesne potrebe u metaloprerađivačkoj industriji. Kogenerativno postrojenje, na lokaciji biogas postrojenja, nazivne je snage 329 kW_e, a koristi se samo pola snage. Generisana toplotna energija koristi se, osim za grejanje fermentora, jedino za grejanje stambenih i radnih prostorija u zimskim mesecima na lokaciji postrojenja. Povećanje snage na 855 kW_e ostvareno je izgradnjom dodatnog fermentora, korišćenjem dodatne količine supstrata i povećanjem opterećenja zapremine fermentora organskom materijom.

Nakon povećanja zapremine fermentora, snage kogenerativnog postrojenja i izmene pogonskih uslova postrojenja A, poboljšana je efikasnost u oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa za postrojenje A2_I (videti tab. 17 i 19). Povećanjem opterećenja zapremine fermentora organskom materijom, produktivnost metana znatno je poboljšana, ali i prinos biogasa, iako je očekivano da se prinos tada smanjuje. Stepem iskorišćenja kogenerativnog postrojenja ocenjen je lošije, jer je kogenerativno postrojenje od 329 kW_e u pogonu sa polovinom instalirane snage. Energetska efikasnost biogas postrojenja, iskazano sa K4, znatno je poboljšana iskorišćenjem celokupne količine toplotne energije generisane u kogenerativnom postrojenju snage 526 kW_e.

Analizom mogućnosti poboljšanja efikasnosti za postrojenje A2_I, dobijen je rezultat da u oblasti proizvodnje biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem, pošto su K1 i K2 ocenjeni s ODLIČNO. Jedino je naznačeno da je kogenerativno postrojenje predimenzionirano i da bi se instaliranjem manje snage postigla bolja efikasnost. Time bi se povećala i električna efikasnost koja je ocenjena sa SREDNJE, jer bi kogenerativno postrojenje radilo pri nazivnoj snazi. To bi podrazumevalo da se postojeće kogenerativno postrojenje, koje ostvaruje rad samo polovine instalirane snage od 329 kW_e, zameni manjim, snage oko 170 kW_e. U oblasti korišćenja biogasa, za poboljšanje efikasnosti predloženo je da se iskoristi više toplotne energije. Za biogas postrojenje A2 to nije moguće, jer se ono nalazi izvan naseljenog mesta i udaljeno je od potencijalnih korisnika toplotne energije. Upravo zato je kogenerativno postrojenje snage 526 kW_e instalirano na drugoj lokaciji, gde postoji povoljna mogućnost iskorišćenja toplotne energije.

Pogon postrojenja A2_II izmenjen je u odnosu na A2_I. Količina dnevnog unosa supstrata, tj. opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je povećano, jer su vlasnik i rukovalac težili ka većoj produkciji biogasa, sa ciljem da se više iskoristi instalisana snaga kogenerativnog postrojenja. Međutim, to je rezultiralo pogoršanjem ocena za K1 i K2. Analizom mogućnosti poboljšanja efikasnosti, utvrđeno je da su korišćeni supstrati nedovoljno razgrađeni zbog poremećaja stabilnosti procesa AF. Predložena mera za poboljšanje je da se smanji opterećenje zapremine fermentora organskom materijom, u cilju obezbeđenja stabilnosti procesa. U takvim pogonskim uslovima, potrebno je da se sprovedu redovne laboratorijske analize zbog praćenja stabilnosti procesa, te da se efikasnost ponovo oceni i utvrdi efekat sprovedenih mera za poboljšanje efikasnosti. Zaključeno je i da je zapremina fermentora poddimenzionisana, što je suprotno zaključku za postrojenje A2_I. Sa druge strane, i to je tačno, jer je za proizvodnju biogasa korišćeno više supstrata i instalisana snaga kogenerativnog postrojenja je veća od potrebne. Zbog toga je kao alternativna mera za poboljšanje efikasnosti predloženo da se poveća zapremina fermentora, a time bi se smanjilo opterećenje organskom materijom. Da ne bi došlo do greške u dimenzionisanju, predloženo je da se odluka o povećanju zapremine fermentora donese uz konsultacije sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije. U oblasti korišćenja biogasa, efikasnost iskorišćenja kogenerativnog postrojenja je pogoršana, jer je smanjena i produkcija biogasa. Došlo je i do smanjenja efikasno iskorišćene toplotne energije, jer su podaci za vremenski period, koji odgovara postrojenju A2_II, sakupljeni tokom jula, avgusta i septembra, kada se generisana toplotna energija na lokaciji biogas postrojenja ne koristi za grejanje stambenih i radnih prostorija. Zbog toga je predloženo da se korišćenje toplotne energije znatno poveća, jer je i P7 ocenjen sa NIZAK.

Tab.22 Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2b, primer za biogas postrojenje A2_I

<u>Oblast proizvodnje biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA
Odgovor_P1_O6_V2	
Opis	
Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja nije dovoljno iskorišćena.	
Dijagnoza	
Prinos biogasa i produktivnost metana su odlični. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je visoko. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je delimično predimenzionisana. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena. U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji značajna potreba za poboljšanjem efikasnosti.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Odgovarajućim dimenzionisanjem zapremine fermentora ili nazivne snage kogenerativnog postrojenja, pogon biogas postrojenja mogao bi da bude optimalan i da se poboljša ukupna efikasnost.	

<u>Oblast korišćenja biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK
Odgovor_P10_O17_V7	
Dijagnoza	
Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.	
Predložena mera za poboljšanje efikasnosti	
Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije.	

Tab. 23 Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti dobijeni primenom metode 2b, primer za biogas postrojenje A2_II

<u>Oblast proizvodnje biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	KRATKO
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA

Odgovor_P10_O90_V1.5

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je kratko. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je loše iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je prihvatljiv. Produktivnost metana je dobra. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je vrlo visoko i korišćeni supstrati su nedovoljno razgrađeni. Postoji opasnost da se stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremeti. Zapremina fermentora je poddimenzionisana u odnosu na snagu instalisanog kogenerativnog postrojenja.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Redukovati opterećenje zapremine fermentora organskom materijom za jednu trećinu, u cilju smanjenja nestabilnosti procesa anaerobne fermentacije i povećanja razgradnje korišćenih supstrata. Sprovesti jednom nedeljno laboratorijske analize sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti u narednih dve do četiri sedmice s aktuelnim podacima. **Alternativna mera za poboljšanje efikasnosti:** Povećati zapreminu fermentora, u cilju većeg iskorišćenja snage instalisanog kogenerativnog postrojenja i veće razgradnje korišćenih supstrata (povećanjem prinosa biogasa). Ako se sprovodi povećanje zapremine fermentora, posavetovati se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije.

<u>Oblast korišćenja biogasa</u>	
Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	NIZAK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Step opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P16_O18_V7

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za značajno veće iskorišćenje toplotne energije.

Biogas postrojenje B2

Na ovom postrojenju je u cilju iskorišćenja toplotne energije instalisan pogon za sušenje drvenih cepanica. Biogas postrojenje pripada vlasniku organske farme, pa je odlučeno da se za proizvodnju biogasa kao supstrat koristi detelina, s udelom u korišćenim supstratima preko 90 %. Cilj je bio da se kao energetske bilje koriste biljne vrste koje se svrstavaju u azotofiksatore, tj. one koje u simbiozi sa mikroorganizmima azot iz vazduha transformišu u forme dostupne biljkama. Ostatak fermentacije ovih biljnih vrsta uspešno se koristi za takozvano zeleno đubrenje, te se time obezbeđuje azot, koji pri organskoj proizvodnji nedostaje, jer se ne primenjuju mineralna hraniva.

Korišćenjem deteline kao supstrata za proizvodnju biogasa, K1 i K2 su se pogoršali. Kada je reč o postrojenju B2_I, ocenjeno je da verovatno postoji poremećaj stabilnosti procesa AF. Pogoršanje K1 i K2 obrazloženo je povećanom vrednošću opterećenja zapremine fermentora organskom materijom. Konkretniji zaključak nije donesen, jer za ocenu stabilnosti – P3, nije postojao dovoljan broj podataka. Za postrojenje B2_II bilo je dostupno više podataka i zaključeno je da je proces nestabilan zbog nedostatka hemijskih mikroelemenata ili previsoke koncentracije azota u formi amonijaka. U ovom slučaju to je tačno, jer se korišćenjem deteline kao supstrata za proizvodnju biogasa koncentracija amonijaka u sadržaju fermentora znatno povećava. Zbog mogućnosti korišćenja preostale toplotne energije za procesne potrebe, K4 je ocenjeno sa PRIHVATLJIVO za B2_I. Vrednost K4 je povišena i za B2_II, ali nedovoljno da bi se ocenilo višom klasom efikasnosti. Kao rezultat analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti, predloženo je da se korišćenje preostale toplotne energije poveća, jer je kriterijum koji to definiše u oba slučaja ocenjen sa SREDNJI, te za to postoji potencijal. Udeo električne energije za pogon postrojenja P5, u oba vremenska perioda za postrojenje B2 ocenjen je sa VISOK. Uzrok tome je to što je aksijalni mešač u fermentoru, pogonjen elektromotorom velike snage. Dodatno, centralni mešač radi kontinualno, te se koristi velika količina električne energije za pogon postrojenja. Sprovođenje poboljšanja efikasnosti moglo bi da se ostvari zamenom mešača, ali je potrebno da se proverí isplativost ovakve investicije.

Biogas postrojenje C2

Na postrojenju C2 je instalisano dodatno kogenerativno postrojenje nazivne snage 250 kW_e. Da bi se to ostvarilo, osim korišćenja dodatnih količina supstrata, povećano je opterećenje zapremine fermentora organskom materijom. Da bi se povećao prinos biogasa instalisan je uređaj u kojem se ultrazvukom tretiraju korišćeni supstrati i ostvaruje povećanje njihove razgradljivosti. U cilju iskorišćenja dodatne količine toplotne energije, povećan je kapacitet već instalisanog pogona za sušenje drvenih cepanica.

Izmenom tehničko-tehnološkog koncepta biogas postrojenja C, došlo je do poboljšanja efikasnosti postrojenja C2, jer se poboljšala produktivnost metana i stepen iskorišćenja

kogenerativnog postrojenja. Vrednost za produktivnost biogasa je povećana sa 0,78 na 1,00, korišćenjem uređaja za tretman supstrata ultrazvukom. Iskorišćenje toplotne energije za postrojenje C2_II povećano je čak na 70,6 %, a omogućeno povećanjem kapaciteta pogona za sušenje drvenih cepanica. Analizom mogućnosti poboljšanja efikasnosti, dobijeni su slični rezultati za dva razmatrana vremenska perioda rada postrojenja C2, tj. za C2_I i C2_II. Pošto je snaga kogenerativnog postrojenja potpuno iskorišćena, tj. K3 je ocenjeno s ODLIČNO, a produktivnost biogasa je DOBRA, predloženo je da se minimalno smanji opterećenje zapremine fermentora organskom materijom da bi se smanjio rizik od gubitka biogasa, zbog prekomerne produkcije. U oblasti korišćenja biogasa, iako je za C2_I udeo efikasno iskorišćene toplotne energije ocenjen sa VISOK, za oba vremenska perioda predloženo je da se eventualno razmotri veće iskorišćenje, a to je i moguće jer je udeo toplotne energije za pogon postrojenja NIZAK.

Biogas postrojenje G2

Na postrojenju G2 zamenjeno je jedno od dva kogenerativna postrojenja, pa je ukupna nazivna snaga povećana na 350 kW_e. U cilju boljeg iskorišćenja supstrata i obezbeđenja veće količine biogasa za pogon novog kogenerativnog postrojenja, instalisan je, takođe, uređaj za tretman supstrata ultrazvukom. Izgrađena je i mikromreža daljinskog grejanja, da se omogući iskorišćenje veće količine toplotne energije u obližnjoj bolnici.

Sprovedenim merama za poboljšanje efikasnosti na postrojenju G2 značajno se povećala vrednost za K2, a vrednost K1 ostala je približno ista. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je u toku prvog vremenskog perioda – G2_I, bilo značajno niže, a u drugom – G2_II, približno isto kao kod postrojenja G. Očigledan je uticaj i pozitivan doprinos primene uređaja za dezintegriranje, koji je u potpunosti uvršćen u pogon tek za G2_II. Tokom oba vremenska perioda, produktivnost metana je značajno poboljšana i umesto PRIHVATLJIVO ocenjena s ODLIČNO, bez povećanja opterećenja zapremine fermentora organskom materijom. Za G2_I je u oblasti proizvodnje biogasa za poboljšanje efikasnosti predloženo jedino da se uskladi zapremina fermentora sa nazivnom snagom kogenerativnog postrojenja. Ovo je tačno, jer je snaga kogenerativnog postrojenja povećana, te je zaključak da je u odnosu na zapreminu fermentora predimenzionisana. To je u slučaju G2_II kompenzovano povećanom produkcijom biogasa koja je rezultat primene ultrazvuka za tretman supstrata, te je postignuto da u oblasti proizvodnje biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti. U oblasti korišćenja biogasa došlo je do značajnog poboljšanja energetske efikasnosti u radu postrojenja – K4, kao rezultat korišćenja toplotne energije u obližnjoj bolnici. Pošto se toplotna energija koristi tokom cele godine, ovo važi za oba razmatrana vremenska perioda. Uprkos tome, predloženo je da se razmotri mogućnost većeg iskorišćenja toplotne energije, jer je P6 ocenjen sa SREDNJI. Električna efikasnost – P4, za G2_II u odnosu na G2_I je

poboljšana, jer je iskorišćenje kogenerativnog postrojenja povećano sa polovine na gotovo maksimalnu vrednost.

Biogas postrojenje I2

Pre izgradnje biogas postrojenja I, planirano je da se kao supstrat za proizvodnju biogasa koristi zrno žitarica. Postrojenja koja koriste ove i slične supstrate, koji se brzo razgrađuju, u svom sastavu imaju poseban fermentor za hidrolizu. Omogućavanje odvijanja faze hidrolize u posebnom fermentoru je neophodno da bi se obezbedila stabilnost procesa AF. Međutim, zbog porasta cena na tržištu, vlasnik je morao da se opredeli za drugu vrstu supstrata – silažu kukuruza i raži. Zbog toga, tehničko-tehnološki koncept postrojenja, nije potpuno odgovarajući za korišćenje novih vrsta supstrata, te nije postignuta ni planirana efikasnost. Na postrojenju I2 povećano je opterećenje zapremine fermentora organskom materijom, što je dovelo do poboljšanja vrednosti za produktivnost metana, tj. za K2. To je omogućilo da se i prilikom korišćenja silaže kukuruza i raži postigne niska koncentracija organskih kiselina, te je postignuta zadovoljavajuća stabilnost AF.

U prvom periodu koji se razmatra – I2_I, ocenjeno je da je opterećenje zapremine fermentora organskom materijom SREDNJE, iako je vrednost najveća u grupi postrojenja A2_I-I2_II. Došlo je do pogoršanja prinosa biogasa u odnosu na postrojenje I, koje je sada ocenjeno sa DOBRO, a ukoliko ne bi postojao dodatni fermentor za fazu hidrolize, stabilnost procesa AF bila bi poremećena, kao posledica visokog opterećenja zapremine fermentora organskom materijom. U ovom slučaju, zbog procene da je snaga kogenerativnog postrojenja značajno predimenzionisana, predloženo je da se opterećenje zapremine fermentora organskom materijom poveća. Međutim, upozoreno je i da postoji rizik da dođe do nedovoljnog razgrađivanja korišćenih supstrata, tj. smanjenja prinosa biogasa. U drugom periodu, I2_II, smanjeno je opterećenje zapremine fermentora organskom materijom, što je omogućilo poboljšanje efikasnosti za K1 i K2. Konsekventno, jedina predložena mera za poboljšanje efikasnosti bila je da se optimizira zapremina fermentora ili nazivna snaga kogenerativnog postrojenja. U odnosu na oblast korišćenja biogasa, za oba vremenska perioda predloženo je da se značajno poveća iskorišćenje toplotne energije, jer je P6 ocenjeno sa NIZAK. Pošto je za I2_I i udeo električne energije za pogon postrojenja ocenjen sa VISOK, predloženo je da se razmotre mere za smanjenje količine električne energije za pogon postrojenja.

Komentar

Rezultati analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti u okviru ovog potpoglavlja, u oblasti proizvodnje biogasa, ukazuju na to da većina razmatranih postrojenja postiže zadovoljavajuću efikasnost. Uprkos tome, u pojedinim slučajevima predloženo je da se

opterećenje zapremine fermentora organskom materijom smanji ili poveća. Kod tri od deset biogas postrojenja identifikovan je problem u vezi sa stabilnošću procesa anaerobne fermentacije. Navedeno ukazuje da u oblasti proizvodnje biogasa postoje brojne mogućnosti za poboljšanje efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Dobljeni rezultati ukazuju na to da su dimenzionisanje zapremine fermentora i snage kogenerativnog postrojenja umnogome uticali na postignutu efikasnost. Definisane odgovarajućih pogonskih uslova ima još značajniji uticaj, a to se najviše odnosi na opterećenje zapremine fermentora organskom materijom i korišćenje odgovarajućih supstrata.

U oblasti korišćenja biogasa, u većini slučajeva je kao mera za poboljšanje efikasnosti, predloženo da se poveća iskorišćenje toplotne energije, jer se kod većine postrojenja preostala toplotna energija ne koristi uopšte ili samo delimično. Sledeća, ali manje značajna mera, je smanjenje količine električne energije, koja se koristi za pogon postrojenja, a za to je potrebno da se izmeni konfiguracija postrojenja, uz dodatna ulaganja. Samo u dva slučaja je predloženo da se smanji količina toplotne energije za rad postrojenja, a za to je takođe potrebno da se izmeni njegova konfiguracija, uz dodatna ulaganja. Prema tome, povećanjem iskorišćenja toplotne energije najviše može da se doprinese poboljšanju efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Time se poboljšava ne samo energetski bilans, nego se ostvaruju i povoljniji ekonomski efekti, a osim toga povećava se i doprinos zaštiti životne sredine.

3.4 Ocena primenljivosti razvijenih metoda

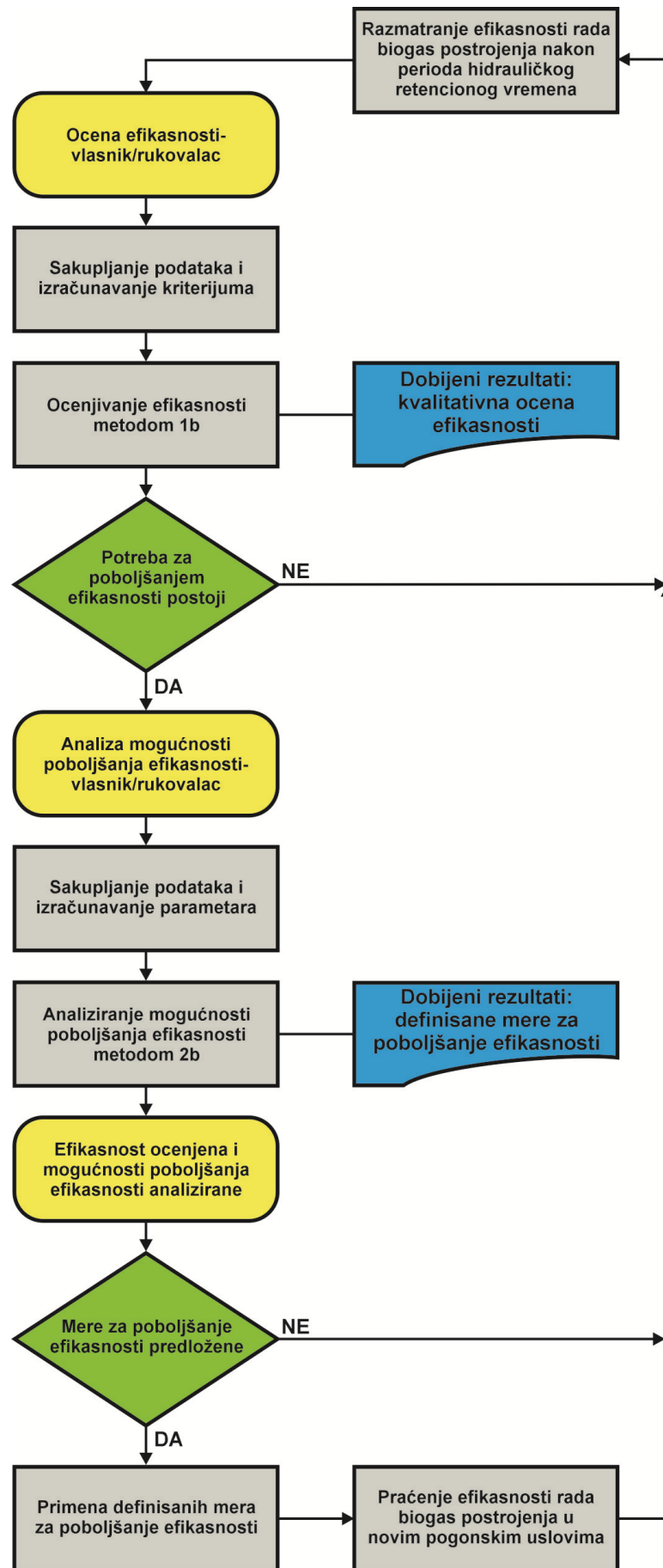
3.4.1 Mogućnosti korišćenja razvijenih metoda

Pošto je u potpoglavlju 3.3.3 obrazloženo da su za ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti pogodnije metode 1b i 2b, za njih će nadalje da se predlože mogućnosti korišćenja.

Metoda 1b može da se koristi za ocenu efikasnosti, sa ciljem da se izaberu najefikasnija biogas postrojenja. Preduslov za to je da postoje podaci o radu za brojna biogas postrojenja, kao u ovom istraživanju. Postojeća baza, sa podacima o radu petnaest biogas postrojenja, može konstantno da se proširuje, te da se sprovodi ponovna ocena efikasnosti i postrojenja rangiraju, odrede trenutno najbolja, te rezultati objavljuju javno. Ona mogu da predstavljaju tehničko-tehnološke inovacije u oblasti proizvodnje i korišćenja biogasa, pa na ovaj način metodu 1b mogu da koriste nezavisne istraživačke institucije i prate razvoj biogas tehnologije. U odnosu na biogas postrojenja, koja su „najbolja praksa”, istraživači, projektanti i vlasnici biogas postrojenja mogu da unapređuju postrojenja u pogonu i ona koja će se ubuduće izgraditi. Zatim, metodu 1b može da koristi i vlasnik ili rukovalac, kada sprovodi ocenu efikasnosti sopstvenog biogas postrojenja. Dobljeni rezultati u vidu kvalitativne ocene predstavljaju pomoć prilikom razmatranja mogućnosti

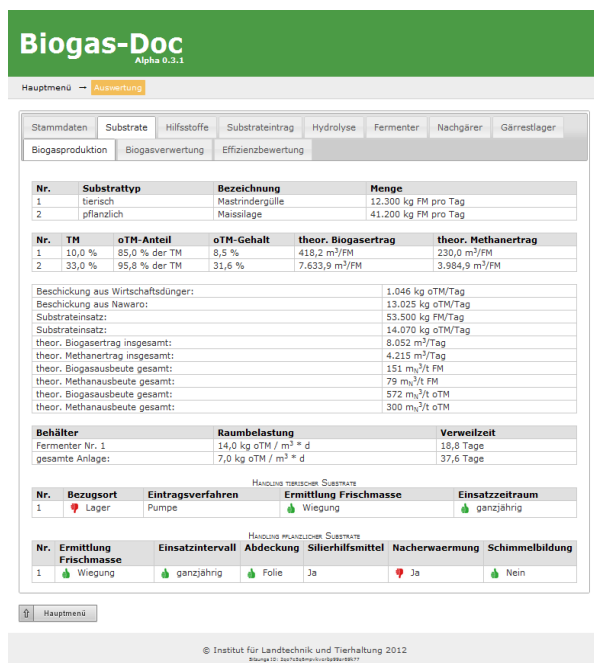
poboljšanja efikasnosti, jer se ukazuje na potrebu za poboljšanjem efikasnosti. Ukoliko je moguće da se ocenjeno postrojenje uporedi sa najefikasnijim, stiće se uvid o mogućim merama za poboljšanje efikasnosti.

Metoda 2b namenjena je vlasnicima ili rukovaocima kao pomoćni alat prilikom definisanja mera za poboljšanje efikasnosti. Preduslov je da korisnik treba da ima odgovarajuće tehničko obrazovanje i da poznaje tehničko-tehnološki princip rada sopstvenog biogas postrojenja. Eksperti iz oblasti biogas tehnologije sposobni su da samostalno definišu mere za poboljšanje efikasnosti, a metoda 2b može da posluži kao pomoćni alat kojim se postupak ubrzava i poboljšava. Kada se primene mere za poboljšanje efikasnosti, može da se sprovede ponovna ocena efikasnosti i analiza mogućnosti njenog poboljšanja, nakon perioda koji odgovara hidrauličkom retencionom vremenu supstrata. Na taj način mogu da se prate promene efikasnosti tokom vremena i dobije uvid o efektima promene pogonskih uslova ili konfiguracije postrojenja. Predloženi način korišćenja razvijenih metoda 1b i 2b, za ocenu efikasnosti i definisanje mera za poboljšanje efikasnosti, prikazan je dijagramom toka na sl. 20.

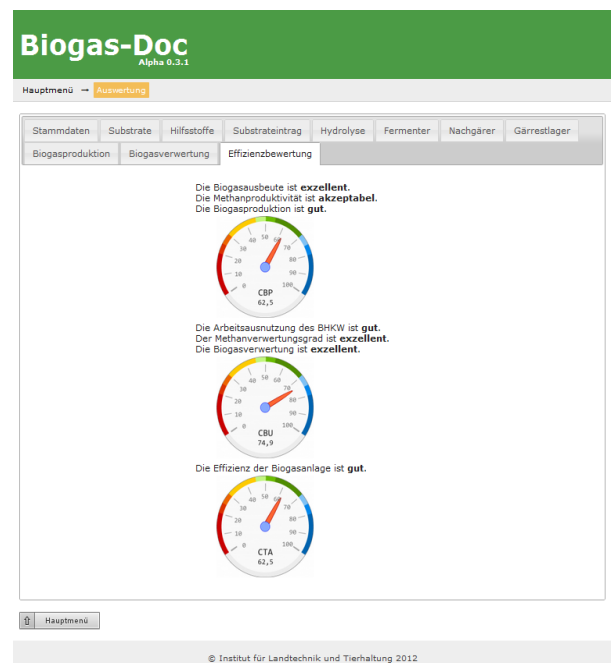


Sl. 20 Dijagram toka predloženog načina korišćenja razvijenih metoda

Metode 1b i 2b prvi je počeo da koristi institut *LfL*, u okviru saradnje s ekspertima za biogas tehnologiju iz Bavarske. Eksperti su prošli obuku za korišćenje metode 1b, kao pomoćnog alata za ocenu efikasnosti. Na internet portalu *BiogasDoc* (<http://biogas-doc.de>) postoji i korisničko okruženje za *on-line* primenu razvijenih metoda. *BiogasDoc* sastoji se iz tri modula, a implementacija metoda omogućena je korišćenjem programskog koda na zasebnom serveru. U prvom modulu (sl. 21a), korisnik prilaže osnovne podatke o postrojenju, na osnovu čega dobija jednostavan izveštaj o najvažnijim pogonskim parametrima, u formi izračunatih pokazatelja efikasnosti. U drugom modulu (sl. 21b), izračunati pokazatelji efikasnosti se koriste kao kriterijumi K1-K8, na osnovu kojeg se sprovodi ocena efikasnosti u oblastima proizvodnje i korišćenja biogasa, te dobija izveštaj o tome, što predstavlja primenu metode 1a. U vreme završetka ovog istraživanja, treći modul je bio u fazi razvoja. Njegovim korišćenjem će na osnovu priloženih vrednosti parametara da se sprovodi analiza mogućnosti poboljšanja efikasnosti, a korisnik će da dobije povratnu informaciju u formi predloga za poboljšanje efikasnosti, što će predstavljati primenu metode 2b.



a)



b)

Sl. 21 *BiogasDoc*: a) Izveštaj o pogonskim parametrima biogas postrojenja (prvi modul);
b) Ocena efikasnosti tehničkog stanovišta rada (drugi modul)

Metode 1b i 2b mogu da se koriste u toku faze planiranja poljoprivrednog biogas postrojenja. Vlasnik ili rukovalac može da sprovede ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti za planirane pogonske parametre. Na osnovu dobijenih rezultata, omogućeno je da se, pre izgradnje postrojenja, otklone greške u definisanju pogonskih uslova i dimenzionisanju zapremine fermentora ili snage kogenerativnog postrojenja.

Metode 1b i 2b mogu da se koriste i za obuku budućih eksperata i stručnih osoba u oblasti biogas tehnologije. Ovi korisnici mogu da sprovedu ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti za biogas postrojenja, za koja im je poznat tehničko-tehnološki postupak. Analizom dobijenih rezultata, korisnik usvaja ekspertsko znanje sadržano u razvijenim metodama, a koje se koristi prilikom sprovođenja poboljšanja efikasnosti.

3.4.2 Ograničenja za korišćenje i potreba daljnjeg razvoja metoda

Metode 1b i 2b u okviru ovog istraživanja testirane su koristeći podatke o radu petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja. Potrebno je da se, u budućnosti, sprovodi njihovo testiranje korišćenjem podataka o radu drugih biogas postrojenja. Očekuje se da će u međuvremenu u oblasti biogas tehnologije doći do novih saznanja o mogućnostima poboljšanja efikasnosti. To će da posluži za inoviranje AKO-ONDA pravila, klasa efikasnosti i definisanih mera za poboljšanje efikasnosti, što bi rezultiralo stalnim unapređenjem pouzdanosti razvijenih metoda.

U određenim slučajevima, kao rezultat analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti metodom 2b, predloženo je da se uz pomoć eksperta i dodatnih podataka definišu konkretne mere za poboljšanje efikasnosti. Da bi se predlaganje konkretnijih mera ostvarilo korišćenjem metode 2b, trebalo bi da se u budućim istraživanjima izaberu i koriste dodatni kriterijumi i parametri koji definišu tehničko stanovište. Međutim, metoda bi bila znatno kompleksnija, jer bi se višestruko uvećao broj pravila, klasa efikasnosti i mera za poboljšanje efikasnosti.

Metodom 1b omogućeno je ocenjivanje tri stanovišta efikasnosti, a metodom 2b jedino analiza mogućnosti poboljšanja efikasnosti za tehničko stanovište. Predloženi pristup za tehničko stanovište u metodi 2b, može da se primeni i za stanovište zaštite životne sredine i socio-ekonomsko stanovište, ukoliko se izaberu odgovarajući parametri. Daljnji razvoj metode 2b, nakon čega bi njenim korišćenjem mogla da se sprovede analiza mogućnosti poboljšanja efikasnosti i druga dva stanovišta, mogu da sprovedu istraživači koji su kompetentni za ocenu uticaja biogas tehnologije na životnu sredinu, kao i socio-ekonomskog stanovišta proizvodnje i korišćenja biogasa.

Do sada navedene potrebe daljnjeg razvoja metoda imaju za cilj da se unapredi pouzdanost razvijenih metoda 1b i 2b, kao i da se oblast primene proširi na socio-ekonomsko i stanovište zaštite životne sredine. To bi rezultiralo ES, koji se koristi kao pomoćni alat prilikom poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja za tri stanovišta. To bi značajno povećalo kompleksnost metodskog pristupa, a razvoj trebalo bi da bude rezultat višegodišnjeg istraživanja eksperata i istraživača iz više oblasti biogas tehnologije. Tek nakon potvrde da dovoljan broj vlasnika ili rukovaoca imaju interes da koriste ovakav ES, donela bi se odluka da se navedeno istraživanje sprovede.

Primena metoda 1b i 2b ograničena je na poljoprivredna biogas postrojenja, na kojima se proizvedeni biogas kontinualno koristi za generisanje električne energije i isporuku u električnu mrežu. Pristup korišćen u metodama 1b i 2b ubuduće može da se primeni i za drugačije pogonske uslove i druge tipove biogas postrojenja. Da bi se to sprovelo, potrebno je da se izaberu odgovarajući kriterijumi i parametri, kao i da se prilagode AKO-ONDA pravila, klase efikasnosti i definisanje mera za poboljšanje efikasnosti.

Primer za drugu vrstu pogonskih uslova su biogas postrojenja kod kojih je proizvedeni biogas namenjen za generisanje električne energije za vršna opterećenja, što je ubuduće izvesno u pojedinim evropskim državama. Ovakva postrojenja morala bi da imaju skladište za biogas i da snaga kogenerativnog postrojenja bude znatno veća nego za korišćenje iste količine biogasa, ali za kontinualno generisanje električne energije. Prema tome, kriterijumi i parametri u oblasti korišćenja biogasa su u tom slučaju drugačiji, nego za biogas postrojenja koja kontinualno generišu električnu energiju.

Primer za drugi tip su biogas postrojenja za zbrinjavanje biorazgradivog organskog otpada. Njihova osnovna namena je zbrinjavanje otpada, a tek onda generisanje energije. Zbog toga prilikom ocene efikasnosti treba da se primenjuju drugačiji principi, jer se ostvaruju drugačiji uticaji na životnu sredinu, a drugačije su i mogućnosti ostvarenja prihoda nego što je to kod poljoprivrednih biogas postrojenja. Prema tome, potrebno je da se izaberu odgovarajući kriterijumi i parametri, a zatim prilagode AKO-ONDA pravila, klase efikasnosti i definišu mere za poboljšanje efikasnosti.

4. ZAKLJUČCI

Brzi razvoj i primena biogas tehnologije u poslednjoj deceniji XX veka, praćen je brojnim istraživanjima, koja za cilj imaju da se definišu pokazatelji i oceni efikasnost biogas postrojenja. To je rezultiralo i opštim smernicama za poboljšanje efikasnosti, ali ne i razvojem metoda koje omogućavaju definisanje konkretnih mera za poboljšanje efikasnosti pojedinačnih biogas postrojenja. Cilj ovog istraživanja bio je da se razvije metoda čijim korišćenjem može da se doprinese poboljšanju efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja. Da bi se to ostvarilo, izabrani su odgovarajući kriterijumi i parametri. Razvijena je metoda za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja, a rezultati dobijeni njenim korišćenjem ukazuju na to da li postoji potreba za poboljšanjem. Razvijena je i metoda za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, kojom se za svako pojedinačno postrojenje, koje se analizira, predlažu mere za ostvarenje poboljšanja.

Za ocenu efikasnosti rada definisano je i izabrano osam kriterijuma, koji pokrivaju tri stanovišta – tehničko, zaštitu životne sredine i socio-ekonomsko. Oni zadovoljavaju tri postavljena zahteva: da za njihovo izračunavanje na većini biogas postrojenja postoje potrebni podaci, da je poređenje postrojenja omogućeno bez obzira na njihove razlike, kao i da je neodređenost u vidu ukupne greške prihvatljiva, tj. manja od usvojenih 10 %. Treći zahtev nije u potpunosti ispunjen za kriterijume, koji se odnose na stanovište zaštite životne sredine, jer bi za njihovo određivanje trebalo da se koristi znatno veći broj merenih parametara. Za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja definisano je i izabrano osam parametara, ali samo za tehničko stanovište, jer su druga dva izvan okvira sprovedenog istraživanja. Oni zadovoljavaju tri postavljena zahteva, koja su navedena da su se koristila i prilikom izbora kriterijuma.

Razvijene su dve metode za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja, označene sa 1a i 1b, kao i dve metode za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti, označene sa 2a i 2b. U metodama 1a i 2a, rezultati se dobijaju primenom aritmetičkih proračuna sa fazi brojevima, a u 1b i 2b, primenom višeuslovnog približnog rasuđivanja. Njihovim testiranjem, koristeći podatke o radu petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja u Bavarskoj, ocenjeno je da su metode 1b i 2b pogodnije od metoda 1a i 2a, te se predlažu za korišćenje. Time je potvrđena hipoteza da je primenom fazi logike i ekspertskih sistema moguće da se razvije metoda za ocenjivanje efikasnosti i definisanje predloga za unapređenje rada poljoprivrednih biogas postrojenja.

Da bi se omogućio postupak ocene efikasnosti zasnovan na principu donošenja zaključaka korišćenjem višeuslovnog približnog rasuđivanja, u metodi 1b je definisano 144 pravila. U metodi 2b, za kvalitativnu ocenu parametara na osnovu kojih se analiziraju

mogućnosti poboljšanja efikasnosti, takođe je korišćeno višeuslovno približno rasuđivanje i definisano 88 pravila. U metodi 2b je za moguće kombinacije kvalitativnih ocena kriterijuma i parametara definisano ukupno 4.050 mera za poboljšanje efikasnosti. Zaključeno je da primena višeuslovnog približnog rasuđivanja omogućava da se uspešno modeluju postupci ocene i analize koje koriste eksperti. To je bila i namera razvoja metodskog pristupa, jer sprovođenje poboljšanja efikasnosti zahteva ekspertsko znanje iz oblasti biogas tehnologije.

Ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti eksperti bi mogli da sprovedu samostalno. Korišćenjem predloženih metoda 1b i 2b postiže se to da je postupak ujednačen u odnosu na postupke koje bi za svoje potrebe pojedinačno definisali eksperti, koji sprovode poboljšanje. Dodatno, sprečava se i uticaj subjektivnosti, koju bi svaki ekspert unosio, te se tako smanjuje mogućnost da se dobiju različiti rezultati u vidu definisanih mera za poboljšanje efikasnosti.

Metoda 1b može da se koristi za ocenu efikasnosti, sa ciljem da se nakon ocenjivanja biogas postrojenja rangiraju i izaberu najefikasnija. To bi sprovodile nezavisne institucije i pratile razvoj biogas tehnologije, te unapredile rad postrojenja koja su u pogonu i projekte onih u fazi planiranja. Metoda 2b namenjena je vlasnicima ili rukovaocima biogas postrojenja, da posluži kao pomoćni alat prilikom definisanja mera za poboljšanje efikasnosti. S istim ciljem metodu mogu da koriste i eksperti za oblast biogas tehnologije.

Predložene metode mogu da se koriste u toku faze planiranja, čime bi se, pre izgradnje postrojenja, otklonile potencijalne greške u definisanju pogonskih uslova, dimenzionisanju zapremine fermentora i/ili snage kogenerativnog postrojenja.

Razvijene i predložene metode prvi je počeo da koristi Institut za poljoprivrednu tehniku iz Frajzinga u Nemačkoj (*Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, LfL*). Izradom internet portala *BiogasDoc* (<http://biogas-doc.de>), omogućena je njihova *on-line* primena. U korisničkom okruženju, vlasnik ili rukovalac prvenstveno prilaže podatke o svom postrojenju, a nakon toga dobija grafički i tekstualni prikaz rezultata.

Predlozi za buduća istraživanja

Razvijene metode trebalo bi da se kontinualno unapređuju, u skladu sa razvojem biogas tehnologije, kao i na osnovu rezultata testiranja drugih postrojenja. Pristupom u metodi 2b sprovodi se analiza mogućnosti poboljšanja efikasnosti jedino za tehničko stanovište, koje je i bilo predmet ovog istraživanja. Navedeni pristup trebalo bi da se iskoristi da se oblast primene metode proširi i na stanovište zaštite životne sredine i socio-ekonomsko stanovište, a u tome treba da učestvuju istraživači i eksperti kompetentni za te oblasti. To bi značajno povećalo kompleksnost metodskog pristupa, ali bi rezultiralo razvijenom metodom većeg značaja i šire oblasti primene.

Predložene metode 1b i 2b namenjene su da se koriste kao pomoćni alat prilikom sprovođenja poboljšanja efikasnosti poljoprivrednih biogas postrojenja, na kojima se proizvedeni biogas kontinualno koristi za generisanje električne energije. U budućim istraživanjima, metode mogu da se prilagode, te koriste za druge tipove biogas postrojenja i druge vrste pogonskih uslova. Drugi tip biogas postrojenja može da bude onaj koji je namenjen za zbrinjavanje biorazgradivog organskog otpada, a postrojenja sa drugom vrstom pogonskih uslova su ona na kojima se proizvedeni biogas koristi za generisanje električne energije za vršna opterećenja. Kao osnova za razvoj odgovarajućih metoda za ovakva biogas postrojenja mogu da posluže rezultati dobijeni u okviru ovog istraživanja.

APSTRAKT

Težnja za većim korišćenjem energije iz obnovljivih izvora, podstakla je krajem XX veka brz razvoj biogas tehnologije i izgradnju velikog broja postrojenja. To je praćeno brojnim istraživanjima sa ciljem da se sprovede praćenje i ocena efikasnosti rada biogas postrojenja, koja su rezultirala definisanjem pokazatelja i razvojem metoda za ocenu efikasnosti. Određene su i opšte smernice za poboljšanje efikasnosti, ali je izostao metodski pristup za definisanje konkretnih mera za poboljšanje efikasnosti pojedinačnih postrojenja. Cilj ovog istraživanja bio je da se razvije metoda za ocenu efikasnosti rada poljoprivrednih biogas postrojenja, kao i definisanje mera za njihovo poboljšanje. Postavljena je hipoteza da je to moguće primenom fazi logike i ekspertskih sistema.

Kao podloga za razvoj metoda izabrano je osam kriterijuma za ocenu efikasnosti, i osam parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti. Izabrani kriterijumi iskorišćeni su za razvoj dve verzije metode za ocenu efikasnosti, označene sa 1a i 1b, a parametri za dve verzije metode za analizu mogućnosti njenog poboljšanja, označene sa 2a i 2b. U metodama 1a i 2a, za ocenu efikasnosti primenjeni su aritmetički proračuni sa fazi brojevima. Fazi brojevima predstavljena je neodređenost u vrednostima kriterijuma za ocenu efikasnosti i vrednostima parametara za analizu mogućnosti poboljšanja, koja je definisana primenom principa rasprostiranja greške. Fazi brojevima predstavljene su i „težine”, tj. važnosti kriterijuma u oceni efikasnosti.

U metodama 1b i 2b, umesto izračunavanjem, rezultati ocene efikasnosti dobijaju se donošenjem zaključaka, primenom višeuslovnog približnog rasuđivanja. Time su primenom ekspertskih sistema modelovani postupci ocene efikasnosti i analize mogućnosti poboljšanja efikasnosti, koje koriste eksperti. To je bilo i neophodno, jer sprovođenje poboljšanja efikasnosti zahteva ekspertsko znanje iz oblasti biogas tehnologije. U tu svrhu, u metodi 1b definisano je 144, a u metodi 2b 88 pravila zaključivanja. U metodi 2b je definisano 4.050 mera za poboljšanje efikasnosti. U ovim verzijama razvijenih metoda, fazi brojevima je, kao i u prethodnom slučaju, predstavljena neodređenost u vrednostima kriterijuma za ocenu efikasnosti.

Metode su testirane koristeći podatke o radu petnaest poljoprivrednih biogas postrojenja u Bavarskoj. Ocenjeno je da rezultati dobijeni metodama 1b i 2b mogu da se upotrebe za sprovođenje poboljšanja efikasnosti. Metode 1b i 2b su time validirane, potvrđena je njihova pouzdanost, te su predložene za korišćenje. Time je potvrđena postavljena hipoteza, jer je primenom fazi logike i ekspertskih sistema omogućeno da se razvije metoda, kojom se ocenjuje efikasnost rada poljoprivrednih biogas postrojenja i definišu mere za njihovo poboljšanje. Za metode 1a i 2a ocenjeno je da nisu

odgovarajuće, jer su dobijeni rezultati ocene i analize nedovoljno pouzdani, kao rezultat primene metodskog pristupa u obliku aritmetičkih proračuna sa fazi brojevima.

Metodu 1b mogu da koriste nezavisne institucije za permanentno ocenjivanje efikasnosti biogas postrojenja, te rangiranje i izbor najefikasnijih. Istovremeno, stalno bi se pratio razvoj biogas tehnologije i omogućilo inoviranje podloga za poboljšanje. Metodu 2b mogu da koriste vlasnici ili rukovaoci biogas postrojenja, pa i eksperti iz oblasti biogas tehnologije, kao pomoćni alat, pri definisanju mera za poboljšanje efikasnosti. Predložene metode mogu da se koriste u fazi planiranja budućih postrojenja, te da se na taj način otklone greške u određivanju pogonskih uslova i dimenzionisanju delova postrojenja.

Razvijene metode u budućnosti trebalo bi kontinualno da se unapređuju na osnovu testiranja i rezultata ocenjivanja drugih postrojenja, kao i da se usklađuju sa razvojnim dostignućima u oblasti biogas tehnologije. Moguće je da se oblast njihove primene proširi za ocenu efikasnosti i analizu mogućnosti poboljšanja za biogas postrojenja koja nisu poljoprivredna i koja rade u drugačijim pogonskim uslovima.

Ključne reči: biogas postrojenje, ocena efikasnosti, poboljšanje efikasnosti, metoda, fazi logika, ekspertski sistem.

ABSTRACT

In the late twentieth century, the tendency for increased utilization of energy from renewable sources caused the rapid development of biogas technology and the construction of a large number of biogas plants. This was followed by numerous investigations with aim to monitor and to assess the efficiency of biogas plants, which resulted with defined performance figures and development of methods for efficiency assessment. General recommendations for efficiency improvement were proposed as well, but there was a lack of methodical approach that defines concrete measures for efficiency improvement of individual plants. The aim of this investigation was to develop a method for assessing the efficiency of agricultural biogas plants, as well as for defining the measures for their improvement. The hypothesis has been posted that this is possible by using fuzzy logic and expert systems.

As background for the development of methods, eight criteria for efficiency assessment were selected, as well as eight parameters for analysis of efficiency improvement possibilities. Selected criteria were used for the development of two versions of the method for efficiency assessment, designated by 1a and 1b. Selected parameters were used for the development of two versions of the method for analysis of efficiency improvement possibilities, designated by 2a and 2b. In methods 1a and 2a, in order to enable the efficiency assessment, arithmetic on fuzzy numbers was applied. Fuzzy numbers were used to present the uncertainty in criteria values for efficiency assessment, and to present uncertainty in parameters' values for analysis of efficiency improvement possibilities. The uncertainty was defined by principles of error propagation. Fuzzy numbers were used to present „weights”, *i.e.* importance of criteria in the assessment of efficiency.

In methods 1b and 2b, instead of calculation, results of efficiency assessment were obtained by making of conclusions, using multi conditional approximate reasoning. Therewith, the procedures that use experts in order to assess efficiency and to analyze efficiency improvement possibilities, were incorporated in methods by using expert systems. This was necessary, since the efficiency improvement of biogas plants requires expert knowledge from the field of biogas technology. Therefore, in the method 1b 144 inference rules were defined, and in method 2b such 88 rules. In method 2b, 4.050 measures for efficiency improvement were defined as well. Fuzzy numbers were used in these versions of the developed methods, in order to present uncertainty in criteria values for efficiency assessment too.

Methods were tested using performance data of fifteen agricultural biogas plants in Bavaria. It was concluded that results obtained by methods 1b and 2b may be applied for

carrying out of performance improvement. Therewith, methods 1b and 2b were validated and their reliability was confirmed. Subsequently, these methods were proposed to be applied for performance improvement of agricultural biogas plants. The posted hypothesis was confirmed, since using of fuzzy logic and expert systems enabled development of the method for assessing the efficiency of agricultural biogas plants and for defining of measures for their improvement. Methods 1a and 2a are considered as unsuitable, since the obtained results are not reliable, as a result of appliance of methodical approach based on arithmetic on fuzzy numbers.

Method may be applied by independent institutions in order to continuously assess the efficiency of biogas plants, and thereafter to rank them and select the most efficient. Simultaneously, the development of biogas technology could be monitored which would enable update of efficiency improvement measures. Method 2b may be used by owners and operators of biogas plants, as well as experts from the field of biogas technology, as an aid tool to define measures for efficiency improvement. Proposed methods may be used in the planning phase of future biogas plants, in order to avoid demerits in determination of operational conditions and in dimensioning of plants' parts.

Developed methods should be continuously improved in the future, according to tests and assessment results of other plants, and to be accommodated with achievements in the development of biogas technology. It is possible to extend the area of their application, namely for assessing the efficiency and for analyzing of efficiency improvement possibilities of biogas plants that are not agricultural, and for biogas plants with different operating conditions.

Key words: biogas plant, efficiency assessment, efficiency improvement, method, fuzzy logic, expert system.

LITERATURA

- Abbasi Tasneem, Tauseef SM, Abbasi SA. 2012. *Biogas Energy*. Springer, New York / Dordrecht / Heidelberg / London.
- Al Seadi Teodorita, Lukehurst Clare. 2012. *Quality management of digestate from biogas plants used as fertiliser*. IEA Bioenergy, Task 37: Energy from Biogas, (http://www.iea-biogas.net/_download/publi-task37/digestate_quality_web_new.pdf). Pristupljeno novembra 2012.
- Al Seadi Teodorita, Rutz D, Prassl H, Köttner M, Finsterwalder T, Volk S, Janssen R. 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark, Esbjerg, Danska.
- Bachmaier H, Effenberger M, Gronauer A, Boxberger J. 2013. Changes in greenhouse gas balance and resource demand of biogas plants in southern Germany after a period of three years. *Waste Management & Research* 31(4): 368-375.
- Bachmaier H, Ebertseder F, Effenberger M, Kissel R, Rivera-Gracia Eunice, Gronauer A. 2011a. *Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern (Fortsetzung 2008-2010)*. Abschlussbericht- Projekt im Auftrag des Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, Nemačka.
- Bachmaier J, Effenberger M, Boxberger J. 2011b. Changes in Greenhouse Gas Balance and Resource Demand of German Biogas Plants over a Period of Three Years. In *Proc. VI Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment systems: Energy systems II*. Dubrovnik, Hrvatska, 25-29. septembra.
- Bachmaier J, Effenberger M, Gronauer A. 2010. Greenhouse gas balance and resource demand of biogas plants in agriculture. *Engineering in Life Sciences* 10(6): 560-569.
- Bar A, Feigenbaum E.A. 1981. *The Handbook of Artificial Intelligence*. William Kaufman Inc, Los Altos, California, SAD.
- Bischofsberger W, Rosenwinkel K-H, Dichtl H, Böhnke E, Seyfried C, Bsdok J, Schröter T. 2005. *Anaerobetechnik*. Springer, Berlin, Nemačka.
- Braun R, Laaber M, Madlener R, Brachtl E, Kirchmayr R. 2007. *Aufbau eines Bewertungssystems für Biogasanlagen – "Gütesiegel Biogas"*. Endbericht im Auftrag des BMVIT (Forschungsprogramm "Energiesysteme der Zukunft"). Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Beč, Austrija.
- Buchanan B.G, Feigenbaum E.A. 1978. Dendral and meta-dendral. *Artificial Intelligence* 11(1-2): 5-24.

- Burton CH, Turner C. 2003. *Manure Management – Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*. Silsoe Research Institute, Silsoe, Bedford, Velika Britanija.
- Crolla A, Kinsley C, Pattey E, Thiam A. 2011. *Environmental impacts from land application of digestate*. Ontario Rural Wastewater Centre, Université de Guelph-Campus d'Alfred, Alfred, Kanada.
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Martinov M, Tešić M, Gronauer A. 2012. New method for assessing the performance of agricultural biogas plants. *Renewable Energy* 40(1): 104-112.
- Đatkov Đ, Effenberger M, Gronauer A. 2010a. Vergleich der Prozesseffizienz in Biogasanlagen: Anwendung der Data Envelopment Analysis (DEA). *Landtechnik* 65(2): 132-135.
- Đatkov Đ, Effenberger M. 2010b. Data Envelopment Analysis for assessing the efficiency of biogas plants: capabilities and limitations. *Journal on Processing and Energy in Agriculture (former PTEP)* 14(3-4): 49-53.
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Gronauer A. 2009a. Assessing the overall efficiency of biogas plants by means of Data Envelopment Analysis (DEA). *PTEP* 13(2): 139-142.
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Gronauer A. 2009b. Untersuchungen zur Effizienz der Bayerischen Biogas-Pilotanlagen mittels Data Envelopment Analysis. In *Proc. 18. Symposium: Bioenergie – Festbrennstoffe, Biokraftstoffe, Biogas*, 184-188. Bad Staffelstein, Nemačka, 19-20. novembra.
- Đatkov Đ, Effenberger M, Lehner A, Gronauer A. 2009c. Assessing the overall efficiency of Bavarian pilot biogas plants. In *Proc. International Scientific Conference: Biogas Science 2009 (science meets practice)*, 707-716. Erding, Nemačka, 2-4. decembra.
- Durbach I, Stewart T. 2011. An experimental study of the effect of uncertainty representation on decision making. *European Journal of Operational Research* 214(2): 380-392.
- Dachs G, Rehm W. 2006. *Der Eigenstromverbrauch von Biogasanlagen und Potenziale zu dessen Reduzierung*. Solarenergievörderverein Bayern e.V, München, Nemačka.
- Effenberger M, Đatkov Đ. 2011. Monitoring and assessing the performance of agricultural biogas plants. In *Proc. 39th International Symposium: Actual Tasks on Agricultural Engineering*, 201-210. Opatija, Hrvatska, 22-25. februara.

- Effenberger M, Bachmaier H, Kränsel Eunice, Lehner A, Gronauer A. 2010. *Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern*. Abschlussbericht- Projekt im Auftrag des Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, Nemačka.
- Effenberger M, Lehner A, Đatkov Đ, Gronauer A. 2009. Performance figures of Bavarian agricultural biogas plants. *Contemporary Agricultural Engineering* 35(4): 219-227.
- Gärtner S, Münch J, Reinhardt G, Vogt Regine. 2008. Materialband E: Ökobilanzen. In *Optimierungen für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland*. Verbundprojekt gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Heidelberg, Leipzig, Berlin, Darmstadt, Nemačka.
- Hadjimichael M. 2009. A fuzzy expert system for aviation risk assessment. *Expert Systems with Applications* 36(3-2): 6512-6519.
- Häring G, Sonnleitner M, Zörner W, Brüggling E, Bücken Christin, Wetter C, Vogt Regine. 2010. *Handreichung zur Optimierung von Biogasanlagen*. Hochschule Ingolstadt, Fachhochschule Münster, IFEU Heidelberg, Nemačka.
- Herrero-Perez D, Martínez-Barberá H, LeBlanc K, Saffiotti A. 2010. Fuzzy uncertainty modeling for grid based localization of mobile robots. *International Journal of Approximate Reasoning* 51(8): 912–932.
- Hoffmann J. 1999. *Handbuch der Meßtechnik*. Carl Hanser Verlag, Minhen-Beč.
- Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, Velika Britanija.
- Janssen J.A.E.B, Krol M.S, Schielen R.M.J, Hoekstra A Y, de Kok J.L. 2010. Assessment of uncertainties in expert knowledge, illustrated in fuzzy rule-based models. *Ecological Modelling* 221(9): 245–1251.
- Kaiser F, Metzner T, Effenberger M, Gronauer A. 2008. *Sicherung der Prozessstabilität in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising, Nemačka.
- Kandel A. 1991. *Fuzzy expert systems*. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo.

- Keymer U, Schilcher A. 2003. *Biogasanlagen: Berechnung der Gasausbeute von Kosubstraten*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik, Minhen, Nemačka. Dostupno na: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03029/>. Pristupljeno maja 2010.
- Klir G, Yuan B. 1995. *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. Prentice Hall PTR, New Jersey, SAD.
- Lebuhn M, Effenberger M, Bachmeier J, Gronauer A. 2008. *Biogastechnologie für Hygiene und Umwelt in wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising, Nemačka.
- Lehner A, Effenberger M, Groanuer A. 2009. *Optimierung der Verfahrenstechnik landwirtschaftlicher Biogasanlagen*. Abschlussbericht an das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Freising, Nemačka.
- Liu K, Lai J.H. 2009. Decision-support for environmental impact assessment: A hybrid approach using fuzzy logic and fuzzy analytic network process. *Expert Systems with Applications* 36(3-1): 5119-5136.
- Lukehurst Clare, Frost P, Al Seadi Teodorita. 2010. *Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser*. IEA Bioenergy, Task 37: Energy from Biogas, (http://www.iea-biogas.net/_download/publi-task37/Task37_Digestate_brochure9-2010.pdf). Pristupljeno aprila 2011.
- Madlener R, Antunes C, Dias L. 2009. Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 197(3): 1084-1094.
- Martinov M, Đatkov Đ, Krstić J, Vujić G, Tešić M, Dragutinović G, Golub M, Bojić S, Brkić M, Ogrizović B. 2011. *Studija o proceni ukupnih potencijala i mogućnostima proizvodnje i korišćenja biogasa na teritoriji AP Vojvodine*. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Mauris G, Lasserre V, Foulloy L. 2000. A fuzzy approach for the expression of uncertainty in measurement. *Measurement* 29: 165–177.
- Michel J, Weiske A, Möller K. 2010. The effect of biogas digestion on the environmental impact and energy balances in organic cropping systems using the life-cycle assessment methodology. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25(3): 204-218.
- Mosier AR, Duxbury JM, Freney JR, Heinemeyer O, Minami K, Johnson DE. 1998a. Mitigating agricultural emissions of methane. *Climate Change* 40(1): 39-80.

- Mosier AR, Kroeze C, Nevison C, Oenema O, Seitzinger S, van Cleemput O. 1998b. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52: 225-248.
- Olesen JE, Scheld K, Weiske A, Weisbjerg MR, Asman WAH, Djurhuus J. 2006. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 207-220.
- Payne E.C, McArthur R.C. 1990. *Developing Expert Systems: A knowledge engineer's handbook for rules and objects*. John Wiley & Sons, New York / Chichester / Brisbane / Toronto / Singapore.
- Pöschl Martina, Shane W, Owende P. 2010. Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Applied Energy* 87(2010): 3305-3321.
- Prerau D. 1990. *Developing and managing expert systems: Proven techniques for business and industry*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Boston, Massachusetts, SAD.
- Quiñones T.S, Plöchl M, Budde J, Heiermann M. 2012. Results of batch anaerobic digestion test – effect of enzyme addition. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 14(1): 38-50.
- Ross J.T. 2010. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley Sons Ltd, Chichester, Velika Britanija.
- Samawi V, Mustafa A, Ahmad A. 2013. Arabic expert system shell. *International Arab Journal of Information Technology* 10(1): 67-75.
- Schneider M, Kandel A, Langholz G, Chew G. 1996. *Fuzzy expert system tools*. John Wiley & Sons, Chichester / Brisbane / Toronto / Singapore.
- Schöftner R, Valentin K, Schmiedinger B, Trogisch S, Haberbauer Marianne, Katzlinger Katharina, Schnitzhofer W, Weran N. 2006. *Best Biogas Practise – Monitoring und Benchmarks zur Etablierung eines Qualitätsstandards für die Verbesserung des Betriebs von Biogasanlagen und Aufbau eines österreichweiten Biogasnetzwerks*. Projektbericht im Auftrag des BMVIT (Forschungsprogramm "Energiesysteme der Zukunft"). Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Beč, Austrija.
- Scholwin F, Liebetrau J, Edelmann W. 2009. Biogasgerzeugung und –nutzung. In *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*, ed. Kaltschmitt M, Hartmann H, Hofbauer H, ch. 16, 851-931. Springer, Dordrecht / Heidelberg/ London / New York.

- Schulz W, Heitmann S, Hartmann D, Manske Sandra, Peters Erjawetz Sandra, Risse Sandra, Rübiger N, Schlüter M, Jahn Karin, Ehlers B, Havran T, Schnober M. 2007. *Verwertung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Bremer Energie Institut, Bremen, Nemačka.
- Shortliffe E.H. 1976. *Computer-Based Medical Consultation: MYCIN*. Elsevier/North Holland, New York, SAD.
- Sun J, Zhang F, Chen Z. 2012. The designment of digital greenhouse expert system. *Applied Mechanics and Materials* 190-191: 199-204.
- Verma P, Singh P, George K.V, Singh H.V, Devotta S, Singh R.N. 2009. Uncertainty analysis of transport of water and pesticide in an unsaturated layered soil profile using fuzzy set theory. *Applied Mathematical Modelling* 33(2): 770–782.
- Zadeh L.A. 1996. Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 4(2): 103–111.
- Zadeh L.A. 1975a. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning I. *Information Science* 8(3): 199–249.
- Zadeh L.A. 1975b. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning II. *Information Science* 8(4): 301–357.
- Zadeh L.A. 1975c. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning III. *Information Science* 9(1): 43–80.
- Zadeh L.A. 1965a. Fuzzy sets. *Information and control* 8(3): 338–53.
- Zadeh L.A. 1965b. Fuzzy sets and systems. In *System Theory*, ed. Fox J, ch. 12, 29–37. Polytechnik Press, Brooklyn, NY, SAD.
- Anonim. 2013a. Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije. Sl. glasnik RS, br. 08/2013.
- Anonim. 2013b. Uredba o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije. Sl. glasnik RS, br. 08/2013.
- Anonim. 2012. Fuzzy Logic Toolbox™: User's Guide. The Mathworks Inc, www.mathworks.com.
- Anonim. 2011. *VDI 4631: Gütekriterien für Biogasanlagen*. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Anonim. 2010a. *Guide to Biogas: From production to use*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, Nemačka.
- Anonim. 2010b. *Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, Nemačka.

- Anonim. 2009a. *Biogas-Messprogramm II – 61 Biogasanlagen im Vergleich*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, Nemačka.
- Anonim. 2009b. *Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*. Official Journal of the European Union.
- Anonim. 2009c. *Uredba o uslovima za sticanje statusa povlašćenog proizvođača električne energije i kriterijumima za ocenu ispunjenosti tih uslova*. Službeni glasnik Republike Srbije 72/99.
- Anonim. 2009d. *Uredba o merama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije i kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije*. Službeni glasnik Republike Srbije 99/09.
- Anonim. 2008. *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Joint Committee for Guides in Metrology, Working Group 1, (http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf). Pristupljeno avgusta 2010.
- Anonim. 2006. *Handreichung: Biogasgewinnung und -nutzung*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, Nemačka.
- Anonim. 2005. *Ergebnisse des Biogas-Messprogramms*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, Nemačka.
- Anonim. 1972. *SRPS A.F0.004: Obrada informacija – Simboli za dijagrame sistema obrade informacija*. Sl. glasnik RS, br. 58/71, Beograd.

Prilog I

Vrednosti kriterijuma za ocenu efikasnosti

Vrednosti kriterijuma za ocenu efikasnosti deset biogas postrojenja (A-J)

BGP	K1	K2	OOM	K3	K4	K5	K6	K7	K8
A	103	0,79	2,0	97,8	30,4	211	0,32	121	4,55
B	106	0,71	1,9	82,4	30,0	206	0,43	-449	2,24
C	126	0,78	2,0	93,7	65,2	-5	-0,22	347	2,61
D	123	0,98	2,6	79,3	49,4	129	0,02	451	1,45
E	130	0,97	2,7	97,1	49,0	-10	-0,19	487	6,62
F	84	0,76	3,0	91,3	58,2	131	-0,16	312	3,10
G	116	1,00	3,0	96,1	42,2	215	0,31	350	4,77
H	108	0,74	1,9	92,2	50,9	237	0,11	98	3,47
I	119	1,20	3,1	58,6	42,8	256	0,14	9	1,81
J	111	0,65	1,9	89,0	42,4	140	0,18	351	2,38

OOM: opterećenje zapremine fermentora organskom materijom

Vrednosti kriterijuma za ocenu efikasnosti pet biogas postrojenja (A2_I-I2_II)

BGP	K1	K2	K3	K4	OOM
A2_I	107	1,2	86,4	55,6	3,1
A2_II	93	1,1	79,4	46,5	3,3
B2_I	86	0,7	97,0	50,1	2,3
B2_II	90	0,7	94,3	47,1	2,2
C2_I	136	1,0	98,3	62,5	2,5
C2_II	136	1,0	97,6	63,0	2,3
G2_I	110	1,6	63,7	57,4	2,3
G2_II	115	2,4	91,5	54,6	3,2
I2_I	105	1,7	76,9	44,5	3,9
I2_II	126	2,0	87,0	33,1	3,7

OOM: opterećenje zapremine fermentora organskom materijom

Prilog II

Vrednosti parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti

Vrednosti parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti (A2_I-I2_II)

BGP	P1	P2	P3			P4			P5	P6	P7	P8		
A2_I	78,1	4,87	6,4	6,9	np	34,0	37,0	-	6,0	50,3	20,0	78,2	95,0	-
			1,5	1,4	np									
A2_II	72,9	4,87	6,2	5,3	np	33,0	36,0	-	6,5	33,2	20,0	73,8	93,8	-
			1,0	0,9	np									
B2_I	112,8	8,36	3,1	np	np	36,0	-	-	16,8	40,9	5,7	97,3	-	-
			1,4	np	np									
B2_II	147,4	8,36	3,3	5,1	2,6	42,0	-	-	15,2	47,9	10,0	95,4	-	-
			2,2	3,5	2,2									
C2_I	117,3	5,84	0,1	0,1	0,2	40,0	40,0	42,0	8,5	47,6	10,0	99,9	99,9	99,9
			0,0	0,0	0,0									
C2_II	107,2	5,84	0,1	0,2	0,2	40,0	40,0	42,0	9,4	70,6	10,0	97,3	97,6	98,1
			0,0	0,0	0,0									
G2_I	101,1	4,40	5,2	3,6	1,1	37,0	38,0	-	2,4	52,8	23,7	86,8	86,3	-
			0,3	0,2	0,0									
G2_II	64,8	4,40	5,0	5,5	5,0	38,0	38,0	-	2,4	43,9	23,9	93,6	92,2	-
			0,3	0,4	0,3									
I2_I	88,3	3,38	0,4	0,4	0,7	32,4	-	-	10,8	33,3	37,9	78,7	-	-
			0,0	0,0	0,0									
I2_II	95,2	3,38	0,8	0,8	0,9	32,1	-	-	9,2	9,9	59,9	88,7	-	-
			0,1	0,0	0,1									

BGP: biogas postrojenje.

P3: u kolonama su prikazani rezultati tri laboratorijske analize za koncentracije organskih masnih kiselina u supstratima. U prvoj vrsti prikazane su vrednosti za ukupnu masu organskih masnih kiselina, a u drugoj vrsti vrednosti za masu propionske kiseline.

P4: prikazana je električna efikasnost posebno za svako kogenerativno postrojenje, a jedino postrojenje C2 ima tri kogenerativna postrojenja.

P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja, za pojedina postrojenja ima vrednost 10 ili 20. Kod ovih postrojenja nije bilo moguće da se izmere podaci za ovaj kriterijum, već je na osnovu dostupnih podataka primenom principa ES vrednost ovog kriterijuma kvalitativno ocenjena.

Vrednosti parametara za analizu mogućnosti poboljšanja efikasnosti (A2_I-I2_II)

BGP	SP	OF	US	TF		P_e	
A2_I	VS	V	31,2	43	329	526	–
A2_II	VS	V	30,8	43	329	526	–
B2_I	VS	V	0,0	43	333	–	–
B2_II	VS	V	0,0	43	333	–	–
C2_I	VS	V	1,8	41	190	190	250
C2_II	VS	V	8,9	41	190	190	250
G2_I	VS	V	36,9	42	200	150	–
G2_II	VS	V	34,4	42	200	150	–
I2_I	VS	V	46,7	44	324	–	–
I2_II	VS	V	43,9	44	324	–	–

BGP: biogas postrojenje.

SP: broj stepeni procesa postrojenja (JS – jednostepeno, VS – višestepeno).

OF: oblik fermentora (V – vertikalni, H – horizontalni).

US: procentualni udeo stajnjaka u mešavini korišćenih supstrata.

TF: temperatura sadržaja fermentora.

P_e: instalisana nazivna električna snaga kogenerativnih postrojenja u kW_e.

Prilog III

Proračun rasprostiranja greške

K1

$$B_R = \frac{B_i}{B_t}$$

$$B_i = B_m \frac{p_0 * T_m}{p_m * T_0} = \frac{B_m * k_0 * T_m}{p_m} \quad k_0 = \frac{p_0}{T_0} \quad p_0 = 101.325 \text{ Pa} \quad T_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

B_m, T_m, p_m – izmerene vrednosti prinosa, temperature i pritiska biogasa

$$\Delta B_i = \left| \frac{\sigma B_i}{\sigma B_m} \Delta B_m \right| + \left| \frac{\sigma B_i}{\sigma T_m} \Delta T_m \right| + \left| \frac{\sigma B_i}{\sigma p_m} \Delta p_m \right|$$

$$\frac{\sigma B_i}{\sigma B_m} = \frac{k_0 * T_m}{p_m} \quad \frac{\sigma B_i}{\sigma T_m} = \frac{B_m * k_0}{p_m} \quad \frac{\sigma B_i}{\sigma p_m} = - \frac{B_m * k_0 * T_m}{p_m^2}$$

$$\Delta B_R = \left| \frac{\partial B_R}{\partial B_i} \Delta B_i \right| + \left| \frac{\partial B_R}{\partial B_t} \Delta B_t \right|$$

$$\frac{\partial B_R}{\partial B_i} = \frac{1}{B_t} \quad \frac{\partial B_R}{\partial B_t} = - \frac{B_i}{B_t^2}$$

K2

$$P_M = \frac{M_p}{V_F}$$

$$M_p = M_i \frac{p_0 * T_i}{p_i * T_0} = \frac{M_i * k_0 * T_i}{p_i} \quad k_0 = \frac{p_0}{T_0}$$

M_i, T_i, p_i – izmerene vrednosti produktivnosti, temperature i pritiska biogasa

$$\Delta M_p = \left| \frac{\sigma M_p}{\sigma M_i} \Delta M_i \right| + \left| \frac{\sigma M_p}{\sigma T_i} \Delta T_i \right| + \left| \frac{\sigma M_p}{\sigma p_i} \Delta p_i \right|$$

$$\frac{\sigma M_p}{\sigma M_i} = \frac{k_0 * T_i}{p_i} \quad \frac{\sigma M_p}{\sigma T_i} = \frac{k_0 * M_i}{p_i} \quad \frac{\sigma M_p}{\sigma p_i} = - \frac{M_i * k_0 * T_i}{p_i^2}$$

$$\Delta P_M = \left| \frac{\partial P_M}{\partial M_p} \Delta M_p \right| + \left| \frac{\partial P_M}{\partial V_F} \Delta V_F \right|$$

$$\frac{\partial P_M}{\partial M_p} = \frac{1}{V_F} \quad \frac{\partial P_M}{\partial V_F} = - \frac{M_p}{V_F^2}$$

K3

$$I_{KPETE} = \frac{E_g}{E_t} = \frac{E_g}{S_{KPETE} * 8760}$$

$$E_t = S_{KPETE} * 8760$$

S_{KPETE} – instalisana nazivna snaga kogenerativnog postrojenja; 8760– broj časova godišnje

$$\Delta I_{KPETE} = \left| \frac{\partial I_{KPETE}}{\partial E_g} \Delta E_g \right| + \left| \frac{\partial I_{KPETE}}{\partial S_{KPETE}} \Delta S_{KPETE} \right|$$

$$\frac{\partial I_{KPETE}}{\partial E_g} = \frac{1}{S_{KPETE} * 8760} \quad \frac{\partial I_{KPETE}}{\partial S_{KPETE}} = - \frac{E_g}{S_{KPETE}^2 * 8760}$$

K4

$$I_M = \frac{E_g + T_e - E_{bp}}{DTM_m}$$

$T_e = V * \rho * c_p * (t_o - t_i)$ – izračunavanje iskorišćene toplotne energije

$$\Delta T_e = \left| \frac{\partial T_e}{\partial V} \Delta V \right| + \left| \frac{\partial T_e}{\partial t_o} \Delta t_o \right| + \left| \frac{\partial T_e}{\partial t_i} \Delta t_i \right|$$

$$\frac{\partial T_e}{\partial V} = \rho * c_p * (t_o - t_i) \quad \frac{\partial T_e}{\partial t_o} = V * \rho * c_p \quad \frac{\partial T_e}{\partial t_i} = -V * \rho * c_p$$

$$DTM_m = V * CH_4 \left(\frac{v}{v} \right) * 9,97$$

V – zapremina biogasa; $CH_4 \left(\frac{v}{v} \right)$ – zapreminski udeo metana;
9,97– toplotna moć metana (kWh/Stm³)

$$\Delta DTM_m = \left| \frac{\partial DTM_m}{\partial V} \Delta V \right| + \left| \frac{\partial DTM_m}{\partial CH_4} \Delta CH_4 \right|$$

$$\frac{\partial DTM_m}{\partial V} = CH_4 \left(\frac{v}{v} \right) * 9,97$$

$$\frac{\partial DTM_m}{\partial CH_4} = V * 9,97$$

$$\Delta I_M = \left| \frac{\partial I_M}{\partial E_g} \Delta E_g \right| + \left| \frac{\partial I_M}{\partial T_e} \Delta T_e \right| + \left| \frac{\partial I_M}{\partial E_{bp}} \Delta E_{bp} \right| + \left| \frac{\partial I_M}{\partial DTM_m} \Delta DTM_m \right|$$

$$\frac{\partial I_M}{\partial E_g} = \frac{1}{DTM_m} \quad \frac{\partial I_M}{\partial T_e} = \frac{1}{DTM_m} \quad \frac{\partial I_M}{\partial E_{bp}} = - \frac{1}{DTM_m} \quad \frac{\partial I_M}{\partial DTM_m} = - \frac{E_g + T_e - E_{bp}}{DTM_m^2}$$

P1

$$HRV = \frac{V_F}{\dot{V}_S}$$

$$V_F = r^2 * \pi * H$$

r, H – poluprečnik i visina cilindričnog fermentora

$$\frac{\sigma V_F}{\sigma r} = 2 * r * \pi * H$$

$$\frac{\sigma V_F}{\sigma H} = r^2 * \pi$$

$$\Delta V_F = \left| \frac{\sigma V_F}{\sigma r} \Delta r \right| + \left| \frac{\sigma V_F}{\sigma H} \Delta H \right|$$

$$\Delta HRV = \left| \frac{\sigma HRV}{\sigma V_F} \Delta V_F \right| + \left| \frac{\sigma HRV}{\sigma \dot{V}_S} \Delta \dot{V}_S \right|$$

$$\frac{\sigma HRV}{\sigma V_F} = \frac{1}{\dot{V}_S} \qquad \frac{\sigma HRV}{\sigma \dot{V}_S} = -\frac{V_F}{\dot{V}_S^2}$$

P2

$$V_{F,S} = \frac{V_F}{S_{KPETE}}$$

$$V_F = r^2 * \pi * H$$

$$\frac{\sigma V_F}{\sigma r} = 2 * r * \pi * H$$

$$\frac{\sigma V_F}{\sigma H} = r^2 * \pi$$

$$\Delta V_F = \left| \frac{\sigma V_F}{\sigma r} \Delta r \right| + \left| \frac{\sigma V_F}{\sigma H} \Delta H \right|$$

$$\Delta V_{F,S} = \left| \frac{\sigma V_{F,S}}{\sigma V_F} \Delta V_F \right| + \left| \frac{\sigma V_{F,S}}{\sigma S_{KPETE}} \Delta S_{KPETE} \right|$$

$$\frac{\sigma V_{F,S}}{\sigma V_F} = \frac{1}{S_{KPETE}} \qquad \frac{\sigma V_{F,S}}{\sigma S_{KPETE}} = -\frac{V_F}{S_{KPETE}^2}$$

P4

$$\eta_{e,KPETE} = \frac{E_g}{H_m}$$

$$\Delta\eta_{e,KPETE} = \left| \frac{\sigma\eta_{e,KPETE}}{\sigma E_g} \Delta E_g \right| + \left| \frac{\sigma\eta_{e,KPETE}}{\sigma H_m} \Delta H_m \right|$$

$$\frac{\sigma\eta_{e,KPETE}}{\sigma E_g} = \frac{1}{H_m} \qquad \frac{\sigma\eta_{e,KPETE}}{\sigma H_m} = -\frac{E_g}{H_m^2}$$

P5

$$E_{bp,u} = \frac{E_{bp}}{E_g}$$

$$\Delta E_{bp,u} = \left| \frac{\sigma E_{bp,u}}{\sigma E_{bp}} \Delta E_{bp} \right| + \left| \frac{\sigma E_{bp,u}}{\sigma E_g} \Delta E_g \right|$$

$$\frac{\sigma E_{bp,u}}{\sigma E_{bp}} = \frac{1}{E_g} \qquad \frac{\sigma E_{bp,u}}{E_g} = -\frac{E_{bp}}{E_g^2}$$

P6

$$T_{e,u} = \frac{T_e}{T_g}$$

$$\Delta T_{e,u} = \left| \frac{\sigma T_{e,u}}{\sigma T_e} \Delta T_e \right| + \left| \frac{\sigma T_{e,u}}{\sigma T_g} \Delta T_g \right|$$

$$\frac{\sigma T_{e,u}}{\sigma T_e} = \frac{1}{T_g} \qquad \frac{\sigma T_{e,u}}{T_g} = -\frac{T_e}{T_g^2}$$

P7

$$T_{bp,u} = \frac{T_{bp}}{T_g}$$

$$\Delta T_{bp,u} = \left| \frac{\sigma_{T_{bp,u}}}{\sigma_{T_{bp}}} \Delta T_{bp} \right| + \left| \frac{\sigma_{T_{bp,u}}}{\sigma_{T_g}} \Delta T_g \right|$$

$$\frac{\sigma_{T_{bp,u}}}{\sigma_{T_{bp}}} = \frac{1}{T_g} \qquad \frac{\sigma_{T_{bp,u}}}{T_g} = -\frac{T_{bp}}{T_g^2}$$

P8

$$O_{KPETE} = \frac{E_g}{S_{KPETE} * h_P}$$

$$\Delta O_{KPETE} = \left| \frac{\sigma_{O_{KPETE}}}{\sigma_{E_g}} \Delta E_g \right| + \left| \frac{\sigma_{O_{KPETE}}}{\sigma_{S_{KPETE}}} \Delta S_{KPETE} \right|$$

$$\frac{\sigma_{O_{KPETE}}}{\sigma_{E_g}} = \frac{1}{S_{KPETE} * h_P} \qquad \frac{\sigma_{O_{KPETE}}}{\sigma_{S_{KPETE}}} = -\frac{E_g}{S_{KPETE}^2 * h_P}$$

Prilog IV

Primeri klasa efikasnosti

Ocena efikasnosti tehničkog, stanovišta zaštite životne sredine, socio-ekonomskog stanovišta i ukupne efikasnosti

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	0	0	20	30
PRIHVATLJIVO	20	30	45	55
DOBRO	45	55	70	80
ODLIČNO	70	80	100	100

Ocena relativnog prinosa biogasa (K1)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	70	70	83	87
PRIHVATLJIVO	83	87	98	102
DOBRO	98	102	108	112
ODLIČNO	108	112	125	125

Ocena produktivnosti metana (K2)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	0,40	0,40	0,55	0,65
PRIHVATLJIVO	0,55	0,65	0,95	1,05
DOBRO	0,95	1,05	1,15	1,25
ODLIČNO	1,15	1,25	1,40	1,40

Stepen iskorišćenja kogenerativnog postrojenja (K3)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	49	51	78	81
PRIHVATLJIVO	78	81	90	92
DOBRO	90	92	95	97
ODLIČNO	95	97	100	100

Stepen iskorišćenja energije metana (K4)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	25	25	G1-2	G1+2
PRIHVATLJIVO	G1-2	G1+2	G2-2	G2+2
DOBRO	G2-2	G2+2	G3-2	G3+2
ODLIČNO	G3-2	G3+2	77	77

Specifične emisije GHG (K5)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	250	270	500	500
PRIHVATLJIVO	190	210	250	270
DOBRO	-60	-40	190	210
ODLIČNO	-300	-300	-60	-40

Kumulativna potreba za energijom (K6)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	0,28	0,32	0,46	0,46
PRIHVATLJIVO	0,13	0,17	0,28	0,32
DOBRO	-0,45	-0,26	0,13	0,17
ODLIČNO	-0,50	-0,50	-0,45	-0,26

Dobit (K7)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	0	0	75	125
PRIHVATLJIVO	75	125	300	350
DOBRO	300	350	400	450
ODLIČNO	400	450	500	500

Ljudski rad (K8)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NEPRIHVATLJIVO	3,3	3,5	3,8	3,8
PRIHVATLJIVO	2,5	2,7	3,3	3,5
DOBRO	2,1	2,3	2,5	2,7
ODLIČNO	1,8	1,8	2,1	2,3

Hidrauličko retenciono vreme (P1), jednostepena biogas postrojenja

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
OPSEG 1	0	0	35	45
OPSEG 2	35	45	75	85
OPSEG 3	75	85	115	125
OPSEG 4	115	125	160	160

Hidrauličko retenciono vreme (P1), višestepena biogas postrojenja

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
OPSEG 1	0	0	35	45
OPSEG 2	35	45	75	85
OPSEG 3	75	85	115	125
OPSEG 4	115	125	155	165
OPSEG 5	155	165	200	200

Udeo stajnjaka

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
OPSEG 1	0	10	25	35
OPSEG 2	25	35	75	85
OPSEG 3	75	85	95	100

Ocena hidrauličkog retencionog vremena (P1)

Stanje efikasnosti	a1	a2	a3
KRATKO	0	2	4
SREDNJE	3	5	7
DUGAČKO	6	8	10

Specifična zapremina fermentora (P2)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
OPSEG 1	0,0	0,0	3,8	4,2
OPSEG 2	3,8	4,2	5,8	6,2
OPSEG 3	5,8	6,2	7,8	8,2
OPSEG 4	7,8	8,2	9,8	10,2
OPSEG 5	9,8	10,2	20,0	20,0

Ocena specifične zapremine fermentora (P2)

Stanje efikasnosti	a1	a2	a3
VISOKA	0	2	4
SREDNJA	3	5	7
NISKA	6	8	10

Ukupna koncentracija organskih masnih kiselin, horizontalni fermentor

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NISKA	0	0	5	7
SREDNJA	5	7	9	11
VISOKA	9	11	14	14

Koncentracija propionske kiseline, horizontalni fermentor

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NISKA	0,0	0,0	0,9	1,1
SREDNJA	0,9	1,1	1,4	1,6
VISOKA	1,4	1,6	3,0	3,0

Ukupna koncentracija organskih masnih kiselin, vertikalni fermentor

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NISKA	0,0	0,0	1,5	2,5
SREDNJA	1,5	2,5	3,5	4,5
VISOKA	3,5	4,5	8,0	8,0

Koncentracija propionske kiseline, vertikalni fermentor

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NISKA	0,0	0,0	0,9	1,1
SREDNJA	0,9	1,1	1,4	1,6
VISOKA	1,4	1,6	3,0	3,0

Ocena stabilnosti procesa anaerobne fermentacije (P3)

Stanje efikasnosti	a1	a2	a3
STABILNA	0	2	4
INDIFERENTNA	3	5	7
KRITIČNA	6	8	10

Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja (P4)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NISKA	η_o-10	η_o-8	η_o-6	η_o-4
SREDNJA	η_o-6	η_o-4	η_o-3	$\eta_o-1,5$
VISOKA	η_o-3	$\eta_o-1,5$	$\eta_o+1,5$	η_o+3

Udeo električne energije za pogon postrojenja (P5)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NIZAK	2	3	5	7
SREDNJI	5	7	9	11
VISOK	9	11	13	14

Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije (P6)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NIZAK	15	25	35	45
SREDNJI	35	45	55	65
VISOK	55	65	75	85

Udeo toplotne energije za pogon postrojenja (P7)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NIZAK	2,5	7,5	12,5	17,5
SREDNJI	12,5	17,5	22,5	27,5
VISOK	22,5	27,5	32,5	37,5

Temperaturni režim fermentora

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
MEZOFILNI	29	35	42	48
TERMOFILNI	42	48	55	61

Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja (P8)

Stanje efikasnosti	b1	b2	b3	b4
NIZAK	48	50	78	80
SREDNJI	78	80	95	97
VISOK	95	97	100	100

Prilog V

AKO-ONDA pravila

Pravila za oblast proizvodnje biogasa (O1)

Br.	Kvalitativna ocena K1	Kvalitativna ocena K2	Proizvodnja biogasa
1	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
2	ODLIČNO	DOBRO	ODLIČNO
3	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	DOBRO
4	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
5	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
6	DOBRO	DOBRO	DOBRO
7	DOBRO	PRIHVATLJIVO	DOBRO
8	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
9	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
10	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
11	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
12	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
13	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
14	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
15	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
16	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Pravila za oblast korišćenja biogasa (O2)

Br.	Kvalitativna ocena K3	Kvalitativna ocena K4	Korišćenje biogasa
1	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
2	ODLIČNO	DOBRO	DOBRO
3	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
4	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
5	DOBRO	ODLIČNO	ODLIČNO
6	DOBRO	DOBRO	DOBRO
7	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
8	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
9	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	DOBRO
10	PRIHVATLJIVO	DOBRO	DOBRO
11	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
12	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
13	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	DOBRO
14	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	DOBRO
15	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
16	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Pravila za tehničko stanovište (S1)

Br.	Kvalitativna ocena O1	Kvalitativna ocena O2	Tehničko stanovište
1	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
2	ODLIČNO	DOBRO	DOBRO
3	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
4	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
5	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
6	DOBRO	DOBRO	DOBRO
7	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
8	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
9	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
10	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
11	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
12	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
13	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
14	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
15	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
16	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Pravila za stanovište zaštite životne sredine (S2)

Br.	Kvalitativna ocena K5	Kvalitativna ocena K6	Zaštita životne sredine
1	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
2	ODLIČNO	DOBRO	ODLIČNO
3	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	DOBRO
4	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
5	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
6	DOBRO	DOBRO	DOBRO
7	DOBRO	PRIHVATLJIVO	DOBRO
8	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
9	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
10	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
11	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
12	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
13	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
14	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
15	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
16	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Pravila za socio-ekonomsko stanovište (S3)

Br.	Kvalitativna ocena K7	Kvalitativna ocena K8	Socio-ekonomija
1	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
2	ODLIČNO	DOBRO	ODLIČNO
3	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	DOBRO
4	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
5	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
6	DOBRO	DOBRO	DOBRO
7	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
8	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
9	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
10	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
11	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
12	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
13	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
14	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
15	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
16	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Pravila za ukupnu efikasnost

Br.	Kvalitativna ocena S1	Kvalitativna ocena S2	Kvalitativna ocena S3	Ukupna efikasnost
1	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
2	ODLIČNO	ODLIČNO	DOBRO	DOBRO
3	ODLIČNO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
4	ODLIČNO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
5	ODLIČNO	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
6	ODLIČNO	DOBRO	DOBRO	DOBRO
7	ODLIČNO	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
8	ODLIČNO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
9	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
10	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
11	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
12	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
13	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
14	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
15	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
16	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
17	DOBRO	ODLIČNO	ODLIČNO	ODLIČNO
18	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO	DOBRO
19	DOBRO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
20	DOBRO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
21	DOBRO	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
22	DOBRO	DOBRO	DOBRO	DOBRO
23	DOBRO	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
24	DOBRO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
25	DOBRO	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
26	DOBRO	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
27	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
28	DOBRO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
29	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
30	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
31	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
32	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Pravila za ukupnu efikasnost – nastavak

Br.	Kvalitativna ocena S1	Kvalitativna ocena S2	Kvalitativna ocena S3	Ukupna efikasnost
33	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
34	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
35	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
36	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
37	PRIHVATLJIVO	DOBRO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
38	PRIHVATLJIVO	DOBRO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
39	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
40	PRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
41	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
42	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
43	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
44	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
45	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
46	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
47	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
48	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
49	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	ODLIČNO	DOBRO
50	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	DOBRO	DOBRO
51	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
52	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
53	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	ODLIČNO	DOBRO
54	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	DOBRO	DOBRO
55	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
56	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
57	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	ODLIČNO	PRIHVATLJIVO
58	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	DOBRO	PRIHVATLJIVO
59	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO
60	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
61	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	ODLIČNO	NEPRIHVATLJIVO
62	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	DOBRO	NEPRIHVATLJIVO
63	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	PRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO
64	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO	NEPRIHVATLJIVO

Prilog VI

Izvod iz programskog koda u *Matlab-u*

Primena za sve metode

Definisanje fazi klasa efikasnosti

```
point_n1 = 1000; % određivanje rezolucije funkcije pripadnosti
min_x1 = 0; max_x1 = 100; % univerzalni skup je [min_x1, max_x1]
x1 = linspace(min_x1, max_x1, point_n1); % definisanje linearnog okruženja za promenljive
N = trapmf(x1, [0 0 20 30]); % fazi interval: neprihvatljivo
P = trapmf(x1, [20 30 45 55]); % fazi interval: prihvatljivo
D = trapmf(x1, [45 55 70 80]); % fazi interval: dobro
O = trapmf(x1, [70 80 100 100]); % fazi interval: odlično
```

Euklidijansko rastojanje – konačni zaključak za proizvodnju biogasa i klase efikasnosti

```
T(1) = norm(PB-O); % Euklidijansko rastojanje: PB/O
T(1) = sqrt(sum(abs(PB-O).^2));
T(2) = norm(PB-D); % Euklidijansko rastojanje: PB/D
T(2) = sqrt(sum(abs(PB-D).^2));
T(3) = norm(PB-P); % Euklidijansko rastojanje: PB/P
T(3) = sqrt(sum(abs(PB-P).^2));
T(4) = norm(PB-N); % Euklidijansko rastojanje: PB/N
T(4) = sqrt(sum(abs(PB-N).^2));
```

Kvalitativna ocena – dodeljivanje kvalitativnog stanja konačnom zaključku

```
S3 = [T(1) T(2) T(3) T(4)];
Q3 = min(S3);
if Q3 == T(1)
    disp('Efikasnost stanovišta proizvodnje biogasa je Odlična')
elseif Q3 == T(2)
    disp('Efikasnost stanovišta proizvodnje biogasa je Dobra')
elseif Q3 == T(3)
    disp('Efikasnost stanovišta proizvodnje biogasa je Prihvatljiva')
elseif Q3 == T(4)
    disp('Efikasnost stanovišta proizvodnje biogasa je Neprihvatljiva')
end
```

Defazifikacija konačnog zaključka za stanovište proizvodnja biogasa

```
CPB = defuzz(x1,PB,'centroid'); % Defazifikacija metodom centroida
```

Primena za metodu 1a i 2a – aritmetički proračuni sa fazi brojevima

Aritmetički proračuni za kombinovanje fazi brojeva za K1 i K2

```
NUBP1 = fuzarith(x1, K1, KWPB1, 'prod'); % proizvod fazi broja za K1 i odgovarajuće težine
NUBP2 = fuzarith(x1, K2, KWPB2, 'prod'); % proizvod fazi broja za K2 i odgovarajuće težine
NUBP = fuzarith(x1, NUPB1, NUPB2, 'sum'); % zbir ponderisanih fazi brojeva za K1 i K2
KWBP = fuzarith(x1, KWPB1, KWPB2, 'sum'); % zbir fazi težina kriterijuma za K1 i K2
BP = fuzarith(x1, NUPB, KWPB, 'div'); % izračunavanje rezultujućeg fazi broja
```

Primena za metodu 1b i 2b – sistem za zaključivanje

Izračunavanje stepena konzistentnosti – fazi klasa efikasnosti i fazi broj za K1

```
[r1,c1]=size(K1U); % identifikacija dimenzija vektora u vidu fazi broja
for i=1:r1;
    for j=1:c1;
        PY1 = min(K1U(:,j),K1(:,j)); % određivanje standardnog fazi preseka
        RY1 = max(min(K1U(:,j),K1(:,j))); % određivanje visine standardnog fazi preseka
    end
end
```

Određivanje stepena konzistentnosti za implikaciju od vrednosti za K1 i K2

```
PB_R1 = min(RY4,RP4); % stepen konzistentnosti dobijen funkcijom min
PB_R2 = min(RY4,RP3); % stepen konzistentnosti dobijen funkcijom min
...
PB_R16 = min(RY1,RP1); % stepen konzistentnosti dobijen funkcijom min
```

Implikacija – određivanje zaključaka za svako definisano pravilo

```
BCP1 = min(PB_R1,E); % odsecanje fazi intervala u zaključku
...
BCP3 = min(PB_R3,G); % odsecanje fazi intervala u zaključku
...
BCP8 = min(PB_R8,A); % odsecanje fazi intervala u zaključku
...
BCP16 = min(PB_R16,U); % odsecanje fazi intervala u zaključku
```

Agregacija – određivanje konačnog zaključka efikasnosti proizvodnje biogasa

```
[r3,c3]=size(O);
for i=1:r3;
    for j=1:c3;
        BPC12(:,j)= BCP1(:,j) + BCP2(:,j); % kombinovanje pojedinačnih zaključaka implikacije
        ...
        BPC916(:,j)= BPC912(:,j) + BPC1316(:,j); % kombinovanje pojedinačnih zaključaka implikacije
    end
end
PB = min(1,PBP); % određivanje normalnog fazi intervala u zaključku
```

Prilog VII

Rezultati metode 2a

B2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA

Odgovor_P16_O140_V4

Dijagnoza

Priloženi podaci su netačni.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	VISOK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P2_O2_V8

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem električne energije za pogon postrojenja može da se plasira više električne energije u električnu mrežu, tj. da se smanje pogonski troškovi. Najveći korisnici električne energije biogas postrojenja su po pravilu mešači, prinudni hladnjak kogenerativnog postrojenja i dozatori supstrata.

B2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	KRITIČNA

Odgovor_P16_O140_V4

Dijagnoza

Priloženi podaci su netačni.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	VISOK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	SREDNJI

Odgovor_P3_O2_V8

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je visok. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem električne energije za pogon postrojenja može da se plasira više električne energije u električnu mrežu, tj. da se smanje pogonski troškovi. Najveći korisnici električne energije biogas postrojenja su po pravilu mešači, prinudni hladnjak kogenerativnog postrojenja i dozatori supstrata.

C2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P4_O32_V4

Dijagnoza

Priloženi podaci su netačni.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P1_O5_V3

Dijagnoza

Instalisanog kogenerativnog postrojenja radi sa visokim iskorišćenjem snage i biogas se efikasno koristi. Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je srednji. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U oblasti korišćenja biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti. Razmotriti mogućnosti za eventualno veće iskorišćenje toplotne energije.

C2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P4_O32_V4

Dijagnoza

Priloženi podaci su netačni.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	VISOK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P1_O4_V3

Dijagnoza

Instalisano kogenerativno postrojenje radi sa visokim iskorišćenjem snage i biogas se efikasno koristi. Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja i iskorišćenje toplotne energije su visoki. Udeo električne energije za pogon postrojenja je srednji. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U oblasti korišćenja biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti. Razmotriti mogućnosti za eventualno veće iskorišćenje toplotne energije.

G2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P10_O86_V1

Dijagnoza

Priloženi podaci su netačni.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom korišćenih supstrata, zapreminom fermentora, instalisanom snagom kogenerativnog postrojenja, količinom proizvedenog biogasa i generisanom električnom energijom i sprovesti aktuelnu laboratorijsku analizu sadržaja fermentora. Ponoviti ocenu efikasnosti s aktuelnim podacima.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Step en opterećenja kogenerativnog postrojenja	SREDNJI

Odgovor_P13_O17_V2

Dijagnoza

Priloženi podaci su netačni.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Proveriti i potvrditi tačnost priloženih podataka u vezi sa količinom generisane električne energije, efikasnim korišćenjem toplotne energije i količine električne energije za pogon postrojenja.

G2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	INDIFERENTNA BEZ TENDENCIJE

Odgovor_P5_O41_V4

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je dovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je dobar. Produktivnost metana je odlična. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je srednje. Zbog potpunog iskorišćenja snage instalisanog kogenerativnog postrojenja postoji rizik od gubitka biogasa zbog prekomerne produkcije. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena. U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji značajna potreba za poboljšanjem efikasnosti biogas postrojenja.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Da bi se smanjio rizik od gubitka biogasa zbog prekomerne produkcije i da se poveća razgradnja korišćenih supstrata (veći prinos biogasa), može jedino minimalno da se smanji opterećenje zapremine fermentora organskom materijom.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	SREDNJI

Odgovor_P2_O8_V7

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za eventualno veće iskorišćenje toplotne energije.

I2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P10_O86_V2.1**Opis**

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je dovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je dobro, ali ne potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je prihvatljiv. Produktivnost metana je dobra. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je srednje, i pored toga su korišćeni supstrati nedovoljno razgrađeni. Postoji opasnost da se stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremeti.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Redukovati opterećenje zapremine fermentora organskom materijom za 10 do 20 %, u cilju smanjenja nestabilnosti procesa anaerobne fermentacije i povećanja razgradnje korišćenih supstrata. Ponoviti ocenu efikasnosti u narednih dve do četiri sedmice s aktuelnim podacima.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	VISOK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	NIZAK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	VISOK
P8: Step en opterećenja kogenerativnog postrojenja	SREDNJI

Odgovor_P11_O12_V1**Dijagnoza**

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je visok. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je zbog termofilnog režima rada fermentora visok.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za značajno veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem toplotne energije za pogon postrojenja, u sledećem koraku može eventualno da se iskoristi još više toplotne energije. Ovo je moguće izmenom konfiguracije biogas postrojenja, za čiju investiciju je potrebno da se unapred prover i izvodljivost. Smanjenje temperature procesa sprovodi se postepeno i kontrolisano i ne ispod 48 °C. Ako se sprovode ovakve mere, posavetovati se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije. Smanjenjem električne energije za pogon postrojenja može da se plasira više električne energije u električnu mrežu, tj. da se smanje pogonski troškovi. Najveći korisnici električne energije biogas postrojenja su po pravilu mešači, prinudni hladnjak kogenerativnog postrojenja i dozatori supstrata.

I2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	SREDNJA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P1_O5_V3

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je dovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je dobro, ali ne potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa i produktivnost metana su odlični. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	NIZAK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	VISOK
P8: Step opterećenja kogenerativnog postrojenja	SREDNJI

Odgovor_P8_O15_V1

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je srednji. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je zbog termofilnog režima rada fermentora visok.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za značajno veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem toplotne energije za pogon postrojenja, u sledećem koraku može eventualno da se iskoristi još više toplotne energije. Ovo je moguće izmenom konfiguracije biogas postrojenja, za čiju investiciju je potrebno da se unapred proverí izvodljivost. Smanjenje temperature procesa sprovodi se postepeno i kontrolisano i ne ispod 48 °C. Ako se sprovode ovakve mere, posavetujte se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije.

Prilog VIII

Rezultati metode 2b

B2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	VISOKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	NEDOVOLJAN BROJ PODATAKA

Odgovor_P12_O103_V4.5**Opis**

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je velika. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je prihvatljiv. Produktivnost metana je neprihvatljiva. Stabilnost procesa anaerobne fermentacije je verovatno poremećena, iako je opterećenje zapremine fermentora organskom materijom srednje. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja na biogas postrojenju je značajno poddimenzionisana.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razlog za mogući poremećaj stabilnosti procesa anaerobne fermentacije može da bude visoko opterećenje zapremine fermentora organskom materijom. Sprovesti laboratorijske analize sadržaja fermentora, a zatim ponoviti ocenu efikasnosti i prodiskutovati dobijene rezultate sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije. **Alternativna mera za poboljšanje efikasnosti:** Kada bi se ostvarila veću produktivnost biogasa na postrojenju, moglo bi da se instalise kogenerativno postrojenje veće snage. Ako se sprovodi povećanje snage kogenerativnog postrojenja, posavetovati se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	VISOK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Step en opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P3_O2_V8**Dijagnoza**

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je visok. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem električne energije za pogon postrojenja može da se plasira više električne energije u električnu mrežu, tj. da se smanje pogonski troškovi. Najveći korisnici električne energije biogas postrojenja su po pravilu mešači, prinudni hladnjak kogenerativnog postrojenja i dozatori supstrata.

B2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	DUGAČKO
P2: Specifična zapremina fermentora	VISOKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	KRITIČNA

Odgovor_P11_O91_V3.4

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je dugačko. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je velika. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je dobro, ali ne potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa i produktivnost metana su prihvatljivi. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je nisko i pored toga su korišćeni supstrati nedovoljno razgrađeni. Postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razlog za nestabilnost procesa može da bude nedostatak hemijskih mikro elemenata ili previše visoka koncentracija azota u sastavu amonijaka u sadržaju fermentora. U toku naredna dva dana sprovesti analizu sadržaja fermentora u relevantnoj laboratoriji i proveriti stabilnost procesa anaerobne fermentacije.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	VISOK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P8_O2_V8

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je visok. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem električne energije za pogon postrojenja može da se plasira više električne energije u električnu mrežu, tj. da se smanje pogonski troškovi. Najveći korisnici električne energije biogas postrojenja su po pravilu mešači, prinudni hladnjak kogenerativnog postrojenja i dozatori supstrata.

C2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	DUGAČKO
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P2_O12_V4

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je dugačko. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je odličan. Produktivnost metana je dobra. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je nisko. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena. Zbog potpunog iskorišćenja snage instalisanog kogenerativnog postrojenja postoji rizik od gubitka biogasa zbog prekomerne produkcije. U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji značajna potreba za poboljšanjem efikasnosti.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Da bi se smanjio rizik od gubitka biogasa zbog prekomerne produkcije, može jedino minimalno da se smanji opterećenje zapremine fermentora organskom materijom.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P1_O5_V3

Dijagnoza

Instalisanog kogenerativnog postrojenja radi sa visokim iskorišćenjem snage i biogas se efikasno koristi. Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je srednji. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U oblasti korišćenja biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti. Razmotriti mogućnosti za eventualno veće iskorišćenje toplotne energije.

C2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P2_O15_V4

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je odličan. Produktivnost metana je dobra. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je srednje. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena. Zbog potpunog iskorišćenja snage instalisanog kogenerativnog postrojenja postoji rizik od gubitka biogasa zbog prekomerne produkcije. U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji značajna potreba za poboljšanjem efikasnosti.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Da bi se smanjio rizik od gubitka biogasa zbog prekomerne produkcije, može jedino minimalno da se smanji opterećenje zapremine fermentora organskom materijom.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	VISOK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P1_O4_V3

Dijagnoza

Instalisanog kogenerativnog postrojenja radi sa visokim iskorišćenjem snage i biogas se efikasno koristi. Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja i iskorišćenje toplotne energije su visoki. Udeo električne energije za pogon postrojenja je srednji. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je nizak.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U oblasti korišćenja biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti. Razmotriti mogućnosti za eventualno veće iskorišćenje toplotne energije.

G2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P2_O6_V1

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je loše iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa i produktivnost metana su odlični. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je visoko. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja na biogas postrojenju je značajno predimenzionisana. Zbog toga snaga teško može da se iskoristi sa postojećim fermentorima. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena. U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji značajna potreba za poboljšanjem efikasnosti.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Odgovarajućim dimenzionisanjem zapremine fermentora ili nazivne snage kogenerativnog postrojenja, pogon biogas postrojenja mogao bi da bude optimalan i da se poboljša ukupna efikasnost.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Step en opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P14_O17_V7

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije.

G2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	KRATKO
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	INDIFERENTNA BEZ TENDENCIJE

Odgovor_P1_O9_V3

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je kratko. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je dobro, ali ne potpuno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa i produktivnost metana su odlični. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji potreba za poboljšanjem efikasnosti.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	VISOKA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	NIZAK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	SREDNJI
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P6_O8_V7

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je visoka, ali je toplotna energija samo delimično iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je nizak. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je srednji.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za veće iskorišćenje toplotne energije.

I2_I

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P5_O42_V1

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je loše iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa je dobar. Produktivnost metana je odlična. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja na biogas postrojenju je značajno predimenzionisana. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je srednje. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

U cilju većeg iskorišćenja snage instalisanog kogenerativnog postrojenja, može da se poveća opterećenje zapremine fermentora organskom materijom. Ipak postoji rizik od nedovoljne razgradnje korišćenih supstrata (smanjenje prinosa biogasa). Povećanje opterećenja zapremine fermentora organskom materijom ne treba da se sprovede momentalno, nego korak po korak.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	VISOK
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	NIZAK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	VISOK
P8: Stepen opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P16_O12_V4

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je visok. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je visok.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za značajno veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem toplotne energije za pogon postrojenja, u sledećem koraku može eventualno da se iskoristi još više toplotne energije. Ovo je moguće izmenom konfiguracije biogas postrojenja, za čiju investiciju je potrebno da se unapred proverí izvodljivost. Smanjenje temperature procesa sprovodi se postepeno i kontrolisano i ne ispod 35 °C. Ako se sprovode ovakve mere, posavetovati se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije. Smanjenjem električne energije za pogon postrojenja može da se plasira više električne energije u električnu mrežu, tj. da se smanje pogonski troškovi. Najveći korisnici električne energije biogas postrojenja su po pravilu mešači, prinudni hladnjak kogenerativnog postrojenja i dozatori supstrata.

I2_II

Oblast proizvodnje biogasa

Parametar	Ocena
P1: Hidrauličko retenciono vreme	SREDNJE
P2: Specifična zapremina fermentora	NISKA
P3: Stabilnost procesa anaerobne fermentacije	STABILNA

Odgovor_P1_O6_V2

Opis

Hidrauličko retenciono vreme zadržavanja supstrata u biogas postrojenju je srednje. U odnosu na instalisanu nazivnu snagu kogenerativnog postrojenja, zapremina fermentora je nedovoljna. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja nije dovoljno iskorišćena.

Dijagnoza

Prinos biogasa i produktivnost metana su odlični. Opterećenje zapremine fermentora organskom materijom je visoko. Snaga instalisanog kogenerativnog postrojenja je delimično predimenzionisana. Ne postoje naznake da je stabilnost procesa anaerobne fermentacije poremećena. U oblasti proizvodnje biogasa ne postoji značajna potreba za poboljšanjem efikasnosti. Može jedino da se instalise kogenerativno postrojenje manje snage, koji će se koristiti efikasnije.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Odgovarajućim dimenzionisanjem zapremine fermentora ili nazivne snage kogenerativnog postrojenja, pogon biogas postrojenja mogao bi da bude optimalan i da se poboljša ukupna efikasnost.

Oblast korišćenja biogasa

Parametar	Ocena
P4: Električna efikasnost kogenerativnog postrojenja	SREDNJA
P5: Udeo električne energije za pogon postrojenja	SREDNJI
P6: Udeo efikasno iskorišćene toplotne energije	NIZAK
P7: Udeo toplotne energije za pogon postrojenja	VISOK
P8: Step en opterećenja kogenerativnog postrojenja	VISOK

Odgovor_P12_O15_V4

Dijagnoza

Električna efikasnost instalisanog kogenerativnog postrojenja je srednja, ali je toplotna energija nedovoljno iskorišćena. Udeo električne energije za pogon postrojenja je srednji. Udeo toplotne energije za pogon postrojenja je visok.

Predložena mera za poboljšanje efikasnosti

Razmotriti mogućnosti za značajno veće iskorišćenje toplotne energije. Smanjenjem toplotne energije za pogon postrojenja, u sledećem koraku može eventualno da se iskoristi još više toplotne energije. Ovo je moguće izmenom konfiguracije biogas postrojenja, za čiju investiciju je potrebno da se unapred prover i izvodljivost. Smanjenje temperature procesa sprovodi se postepeno i kontrolisano i ne ispod 35 °C. Ako se sprovode ovakve mere, posavetovati se sa stručnjakom iz oblasti biogas tehnologije.
