Pogonske karakteristike bioplinskih elektrana

Knežević, Marinko

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:865768

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Diplomski studij

POGONSKE KARAKTERISTIKE BIOPLINSKIH ELEKTRANA

Diplomski rad

Marinko Knežević

Osijek, 2016.

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Osijek, 12.12.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za obranu diplomskog rada

Ime i prezime studenta:	Marinko Knežević
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-772, 10.10.2016.
OIB studenta:	07984369524
Mentor:	Doc.dr.sc. Danijel Topić
Sumentor:	
Predsjednik Povjerenstva:	Prof.dr.sc. Damir Šljivac
Član Povjerenstva:	Doc.dr.sc. Goran Knežević
Naslov diplomskog rada:	Pogonske karakteristike bioplinskih elektrana
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Zadatak diplomskog rada:	U radu je potrebno opisati osnovne karakteristike bioplinskh elektrana. Dati pregled stanja bioplinskih elektrana u Republici Hrvatskoj. Istražiti dostupnu literaturu o radu i pogonskim karakteristikama bioplinskih elektrana te dati pregled provedenih istraživanja opisanih u dostupnoj literaturi. U praktičnom dijelu rada potrebno je obraditi dostupne podatke o radu i pogonskim događajima bioplinskih elektrana.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 Jasnoća pismenog izražavanja: 2 Razina samostalnosti: 3
Datum prijedloga ocjene mentora:	12.12.2016.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FERIT
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek,

Ime i prezime studenta:	MARINKO KNEŽEVIĆ
Studij :	Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike
Mat. br. studenta, godina upisa:	D-772, 2013.god.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**:**

Pogonske karakteristike bioplinskih elektrana

izrađen pod vodstvom mentora

Doc.dr.sc. Danijel Topić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1 UVOD 1
2 PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOPLINA 2
2.1 Anaerobna digestija 2
2.1.1 Povijest anaerobne digestije 3
2.1.2 Supstrati za anaerobnu digestiju 6
2.1.3 Biokemijske reakcije u anaerobnoj digestiji 10
2.1.4 Uvjeti i veličine koje utječu na AD 15
2.1.5 Prednosti i nedostaci anaerobne digestije 17
2.2 Bioplin i digestat kao nusprodukti anaerobne digestije 18
2.2.1 Bioplin sastav 18
2.2.2 Korištenje bioplina 20
2.2.3 Tehnologije nadogradnje bioplina 21
2.2.4 Digestat 25
2.3 Bioplinska postrojenja i dijelovi bioplinskih postrojenja 27
2.3.1 Sustav skladištenja sirovine 28
2.3.2 Sustav punjenja 30
2.3.3 Sustav grijanja 30
2.3.4 Fermentor i vrste fermentora bioplinskih postrojenja 31
2.3.5 Miješanje i vrste miješanja digestata 35
2.3.6 Spremište bioplina 36
2.3.7 Plamen (baklja) za bioplin 36
2.3.8 Skladište digestata 37
2.3.9 Kogeneracijsko postrojenje 37
2.4 Priključak bioplinskih elektrana na mrežu 38
2.4.1 Zakonodavnim uvjeti priključka proizvođača na mrežu i temeljni dokumenti 39
2.4.2 Tehnički uvjeti priključenja proizvođača na mrežu 39
2.4.3 Spoj elektrane na mrežu 43
2.4.4 Probni rad 44
2.4.5 Posljedice priključka elektrana na NN mrežu 45
3 POUZDANOST BIOPLINSKIH ELEKTRANA 47
3.1 Različiti aspekti pouzdanosti 47
3.1.1 Ekonomska pouzdanost 47
3.1.2 Okolišna pouzdanost 47
3.1.3 Materijalna pouzdanost 48
3.1.4 Pouzdanost s obziom na način i mjesto priključka na mrežu 49
3.2 Analitičke metode proračuna pouzdanosti elektrane 52

3.2.1 Vjerojatnost toka snage (PLF – Probabilistic load flow) ... 53
3.2.2 Linearna aproksimacija ... 54
3.2.3 Momenti i kumulanti ... 55
3.2.4 Metoda rezolucije ... 55
3.3 Procjena pouzdanosti ... 56
3.3.1 Vjerojatnost kvara u energetskom sustavu ... 56
3.3.2 Vjerojatnost kvara vodova ... 57
3.3.3 Vjerojatnost pojave kontingencije ... 58
3.3.4 Mjerenje vjerojatnosti kvara sustava ... 58
3.3.5 Procjena ukupne pouzdanosti sustava ... 60
3.3.6 Model vjerojatnosti elektrane na biomasu ... 60
4 ANALIZA RADA BIOPLINSKIH ELEKTRANA ... 61
4.1 Opis elektrane ... 61
4.2 Analiza zastoja bioplinskih elektrana ... 62
4.3 Raspoloživosti bioplinskog postrojenja ... 65
4.4 Opisi zastoja ... 66
4.5 Analiza zastoja ... 70
5 ZAKLJUČAK ... 75
LITERATURA ... 76
SAŽETAK ... 78
ABSTRACT ... 79
ŽIVOTOPIS ... 80

1 UVOD

Zbog sve veće potrošnje i ograničenosti izvora fosilnih goriva čovječanstvo je prisiljeno tražiti alternativne izvore energije među kojim su bioplinska postrojenja. Ekonomska isplativost i dostupnost tehnologije sve više privlači privatne investitore, ali i državne tvrtke da se odluče na izgradnju, jer pruža mnoge gospodarske mogućnosti regiji i investitoru koji ga je izgradio. Bioplinska postrojenja spadaju u obnovljive izvore energije, tako da su osim s ekonomskog stajališta ona i ekološki prihvatljv izvor energije. Osim same igradnje ova se vrsta postrojenja zbog svoje složenosti proizvodnje energije susreće s nizom problema u radu. Osnovni problemi nastaju zbog načina na koji je elektroenergetski sustav projektiran, jer se posljednjih 50-ak godina priključak proizvodnje električne energije uglavnom vršio preko prijenosnog dijela EES. Zbog povećanog broja izgradnje alternativnih izvora energije sve se veći broj priključuje na distribucijsku mrežu. Veći broj zastoja iz raznih razloga u odnosu na prijenosni dio elektroenergetskog sustava u ovom dijelu mreže smanjuje raspoloživost distribuirane proizvodnje u odnosu na izvore spojene na prijenosnu mrežu. Ovaj će rad pokušati pokazati da najveći utjecaj na rad bioplisnkog postrojenja, ali i druge distribucijske proizvodnje ima stabilnost tog dijela elektroenergetskog sustava.

2 PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOPLINA

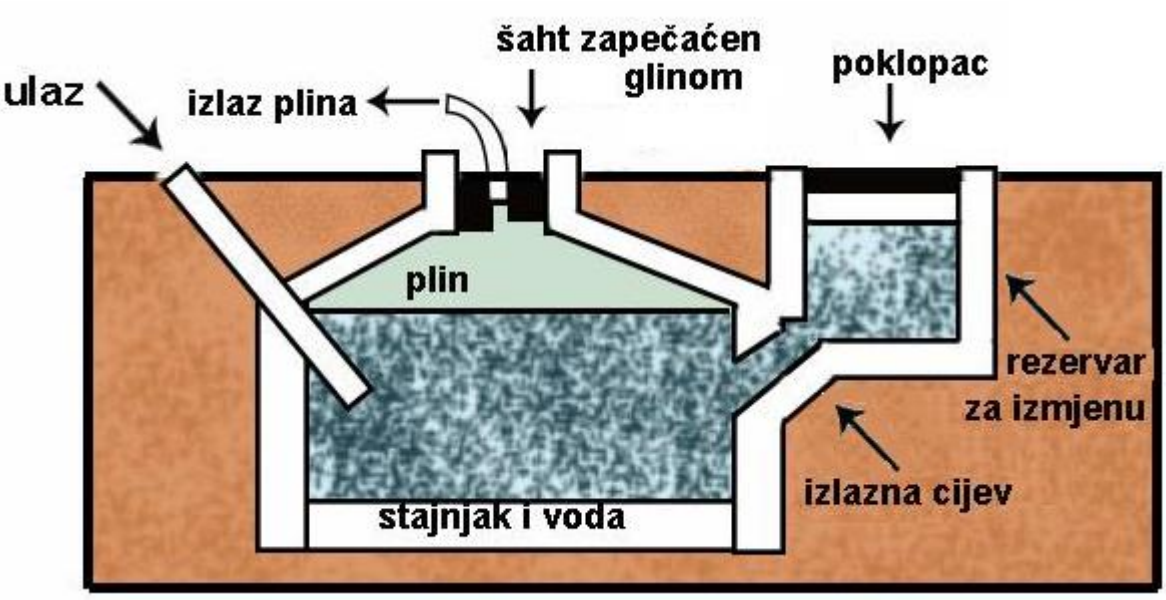
Osnovna je karakteristika bioplina njegova zapaljivost, iz čega proizlazi da se energija pohranjena u bioplinu izgaranjem pretvara u toplinsku, zatim u električnu. Najrašireniji je način proizvodnje električne energije iz bioplina direktnim izgaranjem u kotlovima ili gorionicama; u manjim se postrojenjima koriste razni motori koji rade na principu unutarnjeg izgaranja bioplina kao što su plinski-otto motor, plinski-dizel motor s pilot paljenjem i Stirlingov motor. Tehnologija u razvoju je dobivanje električne energije dodavanjem bioplina u gorive ćelije. Dobivanje električne energije iz bioplina u principu je isto kao i iz fosilnih goriva u konvencionalnim elektranama, ali način na koji se dobiva bioplin i plinovi koji nastaju njegovim izgaranjem čine ga ekološki prihvatljivim gorivom. Bioplin nastaje anaerobnom razgradnjom ili fermentacijom organskih tvari, uključujući gnojivo, komunalni otpad ili bilo koji drugi biorazgradivi otpad i uglavnom se sastoji od metana i ugljikovog dioksida.

2.1 Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je proces dobivanja bioplina iz organskog otpada pomoću posebne vrste bakterija. Najstarija vrsta digestije na Zemlji dogodila se prirodnim putem u organskom okruženju bez prisustva kisika kao što su močvare, rižina polja, odlagališta otpada i hrpe stočnog stajnjaka. Anaerobna digestija ima mnogo prednosti za čovječanstvo, a ruralna područja u prošlosti su ga koristila za proizvodnju gnojiva, međutim u novija doba procesom je ovladano i osim običnog organskog otpada u proces se dodaju i složenije organske materija kao što su dijelovi komunalnog otpada, poljoprivredne i industrijske otpadne vode. Preradom otpada i iskorištavanjem produkta koje nam daje anaerobna digestija bitno je smanjena količina otpada koja se šalje na odlagališta, a time i količina metana koji raspadom otpada neiskorišten u atmosferi doprinosi efektu staklenika.

2.1.1 Povijest anaerobne digestije

Prvi pokazatelji korištenja anaerobne digestije sežu u 10 stoljeće kada su Asirci oslobođenu toplinu tijekom truljenja koristili kako bi zagrijali vodu za kupanje. Ipak to je povijesno beznačajna upotreba sve dok nije u Europi početkom 17. stoljeća utvrđeno da propadanje organske tvari osim topline proizvodi i zapaljive plinove, koji se opet koriste za grijanje vode. 1890. godine grad Exter u Velikoj Britaniji u potpunosti je iskoristio proces kako bi pročistio otpadne vode i smanjio količinu otpadnog mulja. Od tada ga gradovi kontinuirano primjenjuju kao način za stabilizaciju otpadnog kanalizacijonog mulja. Prvi sistemi razgradnje bili su veliki i bez grijanja, s tankovima koji se nisu mogli miješati, tako da su kao posljedica toga nastajali problemi stvaranja čvrstoga taloga i formiranja pjene. Ovi česti poremećaji u razgradnji ograničili su potpunim ovladavanjem anaerobnom digestijom sve do 20. stoljeća. Ruralna područja zemalja koje su u razvoju koriste proces anaerobne digestije od davnina, koriste ga za čist i ekonomičan način tretiranja otpada i dobivanja goriva za grijanje i kuhanje. Mnoge takve građevine i dalje su funkcionalne u zemljama poput Kine i Indije, gdje organski otpad čini većinu otpada koji proizvodi kućanstvo. U Kini na primjer organski otpad čini 60% ukupnog otpada, a u ruralnim područjima postotak je i veći. Velika većina digestora su mali s minimalnom tehničkom automatizacijom i većina procesa se mora obaviti ručno. (Sl.2.1.) **[1]**



Slika 2.1. *Fiksni anaerobni digestor kakvih još uvijek ima u nekim zemljama tranzicije*

Ovakvi digestori uglavnom koriste kombinaciju organskog otpada, ostataka hrane, ljudskog i životinjskog stajnjaka i obično ih koristi nekoliko stambenih jedinica u naselju.

Razvoj znanosti na području mikrobiologije tridesetih godina prošlog stoljeća omogućio je znanstvenicima da shvate kako je za proizvodnju bioplina odgovoran niz različitih mikroorganizama. Naknadnim eksperimentima utvrđeni su optimalni uvjeti za proizvodnju bioplina. Kao rezultat toga sredinom 20. stoljeća na tržište Europe dolazi kompleksniji digestor od prethodno opisanog s digestatom koji se može miješati. Prve komercijalne primjene digestora bile su na farmama gdje se stočni stajnjak koristi za proizvodnju topline, a kasnije i struje. Sa stečenim iskustvom anaerobna se digestija tada počinje koristiti za tretiranje i drugih vrsta otpada, kao što su otpadne vode, industrijski organski i konačno kruti komunalni otpad, iako i dalje prevladava upotreba na farmama. Energetska kriza sedamdesetih godina prošlog stoljeća potaknula je američka istraživanja alternativnih načina dobivanja energije. Takav razvoj događaja rezultirao je prvom izgrađenom farmom u SAD-u gdje se bioplin koristio za dobivanjem topline i električne energije. Zbog jeftinog odlaganja otpada i pojeftinjenja energenata razvoj proizvodnje bioplina u SAD-u usporava. Kroz poticaj državnih institucija i pilot projekata u posljednjih 30 godina upotreba anaerobnih digestora dramatično se povećava u Europi. Rad akademske zajednice uvelike je doprinijeo ulasku ove vrste obnovljive energije u komercijalnu fazu. Razvoju su također doprinijeli skuplje odlaganje otpada, stroži zakoni, uključenje obnovljivih izvora energije u zakonodavstvo i veći porezi na zagađenje okoliša. Posljednjim razvojem u tehnologiji anaerobne digestije ovaj način tretiranja industrijskog otpada i otpadnih voda postaje svjetski raširen, a u Europi, Aziji i Australiji postaje prva opcija u tretiranju otpada u različitim granama industrija od tvornice papira preko pivovara, sve do prehrambene industrije.



Slika 2.2. *Postrojenje za proizvodnju bioplina iz ostataka hrane i pakirane hrane (Beč, Austrija) [2]*

Dizajn suvremenih postrojenja zahtijeva kratko vrijeme zadržavanja sirovine, male reaktore, češća punjenja što je značajno za njihov rad u urbanim sredinama. Prednosti korištenja ovog načina zbrinjavanja organskog otpada jesu smanjenje neugodnog mirisa u odlagalištima, količina proizvedenog otpada, ali i dezinfekcija gradskih deponija. Organski dio komunalnog krutog otpada proizvedenog u današnje vrijeme može sadržavati ostatke hrane, životinjski otpad ili papir u različitim koncentracijama, veličinama i sastavima. Osim toga kruti otpad sada sadrži sve veću količinu neorganskih tvari kao što su staklo i metali. Tretiranje otpada u današnje vrijeme korištenjem anaerobne digestije pred čovječanstvo stavlja nove izazove zbog sve većeg broja različitih vrsta otpada, ograničenog prostora u urbanim sredinama gdje će se takvi objekti nalaziti, tako da dolazi do potrebe za prethodnim sortiranjem otpada. Unatoč ovim izazovima europske zemlje, a s njima i Hrvatska, ulažu dodatne napore da u budućnosti proces anaerobne digestije bude značajan dio u gospodarenju krutog otpada. Budućnost upotrebe anaerobne digestije u strategiji upravljanja krutim otpadom ovisi o nekoliko faktora kao što su briga za okoliš, ekonomski aspekti brige za otpadom, povećanjem učinkovitosti samog procesa, smanjenje troškova izgradnje objekata, smanjenje troškova rada postrojenja i dostupnost odlagališta. Očigledno je da će proces anaerobne digestije u budućnosti igrati značajnu ulogu u gospodarenju organskog otpada, a u kojoj mjeri, vrijeme će pokazati.



Slika 2.3. *Bioplinsko postojenje [3]*

2.1.2 Supstrati za anaerobnu digestiju

Nakon što je proces anaerobne digestije u potpunosti proučen uočilo se da razne sirovine u digestoru daju različite rezultate, tako je eksperimentima pokazano da je za optimalan rad digestora potreban unos sirovine koja ima odgovarajući omjer ugljika i dušika. To omogućuje što bolju razgradnju sirovine tako da na izlazu iz digestora bude što manje nefermentirane materije, tj. kvalitetniji i čišći humusi uz što veću količinu bioplina.

Da bi sirovina u digestoru proizvodila što veću količinu bioplina omjer ugljika i dušika trebao bi iznositi oko 30 u korist ugljika, a donja granica tog omjera trebala bi biti 15. Bakterije u procesu anaerobne digestije ugljik koriste za energiju, a dušik im služi za rast. Omjer ugljika i dušika u pojedinim supstratima vidljiv je u tablici 1. Iz ovoga se da zaključit da različite vrste supstrata treba miješati kako bi se postigao omjer ugljika i dušika sto bliže 30. [4][5]

Tablica 2.1. ***:*** *Karakteristike pojedinih supstrata [5]*

VRSTA OTPADA	**ORGANSKA TVAR**	**UGLJIK/DUŠIK** **C/N omjer**
Svinjski izmet	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	(3-10) / 1
Izmet goveda	Ugljikohidrati ,bjelančevine, masti	(6-20) / 1
Izmet peradi	Ugljikohidrati, bjelančevine, masti	(3-10) / 1
Kanalizacijski mulj		(5-16) / 1
Slama	Ugljikohidrati i masti	(80-100) / 1
Vrtni otpad		(100-150) / 1
Trava		(12-25) / 1
Otpad od voća		(35) / 1
Voda	Kisik i vodik	0
Piljevina		500/1

U tablici 2.1. navedene su pojedine sirovine koje su pogodne za anaerobnu digestiju, međutim otpad pogodan za dobivanje bioplina ovim procesom dijelimo na pet skupina:

- kanalizacijski mulj
- organski poljoprivredni otpad
- komunalni kruti otpad
- zeleni / botanički otpad
- industrijski i komercijalni otpad

a) Kanalizacijski mulj

Kanalizacijski mulj iz postrojenja za biološko pročišćavanje vrlo je aktivan materijal koji ubrzo počinje fermentaciju u anaerobnim uvjetima. Zbog niskih operativnih troškova anaerobna digestija postala je standard za tretiranje kanalizacijskog mulja. Također je pogodna za poboljšanje sposobnosti isušivanja, što ga čini pogodnim za upotrebu u tretiranju zemljišta. Kanalizacijski mulj već se dugo vremena tretira pomoću anaerobne digestije i to je dobro proučen i uhodan proces.

U postrojenju za kodigestiju, dodavanjem mulja i vlage u organsku frakciju komunalnog krutog otpada povećat će razinu hranjivih tvari u smjesi. Dokazano je da dodavanjem od samo 5% kanalizacijskog mulja u kruti komunalni otpad daje puno bolje rezultate u procesu anaerobne digestije, a idealan omjer krutog komunalnog otpada i mulja je 80:20 u korist krutog komunalnog otpada.

b) Organski poljoprivredni otpad

Ugradnja AD digestora kod goveđeg, svinjskog i peradarskog gnoja tretira se pojedinim datumima u gospodarstvu iz ranih 1970-ih. Danas, to je standardna tehnologija u modernizaciji biootpada iz poljoprivrede. Životinjski otpad, koji je glavni otpadni materijal u poljoprivrednoj digestiji, jest nehomogeni materijal s ukupnim sadržajem čvrste tvari između 2% i 12%.

Digestat također ima značajnu vrijednost kao gnojivo te se može koristiti za prehranu poljoprivrednih površina. Pravilnim upravljanjem procesa anaerobne digestije digestat izgubi neugodan miris te tako kao gnojivo postaje još pogodniji.

Poljoprivredni otpadi pogodni za AD su:

-stajnjak goveda, svinja i peradi

- ostatci berbe i vrtni otpad

- dvorišni otpad na maloj farmi

U poljoprivrednim se uzgajalištima životinja za potrebe same higijene obitavališta koriste razni prirodni dodatci koji u procesu anaerobne digestije stvaraju probleme pri prehrani i održavanju digestora, ali i doprinose smanjenju kvalitete samog bioplina.

Slama izaziva formiranje slojeva šljama koji je teško kontrolirati tijekom procesa i usporava proces digestije. Piljevina se teško anaerobno razgrađuje i može uzrokovat začepljenja cjevovoda. Prašina i pijesak talože se u fermentoru i na taj način izazivaju zastoje procesa. Pileći gnoj može biti onečišćen s pijeskom kada se pile drži u otvorenim tovilištima.

Svinjski gnoj često se skuplja u obliku mulja, koji sadrži visoke količine vode. Krave u otvorenim tovilištima većinu vremena provode vani pa je smanjen prinos gnojiva. Uglavnom je razdvajanje takvih dodataka od primarne sirovine ekonomski neisplativo pa se pomiješani ubacuju u digestator.

c) Komunalni kruti otpad

Anaerobna je digestija komunalnog otpada, tehnički gledano, izvediva. Međutim, jedno od temeljnih pitanja jest - treba li organski otpad sakupljati odvojeno ili ga mehanički razdvojiti. Staklo, plastika i drugi materijali uvijek će morati biti uklonjeni čime će dobro dizajniran i praćen proces separacije ipak na kraju dati visoko kvalitetno „gorivo“ za digestor.

Tako da je pri preradi krutog komunalnog otpada potrebno podići kolektivnu svijest o razdvajanju otpada kako bi što veći dio stanovništva sudjelovao u procesu primarne separacije otpada da bi se proces separacije pojeftinio. Kako je ova vrsta otpada najkompliciranija za kvalitetno zbrinjavanje od navedenih, subvencijama bi država trebala imati veliku ulogu u poticanju ove vrste djelatnosti.

d) Zeleni otpad

Zeleni otpad dolazi iz vrtova, parkova i šuma. Ovaj materijal može se proizvesti iz gradskih komunalnih službi koje održavaju zelene površine, državnih šumarskih službi ili komercijalnih hortikulturalnih tvrtki. Općenito bi ga trebalo usitniti kako bi sirovina bila što homogenija. Može sadržavati drvenaste komponente lignina koje, iako nisu lako biorazgradive, ne moraju oduzimati od vrijednosti digestata u samom procesu.

Lignin je važna strukturna komponenta u biljnom materijalu i ima ga otprilike 30% u sastavu drveta. Biorazgradivost materijala bogatih ligninom može se povećati kroz niz fizikalno-kemijskih procesa. Naravno, to povećava troškove procesa dobivanja metatana.

e) Industrijski i komercijalni otpad

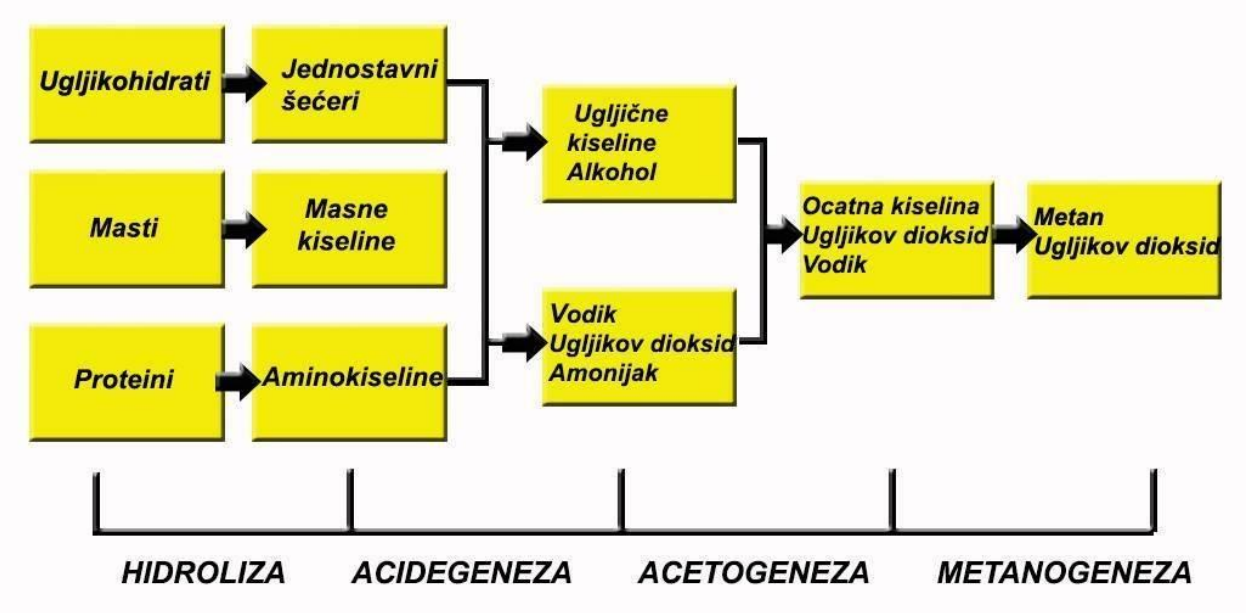
Organski industrijski otpad uključuje široki raspon otpadnog materijala iz industrijskog i komercijalnog poslovanja. Organski otpad, u čvrstom ili tekućem obliku, može formirati pogodne sirovine za anaerobnu digestiju.

Potencijalne sirovine iz komercijalnih izvora otpada uključuju i ugostiteljski otpad iz hotela i restorana. Ovaj otpad sadrži visok sadržaj vlage, čime je nepogodan za spaljivanje, ali je dobar za anaerobnu digestiju. Potreba anaerobne digestije za tretiranje tehnološke otpadne vode sve više raste. Postoji više od 30 vrsta industrijskih djelatnosti čije su otpadne vode pogodne za proces anaerobne digestije. Mnogi od tih industrija koriste anaerobnu digestiju kao korak za smanjenje količine otpadnog mulja, kontrolu mirisa, ali i za smanjenje troškova konačne obrade u postrojenju za obradu otpadnih voda.

Industrijski otpad i otpadne vode obično dolaze iz prehrambene industrije i industrije pića, industrije škroba, industrije šećera, obrade papira, klaonica (gastrointestinalni otpad), kemijske industrija, farmaceutske industrija, mljekare, kozmetičke industrije, obrada ribljeg ulja i ribe. Ovo su samo neki od primjera mogućeg korištenja AD-a u industriji.[5]

2.1.3 Biokemijske reakcije u anaerobnoj digestiji

Anaerobna digestija je niz kemijskih reakcija u kojoj se organska materija razgrađuje prirodnim putem preko mikroorganizama koji se pojavljuju u anaerobnim uvjetima. Anaeroban digestija može se koristiti za obradu bilo kojeg materijala koji sadrži ugljik uključujući hranu, papir, kanalizacijski otpad i razni kruti otpad u različitim stupnjevima razgrađenosti. Organski dio komunalnog otpada zahtijeva zamršen niz metaboličkih reakcija za razgradnju i zato je idealan primjer za objašnjenje biokemijskih reakcija koje se događaju pri anaerobnoj digestiji. Cijeli proces može se prikazati kroz četiri faze (Sl.2.4.)



Slika 2.4. *Glavne faze u nastanku bioplina*

Nazivi faza su hidroliza, acidegeneza, acetogeneza i metanogeneza čiji su krajnji rezultati zapaljivi metan i ugljik dioksid. Pri hidrolizi složene se molekule razgrađuju na jednostavnije, acidogeneza oblikuje kiseline, acetogeneza proizvodi acetate i metanogeneza je faza iz koje se metan proizvodi iz acetata ili vodika. [5]

-hidroliza

U prvoj se fazi kompleksni materijali razlažu se na njihove jednostavnije molekule koje su zovu monomeri i oligomeri. Proteini se pretvaraju u aminokiseline, a masti u masne kiseline, gliceride i trigliceride.

Složeni ugljikohidrati kao što su polisaharidi, celuloza, lignin i škrob pretvaraju se u jednostavne šećere. Hidroliza je ubrzana pomoću enzima koji se izlučuju iz bakterija i transformiraju biopolimere u jednostavne i topljive spojeve kao sto je prikazano.

$$Lipidi \xrightarrow{lipaze} masne\ kiseline,\ glicerol$$

$$polisaharidi \xrightarrow{celulaze,\ celobiaze,\ ksilanaze\ i\ amilaze} monosaharidi$$

$$proteini \xrightarrow{proteaze} aminokiseline$$

Opisani lančani procesi odvijaju se istodobno unutar fermentatora. Brzina cjelokupnog procesa razgradnje određena je brzinom odvijanja najsporije reakcije u lancu.

Ako je sirovina složena, hidrolitska faza relativno je spora.

To posebno vrijedi za sirovi celulozni otpad, koji sadrži lignin. Iz tog razloga drveni otpad nije idealna sirovina za proces anaerobne digestije. Ugljikohidrati se s druge strane puno brže pretvaraju u jednostavne šećere postupkom hidrolize, a zatim u fermentirane promjenjive masne kiseline, gdje se reakcijom hidrolize otpad razbija u jednostavni šećer, u ovom slučaju glukozu (2-1).

Okvirna kemijska formula za smjesu organskog otpada je $C_6H_{10}O_4$ uz dodatak vode.

$$C_6H_{10}O_4 + 2H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \qquad (2\text{-}1)$$

-Acidogeneza

U ovom procesu acidogene bakterije pretvaraju produkte hidrolize u metanogene spojeve. Jednostavni šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se na acetat, ugljikov dioksid i vodik (70%) te na hlapljive masne kiseline (HMK) i alkohole (30%).

Koncentracije gore navedenih spojeva ovise o vrsti bakterija kao i o uvjetima koji vladaju u digestoru, kao što su temperatura i pH vrijednost.

Tipične reakcije u reakciji acidogeneze pokazane su ispod.

U jednadžbi (2-2) glukoza je pretvorena u etanol, a jednadžba (2-3) pokazuje pretvorbu glukoze u propionate.

$$C_6H_{12}O_6 \leftrightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2CO_2 \qquad (2\text{-}2)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \leftrightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2\ H_2O \qquad (2\text{-}3)$$

-Acetogeneza

Za acetogenezu se smatra da zajedno s acidogenezom čini jedinstven proces pri stvaranju kiselina, što nije u potpunosti točno jer ova dva procesa pri svojim reakcijama imaju različite biološke i kemijske potrošnje kisika, te oni djeluju simbiotski i odvijaju se paralelno. Proces acetogeneze događa se kroz fermentaciju ugljika u kojem je acetat glavni proizvod te reakcije uz CO_2 i H_2. Uloga vodika kao posrednika ključna je u reakcijama anaerobne digestije. Dugolančane masne kiseline koje su stvorene hidrolizom lipida oksidiraju u acetate ili propionate te se na taj način stvara vodikov plin. U standardnim uvjetima prisutnost vodika u otopini sprječava oksidaciju. Ova reakcija odvija se samo ako je parcijalni tlak vodika dovoljno nizak da omogući termodinamičku pretvorbu. Prisutnost bakterija koje za sebe vežu vodik i konzumiraju ga smanjuje parcijalni tlak u digestoru. Kao posljedica toga koncentracija vodika i optimalna vrijednost parcijalnog tlaka je pokazatelj „zdravlja " digestora. Primjer je energetska vrijednost reakcije od +76,1 kJ, koja pretvara propionate u acetate prikazane u jednadžbi (2-4). Reakcija je termodinamička.

$$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \leftrightarrow CH_3COO^- + H^+ + HCO_3^- + 3H_2 \qquad (2\text{-}4)$$

Druga važna reakcija u acetogenezi je pretvorba glukoze (2-5), etanola (2-6) i bikarbonata (2-7) u acetate.

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \leftrightarrow 2CH_3COOH + 2\,CO_2 + 4H_2 \qquad (2\text{-}5)$$

$$CH_3CH_2OH + 2H_2O \leftrightarrow CH_3COO^- + 2H_2 + H^+ \qquad (2\text{-}6)$$

$$2HCO_3^- + 4H2 + H^+ \leftrightarrow CH3COO^- + 4H2O \qquad (2\text{-}7)$$

Prijelaz organske materije u organske kiseline u navedenim procesima uzrokuje pad pH vrijednosti u samom digestoru. To ne predstavlja problem za acidogene i acetogene bakterije jer se one bolje osjećaju u malo kiselijem okruženju čiji se pH kreće u granicama od 4,5 do 5,5. Međutim ova pojava ne odgovara skupini bakterija koje su uključene u sljedeću fazu procesa.

-Metanogeneza

Metanogene anaerobne bakterije sudjeluju u posljednjoj fazi anaerobne digestije koja se još zove metan fermentacija. Ista takva bakterija prirodno se javlja u sedimentima koji se nalaze na velikim dubinama i u želudcima biljojeda. Populacija ovih bakterije pretvara topljive tvari u metan. Oko dvije trećine ukupnog metana dobiva se konverzijom acetata, iz jednadžbe (2-8) slijedi jednadžba (2-9), ili fermentacijom alkohola (2-10).

$$2\ CH_3CH_3OH + CO_2 \leftrightarrow 2\ CH_3\ COOH + CH_4 \quad (2\text{-}8)$$

$$CH_3COOH \leftrightarrow CH_4 + CO_2 \quad (2\text{-}9)$$

$$CH_3OH + H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O \quad (2\text{-}10)$$

Preostala trećina metana dobiva se redukcijom ugljičnog dioksida uz pomoć vodika (2-11).

$$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (2\text{-}11)$$

Metanogene anaerobne bakterije vrlo su osjetljive na promjene u njihovoj okolini i preferiraju neutralni ili blago lužnati okoliš u digestoru. Metanogeneza je ključni korak u cijelom procesu anaerobne razgradnje jer predstavlja najsporiju biokemijsku reakciju u proizvodnji bioplina. Na uspješnost metanogeneze utječe niz čimbenika kao što su sastav sirovine, stupanj dopune digestora, temperatura i pH vrijednost supstrata. Pretrpavanje digestora, promjena temperature i povećani dotok kisika obično rezultiraju zaustavljanjem proizvodnje metana. Navedeni procesi u digestoru odvijaju se istovremeno i sinergijski dokle god prva grupa metaboličkih bakterija ima dovoljno supstrata za obavljanje svoje funkcije. Zbog toga je anaerobni digestor potrebno prehranjivati kako bi proces proizvodnje metana kontinuirano tekao.[6]

2.1.4 Uvjeti i veličine koje utječu na AD

Postoji nekoliko uvjeta i veličina koje se moraju pratiti kako bi se dobili pogodni uvjeti za razgradnju organskih spojeva. Operativna karakteristika fermentatora mora biti kontrolirana kako bi se poboljšala mikrobna aktivnost, a time se i povećala učinkovitost digestije. Neki od tih parametara ukratko su opisani u nastavku.

- Ukupni sadržaj krute tvari

Postoje tri različite podjele sirovine po čvrstoći: blago kruta (engl. *low solid*) sirovina sadrži manje od 10% krute tvari, srednje čvrst (engl. *medium solid*) od 15-20% krute tvari, a jako čvrste sirovine u digestoru (engl. *high solid*) u rasponu od 22-40% krute tvari.Što je veći udio krute tvari u sirovini, volumen digestora je manji, zbog manjih zahtjeva za vodom.

-Temperatura

Proces anaerobne digestije najčešće se obavlja na dvije temperaturne razine. Mezofilni uvijeti nastaju na temperaturama između 20-45°C, a obično najčešće na 35°C. Termofilni uvijeti nastaju na temperaturama između 50-65°C, a najčešće na 55°C. Optimalna temperatura anaerobne digestije može varirati ovisno o sastavu sirovine i vrsti fermentora, ali u većini procesa treba ju održavati relativno stalnom, da bi održali stopu proizvodnje bioplina kontinuiranom. Termofilni fermentatori učinkovitiji su u smislu vremena zadržavanja sirovine u fermentoru, brzine utovara i nominalne proizvodnje bioplina, ali im treba veći unos topline te imaju veću osjetljivost na promjenu uvjeta, koje čine proces problematičnijim nego kod mezofilne digestije.

-Vrijeme zadržavanja

Vrijeme zadržavanja je vrijeme potrebno da se postigne potpuna razgradnja organskih tvari. Vrijeme zadržavanja varira zajedno sa ostalim parametrima u procesu, kao što je temperatura procesa i sastav otpada. Vrijeme držanja otpada tretiranog u mezofilne fermentatora varira u rasponu od 15 do 30 dana i 12-14 dana za termofilne fermentatore.

-pH vrijednost

Optimalne pH vrijednosti za fazu acidogeneze i metanogeneze su različite. Tijekom acidogeneze, nastaju octena, mliječna i propionska kiselina, a time pH pada. Niski pH može spriječiti acidogenezu, a pH ispod 6,4 može biti otrovan za bakterije koje stvaraju metan (optimalni raspon za metanogenezu je između 6,6 i 7). Optimalni pH raspon za sve procese je između 6,4 i 7,2.

-Omjer ugljika i dušika (C:N)

Odnos između količine ugljika i dušika prisutnog u organskim materijalima predstavljen je C:N omjerom. Optimalni C:N omjer u anaerobnim fermentatori je između 20 i 30. Visoki C:N omjer je pokazatelj brze potrošnje dušika i rezultira nižom proizvodnjom bioplina. S druge strane, nizak C:N omjer uzrokuje nakupljanje amonijaka i vrijednosti pH povećava preko 8,5 što je toksično za metanogene bakterije. Optimalni C:N omjer sirovine postiže se miješanjem otpada niskog i visokog C:N odnosa, kao što su organski kruti otpad pomiješan s kanalizacijskim ili stajskim gnojem.

-Miješanje

Miješanjeje unutar fermentatora, poboljšava kontakt između mikroorganizama i podloge i poboljšava sposobnost bakterijeske populacije za dobivanjem hranjivih tvari iz sirovine. Miješanje sprječava nastanak pjene i razvoj temperaturnih razlika unutar fermentatora. No prekomjerno miješanje može omesti mikroorganizme u obavljanju njihovih životnih funkcija, stoga je poželjno sporo miješanje.

-Organska rata punjenja (OLR) / Hlapljive tvari (VS)

OLR je mjera biološke sposobnosti pretvorbe AD sustava. Hranjenje sustava iznad održivog OLR-a, rezultira niskim prinosom bioplina zbog nakupljanja inhibirajućih tvari u fermentatorskoj kaši (tj. masne kiseline). U takvim okolnostima, stopa hranjenje sustava mora se smanjiti.

Hlapive tvari (VS) predstavljaju organske tvari u uzorku koji se mjeri kao sadržaj krutih tvari minus sadržaj pepela, koji je dobiven potpunim izgaranjem otpada hrane. [5][6]

2.1.5 Prednosti i nedostaci anaerobne digestije

- Prednosti

AD doprinosi smanjenju emisije stakleničkih plinova. Dobro upravljani sustav težit će povećanju proizvodnje metana, ali da se ne oslobađaju nikakvi plinovi u atmosferu, čime se smanjuju ukupne emisije. AD također pruža izvor energije bez neto povećanja atmosferskog ugljika koji doprinosi klimatskim promjenama.

Supstrati za AD su obnovljivi izvor energije, te stoga se ne koriste konačni izvori fosilnih goriva. Energija proizvedena ma taj način može pomoći smanjenju potražnje za fosilnim gorivima. Korištenjem digestata smanjuje se korištenje sintetičkog goriva koje se koristi u proizvodnji gnojiva, a time i uložena energija u procesu koji je energetski vrlo zahtjevan.

AD stvara integrirani sustav upravljanja koji smanjuje vjerojatnost zagađenja tla i vode. Tretman može dovesti do smanjenja 80% neugodnih mirisa i uništava gotovo sve sjemenke korova, čime se smanjuje potreba za herbicidima i drugim mjerama suzbijanja korova.

Na financijskom pogledu, prednost AD pretvorit će ostatke u potencijalno povoljne proizvode: bioplin, kompot za uređenje tla, tekuće gnojivo. Također doprinosi ekonomskoj održivosti gospodarstava i zaokružuje proizvodni ciklus.

-Nedostaci

AD ima značajne operativne troškove i početno ulaganje. Malo je vjerojatno da će se AD pokazati kao održiv izvor energije i stoga se mora promatrati kao integrirani sustav. Vjerojatnije je da će biti isplativ za one koji mogu koristiti druge proizvode AD.

Svi sustavi gospodarenja otpadom stvaraju dodatne troškove prijevoza. Lokacija postrojenja trebala bi biti izabrana pažljivo, tako da je udaljenost puta minimalna između proizvodnje sirovine, spremnika i fermentatora.

Postoje rizici po zdravlje ljudi zbog udjela patogenog sadržaja sirovine, ali to se može izbjeći odgovarajućim dizajnom postrojenja i postupkom rukovanja sirovinom. Postoje također rizici od požara i eksplozije, iako ništa veći nego za postrojenje prirodnog plina.

Veća postrojenja mogu imati negativan vizualni utjecaj na okolinu, iako se digestor djelomično može uroniti u zemlju kako bi se smanjio vizualni utjecaj i olakšalo utovar.

2.2 Bioplin i digestat kao nusprodukti anaerobne digestije

Nusprodukti ili rezultati niza kemijskih reakcija koje su opisane u prethodnom poglavlju su bioplin i digestat. Upotrebom ili prodajom oba navedena može se doći do značajne zarade ili veće ekonomske isplativosti procesa koji ovim postupkom bivaju zaokruženi. Da bi se dobila maksimalna vrijednost od ovih proizvoda potrebno ih je nekad dodatno pročistiti ili oplemeniti. Ključni faktori u kemijskom procesu su različiti s obzirom na način primjene, tj. svrhu u kojoj se upotrebljavaju produkti anaerobne digestije, tako da su tehnološki postupci i uvjeti koji vladaju u digestoru različiti u ovisnosti želi li se dobiti više bioplina ili digestata iz sirovine.

2.2.1 Bioplin sastav

Bioplin proizveden tijekom anaerobne digestije primarno se sastoji od metana (CH4) i ugljičnog dioksida (CO2), s manjim količinama sumporovodika (H2S) i amonijaka (NH3). Tragovi vodika (H_2), dušika (N_2), ugljik monoksida (CO), zasićeni ili halogenirani ugljikohidrati i kisik (O_2) povremeno su prisutni u bioplinu (Tablica 2.2.).

Sastav bioplina razlikuje se od sastava plinova iz prirodnog plina, ali je prilično sličan zemnom plinu koji može često sadržavati i značajne količine halogeniranih spojeva. Također kod bioplina sadržaj kisika može biti povišen zbog nehotičnog usisa zraka tijekom postupka prikupljanja otpada s odlagališta. Kalorijska je vrijednost prirodnog plina 36,14 MJ/m^3, a 21,48 MJ/m^3 za bioplin.

Sastav bioplina povezan je sa sastavom otpada iz kojeg se proizvodi bioplin tako da njegov sastav i kalorijska vrijednost može varirati.

Tablica 2.2. *Kompozicija bioplina, prirodnog plina i zemnog plina [7]*

Sastojci	Jedinice	Prirodni plin	Bio plin	Zemni plin
Metan CH_4	Vol%	91	55-70	45-58
Etan C_2H_6	Vol%	5,1	0	0
Propan C_3H_8	Vol%	1,8	0	0
Butan C_4H_{10}	Vol%	0,9	0	0
Pentan	Vol%	0,3	0	0
CO_2	Vol%	0,61	30-45	32-45
Dušik (N_2)	Vol%	0,32	0-2	0-3
Hlapivi organski spojevi (VOC)	Vol%	0	0	0,25-0,50
Vodik (H_2)	Vol%	0	0	Tragovi, manje od 1%
Sumporvodik (H_2S)	ppm	~1	~500	10-200
Amonijak (NH_3)	ppm	0	~100	0
Karbon monksid (CO)	ppm	0	0	trace

2.2.2 Korištenje bioplina

Bioplin se može koristiti za strojeve i uređaje koji su dizajnirani za rad s prirodnim plinom, u skladu s nekim nadogradnjama, jer ne zahtijevaju svi plinski uređaji iste standarde kvalitete plina.

Može se koristiti za grijanje kotlova, a toplina ima mnoge primjene, kao što je proizvodnja vodene pare za industrijske procese. Kotlovi nemaju uvjet visoke kvalitete plina, ali je poželjno da se ukloni sumporovodik jer se stvara sumporna kiselina u kondenzatu koja je vrlo korozivna i nagriza sve vrste materijala koji nalaze svoju primjenu u današnjoj industriji tako da zanemarivanjem ovog tehnološkog postupka može biti bitno narušena sigurnost, ali i trajnost dijelova u postrojenju .

Bioplin se također koristi u kombiniranim jedinicama (motorima) topline i mehaničke energije. Plinski motori imaju iste zahtjeve za kvalitetu kao i kotlovi, osim što bi H_2S sadržaj trebao biti što manji.

Kombinirane jedinice dobar su način da se učinkovito proizvodi i električna i toplinska energija u postrojenjima anaerobne digestije. Na primjer, za grijanje fermentatora i sterilizaciju digestata može se korisiti proizvedena topline, a preostala električna energija prodavati u nacionalnu mrežu. To je zapravo najpopularniji način korištenja bioplina u Europi.

Korištenje bioplina kao goriva za vozila zahtijeva isti tip motora kao i onih koji se koriste za prirodni plin. No, za kvalitetu plina zahtjevi su strogi, tako da je potrebno poboljšati karakteristike bioplina s raznim tehnološkim postupcima da bi se dobili:

-viša ogrjevna vrijednost (vozila mogu voziti na veće udaljenosti)
-dosljedna kvaliteta bioplina za sigurnu vožnju i rad motora
-ne pojačavanje korozije zbog visoke razine sumporovodika, amonijaka i vode
-bioplin bez mehaničkog štetnih čestica.

U praksi to znači da sadržaj metana treba povećati na 95%, a plin bi trebao biti kompresiran. Prerađeni bioplin smatra se jednim od najčišćih goriva s minimalnim utjecajem na okoliš i ljudsko zdravlje. Iako dodatna tehnološka obrada bioplina znači i veću proizvodnu cijenu, postoje mnogi primjeri diljem Europe gdje je bioplin i komercijalno isplativ. Na primjer, postrojenja za proizvodnju bioplina u Fangelu (Danska) ili Holsworthyju (UK) u kojim se prodaje električna energija u mrežu.[7]

2.2.3 Tehnologije nadogradnje bioplina

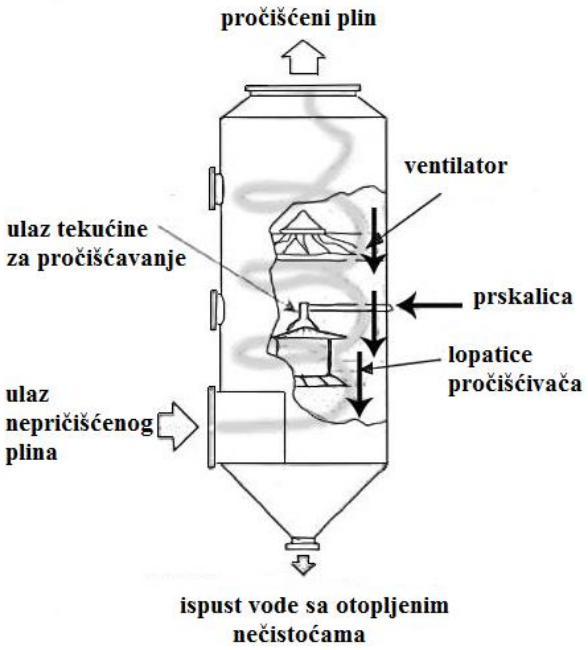
U posljednje vrijeme razvijene su brojne tehnologije za obradu prirodnog plina, plina nastalog na deponijama i gradskog plina. Zbog svoje cijene i utjecaja na okoliš nisu sve tehnologije obrade prihvatljive za obradu bioplina. U nastavku su obrađeni najbitniji problemi obrade plinova. Shodno problemima obrade i namjeni potrebno je odabrati najprikladniji način obrade bioplina.

a) Uklanjanje ugljičnog dioksida

Uklanjanjem ugljikovog dioksida (CO_2) povećava se energija plina ili do standarda upotrebljivog za vozilo ili do standarda koji je na nivou prirodnog plina. U današnje vrijeme četiri su metode u komercijalnoj primjeni:

- ispiranje vodom
- polietilen glikol pranje
- molekularna sita ugljika
- odvajanje membranom

- Voda za ispiranje bioplina (Sl.2.5.) koristi se za uklanjanje ugljičnog dioksida i sumporovodika, jer ti plinovi imaju veću topljivost u vodi nego metan. Proces adsorpcije je čisto fizički. Voda koja se koristi može regenerirati, no najučinkovitiji način je koristiti jeftinu vodu kao što je voda iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda.



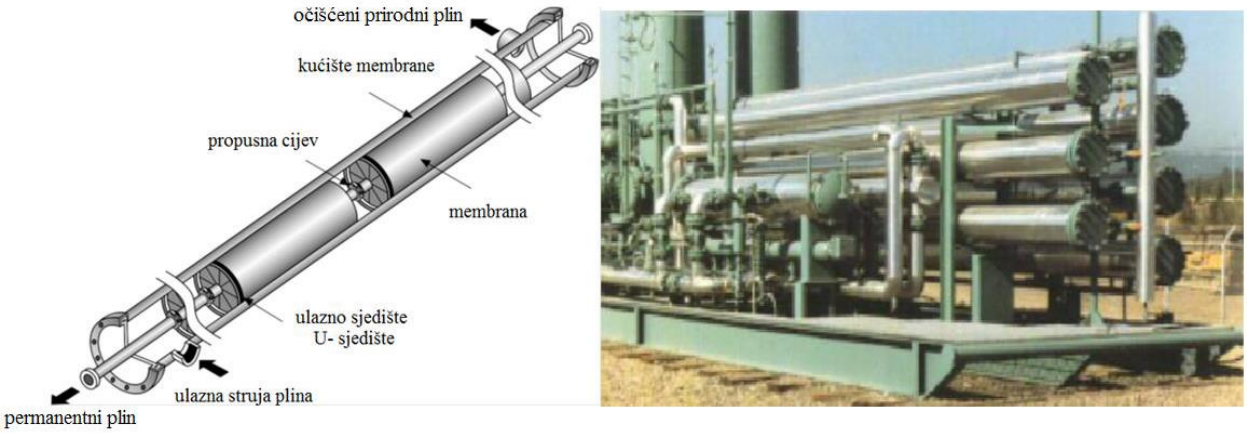
Slika 2.5. *Primjer ispiranja vodom*

- Ispiranje polietilenskim glikolom fizički je proces poput ispiranja vodom. Razlika je u tome što su ugljični dioksid (CO_2) i sumporovodik (H_2S) još topljiviji u tom otapalu nego u vodi i stoga su potrebne manje količine medija za pročišćavanje.

- U tehnologiji molekularnih sita atoma ugljika molekule se adsorbiraju u šupljine molekularnog sita, ali nisu nepovratno vezani. Selektivnost adsorpcije postiže se različitim veličinama mreže i / ili primjenom različitog tlaka bioplina. Kad se pritisak smanjuje, spojevi iz bioplina se deadsorbiraju.

- Postoje dva osnovna membranska sustava za pročišćavanje bioplina.

Jedan je odvajanje bioplina visokim pritiskom koji koristi bioplin na obje strane membrane. Tada Membrane od acetat-celuloze razdvajaju bioplin na male polarne molekule, kao što su ugljični dioksid, vlaga i sumporvodik. Drugi način odvajanja je taj da se na drugu stranu membrane umjesto bioplina visokog pritiska stavi tekućina pod normalnim tlakom, tekućina adsorbira molekule difuzijom kroz membranu.



Slika 2.6. *Izgled membrane i membranskog sustava za pročišćavanje bioplina [8]*

b) <u>Uklanjanje sumporvodika</u>

Sumporovodik se uklanja kako bi se izbjegla korozija. Najčešće metode za uklanjanje sumporovodika su:

- doziranje zraka / kisika fermentatora bioplina
- doziranje željezo-klorida na fermentatora gnojnica
- željezni oksid
- aktivni ugljen
- ispiranje vodom
- NaOH ispiranje

- Biološka desumporizacija bioplina može se izvesti mikroorganizama. Većina sulfidno oksidirajućih mikroorganizama pripada porodici Thiobacillus i neophodno je dodati stehiometrijske količine kisika u bioplin. Stehiometrijska količina kisika je ona količina pri kojoj gorivo potpuno izgori, tj. tvar u potpunosti oksidira.

- Doziranje zraka / kisika u bioplin kroz fermentator najjednostavnija je metoda za odsumporavanje. Kisik ili zrak (2 do 6% zraka u bioplinu) izravno se ubacuje u fermentator ili u spremnik koji služi istovremeno kao držač bioplina. Poduzimaju se potrebne mjere sigurnosti kako bi se izbjeglo predoziranje zrakom, jer je bioplin u zraku eksplozivan u rasponu udjela od 6 do 12% ovisno o sadržaju metana.
U velikim fermentacijskim postrojenjima često su kombinirani postupak ispiranja vodom i biološkog odsumporavanja.

- Doziranje željeznog klorida ($FeCl_3$) u fermentator sastoji se u punjenju željeznog klorida direktno u fermentatorsku kašu ili u predspremnik. Željezni klorid reagira s proizvedenim sumporovodikom pa se formiraju soli željeznog sulfida (čestice). Ova metoda vrlo je učinkovita za smanjenje visoke H_2S razine, ali je manje učinkovita za postizanje niske i stabilne razine, kao što su za potrebne za goriva vozila.

- Metode ispiranja opisane su u prethodnom stavku.

c) Halogenirano uklanjanje ugljikovodika

Halogenirani ugljikovodici uzrokuju koroziju u bioplinskim motorima do te mjere da su proizvođači naveli maksimalne granice halogeniranih ugljika u bioplinu pri kojim ne dolazi do prevelikog oštećenja dijelova motora. Halogenirani ugljikovodici uklanjaju se pomoću izmjenjivača tlačne cijevi koji je napunjen specifičnim aktivnim ugljenom. Male molekule poput CH_4, O_2 i N_2 prolaze kroz njega, dok se veće molekule adsorbiraju

d) Uklanjanje siloksana (zasićeni silicijevi i kisikovi hidridi)

Organski silikonski spojevi povremeno su prisutni u bioplinu i mogu uzrokovati ozbiljne štete na motorima s unutarnjim izgaranjem bioplina. Oni se mogu ukloniti pomoću adsorpcije na tekućem mediju, smjese ugljikovodikovih spojeva s posebnim sposobnostima da adsorbiraju silikonske spojeve.[7]

2.2.4 Digestat

Anaerobna digestija može se koristiti kao način za tretiranje organskog otpada, ali kako bi se izvukla maksimalna vrijednost od otpada, digestat bi trebao imati korisnu svrhu. Prednost digestata je da ima visok sadržaj hranjivih tvari. Njegova kvaliteta trebala bi biti prihvatljiva za svrhe kao što su izmjene i dopune tla ili uređenje. Kvaliteta digestata može biti podjeljena na tri kriterija: kemijske, biološke i fizičke aspekte.

Kemijski aspekti kvalitete digestata odnose se na prisutnost:

- teških metala i drugih anorganskih zagađivača
- onstantnih organskih zagađivala
- hranjivih tvari (NPK)

Prema njihovom podrijetlu, organski otpad može sadržavati opasne stvari, što može dovesti do novih načina prijenosa uzročnika bolesti i bolesti među životinjama, ljudima i u okolišu. Kontrola kvalitete ove vrste biomase je jako bitna.

Prisutnost nečistoća u digestatu može izazvati negativnu percepciju javnosti o tehnologiji anaerobne digestije, estetska onečišćenja okoliša i povećanje operativnih troškova.

Najčešći fizički nečistoće su:

- plastika i guma
- metal
- staklo i keramika
- pijesak i kamenje
- celulozni materijali (drvo, papir, ...)

Anaerobna digestija privlači ugljik, vodik i kisik iz sirovine. Osnovni biljni nutrienti (N, P i K) u velikoj mjeri ostaju u digestatu. Sastav agensa gnojiva ovisi o vrsti supstrata te stoga mogu varirati. Dostupnost hranjivih tvari veća je u digestatima u odnosu na netretirani organski otpad. Hranjivi (N-P-K) minerali omogućuju poboljšanu adsorpciju biljke. Korištenje digestata također koristi za balans humusa u tlu, može se koristiti kao gnojiva za tlo ili za izmjene i dopune u poljoprivredi i za uređenje okoliša.

Digestatu će se možda morati odstraniti voda i na taj način odvojiti u dvije frakcije:

-vlakna

- liker.

-Vlakno je nezgrapno i ima nisku razinu biljnih hranjivih tvari. On se može koristiti kao omekšivač tla i kao gnojivo niske kvalitete. Može se i koristiti kao alternativa za treset, iako nema točno iste karakteristike kao i treset (treset je bez hranjivih tvari). Daljnja obrada vlakana, kao što je kompostiranje može proizvesti kvalitetan kompost.

-Liker (tekućina otpadne vode) sadrži veliki dio hranjivih tvari i može se koristiti kao gnojivo. Njegov visok sadržaj vode olakšava korištenje putem konvencionalnih metoda za navodnjavanje, što predstavlja prednost u odnosu na kompost, kao što se može primijeniti tijekom ciklusa usjeva.

Najvažnija prednost organskih gnojiva je njihovo sudjelovanje u prirodnom ciklusu stvaranja hranjivih tvari, a anorganska gnojiva samo su dodatak u njemu.

2.3 Bioplinska postrojenja i dijelovi bioplinskih postrojenja

Bioplinska postrojenja složene su instalacije koje se sastoje od raznih dijelova koji u praksi mogu funkcionirati sami za sebe, ali ukomponirani u jednu zaokruženu cjelinu proizvode električnu energiju i s obzirom na stupanj iskoristivosti kompletnog postrojenja mogu proizvoditi toplinsku energiju, gnojivo ili u slučaju kada nema proizvodnje električne energije bioplin kao gorivo. Izgled postrojenja uglavnom ovisi o vrsti i količini sirovine koja se koristi za proizvodnju bioplina.

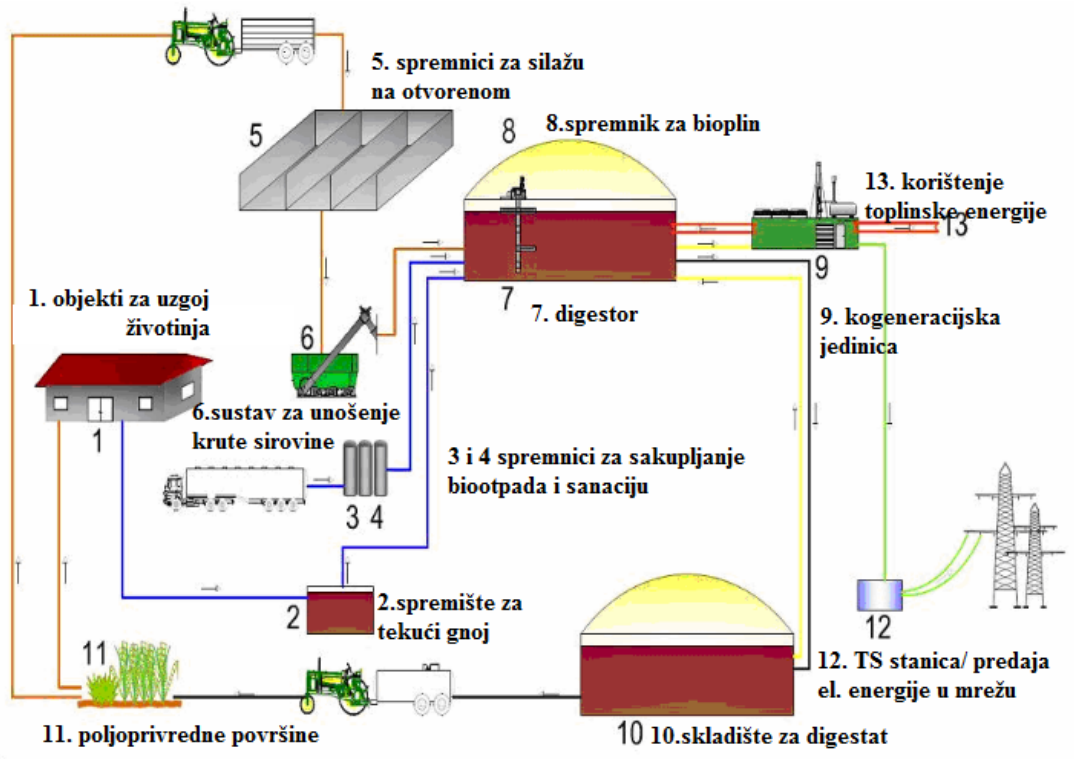
Proces proizvodnje bioplina u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima (Sl.2.7.) obično se odvija u četiri faze:

1. Transport, isporuka, skladištenje i prethodna obrada sirovine
uključuje objekte broj: 2, 3, 4, 5 i 6

2.Proizvodnja bioplina (AD) odvija se u fermentoru, tj. digestoru, objekt broj 7

3.Skladištenje digestata (10), eventualno kondicioniranje i primjena na polju (11)

4.Skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje odvija se u spremniku (8) i kogeneracijskoj jedinici (9)



Slika 2.7. *Bioplinsko postrojenje [5]*

Navedene četri faze međusobno su povezane, a zbog potrebe za održavanjem stalne temperature u digestoru sustav iz druge faze koristi toplinu iz kogeneracijske jedinice proizvedene u četvrtoj fazi. Raspored i vrsta jedinica bioplinskog postrojenja ovisi o količinama i dostupnim sirovinama. Ovisno o sastavu sirovine u postrojenje se mogu dodati jedinice za odvajanje problematičnih i nerazgradivih tvari u digestatu kao što su metali, plastika, staklo itd. U slučaju mokre digestije u sirovinu se dodaje voda zbog lakšeg transpotra cjevovodima čime se ujedno i pospješuje miješanje i ujednačavanje sirovine. [5]

2.3.1 Sustav skladištenja sirovine

Sirovina se skladišti prvenstveno zbog velikih oscilacija u prilivu sirovine koja uglavnom dolazi iz poljoprivrednog sektora, ali i zbog miješanja supstrata i postizanja adekvatnog C:N omjera pri kontinuiranoj upotrebi. Skladišta se uglavnom mogu klasificirati kao bunker silosi za čvrstu sirovinu (primjerice kukuruzna silaža) i spremnici ili posude za skladištenje (tankovi) za tekuću sirovinu (primjerice stajnjak).

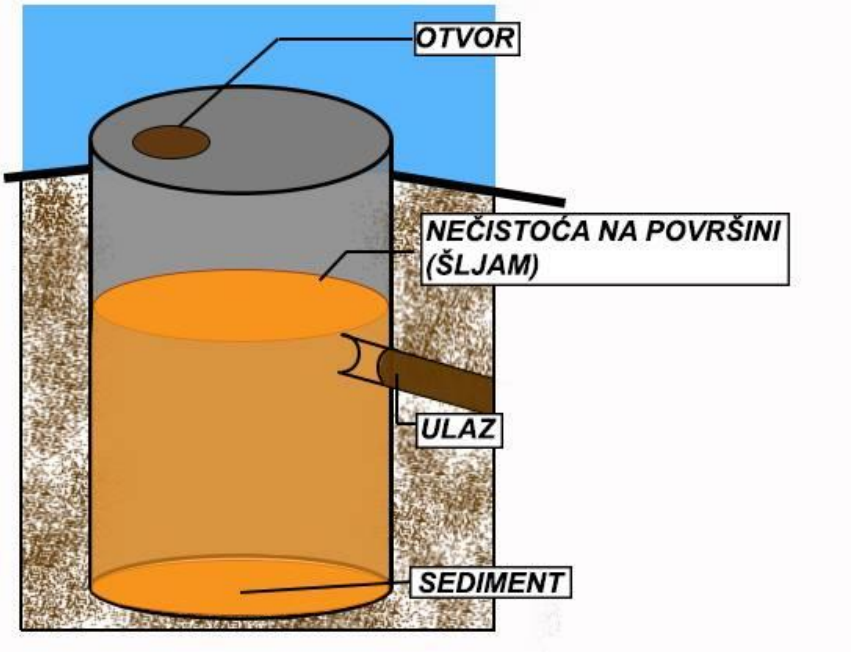
Pri dimenzioniranju skladišta za krute sirovine obično se zahtijeva da količina uskladištene sirovine može biti dovoljna za period od godinu dana, za tekuće sirovine u praksi dostatan je period od nekoliko dana. Intervali dostave, dnevne količine unosa u digestor i vrsta sirovine također imaju veliku ulogu pri projektiranju sustava skladištenja sirovine.

- bunker silosi za energetske usjeve koriste se za skladištenje većih količina uglavnom materijala (silaža) biljnog porijekla. Tijekom vremena provedenog u bunkeru silaža prolazi kroz proces fermentacije koja ju konzervira, time se gubi jedan dio energetske vrijednosti materijala. Nakon toga uskladišteni se materijal izgazi radnim mašinama kako bi se istisnulo što više zraka iz silaže i time spriječilo aerobne procese.



Slika 2.8. *Bunker silosi za skladištenje [4]*

- posude za skladištenje tekuće sirovine (Sl.2.9.) napravljene su čvrsto zatvorene od armiranobetonskih dijelova koji se nalaze u zemlji. Ova spremišta slična su onim na poljoprivrednim dobrima koja služe za skladištenje tekućeg stajskog gnoja. Miješanjem tekućeg s krutim materijalima dobiva se sirovina pogodna za pumpanje. Održavanje spremnika zahtijeva odstranjivanje sedimenta i neželjenih neprobavljivih čestica koje se nakupljaju na dnu spremnika (Sl.2.9.) Obično se taj postupak izvodi sa strugalicama za pod ili pomoću sedimenti sabitrnica. Neželjena prljavština tekućeg oblika isplivava na površinu smjese pa je osim ulaza pumpe poželjno imati i otvor za odstranjivanje prljavštine s površine.



Slika 2.9. *Pojednostavljeni prikaz spremnika tekuće sirovine*

2.3.2 Sustav punjenja

Nakon skladištenja i pripreme sirovina se transpotira u digestor za aerobnu digestiju. Tehnike punjenja odabiru se s obzirom na vrstu supstrata. Ukoliko se radi o tekućem supstratu sirovina se transportira pumpanjem, ako je potrebno u supstrat se dodaje voda zbog olakšavanja posla pumpama. Pravilan odabir pumpi uvelike olakšava transport. Zbog velikog udjela rotacijskih dijelova u takvom načinu transporta potrebno je redovito održavanje, zamjena i podmazivanje. Kruta sirovina poput silaže ili stajskog gnoja s visokim udjelom slame transportira se u fermentor pomoću utovarivača ili traktora do pužnih transportera.

Substrat je prethodno potrebo usitniti i odstraniti neželjene krute nepoželjne materijal kako bi sustav transporta pužem funkcionirao neometano. Punjenje sirovine odvija se u hermetičkim uvjetima i ispod površinskog sloja digestata čime se sprječava isticanje bioplina.

2.3.3 Sustav grijanja

Najvažniji uvjet za stabilan rad fermentora i visok prinos bioplina je konstantna temperatura koja se mijenja uglavnom zbog: dodavanja nove sirovine, stvaranja temperaturnih slojeva ili zona zbog loše izvedene izolacije, neprimjereno dimenzioniranog sustava grijanja, loše izvedenog sustava miješanja ili ekstremnih vanjskih temperatura. Zbog svega navedenog fermentori se moraju toplinski izolirati i grijati pomoću vanjskih izvora topline. Na taj način postiže se stabilna temperatura procesa. Za održavanje ovih uvjeta najčešće se koristi otpadna toplina iz kogeneracijskog postrojenja.



Slika 2.10. *Cijevi za grijanje unutar fermentora [4]*

2.3.4 Fermentor i vrste fermentora bioplinskih postrojenja

Kako postoji niz sirovina koje su pogodne za digestiju koje dolaze u raznim oblicima, postoje i razne tehnologije za preradu pojedinih vrsta sirovine tako da se u praksi susreću i različite vrste fermentora.

U praksi fermentori uglavnom mogu svesti na tri glavna tipa:

- digestor s balonom na vrhu
- digestor s fiksnom kupolom na vrhu
- digestor s plutajućim spremnikom na vrhu

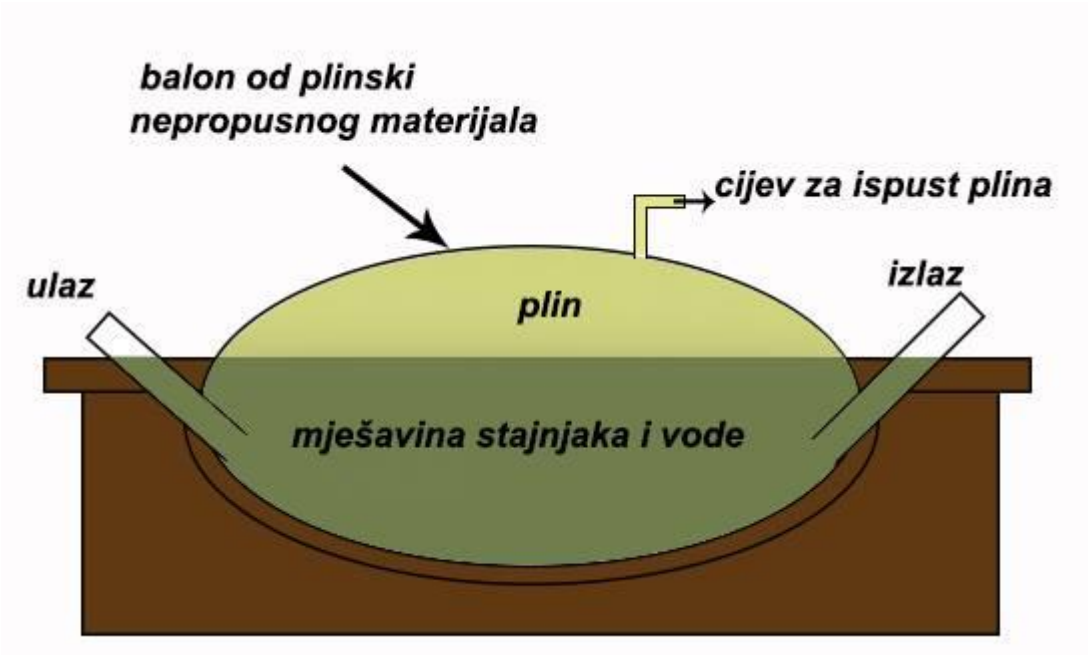
- Digestor s balonom na vrhu (Sl 2.11 i 2.12.) sastoji se od plastičnog ili gumenog dijela na vrhu koji pod pritiskom bioplina tvori kupolu. Ulazni i izlazni otvor vezan je direktno na „kožu balona“.



Slika 2.11. *Digestor s balonom na vrhu u bioplinskom postrojenju [3]*

Bioplin se premješta iz balona na mjesto gdje će se upotrijebiti na osnovu pritiska unutar balona koji se može povećati dodavanjem utega na balon.

Fermentacijski mulj lagano se miješa pomicanjem „kože“ balona. Površina balona mora biti otporna na UV zračenje.

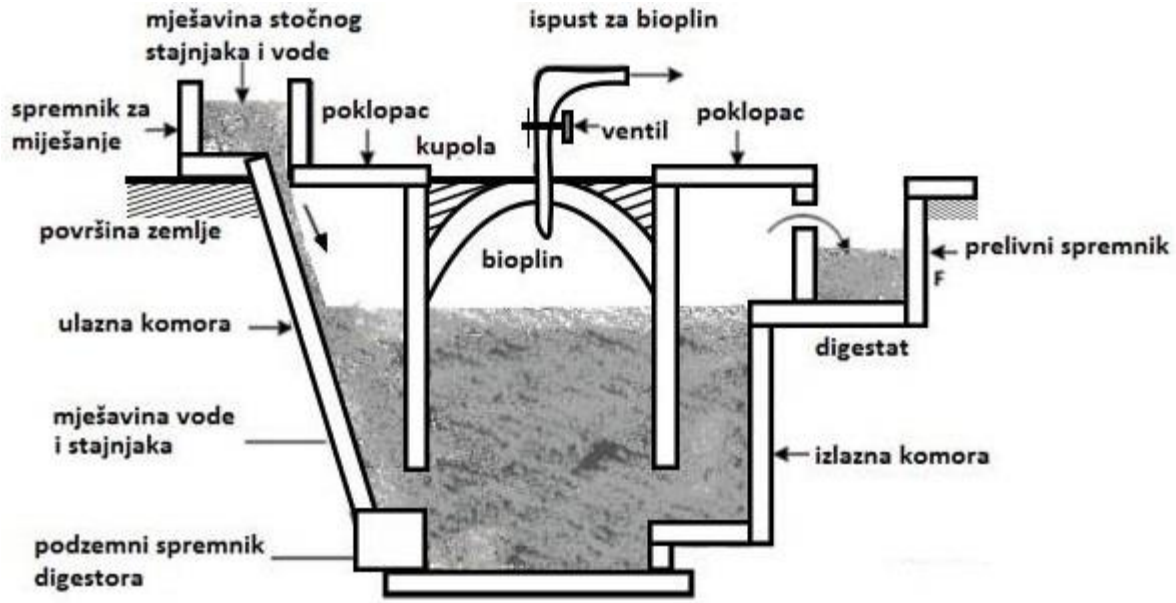


Slika 2.12. *Pojednostavljeni prikaz digestora sa balonom na vrhu*

Prednosti: niski troškovi postavljanja i prijevoza, visoka temperatura u digestoru zbog izloženosti suncu, jednostavno čišćenje, pražnjenje i održavanje.

Nedostatci: kratak vijek trajanja, lako se oštećuje, povremeni nizak pritisak unutar digestora, ne može se čistito za vrijeme rada.

- Digestor s fiksnom kupolom na vrhu (Sl.2.13.) sastoji se od nepokretne kupole na vrhu digestora koja služi kao spremnik bioplina. Tlak bioplina u digestoru povećava se količinom proizvedenog bioplina, a time i razlika u nivou digestata u digetoru i kompenzacijskom rezervoaru. Ovaj tip digestora obično je izgrađen od cigli i ukopan je ispod površine zemlje čime doprinosi uštedi prostora u kompletnom postrojenju. Minimalna radna zapremina digestora je $5m^3$ pa sve do $200m^3$.



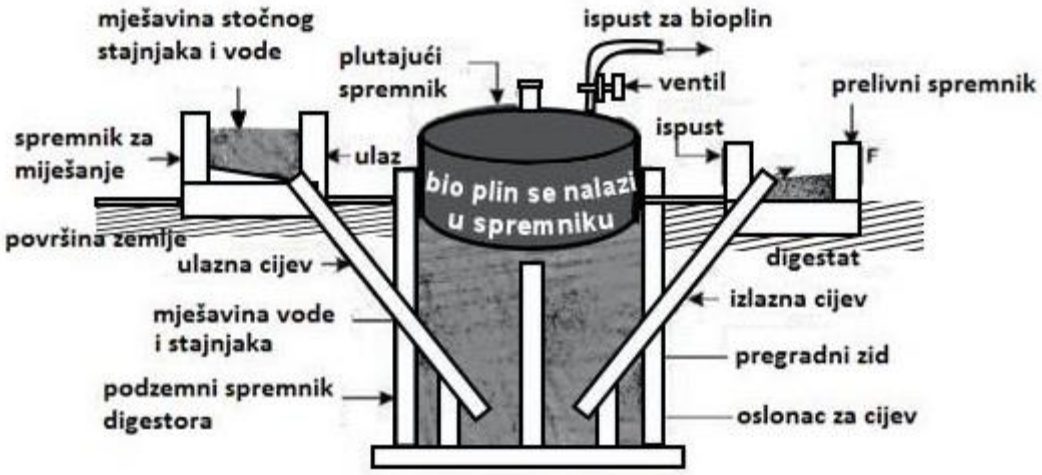
Slika 2.13. *Digestor s fiksnom kupolom na vrhu*

Troškovi izgradnje ovog tipa digestora relatvno su niski jer nema pokretnih dijelova, također nema ni čeličnih dijelova koji su skloni hrđanju tako da je očekivani životni vijek ovog tipa digestora veći od 20 godina. Digestor je izgrađen pod zemljom te je poprilično zaštićen od fizičkog oštećenja.

Prednosti: mali troškovi gradnje i dug vijek trajanja, nema hrđajućih dijelova, dobra toplinska izolacija, podzemna gradnja štiti od temperaturnih oscilacija.

Nedostatci: fuge između cigli zahtijevaju posebne materijale za brtvljenje, prečesto curenje bioplina zbog lošeg brtvljenja, proizvodnja bioplina nije odmah vidljiva, preporučuju se samo kada gradnju nadgledaju iskusni inžinjeri, tlak bioplina značajno varira u ovisnosti o količini uskladištenog bioplina.

- Digestor s plutajućim spremnikom na vrhu (Sl.2.14.) sastoji se od podzemnog fermentora i pokretnog bioplinskog spremnika. Plutajući spremnik pluta direktno na digestatu. Bioplin se skuplja ispod površine bubnja koji se podiže i skuplja s obzirom na količinu proizvedenog bioplina.



Slika 2.14. *Digestor s plutajućim spremnikom na vrhu*

Vodilice koje su ugrađene sa strane onemogućuju da se spremnik prevrne. Ovaj tip digestora obično se koristio u malim i srednjim postrojenjima kapaciteta 5-15 m^3 za mala postrojenja i 20-100 m^3 za veća postrojenja. Fermentor je obično izgrađen od cigle ili kamena u kombinaciji s gipsom. Spremnik je od lima debljine 2-2,5 mm zaštićenim od korozije. Umjesto plutajućeg spremnika moguće je ugraditi balon i na taj način pretvoriti digestor u već ranije opisani. Nakon uvođenja digestora s fiksnom kupolom ovaj model digestora zastarjeva i sve se rjeđe pronalazi u upotrebi.

Prednosti: jednostavan, lako razumljiv princip rada, konstantan pritisak bioplina, izravno vidljiv pohranjeni volumen bioplina

Nedostatci: visoki troškovi izgradnje, puno željeznih dijelova koji su skloni koroziji, kratak životni vijek digestora [9][10][11]

2.3.5 Miješanje i vrste miješanja digestata

Miješanje biomase započinje dodavanjem svježe sirovine u fermentor, bioplin koji je zaostao u uskladištenoj sirovini u obliku mjehurića putuje prema površini i na taj način pasivno se miješa digestat. Kako je to nedovoljno, u digestor se implementiraju:

-pneumatske mješalice

-hidraulične mješalice

-mehaničke mješalice

Miješanje se obavlja više puta dnevno kako bi se spriječilo stvaranje plutajuće kore, sedimentnih slojeva koji tonu i ujednačila raspodjela topline i hranjivih tvari u digestoru.

- Pneumatske mješalice ispuhuju bioplin kroz fermentor i miješanje se obavlja na sličan način kao i pasivno miješanje samo još intenzivnije. Prednosti ovog sustava su te da su svi dijelovi sistema izvan digestora što olakšava održavanje. Tehnologija nije prikladna za uništavanje plutajućih slojeva tako da se uglavnom koristi kod rijetkih tekućih sirovina
- Hidraulične miješalice sirovinu cirkuliraju pumpama. Dijelovi ovog sistema također su izvan digestora što omogućava lakše održavanje. Ovaj način miješanja koristi se za rijetku tekuću sirovinu male sklonosti stvaranja plutajućeg sloja.
- Mehaničko miješanje obavlja se korištenjem miješalica koje se uglavnom dijele po brzini miješanja. U fermentorima se najčešće koriste viseće miješalice koje su postavljene na držalu instaliranom u središtu stropa te svojom vrtnjom stvaraju konstantno pomicanje digestata.



Slika 2.15. *Različite vrste miješalica s lopaticama [4]*

2.3.6 Spremište bioplina

Kako bi se proizvodnja bioplina održavala što stabilnijom i što ravnomjernijom proizvedeni sebio plin skladišti u spremišta, uglavnom iz razloga što proces anaerobne digestije ima svoje proizvodne vrhunce i padove. Spremnik bioplina u većim se postrojenjima obično radi odvojeno od digestora, ali kod manjih postrojenja čest je slučaj postavljanja spremnika bioplina na vrh digestora. Svi dijelovi spremišta bioplina moraju biti plinonepropusni i otporni na tlak, otporni na UV zračenje, temperaturne oscilacije i vremenske okolnosti. Sa sigurnosnog aspekta ovo je najosjetljiviji dio bioplinskog postrojenja, stoga je posebna pažnja posvećena sigurnosti. Spremište je opremljeno podtlačnim i pretlačnim ventilima, u slučaju nužde mora imati i baklju za ispaljivanje, potrebno je poduzeti sve mjera za zaštitu od moguće eksplozije. Projektirani kapacitet trebao bi biti jednak proizvodnji bioplina u vremenskom periodu od 24 do 48 sati.

2.3.7 Plamen (baklja) za bioplin

Za izvanredne situacije kao što su kvarovi, visoka proizvodna stopa bioplina, zaustavljanje postrojenja zbog redovitog servisiranja, proizvedeni bioplin transportira se u spremišta za koja je već unaprijed uračunata rezerva. Za slučaj višesatnih obustava rada postrojenja za proizvodnju električne energije sustav bioplinskog postrojenja oprema se bakljom za izgranje viška. To je rješenje u situacijama kada se višak biopline ne može uskladištiti niti iskoristiti, čime se smanjuje rizik po sigurnost i okoliš. Bioplin koji izgrara na baklji razgrađujese na CO_2 i H_2O koji nisu štetni za okoliš.



Slika 2.16. *Izgled baklje za izgaranje bioplina [4]*

2.3.8 Skladište digestata

Fermentirani supstrat ispumpa se cjevovodima iz fermentora te se skladišti u spremištima za digestat. Spremište mora bit dostatno za količine od nekoliko mjeseci. Time se osigurava upotreba digestata kao gnojiva u poljoprivredi i izbjegava se njegova primjena tijekom zimskog perioda. Skladišta su obično betonska i prekrivena plutajućim slojevima ili membranama. Kako je uskladišteni digestat još uvijek aktivan u periodu skladištenja, skladišta bi trebala biti prilagođena tako da mogu skupljati preostali proizvedeni bioplin. Obično se na vrh betonske konstrukcije stavlja plinsko nepropusna membrana.

2.3.9 Kogeneracijsko postrojenje

Zbog neobrađenosti bioplina kogeneracijska postrojenja najčešće se izvode kao termoelektrane blokovskog tipa s motorima na izgaranje koju su povezani s generatorom. U današnje vrijeme stupanj iskoristivosti generatora ide do 90%. Od ukupne proizvodnje energije u kogeneracijskim postrojenjima na električnu energiju otpada 35%, dok ostalih 65% otpada na toplinsku energiju. Iskorštavanjem toplinske energije kao nusproizvoda postrojenja doprinosi povećanjem ukupne iskoristivosti bioplinskog postrojenja. Jedna trećina proizvedene toplinske energije koristi se za grijanje digestora što je opisano u jednom od prethodnih poglavlja, a preostale dvije trećine koriste se za druge potrebe kao što su: grijanje stanbenih objekata, grijanje staklenika i objekata za držanje životinja, upotreba topline za sušare, primjena kod rashladnih sustava itd. Električna energija proizvedena iz bioplina se zbog povlaštenih cijena obnovljivih izvora energije predaje u mrežu na otkup.

2.4 Priključak bioplinskih elektrana na mrežu

Suvremeni elektroenergetski sustav uglavnom je razvijen posljednjih pedesetak godina i projekritani su na način tako da velike središne jedinice injektiraju snagu u visokonaponsku prijenosnu mrežu kojom se vrši prijenos energije te se na nižim naponskim razinama vrši distribucija. U posljednje vrijeme dolazi do povećanog broja priključaka manje proizvodnje na distribuiranu mrežu, te se shodno tome cijela grupacija mini elektrana (mini hidroelektrane, biomasa, bioplin, solarna) nazivaju distribuirana proizvodnja.

Prema instaliranoj snazi distriburani se izvori dijele na:

Mikro	< 5 kW
Male	5 kW < 5 MW
Srednje	5 MW < 50 MW
Velike	50 MW < 300 MW

Priključak proizvonđča na distribucijsku mrežu izaziva promjene u distribucijskoj mreži.
Na priključno postrojenje i obračunsko mjerno mjesto postavljaju se novi uvjeti tako da je bitno pridržavati se zadanih uvjeta pri postupku priključka na mrežu kako bi promjene bile što manje, tj. što predvidljivije te da bi kvalteta električne energije i njena distribucija ostale u zadanim propisanim normama.
Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (»Narodne novine«, broj 177/04) uređuju pogon i način vođenja, razvoj i izgradnju, te uspostavljanje priključaka na prijenosnu i distribucijsku mrežu u elektroenergetskom sustavu, kao i mjerna pravila za obračunsko mjerno mjesto te su se svi energetski subjekti i korisnici dužni pridržavati ovih pravila. Priključak na mrežu i korištenje bioplina mora ispuniti osim tehničkih uvjeta i zakonodavne uvjete.

2.4.1 Zakonodavnim uvjeti priključka proizvođača na mrežu i temeljni dokumenti

Tijekom procesa priključivanja elektrane na mrežu investitor dobiva sve potrebne smjernice i zahtjeve za ispunjavanjem zakonske regulative od strane HEP-ODS (operator distribucijskog sustava), ovlaštenog da provodi i kontrolira donesene kriterije koje je donijela Republika Hrvatska na temelju zakona.

Temeljni zakoni koji se tiču ove problematike su:

- Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (»Narodne novine«, broj 177/04)
- Zakon o energiji (NN 68/2001, 177/2004, 76/2007)
- Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti (NN177/04, 76/2007)
- Zakon o tržištu električne energije (NN177/2004, 76/2007)

2.4.2 Tehnički uvjeti priključenja proizvođača na mrežu

Obaveza je energetskih subjekata i kupaca električne energije da elektroenergetske objekte za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije, priključke na mrežu te elektroenergetske objekte i instalacije kupaca električne energije grade i koriste pod uvjetima propisanim Zakonom o energiji, zakonom o tržištu električne energije i ovim Općim uvjetima [12].

Operator prijenosnog sustava ili operator distribucijskog sustava dužan je osigurati preuzimanje ukupno proizvedene električne energije od povlaštenih proizvođača prema propisanim uvjetima [13].

Pravna ili fizička osoba koja zahtijeva priključenje na distribucijsku mrežu na mjestu priključenja mora ispuniti sljedeće minimalne tehničke uvjete koji se odnose na:

– odstupanje frekvencije
– odstupanje napona
– valni oblik napona
– nesimetriju napona
– pogonsko i zaštitno uzemljenje
– razinu kratkog spoja
– razinu izolacije
– zaštitu od kvarova i smetnji
– faktor snage. [14]

a) Odstupanje frekvencije

Nazivna vrijednost frekvencije u hrvatskom elektroenergetskom sustavu iznosi *50,00 Hz*, osim u razdobljima korekcije sinkronog vremena kada se, prema nalogu operatera koordinacijskog centra ili operatera prijenosnog sustava, frekvencija podešava na zadanih *49,99* Hz ili *50,01* Hz. U normalnim pogonskim uvjetima, u interkonekcijskom radu, dopušteno odstupanje frekvencije od nazivne vrijednosti iznosi ±*50* mHz.

Maksimalno odstupanje frekvencije od zadane vrijednosti, u privremenom stacionarnom stanju, u interkonekcijskom radu, ne smije premašiti ±*180* mHz. Trenutno odstupanje frekvencije od nazivne vrijednosti ne smije premašiti ±*800* mHz. Odstupanja frekvencije od zadane vrijednosti za više od ±*20* mHz ispravljaju se djelovanjem primarne regulacije.

Podfrekvencijsko rasterećenje kao mjera za održavanje frekvencije aktivira se ako je frekvencija niža od *49,20* Hz.

Kod pogona u interkonekciji, operator prijenosnog sustava u odnosu na održavanje frekvencije mora poštivati zahtjeve UCTE-a. U slučaju poremećaja, u održavanju frekvencije mu u svojim kapacitetima primarne regulacije solidarno pomažu ostala regulacijska područja interkonekcije. [14]

b) Odstupanje napona

Propisane granice odstupanja od nazivnog napona u normalnom pogonu su:

- za niski napon: *+6%/-10%* (do 2010. godine) te ±*10%* (nakon 2010. godine) u skladu s Pravilnikom o normiranim naponima za distribucijske niskonaponske električne mreže i električnu opremu,
- za srednji napon (10 kV, 20 kV, 30 kV, 35 kV): ±*10%*.

Dopuštena odstupanja od nazivnog napona u uvjetima normalnog pogona, osim za slučajeve nastale uslijed poremećaja i prekida napajanja te za pojedinačne slučajeve postojećih korisnikammreže u udaljenim područjima s dugačkim vodovima, utvrđuju se:

- za niski napon: tijekom razdoblja od tjedan dana, 95% desetominutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona trebaju biti u rasponu od *Un+6%/-10%* (do 2010. godine), odnosno *Un±10%* (nakon 2010. godine). Svi desetominutni prosjeci efektivnih vrijednosti napona trebaju biti unutar raspona *Un+10%/-15%*,
- za srednji napon: tijekom razdoblja od tjedan dana, 95% desetominutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona trebaju biti u rasponu od *Un±10%*. [14]

b) Valni oblik napona

Vrijednost faktora ukupnoga harmonijskog izobličenja (THD) napona uzrokovanog priključenjemmproizvođača i/ili kupca na mjestu preuzimanja i/ili predaje može iznositi najviše:

- na razini napona 0,4 kV: 2,5%,
- na razini napona 10 i 20 kV: 2,0%
- na razini napona 30 i 35 kV: 1,5%.

Navedene vrijednosti odnose se na 95% desetominutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona za razdoblje od tjedan dana.

Vrijednost indeksa jačine flikera uzrokovanih priključenjem proizvođača i/ili kupca na mjestu preuzimanja i/ili predaje mogu iznositi najviše:

- za kratkotrajne flikere: 0,7,
- za dugotrajne flikere: 0,5. [14]

c) Nesimetrija napona

Nesimetrija napona na mjestu preuzimanja i/ili predaje uzrokovana priključenjem proizvođača i/ili kupca ne smije prelaziti 1,2% nazivnog napona. Ta vrijednost odnosi se na 95% desetominutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona za razdoblje od tjedan dana. [14]

d) Pogonsko i zaštitno uzemljenje

Korisnik je dužan uzemljiti svoje postrojenje i instalacije sukladno važećim tehničkim propisima i normama. Korisnik mora uvažiti uvjete koji proizlaze iz načina uzemljenja neutralne točke distribucijske mreže na koju se priključuje. Operator distribucijskog sustava dužan je korisniku dati podatke o načinu uzemljenja neutralne točke distribucijske mreže na koju se on priključuje te očekivano stanje u budućnosti. [14]

e) Razina kratkog spoja

Oprema u korisnikovu postrojenju i instalacijama mora biti tako dimenzionirana da izdrži sve utjecaje struja kratkog spoja za sadašnje stanje te očekivano stanje u budućnosti. Operator distribucijskog sustava dužan je dati podatke o očekivanim strujama kratkog spoja koje treba uvažiti prigodom dimenzioniranja korisnikova postrojenja i instalacija. Maksimalne struje (tropolnih) kratkih spojeva u pogonu ne smiju biti veće od iznosa koji je operator distribucijskog sustava dostavio korisniku. [14]

f) Razina izolacije

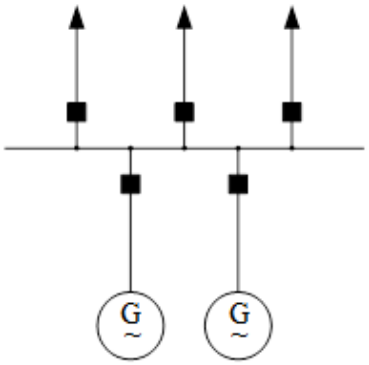
Izolacija opreme u postrojenjima i instalacijama korisnika mora biti dimenzionirana sukladno
naponskoj razini na koju se priključuje. Operator distribucijskog sustava dužan je korisniku dati podatke o naponskoj razini i koordinaciji izolacije. Izolacijska razina opreme koja se ugrađuje u mrežu nazivnog napona 10 kV, ako u ugovoru o priključenju nije drukčije ugovoreno, mora zadovoljiti izolacijsku razinu mreže nazivnog napona
20 kV. [14]

g) Faktor snage

Ako nije drukčije ugovoreno, veličina faktora snage za instalacije i postrojenja kupaca treba biti od $cos\varphi=0,95$ induktivno do $cos\varphi=1$. [14]

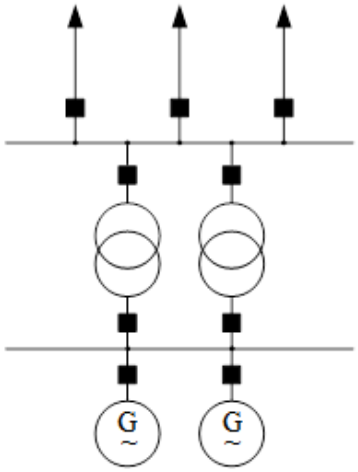
2.4.3 Spoj elektrane na mrežu

Elektrane se spajaju na mrežu pomoću glavnog strujnog kruga koji povezuje generator s EES. Male elektrane koje svojim radom neće narušiti kvalitatu mreže i opskrbu mogu se izravno spojiti na sabirnice niskonaponske mreže. (Sl.2.17.)



Slika 2.17. *Shema spoja na sabirnicu generatorskog napona*

Kod elektrana veće snage u slučaju direktnog spajanja utjecaj na mrežu bio bi prevelik tako da se za spajanje na mrežu koristi spoj s generatorskim sabirnicama. (Sl.2.18.)



Slika 2.18. *Shema spoja generatora na mrežu višeg napon*

2.4.4 Probni rad

Nakon ispunjavanja svih preduvjeta od strane HEP-a i fizičkog spajanja elektrane na mrežu, prije puštanja u redoviti pogon, elektrana se pušta u probni rad.

Tijekom probnog pogona elektrane provode se:

– ispitivanja ulaska u paralelni pogon s distribucijskom mrežom

– ispitivanja izlaska iz paralelnog pogona i prijelaza u otočni pogon (ako je predviđen)

– ispitivanja djelovanja zaštite pri odstupanju od uvjeta paralelnog pogona

– ispitivanja rada elektrane pri graničnim pogonskim uvjetima

– ispitivanja tokova djelatne i jalove snage (proizvodnja i razmjena elektrane s mrežom)

– provjera ugovorenih nazivnih vrijednost na pragu elektrane, osobito radne i jalove snage

– ispitivanja pogona elektrane s obzirom na udovoljavanje uvjetima ograničenoga povratnog djelovanja

– ispitivanje utjecaja kompenzacijskih postrojenja elektrane (ako postoje) i mreže na paralelni pogon i ograničeno povratno djelovanje

– ispitivanja sustava pogonskih i obračunskih mjerenja, nadzora stanja, signalizacije, lokalnog i daljinskog (ako postoji) upravljanja i regulacije

– ostala ispitivanja predviđena od isporučitelja opreme ili programom ispitivanja. [14]

Ispitivanja pogona elektrane s obzirom na udovoljavanje uvjetima ograničenoga povratnog djelovanja na mrežu i kvalitete električne energije, obavljaju se na sučelju s mrežom, a obuhvaćaju sljedeće parametre:

– frekvenciju

– promjene napona ovisno o promjeni opterećenja

– faktor kratkotrajnog i dugotrajnog flikera

– sklopne prenapone

– nesimetriju napona

– prigušenje signala mrežnoga tonfrekvencijskog upravljanja

– više harmonijske članove struje i napona

– faktor ukupnog harmonijskog izobličenja struje i napona

– faktor snage. [14]

U konačnom izvješću o funkcionalnom ispitivanju paralelnog pogona elektrane mora se jednoznačno iskazati spremnost elektrane za trajni pogon. [14]

2.4.5 Posljedice priključka elektrana na NN mrežu

Pojavom sve većeg broja obnovljivih izvora male snage dolazi do velikog broja priključaka na distriburanu mrežu koja nije predviđena za priključenje proizvodnje. U slučaju korištenja asinkronih generatora koji imaju lošiju karakteristiku proizvodnje i regulacije jalove energije, kako bi se nadomjestio taj nedostatak koriste se kondenzatorske baterije i energetski pretvarači. Priključenjem distribuirane proizvodnje na mrežu najviše se utječe na: padove napona, gubitke, kvalitetu električne energije, kratke spojeve i regulacijsku grešku.

-padovi napona, za razliku od prijenosnih mreža gdje je raktancija vodiča puno veća od njegovog omskog otpora, kod distribucijksih mreža situacija je obrnuta, reaktancija voda je jednaka ili manja od omskog otpora vodiča. Zbog toga u distribucijskim mrežama uz tokove jalove snage na napone značajno utječu i tokovi djelatne snage. Kako je prethodno navedeno, distribucijska proizvodnja uglavnom je proizvođač djelatne snage te stoga ima značajan utjecaj na padove napona u distribucijskoj mreži. Zbog radijalnog karaktera distribucijske mreže naponi su najmanji na krajevima mreže, tako da su i promjene napona najveće na krajevima mreže. Ragulacija napona u distribucijskim mrežama najčešće se vrši uključivanjem kondenzatorske baterije.

-gubici u distribucijskoj i prijenosnoj mreži smanjuju se instaliranjem distribuirane proizvodnje, tako da se smanjuje tok snage uzduž voda. Da nema distribuirane proizvodnje u niskonaponskoj mreži, tok snage bilo bi potrebno preuzeti iz prijenosne mreže, tako da su gubici u prijenosnoj mreži smanjeni. Također je smanjeno i opterećenje glavne transformatorske stanice čime je produljen životni vijek transformatora. U slučaju smanjene potrebe za električnom energijom obično u noćnim satima, tok snage je obrnut od pomenutog i gubitci u mreži su povećani.

- sinkroni generator u bioplinskom postrojenju jača krutost mreže i napon je stalnog iznosa, popravlja kvaltetu električne energije i cos ρ mreže, kod drugih obnovljivih izvora kvaliteta električne energije smanjuje se instaliranjem distribuirane proizvodnje. Najveći utjecaj distribuirane proizvodnje je na naponske flikere i harmonike u mreži. Flikeri kontinuirano stvaraju oscilacije u vrijednosti napona, najlakše se primjećuje u treperenju svjetla. Što se tiče distribucijske mreže, flikeri se na nju prenose uglavnom pri pokretanju elektrana spojenih na distribucijsku mrežu. Harmonike u mrežu unose pretvarači preko kojih je distribuirana proizvodnja povezana na mrežu, uglavnom se radi o solarnim elektranama.

Harmonici povećavaju gubitke, oštećuju opremu i smanjuju životni vijek motora, transformatora i kondezatorskih baterija.

-utjecaj na kratke spojeve u distibucijskoj mreži ovisi o mnogo faktora kao što su tehnologija distribuirane proizvodnje, položaj u mreži, radno stanje itd. Gavni problem nastaje zbog različitih načina priključenja generatora na mrežu, a za svaki način vrijednost struje kratkog spoja je raličita. Tako da pri priključenju distribuiranih izvora potrebno je provjeriti vrijednosti struje kratkog spoja i snagu kratkog spoja za svaki pojedini slučaj priključenja.

-utjecaj distribuirane proizvodnje na regulacijsku grešku uglavnom se javlja kod priključenja vjetroelektrana, zbog nepredvidivosti vjetra, a time i injektirane snage u mrežu. Tako da uslijed pormjene snage kod velikih instalacija dolazi do problema održavanja male regulacijske pogreške. Pri povećanju brzine vjetra iznad dozvoljene propeleri vjetroelektrana se zaustavljaju, a mreža naglo ostaje bez injektirane snage, tako da je snagu potrebno nadoknaditi iz susjednih sustava i rotirajuće rezerve što stvara probleme pri održavanju regulacijske greške.

3 POUZDANOST BIOPLINSKIH ELEKTRANA

Razvoj postrojenja na biomasu (bioplin) potaknut je od strane politike koja je fokusirana na zaštitu okoliša. Proizvodnja električne energije iz biomase (bioplina) predstavlja okolišnu, ekonomičnu i materijalnu pouzdanost.[17] Takva električna energija mora biti:

-ekonomski sigurna i profitabilna (ne računajući subvencije i poticaje)
-manje štetna za okoliš u odnosu na konvencionalne izvore energije
-pristupačna kako bi cijelo vrijeme odgovarala zahtjevu tržišta

3.1 Različiti aspekti pouzdanosti

Kako su elektrane na biomasu kompleksni sustavi i mogo faktora utječe na njihov rad, postoje razne točke gledišta s kojih se vrše analize rada i procjene pouzdanosti elektrana.

3.1.1 Ekonomska pouzdanost

Električna energija proizvedena iz bioplina, u prosjeku je nešto skuplja od energije proizvedene iz konvencionalnih izvora. Stoga vlade različitim subvencijama i poticajima potiču proizvodnju električne energije iz biomase (bioplina). Postavljanjem zahtjeva kako 20 % ukupno proizvedene energije mora biti proizvedeno iz obnovljivih izvora, također pogoduje proizvodnji iz bioplina jer se time zadovoljavaju postavljenje norme. Kako je bioplin (biomasa) jedan od najsigurnijih obnovljivih izvora (s gledišta na dostupnost), time i predstavlja ekonomsku sigurnost i profitabilnost. [17]

3.1.2 Okolišna pouzdanost

Sječom i paljenjem drveta u atmosferu se emitira izolirani ugljik te se istovremeno smanjuje sposobnost šume da adsorbira ugljik iz atmosfere. Budući da su klimatske promjene sve evidentnije, potrebno je smanjiti pretjeranu sječu šuma.

Neto emisije ugljika su pozitivne u kratkoročnom smislu zbog toga što se posječe i spali velika količina drveća koja bi adsorbirala ugljikov dioksid. Spaljivanjem cijelih komada stabala isključivo u energetske svrhe, povećava se udio ugljikovog dioksida u atmosferi, dok se udio izoliranog ugljika smanjuje.

Postoje studije koje pokazuju kako se spaljivanjem biomase proizvodi i do 1,5 puta više ugljikovog dioksida po megavatsatu nego kod termoelektrana na ugljen. Iako je biomasa prljavija od ugljena, bar što se tiče emisije ugljikovog dioksida, elektrane na biomasu ne moraju se držati istih emisijskih standarda kao elektrane na fosilna goriva. Elektrane na biomasu smiju emitirati u atmosferu i do 2,5 puta više zagađivača u atmosferu, kao što su klorovodična kiselina, kancerogene tvari te teški metali. Zbog svega navedenog, elektrane na biomasu ponekad znaju biti prljavije nego tradicionalne elektrane.[17]

3.1.3 Materijalna pouzdanost

Biomasa je predvidljivi izvor energije, za razliku od sunčeve energije i vjetr, te se može koristiti kao izvor energije za temeljne elektrane. Elektrane na biomasu mogu pokriti zahtjeve za energijom bez prekida te se može reći da takve elektrane posjeduju određenu materijalnu pouzdanost.

Temeljne elektrane moraju imati stalnu proizvodnju električne energije kako bi zadovoljile većinu potreba potrošača za energijom. Premda elektrane na biomasu mogu sudjelovati u oprskbi energijom zajedno s ostalim temeljnim elektrana (termoelektrane, velike hidroelektrane, nuklearne elektrane) zbog činjenica da biomasa ima malu gustoću energije, odnosno da energetski potencijal biomase po jedinici materijala (per unit) je znatno manji od ostalih konvencionalnih goriva, kao što je to npr. ugljen. Mali energetski potencijal biomase uzrokovan je velikim udjelom vlage u biološkom sastavu biomase. Voda koja se nalazi unutar biomase ne može se spaliti i iskoristiti za dobivanje energije, tako da jedino što voda čini jest da povećava masu materijala. Biomasa također zauzima veliki prostor pri skladištenju, što ju također čini nepovoljnijom varijantom u odnosu na ostala goriva. Zbog tih svojstava, transport biomase smatra se izuzetno neučinkovitim na duljim relacijama. Kako bi se smanjili ti negativni utjecaji, potrebno je smanjiti udio vlage u biomasi, čime se povećava energetski potencijal biomase i smanjuje se prostor potreban za skladištenje. Metode povećavanja energetskog potencijala biomase uključuju zgušnjavanje materijala primijenjivanjem ekstremnog pritiska ili isušivanjem materijala i pretvaranjem biomase u drveni ugljen. Međutim, tretmani biomase znatno povećavaju troškove proizvodnje energije te se u elektranama manjih snaga najčešće odlučuje koristiti oblik biomase koji se nalazi dovoljno blizu elektrane.

Deregulacija i restrukturiranje industrije proizvodnje električne energije jedne su od glavnih promjena koje su nastale u zadnjem desetljeću. Dereguliranjem tržišta električne energije kupci (potrošači) imaju opciju samostalnog odabira proizvođača potrebne električne energije. Kao pozitivne posljedice javlja se jeftinija i kvalitetnija električna energija. [18]

3.1.4 Pouzdanost s obziom na način i mjesto priključka na mrežu

Utjecaj na okoliš postao je jedan od glavnih faktora pri djelovanju industrije pa tako i same proizvodnje električne energije. Europska komisija kao cilj postavlja da do 2020. godine, 20 % ukupno proizvedene električne energije mora biti proizvedeno iz obnovljivih izvora. Ovakva odluka dovela je do povećanja elektrana na obnovljive izvore, a time i postrojenja na bioplin. Kako elektrane na obnovljive izvore ne mogu raditi kao temeljne elektrane, distribuirana proizvodnja javlja se kao rješenje. Distribuiranom proizvodnjom uklapaju se elektrane na obnovljive izvore u proizvodni sustav. Ovakvom proizvodnjom stvara se veća pouzdanost sustava, reduciraju se gubici u prijenosu, te se smanjuje emisija CO_2, utjecaji na globalno zatopljenje te ostali utjecaji na okoliš. Uvođenjem ovakvih promjena, tradicionalni centralizirani sustavi zamijenit će se decentraliziranim sustavom koji će se sastojati od više manjih sustava proizvodnje.

Distribuirana proizvodnja obuhvaća male proizvodne jedinice koje su postavljene na strateškim mjestima u distribucijskoj mreži, odnosno što bliže potrošačima. Distribuirana proizvodnja može se koristiti u otočnim režimima rada, kada se zadovoljavaju potrebe lokalne potrošnje energije, ili u integriranoj proizvodnji, kada se proizvedena energije šalje dalje u elektroenergetski sustav.

Glavne prednosti distribuirane proizvodnje su:

- smanjeni troškovi prijenosa električne energije, proizvodnja energije je smještena bliže potrošačima
- smanjeno vrijeme izgradnje i troškova manjih elektrana prikladne za sektor deregulacije i tržišne politike

U distribuiranu proizvodnju ubrajaju se obnovljivi izvori energije kao što su vjetroelektrane, male hidroelektrane, solarne elektrane i elektrane na biomasu. Budući da nabrojane elektrane zauzimaju geografski manje mjesta od konvencionalnih termoelektrana, logično je da će takve elektrane biti distribuirane širom mreže. U elektranama zasnovanim na isprekidanim izvorima energije, ne postoji mogućnost isporuke energije prije nego što obnovljivi izvor energije postane dostupan. Takve elektrane u distribuiranoj proizvodnji upravo zbog toga bitno utječu na pouzdanost mreže.

Isprekidani izvori energije zbog toga imaju veliki nedostatak u odnosu na konvencionalne izvore energije, te se smatraju manje pouzdanim izvorima energije. Potrebna količina energije može varirati na dnevnoj bazi, na sezonskoj bazi te o mjestu na kojem se promatra dostupnost električne energije.

Tri načina rada distribuirane proizvodnje i njihov utjecaj na pouzdanost:

- Prvi slučaj je kada je distribuirana proizvodnja u službi rezerve koja se aktivira ukoliko dođe do lokalnih poremećaja u mreži što uzrokuje nestašicu električne energije. Ukoliko su elektrane u distribuiranoj proizvodnji dobro parametrirane i postavljene, morao bi se postići pozitivan utjecaj na pouzdanost sustava.
- Druga primjena distribuirane proizvodnje je injekcija viška snage proizvodnih jedinca u distribucijsku mrežu, što se može dogoditi kada je kapacitet distribuirane proizvodnje veći od lokalne potražnje za električnom energijom.
- Treći način obuhvaća paralelan režim rada, odnosno distribuirana proizvodnja radi paralelno s ostatkom elektroenergetskog sustava. U tom slučaju, takva se proizvodnja može nadomjestiti u mreži kao negativan potrošač, neovisan o naponu na sabirnici. Takvim modeliranjem smanjuje se opterećenje na proizvodnju energije, međutim potreban je bolji model koji bi uzeo u obzir isprekidanu prirodu takvih oblika energije.

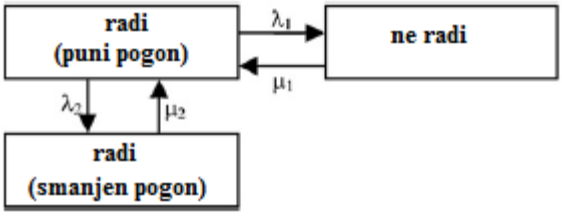
Elektrane na biomasu, iako se radi o obnovljivom izvoru energije, ne ubrajaju se u isprekidane izvore energije, što je njihova velika prednost u odnosu na sve ostale obnovljive izvore. Biomasu je moguće skladištiti te je moguće napraviti studije dostupnosti energije. Jedini stvarni problem kod kojega bi moglo doći do prestanka isporuke električne energije je kvar na proizvodnoj jedinici.

Proces dobivanja električne energije iz biomase karakterizira niska učinkovitost i potreba za velikom količinom sirovine (biomase). Proizvodnja električne energije velikih razmjera vezana je uz sezonske prilike usjeva, budući da se ostatci s poljoprivrednih polja koriste upravo kao biomasa. Zbog toga, dostupnost biomase može varirati s obzirom na mjesec ili sezonu, odnosno i na mjesece između žetve ukoliko se poradilo na skladištenju biomase. Upravo zbog svega navedenog, isprekidanost ovog obnovljivog izvora energije može se smatrati gotovo zanemarivom.

Elektrane na biomasu u svom procesu proizvodnje energije mogu se nalaziti u tri raspoloživa stanja:

- radni režim
- popravak
- smanjeni režim rada

kao što je prikazano slikom. Smanjeni režim rada može predstavljati kvar određenih komponenti koje ne utječu bitno na sam rad elektrane, već smanjuju raspoloživu snagu. Također, smanjeni režim rada može nastupiti ukoliko je nastupilo vrijeme između dvije žetve, a u skladištu ne postoje dovoljne zalihe biomase pa se ide namjerno u manju proizvodnju energije kako bi se elektrana držala u pogonu.



Slika 3.1. *Model stanja elektrane na biomasu [19]*

Pouzdanost tradicionalnih sustava definirala se na deterministčkim kriterijima prošlih događaja, pa su danas pojedini sustavi podprojektirani ili preprojektirani. Takvi kriteriji ne mogu se primijeniti na novije decentralizirane sustave te se uvode metode proračuna pouzdanosti koje se temelje na vjerojatnosti i stohastičkoj razdiobi. Navedene metode baziraju se na statističkim podacima vezanim uz različite komponente sustava.

Pouzdanost distribucijskog sustava ovisi znatno o mjestu priključka distribucijske proizvodnje. Stoga je ključno dobro odabrati poziciju spajanja distribucijske proizvodnje kako bi se postigla maksimalna korist i pouzdanost.

3.2 Analitičke metode proračuna pouzdanosti elektrane

Većina analiza pouzdanosti elektrana zasniva se na Monte Carlo simulaciji. Monte Carlo simulacija zasniva se na stvaranju slučajnih brojeva te proračunu prosjeka statističkih pogrešaka na velikom broju simulacija. Ova metoda je prihvaćena osobito pri provođenju studija pouzdanosti za gradnju velikih i kompleksnih sustava. Glavni nedostatak ove metoda je veliki broj simulacija koje je potrebno provesti kako bi se proračunala pouzdanost. [17]

Ukoliko su jednostavni sustavi u razmatranju, tada se za proračun pouzdanosti koriste analitičke metode. Za takve sustave nema potrebe za Monte Carlo simulacijom. Analitičke metode (metoda prostora stanja) pretpostavljaju da sustav i dijelovi sustava mogu biti u određenom stanju određeno vrijeme gdje se vrijeme trajanja postavlja kao slučajna varijabla. Metoda prostora stanja može sadržavati veliki broj proračuna za kompleksne sustave, ali su algoritmi ove metode jednostavni za primijeniti te je metoda veoma svestrana. Metoda se može primijeniti na veliki broj situacija te se stoga najčešće koristi pri proračunu pouzdanosti.

Stupanj pouzdanosti bioplinskog postrojenja definiran je vjerojatnošću kvara sistema. Vjerojatnost toka snage koristi se za proračun stupnja pouzdanosti. Kako bi stupanj pouzdanosti bio što precizniji, potrebno je provesti simulacije za što više kontigencija.

Današnji električni sustavi predstavljaju neizvjesne događaje (kontigencije), kako sa strane potrošača tako sa strane sustava (u obliku kvara kompenenti). Kako bi se prikupila baza kontingencija koje se mogu dogoditi cjelokupnom sistemu, sustav se izlaže mogućim problemima sa slučajnim varijablama.

Vjerojatnost toka snage rješenje je problema toka snage uzimajući slučajne varijable. Postoje različiti pristupi procjene problema toga snage. Simulacijsku tehniku predstavlja Monte Carlo metoda, dok postoje i analitičke tehnike (metoda zbroja) koje direktno rade sa slučajnim varijablama. Metode koje koriste analitičke tehnike, koriste odgovarajuća svojstva slučajnih varijabli koje prestavljaju snagu injektiranu u čvorove kako bi se održali konstantan napon i tok snage duž mreže.

Razvoj električne industrije pridodao je važnosti pouzdanosti postojenja. Glavna ograničenja djelovanja nekoga sustava predstavlja sigurnost sustava. Ponekad se sustavi proširuju dodatnim jedinicama proizvodnje kako bi osigurali što veću pouzdanost postojenja.

Određivanje pouzdanosti sustava smatra se kompleksnim problemom. Na pouzdanost utječe veliki broj faktora. Neki od tih faktora su: dostupnost elektrane, tereti na čvorovima, broj vodova i čvorova koji su van rada, sat u danu, dan u tjednu, godišnje doba.

Najbolji pokazatelji pouzdanosti sustava su: vjerojatnost kvara sustava, promjena frekvencije i vrijeme trajanja kvara. Ne izazivaju sve kontingencije pad sustava, samo one većih razmjera izazvat će kvar sustava te se za takve događaje provode simulacije i proračuni.

Točnost stupnja pouzdanosti ovisi o broju simulacija koje se provedene za kontingencije. Također broj kontingencija za koje će se provesti simulacije ovisi o stupnju točnosti koji se želi dobiti.

3.2.1 Vjerojatnost toka snage (*engl. **PLF – Probabilistic load flow***)

Tok snage predstavlja razvotežu između proizvede snage i potrošnje.

$$P_i = V_i \sum_{n=1}^{N} [V_n (g_{in} \cdot cos\delta_{in} + b_{in} \cdot sin\delta_{in})] \quad (3\text{-}1)$$

$$Q_i = V_i \sum_{n=1}^{N} [V_n (g_{in} \cdot sin\delta_{in} - b_{in} \cdot cos\delta_{in})] \quad (3\text{-}2)$$

Formula 3-1. i 3-2. Radna i jalova snaga injektirana na čvoru i [20]

Gdje je:

P_i – radna snaga injektirana na čvoru i

V_i – napon na čvoru i

g_{in} – serijska vodljivost od čvora i do čvora n

δ_{in} – fazni pomak napona između čvorova i i n

Q_i – reaktivna (jalova) snaga injektirana na čvoru i

3.2.2 Linearna aproksimacija

Linearizacija jednadžbi tokova snaga radi se oko rješenja dobivenog deterministčkih tokova snaga, koji se procjenjuju s obzirom na očekivane veličine u sustavu. Kako bi se pobliže opisala ova tehnika, u obzir se uzimaju dvije varijable X i Y. U određenom trenutku, ove se varijable međusobno množe te se tako dolazi do treće varijable Z. [20]

$$Z = X \cdot Y \tag{3-3}$$

Ako je devijacija varijabli X i Y približno jednaka srednjim vrijednostima varijabli, može se pretpostaviti [25]:

$$X \approx \bar{X} + \Delta X \tag{3-4}$$

$$Y \approx \bar{Y} + \Delta Y \tag{3-5}$$

Kada se zanemare članovi drugog reda iz jednadžbi može se pisati [25]:

$$Z \approx \overline{XY} + \bar{X} \cdot \Delta Y + \bar{Y} \cdot \Delta X = \bar{X} \cdot Y + \bar{Y} \cdot X - \overline{XY} \tag{3-6}$$

Zbog toga se može pretpostaviti, ukoliko su promjene slučajnih varijabli dovoljno male, vrijednost varijable Z može se linearizirati budući da su poznate očekivane vrijednosti varijabli X i Y. Ova tehnika može se primijeniti na kutove i napone prilikom izračuna tokova snaga. Iz toga slijedi:

$$P_i = \sum_{n=1}^{N}(e'_{in} + f'_{in} \cdot \delta_i - f'_{in} \cdot \delta_n + g'_{in} \cdot V_i + h'_{in} \cdot V_n) \tag{3-7}$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^{N}(e''_{in} + f''_{in} \cdot \delta_i - f''_{in} \cdot \delta_n + g''_{in} \cdot V_i + h''_{in} \cdot V_n) \tag{3-8}$$

Formula 3-7. i 3-8. Radna i jalova snaga injektirana na čvoru [20]

gdje se koeficijenti e',f',g',h',e'',f'',g'' i h'' računaju iz parametara sustava i očekivanih vrijednosti varijabli.

3.2.3 Momenti i kumulanti

Metoda kumulacija može zamijeniti konvoluciju slučajnih varijabli sa sumom pripadnih kumulanata. Ova metoda ima prednost u tome što smanjunje troškova proračunavanja. Također se omogućava upotreba bilo kojih slučajnih vrijednosti varijabli, a ne samo vrijednosti dobivenih normalnom razdiobom.

Momenti slučajne varijable X su očekivane vrijednosti određene funkcije X. Oni su kolekcija opisnih mjerenja koja se mogu koristiti kako bi se postavila vjerojatnost razdiobe varijable X i kako bi se odredili jesu li poznati svi momenti varijable X.

Kumulanti (k_r) i momenti slučajne varijable zajedno čine set konstanti koje pokazuju svojstvo varijable X i određuju njenu distribucijsku funkciju.

3.2.4 Metoda rezolucije

Metoda koja se koristi za rješavanje vjerojatnih tokova snage zahtijeva prikupljanje kumulanta jednadžbe. Do kumulanta se dolazi rješavanjem sustava problemskih jednadžbi za svaki red kumulantskih varijabli.

3.3 Procjena pouzdanosti

Procjenjivanje pouzdanosti sustava radi se u dva koraka:

1. Prvotno je sustav podvrgnut određenom broju kontingencija i vjerojatnost da sustav zakaže može se izračunati. U ovom koraku, vjerojatni tokovi snaga mogu se izvesti za svaku kontingenciju, kao i vjerojatnost sustava da zakaže sa svakom simuliranom kontingencijom.
2. Idući korak, vjerojatnosti određene u prethodnom koraku kombiniraju se kako bi se dobila prosječna vjerojatnost kvara na sustavu.[20]

U praksi se može simulirati samo nekoliko kontingencija, zbog toga ne postoji precizan način računanja indeksa pouzdanosti. Međutim postoji tehnika pomoću koje se može odrediti gornja i donja granica vrijednosti indeksa pouzdanosti sustava. S većim brojem simuliranih kontingencija smanjuje se raspon očekivanih vrijednosti indeksa pouzdanosti.

3.3.1 Vjerojatnost kvara u energetskom sustavu

Vjerojatnost kvara uvjetovana je s vjerojatnošću pojave kontingencije ili normalnog radnog stanja. Iz definicije uvjetne vjerojatnosti, vjerojatnost kvara sustava može se prikazati kao(3-9)

$$P^d = \sum_{m=1}^{C} P_m \cdot P_m^d \tag{3-9}$$

Formula 3-9. Ukupni broj vjerojatnosti kvara u sustavu [20]

gdje je:

- P^d ukupni broj vjerojatnosti kvara u sustavu
- C – ukupni broj simuliranih kontingencija
- P_m – vjerojatnost pojave kontingencije m
- P_m^d – vjerojatnost da dođe do pada sustava prilikom kontingencije m, koja se računa prema (3-10).

$$P_m^d = 1 - \prod_{p=1}^{N} P_{p,m}(L_p^{inf} \le V_p \le L_p^{sup}) \times \prod_{l=1}^{L} P_{l,m}(S_l \le L_l) \tag{3-10}$$

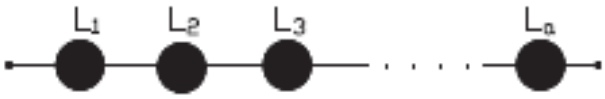
gdje je:

$P_{p,m}$ – vjerojatnost da će napon na čvoru p biti održavan u granicama L_p^{inf} *i* L_p^{sup}, tijekom kontingencije m.

$P_{l,m}$ – vjerojatnost da će tok prividne snage kroz vod l biti manji od mogućnosti prijenosa snage kroz vod tijekom kontingencije m.

3.3.2 Vjerojatnost kvara vodova

Prijenosni vod može se prikazati kao određeni broj odvojenih elemenata u seriji ili paraleli ili njihove međusobne kombinacije, ovisno o vrsti i namjeni voda. Na slici (Sl.3.2) je prikazan prijenosni vod kojeg predstavljaju elementi spojeni serijski.



Slika 3.2. *Elementi spojeni u seriju [20]*

Ako se λ_t i μ_t postave kao omjer kvara i popravka za neku komponentu t, dolazi se do izraza za dostupnost komponente t (3-11). [25]

$$A_t = \frac{\mu_t}{\lambda_t + \mu_t} \tag{3-11}$$

Dok se vjerojatnost za kvar prijenosnog voda dobije iz (3-12). [25]

$$q = 1 - \prod_{s=1}^{a} A_s \tag{3-12}$$

Vjerojatnost da je prijenosni vod u funkciji je (3-13). [25]

$$p = 1 - q \tag{3-13}$$

3.3.3 Vjerojatnost pojave kontingencije

Iz poznatih vrijednosti za vjerojatnost da je vod u funkciji, određuje se vjerojatnost da je trenutno stanje u sustavu ustvari kontingencija. Druga stanja u sustavu postižu se isključivanjem jednog ili više vodova u elektroenergetskoj mreži. Broj mogućih stanja u mreži prema tome ovisi o broju prijenosnih vodova u mreži. U sustavu s L prijenosnih vodova, broj mogućih stanja u sustavu je 2^L. Vjerojatnost pojavljivanja kontingencije m, P(m), ili pojavljivanja određenog stanja mreže (budući da postoji i stanje kad je sve u normalnom pogonu, odnosno nema kontingencije) je (3-14) [25]:

$$P_m = p_0 \prod_{k \in 0_m} \frac{q_k}{p_k} \tag{3-14}$$

gdje se vjerojatnost normalnog stanja (normalnog pogona) računa kao (3-15) [20]:

$$p_0 = \prod_{k=1}^{L} p_k \tag{3-15}$$

A 0_m predstavlja set prijenosnih vodova koji su zahvaćeni kontingencijom *m*.

3.3.4 Mjerenje vjerojatnosti kvara sustava

Padom sustava matra se scenarij gdje je poslije kontingencije, prijenosna snaga vodova veća od dopuštene te ako je napon na jednom ili više čvorova veći od dopuštenih granica. Vjerojatnost da je tok snage kroz određen prijenosni vod u granicama dozvoljene prijenosne moći toga voda može se odrediti izravno iščitavanjem iz kumulativne distribucijske funkcije toka snage za taj vod prema jednadžbi (3-16).

$$P[X \leq L_{ik}] = \int_{-\infty}^{L_{ik}} f(x)dx = F(L_{ik}) \tag{3-16}$$

Formula 3-16. Kumulativna distribucijska funkcija toka snage određenog voda [20]

gdje je :

X – slučajna varijabla koja je povezane s tokom prividne snage u vodu *ik*

L_{ik} – granica prijenosne moći voda *ik*

f(x) – PDF toga prividne snage u vodu *ik*

F(x) – CDF toka prividne snage kroz vod *ik.*

Analogno tome, CDF pokazuje odgovarajući napon na čvoru *i* te je moguće izračunati vjerojatnost da se napon nalazi u dozvoljenim granicama. Na slici (Sl.21.) je prikazana vjerojatnost da je napon na čvoru i manji od dozvoljene gornje granice, te veći od dozvoljene donje granice, prema tome:

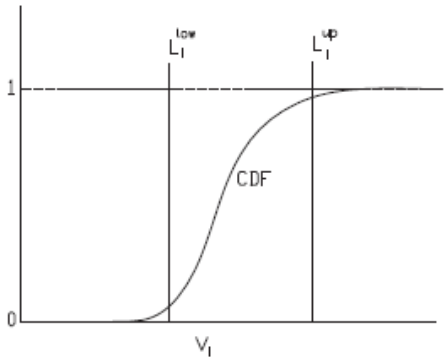
$$P\left[L_i^{low} \leq X \leq L_i^{up}\right] = F(L_i^{up}) - F(L_i^{low}) \tag{3-17}$$

Formula 3-17. Kulmutivna funkcija razdiobe na čvoru i [20]

gdje je:

X – slučajna varijabla napona na čvoru *i*

F(x) – CDF napona na čvoru *i.*



Slika 3.3. *Kulmulativna funkcija razdiobe na čvoru i [20]*

3.3.5 Procjena ukupne pouzdanosti sustava

Posljednji korak je računanje ukupne pouzdanosti sustava iz prikupljenih rezultata vjerojatnosti, uz poznate dopuštene gornje i donje granice pouzdanosti sustava. Preptpostavljajući da je G_c skup simuliranih kontingencija, H_C je skup nesimuliranih kontingencija pa vrijedi $P[G_c]=D$, gdje je $P[H_c]=1-D$. [23]

Postoje dva moguća ishoda: kontingencija iz skupa *Hc* će uzrokovati pad sustava ili će sustav ostati stabilan. Gornja granica se pouzdanost sustava se može odrediti tako što će se pretpostaviti da će sve kontingencije iz skupa *Hc* proizvesti pad sustava.

3.3.6 Model vjerojatnosti elektrane na biomasu

Dostupnost proizvodnje snage i promjene snage na čvorovima u mreži može se modelirati koristeći slučajne varijable. Takve se varijable modeliraju prema normalnoj raspodjeli.

Dostupnost elektrana modelira se diskretnim slučajnim varijablama, kao što je Bernoullijeva raspodjela za elektrane s jednim generatorom ili binomna raspodjela za elektrane s više generatora. [20]

4 ANALIZA RADA BIOPLINSKIH ELEKTRANA

Promatrano bioplinsko postrojenje posjeduje dva bioplinska agregata snage 1 MW koji su instalirani na lokalnu niskonaponsku mrežu. Priključak bioplinske elektrane na postojeću mrežu realiziran je preko dva paralelna voda čime je omogućen paralelni rad s distribucijskom mrežom.

4.1 Opis elektrane

Generatorsko postrojenje sastoji se od plinkog motora s 20 cilindara i 1500 o/min, na osovinu motora je vezan generator koji pri pomenutoj brzini proizvodi električnu energiju frekvencije 50Hz.

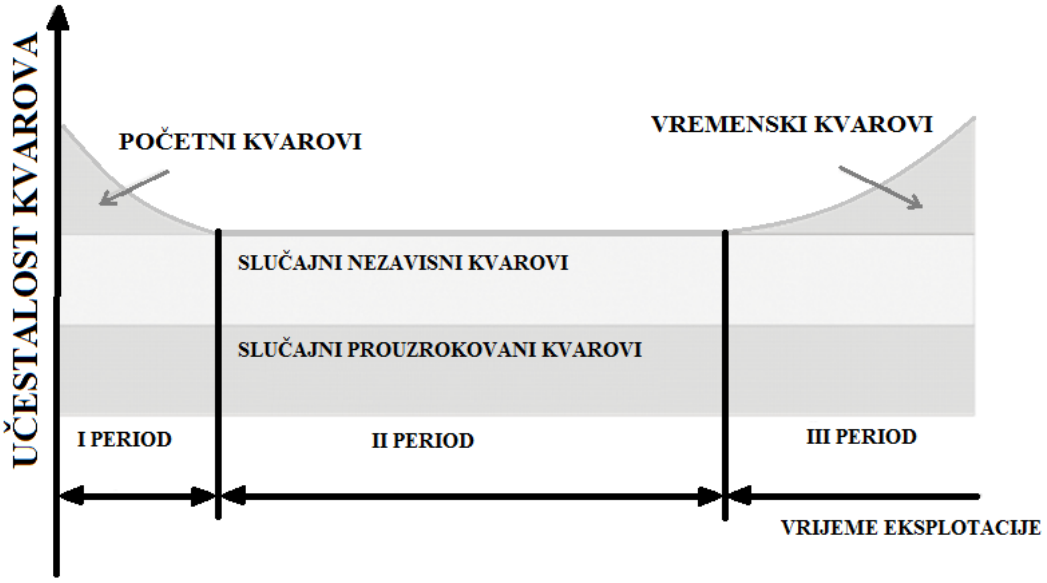
Tablica 4.1. *Karakteristike generatora promatrane elektrane*

Veličina	**Jedinica**	**Vrijednost**
Pogonska snaga	kW	1095
Snaga pri cos φ = 1,0	kW	1063
Snaga pri cos φ = 0,8	kW	1051
Nazivna struja pri cos φ = 0,8	A	1897
Frekvencija	Hz	50
Nazivni napon	V	400
Broj okretaja	o/min	1500
Dozvoljena maksimalna brzina vrtnje	o/min	2250
Dozvoljeni cos φ		0,8 – 1,0
Učinkovitost pri cos φ = 1,0	%	97,1
Učinkovitost pri cos φ = 0,8	%	96,0

Ukupna snaga elektrane je 2190 MW radne snage i 3100 kVA prividne snage. Planirana proizvodnja električne energije koja je namjenjena za isporuku u distribucijsku mrežu je 2 MW. Propisana proizvodnja jalove energije je u granicama od cosρ=0,85 induktivno do cosρ=1. Osigurano je trenutno odvajanje elektrane u slučaju odstupanja napona ±10% od nazivnog, te u slučaju odstupanja frekvencije većih od ±1Hz u odnosu na propisanih 50Hz.

4.2 Analiza zastoja bioplinskih elektrana

Praćenje zastoja bioplinskog postrojenja vršeno je u razdoblju od siječnja 2013. godine do studenog 2014. godine. Zastoji su praćeni za svako postrojenje posebno i sumirani, tako da će se postrojenje promatrati kao jedna cijelina. Očekivani rezultat popisa zastoja postrojenja je takozvani dijagram kade. (Sl.4.1.)



Slika 4.1. *Dijagram kade - tipična prezentacija učestalosti kvarova*

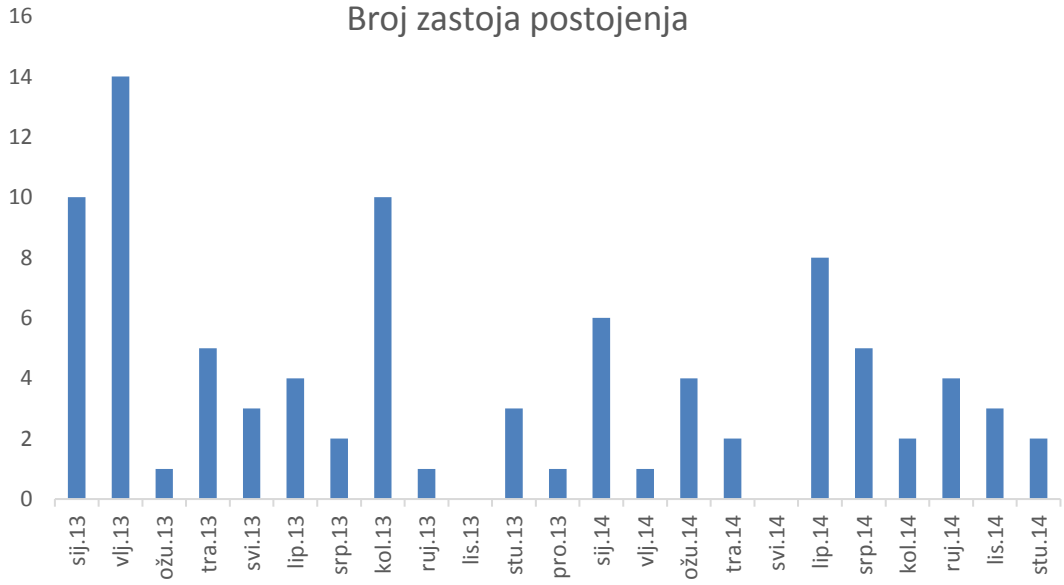
Ukupan broj zastoja tijekom navedenog vremena je 231 što je u prosjeku 10 zastoja mjesečno.

Dijagram 4.1. prikazuje vremenski broj zastoja postrojenja. U ovom su periodu uključeni svi zabilježeni zastoji te ova grafika ne prikazuje očekivanu prezentaciju učestalosti zastoja (Sl.4.1.)



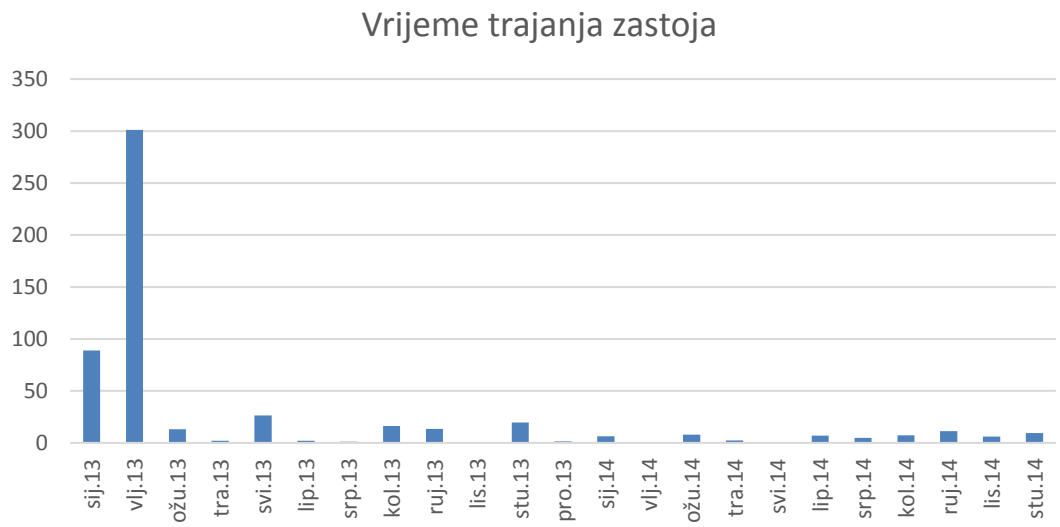
Dijagram 4.1. *Ukupan broj zastoja postrojenja*

Ako se iz popisa zastoja postrojenja izuzmu zastoji koji nisu izravno prouzrokovani radom postrojenja kao što su zastoji prouzrokovani od strane mreže, redovitim servisima i previsokim vanjskim temperaturama, dobiva se dijagram 4.2..



Dijagram 4.2. *Ukupan broj zastoja postrojenja nakon izuzimanja zastoja prouzrokovani od strane mreže, redovitim servisima i previsokim vanjskim temperaturama.*

Sada u promatranom periodu postoji puno sitnih zastoja trajanja od svega nekoliko minuta kao što je u slučaju kolovoza 2013. godine koji odstupa od očekivanja dijagrama kade. U tom vremenskom periodu problem je predstavljao kvar na upravljanju motora koji je učestalo ispadao iz redovitog rada. Kada se umjesto broja zastoja kao točke promatranja uzme vrijeme trajanja zastoja koje naglašava težinu zastoja, dobiva se dijagram 4.3.



Dijagram 4.3. *Vrijeme trajanja zastoja u promatranom vremenskom periodu*

Ovaj je dijagram gotovo identičan dijagramu „kade“ i jasno se vide početni zastoji koji su se uglavnom događali u prva dva mjeseca rada. Uglavnom su to zastoji koji nastaju zbog lošeg projektiranja dijelova elektrane ili dijelova koji su pod tvorničkom greškom. Najbolji primjer su pucanje osovine valjka za hranjenje, pucanje cijevi rashladne tekućinie, kvarovi na mješaču ili pucanje cijevi za dovod smjese stajnjaka i vode u digestor. Kako je postrojenje izgrađeno i pušteno u pogon početkom 2013. g. na dijagramu nije vidljiv dio zastoja koji je prouzrokovan vremenskim korištenjem postrojenja ili zamorom materijala zbog broja sati u pogonu.

4.3 Raspoloživosti bioplinskog postrojenja

Raspoloživost (gotovost) se definira kao vjerojatnost da će sistem u bilo kojem trenutku vremena biti raspoloživ, odnosno da će biti u stanju da radi ili da se uključi u rad, pod uvjetom da se koristi pod zadanim uvjetima. Raspoloživost se definira na više načina. Ona koju daje proizvođač (inherentna, Ai) može se izračunati relacijom (4-1)

$$Ai = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF+MTTR}} \tag{4-1}$$

gdje je MTBF srednje vrijeme između kvarova, a MTTR srednje vrijeme popravaka. Sa stanovišta korisnika, raspoloživost se može izračunati preko ukupnog vremena za koje je sustav ili usluga bila ispravna za upotrebu $T_{ispravno}$ i ukupnog promatranog vremena T_{ukupno} (4-2)

$$A = \frac{T_{ispravno}}{T_{ukupno}} \tag{4-2}$$

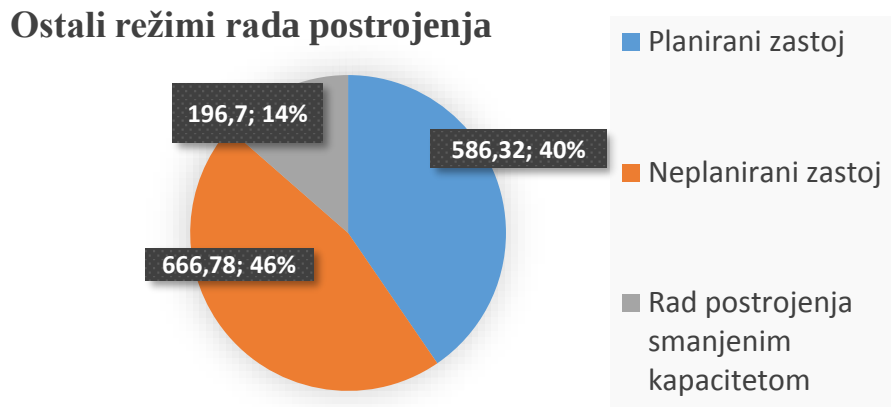
Ukpuno vrijeme zastoja postrojenja iznosi 1450 h. Problemi prouzrokovani od strane mreže utjecali su na postrojenje kao cjelinu, a u dnevniku zastoja zabilježeni su na oba postrojenja tako da su brojani dvostruko. Ukupno stvarno vrijeme zastoja postrojenja je 1400,77 h, što ga čini dostupnim 15375,23 h. Ukupno vrijeme rada postrojenja iznosi 16776 h što odgovara periodu od 23 mjeseca koliko je dnevnik vođen.

Raspoloživost A postrojenja iznosi (4-3):

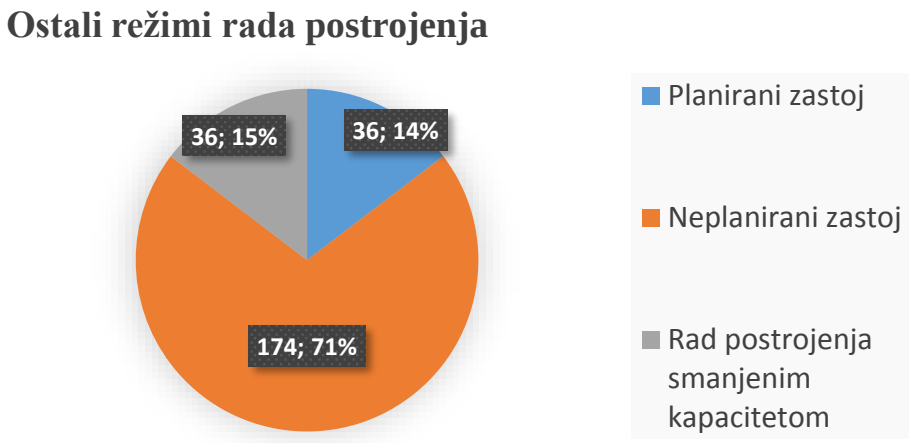
$$A = \frac{15375{,}23}{16776} = 0{,}916 \tag{4-3}$$

4.4 Opisi zastoja

Osim normalnog režima rada bioplinskog postrojenja postoje još tri različita režima, a to su planirani zastoji u koje ulaze redoviti panirani servisi i popravci, neplanirani zastoji u koje ulaze svi zastoji koji su prouzrokovani kvarom, tj. neplanirano i rad postrojenja smanjenim kapacitetom iz raznih razloga.



Dijagram 4.4. *Omjer ostalih režima rada izraženo u satima zastoja*



Dijagram 4.5. *Omjer ostalih režima rada izraženo u broju zastoja*

Vidljivo je da neplanirani zastoji rada postrojenja oduzimaju najviše vremena od ukupnog rada postrojenja i najviše utječu na raspoloživost elektrane, također i ukupan broj zastoja kod neplaniranih zastoja je najveći

Radi daljnje analize zastoji u postrojenju podijeljenji su na sedam logičkih cijelina koje su vidljive u tablici 4.2. i na osnovu kojih su napravljeni dijagrami 4.6. i 4.7.

Tablica 4.2. *Logički sortirani zastoji bioplinskog postrojenja*

LOGIČKI SORTIRANI ZASTOJI	t (h)	N
Nestanak el.energije i smetnje u mreži od strane HEP-a	115,6	75
Kvarovi u rashladnom sustavu postrojenja	28,4	27
Polugoišnji remonti,redoviti servisi brzi servisi motora	586,32	36
Rad postrojenja smanjenim kapacitetom.	196,7	21
Smetnje i kvarovi na sustavima za regulaciju i upravljanje postrojenja	57,43	38
Mehanički kvarovi	444,2	19
Kvarovi van postrojenja i ostalo	21,15	15

- **Nestanak el. energije i smetnje u mreži nastale od strane HEP-a**

Kako postrojenje nije spojeno na prijenosnu mrežu nego se radi o distribuiranoj porizvodnji, mnogi su razlozi nastanka ove vrste zastoja, od izravne krivice HEP-a i problema u distribuciji, mogućih kvarova na trafostanicama distribucije do prisilnog isključenja dijela mreže na koje je postrojenje spojeno zbog kvarova koji su se dogodili u tome dijelu mreže. Najveći udio u zastojima ima kompletan ispad mreže, dok padovi napona i smetnje u mreži daleko zaostaju po broju zastoja.

- **Kvarovi u rashladnom sustavu postrojenja**

Ova skupina zastoja bioplinskog postrojenja uglavnom se svodi na pad ili porast tlaka u spremniku rashladne tekućine ili cijevima kojim se tekućina doprema do motora. Također je dolazilo do česte promjene u razini tekućine u spremniku. Uglavnom je riječ o kvarovima koji nastaju zbog velike količine vode koja je zbog toga podložnija temperaturnim utjecajima kao što su toplinsko širenje tekućine ili jednostavno isparavanju vode kroz odušak koje izravno ima za posljedicu smanjenje razine tekućine u postrojenju.

- **Polugodišnji i godišnji remonti, redoviti servisi, brzi servisi motora**

Kako bi postrojenje što dugotrajnije i efikasnije radilo na njemu se vrše redoviti servisi kojim dolazi do zamjene potrošnih dijelova postrojenja ili se radi o redovnim remontima motora koji nakon određenog broja sati rada zahtijevaju izmjenu ulja za podmazivanje, promjenu svjećica, filtera, čišćenje hladnjaka, provjeru sustava za paljenje, promjenu rashladne tekućine itd. Svrha redovitih servisa i remonta motora jest da se planiranim zastojima postrojenja spriječe, tj. svedu na što manju moguću mjeru neplanirani pogonski zastoji.

- **Rad postrojenja smanjenim kapacitetom.**

Rad postrojenja smanjenim kapacitetom obično nastaje zbog smanjene prihrane digestora što za posljedicu izravno ima smanjenu proizvodnju bioplina. U ljetnim mjesecima najveći problem predstavlja previsoka temperatura okoline koja otežava hlađenje motora, tako se smanjenjem kapaciteta proizvodnje sprječava pregrijavanje postrojenja. Također kratkotrajni rad smanjenim kapacitetom može biti posljedica i razrađivanja motora nakon servisa i remonta što je ipak zanemarivo u odnosu na prethodno nabrojano.

- **Smetnje i kvarovi na sustavima za regulaciju i upravljanje postrojenja**

Uglavnom se radi o neispravnom radu i smetnjama raznih regulatora i osjetnika, ponovnom pokretanju sustava upravljanja, promjeni režima rada, zaustavljanju radi usporedbe parametara generatora, greškama automatike i raznim ostalim greškama u sustavu upravljanja.

- **Mehanički kvarovi**

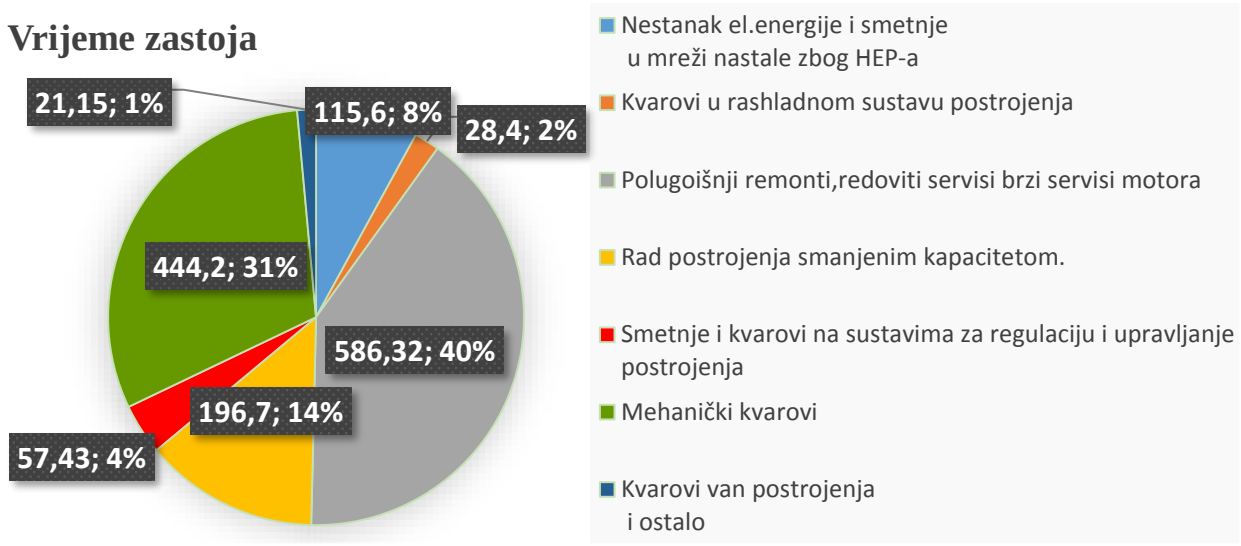
Događaju se zbog lošeg projektiranja postrojenja ili montiranja dijelova koji su pod greškom. Pri radu lako se može dogoditi da se neki sustavi preopterete kao što je bio slučaj pucanja osovine sustava za prehranu i izmjena bolcni na njima. Ljudski faktor također ima veliku ulogu u ovoj vrsti zastoja te se nepavilnim rukovanjem strojevima ili zanemarivanjem propisanih ograničenja u radu često događaju razna pucanja dijelova i razna oštećenja.

- **Kvarovi van postrojenja i ostalo**

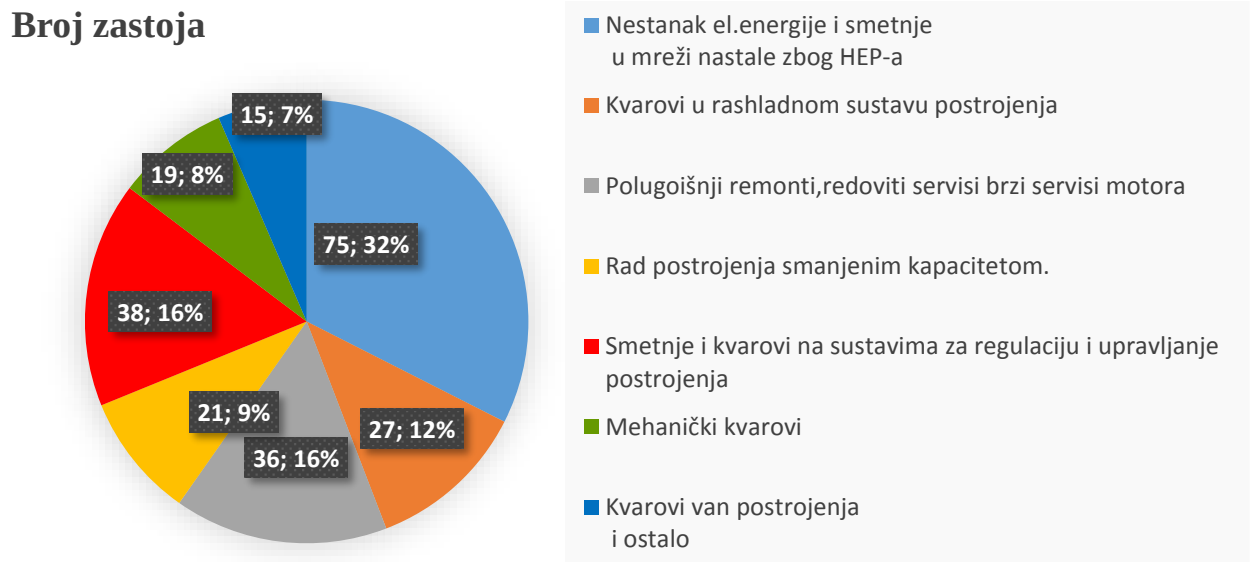
U ovoj logičkoj cjelini nalaze se kvarovi koji su se dogodili izvan samog postrojenja, a zbog njih je rad postrojenja morao biti privremeno obustavljen. Npr. pucanje raznih cjevovoda i toplovoda u okolici postrojenja.

4.5 Analiza zastoja

Od ukupnog vremena zastoja (Dijagram 4.6.) mehanički kvarovi doprinose najviše ukupnom vremenu u kojem je postrojenje van pogona. Obično je to iz razloga što su bioplinska postrojenja velika tako da su i dijelovi koji otkazuju veliki i teški, pa se zbog toga dosta vremena potroši na samu pripremu otklanjanja kvara, gdje sigurnost na radu igra veliku ulogu te također produžuje vrijeme zastoja.



Dijagram 4.6. *Omjer vremena zastoja bioplinkog postrojenja*



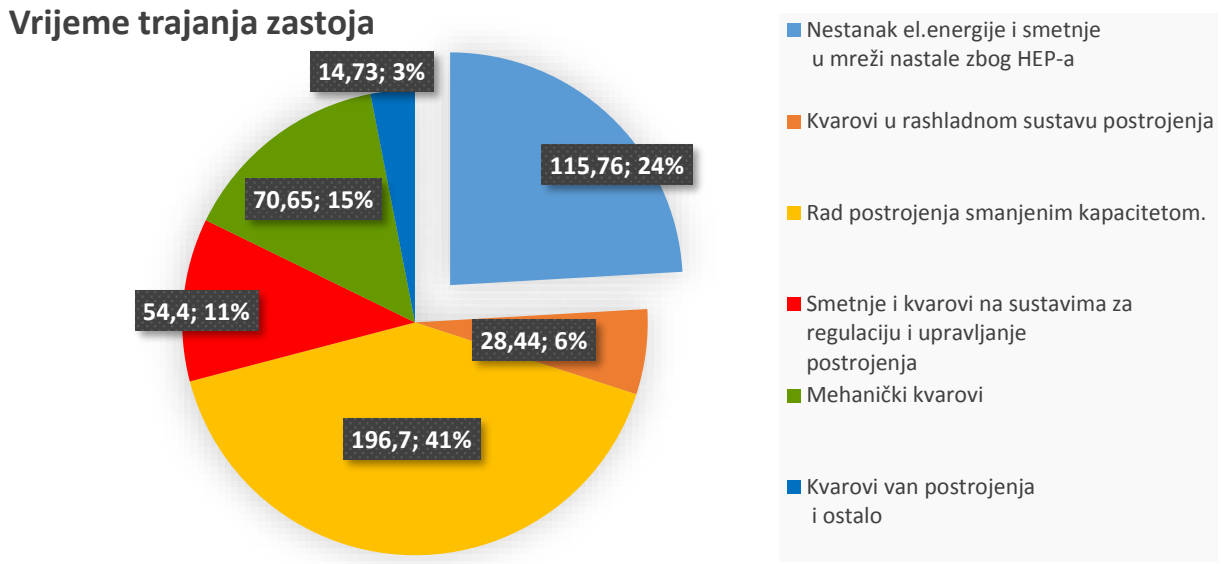
Dijagram 4.7. *Omjer broja zastoja bioplinskog postojenja*

Po broju zastoja najveći doprinos ukupnom broju daje nestanak električne energije prouzrokovan od strane mreže (dijagram 4.7.) i iznosi 32%. Od ukupnih 1450 sati u kojem je postrojenje bilo van pogona nestanak električne energije i drugi zastoji prouzrokovani od strane mreže imaju udio od 8% sa 115,6 sati što na prvi pogled ne predstavlja veliki problem. Ukoliko se od ukupnog broja zastoja oduzmu redoviti servisi koji su predvidljive naravi i mogu se izvoditi u pogodnim terminima kao što je noć kada potrošnju sustava zadovaoljavaju velike temeljne elektrane, te ako se oduzmu početni mehanički kvarovi koji se događaju na početku radnog vijeka postrojenja, izgled udjela zastoja prouzrokovani nestankom električne energije poprima drukčiju sliku. U tablici 4.3. izmijenjeni su podatci, tj. oduzeta su prethodno navedena vremena zastoja i na osnovu nje su napravljeni dijagrami 4.8 i 4.9.

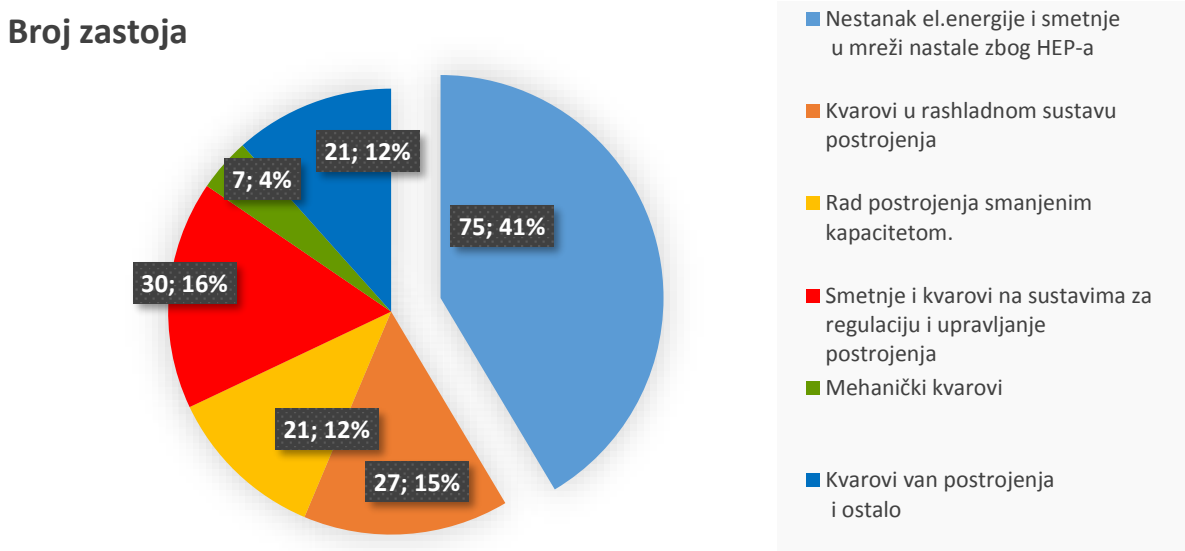
Tablica 4.3. *Izmjenjeni logički sortirani zastoji*

LOGIČKI SORTIRANI ZASTOJI	**t (h)**	**N**
Nestanak el.energije i smetnje u mreži nastale zbog HEP-a	115,76	75
Kvarovi u rashladnom sustavu postrojenja	28,44	27
Rad postrojenja smanjenim kapacitetom.	196,7	21
Smetnje i kvarovi na sustavima za regulaciju i upravljanje postrojenja	54,4	30
Mehanički kvarovi	70,65	7
Kvarovi van postrojenja i ostalo	14,73	21

Nakon uklanjanja planiranih zastoja postrojenja i početnih mehaničkih kvarova vidi se rast udjela zastoja postrojenja nastalim nestankom električne energije, kako u vremenu trajanja zastoja tako i u ukupnom broju zastoja u odnosu na ostale.



Dijagram 4.8. *Omjer vremena zastoja bioplinkog postrojenja na osnovu tablice 4.3.*

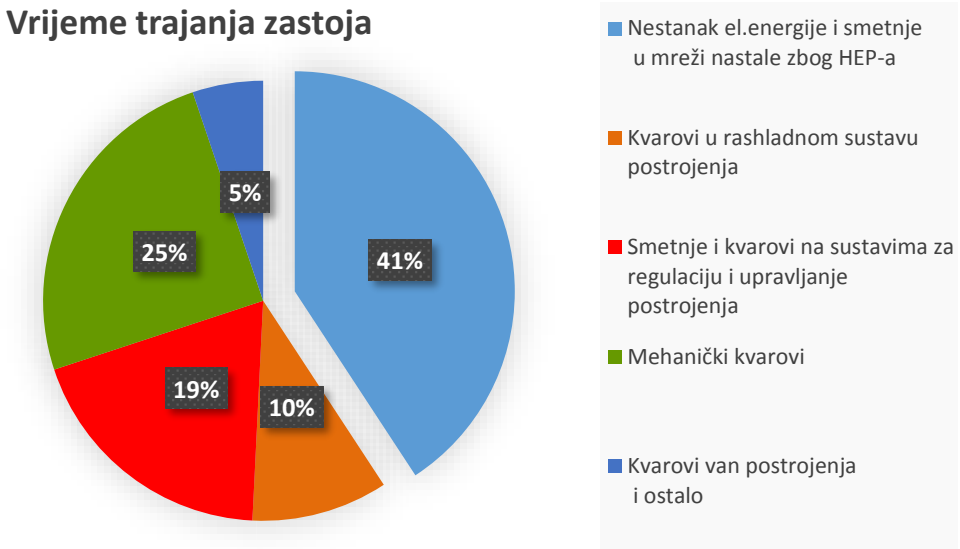


Dijegram 4.9. *Omjer broja zastoja bioplinskog postojenja postrojenja na osnovu tablice 4.3.*

Također ako se stanje smanjenog kapaciteta rada bioplinskog postrojenja smatra ispravnim stanjem, jer postrojenje s tehničke strane radi ispravno, ali smanjenim kapacitetom zbog ranije nabrojanih razloga, tada će se ukupni zastoji bioplinskog postrojenja promatrati bez stanja rada postrojenja smanjenim kapacitetom i od ranije zanemarenih uzroka zastoja (tablica 4.4.).

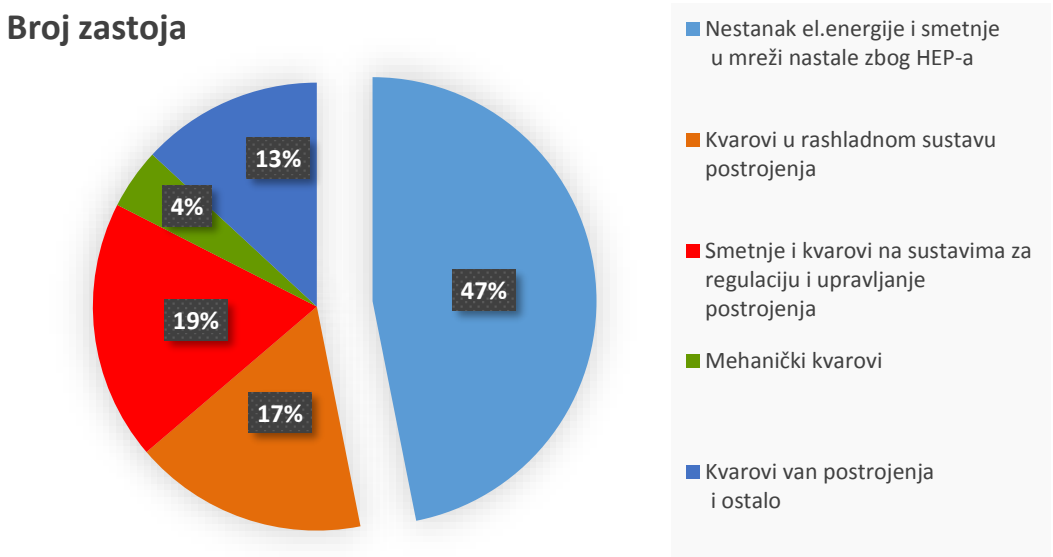
Tablica 4.4. *Izmjenjeni logički sortirani zastoji*

LOGIČKI SORTIRANI ZASTOJI	t (h)	N
Nestanak el.energije i smetnje u mreži nastale zbog HEP-a	115,76	75
Kvarovi u rashladnom sustavu postrojenja	28,44	27
Smetnje i kvarovi na sustavima za regulaciju i upravljanje postrojenja	54,4	30
Mehanički kvarovi	70,65	7
Kvarovi van postrojenja i ostalo	14,73	21



Dijagram 4.10. *Omjer vremena zastoja bioplinkog postrojenja na osnovu tablice 4.4.*

Iz dijagrama 4.10 i 4.11. postaje vidljivo da s udjelom od 41% od ukupnog vremena zastoja i 47% od ukupnog broja zastoja zastoji prouzrokovani od strane mreže predstavljaju gotovo polovicu svih zastoja sa stajališta nepredvidivosti zastoja.



Dijegram 4.11. Omjer broja zastoja bioplinskog postojenja postrojenja na osnovu tablice 5

5 ZAKLJUČAK

S ekonomskog stajališta svi zastoji predstavljaju trošak u radu svakog postrojenja, međutim planirani zastoji i rad s reduciranim kapacitetima podložni su djelomičnoj ili potpunoj kompenzaciji njihovog utjecaja, kao što je npr. obavljanje servisa postrojenja u vremenu kada potražnja električne energije i nije velika ili uzimanju u obzir troškova remonta u opću ekonomsku računicu rada postrojenja. S inženjerskog stajališta neplanirani pogonski zastoji predstavljaju stvarni utjecaj na raspoloživost i pouzdanost postrojenja. Rezultat promatranja zastoja bioplinksog postrojenja iz kuta neplaniranih pogonskih zastoja je takav da zastoji prouzrokovani od strane mreže predstavljaju najveći udio u zastojima postrojenja. Zbog svojeg velikog utjecaja na raspoloživost postrojenja stabilnost sustava jedna je od najbitnijih stavki pri razmatranju mjesta gradnje i odabira načina priključka na mrežu.

LITERATURA

[1] Karena Ostrem, greening waste: anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes, May 2004

[2] Zoran Osman, Projekt bioplinskog postrojenja,
Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 26.studeni 2015.g.

[3] Josip Heđi, ing.el., Iskustva u izgradnji bioplinskih postrojenja,
Belišće d.d. Tvornica elektro opreme,

[4] Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, Biogas handbook,
Published by University of Southern Denmark Esbjerg, October 2008

[5] Biljana Kulišić, Bioplinski priručnik, nacionalni dodatak za Hrvatsku,Listopad 2008,

[6] Shefali Verma, Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University May 2002

[7] Fabien Monnet, An introduction to anaerobic digestion of organic wastes,
Remade Scotland,November 2003

[8] Ivan Lasić, Izdvajanje dušika i helija iz prirodnog plina

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb, Diplomski rad, Zagreb, 2015.

[9] Uli Werner, Ulrich Stohr, Nicolai Hees, Biogas Plants in Animal Housbandry,
Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien,Gmbh-1989

10] https://energypedia.info/wiki/Main_Page , Pristupljeno 15. kolovoza 2016.

[11] http://www.tutorvista.com/ , Pristupljeno 15. kolovoza 2016.

[12] Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (Narodne novine 14/06)

[13] Zakon o tržištu električne energije (Narodne novine 177/04 i 76/07)

[14] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (»Narodne novine«, broj 177/04)

[15] Zakon o energiji (NN 68/2001, 177/2004, 76/2007)

[16] Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti (NN177/04, 76/2007)

[17] J. Lofthouse, R.T. Simmons, R. M. Yonk, Reliability of renewable energy: biomass,

Utah State University

[18] Binayak Banerjee, Syed M. Islam, Reliability based optimum location of distributed generation

[19] Carmen Lucia Tancredo Borges, An overview of reliability models and methods for distribution systems with renewable energy distributed generation,
Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

[20] F.J. Ruiz-Rodriguez, M. Gomez-Gonzalez, F. Jurado Reliability optimization of an electric power system by biomass fuelled gas engine,

[21] http://www.biogas-info.co.uk/

[22] Amalendu Bagchi ,Design of landfills an integrated solid waste managment,2004, IZDAVAČ: John wiley & sons,inc.

[23] Mr.sc.Marina Čavlović, dipl.ing.el. Nužni koraci korisnika mreže s HEP - ods-om u postupku priključenja elektrane na distribucijsku mrežu, HEP – ODS d.o.o., Elektroslavonija Osijek

[24] Tomislav Poljak, dipl. ing. el., mr. sc. Marina Čavlović, dipl. ing. el.
Vinko Fabris, dipl. ing. el.,
Tehnički uvjeti priključka jedinica distribuirane proizvodnje –povlašteni proizvođači,
Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED
1. savjetovanje,Šibenik, 18. - 21. svibnja 2008.

[25] Toni Luketić, Integracija bioplinske elektrane snage 670 kw na mrežu HEP-a Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2014.

[26] Davor Jugović, Analiza priključka bioplinske elektrane 1 mw na mrežu HEP-a Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2015.

[27] Damir Meglić, ing.el., Priključenje distribuirane proizvodnje na mrežu
HEP-ODS d.o.o „ELEKTRA“ ZABOK, članak za časopis ELEKTRIKA,
http://www.gradimo.hr/clanak/prikljucenje-distribuirane-proizvodnje-na-mrezu/36972
[28] http://www.weltec-biopower.com/ , posjećeno 9.9.2016.g.
Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, 26.studeni 2015.g.
[29] Dr.-Ing. Dieter Jürgen Korz, Industrial experiences with anaerobic digestion plants in Europe, Ros Roca Environment.

SAŽETAK

U radu su detaljno opisani procesi anaerobne digestije, supstrati koji se koriste i uvjeti koje je potrebno ispuniti za što bolju realizaciju kemijskog procesa. Način dobivanja bioplina i tehnike nadogradnje kvalitete bioplina. Također je opisano tipično bioplinsko postrojenje i svi njegovi dijelovi, način rada i svrha svakog karakterističnog dijela bioplinskog postrojenja. Objašnjeni su problematika i zakonski uvjeti priključka elektrane na mrežu. Pojašnjen je pojam pouzanosti bioplinskih postrojenja i opisani su tipični načini izračuna pouzdanosti. Pomoću tehničkih karakteristika postrojenja i opisa zastoja izvršena je analiza rada bioplinskog postrojenja. Pokazano je kako najveći utjecaj na zastoje u bioplinskom postrojenju ima nestabilnost distribucijskog dijela elektroenergetskog sustava.

Ključne riječi: Anaerobna digestija, bioplin, bioplinsko postrojenje, pouzdanost, raspoloživost, analiza zastoja.

ABSTRACT

This paper describes in detail the processes of anaerobic digestion, the used substrates and the conditions needed for a better implementation of the chemical process, the way of obtaining biogas and the techniques of upgrading the quality of biogas. Moreover, it describes a typical biogas facility and all its parts, way of working and the purpose of its each characteristic constituent. It also explains the problems and legal conditions of connecting the power plant to the grid. The concept of reliability of the biogas facility and the typical methods of calculating the reliability are also explained. With the help of the technical characteristics of the facility and the description of the failures, an analysis of biogas facility's work has been done. It has been shown that the greatest impact on failures of the biogas facility has the instability of the distribution section of the power system.

Key words: anaerobic digestion, biogas, biogas plant, reliability , availability, analysis of failures.

ŽIVOTOPIS

Marinko Knežević rođen je 3. 1. 1986. godine u Brčkom, BiH. Djetinjstvo provodi u malom mjestu Ugljara pored Orašja gdje upisuje Osnovnu školu Orašje u Orašju. Nakon završene osnovne škole upisuje Tehničku školu Ruđer Bošković u Zagrebu. Natječe se na gradskom natjecanju grada Zagreba iz matematike gdje zauzima 35. mjesto. Akademske godine 2004./2005. upisuje Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, nakon toga nakratko prekida studij i nastavlja ga na Elektrotehničkom fakultetu Osijek u Osijeku. Tijekom studija bavi se raznim izvannastavnim aktivnostima.