

**ZAŠTITA ELEKTRANE NA BIOGAS****BIOGAS POWER PLANT PROTECTION**Stefan Stepanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljen je primer zaštite elektrane na biogas. Navedeni su osnovni principi proizvodnje elektrane na biogas. Objašnjena je mikroprocesorska zaštita koja se koristi u elektrani na biogas. Opisane su generalno zaštite transformatora i generatora u elektranama na biogas. Dat je primer elektrane na biogas i prikazane su specifičnosti i osobine zaštite transformatora i generatora.

**Ključne reči:** *Elektrana na biogas, Zaštita generatora, zaštita transformatora*

**Abstract** – This document presents an example of biogas power plant protection. The basic principles of biogas power plant production are stated. The microprocessor protection used in a biogas power plant is explained. The protections of transformers and generators in biogas power plants are generally described. An example of a biogas power plant is given and the specifics and characteristics of transformer and generator protection are presented.

**Keywords:** *Biogas power plant, Generator protection, Transformer protection*

**1. UVOD**

Danas je poznato više obnovljivih izvora energije. Energija koja se dobija iz bioloških izvora se naziva energija biomase.

Produkt koji se dobija iz digestije biomase jeste biogas. Biogas se dobija se bakterijskom razgradnjom organskog materijala u anaerobnom digestoru u elektrani na biogas. Obično se koristi za dobijanje dva glavna proizvoda: biogas za proizvodnju električne energije i digestat koji se koristi kao dodatak za poboljšanje kvaliteta zemljišta ili visokokvalitetno đubrivo [1, 2].

Da bi elektroenergetski sistem mogao da funkcioniše potrebno je obezbediti zaštitu svakog njegovog elementa (generator, transformator, vod, itd). Upravo zaštita celokupnog elektroenergetskog sistema od kvarova se ostvaruje relejnom zaštitom [3].

Cilj ovog rada jeste da prikaže zaštitu, njene specifičnosti i osobine u jednoj elektrani na biogas, prvenstveno zaštitu najbitnijih jedinica kao što su generator i transformator. U drugoj glavi opisan je biogas, njegove osobine i karakteristike, kao i ciklus proizvodnje biogasa.

U trećoj glavi date su osnovne teze o mikroprocesorskoj zaštiti koja je osnova zaštite u biogasnim elektranama. U nastavku glave je opisana zaštita generatora uopšteno, šta je povod za njeno korišćenje i koje vrste zaštite postoje i koje su njihove osobine. U četvrtoj glavi opisana je zaštita transformatora generalno i data je podela na vrste koje postoje. U petoj glavi dat je primer elektrane na biogas koja je obrađena i zaštita koja se koristi u toj elektrani na biogas i njene specifičnosti. U šestoj glavi dat je zaključak rada, a u sedmoj glavi korišćena literatura.

**2. BIOGAS**

Biogas se sastoji iz mešavine metana (50 – 75 %), ugljen dioksida (25- 50 %) i ostalih gasova kao što su azot, kiseonik, vodonik sulfid (2 – 8 %). Procenat metana u biogasu je glavna komponenta za njegovo korišćenje kao izvor energije. Metan sagoreva mnogo čistije u odnosu na ugalj. [1].

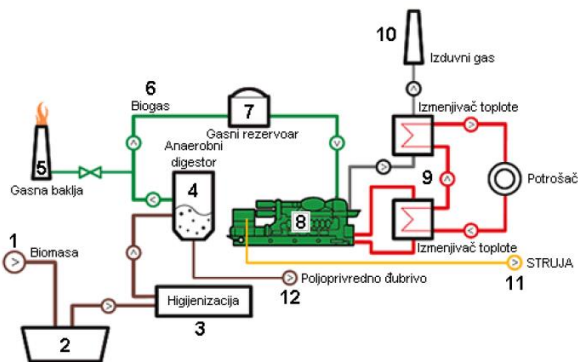
**2.1. Proces proizvodnje elektrane na biogas**

Proces proizvodnje biogasa, kao i faze u proizvodnji električne energije sastoje se od nekoliko koraka: sakupljanje supstrata i njegovo skladištenje, predtretman supstrata, anaerobna digestija, predtretman biogasa i proizvodnja električne energije [1].

U prvoj fazi u procesu se vrši sakupljanje i skladištenje supstrata u rezervoaru za privremeno skladištenje. Tipovi supstrata koji se najviše koriste su stajnjak, kukuruzna silaža, agroindustrijski otpad, komunalni otpad. U drugoj fazi dolazi do čišćenja na 70°C gde se uništavaju sve bakterije negativne po proces digestije. Anaerobna digestija je glavna faza u procesu proizvodnje biogasa. Ona se realizuje u zavisnosti od vrste bakterija i temperaturnih uslova. Uobičajeno, digestori rade u mezofilnim uslovima i potrebno je da temperatura bude konstantna i pH vrednost od 6,5 do 7,5. Potrebno je da se u potpunosti ostvare anaerobni uslovi, jer najmanja količina kiseonika dovodi do umiranja bakterija i prekida procesa digestije. U četvrtoj fazi biogas mora biti prečišćen postupkom desumporizacije i sušenja. Desumporizacija se primenjuje za sprečavanje toksičnog dejstva vodonik sulfida. Sušenjem se sprečava potencijalna kondenzacija vodene pare kojom je biogas zasićen nakon izlaska iz digestora. U petoj fazi biogas se iz gasnog rezervoara prosleđuje na SUS motor, gde se stvara toplota tokom rada motora koja se efektivno koristi preko izmenjivača toplote. Korišćenjem generatora, mehanička energija gasnog motora se pretvara u električnu energiju. Na slici 1 je dat vizuelni prikaz procesa proizvodnje biogasa i električne energije elektrane na biogas [1, 2, 4].

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Duško Bekut, redovni profesor**



Slika 1. Proces proizvodnje biogasa i električne energije elektrane na biogas [2]

### 3. O ZAŠTITI GENERATORA GENERALNO

Za zaštitu u elektrani na biogas se koriste mikroprocesorski releji koja predstavlja jednu savremenu grupu releja. Mikroprocesorske zaštite mogu biti povezane sa SCADA sistemom, tako da se pri radu mogu pratiti i promene u uklopnom stanju u postrojenju i spram tih promena prilagođavati akcije. Nakon promene parametara, mikroprocesorskoj zaštiti je potrebno obično između jedne i dve sekunde da bi se nastavilo funkcionisanje sa novim parametrima. Savremene mikroprocesorske zaštite obično imaju banke pohranjenih podataka za neke ili svaki od parametara. Korišćenje podataka iz tih banaka je izuzetno jednostavno – dovoljno je na određeni ulaz dovesti signal, pa će tekući parametri biti zamenjeni odgovarajućim iz banaka.

Kvarovi na generatoru nastaju kao posledica proboja izolacije izazvanog različitim naprezanjima. To su mehanička naprezanja zbog centrifugalnih sila, dinamičkih sila kratkih spojeva, vibracija kao i naprezanja pri grejanju i hlađenju. Izolacija je izložena i termičkim i hemijskim uticajima zbog kojih dolazi do starenja i gubitka izolacionih osobina. Osim toga izolacija može biti izložena i previsokim električnim naprezanjima. Do njih može doći zbog atmosferskih ili pogonskih prenapona. Teži kvarovi generatora imaju za posledicu velike materijalne izdatke za popravku ili zamenu oštećenog dela, dok su štete izazvane nemogućnošću proizvodnje električne energije još veće [3].

Prema vrsti i mestu, razlikuju se sledeći kvarovi generatora:

- kratak spoj između namota statora,
- kratak spoj sa zemljom statorskog namota,
- kratak spoj između navojaka jedne faze statorskog namota,
- kratak spoj sa zemljom pobudnog namota i
- kratak spoj između navoja pobudnog namota [3].

Kao zaštite od kvarova kod generatora u elektranama na biogas koriste se sledeće zaštite:

- zemljospojna zaštita statora,
- zemljospojna zaštita rotora,
- prenaponska zaštita statora,
- zaštita od povratne sprege,
- termička zaštita namotaja,
- podfrekventna zaštita,
- nadfrekventna zaštita,
- prekostrujna zaštita,

- naponski kontrolisana prekostrujna zaštita,
- diferencijalna zaštita generatora.

#### 3.1. Zemljospojna zaštita statora

Zemljospojna zaštita statora zavisi od načina uzemljenja zvezdišta generatora, odnosno veličine generatora. Za generatore malih snaga (<2 MW) obično su direktno uzemljeni, ili su uzemljeni preko niskoomske impedanse ili otpornika. U tim slučajevima, zemljospojna zaštita statora izvodi se kao zemljospojna vremenski nezavisna zaštita. Ova zaštitna funkcija koristi se za detekciju struja zemljospoja: strujni transformator postavljen u zvezdištu generatora, odnosno povratni vod tri strujna transformatora na faznim priključcima generatora. Vremensko kašnjenje omogućava selektivnost zaštite i njeno usaglašavanje sa drugim zaštitama u sistemu [4].

#### 3.2. Prenaponska zaštita statora

Prenaponi na priključcima generatora najčešće se javljaju zbog kvara na regulatoru pobude, kvara na regulatoru regulacionog blok–transformatora ili naglog rasterećenja. Prenapon može poticati od generatora ili od sistema, što se određuje praćenjem smera reaktivne snage. Ako prenapon potiče od sistema, treba isključiti samo visokonaponski prekidač, a ako potiče od generatora, treba izvršiti potpuno isključenje. Zaštita može da bude jednofazna ili trofazna. Prenaponska zaštita se koristi sa vremenskim kašnjenjem, čime se sprečava nepotrebno reagovanje pri kratkotrajnim skokovima napona koji se javljaju pri naglim promenama opterećenja [4].

#### 3.3. Zaštita od povratne sprege

Generator ulazi u motorni režim rada kada se dotok pare ili vode ka turbini prekine, a jedinica ostane vezana na mrežu. To može da bude posledica normalnog isključenja turbine, ili reagovanja turbinske zaštite, ili reagovanja kotlovske zaštite. Zaštita se zasniva na praćenju smera aktivne snage i obično se realizuje u dva stepena: prvi stepen isključuje generator sa kratkim vremenskim kašnjenjem ako je turbinski ventil zatvoren, a drugi stepen isključuje generator sa dužim vremenskim kašnjenjem i ako turbinski ventil nije zatvoren. Zaštita može biti realizovana sa jednofaznim, dvofaznim ili trofaznim merenjem, i zahteva strujne i naponske ulaze. Za zaštitu od povratne sprege se primenjuju odgovarajući releji snage kojima se deluje na isključenje generatora [4].

#### 3.4. Termička zaštita namotaja

Ova zaštitna funkcija štiti namotaje generatora od povećanja temperature usled povećanja struja opterećenja. Algoritam ove funkcije računa procentualno povećanje temperature namotaja na osnovu izmerene struje i poznatih podataka: nazivne struje i vremenske konstante zagrevanja mašine koja se štiti. Prilikom proračuna mogu da se uzimaju u obzir i uslovi hlađenja. Ova zaštita ima dva izlaza, jedan za alarm, a drugi za isključenje. Može da bude jednofazna ili trofazna. Zaštitom bi trebalo da se isključi generator nešto pre nego što namot dostigne maksimalno dozvoljenu temperaturu [4].

#### 3.5. Naponski kontrolisana prekostrujna zaštita

Ova funkcija služi za zaštitu generatora od spoljašnjih kratkih spojeva. Sadrži logičku kombinaciju dve funkcije: prekostrujne i podnaponske. Prekostrujna funkcija se

podešava na vrednost koja je veća od maksimalne radne struje, a manja od minimalne struje kratkog spoja. Pri spoljašnjim kratkim spojevima struja kvara brzo opada što može dovesti do nepoželjnog resetovanja zaštite. Da bi se to sprečilo, ova zaštita memoriše maksimalnu vrednost struje kvara nakon reagovanja i pamti je određeno vreme u toku koga treba da reaguje i podnaponska funkcija. Ako podnaponska funkcija ne reaguje u zadatom vremenu, prekostrujna funkcija se resetuje.

Podnaponska funkcija se podešava na vrednost koja je manja od nominalnog napona, a veća od napona pri pojavi kratkog spoja. (tipično  $0,75 U_n$ ). Zaštita ima dodatno vremensko kašnjenje, čime se postiže usaglašavanje sa drugim prekostrujnim zaštitama. Zaštita se resetuje posle davanja signala za isključenje ili nakon ponovnog uspostavljanja napona sistema [4].

#### 4. ZAŠTITA ENERGETSKIH TRANSFORMATORA

Kvarovi na transformatorima nastaju kao posledica slabljenja i oštećenja izolacije. Ta oštećenja mogu biti izazvana naprezanjima električne prirode (nastaju kao posledica atmosferskih i pogonskih prenapona u mreži), mehaničke prirode (izazvane dinamičkim silama u namotima) ili kao posledica prevelikih zagrevanja. Pomenuta naprezanja dovode do polakog i neminovnog starenja i slabljenja izolacije i do pojave kvarova. Kada su u pitanju kvarovi kod transformatora postoji zahtev za brzom eliminacijom kvara jer postoji opasnost od pucanja transformatorskog suda – kotla i paljenja ulja. Kod transformatora se sreću sledeći kvarovi:

- Kratki spojevi između namota transformatora.
- Kratki spojevi između navojaka iste faze.
- Kratki spojevi sa zemljom (bilo namota, bilo izvoda namota)
- Lokalna tinjanja izolacije zbog previsokih električnih naprezanja ili kao posledica smanjenja kvaliteta izolacije usled prevelikog zagrevanja.

Za zaštitu energetskih transformatora u elektranama na biogas koriste se sledeće zaštite:

- buhloc zaštita,
- prekostrujna zaštita,
- kratkospojna zaštita,
- zemljospojna zaštita,
- termička zaštita.

#### 5. ZAŠTITA ELEKTRANE NA BIOGAS

U elektrani na biogas se koriste mikroprocesorski uređaji, kao samostalni releji ili u okviru sistema integrisane zaštite i upravljanja elektranom. Sva zaštitna oprema mora da radi nezavisno od rada sistema upravljanja, nadzora i komunikacije u okviru elektrane. U slučaju nestanka pomoćnog napona za napajanje zaštitnih uređaja i strujnih krugova komandi rasklopnih aparata u elektrani, dolazi do automatskog isključenja elektrane sa distributivne mreže na spojnom prekidaču.

##### 5.1. Specifičnosti zaštite elektrane na biogas

Za zaštitu generatora i elemenata rasklopne aparature elektrane od mogućih havarija i oštećenja usled kvarova i poremećaja primenjuju se sledeće zaštite : sistemska zaštita i zaštita priključnog voda. Delovanjem ovih zaštita mora se na spojnom prekidaču izvršiti automatsko prekidanje paralelnog rada elektrane sa distributivnog

sistema električne energije. Pored ovih zaštita se koristi dodatna zaštita koja se priključuje u poseban razvodni orman i koju čini vazdušni prekidač snage čija je naznačena struja 2500 A, dok je naznačena simetrična struja prekidanja 65 kA. On obuhvata zaštitu od preopterećenja, trenutnu prekostrujnu zaštitu, zemljospojnu zaštitu, termičku zaštitu. Izgled prekidača je prikazan na slici 2.



Slika 2. Spoljašnji izgled vazdušnog prekidača snage

Sistemska zaštita se sastoji od naponske zaštite i frekventne zaštite. Naponska zaštita reaguje na poremećaj ravnoteže između proizvodnje i potrošnje reaktivne energije, a sastoji se od nadnaponske zaštite ( $U >$ ) koju čine trofazni naponski relej najmanjeg opsega podešenja ( $0,9-1,2 U_n$ ), koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja ( $0,2-3 s$ ) i podnaponske zaštite ( $U <$ ) koju čini trofazni naponski relej najmanjeg opsega podešavanja ( $1,0 - 0,7 U_n$ ), koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja ( $0,2-3 s$ ). Frekventna zaštita koja reaguje na poremećaj ravnoteže između proizvodnje i potrošnje aktivne energije, a sastoji se od nadfrekventne i podfrekventne zaštite. Nadfrekventna zaštita ( $f >$ ) koju čini monofazni frekventni relej najmanjeg opsega podešavanja ( $49-52 Hz$ ), koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja ( $0,2-3 s$ ). Podfrekventna zaštita ( $f <$ ) koju čini monofazni frekventni relej najmanjeg opsega podešavanja ( $51-48 Hz$ ), koja reaguje sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja ( $0,2-3 s$ ), a frekventni relej treba da bude sa funkcijom brzine promene frekvencije u intervalu  $10 mHz$ .

Zaštita 20 kV priključnog voda koji se ugrađuje na strani elektrane čini: prekostrujna zaštita, koja je trofazna, maksimalna strujna vremenski nezavisna zaštita, koja reaguje :

- sa vremenskom zadržkom najmanjeg opsega podešavanja ( $0,2-3 s$ ), pri strujnim opterećenjima koja prelaze vrednosti dozvoljenih stujnih opterećenja priključnog voda – prekostrujna zaštita  $I >$ ,
- trenutno pri bliskim kratkim spojevima – kratkospojna zaštita  $I >>$ .

Merni releji prekostrujne zaštite su za naznačenu struju 5 A i najmanji opseg podešavanja :

- ( $3-9 A$ ) za prekostrujnu zaštitu  $I >$ ,
- ( $20-50 A$ ) za kratkospojnu zaštitu  $I >>$ .

Zaštita transformatora 20/ 0,4 kV elektrane na biogas od unutrašnjih kvarova je predviđena PT100 senzorom

temperature koji deluje na isključenje sklopke rastavljača u ćeliji SN razvodnog postrojenja. Zaštita transformatora od preopterećenja je obezbeđena sa termičkim relejom, dok je kratkospojna zaštita obezbeđena sa mikroprocesorskim zaštitnim uređajem koji deluje na prekidač na prekidačkom bloku SN. Nema opasnih prenapona jer visoki objekat ima gromobransku instalaciju, čiji prihvatni sistem se preko spušnih provodnika i zemljovoda direktno priključuje na temeljni uzemljivač.

Termičku zaštitu čine termički relej (digitalni termometar) i po jedan otporni senzor (sonda) Pt 100 za svaki namotaj. Oni omogućavaju praćenje kontinualno temperature najtoplije tačke svakog namotaja i signalizacija se vrši ako neki od namotaja dostigne temperaturu  $\theta_s = 140^\circ\text{C}$ , dok se komanda za isključenje transformatora daje kada temperatura namotaja dostigne vrednost  $\theta_i = 150^\circ\text{C}$ .

U slučaju reagovanja bilo sistemske zaštite ili zaštite priključnog voda spojni prekidač vrši automatsko prekidanje paralelnog rada elektrane sa distributivnim sistemom električne energije. Orman rasklopne opreme sastoji se od prekidačkog i transformatorskog polja i dat je na slici 3.



Slika 3. Spoljašnji izgled ormara prekidačke/transformatorske ćelije

Spojni prekidač koji se nalazi u prekidačkom polju je opremljen relejom koji poseduje sve neophodne zaštite za bezbedan paralelan rad elektrane i njegov izgled je dat na slici 4.



Slika 4. Spoljašnji izgled prekidačke/transformatorske ćelije

Analizom signala sa strujnih i naponskih mernih transformatora koji se nalaze u istoj prekidačkoj ćeliji, dolazi do reagovanja releja, odnosno spojnog prekidača. Kao što može da se vidi sa slike 4, crvena lampica na releju pokazuje stanje releja odnosno da li je zaštita reagovala. U normalnom pogonu pokazuje pristupstvo napona od 20 kV. Od zaštita na releju su prikazane prekostrujna zaštita, kratkospojna zaštita, prekostrujna zaštita sa vremenskim kašnjenjem, nadnaponska, podnaponska, nadfrekventna, podfrekventna, ROCOF (rate of change of frequency) zaštita, ako dođe do gubitka SF6 gasa zaštita i ako dođe do velikih ispada automatsko isključenje. ROCOF predstavlja veliku promenu u frekvenciji usled ozbiljnih sistemskih incidenata. ROCOF zaštita omogućava reagovanje releja pre nego što frekvencija postane previsoka ili preniska.

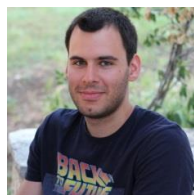
## 6. ZAKLJUČAK

Elektrane na biogas su značajne, jedan nezamenjivi izvor energije u savremenim elektroenergetskim sistemima. U ovom radu je posebna pažnja posvećena zaštitama u elektranama na biogas u kojima se koristi mikroprocesorska zaštita. Zaštite koje se koriste su nadnaponska, podnaponska, nadfrekventna, podfrekventna, termička zaštita, zaštita od preopterećenja, trenutna prekostrujna zaštita, zemljospojna zaštita, ako dođe do gubitka SF6 gasa zaštita i automatsko isključenje ako dođe do velikih ispada. Svaka zaštita ima karakteristična podešenja koja omogućavaju pouzdanost i sigurnost elemenata koje štite. Delovanjem ovih zaštita mora se na spojnom prekidaču izvršiti automatsko prekidanje paralelnog rada elektrane sa distributivnog sistema električne energije da ne bi došlo do neželjenih dejstva.

## 7. LITERATURA

- [1] Enrique Alberto Huerta-Reynoso, Jorge Alberto Gómez: *Biogas Power Energy Production from a Life Cycle Thinking*, 2018.
- [2] Nikola Lazić: *Biogas i njegova primena (master rad)*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [3] Duško Bekut: *Relejna zaštita*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2009.
- [4] G. Dotlić: *Elektroenergetika – kroz standarde, zakone, pravilnike, odluke i tehničke preporuke*, 2004

### Kratka biografija:



**Stefan Stepanović** rođen je u Novom Sadu 1995. godine. Osnovne studije završio je na Fakultetu tehničkih nauka 2019. godine iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo smer Elektroenergetski sistemi. Master rad, na istom fakultetu, na smeru Elektroenergetski sistemi je odbranio 2021. godine.

Kontakt: [stefanjuve17@gmail.com](mailto:stefanjuve17@gmail.com)