

# Plan i program puštanja te primarno ispitivanje zaštite od otočnog pogona elektrane na biomasu

---

**Terzić, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:083453>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURAJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**PLAN I PROGRAM PUŠTANJA TE PRIMARNO  
ISPITIVANJE ZAŠTITE OD OTOČNOG POGONA  
ELEKTRANE NA BIOMASU NAZIVNE SNAGE 1000 kW**

**Diplomski rad**

**Marko Terzić**

**Osijek, 2020. godina.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEHNIČKI PODACI O POSTROJENJU I SN MREŽI</b> .....	3
2.1. Tehnički podaci o proizvodnoj jedinici .....	3
2.2. Tehnički podaci ugrađenih aparata u postrojenju .....	4
<b>3. POSTUPAK ISPITIVANJA</b> .....	7
3.1. Zahtjevi za provedbu priključenja postrojenja .....	8
<b>4. PODEŠENJE RELEJNE ZAŠTITE U RASKLOPIŠTU RSTS 20/0,4 kV</b> .....	11
4.1. KONPRO RFX numerički releji .....	12
4.2. Podešenje relejne zaštite .....	15
<b>5. ISPITIVANJE UVJETA ZA PARALELNI POGON ELEKTRANE NA BIOMASU S DISTRIBUCIJSKOM MREŽOM</b> .....	18
5.1. Ispitivanja paralelnog pogona elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca .....	18
5.1.1. Pregled i verifikacija projektno-tehničke dokumentacije elektrane na biomasu KP Bioenergetika .....	19
5.1.2. Pregled podešenja relejne zaštite elektrane na biomasu KP Bioenergetika i relejne zaštite u susretnom postrojenju Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika ...	19
5.1.3. Ispitivanje razmjene signala i ispravnosti signalne veze Elektrana- Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika.....	19
5.1.4. Ispitivanje djelovanja blokade od dozemnog spoja prekidača za odvajanje preko uzemljene tropoložajne rastavne sklopke -Q1 na elektrani u VP +J1 .....	20
5.1.5. Ispitivanje djelovanja blokade uklopa prekidača za odvajanje ako je uključen ijedan generatorski prekidač na elektrani.....	20
5.1.6. Ispitivanje djelovanja blokade uključenja generatorskih prekidača ako je uključen prekidač za odvajanje – preduvjet za korištenje mreže samo kao kupac .....	21
5.2. Ispitivanje paralelnog pogona elektrane s mrežom u statusu kupca i proizvođača ...	22
5.2.1. Pregled i verifikacija projektno-tehničke dokumentacije elektrane na biomasu KP Bioenergetika .....	22
5.2.2. Pregled podešenja relejne zaštite elektrane na biomasu KP Bioenergetika i relejne zaštite u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika.....	22
5.2.3. Provjera okretnog polja istoimenih faza.....	23
5.2.4. Provjera deblokade uklopa generatorskih prekidača dok je uključen prekidač za odvajanje, nakon deaktiviranja mehaničke blokade .....	23
5.2.5. Ispitivanje djelovanja blokade uključenja generatorskog prekidača u slučaju kvara u mjernom krugu sinkronizacije-privođenja mrežnog napona generatoru.....	24
<b>6. FUNKCIONALNA ISPITIVANJA ELEKTRANE</b> .....	25
6.1. Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom –ručni nalag za automatsku sinkronizaciju uključenjem generatorskog prekidača.....	26

<b>6.2. Ispitivanje izlaska elektrane iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom-normalni isklonp .....</b>	<b>29</b>
<b>6.3. Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom – automatska sinkronizacija uključenjem sinkronizacijskih sklopnika.....</b>	<b>30</b>
<b>6.4. Ispitivanje poštivanja uvjeta da skokovita promjena snage pri opterećenju/rasterećenju smije biti max. 10% P (priključne snage) i ispitivanje mogućnosti dostizanja priključne snage proizvodnje uz ograničenje predaje u mrežu na priključnu snagu .....</b>	<b>31</b>
<b>6.5. Ispitivanje djelovanja zaštite uslijed odstupanja od uvjeta paralelnog pogona – odziv elektrane na nestanak mrežnog napona .....</b>	<b>33</b>
<b>6.6. Ispitivanja djelovanja relejne zaštite - provjera zaštite od otočnog rada elektrane ..</b>	<b>37</b>
<b>6.7. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu uslijed prolaska elektrane kroz ciklus APU-a.....</b>	<b>42</b>
<b>6.8. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu isključenjem glavnog izvora napajanja vlastite potrošnje generatora .....</b>	<b>45</b>
<b>6.9. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu interventnim izlaskom elektrane iz paralelnog pogona s mrežom pri predaji priključne snage .....</b>	<b>47</b>
<b>7. KVALITETA NAPONA.....</b>	<b>50</b>
<b>7.1. Mjerenje kvalitete električne energije .....</b>	<b>51</b>
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>60</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>64</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>65</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>65</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>66</b>

## 1. UVOD

Za vrijeme odrađivanja stručne prakse u tvrtki HEP ODS Elektra Slavonski Brod došlo se na ideju o suradnji i prilikom pisanja diplomskog rada. Budući da je u dogledno vrijeme u planu bilo ispitivanje i puštanje u pogon elektrane na biomasu Bioenergetika nazivne snage 1000 kW dogovorila se suradnja na navedenom projektu u vidu diplomskog rada s temom pod nazivom „Plan i program puštanja te primarno ispitivanje zaštite od otočnog pogona elektrane na biomasu nazivne snage 1000 kW“.

Prema statističkim pokazateljima i primjerima iz prakse kvarovi na nadzemnim distributivnim i prijenosnim vodovima dijele se prema sljedećoj vrsti i udjelu:

- Prolazni kvarovi (80% udjela u ukupnim kvarovima)
- Polutrajni kvarovi (10% udjela u ukupnim kvarovima)
- Trajni kvarovi (10% udjela u ukupnim kvarovima)

Prekid opskrbe električnom energijom predstavlja neželjen događaj pa je cilj mrežnog operatera osigurati što veću pouzdanost distribucijskog sustava. Primjenom automatskog ponovnog uklopa (APU-a) znatno se smanjuje vrijeme beznaponskog stanja za vrijeme prolaznih ili polutrajnih kvarova.

U trendu je razvoj i porast, te je sve više paralelno priključenih distribuiranih izvora na distribucijsku i prijenosnu mrežu. Taj razvoj i porast prate i elektrane na biomasu. Elektrane na biomasu u 2019. godini bile su zaslužne za proizvodnju 14,98% ukupne energije koja se u Hrvatskoj proizvede iz obnovljivih izvora energije te se po tom parametru nalazi na trećem mjestu od svih obnovljivih izvora odmah iza vjetroelektrana (48,65%) i kogeneracijskih postrojenja (19,10%), [1].

Distribuirani izvori, među kojima i elektrane na biomasu, priključuju se u paralelni pogon s distribucijskom mrežom u skladu s dokumentom pod nazivom Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (NN85/2015) i tehničkim uvjetima za priključenje elektrane na elektroenergetski sustav (EES) HEP-a, te se prije samog puštanja elektrane u pogon provode stroga ispitivanja za ispunjavanje tih uvjeta. Za distribuirane izvore priključene na distribucijsku mrežu koja ima u sustavu zaštite aktiviranu funkciju APU-a najveću opasnost predstavlja asinkrono uključanje nakon ponovnog uključanja prekidača kod prolaznih kvarova (ispad iz sinkronizma okretnog polja generatora s nadležnom mrežom).

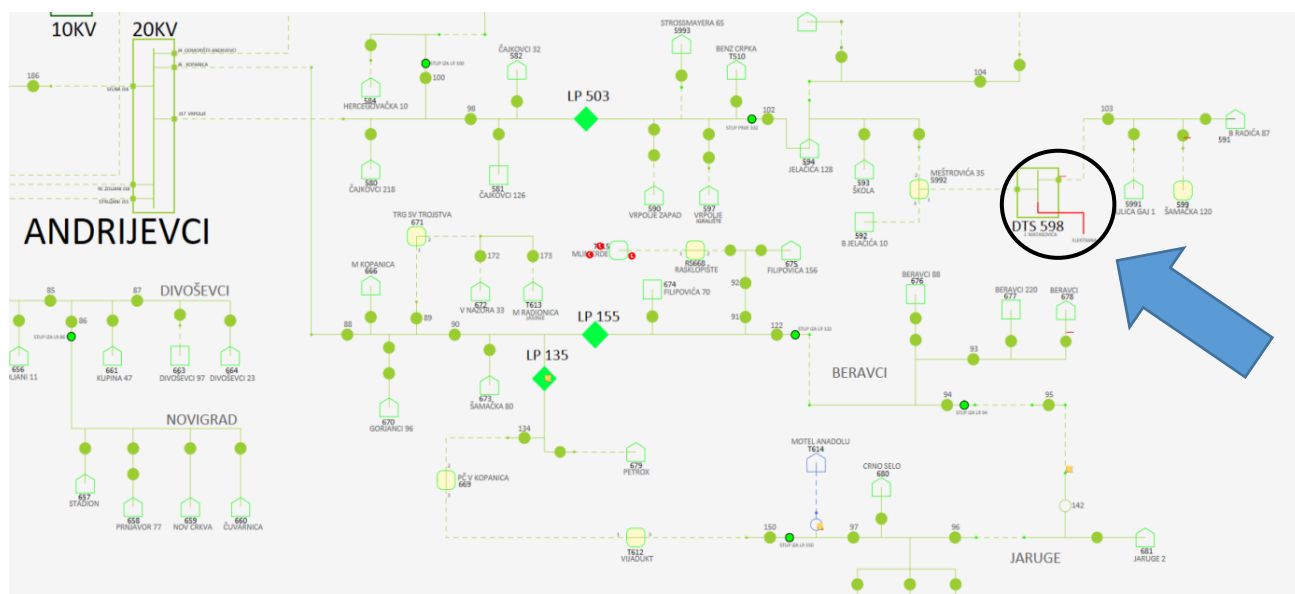
U ovom diplomskom radu opisan je postupak ispitivanja, podešenje relejne zaštite u rasklopištu koje je razgraničenje elektrane na biomasu Bioenergetika nazivne snage 1000 kW i distribucijske

mreže te ispitivanje osnovnih uvjeta za paralelni pogon elektrane na biomasu s distribucijskom mrežom. Nakon ispunjenja svih uvjeta za paralelni pogon izvršena su funkcionalna ispitivanja elektrane (normalni isklop, sinkronizacija, ispitivanje povratnog djelovanja elektrane na mrežu, prolazak elektrane kroz ciklus APU-a simulacijom primarnog isključenja prekidača). U posljednjem poglavlju diplomskog rada izvršeno je snimanje kvalitete napona mreže prema normi EN50160 za srednjenaponske (SN) mreže te analiziran utjecaj elektrane na samu mrežu.

## 2. TEHNIČKI PODACI O POSTROJENJU I SN MREŽI

### 2.1. Tehnički podaci o proizvodnoj jedinici

Proizvodna jedinica u sebi uključuje transformaciju s nazivnog napona generatora koji iznosi 0,4 kV na nazivni napon od 20 kV, te je preko SN postrojenja povezana sa susretnim postrojenjem Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika distribucijske mreže. Dozvoljena priključna snaga na pragu elektrane iznosi 1000 kW, a u suprotnom smjeru 200 kW, [2].

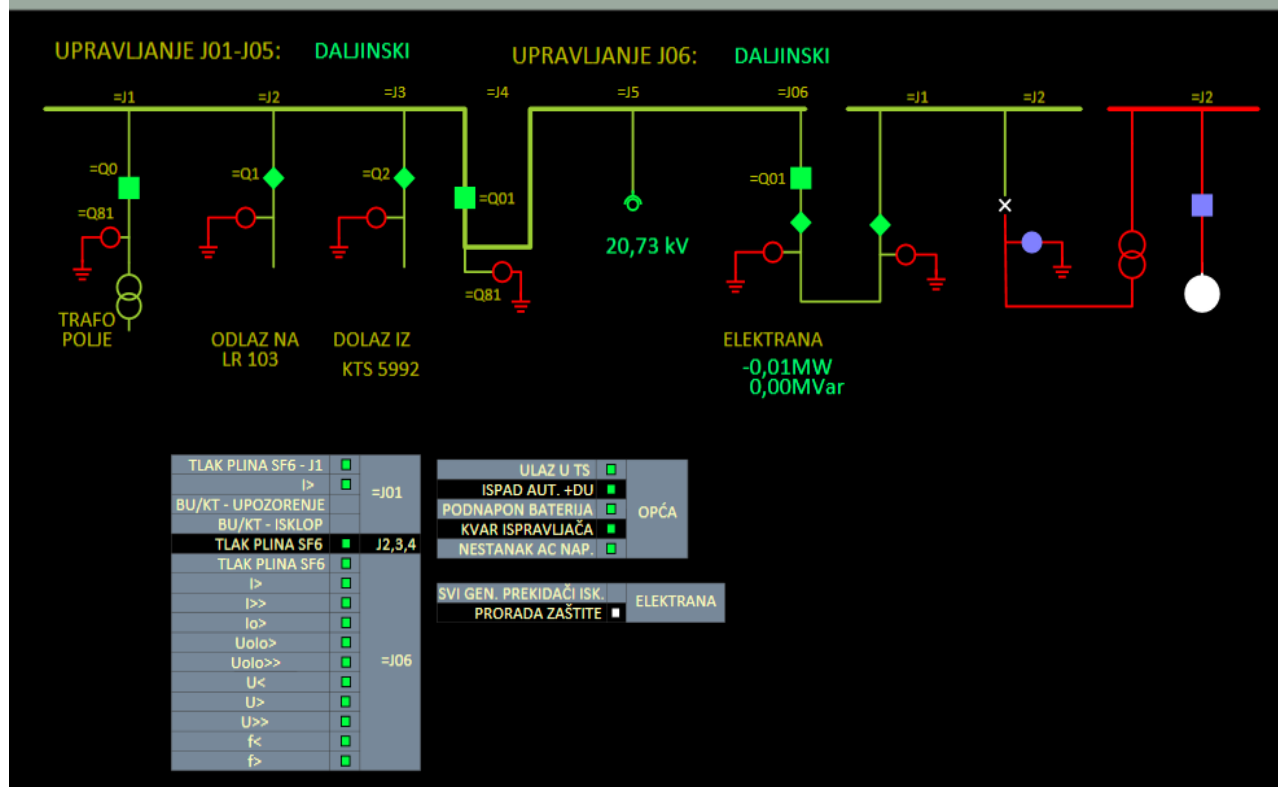


Slika 2.1. Položaj proizvodne jedinice u distribucijskoj mreži

Tablica 2.1. Temeljni podaci o elektrani [2]

Naziv postrojenja	Elektrana na drvenu biomasu „Bioenergetika“ (KP Bioenergetika)
Tip postrojenja	Elektrana na drvenu biomasu
Grupa postrojenja	I.d.i. elektrane na biomasu instalirane snage veće od 300 kW
Priključna snaga	1000 kW
Očekivani datum redovnog pogona	09/2019

## TS 20/0,4 kV J. MATASOVIĆA 34 (598)



Slika 2.2. Jednopolna shema rasklopišta u kojem se nalazi proizvodna jedinica

### 2.2. Tehnički podaci ugrađenih aparata u postrojenju

Elektrana KP Bioenergetika na šumsku biomasu sastoji se od osam generatora (G) koji su pogonjeni plinskim motorima (pogonski strojevi nazivne snage 140 kW). Djelatna snaga za svaki pojedini generator-motor iznosi 140 kW, što daje ukupnu instaliranu djelatnu snagu od 1120 kW, [2].

Generatori imaju pripadajući niskonaponski (NN) generatorski prekidač i sklopnik na kojem se vrši sinkronizacija pojedinog generatora na mrežu. Energetski transformator (+T; 2000 kVA; 20/0,4 kV) je priključen na niskonaponskoj strani kabelima tipa FG16R16 3x5 (1x240mm<sup>2</sup>) +5x(1x240mm<sup>2</sup>) na glavni prekidač -Q0. SN strana energetskog transformatora je priključena kabelom XHE 49-A 3x(1x150mm<sup>2</sup>); 20 kV na trafo polje +J2 sklopnog bloka ABB 24 kV, 630 A. Elektrana je preko SN sklopnog bloka VP +J1 u kojem se nalazi tropoložajna rastavna sklopka – Q1 povezana kabelom XHE 49-A 3x(1x150mm<sup>2</sup>); 20 kV, duljine 85 m sa susretnim postrojenjem Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika i prekidač za odvajanje je mjesto odvajanja proizvođača od distribucijske mreže, [2].

U tablicama Tablica 2.2.-Tablica 2.6. prikazani su tehnički podaci aparata ugrađenih u postrojenju.



**Tablica 2.2.** Tehnički podaci generatora (G1-G8) [2]

Broj generatora:	8
Model generatora	sinkroni generator
Proizvođač	Leroy-Somer
Tip	LSA 47.2 S4 C5S
Nazivni napon	0,4 kV
Nazivna struja	270 A
Nazivna snaga generatora	187 kVA/140 kW
Nazivna brzina vrtnje	1500 min <sup>-1</sup>
Nazivna frekvencija	50 Hz
Faktor snage	0,8
Sinkrona reaktancija	$x_d = 2,3$ p.u.
Početna reaktancija	$x_d' = 0,2$ p.u.
Prijelazna reaktancija	$x_d'' = 0,11$ p.u.
Moment tromosti generatora	5,7 kgm <sup>2</sup>
Nazivna snaga pogonskog stroja (MTU plinskog motora)	140 kW

**Tablica 2.3.** Tehnički podaci generatorskih prekidača (QG1-QG8) [2]

Proizvođač i tip	Siemens VL 400 3VL4740
Nazivni napon	440/690 V
Nazivna struja	400 A
Nazivna prekidna struja	55 kA
Frekvencija	50 Hz

**Tablica 2.4.** Tehnički podaci generatorskih sklopnika (IK1-IK8) [2]

Proizvođač i tip	Siemens SIRIUS 3RT1076-6
Nazivni napon	690 V
Nazivna struja	610 A
Frekvencija	50 Hz

**Tablica 2.5.** *Tehnički podaci osigurača (FG1-FG8) [2]*

Tip	Rastavne pruge NVII 400A
Nazivni napon	400/690 V
Nazivna struja	350 A
Nazivna prekidna struja	100 kA
Frekvencija	50 Hz

**Tablica 2.6.** *Tehnički podaci glavnog prekidača (Q0) [2]*

Proizvođač i tip	ABB E2.N 2500 Ekip
Nazivni napon	440/690 V
Nazivna struja	2500 A
Nazivna prekidna struja	66 kA
Frekvencija	50 Hz

### 3. POSTUPAK ISPITIVANJA

Pri pokusnom radu elektrane prema Planu i programu ispitivanja (PPI) provode se ispitivanja koja su podijeljena u dva dijela. Prvi dio ispitivanja u pokusnom radu provodi se zbog puštanja u pogon elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca (na obračunskom mjernom mjestu (OMM) elektrane) dok se drugi dio pokusnog rada provodi radi puštanja u trajni paralelni pogon elektrane s mrežom kao proizvođača (u oba smjera). Provedbom pojedinih ispitivanja koordinira Voditelj ispitivanja dok je s druge strane obveza Investitora osigurati potrebne mjere i uvjete za siguran način rada sukladno Zakonu o zaštiti na radu i njegovim podzakonskim aktima. Voditelj ispitivanja ima obvezu upoznati ostale sudionike u provođenju ispitivanja kao što su drugi ispitivači i izvršitelji pojedinih aktivnosti u sklopu mjerenja (pogonske manipulacije, mjerenja, očitavanja i zapisivanja rezultata itd.) s obveznom primjenom zaštitnih mjera, dozvoljenim zonama kretanja te zabranjenim radnjama i potencijalnim opasnostima u postrojenju. Prije početka samog pokusnog rada svi sudionici potpisuju Izjavu o osposobljenosti za rad na siguran način, opremljenosti neophodnim sredstvima zaštite od strane poslodavca te da će svi radovi biti izvedeni prema pravilima struke i na siguran način, [3].

Nakon provedbe svakog ispitivanja, ovlaštena osoba zapisuje rezultate ispitivanja te se naknadno provjerava zadovoljavaju li oni zadane kriterije. Ako rezultati ispitivanja zadovoljavaju tražene kriterije, odnosno nalaze se unutar granica tolerancije, konstatira se da je navedeno ispitivanje izvršeno uspješno. Uspješnim provođenjem svih ispitivanja predviđenih Planom i programom ispitivanja završava se postupak ispitivanja. Na temelju rezultata ispitivanja, voditelj ispitivanja izrađuje izvješće o provođenju ispitivanja kojeg nakon toga potpisuju tri uključene strane:

- voditelj ispitivanja
- predstavnik investitora
- predstavnik tvrtke HEP-ODS-a Elektra Slavonski Brod [3]

U izvještaju o provedenim ispitivanjima navode se uočeni nedostaci, propisuju se obvezne mjere korekcije koje treba provesti da bi se uklonili uočeni nedostaci, te se nalaže provođenje ponovljenog ispitivanja kako bi se provjerile poduzete mjere korekcije. U slučaju da neko ispitivanje mora biti odgođeno ili da se mora ponoviti u nekom drugom terminu, voditelj ispitivanja unosi u zapisnik napomene o tome koje radnje treba dodatno obaviti ili koja je ispitivanja potrebno u cijelosti ponoviti da bi sva ispitivanja bila provedena uspješno, [3].

Nakon što ovlaštena osoba analizira rezultate ispitivanja elektrane prema pokazateljima kvalitete električne energije u skladu s normom HRN EN 50160, izrađuje se elaborat koji se prilaže uz konačno izvješće, [3].

U završnom izvještaju nakon provedbe funkcionalnih ispitivanja paralelnog pogona elektrane s distribucijskom mrežom jednoznačno se mora iskazati potencijalna spremnost elektrane za početak rada u trajnom pogonu, [3].

### **3.1. Zahtjevi za provedbu priključenja postrojenja**

Pokusni rad ispitivane elektrane s mrežom podijeljen je u dva dijela:

- Prvi dio pokusnog rada provodi se radi puštanja u pogon elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca (na OMM elektrane). PPI za prvi dio pokusnog rada odnosi se na ispitivanje dijela postrojenja elektrane koji će biti priključen na mrežu za ono vrijeme dok elektrana koristi mrežu isključivo u statusu kupca, dakle, čitavog postrojenja elektrane osim dijela od generatorskog prekidača do generatora.
- Drugi dio pokusnog rada provodi se radi puštanja u pogon elektrane s mrežom kao proizvođača (prije korištenja mreže u oba smjera). PPI za drugi dio pokusnog rada odnosi se na sva ispitivanja u pokusnom radu elektrane s mrežom koja moraju biti provedena za ispitivanu elektranu, a da nisu bila provedena u prvom dijelu pokusnog rada.

Napomena: PPI za prvi dio ispitivanja u pokusnom radu i PPI za drugi dio ispitivanja u pokusnom radu su zasebni dokumenti, [2].

Prema [2]: „Za početak pokusnog rada po prvom PPI nužni su sljedeći preduvjeti:

- Postrojenje elektrane je završeno i spremno za priključak prema uvjetima kao kupca na distribucijsku mrežu (sve osim generatora), u svrhu mogućnosti ispitivanja dijela postrojenja i opreme za proizvodnju el. energije i pripreme za priključak na mrežu i kao proizvođača
- Izvršena je provjera i potrebna ispitivanja kompletne električne instalacije i postrojenja elektrane, osim generatora
- Izvršeno je programiranje i podešavanje opreme za električnu zaštitu, upravljanje i signalizaciju u elektrani
- Izvršena su funkcionalna ispitivanja upravljanja i signalizacije
- Primarno i sekundarno su provjerene funkcije djelovanja i signalizacije prorade električne zaštite u elektrani za priključak kao kupca (svi signali; i zaštite osim zaštite generatora)

- Postoji kompletna odgovarajuća dokumentacija o izvršenim ispitivanjima instalacije i dijela ugrađene opreme u elektrani za priključak kao kupca, osim opreme koja će biti ispitana dok je elektrana u statusu kupca - nužne samo za korištenje mreže u statusu proizvođača
- Utvrđena je spremnost spojnog voda između susretnog postrojenja i SN postrojenja elektrane (i elektroenergetskog i signalnog) i HEP ODS d.o.o. je obavio puštanje pod napon susretnog postrojenja
- Investitor se obvezuje ishoditi potvrdu od strane Elektre o usuglašenosti elaborata podešenja zaštite (EPZ) i elaborata utjecaja elektrane na mrežu (EUEM)
- Investitor se obvezuje ishoditi elektroenergetsku suglasnost (EES)
- Predviđeno trajanje pokusnog rada tako da je elektrana priključena isključivo kao kupac je cca 30 dana, a u slučaju potrebe se može produžiti i na duži rok u dogovoru s Elektrom, ali ne dulje od 3 (tri) mjeseca
- Investitor se obvezuje za vrijeme korištenja mreže isključivo kao kupac, osigurati u suradnji sa svim sudionicima u gradnji na elektrani da se ne poduzimaju nikakve izmjene na izvedenim blokadama i provedbu zabrane svakog pokušaja sinkronizacije generatora na mrežu, kao i provedbu zabrane pristupa neovlaštenim osobama postrojenju, opremi i instalacijama
- Investitor se obvezuje podnijeti zahtjev za početak ispitivanja prema PPI-u (I. dio ispitivanja)“

Prema [3]: „Za početak pokusnog rada u oba smjera po drugom PPI-u za pokusni rad koji se provodi nakon što elektrana već radi u pogonu s mrežom isključivo u statusu kupca na OMM elektrane, nužni su sljedeći preduvjeti:

- Uspješno završeno ispitivanje i pokusni rad prema PPI-I. dio ispitivanja
- Postrojenje elektrane je kompletno ispitano i spremno za pogon
- Izvršeno je podešavanje i ispitivanje generatorske zaštite
- Postoji kompletna odgovarajuća dokumentacija o izvršenim ispitivanjima ugrađene opreme u elektrani
- Izvedena mehanička blokada uključenja generatorskog prekidača dok je uključen prekidač za odvajanje se deaktivira (otključavanjem-skidanjem lokota sa generatorskih prekidača)
- Investitor se obvezuje podnijeti zahtjev za početak ispitivanja prema PPI-u (II. dio ispitivanja)“

Prema [3]: „Pri izvođenju ispitivanja sačiniti bilješke o svakom pojedinačnom ispitivanju koje trebaju sadržavati najmanje:

- Naziv i oznaku svakog ispitivanja
- Datum i vrijeme (sate, minute i sekunde) početka izvođenja ispitivanja
- Posebne napomene i komentare, uključujući sva eventualna odstupanja od predviđenih uvjeta i/ili procedure izvođenja ispitivanja
- Ocjena o uspješnosti provedenih ispitivanja (na primjer "uspješan" ili "ponavlja se")“

Za izvedbu mjerenja karakterističnih veličina elektrane pri provedbi pregleda i funkcionalnih ispitivanja koristit će se sljedeća mjerna oprema:

- Numerički terminal polja u susretnom postrojenju RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika
- HEP-ODS-ov SCADA sustav u dispečerskom centru Elektre Slavonski Brod
- Pri mjerenju kvalitete električne energije na OMM elektrane prije priključenja na mrežu koristit će se prijenosni mjerni uređaj Dranetz PowerVisa

Napomena: Za testove prema PPI-u I. dio ispitivanja, za priključak elektrane isključivo kao kupac nisu predviđena snimanja pokusa prijenosnim mjernim uređajima.

- Minimalno dva prijenosna uređaja za praćenje kvalitete električne energije Dranetz PowerVisa (jedan u susretnom postrojenju RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika na OMM, a drugi na elektrani, i to na glavnom prekidaču -Q0 za pokuse otočnog pogona, APU-a i isključenja PZO-a, a za ostale pokuse na generatorskom prekidaču -QG1 [2][3])

Pretpostavlja se da su svi opisani sustavi kompletni, ispitani i međusobno povezani u skladu s projektnim rješenjem.

## 4. PODEŠENJE RELEJNE ZAŠTITE U RASKLOPIŠTU RSTS 20/0,4 kV

Relej je uređaj koji predstavlja osnovni element relejne zaštite. On može biti jednofazne ili trofazne izvedbe, a zadaća mu je da trajno kontrolira određene veličine koje mogu biti:

- električne (napon, struja, snaga, frekvencija, otpor ili impedancija)
- neelektrične (temperatura, tlak, broj okretaja, brzina strujanja i dr.) [4]

Konstruktivski gledano, relej je kompliciran uređaj koji posjeduje više članova kao što su:

- mjerni član
- vremenski član
- usmjerni član
- proradni član [4]

Kroz povijest, bile su tri osnovne generacije relejne zaštite:

- elektromehanički releji (rade na principu pomicanja kontakata (kotvi s kontaktima) elektromehaničkim silama koje izaziva struja dok teče određenim svicima)
- statički releji (bazirani na principima poluvodičke tehnologije)
- numerički releji (bazirani na primjeni mikroprocesora i računalnih softvera) [4]

Prema [4]: "Primarna zadaća relejne zaštite jest šticeenje svih elemenata elektroenergetskog sustava od svih vrsta kvarova. Najčešći uzroci nastupa kvarova jesu: izravni i neizravni udari munje, starenje i deterioracija izolacije opreme, povremeni vandalizam, padanje grana stabala na nadzemne vodove, i sl. Velika većina kvarova je prolaznog karaktera (oko 80 % svih kvarova otpada na kratkotrajne jednopolne kratke spojeve u prijenosnoj i distribucijskoj mreži). Relejna zaštita ima funkciju isključiti samo onaj dio elektroenergetskog sustava (vod, transformator) koji je u kvaru (selektivnost), minimizirajući pritom utjecaj kvara na ostale elemente sustava. Da bi ovo bilo ostvarivo, relejna zaštita mora biti usklađena (tj. koordinirana).

Također, relejna zaštita mora što prije izolirati mjesto kvara, tj. isključiti dijelove sustava koji napajaju mjesto kvara bez isključivanja nepotrebnih elemenata. Drugim riječima, relejna zaštita mora isključiti najmanji mogući broj elemenata koji će ukloniti kvar a da pritom ostatak sustava ostane u normalnom pogonu. Brzina isključenja kvara (trajanje kvara) važna je za samu opremu kao i za stabilnost sustava u cjelini (kada je riječ o prijenosnom sustavu). Zaštita mora biti osjetljiva i razlikovati stanje normalnog opterećenja sustava (i eventualno dopuštenih preopterećenja) od stanja kvara. Relejna zaštita mora osigurati i dodatnu (rezervnu) tzv. back-up zaštitu u što većoj mjeri. U slučaju ne djelovanja primarne zaštite (npr. uslijed neispravnosti releja) rezervna zaštita mora djelovati i isključiti kvar."

Temeljni zahtjevi relejne zaštite jesu:

- što brže isklapanje kvarova
- selektivno djelovanje
- što veća osjetljivost
- pričuvno šticeenje u što većoj mjeri [4]

U današnje vrijeme u postrojenjima su daleko najzastupljeniji numerički releji koji se odlikuju vrlo malom potrošnjom i velikom brzinom rada, a velika prednost im je i to što nemaju pomičnih dijelova.

#### **4.1. KONPRO RFX numerički releji**

Prema [5]: „KONPRO numerički releji generacije RFX su uređaji koji nude kompletan opseg zaštitnih funkcija potrebnih za kvalitetnu i pouzdanu zaštitu srednje naponskih vodnih polja i mogućnost pregleda i upravljanja za više aparata. Zahvaljujući svojoj sklopovskoj arhitekturi i modularnom programskom rješenju primjenjiv je za zaštitu mreža sa svim tipovima uzemljenja zvjezdišta. Osim osnovne zaštitne uloge, releji pružaju i niz drugih mogućnosti koje se danas zahtijevaju od releja zaštite, a koje omogućavaju smanjenje broja potrebnih uređaja u polju, što ima za posljedicu smanjenje troškova održavanja opreme. Kao najvažnije mogućnosti valja napomenuti lokalni i daljinski prikaz svih trenutno mjerenih veličina, nadzor svih aparata u polju, upravljanje istima, snimanje poremećaja električnih veličina za vrijeme kvarova, mjerenje energije, mjerenje THD-a, nadzor istrošenosti prekidača, lokator kvara te prijenos podataka prema SCADA sustavu.“

Što bržu prilagodbu uvjetima u postrojenju releju osiguravaju tri različite grupe podešenja koje se mogu mijenjati preko binarnog ulaza ili komunikacijskim putem. U tablici Tablica 4.1. navedene su zaštitne funkcije koje su na raspolaganju u te tri grupe podešenja.



**Tablica 4.1.** Zaštitne funkcije releja KON PRO RFX [5]

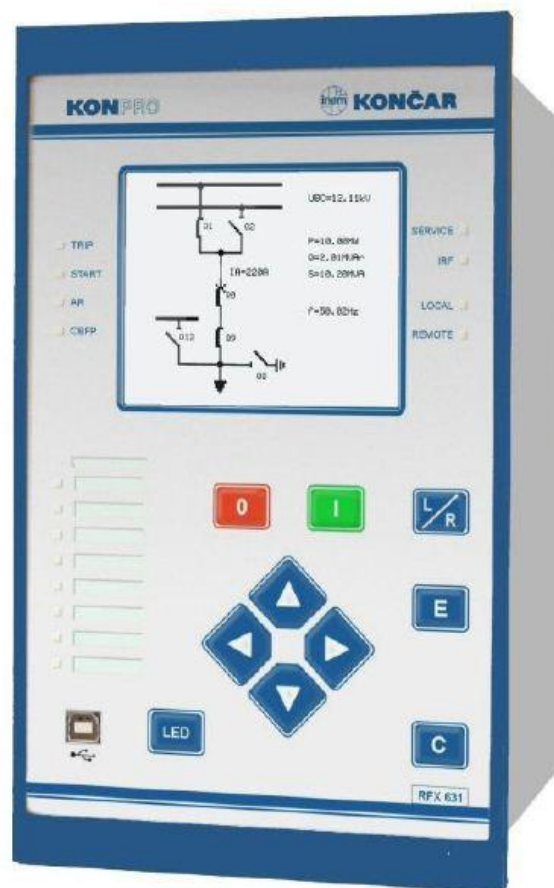
Zaštitna funkcija	ANSI oznaka	IEC oznaka
Nadstrujna zaštita	50, 51	$I >$
Usmjerena nadstrujna zaštita	67-DT, 67-IT	$I_{dir} >$
Zemljospojna zaštita	50N-DT, 50N-IT	$I_E >$
Usmjerena zemljospojna zaštita	67N-DT, 57N-IT	$I_{Edir} >$
Osjetljiva usmjerena zemljospojna zaštita	67Ns-DT	$I_{EE} >$
Zemljospojna ( $U_0$ ) zaštita	59N	$U_E >$
Podnaponska zaštita	27	$U <$
Nadnaponska zaštita	59	$U >$
Frekventna zaštita	81	$f >, f <$
Zaštita od termičkog preopterećenja kabela	49F	$3I_{th} >$
Zaštita od prekida faze	46DP	$I_{ub} >$
Zaštita od negativne komponente struje	46-DT, 46-IT	$I_2 >$
Zaštita od preopterećenja kondenzatorskih baterija	51C	$3I >, 3I <$
Zaštita kondenzatorske baterije pomoću struje neravnoteže	51NC-1	$dI > C$
Zaštita kondenzatorske baterije pomoću neravnotežne nulte komponente napona	59NC	$dU > C$
Zaštita od zatajenja prekidača	50BF	
Automatski ponovni uklop	79	
Nadzor isklopnog kruga prekidača	74TCS	
Lokator kvara	21FL	
Registracija uklopa transformatora na osnovu drugog harmonika		
Funkcija hladnog starta		

Na slikama Slika 4.1. i Slika 4.2. prikazano je kućište releja koje je predviđeno za ugradnju na montažnu ploču u postrojenju. Na prednjoj strani sadrži folijsku tipkovnicu, a sa stražnje strane nalaze se priključne stezaljke. Navigacijske tipke koje su smještene na prednjoj ploči služe jednostavnom kretanju kroz izbornike releja, dok se grafički zaslon s dodatnih 16 LED dioda koristi za interni prikaz stanja mjerenih veličina.

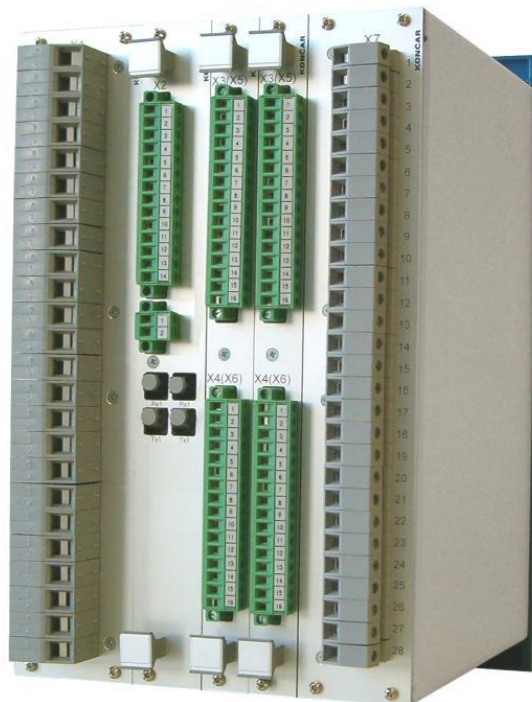
Relej se s postrojenjem povezuje pomoću priključnih stezaljki za prihvat vodiča i to sljedećih presjeka:

- 10 mm<sup>2</sup> na mjernim ulazima
- 4 mm<sup>2</sup> na relejnim izlazima
- 2,5 mm<sup>2</sup> na binarnim ulazima

Standardno USB sučelje koristi se za internu komunikaciju releja i računala, dok se za daljinsku komunikaciju koriste dva optička sučelja za prihvat optičkog plastičnog voda s V-Pin konektorom koja su smještena na poledini releja, [5].

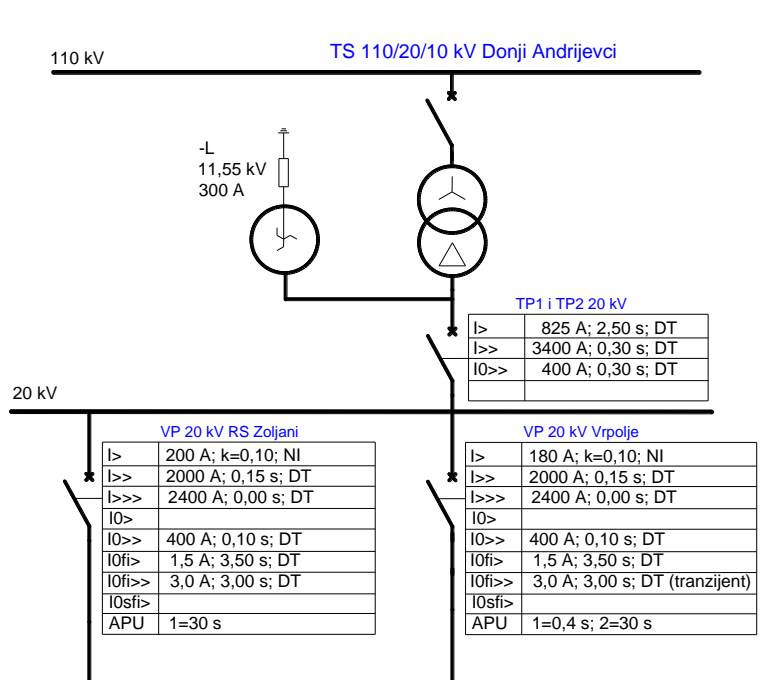


**Slika 4.1.** Prednja strana KON PRO RFX releja [5]

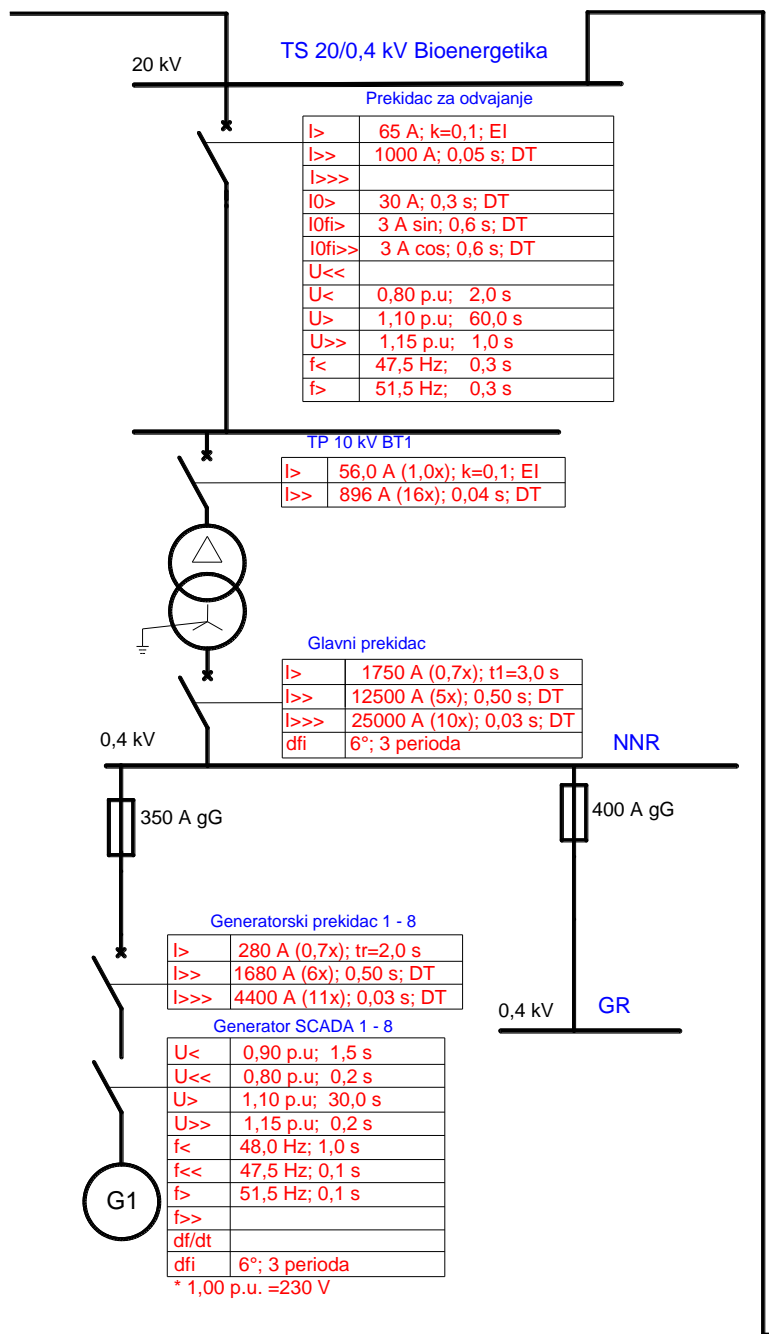


Slika 4.2. Stražnja strana KON PRO RFX releja [5]

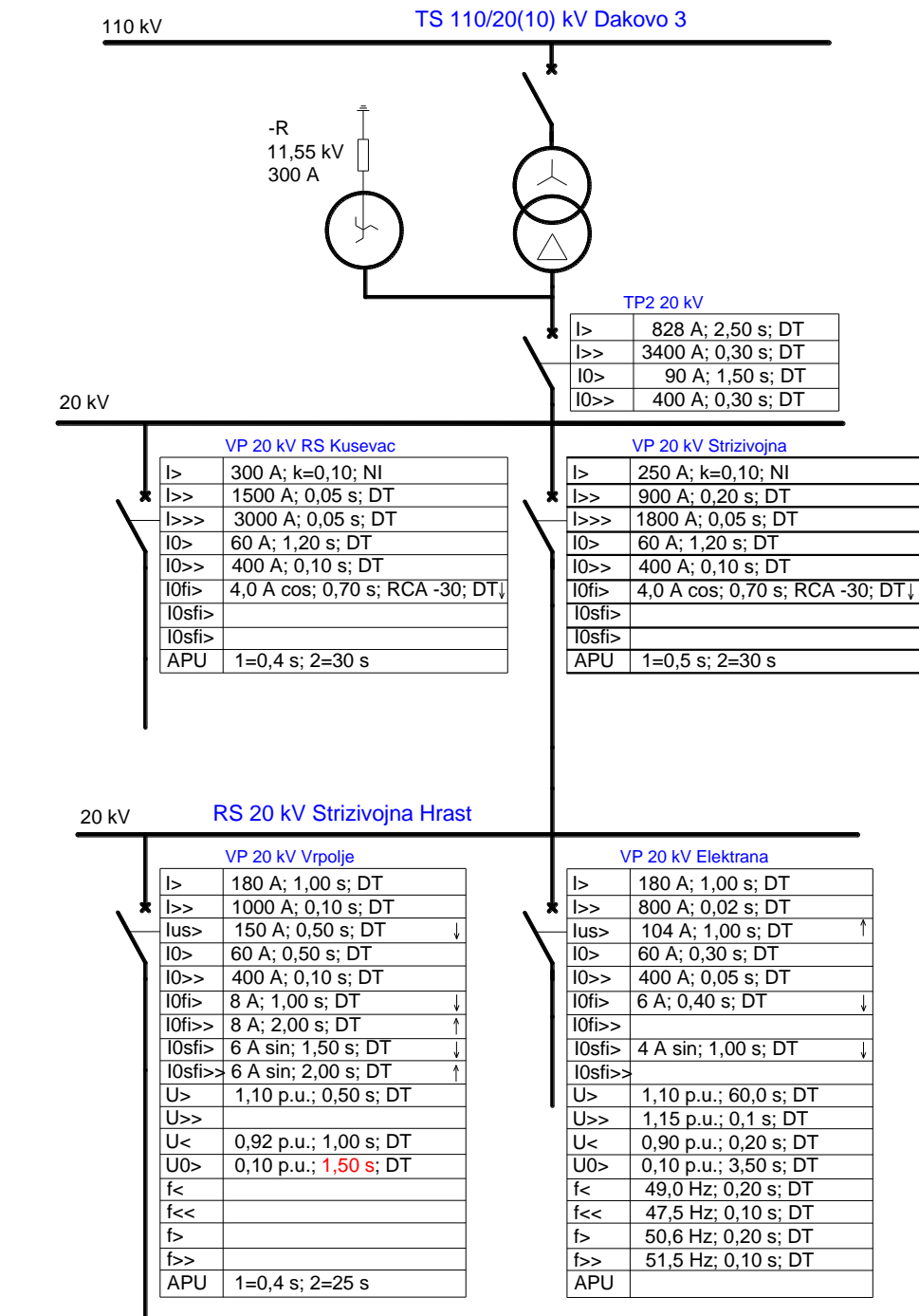
## 4.2. Podešenje relejne zaštite



Slika 4.3. Podešenje relejne zaštite u TS 110/20/10 kV Donji Andrijevci [3]



Slika 4.4. Podešenje relejne zaštite u TS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]



Slika 4.5. Podešenje relejne zaštite u TS 110/20(10) kV Đakovo 3 [3]

## **5. ISPITIVANJE UVJETA ZA PARALELNI POGON ELEKTRANE NA BIOMASU S DISTRIBUCIJSKOM MREŽOM**

Postupak ispitivanja uvjeta paralelnog pogona elektrane na biomasu s distribucijskom mrežom provodi se u skladu s nekoliko važnih dokumenata kao što su:

- Mrežna pravila EES-a (NN 36/2006)
- Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (NN 85/2015)
- Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na EES HEP-a u pokusnom radu elektrane, [2].

Ispitivanja se provode u dva ciklusa, a podijeljena su na ispitivanje paralelnog pogona elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca i na ispitivanje paralelnog pogona elektrane s mrežom u statusu kupca i proizvođača.

### **5.1. Ispitivanja paralelnog pogona elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca**

U svrhu provjere preduvjeta za izvedbu operativnog plana i programa ispitivanja prema prvom PPI-u provode se sljedeća ispitivanja:

1. Pregled i verifikacija projektno-tehničke dokumentacije elektrane na biomasu Elektrana KP Bioenergetika
2. Pregled podešenja relejne zaštite elektrane i relejne zaštite u Rasklopištu RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika
3. Ispitivanje razmjene signala i ispravnosti komunikacijske veze Elektrana – Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika
4. Ispitivanje djelovanja blokade od dozemnog spoja prekidača za odvajanje preko uzemljene tropoložajne rastavne sklopke -Q1 na elektrani u VP +J1
5. Ispitivanje djelovanja blokade uklopa prekidača za odvajanje ako je uključen ijedan generatorski prekidač na elektrani
6. Ispitivanje djelovanja blokade uključenja generatorskih prekidača na elektrani, ako je uključen prekidač za odvajanje – preduvjet za korištenje mreže samo kao kupac [2]

### **5.1.1. Pregled i verifikacija projektno-tehničke dokumentacije elektrane na biomasu KP Bioenergetika**

Ispitivanje se provodi u svrhu verifikacije dokumentacije i ispitnih protokola za elektranu na biomasu Elektrana KP Bioenergetika.

Pregledava se raspoloživa dokumentacija, provjerava s izvedenim stanjem u pogledu vjerodostojnosti i kompletnosti, te s aspekta pogonske sigurnosti, vođenja i održavanja pogona.

#### **Provjera je izvršena uspješno:**

- Na elektrani je bila raspoloživa sva potrebna tehnička dokumentacija.
- Projekt izvedenog stanja elektrane je još u fazi izrade.
- Investitoru su prezentirane obveze pri vođenju i održavanju pogona, [2].

### **5.1.2. Pregled podešenja relejne zaštite elektrane na biomasu KP Bioenergetika i relejne zaštite u susretnom postrojenju Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika**

Provodi se u svrhu provjere, pregleda i verifikacije podešenja parametara relejne zaštite elektrane na biomasu KP Bioenergetika i Rasklopišta RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika.

Pregledava se raspoloživa dokumentacija, izvještaji o ispitivanjima s izvedenim stanjem sa stajališta osjetljivosti i selektivnosti te sekundarna ispitivanja zaštite prema unaprijed određenim podešenjima koja su definirana u dokumentu pod nazivom Elaborat podešenja zaštite (EPZ).

#### **Provjera je izvršena uspješno:**

- Izvršena je provjera podešenja zaštite prema EPZ-u i utvrđena su manja odstupanja u opcijama mogućnosti podešenja zaštite na relejima i prekidačima, koja prema mišljenju voditelja ispitivanja i izrađivača EPZ-a, neće imati utjecaj na koncept i selektivnost za izrađeni EPZ, [2].

### **5.1.3. Ispitivanje razmjene signala i ispravnosti signalne veze Elektrana-Rasklopište RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika**

Svrha ovoga ispitivanja je provjera, pregled i verifikacija razmjene signala između elektrane i Rasklopišta RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika.

Procedure za razmjenu signala i utvrđivanje ispravnosti razmjene signala se sastoji od:

1. Davanja naloga za aktiviranje pojedinih signala.
2. Provjere uspješnosti razmjene signala i dogledivosti istih lokalno/daljinski.

3. Provjere ispravnosti signalne komunikacijske veze.

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Provjera razmjene signala i blokada izvršena je uspješno, [2].

#### **5.1.4. Ispitivanje djelovanja blokade od dozemnog spoja prekidača za odvajanje preko uzemljene tropoložajne rastavne sklopke -Q1 na elektrani u VP +J1**

Svrha ovoga ispitivanja je provjera, pregled i verifikacija djelovanja blokade.

Postupak se sastoji od sljedećih koraka:

1. Prekidač za odvajanje -Q5 =J6 je isključen.
2. Svi generatorski prekidači su isključeni.
3. Isključuje se prekidač -Q4(=J5) u spojnom polju u susretnom postrojenju.
4. Uzemljuje se rastavna sklopka -Q1 na elektrani u VP (+J1) prema mreži.
5. Daje se električki nalog lokalno s terminala polja za uključenje prekidača za odvajanje.
6. Detektira se da nije došlo do uključanja prekidača za odvajanje.
7. Pokus se ponavlja i s daljinskim nalogom (iz DC Elektre Slavonski Brod) za uključenje prekidača za odvajanje.
8. Detektira se da nije došlo do uključanja prekidača za odvajanje.

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Izvršeno je uspješno ispitivanje djelovanja blokade lokalno preko terminala polja i daljinski iz DC Elektre Slavonski Brod, [2].

#### **5.1.5. Ispitivanje djelovanja blokade uklopa prekidača za odvajanje ako je uključen ijedan generatorski prekidač na elektrani**

Svrha ovoga ispitivanja je provjera, pregled i verifikacija djelovanja blokade.

Postupak se sastoji od sljedećih koraka:

1. Prekidač za odvajanje -Q5 je isključen.
2. Glavni prekidač -Q0 je isključen.
3. Svi generatorski prekidači su isključeni.
4. Daje se preko releja signal ijedan generatorski prekidač – uključen.
5. Daje se električki nalog, lokalno s terminala polja, za uključenje prekidača za odvajanje.
6. Detektira se da nije došlo do uključanja prekidača za odvajanje.



7. Pokus se ponavlja i s daljinskim nalogom (iz DC Elektra Slavonski Brod) za uključenje prekidača za odvajanje.
8. Detektira se da nije došlo do uključanja prekidača za odvajanje.

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Izvršeno je uspješno ispitivanje djelovanja blokade lokalno preko terminal polja i daljinski iz DC Elektre Slavonski Brod, [2].

### **5.1.6. Ispitivanje djelovanja blokade uključanja generatorskih prekidača ako je uključen prekidač za odvajanje – preduvjet za korištenje mreže samo kao kupac**

Svrha ovoga ispitivanja je provjera, pregled i verifikacija djelovanja blokade asinkronog uklopa na generatorskim prekidačima.

Postupak se sastoji od sljedećih koraka:

1. Generatorski prekidači su isključeni i izvedena je mehanička blokada uklopa.
2. Generatori su zaustavljeni.
3. Prekidač za odvajanje je uključen.
4. Provjerava se izvedena mehanička blokada za uklop generatorskog prekidača.
5. Konstatira se da nije moguće uključiti generatorske prekidače (niti ručno, niti električki) zbog izvedene mehaničke blokade.

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Izvršeno je uspješno ispitivanje blokade sinkronizacije dok je elektrana isključivo u statusu kupca.
- Nakon blokade sklopnika za sinkronizaciju (mjesto sinkronizacije) nije bilo potrebe blokirati i generatorske prekidače.
- Izvršeno je zaključavanje tvorničkim ključem (blokadom) uklopa sklopnika za sinkronizaciju i ključeve je uzeo voditelj ispitivanja do nastavka ispitivanja kao proizvođač, [2].

## **5.2. Ispitivanje paralelnog pogona elektrane s mrežom u statusu kupca i proizvođača**

Nakon što su provedena ispitivanja paralelnog pogona elektrane s mreže prema prvom PPI-u (isključivo u statusu kupca), dolazi se do provjere preduvjeta za provedbu operativnog plana i programa prema drugom PPI-u (u statusu kupca i proizvođača), a sastoje se od sljedećih ispitivanja:

1. Pregled i verifikacija projektno-tehničke dokumentacije elektrane na biomasu KP Bioenergetika
2. Pregled podešenja relejne zaštite elektrane i relejne zaštite u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika
3. Provjera okretnog polja istoimenih faza
4. Provjera deblokade uklopa generatorskih prekidača dok je uključen prekidač za odvajanje, nakon deaktiviranja mehaničke blokade
5. Ispitivanje djelovanja blokade uključivanja generatorskih prekidača u slučaju kvara u mjernom krugu sinkronizacije [3]

### **5.2.1. Pregled i verifikacija projektno-tehničke dokumentacije elektrane na biomasu KP Bioenergetika**

Provodi se u svrhu verifikacije dokumentacije i ispitnih protokola za elektranu na biomasu Elektrana KP Bioenergetika.

Pregledava se raspoloživa dokumentacija, provjerava s izvedenim stanjem u pogledu vjerodostojnosti i kompletnosti, te s aspekta pogonske sigurnosti, vođenja i održavanja pogona.

#### **Provjera je izvršena uspješno:**

- Nakon pregleda dokumentacije koji je izvršen prema PPI-u u I. dijelu ispitivanja i koji se odnosi na oba smjera (proizvođač i kupac) nije bilo izmjena i dopuna.
- Projekt izvedenog stanja elektrane je još uvijek u fazi izrade, [3].

### **5.2.2. Pregled podešenja relejne zaštite elektrane na biomasu KP Bioenergetika i relejne zaštite u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika**

Provodi se u svrhu provjere, pregleda i verifikacije podešenja parametara relejne zaštite elektrane na biomasu KP Bioenergetika i u susretnom postrojenju RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika.

Pregledava se raspoloživa dokumentacija, izvještaji o ispitivanjima s izvedenim stanjem sa stajališta osjetljivosti i selektivnosti te sekundarna ispitivanja zaštite prema unaprijed određenim podešenjima koja su definirana u dokumentu pod nazivom Elaborat podešenja zaštite (EPZ).

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Izvršena je provjera podešenja zaštite prema EPZ-u i utvrđena su manja odstupanja u opcijama mogućnosti podešenja zaštite za generatore, te su izvršena podešenja bliža mogućim vrijednostima u odnosu na EPZ, i koja prema mišljenju voditelja ispitivanja i izrađivača EPZ-a, neće imati utjecaja na koncept i selektivnost za izrađeni elaborat podešenja zaštite, [3].

### **5.2.3. Provjera okretnog polja istoimenih faza**

Svrha ispitivanja je da dovedemo istoimeni linijski (ili fazni) napon mreže i generatora mjernom krugu za sinkronizaciju.

Provodi se galvanska provjera privođenja napona mjernom krugu za sinkronizaciju od strane mreže i od strane generatora po sljedećoj proceduri:

1. Blokira se automatska sinkronizacija.
2. Narine se trofazni napon po istoimenim fazama na sekundarne mjerne krugove sinkronizacije.
3. Potvrđuje se postojanje uvjeta za sinkronizaciju u mjernim krugovima sinkronizacije (desno okretno polje i mreže i elektrane, te istoimenost faza).

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Ispitivanje je izvršeno uspješno i potvrđena je istoimenost faza i desno okretno polje od susretnog postrojenja-glavnog prekidača-generatorskih prekidača, [3].

### **5.2.4. Provjera deblokade uklopa generatorskih prekidača dok je uključen prekidač za odvajanje, nakon deaktiviranja mehaničke blokade**

Svrha ovoga ispitivanja je provjera, pregled i verifikacija djelovanja blokade.

Procedura se sastoji od sljedećih koraka:

1. Generatori su u praznom hodu.
2. Prekidač za odvajanje je uključen.
3. Vlastita potrošnja je spojena na mrežni napon.
4. Demontirana je mehanička blokada za uklop generatorskih prekidača.
5. Konstatira se vizualnim pregledom da je moguće uklopiti generatorske prekidače.
6. Daje se nalog za uklop generatorskih prekidača i potvrđuje se uspješni uklop.

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Izvršeno je otključavanje tvorničkim ključem (blokade) uklopa sklopnika za sinkronizaciju.
- Nakon deblokade sklopnika za sinkronizaciju (mjesto sinkronizacije), vizualnim pregledom je utvrđeno da je moguće uklopiti sklopnike i generatorske prekidače, [3].

**5.2.5. Ispitivanje djelovanja blokade uključanja generatorskog prekidača u slučaju kvara u mjernom krugu sinkronizacije - privođenja mrežnog napona generatoru**

Svrha ispitivanja je provjera, pregled i verifikacija djelovanja blokada pri odstupanju od uvjeta paralelnog pogona.

Početno stanje ispitivanja je sljedeće:

1. Vlastita potrošnja je spojena na mrežni napon.
2. Generatorski prekidači su uključeni i s mrežne strane na generatorskim prekidačima je prisutan mrežni napon.
3. Svi sklopnici za sinkronizaciju su isključeni.

**Postupak za generator G1:**

1. Generator G1 je u praznom hodu.
2. Isključuje se osigurač (u jednoj fazi) u mjernom krugu za sinkronizaciju generatora G1 – krug kojim se dovodi mrežni napon sinkronoskopu (-2F2).
3. Ručno se daje nalog za automatsku sinkronizaciju na sklopniku -1K1.
4. Provjerava se odziv sustava generatora G1 na nastali događaj.
5. Pokus se ponavlja za preostale dvije faze (za svaku fazu zasebno) – osigurači (-2F2 i -2F2).

**Navedeni postupak se ponavlja i za ostalih sedam generatora (G2-G8)****Provjera je izvršena uspješno:**

- Provjera je izvršena uspješno i isključenjem bilo koje od tri faze u mjernom krugu sinkronizacije javlja se greška napona na SCADA sustavu (G1 do G8) i nije moguće sinkronizirati pojedini generator na mrežu, [3].

## 6. FUNKCIONALNA ISPITIVANJA ELEKTRANE

Nakon provjere preduvjeta za provedbu operativnog plana i programa prema prvom PPI-u (isključivo u statusu kupca), te prema drugom PPI-u (u statusu kupca i proizvođača), dolazi se do najvažnijeg dijela, funkcionalnih ispitivanja elektrane koja su definirana u drugom PPI-u.

Prema [3]: „U funkcionalna ispitivanja ubrajaju se:

1. Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom – ručni nalog za automatsku sinkronizaciju uključanjem sinkronizacijskih sklopnika
2. Ispitivanje izlaska elektrane iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom - normalni isklop
3. Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom – automatska sinkronizacija uključanjem sinkronizacijskih sklopnika
4. Ispitivanje poštivanja uvjeta da skokovita promjena snage pri opterećenju/rasterećenju smije biti max. 10% P (priključne snage) i ispitivanje mogućnosti dostizanja priključne snage proizvodnje uz ograničenje predaje u mrežu na priključnu snagu
5. Ispitivanje djelovanja zaštite uslijed odstupanja od uvjeta paralelnog pogona – odziv elektrane na nestanak mrežnog napona
6. Ispitivanja djelovanja relejne zaštite - provjera zaštite od otočnog rada elektrane
7. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu uslijed prolaska elektrane kroz ciklus APU-a
8. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu isključenjem glavnog izvora napajanja vlastite potrošnje generatora
9. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu interventnim izlaskom elektrane iz paralelnog pogona s mrežom pri predaji priključne snage („gljiva“ - izravni nalog na isključenje prekidača SN trafo polja -Q u +J2)“

## **6.1. Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom – ručni nalog za automatsku sinkronizaciju uključenjem generatorskog prekidača**

Ispitivanje se provodi u svrhu provjere, demonstracije i verifikacije zaleta generatora pogonskim strojem do nazivne brzine, uklopa sklopnika za sinkronizaciju po nalogu operatera elektrane i praćenja tokova djelatne i jalove snage.

### **Početno stanje prije izvođenja ispitivanja je sljedeće:**

1. Isključen prekidač za odvajanje (-Q5).
2. Isključena tropoložajna sklopka -Q1 na elektrani u VP +J1.
3. Isključen prekidač -Q u TP +J2 na elektrani.
4. Isključen glavni prekidač u postrojenju elektrane (-Q0).
5. Uključeni su rastavni osigurači -FG1 do -FG8.
6. Isključeni su svi generatorski prekidači -QG1 do -QG8.
7. Isključeni su sklopnici za sinkronizaciju -1K1 do -1K8.
8. Bilježi se iznos mrežnog napona u susretnom postrojenju RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika.

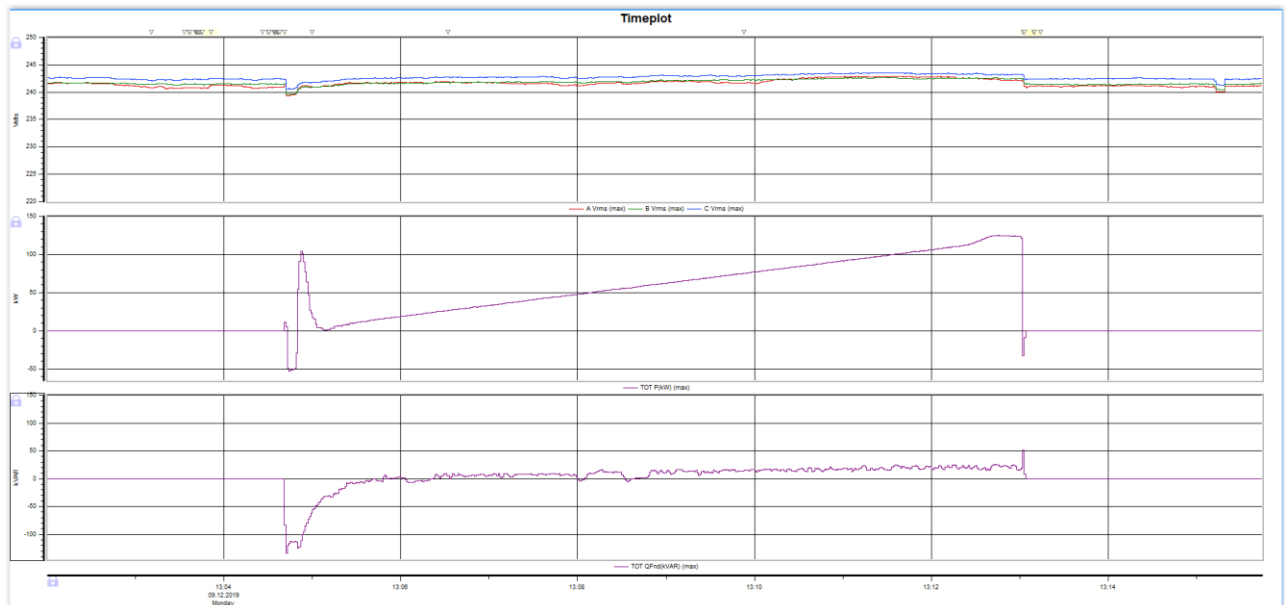
### **a) Sinkronizacija generatora G1 dok su svi ostali generatori isključeni**

#### **Provodi se sljedeća procedura:**

1. Daje se nalog za uključenje prekidača za odvajanje (-Q5).
2. Uključuje se tropoložajnu rastavnu sklopku -Q1 na elektrani u VP +J1.
3. Uključuje se prekidač -Q u TP +J2.
4. Uključuje se glavni prekidač na elektrani (-Q0).
5. Vlastita potrošnja je priključena na mrežu.
6. Bilježi se iznos mrežnog napona na generatorskom prekidaču (-QG1) i konstatira da nije previsok.
7. Ručno se uključuje generatorski prekidač (-QG1).
8. Bilježi se vrijednost snage na OMM elektrane u smjeru potrošnje.
9. Operater elektrane izdaje nalog za pokretanjem pogonskog stroja i praćenje uvjeta sinkronizacije za generator G1.
10. Ovlašteni serviser prima nalog od voditelja ispitivanja za početak prve sinkronizacije.
11. Ovlašteni serviser ručno daje nalog za pokretanje automatske sinkronizacije s ciljem uklopa sklopnika -1K1 i sinkronizacije generatora G1.

12. Snimaju se mjerene veličine (napon, struja, radna i jalova snaga te frekvencija) na SCADA sustavima elektrane i na Dranetz Power Visa uređajima te se bilježi snaga proizvodnje i predaje u mrežu u trenutku sinkronizacije.

Napomena: Snimanje se vrši u sekundnom (s) području.



**Slika 6.1.** Grafički prikaz sinkronizacije za G1 (tipski generator) – mjerenje na generatorskom prekidaču sa sklopnikom na G1 [3]

## b) Sinkronizacije generatora G2 dok su svi ostali generatori isključeni

### Početno stanje:

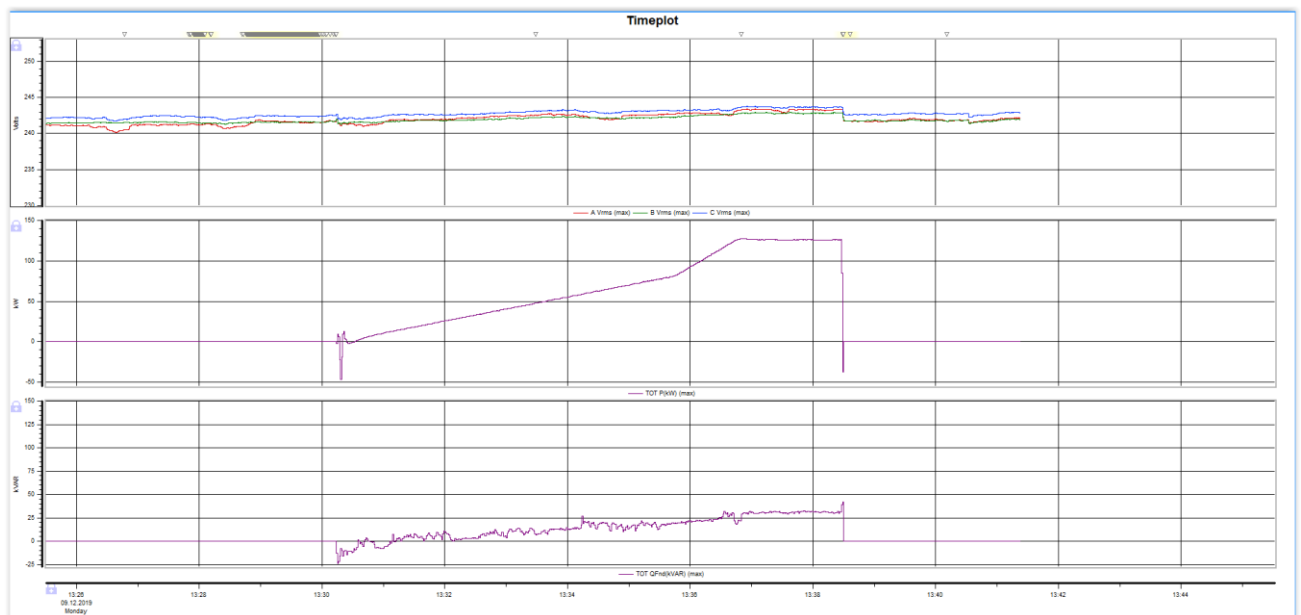
1. Uključen prekidač za odvajanje (-Q5).
2. Uključen glavni prekidač (-Q0) na elektrani.
3. Vlastita potrošnja je priključena na mrežu.
4. Isključeni su svi generatorski prekidači.
5. Isključeni su svi sklopnici za sinkronizaciju.

### Provodi se sljedeća procedura:

1. Bilježi se iznos mrežnog napona na generatorskom prekidaču (-QG2) i konstatira da nije previsok.
2. Ručno se uključuje generatorski prekidač (-QG2).
3. Bilježi se vrijednost snage na OMM elektrane u smjeru potrošnje.
4. Operater elektrane izdaje nalog za pokretanjem pogonskog stroja i praćenje uvjeta sinkronizacije za generator G2.

5. Ovlašteni serviser prima nalog od voditelja ispitivanja za početak prve sinkronizacije.
6. Ovlašteni serviser ručno daje nalog za pokretanje automatske sinkronizacije s ciljem uklopa sklopnika -1K2 i sinkronizacije generatora G2.
7. Snimaju se mjerene veličine (napon, struja, radna i jalova snaga te frekvencija) na SCADA sustavima elektrane i na Dranetz Power Visa uređajima te se bilježi snaga proizvodnje i predaje u mrežu u trenutku sinkronizacije.

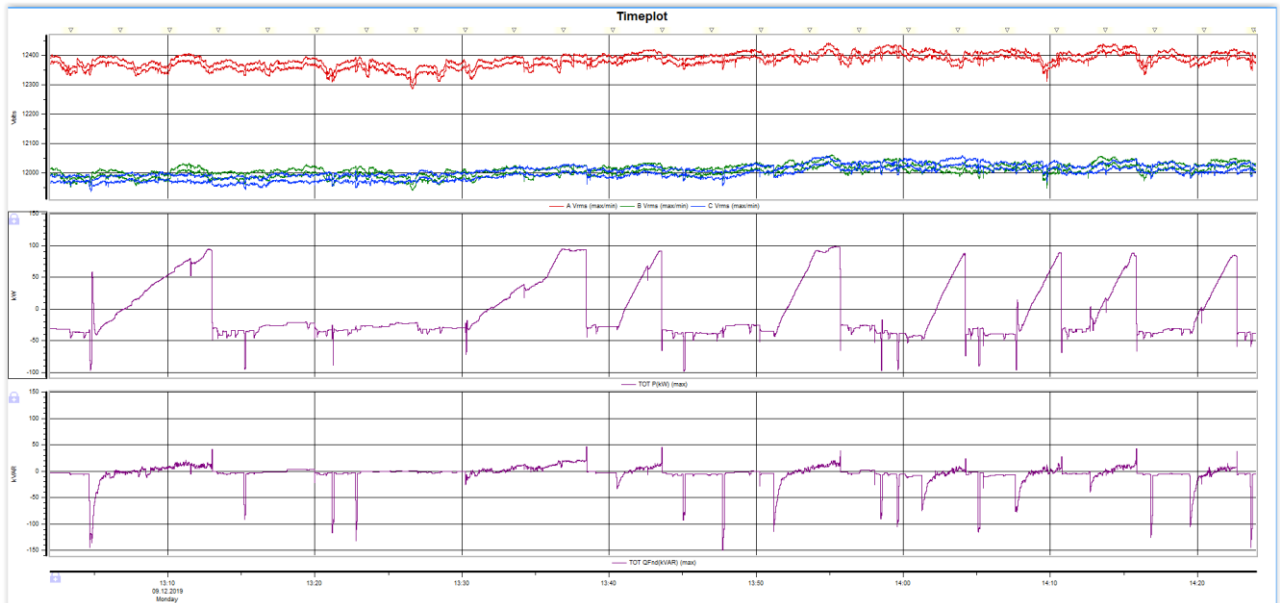
Napomena: Snimanje se vrši u sekundnom (s) području.



**Slika 6.2.** Grafički prikaz sinkronizacije za G2 (tipski generator) – mjerenje na generatorskom prekidaču sa sklopnikom na G2 [3]

**Za ostale generatore (G3-G8) se provodi procedura jednaka kao za generator G2.**





**Slika 6.3.** Grafički prikaz snage ( $P$  i  $Q$ ) i napona tijekom sinkronizacije generatora G1-G8 - mjerjenje na OMM u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]

Provjera je izvršena uspješno, [3].

## 6.2. Ispitivanje izlaska elektrane iz paralelnog pogona s distribucijskom mrežom-normalni isklop

Provodi se u svrhu provjere, demonstracije i verifikacije isklopa sinkronizacijskih sklopnika po nalogu operatera elektrane na biomasu KP Bioenergetika, također se provjerava osmotrivost elektrane u DC Elektre Slavonski Brod te se prate tokovi radne i jalove snage..

**Postupak ispitivanja normalnog isklopa je sljedeći:**

1. Elektrana predaje u mrežu cca. 100% (priključne snage), a ako nije moguće postići priključnu snagu pokus se može provesti i s cca 80% priključne snage.
2. Operater u elektrani daje nalog preko SCADA sustava za isključenje elektrane (proizvodnje električne energije) paralelno za svih 8 generatora (normalni isklop).
3. Izlazna snaga se smanjuje reguliranom izlaznom snagom te kada snaga padne ispod 10% nazivne vrijednosti pojedinog agregata, sinkronizacijski sklopnik se isklapa djelovanjem zaštite od povrata snage.

Napomena 1: Očekuje se isključenje svih generatora unutar cca 5 minuta.

4. Detektira se način odziva proizvodnje i iznos snage proizvodnje kod koje je došlo do isključenja sklopnika.

5. Mjere se i snimaju i provjeravaju mjerne veličine (napon, struja, radna te jalova snaga) i detektira se njihova promjena u vremenu na SCADA sustavima elektrane, u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika i DC Elektre Slavonski Brod, na Dranetz Power Visa uređajima.
6. Prati se snaga (P) i promjenu snage u vremenu.
7. Konstatira se je li došlo do prorade neke zaštite/blokade pri pokusu.

Napomena 2: Snimanje se vrši u sekundnom (s) području.

**Provjera je izvršena uspješno:**

- U 12:45 sati elektrana predaje u mrežu snagu cca 850 kW.
- U 12:45:21 sati ovlaštenu servisera daje nalog za isključenje elektrane s mreže.
- U 12:48:18 sati isključena je proizvodnja s mreže.
- Nije došlo do prorade niti jedne zaštite.
- Kada je snaga predaje u mrežu pala ispod cca 50 kW, elektrana je isključena s mreže, [3].

### **6.3. Ispitivanje ulaska elektrane u paralelni pogon s distribucijskom mrežom – automatska sinkronizacija uključanjem sinkronizacijskih sklopnika**

Ispitivanje se provodi u svrhu provjere, demonstracije i verifikacije zaleta generatora do nazivne brzine pogonskim strojem, automatska sinkronizacija uklopom sklopnika prema nalogu operatera elektrane te praćenje tokova radne i jalove snage.

**Početno stanje pri automatskoj sinkronizaciji generatora (G1-G8) paralelno:**

1. Elektrana ima priključenu vlastitu potrošnju na mrežu.
2. Uključeni su svi generatorski prekidači i prisutan je mrežni napon na generatorskim prekidačima s mrežne strane.
3. Isključeni su svi sklopnici za sinkronizaciju.

**Provesti proceduru:**

1. Bilježi se iznos mrežnog napona na generatorskim prekidačima i konstatira da nije previsok.
2. Bilježi se vrijednost snage na OMM elektrane u smjeru potrošnje.
3. Ovlaštenu servisera prima nalog od voditelja ispitivanja za početak automatske sinkronizacije generatora G1 do G8 paralelno.
4. Operater elektrane izdaje naloge za automatsku sinkronizaciju generatora G1 do G8 na mrežu.

Napomena 1: U normalnom pogonu za automatsku sinkronizaciju (generatorski prekidači su uključeni) i svi generatori se nalaze u automatskom modu i po ostvarivanju potrebnih parametara iz mreže, sinkroniziraju se paralelno na mrežu.

Napomena 2: U slučaju prorade zaštite na generatorskim prekidačima nije moguća samostalna automatska sinkronizacija jer je onda potrebno ručno uklopiti generatorske prekidače.

5. Snimaju se mjerene veličine (napon, struja, radna i jalova snaga te frekvencija) na SCADA sustavima elektrane i na Dranetz Power Visa uređajima te se bilježi snaga proizvodnje i predaje u mrežu u trenutku sinkronizacije.

Napomena 3: Snimanje se vrši u sekundnom (s) području.

#### **Provjera je izvršena uspješno:**

- U 12:10 sati zabilježen je iznos mrežnog napona cca 12000 V do 12350 V u susretnom postrojenju i napon na generatorskim prekidačima cca 242 V.
- U 12:10 sati zabilježen je iznos snage od cca 70 kW u suprotnom smjeru (potrošnje) na OMM elektrane.
- U 12:10 sati ovlaštene serviseri daju nalog za automatsku sinkronizaciju elektrane (G1 do G8).
- U 12:10:43 sati odvija se sinkronizacija elektrane na mrežu.
- Do 12:33 sati postignuta je predaja snage u mrežu cca 850 kW, [3].

#### **6.4. Ispitivanje poštivanja uvjeta da skokovita promjena snage pri opterećenju/rasterećenju smije biti maksimalno 10% P (priključne snage) i ispitivanje mogućnosti dostizanja priključne snage proizvodnje uz ograničenje predaje u mrežu na priključnu snagu**

Svrha ovog ispitivanja je provjeriti poštivanje uvjeta da je maksimalna dozvoljena skokovita promjena snage prilikom opterećenja ili rasterećenja 10% priključne snage, te da priključna snaga može biti dostignuta, ali neće biti prekoračena.

#### **Provode se dva pokusa:**

##### **Pokus a)**

1. Elektrana predaje tehnički minimum koji iznosi cca 550 kW (cca. 55% priključne snage) (kad su sinkronizirani svih 8 generatora, proizvodi tehnički minimum cca 680 kW i troši minimalnu vlastitu potrošnju cca 130 kW - ovisno o tehnološkom procesu u trenutku ispitivanja).
2. Daje se nalog elektrani za proizvodnju 100%.
3. Prati se dinamika porasta proizvodnje iz elektrane i bilježi se početna i krajnja postignuta snaga predaje, vrijeme u kojem je dostignuta (snaga), te se konstatira postignuta brzina promjene  $\Delta P/\Delta t$ .
4. Očekuje se da priključna snaga bude približno dostignuta, ali da neće biti prekoračena.

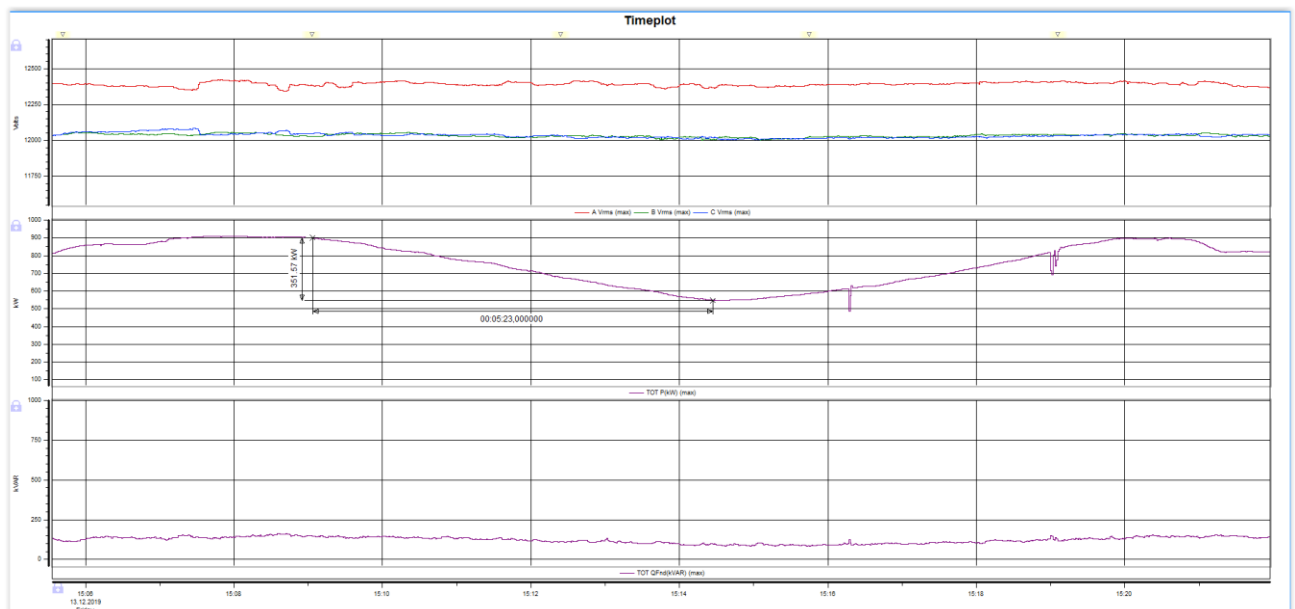
## Pokus b)

1. Nakon dostizanja cca. 100% priključne snage daje se nalog za proizvodnju na tehničkom minimumu.
2. Prati se dinamika smanjenja proizvodnje iz elektrane i bilježi se početna i krajnja postignuta snaga predaje, vrijeme u kojem je dostignuta (snaga), te se konstatira postignuta brzina promjene  $\Delta P/\Delta t$ .

## Provjera je izvršena uspješno:

### Pokus b)

- U 15:08 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 905 kW (maksimalna postignuta proizvodnja u trenutku ispitivanja).
- U 15:09:03 sati operater daje nalog elektrane za proizvodnju na tehnički minimum.
- U 15:14:26 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 554 kW.
- $\Delta P/\Delta t =$  cca 1,08 kW/s na OMM elektrane.
- Zabilježena je linearna funkcija promjene  $\Delta P/\Delta t$ .

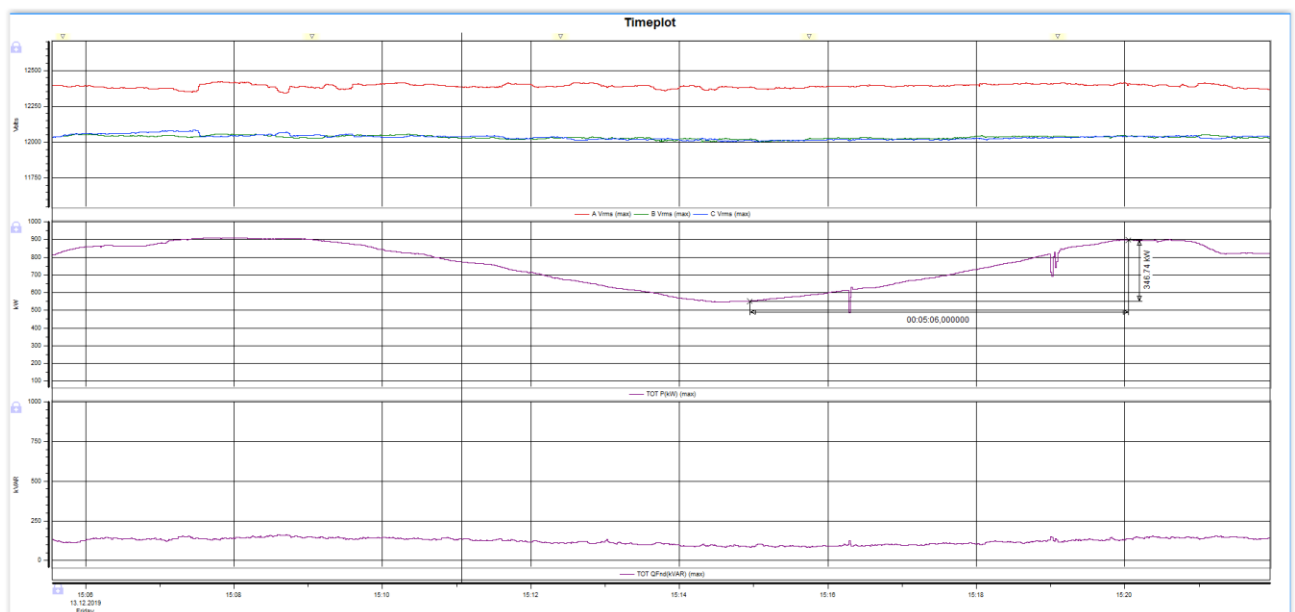


**Slika 6.4.** Grafički prikaz zabilježenih vrijednosti  $\Delta P/\Delta t$  u susretnom postrojenju na OMM elektrane u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]

## Pokus a)

- U 15:14 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 550 kW (tehnički minimum).
- U 15:14:57 sati operater daje nalog elektrane za maksimalnu proizvodnju.
- U 15:20:02 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 900 kW (maksimalno postignuta snaga tijekom ispitivanja).
- $\Delta P/\Delta t =$  cca 1,13 kW/s na OMM elektrane.
- Zabilježena je linearna funkcija promjene  $\Delta P/\Delta t$ .

Napomena: U dva kraća trenutka zabilježena su i dva manja propada proizvodnje  $\Delta P$  do cca 10% nazivne snage ( $P_n$ ) zbog kratkotrajnog smanjenja potrebne količine protoka u dovodu energenta, [3].



**Slika 6.5.** Grafički prikaz zabilježenih vrijednosti  $\Delta P/\Delta t$  u susretnom postrojenju na OMM elektrane u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]

## 6.5. Ispitivanje djelovanja zaštite uslijed odstupanja od uvjeta paralelnog pogona – odziv elektrane na nestanak mrežnog napona

Ispitivanje se provodi u svrhu provjere, pregleda i verifikacije djelovanja zaštite u uvjetima koji odstupaju od uvjeta za paralelni pogon odnosno provjera ponašanja elektrane u izoliranom pogonu.

### Početno stanje prije ispitivanja:

Elektrana u paralelnom pogonu s mrežom proizvodi cca 800 kW (svih 8 generatora je sinkronizirano na mrežu) i predaju u mrežu cca 650 kW (ovisno o tehnološkom procesu u trenutku ispitivanja).

### **Procedura ispitivanja je sljedeća:**

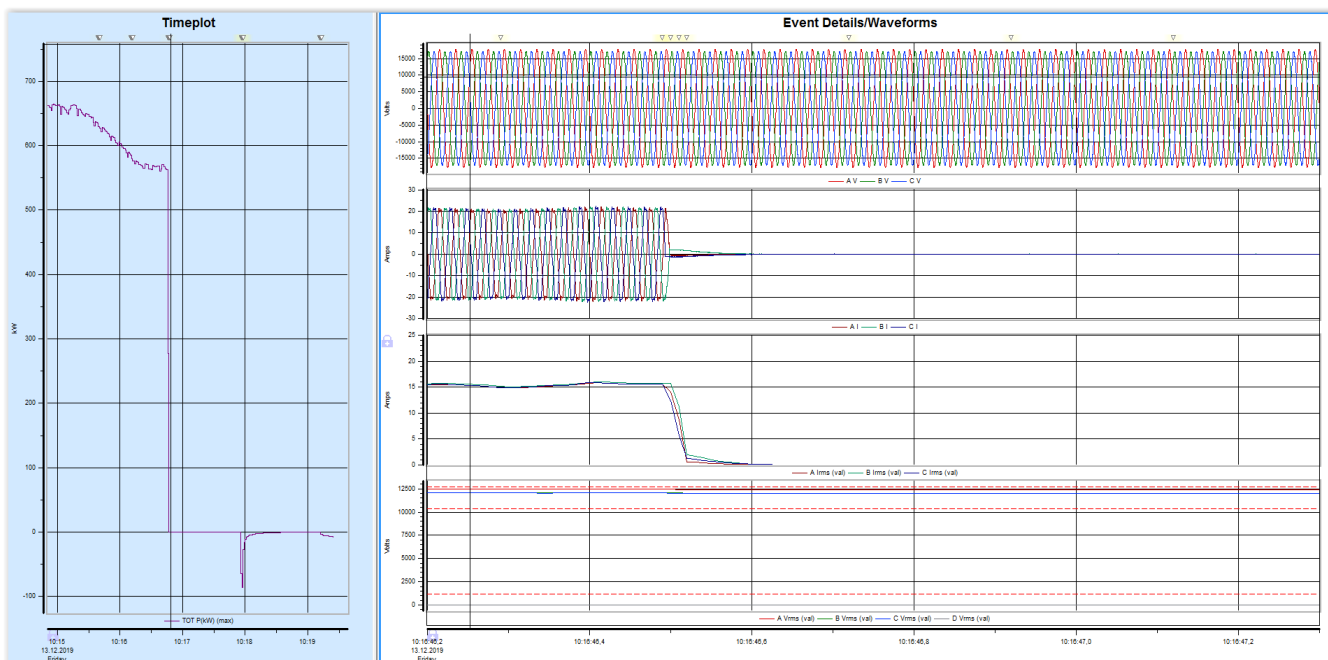
1. Isključuje se prekidač za odvajanje -Q5 u =J6 pri proizvodnji na cca 800 kW.
2. Očekuje se isključenje glavnog prekidača i sinkronizacijskih sklopnika potaknuto proradom zaštite od otočnog pogona u elektrani.
3. Prate se mjerene veličine, bilježi koja je zaštita odradila i kojim redoslijedom (ako ih je odradilo više), te se prati odziv pogonskih strojeva.
4. Utvrđuje se ukupno vrijeme koje je potrebno da bi se elektrana (njena proizvodnja) odvojila od mreže (ukupno vrijeme mora biti unutar 300 ms).
5. Ako je ukupno vrijeme potrebno za odvajanje proizvodnje od mreže duže od 300 ms, potrebno je poduzeti korektivne radnje.
6. Prate se mjerene veličine, a osobito one koje su mjerodavne za proradu zaštite.
7. Konstatira se da je zaštita elektrane djelovala (koja, kojim redoslijedom i u kojem vremenu), te se prati odziv pogonskog stroja.
8. Mjere se i snimaju i provjeravaju mjerne veličine (naponi i struje, radna i jalova snaga) i detektira se njihova promjena u vremenu na SCADA sustavima elektrane, u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika i DC Elektre Slavonski Brod, na Dranetz Power Visa uređajima.
9. Prilaže se snimak prijelazne pojave s naznačenim vremenom i trajanjem izoliranog pogona u milisekundnom (ms) području.

### **Provjera je izvršena uspješno:**

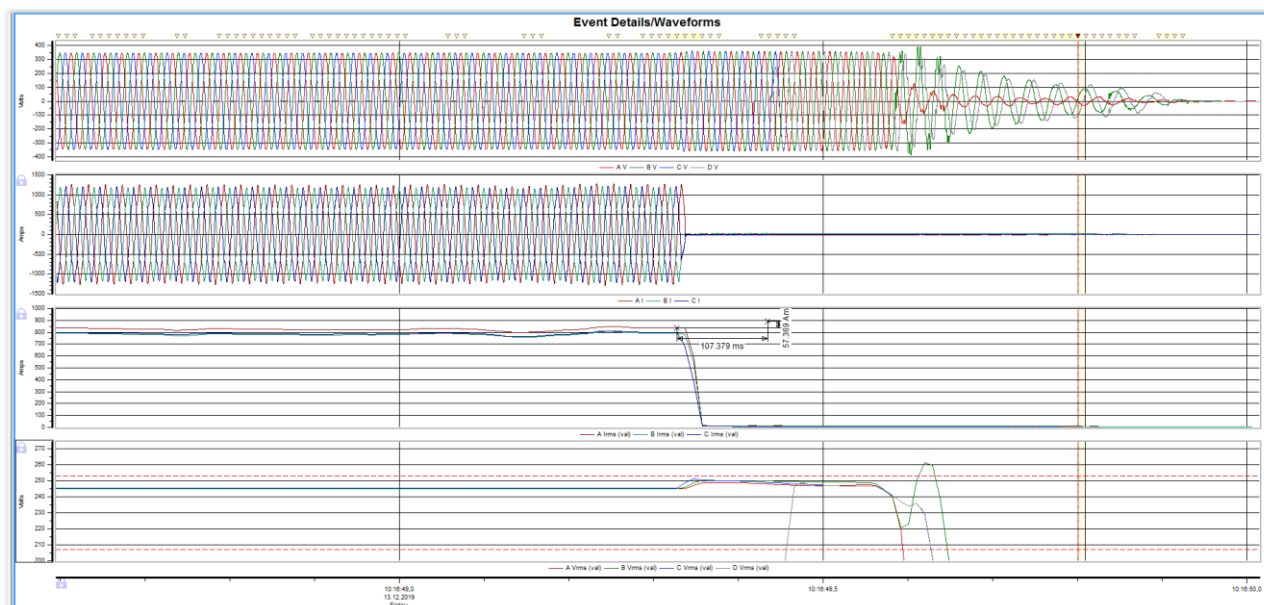
Napomena 1: Podešenje zaštite generatora od otočnog pogona, na relejima koji djeluju na isklop sklopnika za sinkronizaciju -  $d\varphi=6^\circ$  (u jednoj ili tri faze).

Napomena 2: Podešenje zaštite od otočnog pogona na centralnom woodward releju koji djeluje na isklop glavnog prekidača -  $d\varphi=6^\circ$  (u jednoj fazi).

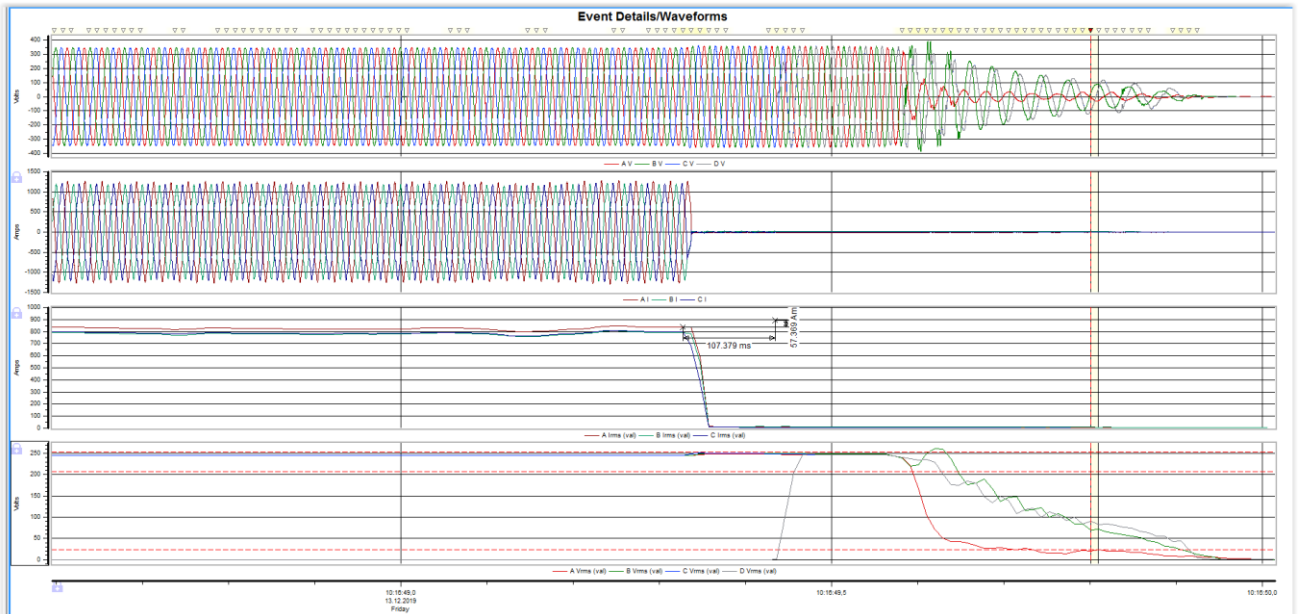
- U 10:16:49 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 560 kW.
- U 10:16:49 sati dispečer je isključio prekidač za odvajanje.
- Isključenjem prekidača za odvajanje na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona  $d\varphi=6^\circ$  isključenjem glavnog prekidača u cca 110 ms (ukupno vrijeme za sve generatore).
- Isključenjem prekidača za odvajanje i NN glavnog prekidača na elektrani, zaštita od otočnog pogona za isključenje sinkronizacijskih sklopnika generatora djelovala je u cca 230 ms isključenjem sklopnika za sinkronizaciju generatora od trenutka isključenja prekidača za odvajanje, [3].



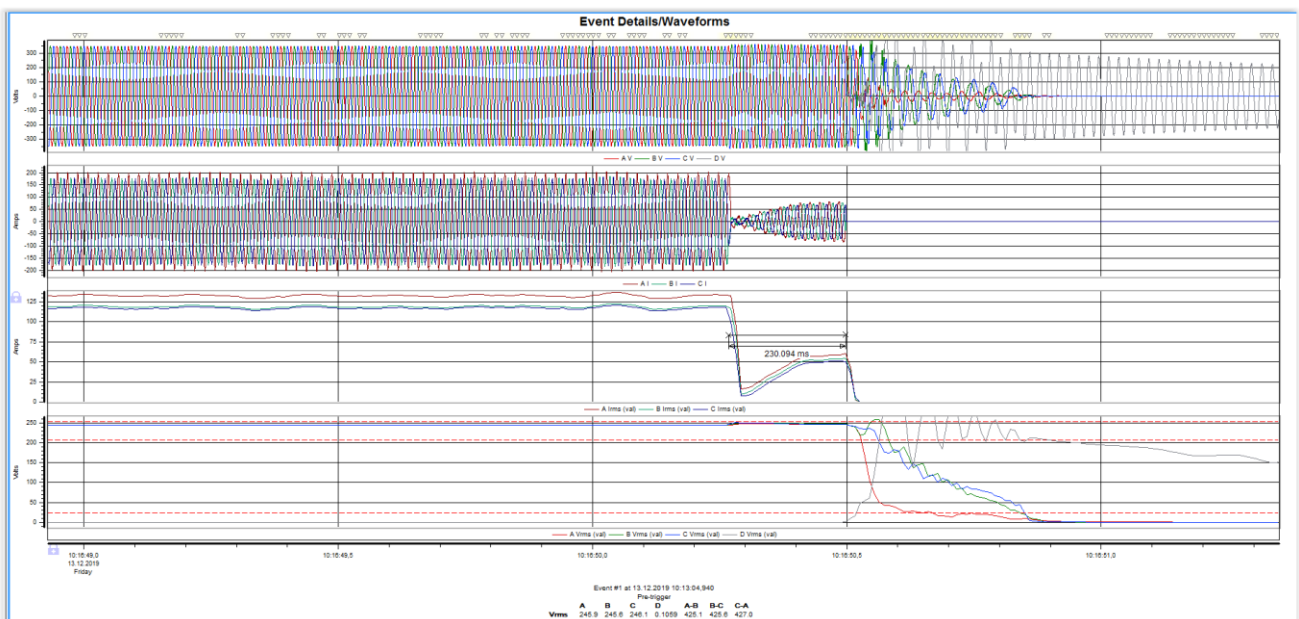
**Slika 6.6.** Grafički prikaz zabilježenih iznosa snage, struje i napona u trenutku isključenja prekidača za odvajanje s naznačenim vremenom u “ms” – mjerenje na OMM u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]



**Slika 6.7.** Grafički prikaz prepoznavanja izoliranog pogona i isključenja proizvodnje s mreže s naznačenim vremenom u “ms” djelovanjem zaštite od otočnog pogona – mjerenje na NN glavnom prekidaču [3]



**Slika 6.8.** Grafički prikaz prepoznavanja izoliranog pogona i isključenja proizvodnje s mreže s naznačenim vremenom u “ms” djelovanjem zaštite od otočnog pogona – mjerenje na NN glavnom prekidaču [3]



**Slika 6.9.** Grafički prikaz prepoznavanja izoliranog pogona i isključenja generatora s naznačenim vremenom u “ms” djelovanjem zaštite od otočnog pogona – mjerenje na G1 (tipski generator) [3]



## **6.6. Ispitivanja djelovanja relejne zaštite - provjera zaštite od otočnog rada elektrane**

Cilj ovoga ispitivanja je provjera zaštite od otočnog pogona elektrane, provjera upravljanja i nadzora te prosljeđivanja informacija u slučaju prorade zaštite.

### **Početno stanje:**

1. Elektrana predaje u mrežu cca 100% (priključne snage), svi generatori su sinkronizirani na mrežu, a ako nije moguće postići priključnu snagu pokus se može provesti i s cca 80% priključne snage.
2. Svi generatori su u paralelnom pogonu s mrežom i predaju u mrežu minimalno cca 80% priključne snage.

### **Postupak ispitivanja je sljedeći:**

1. DP Elektra Slavonski Brod u skladu s realnim mogućnostima za pokusni rad razrađuje mogućnost prebacivanja dijela potrošača po pojedinim sekcijama tako da se u pogodnom trenutku (u smislu trenutnog konzuma vodnog polja u kojem se nalazi elektrana) osigura približno isti trenutni konzum vodnog polja i proizvodnje na elektrani.
2. U trenutku postizanja približne ravnoteže između proizvodnje i potrošnje, dispečer isključuje prekidač u VP 20 kV Vrpolje u TS 110/20/10 kV Donji Andrijević dok kroz isključivani prekidač teče približno 0 A.
3. Prate se mjerene veličine, posebice one mjerodavne za proradu zaštite.
4. Konstatira se kako je zaštita elektrane djelovala (koja, kojim redoslijedom i u kojem vremenu), te da nije djelovala zaštita u mreži (niti na prekidaču za odvajanje).
5. Očekuje se isključenje glavnog prekidača i sinkronizacijskih sklopnika djelovanjem zaštite od otočnog pogona.
6. Konstatira se da je zaštita od otočnog pogona u elektrani djelotvorna ako je isključila proizvodnju s mreže unutar 300 ms.
7. Ako je ukupno vrijeme isključenja elektrane (proizvodnje) s mreže duže od 300 ms, potrebno je poduzeti korektivne radnje.
8. Mjere se i snimaju i provjeravaju mjerne veličine (naponi i struje, radna i jalova snaga) i detektira se njihova promjena u vremenu na SCADA sustavima elektrane, u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika i DC Elektre Slavonski Brod, na Dranetz Power Visa uređajima.
9. Prilaže se snimak prijelazne pojave s naznačenim vremenom i trajanjem otočnog pogona u milisekundnom (ms) području.

## Provjera je izvršena uspješno:

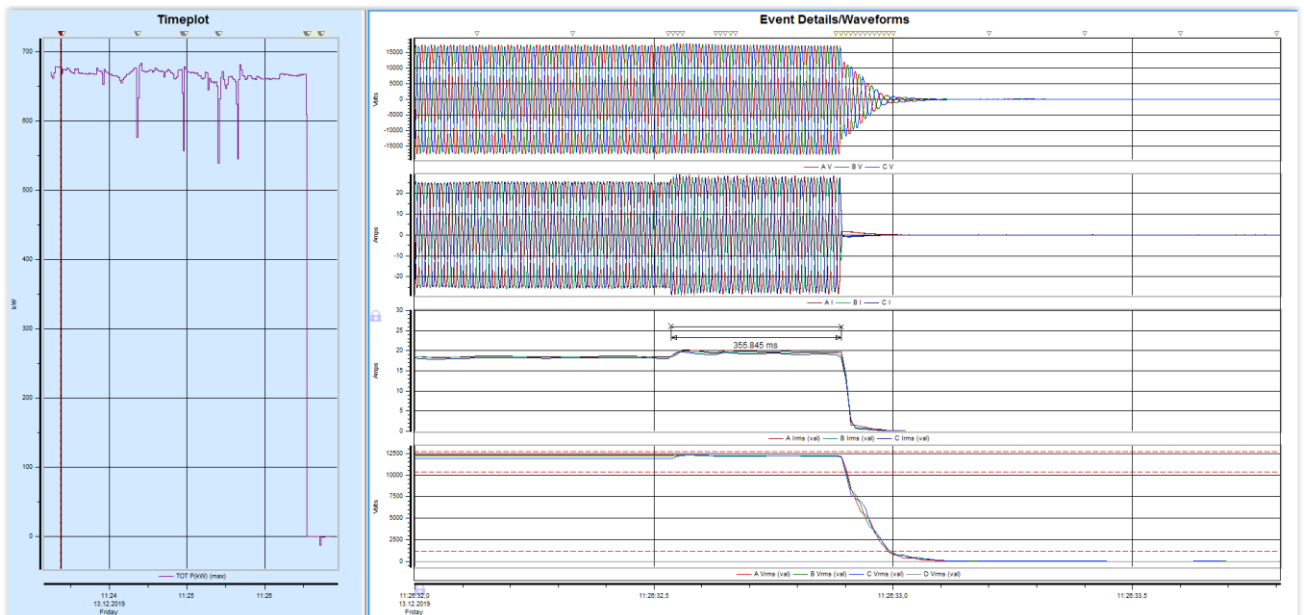
### TEST I.

Napomena 1: Podešenje zaštite generatora od otočnog pogona na relejima koji djeluju na isklon sklopnika za sinkronizaciju -  $d\phi=6^\circ$  (u jednoj ili tri faze).

Napomena 2: Podešenje zaštite od otočnog pogona na centralnom woodward releju koji djeluje na isklon glavnog prekidača -  $d\phi=6^\circ$  (u jednoj fazi).

- U 11:36:32 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 665 kW.
- U 11:36:32 sati izvršeno je ispitivanje dok elektrana predaje snagu od cca 665 kW u mrežu.
- Na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona pomak kuta napona  $d\phi=6^\circ$  i u cca 355 ms isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača - ukupno vrijeme od nastanka otočnog rada do isključenja elektrane (proizvodnje svih generatora) s mreže potaknuto prepoznavanjem otočnog pogona i odradom zaštite od otočnog pogona koja je isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača.

Napomena 3: Ispitivanje je izvršeno pri disbalansu od cca 30-tak kW.



**Slika 6.10.** Grafički prikaz zabilježenih iznosa snage, struje i napona u trenutku isključenja prekidača za odvajanje s naznačenim vremenom u "ms" – mjerenje na OMM u RSTS 20/0,4 kV

Bioenergetika [3]

## TEST II.

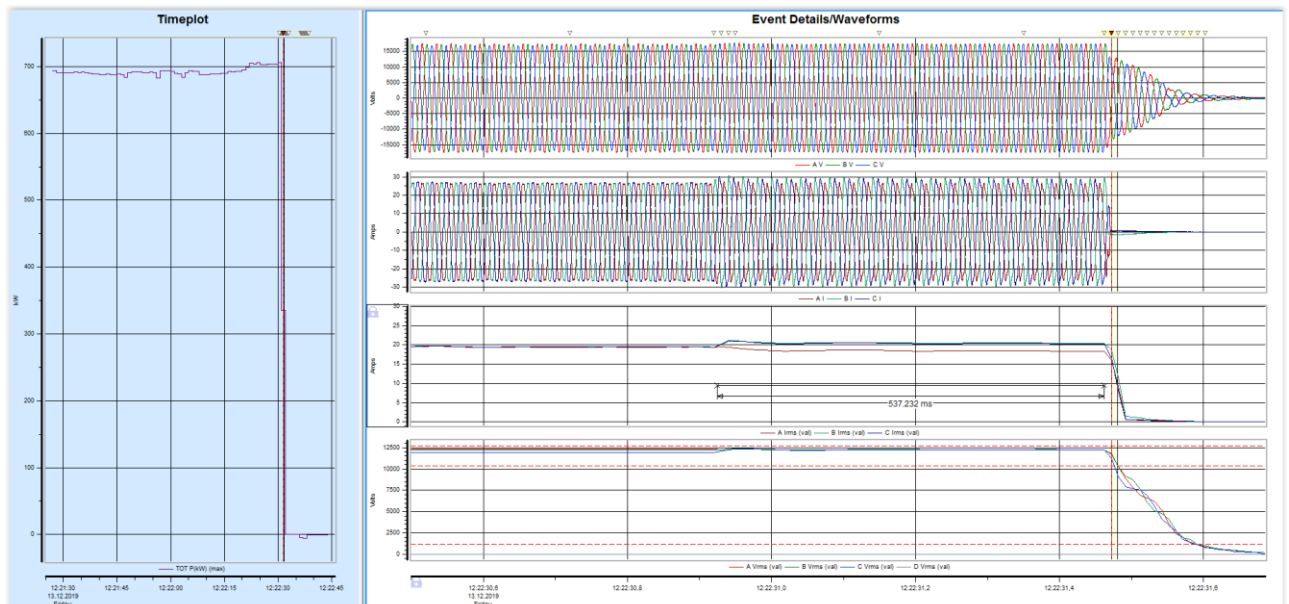
Napomena 1: Izvršeno je preparametriranje (zatezanje) zaštite od otočnog pogona na elektrani.

Napomena 2: Podešenje zaštite generatora od otočnog pogona, na relejima koji djeluju na isklon sklopnika za sinkronizaciju -  $d\varphi=4^\circ$  (u jednoj ili tri faze),  $df/dt=0,3$  Hz/s,  $t=180$  ms.

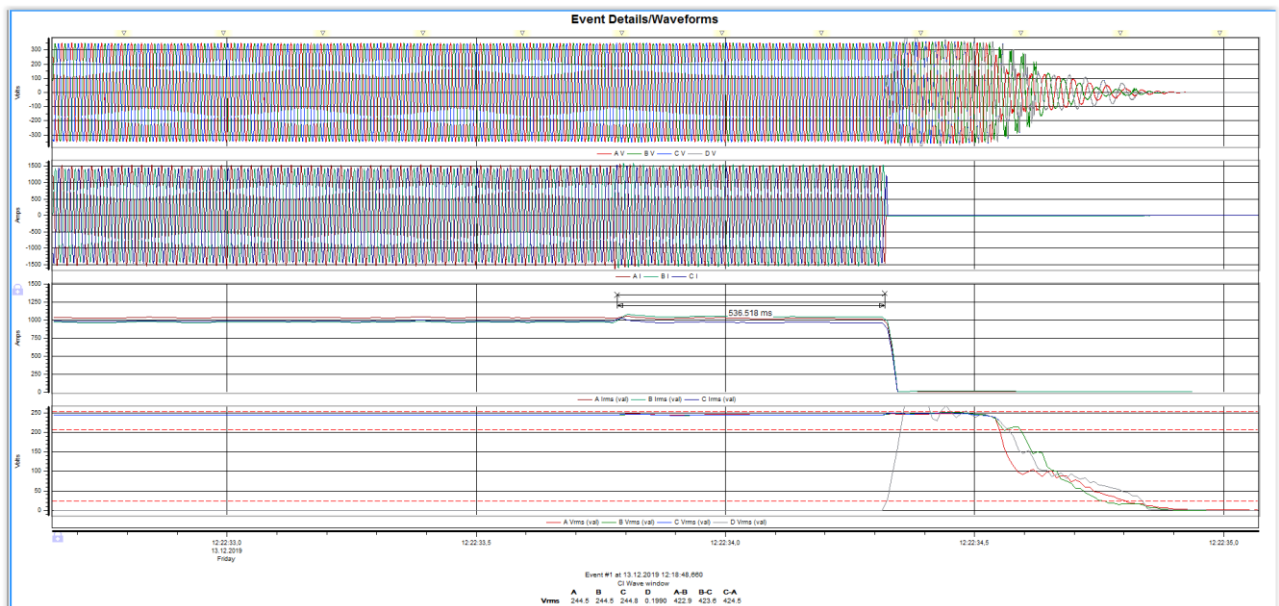
Napomena 3: Podešenje zaštite od otočnog pogona na centralnom woodward releju koji djeluje na isklon glavnog prekidača -  $d\varphi=4^\circ$  (u jednoj fazi).

- U 12:22:33 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 700 kW.
- U 12:22:33 sati izvršeno je ispitivanje dok elektrana predaje snagu od cca 700 kW u mrežu.
- Na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona pomak kuta napona  $d\varphi=4^\circ$  i u cca 537 ms isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača - ukupno vrijeme od nastanka otočnog rada do isključenja elektrane (proizvodnje svih generatora) s mreže potaknuto prepoznavanjem otočnog pogona i odradom zaštite od otočnog pogona koja je isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača.

Napomena 4: Ispitivanje je izvršeno pri disbalansu od cca 10-tak kW, odnosno pri potpunom balansu, kad su nemogući uvjeti da pasivna zaštita od otočnog pogona bude učinkovita u zahtijevanom vremenu i upitna je u potpunom balansu i učinkovitost i aktivnih zaštita.



**Slika 6.11.** Grafički prikaz prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u "ms", djelovanjem zaštite od otočnog pogona - mjerenje na OMM u RSTS 20/ 0,4kV Bioenergetika [3]



**Slika 6.12.** Grafički prikaz prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u “ms”, djelovanjem zaštite od otočnog pogona – mjerenje na NN glavnom prekidaču [3]

### TEST III.

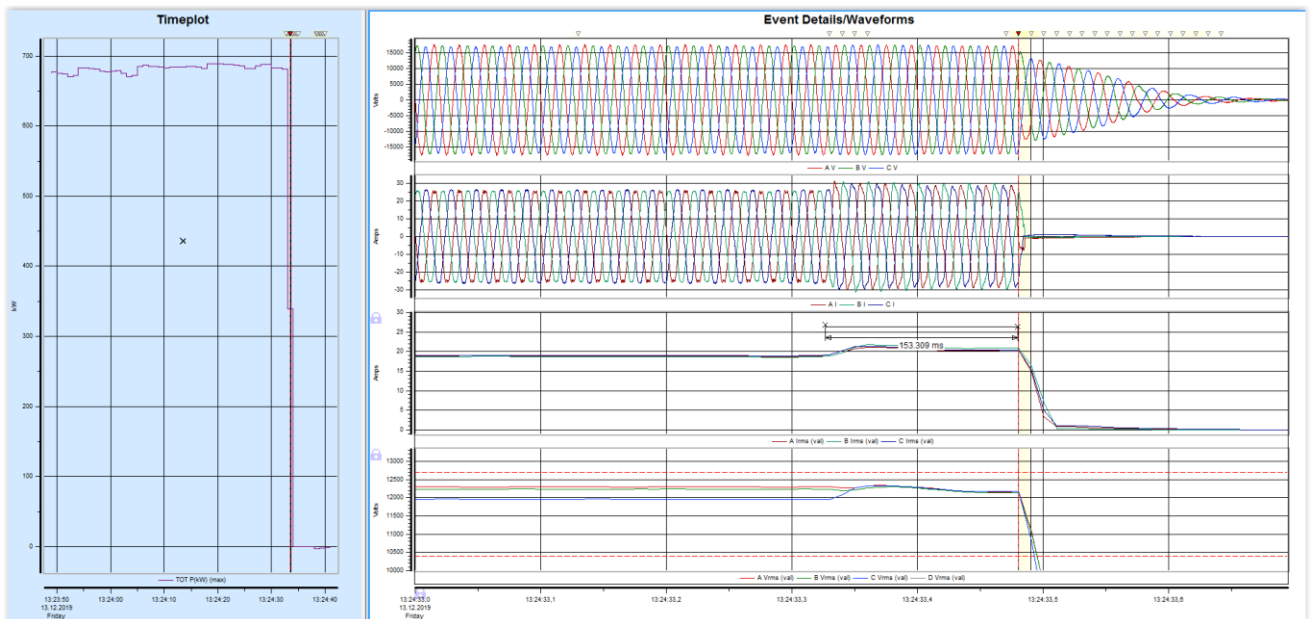
Napomena 1: Izvršeno je dodatno preparametriranje (zatezanje) zaštite od otočnog pogona na elektrani.

Napomena 2: Podešenje zaštite generatora od otočnog pogona na relejima koji djeluju na isklop sklopnika za sinkronizaciju -  $d\varphi=4^\circ$  (u jednoj ili tri faze),  $df/dt=0,3$  Hz/s,  $t=120$  ms.

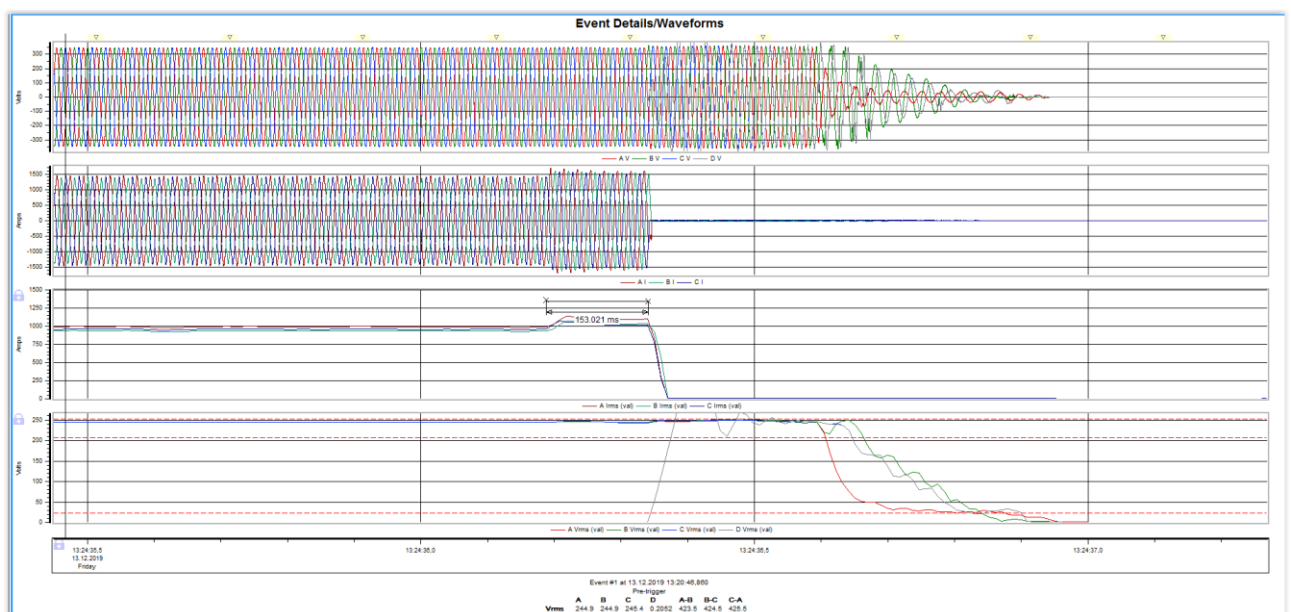
Napomena 3: Podešenje zaštite od otočnog pogona na centralnom woodward releju koji djeluje na isklop glavnog prekidača -  $d\varphi=4^\circ$  (u jednoj fazi).

- U 13:24:33 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 685 kW.
- U 13:24:33 sati izvršeno je ispitivanje dok elektrana predaje snagu od cca 685 kW u mrežu.
- Na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona na centralnom woodward releju pomak kuta napona  $d\varphi=4^\circ$  i u cca 153 ms isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača -ukupno vrijeme od nastanka otočnog rada do isključenja elektrane (proizvodnje svih generatora) s mreže potaknuto prepoznavanjem otočnog pogona i odradom zaštite od otočnog pogona koja je isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača.

Napomena 4: Ispitivanje je izvršeno pri disbalansu od cca 50-tak kW.



**Slika 6.13.** Grafički prikaz prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u “ms”, djelovanjem zaštite od otočnog pogona - mjerenje na OMM u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]



**Slika 6.14.** Grafički prikaz prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u “ms”, djelovanjem zaštite od otočnog pogona – mjerenje na NN glavnom prekidaču [3]

### **Zaključak:**

1. Na prijedlog voditelja ispitivanja i izrađivača EPZ-a, vrijeme beznaponske pauze za brzi APU je u mreži preparametrirano sa 0,4 s na 0,5 s.
2. Za svako dodatno zatezanje implementirane zaštite od otočnog pogona na elektrani, elektrana ne bi mogla imati stabilan rad zbog preosjetljivosti zaštite, odnosno imali bi proradu zaštite i prilikom pokušaja sinkronizacije.
3. Prilikom prethodno navedenog i provedenog testiranja za učinkovitost zaštite od otočnog rada, može se zaključiti da je na elektrani implementirana učinkovita zaštita od otočnog pogona i da je pokus uspješno proveden, [3].

### **6.7. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu uslijed prolaska elektrane kroz ciklus APU-a**

Cilj ispitivanja je provjeriti ponašanje elektrane na biomasu KP Bioenergetika za vrijeme kvara u mreži i tijekom prolaska elektrane kroz ciklusa brzog APU-a, također se provjerava osmotrivost elektrane u DC Elektre Slavonski Brod te se prate tokovi radne i jalove snage.

#### **Procedura provođenja ispitivanja:**

Prije provođenja ovog pokusa potrebno je utvrditi ukupno vrijeme koje je potrebno da bi se elektrana (njena proizvodnja) odvojila od mreže u pokusu odziva elektrane na nestanak mrežnog napona i otočnog pogona.

Ako je ukupno vrijeme isključenja elektrane (proizvodnje) u prethodno ispitanim pokusima djelovanja zaštite od otočnog rada u pokusu za otočni pogon i odziv elektrane na nestanak mrežnog napona manje od 300 ms, taj podatak se konstatira i nakon toga se provodi pokus brzog APU-a s beznaponskom pauzom 400 ms. U protivnom se mora konstatirati da elektrana ne zadovoljava uvjete za priključenje na mrežu, te se predlažu nužne mjere korekcije koje je potrebno provesti prije ponavljanja ovog pokusa, jer ako ovaj pokus nije uspješno proveden, elektrana se ne smije pustiti u paralelni pogon s mrežom.

#### **Pokus APU-a sekundarno induciranim kvarom:**

1. Elektrana u paralelnom pogonu s mrežom i predaje u mrežu cca 70 % odobrene priključne snage.
2. Sekundarno se pobuđuje ciklus brzog APU-a u vodnom polju VP 20 kV Vrpolje u TS 110/20/10 kV Donji Andrijevi, prema internom protokolu HEP-ODS-a.
3. Očekuje se prorada zaštite od otočnog pogona u elektrani, te isključenje elektrane (proizvodnje) unutar 300 ms nakon početka beznaponske pauze (za gašenje luka na mjestu

kvara potrebno minimalno 100 ms bez napajanja mjesta kvara), isključenjem glavnog prekidača i sklopnika za sinkronizaciju.

4. Prate se mjerene veličine, posebice one mjerodavne za prorađu zaštite.
5. Promatra se odziv elektrane i mreže.
6. Konstatira se koja je zaštita djelovala i u kojem vremenu, te da je zaštita djelovala selektivno i unutar traženog vremena (300 ms), te da nije djelovala na prekidač za odvajanje.
7. Mjere se i snimaju i provjeravaju mjerne veličine (naponi i struje, radna i jalova snaga) i detektira se njihova promjena u vremenu na SCADA sustavima elektrane, u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika i DC Elektre Slavonski Brod, na Dranetz Power Visa uređajima.
8. Prilaže se snimak prijelazne pojave s naznačenim vremenom i trajanjem otočnog pogona u milisekundnom (ms) području.

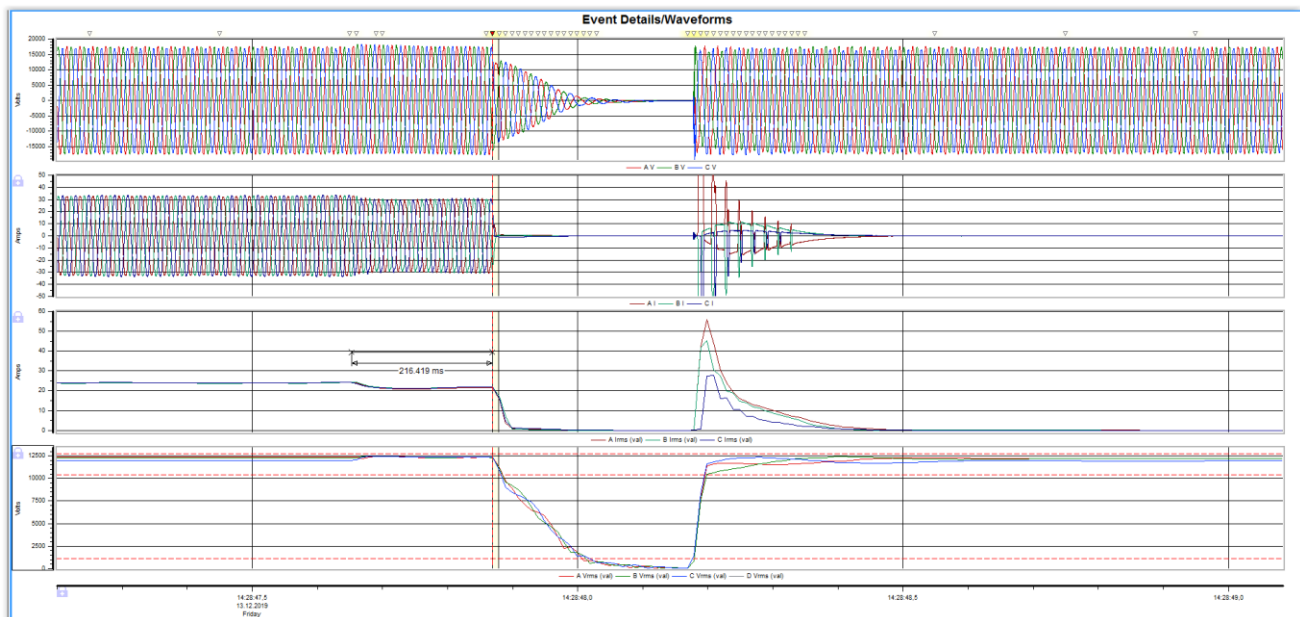
### **Provjera je izvršena uspješno:**

Napomena 1: Podešenje zaštite generatora od otočnog pogona na relejima koji djeluju na isklop sklopnika za sinkronizaciju -  $d\varphi=4^\circ$  (u jednoj ili tri faze),  $df/dt=0,3$  Hz/s,  $t=120$  ms.

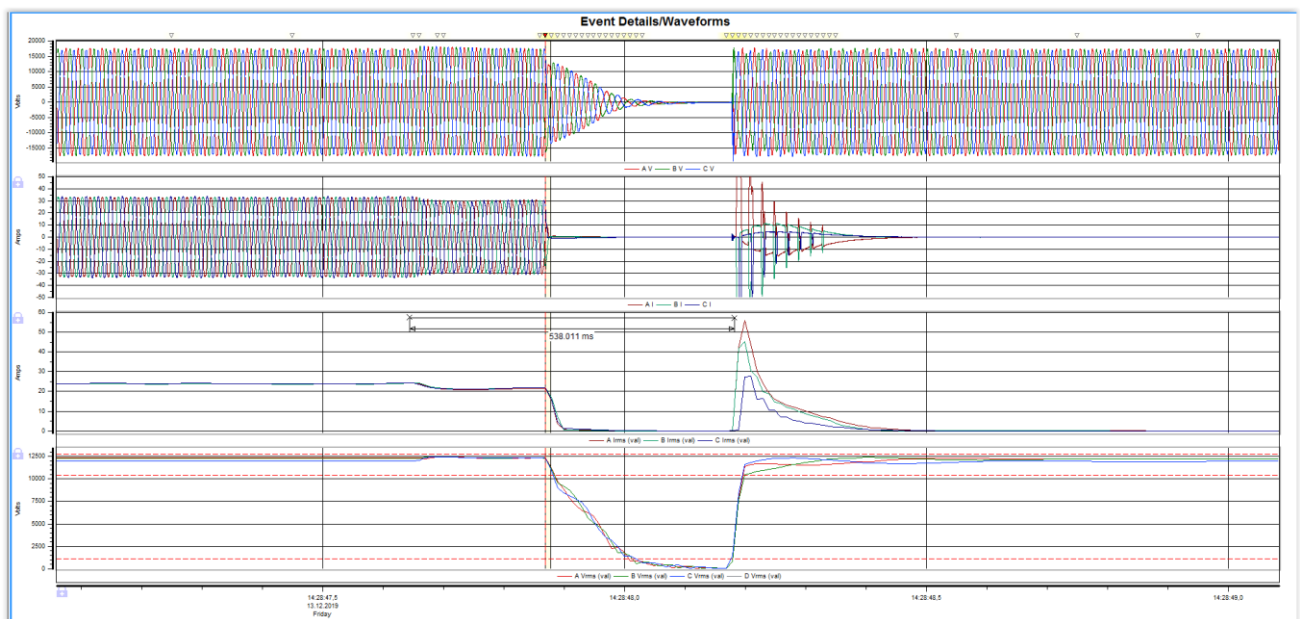
Napomena 2: Podešenje zaštite od otočnog pogona na centralnom woodward releju koji djeluje na isklop glavnog prekidača -  $d\varphi=4^\circ$  (u jednoj fazi).

- U 14:28 sati elektrana predaje snagu u mrežu cca 750 kW.
- Ispitivanje je izvršeno pobudom ciklusa brzog APU-a u 14:28:47 sati.
- Na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona na centralnom woodward releju pomak kuta napona  $d\varphi=4^\circ$  i u cca 220 ms isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača - ukupno vrijeme od nastanka otočnog rada do isključenja elektrane (proizvodnje svih generatora) s mreže potaknuto prepoznavanjem otočnog pogona i odradom zaštite od otočnog pogona koja je isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača.

Napomena 3: Ispitivanje je izvršeno pri disbalansu od cca 80-tak kW, [3].

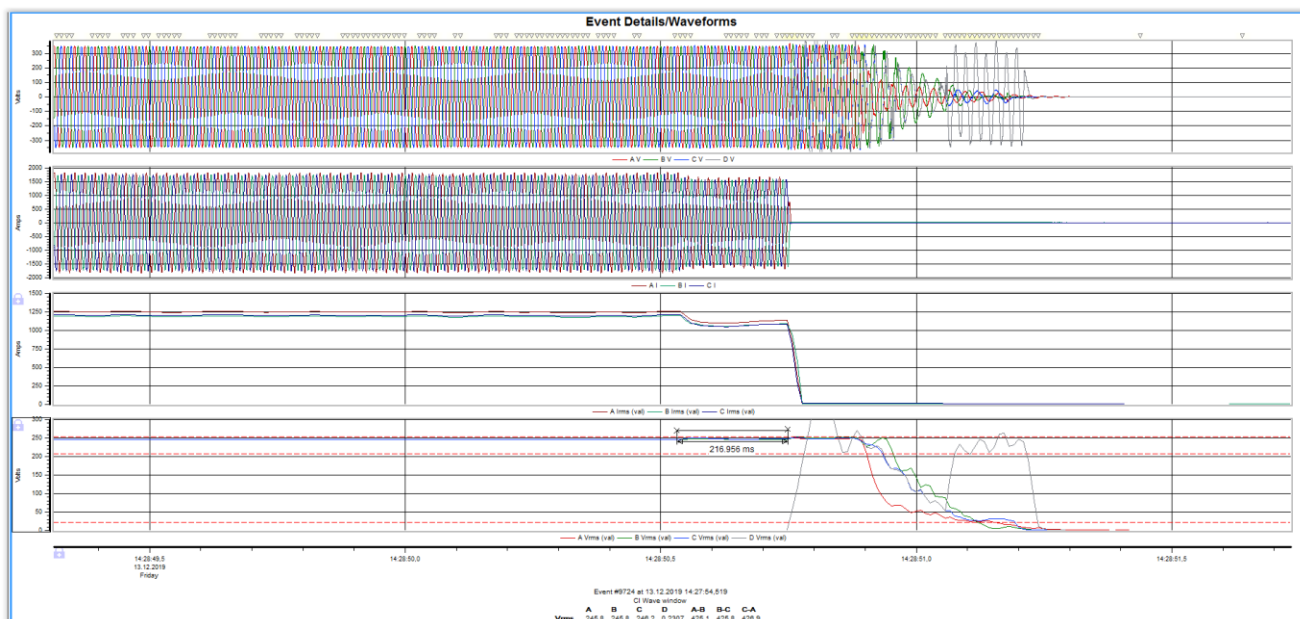


**Slika 6.15.** Grafički prikaz prolaska (odziva) elektrane kroz ciklus brzog APU-a, prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u “ms” - na OMM u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]



**Slika 6.16.** Grafički prikaz prolaska (odziva) elektrane kroz ciklus brzog APU-a, prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u “ms” - na OMM u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]





**Slika 6.17.** Grafički prikaz prolaska (odziva) elektrane kroz ciklus brzog APU-a, prepoznavanja otočnog pogona i isključenja elektrane s mreže s naznačenim vremenom u "ms" - mjerenje na NN glavnom prekidaču [3]

## 6.8. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu isključenjem glavnog izvora napajanja vlastite potrošnje generatora

Svrha ovoga ispitivanja je provjera, demonstracija i verifikacija nestanka glavnog napajanja vlastite potrošnje generatora (simulacija pogonskog kvara) te provjera pogonskih uvjeta elektrane, a uz to provjerava se i osmotrivost elektrane u DC Elektre Slavonski Brod te se prate tokovi radne i jalove snage.

### Početno stanje:

Elektrana proizvodi i predaje u mrežu cca 60% priključne snage (svi generatori su u paralelnom pogonu s mrežom).

### Provesti proceduru:

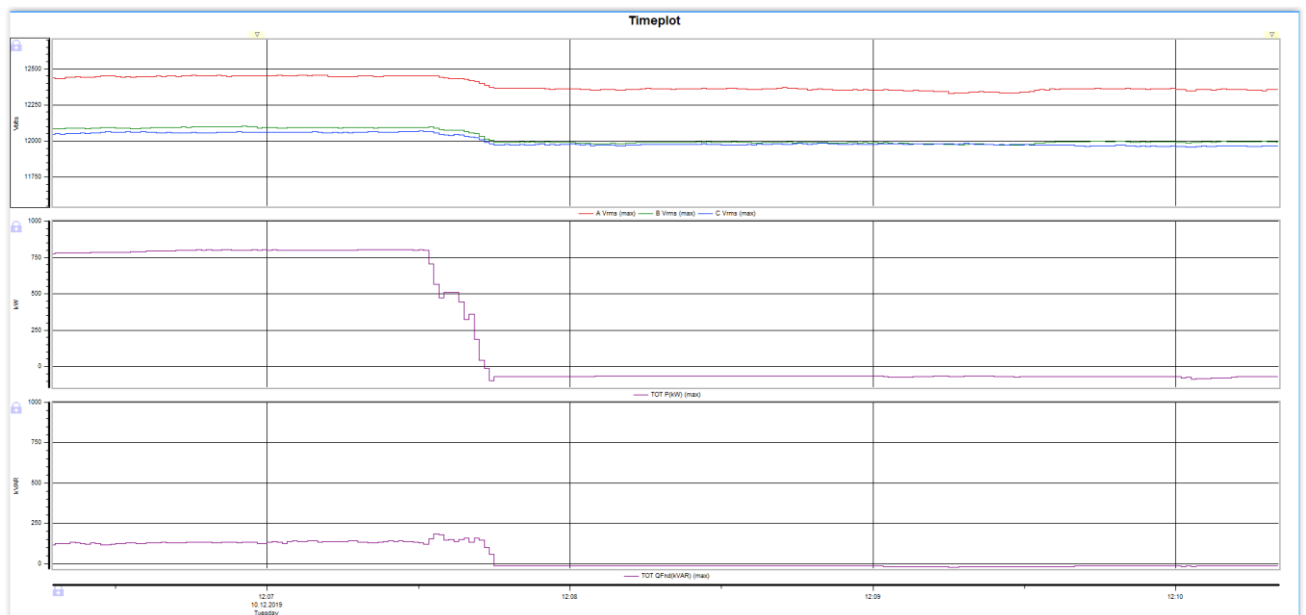
- Isključuje se napajanja vlastite potrošnje za generatore isključenjem rastavne sklopke –Q11 za svaki generator - smanjuje se dotok plina zbog čega preko SCADA-e upravljački sustav ima grešku i automatski isključuje generatorski prekidač i sklopnik za sinkronizaciju.
  - Elektrana nema predviđen diesel agregat za rezervno napajanje vlastite potrošnje.
  - Na elektrani je predviđen neprekidni sustav napajanja (UPS) autonomije cca 30 min za održavanje razmjene signala i prorade zaštite na elektrani.
- Konstatira se koja je zaštita djelovala i u kojem vremenu.

3. Mjere se i snimaju i provjeravaju mjerne veličine (naponi i struje, radna i jalova snaga) i detektira se njihova promjena u vremenu na SCADA sustavima elektrane, u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika i DC Elektre Slavonski Brod, na Dranetz Power Visa uređajima.

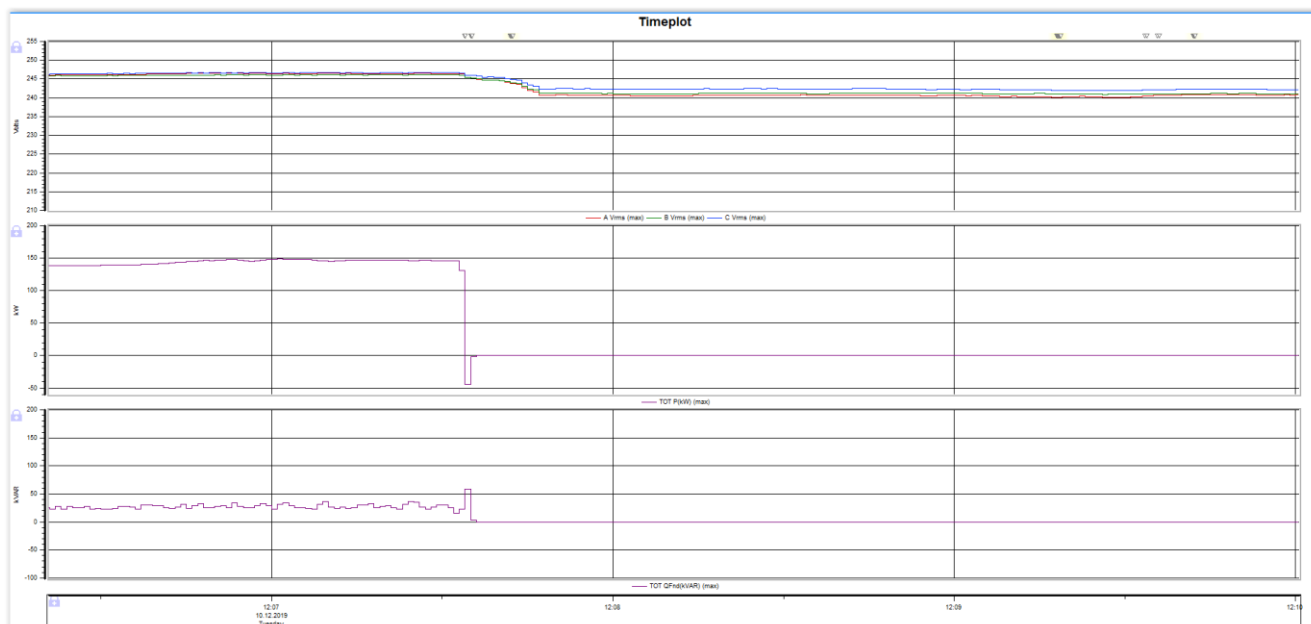
Napomena: Snimanje u vrši sekundnom (s) području.

### Provjera je izvršena uspješno:

- U 12:07 sati elektrana predaje u mrežu snagu cca 800 kW.
- U 12:07:32 sati operateri na elektrani isključuju napajanje vlastite potrošnje isključenjem rastavne sklopke –Q11 za pojedini generator.
- Unutar 12 sekundi isključena je elektrana (proizvodnja za sve generatore) s mreže.
- Isključenjem rastavne sklopke –Q11 za vlastitu potrošnju pojedinog generatora, preko SCADA sustava javlja se greška napajanja i dolazi automatski do isključenja generatorskih prekidača i sklopnika za sinkronizaciju, [3].



**Slika 6.18.** Grafički prikaz zabilježenih vrijednosti napona i snage – mjerenje na OMM u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]



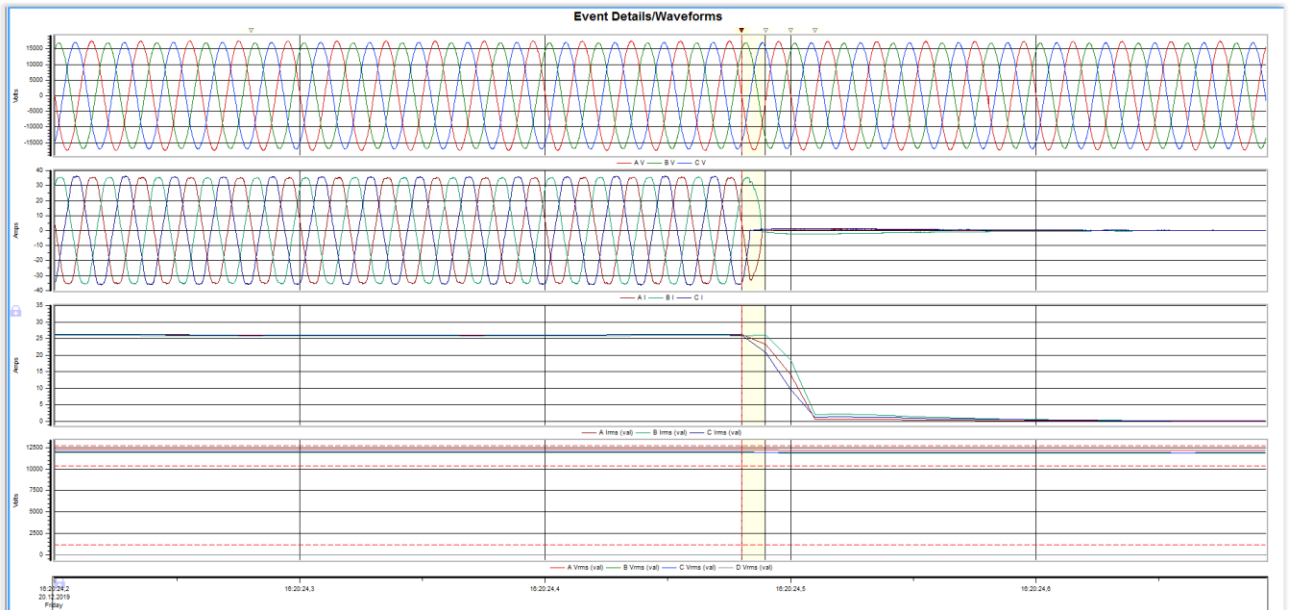
**Slika 6.19.** Grafički prikaz zabilježenih vrijednosti napona i snage – mjerenje na generatoru G1 (tipski generator) [3]

## 6.9. Ispitivanje povratnog djelovanja na mrežu interventnim izlaskom elektrane iz paralelnog pogona s mrežom pri predaji priključne snage

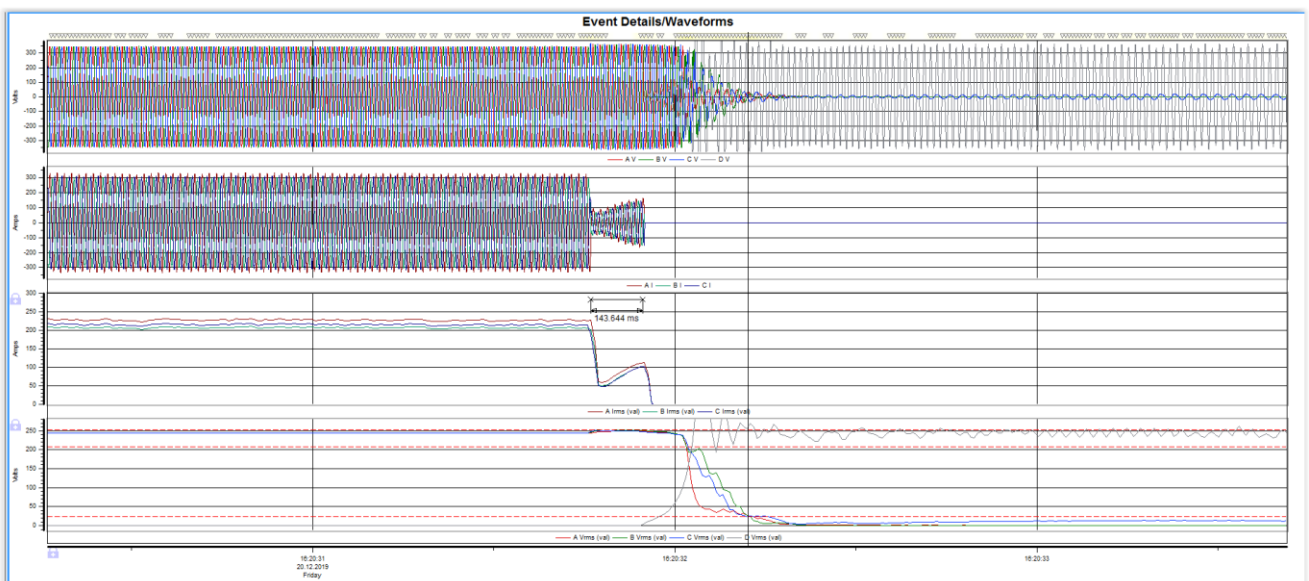
Ispitivanje se provodi u svrhu provjere, demonstracije i verifikacije povratnog djelovanja na mrežu uslijed interventnog isklopa elektrane („gljiva“) po nalogu operatera pri predaji priključne snage elektrane (udarno rasterećenje) te se provjerava osmotrivost elektrane u DC Elektre Slavonski Brod i prate se tokovi radne i jalove snage.

### Procedura provođenja ispitivanja je sljedeća:

1. Svi generatori svi generatori su sinkronizirani na mrežu.
2. Izvršava se interventni isklon elektrane „gljiva“ (udarno tipkalo) po nalogu operatera elektrane pri predaji cca 100% priključne snage te se očekuje isključenje čitave elektrane s mreže trenutnim isklapanjem prekidača –Q u TP +J2.
3. Provjeravaju se mjerne veličine (napon, struja, radna i jalova snaga) i detektira se njihova promjena u vremenu na SCADA sustavima elektrane, u RSTS 10(20)/0,4 kV Bioenergetika i DC Elektre Slavonski Brod, na Dranetz Power Visa uređajima.
4. Konstatira se koja je zaštita djelovala i u kojem vremenu.
5. Prilaže se snimak prijelazne pojave s naznačenim vremenom u milisekundnom (ms) području.



**Slika 6.20.** Grafički prikaz zabilježenih iznosa napona, struje i isključenja elektrane s mreže u „ms“ području na OMM u RSTS 10(20)/0,4 kV Bioenergetika [3]



**Slika 6.21.** Grafički prikaz zabilježenih iznosa napona, struje i djelovanja zaštite od otočnog pogona u „ms“ području - mjerenje na generatoru G1 (tipski generator) [3]

**Provjera je izvršena uspješno:**

- Naponi na OMM su unutar propisanih granica.
- Ispitivanje je izvršeno dok elektrana predaje snagu u mrežu cca 930 kW.
- U 16:20:24 sati izvršen je interventni isklop („gljiva“) isključenjem prekidača –Q u TP +J2 i došlo je do trenutnog isključenja elektrane s mreže.
- Na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona  $d\varphi$  preko woodward releja kojim se isključuje NN glavni prekidač, te zaštita  $d\varphi$  i  $df/dt$  preko releja na generatorskim jedinicama koji djeluju na isključenje sklopnika za sinkronizaciju, i isključeni su generatori u cca 150 ms, [3].

## 7. KVALITETA NAPONA

Prema [6]: „Norma EN 50160 definira i opisuje bitne značajke razdjelnog napona na mjestu predaje potrošaču u javnim niskonaponskim i srednjenaponskim mrežama pri normalnim pogonskim uvjetima.

Svrha norme EN 50160 je utvrditi i opisati obilježja razdjelnog napona glede:

- frekvencije,
- veličine,
- oblika krivulje,
- simetrije triju napona faznih vodiča.“

Pri mjerenju kvalitete električne energije analiziraju se sljedeći parametri napona:

1. naponski propadi i prekidi
2. prijelazni prenaponi
3. tranzijentni prenaponi
4. kolebanja napona
5. naponska nesimetrija
6. valovitost
7. harmonici i međuharmonici
8. prisutnost signalnih napona
9. promjene osnovne frekvencije mreže
10. prisutnost istosmjernog napona u izmjeničnom naponu [6]

**Tablica 7.1.** Propisane granične vrijednosti parametara napona prema normi EN 50160 [6]

Parametri	Vrijeme usrednjavanja	Granične vrijednosti tijekom 95% tjedna (160 sati)	Granične vrijednosti tijekom cijelog tjedna (168 sati)
Kolebanje napona	10 min	$\pm 10\% U_n$ za 95% tjedna	$+10\%/-15\% U_n$ za 5% tjedna
Treperenje (fliker)	$P_{st}=10$ min $P_{lt}=120$ min	$P_{lt}<1$	
THD	10 min	$<8\% U_n$	
Harmonici	10 min	Prema tablici	
Frekvencija	10 s	$\pm 1\%$ za 99,5% vremena	$+4\%/-6\%$ za 100% vremena
Signalni napon	3 s	$<5\% U_n$	
Asimetričnost	10 min	$<2\% U_n$	
Prekidi	10 ms	Opisno objašnjeno (10-50 godišnje)	
Naponski propadi	10 ms	Opisno objašnjeno (do 100 tjedno)	

## 7.1. Mjerenje kvalitete električne energije

Nakon provjere svih preduvjeta za provedbu operativnog plana i programa, te nakon provedbe svih funkcionalnih ispitivanja elektrane dolazi se do završnog ispitivanja, mjerenja kvalitete električne energije na niskonaponskim sabirnicama u susretnom postrojenju RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika. Mjerenja kvalitete električne energije provodi se uređajem Dranetz PowerVisa u dva sedmodnevna ciklusa. Prvi ciklus mjerenja odnosi se na mjerenja prije priključenja elektrane na mrežu, a drugi ciklus se izvodi kada je elektrana već puštena u pogon. Nakon toga se analizira utjecaj elektrane na mrežu, odnosno provjerava se utječe li elektrana nepovoljno na opskrbni napon u tim granicama da on ne zadovoljava normu EN 50160.

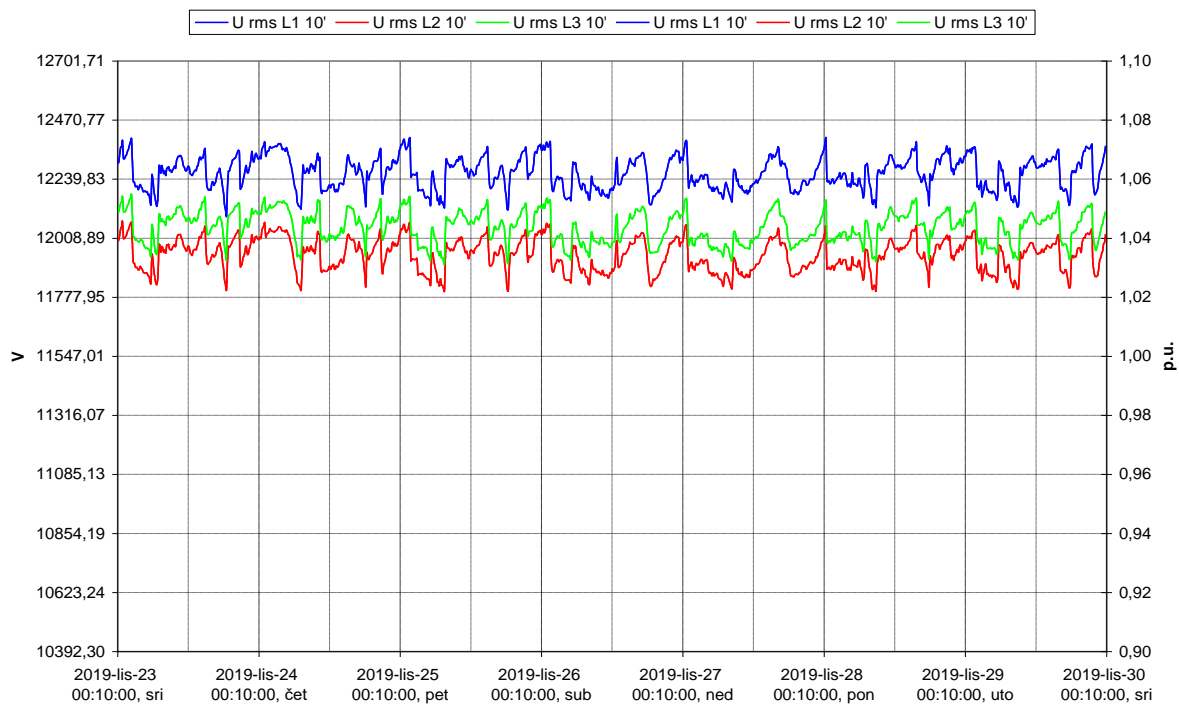
Mjerenja kvalitete napona su obavljena na 20 kV sabirnicama u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika u razdoblju 23.10.2019. 00:10 h – 30.10.2019. 00:10 h kada je elektrana bila izvan pogona i u razdoblju 13.12.2019. 15:50 h – 20.12.2019. 15:50 h kada je elektrana bila u pogonu. Mjerenja opterećenja (vrijednosti struja, radne, jalove i prividne snage te faktora snage) su obavljena u RSTS 20/0,4 kV Bioenergetika na 20 kV sabirnicama na odvodu za elektranu na obračunskom mjernom mjestu u razdoblju kada je elektrana bila u pogonu. Mjerenja parametara kvalitete električne

energije su analizirana u skladu s normom HRN EN 50160:2012. Izmjerene, kao i granične vrijednosti prema normi parametara napona prikazane su u tablici, [7].

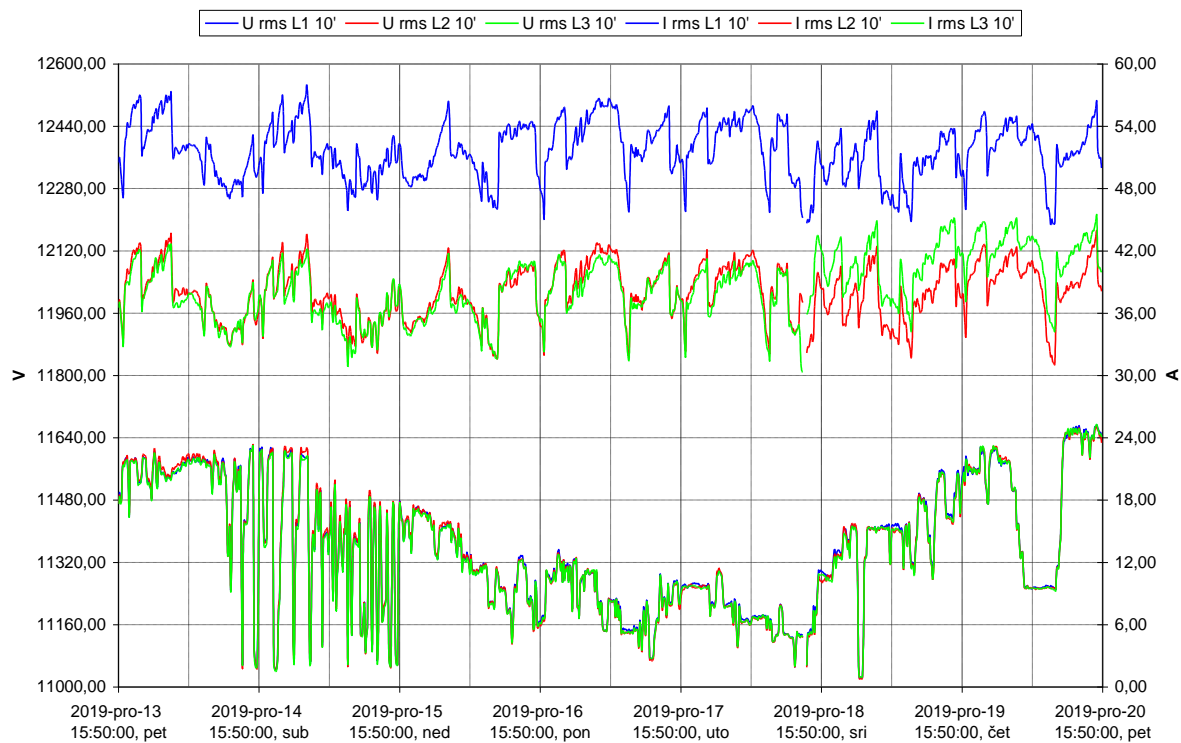
**Tablica 7.2.** Prikaz rezultata mjerenja parametara kvalitete električne energije [7]

PARAMETAR KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE	Postotak vremena promatranja	GRANIČNA VRIJEDNOST PREMA HRN EN 50160:2012	IZMJERENA VRIJEDNOST (ELEKTRANA VAN POGONA)			IZMJERENA VRIJEDNOST (ELEKTRANA U POGONU)		
			L1	L2	L3	L1	L2	L3
Frekvencija napona (Hz)	99,5 %	49,50 – 50,50	49,96 - 50,04			49,96 - 50,04		
	100%	47,00 – 52,00	49,95 - 50,05			49,94 - 50,08		
Vrijednost napona (p.u. $U_n$ )	99%	0,90 – 1,10	1,05	1,02	1,03	1,06	1,03	1,03
			-	-	-	-	-	-
	100%	0,85 – 1,15	1,07	1,04	1,05	1,08	1,05	1,05
			1,05	1,02	1,03	1,06	1,02	1,02
			-	-	-	-	-	-
			1,07	1,05	1,05	1,09	1,05	1,06
Dugotrajna jakost flikera $P_{It}$	95%	$\leq 1$	0,32	0,32	0,34	0,44	0,42	0,45
Nesimetričnost napona (%)	95%	$< 2,0\%$ ; <i>Iznimno</i> $< 3,0\%$	0,64			0,61		
THD $U_{10}$ (%)	95%	$< 8,0\%$	1,52	1,27	1,43	1,35	1,13	1,29
$U_{h2}$ (% $U_1$ )	95%	$< 2,0\%$	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
$U_{h3}$ (% $U_1$ )	95%	$< 5,0\%$	0,43	0,24	0,38	0,35	0,17	0,26
$U_{h4}$ (% $U_1$ )	95%	$< 1,0\%$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
$U_{h5}$ (% $U_1$ )	95%	$< 6,0\%$	0,74	0,51	0,53	0,64	0,46	0,52
$U_{h6}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,13	0,10	0,10	0,08	0,07	0,07
$U_{h7}$ (% $U_1$ )	95%	$< 5,0\%$	1,25	1,15	1,19	1,09	1,03	1,10
$U_{h8}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
$U_{h9}$ (% $U_1$ )	95%	$< 1,5\%$	0,16	0,12	0,11	0,15	0,10	0,10
$U_{h10}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
$U_{h11}$ (% $U_1$ )	95%	$< 3,5\%$	0,31	0,32	0,29	0,29	0,28	0,28
$U_{h12}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
$U_{h13}$ (% $U_1$ )	95%	$< 3,0\%$	0,26	0,21	0,27	0,27	0,29	0,35
$U_{h14}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$U_{h15}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,10	0,07	0,05	0,08	0,05	0,05
$U_{h16}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
$U_{h17}$ (% $U_1$ )	95%	$< 2,0\%$	0,13	0,07	0,07	0,11	0,07	0,07
$U_{h18}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01
$U_{h19}$ (% $U_1$ )	95%	$< 1,5\%$	0,11	0,07	0,07	0,09	0,06	0,05
$U_{h20}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
$U_{h21}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,07	0,05	0,04	0,06	0,04	0,03
$U_{h22}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$U_{h23}$ (% $U_1$ )	95%	$< 1,5\%$	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$U_{h24}$ (% $U_1$ )	95%	$< 0,5\%$	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
$U_{h25}$ (% $U_1$ )	95%	$< 1,5\%$	0,04	0,04	0,03	0,07	0,06	0,05

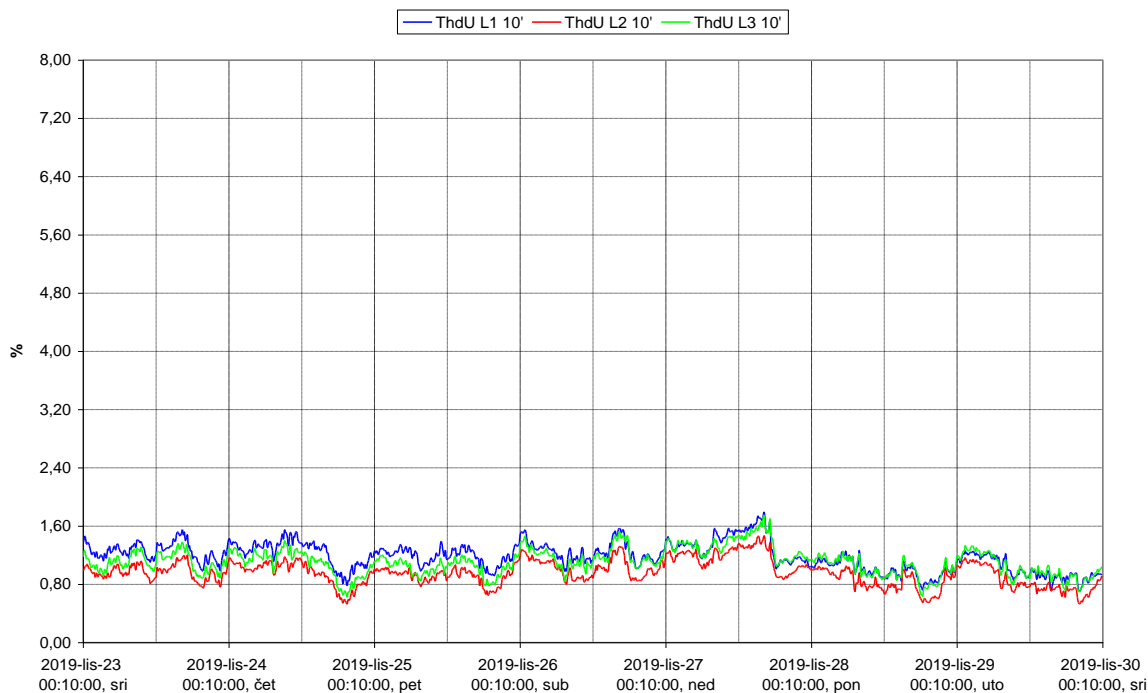




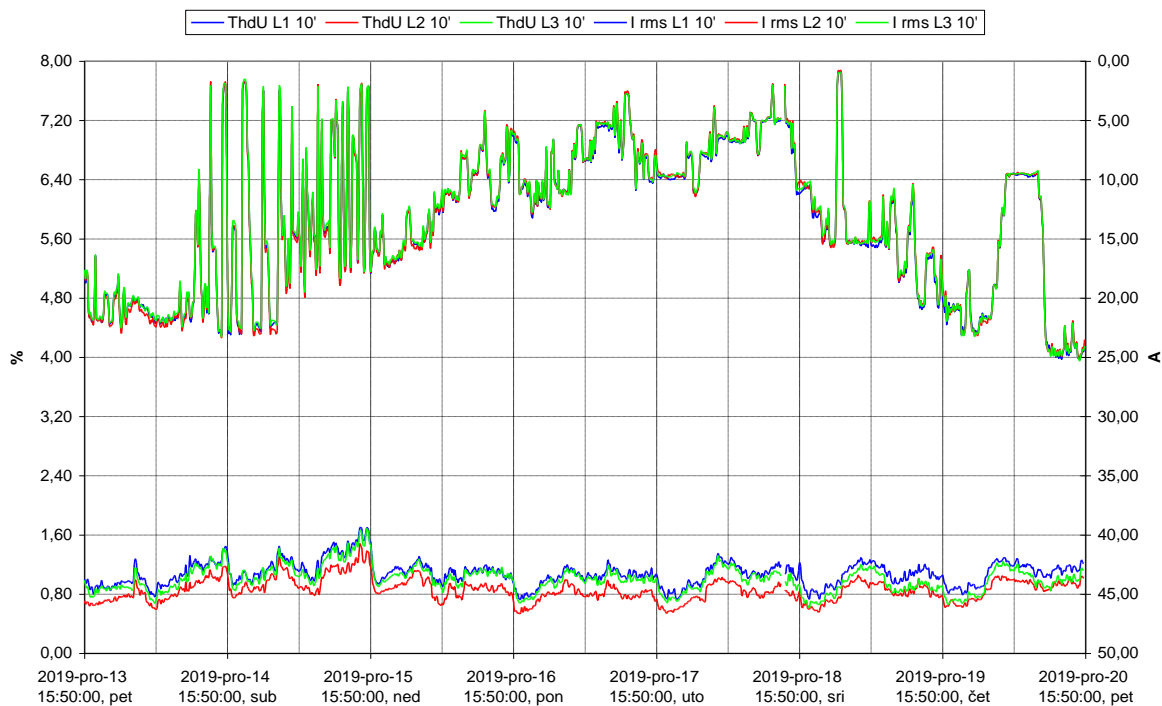
**Slika 7.1.** Efektivne vrijednosti faznih napona u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana van pogona) [7]



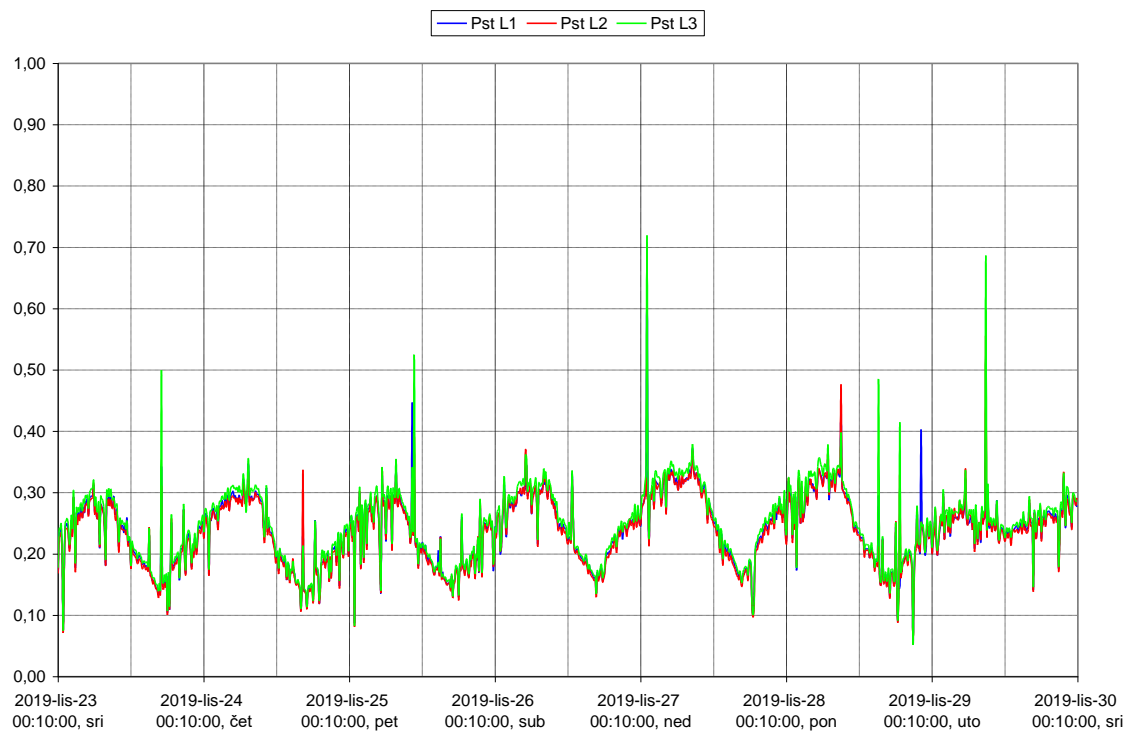
**Slika 7.2.** Efektivne vrijednosti napona i struja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]



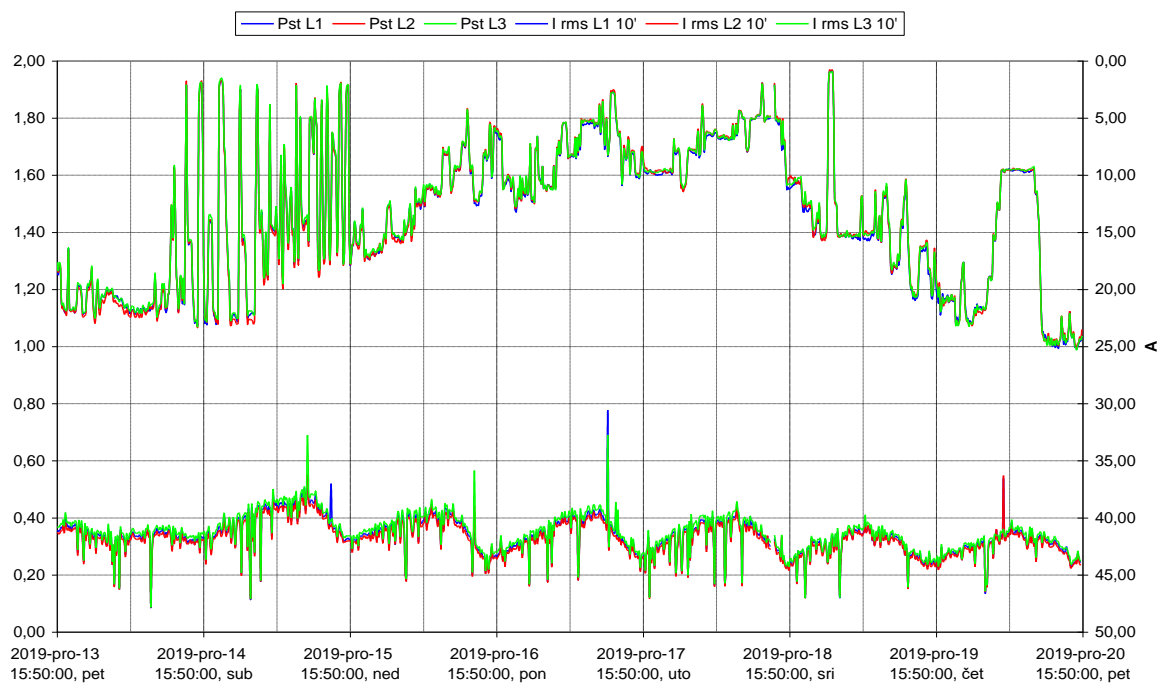
**Slika 7.3.** Faktor ukupnog harmoničkog izobličenja napona u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana van pogona) [7]



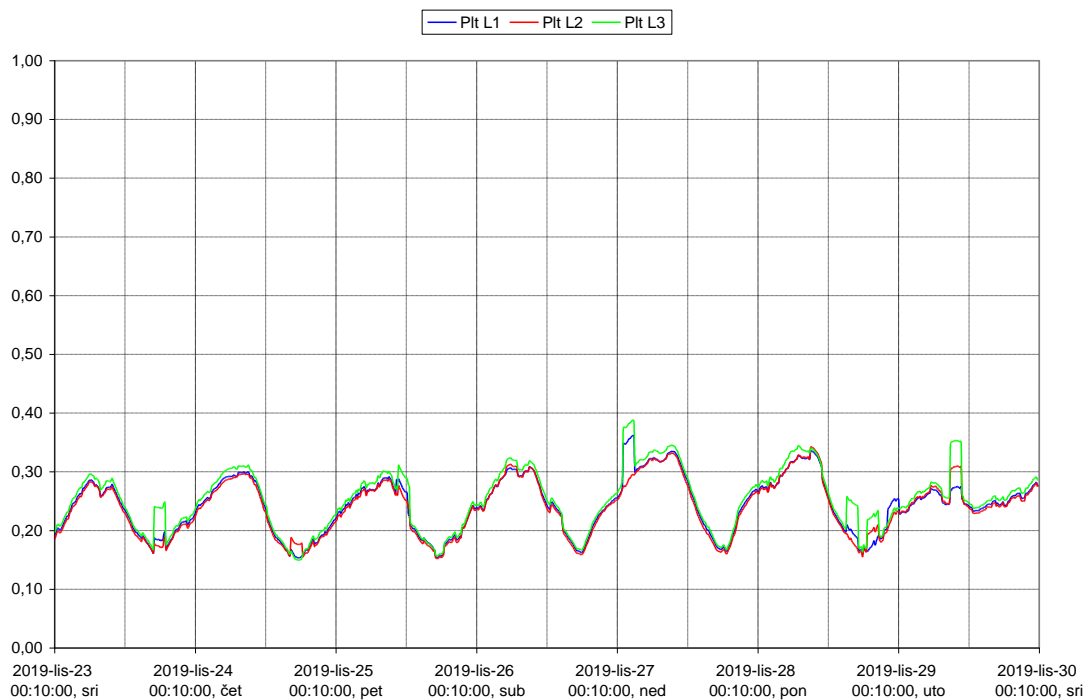
**Slika 7.4.** Faktor ukupnog harmoničkog izobličenja napona i vrijednosti struja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]



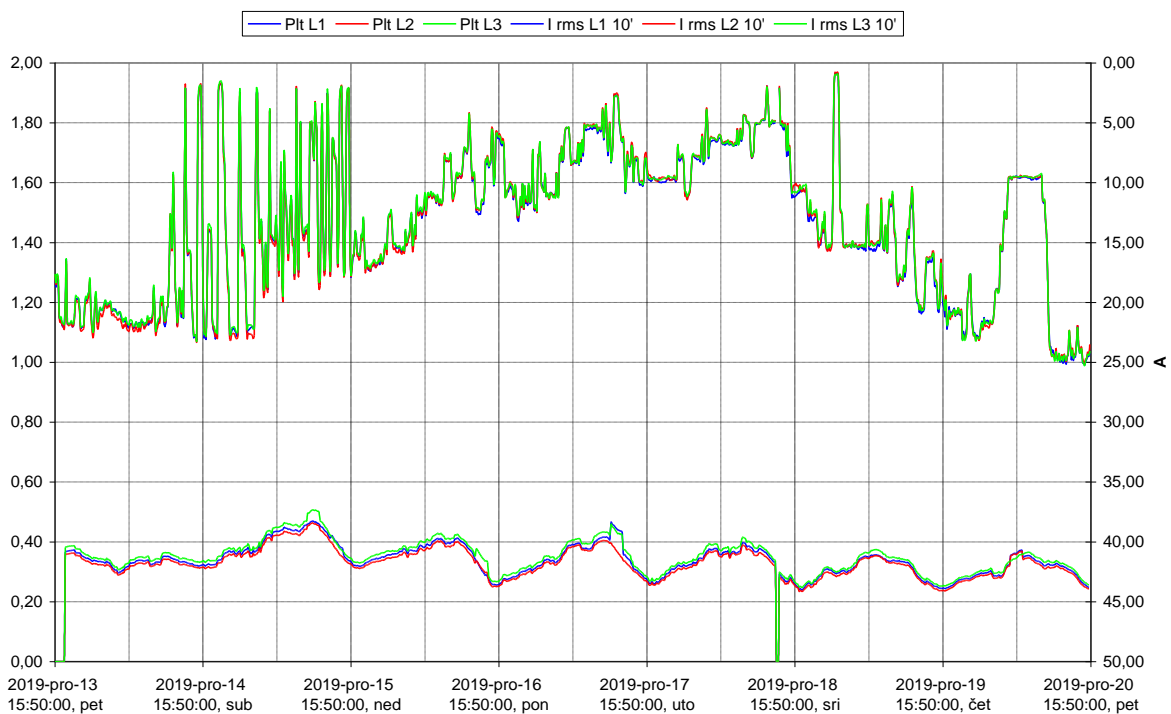
**Slika 7.5.** *Kratkotrajna jakost treperenja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana van pogona) [7]*



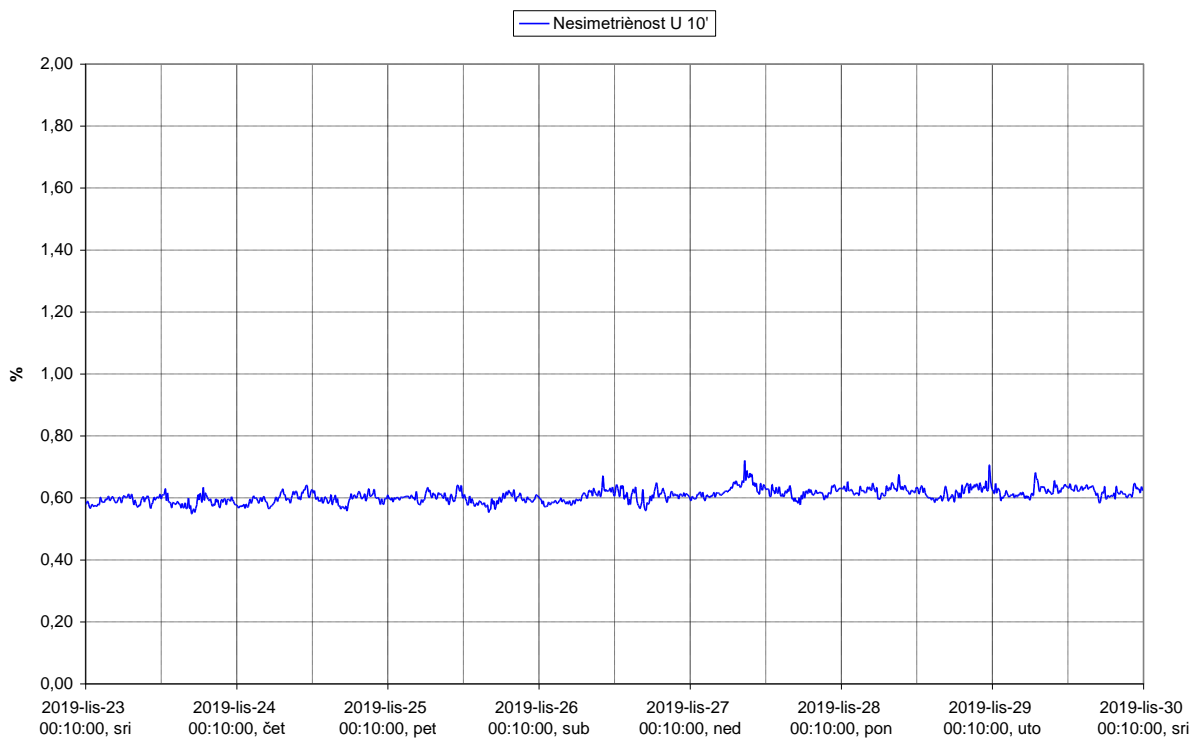
**Slika 7.6.** *Kratkotrajna jakost treperenja i vrijednosti struja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]*



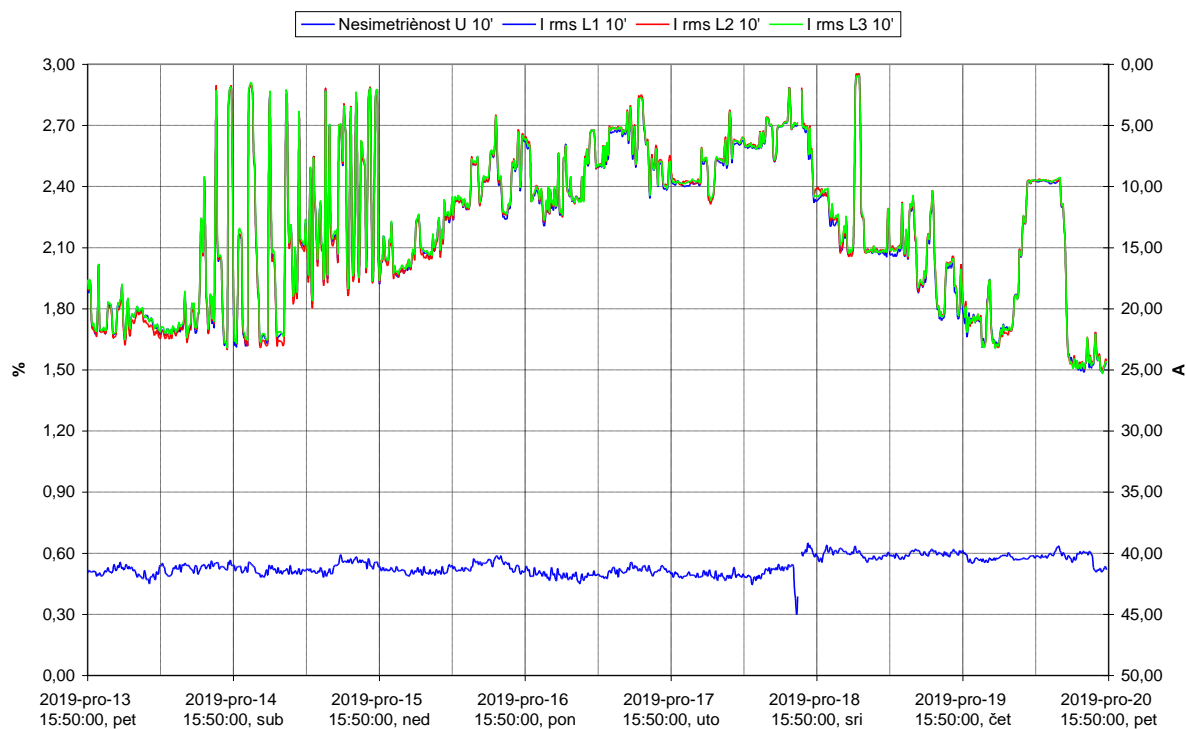
**Slika 7.7.** Dugotrajna jakost treperenja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana van pogona) [7]



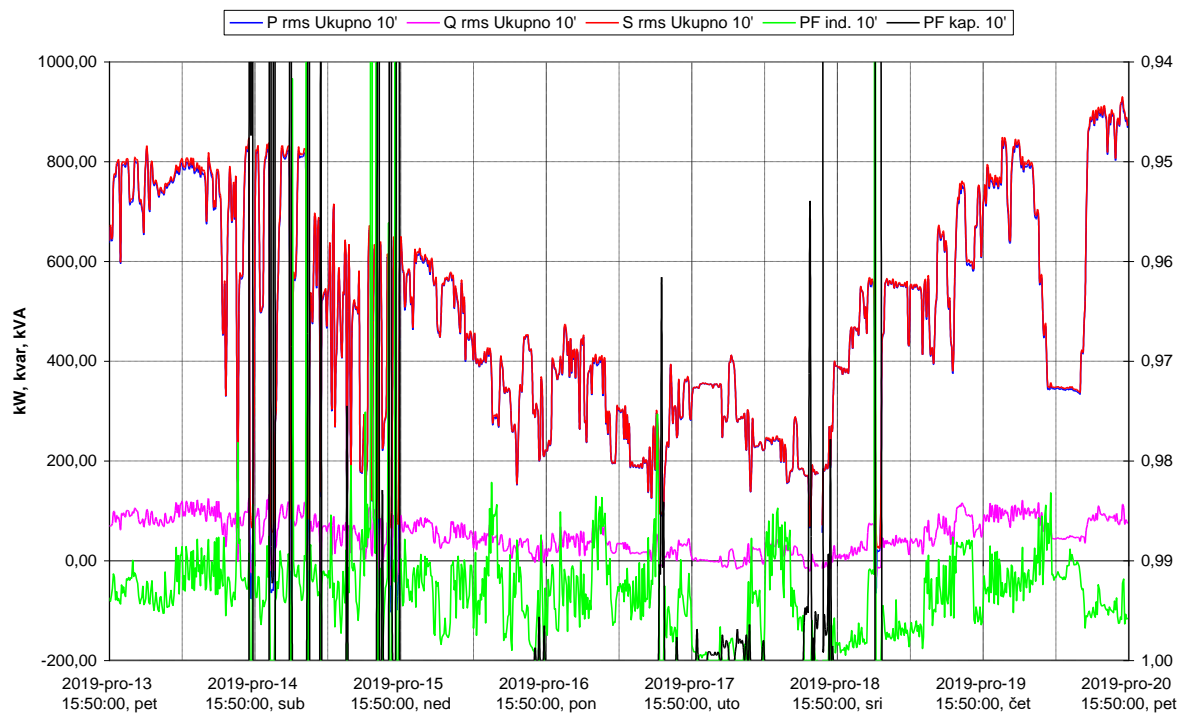
**Slika 7.8.** Dugotrajna jakost treperenja i vrijednosti struja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]



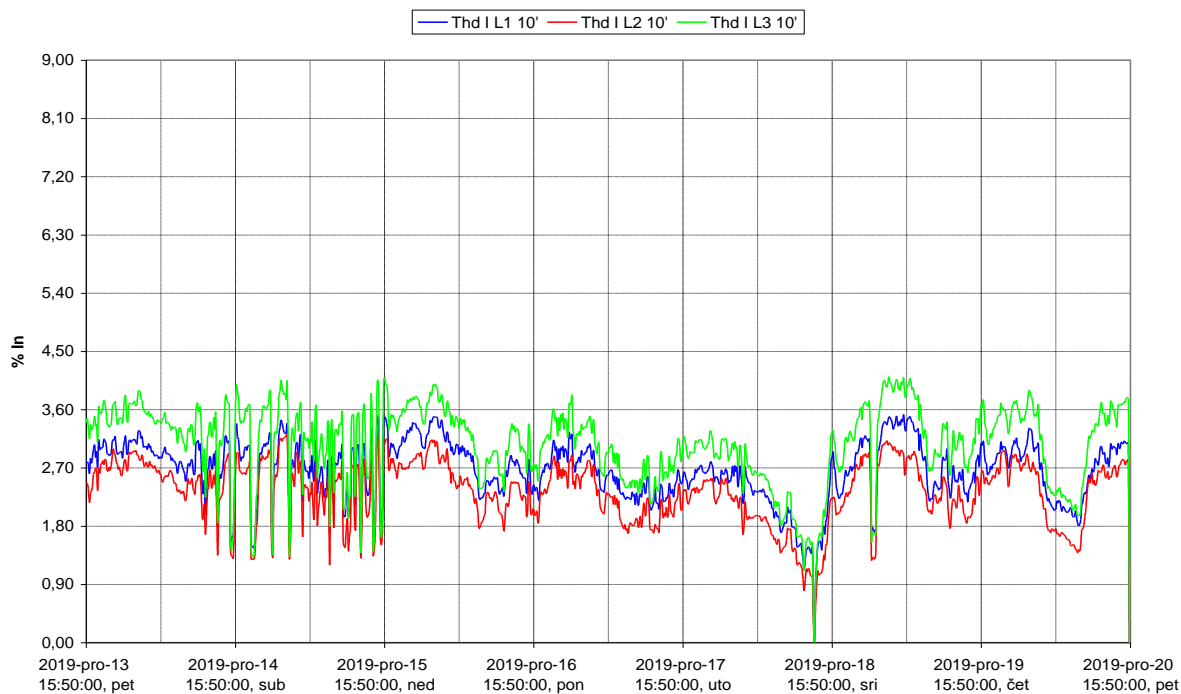
**Slika 7.9.** Nesimetričnost napona u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana van pogona) [7]



**Slika 7.10.** Nesimetričnost napona i vrijednosti struja u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]



**Slika 7.11.** Ukupna radna, jalova i prividna snaga te faktor snage u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]



**Slika 7.12.** Ukupno harmoničko izobličenje struje u RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“ (elektrana u pogonu) [7]

Prema zahtjevima koji su predstavljeni u Mrežnim pravilima EES-a dana je tablica (Tablica 7.2.) s parametrima kvalitete električne energije u kojoj se nalaze najveće vrijednosti izmjerene u jednoj od tri faze i to za period kada elektrana nije bila u pogonu (23.10.2019. 00:10 h – 30.10.2019. 00:10 h) i za period kada je elektrana bila u pogonu (13.12.2019. 15:50 h – 20.12.2019. 15:50 h), te ocjena utjecaja ispitivane elektrane na mrežu.

**Tablica 7.2.** Ocjena kvalitete električne energije na sučelju elektrane s mrežom prema parametrima kvalitete električne energije [7]

Parametri kvalitete električne energije	Zahtjevi prema Mrežnim pravilima	Elektrana van pogona Izmjerene vrijednosti	Elektrana u pogonu Izmjerene vrijednosti	Ocjena utjecaja elektrane na mrežu
Frekvencija	49,95 – 50,05 Hz, u 100% vremena	49,95 - 50,05	49,94 - 50,08*	ZADOVOLJAVA *
Promjene napona	0,90 $U_n$ – 1,10 $U_n$ u 95% vremena	1,03 - 1,07	1,03 - 1,08	ZADOVOLJAVA
	0,85 $U_n$ – 1,10 $U_n$ u 100% vremena	1,02 - 1,07	1,02 - 1,09	
Faktor kratkotrajnog flikera	Doprinos < 0,7 u 100% vremena	0,72	0,78	ZADOVOLJAVA
Faktor dugotrajnog flikera	Doprinos < 0,5 u 100% vremena	0,39	0,51	ZADOVOLJAVA
Nesimetričnost napona	Doprinos < 1,3% $U_n$ u 95% vremena	0,64	0,61	ZADOVOLJAVA
Faktor ukupnog harmonijskog izobličenja napona	Doprinos < 2,5% u 95% vremena	1,52 %	1,35 %	ZADOVOLJAVA
Faktor snage	0,85 – 1,00 induktivno	-	$\cos \varphi \approx 0,99$	ZADOVOLJAVA

Napomena: \*Pogon elektrane nema utjecaja na vrijednost frekvencije.

Iz Tablica 7.1. i 7.2., kao i iz slika 7.1.–7.12. je vidljivo da se sve vrijednosti izmjerenih parametara kvalitete električne energije nalaze unutar granica danih normom HRN EN 50160:2012. Ukupno harmoničko izobličenje napona, viši harmonici napona te nesimetričnost napona nisu povišeni u periodu kada je elektrana bila u pogonu u odnosu na period kada je ona bila izvan pogona te se iz navedenog može zaključiti:

**Provjera je izvršena uspješno -> elektrana na drvnu biomasu „Bioenergetika“ odobrene priključne snage 1000 kW u smjeru proizvodnje električne energije zadovoljava uvjete ograničenoga povratnog djelovanja na mrežu, navedene Mrežnim pravilima EES-a.**

## 8. ZAKLJUČAK

Distribuirani izvori, među kojima i elektrane na biomasu, priključuju se u paralelni pogon s distribucijskom mrežom u skladu s dokumentom pod nazivom Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (NN85/2015) i tehničkim uvjetima za priključenje elektrane na elektroenergetski sustav HEP-a, te se prije samog puštanja elektrane u pogon provode stroga ispitivanja za ispunjavanje tih uvjeta.

Cilj ovog diplomskog rada bio je opisati postupak ispitivanja, podešenje relejne zaštite u rasklopištu koje je razgraničenje elektrane na biomasu „Bioenergetika“ nazivne snage 1000 kW i distribucijske mreže te ispitivanje osnovnih uvjeta za paralelni pogon elektrane na biomasu s distribucijskom mrežom. Nakon ispunjenja svih uvjeta za paralelni pogon izvršena su funkcionalna ispitivanja elektrane te završno ispitivanje, mjerenje kvalitete električne energije na niskonaponskim sabirnicama u postrojenju RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“.

U pokusnom radu elektrane provode se ispitivanja prema Planu i programu ispitivanja (PPI) u pokusnom radu elektrane u dva dijela. Prvi dio pokusnog rada provodi se zbog puštanja u pogon elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca (na OMM elektrane) i drugi dio pokusnog rada provodi se radi puštanja u trajni paralelni pogon elektrane s mrežom kao proizvođača (oba smjera). Nakon što su uspješno provedena ispitivanja osnovnih uvjeta za paralelni pogon elektrane na biomasu s distribucijskom mrežom prema oba Plana i programa ispitivanja, prelazi se na funkcionalna ispitivanja.

Prilikom provjere zaštite od otočnog rada elektrane nailazi se na prvi problem.

Tijekom prvog testa koji je izvršen dok elektrana predaje snagu od cca 665 kW u mrežu na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona te isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača u cca 355 ms što je prespora reakcija te postoji opasnost od asinkronog uklopa nakon ponovnog uključanja prekidača kod prolaznih kvarova što dovodi do ispada iz sinkronizma okretnog polja generatora s nadležnom mrežom.

Nakon prvog testa izvršeno je preparametriranje (zatezanje) zaštite od otočnog pogona na elektrani te je izvršen novi, drugi test. Izvršeno je ispitivanje dok elektrana predaje snagu od cca 700 kW u mrežu te je na elektrani djelovala zaštita od otočnog pogona i isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača u cca 537 ms što predstavlja još sporiju reakciju nego u prvom testu.

Nakon drugog testa izvršeno je dodatno preparametriranje (zatezanje) zaštite od otočnog pogona na elektrani te je izvršen treći test. Izvršeno je ispitivanje dok elektrana predaje snagu od cca 685 kW u mrežu.



Na elektrani je djelovala zaštita od otočnog pogona i isključila elektranu s mreže isključenjem NN glavnog prekidača u cca 153 ms što predstavlja zadovoljavajući rezultat.

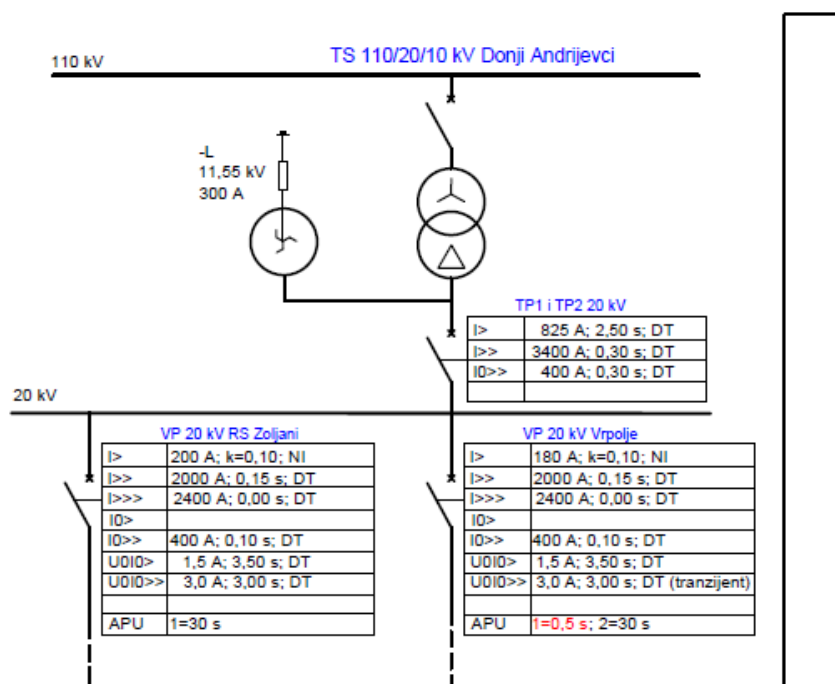
Na temelju trećeg, uspješnog testa i na prijedlog voditelja ispitivanja i izrađivača EPZ-a, vrijeme beznaponske pauze za brzi APU je u mreži preparametriran sa 0,4 s na 0,5 s.

Za svako dodatno zatezanje implementirane zaštite od otočnog pogona na elektrani, elektrana ne bi mogla imati stabilan rad zbog preosjetljivosti zaštite, odnosno imali bi proradu zaštite i prilikom pokušaja sinkronizacije pa dodatna zatezanja nisu moguća.

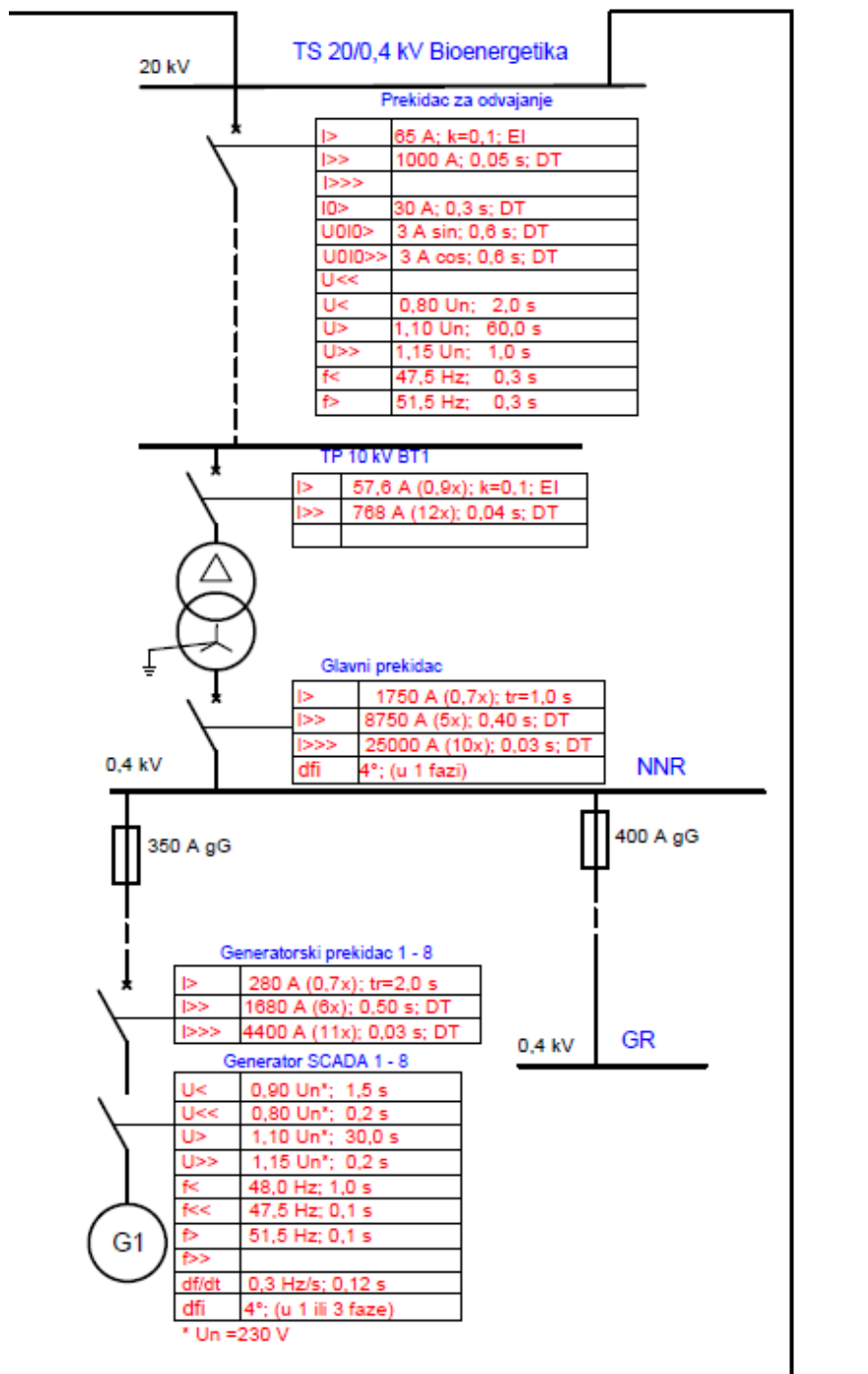
Sva ostala funkcionalna ispitivanja provedena su uspješno i bez ikakvih potrebnih korekcija.

Nakon provjere svih preduvjeta za provedbu operativnog plana i programa, te nakon provedbe svih funkcionalnih ispitivanja elektrane dolazi se do završnog ispitivanja, mjerenja kvalitete električne energije na niskonaponskim sabirnicama u susretnom postrojenju RSTS 20/0,4 kV „Bioenergetika“. Mjerenja kvalitete električne energije provodi se u dva sedmodnevna ciklusa. Prvi ciklus mjerenja odnosi se na mjerenja prije priključenja elektrane na mrežu, a drugi ciklus se izvodi kada je elektrana već puštena u pogon. Nakon toga se analizira utjecaj elektrane na mrežu, odnosno provjerava se zadovoljavaju li izmjerene vrijednosti normu. I to ispitivanje izvršeno je uspješno te je zaključeno da elektrana zadovoljava uvjete ograničenoga povratnog djelovanja na mrežu.

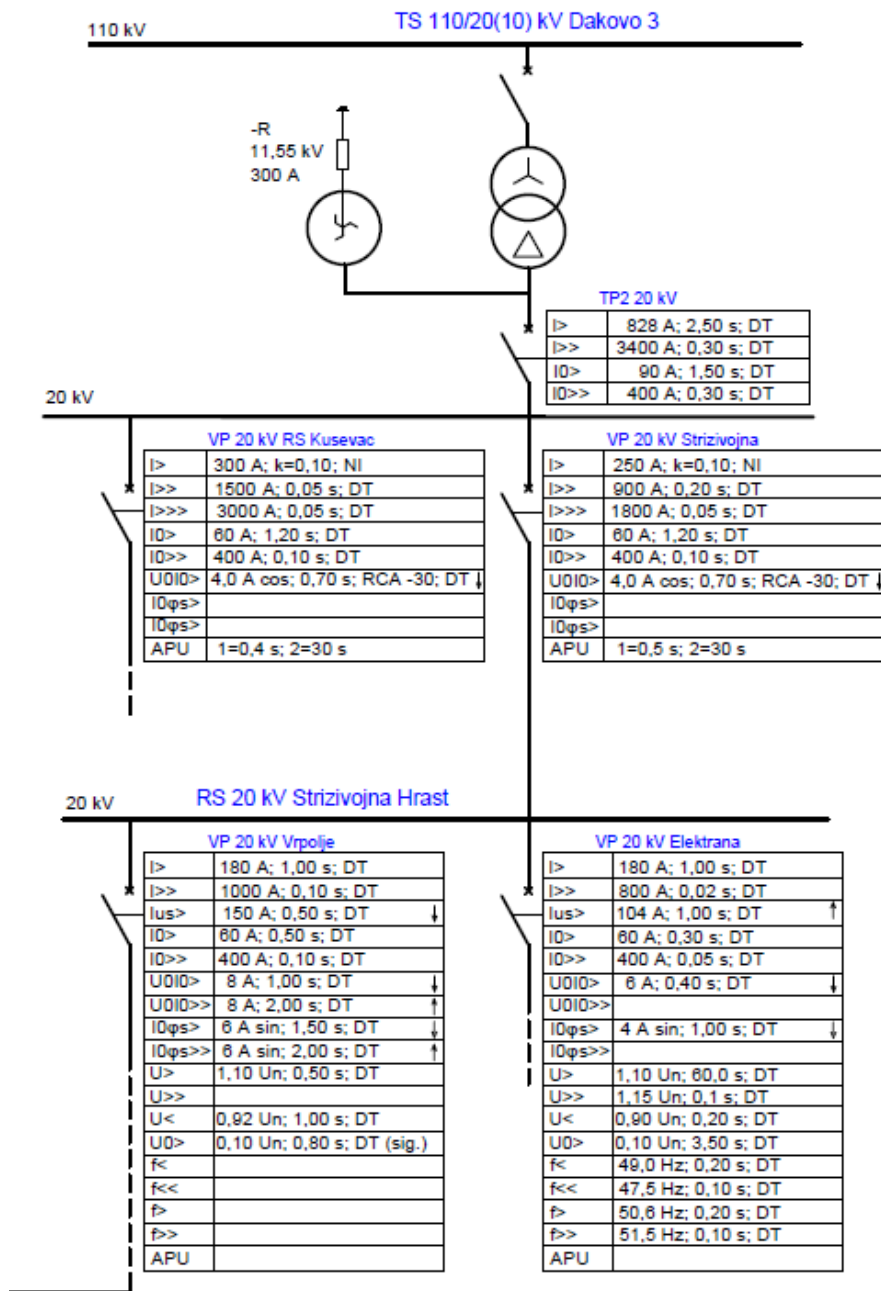
Na slikama 8.1.-8.3. prikazana su konačna podešenja relejne zaštite nakon provedbe svih ispitivanja i korekcija koje su izvršene prilikom ispitivanja.



**Slika 8.1.** Konačna podešenja relejne zaštite u TS 110/20/10 kV Donji Andrijevc [3]



**Slika 8.2.** Konačna podešenja relejne zaštite u TS 20/0,4 kV Bioenergetika [3]



Slika 8.3. Konačna podešenje relejne zaštite u TS 110/20(10) kV Đakovo 3 [3]

Možemo zaključiti da elektrana s gore navedenim podešenjima relejne zaštite zadovoljava sve uvjete i prolazi sva ispitivanja te kao takva može biti puštena u trajni pogon.

## LITERATURA

- [1] HROTE (Hrvatski operator tržišta energije d.o.o.), Godišnji izvještaj o sustavu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u Republici Hrvatskoj za 2019. godinu, Zagreb, veljača 2020.
- [2] Dražen Arnaut, Plan i program ispitivanja primjerenog paralelnog pogona elektrane na drvenu biomasu „Bioenergetika (1000 kW)“ s mrežom u pokusnom radu, Izvješće za I. dio ispitivanja: Ispitivanje paralelnog pogona elektrane s mrežom isključivo u statusu kupca, Zagreb, prosinac 2019.
- [3] Dražen Arnaut, Plan i program ispitivanja primjerenog paralelnog pogona elektrane na drvenu biomasu „Bioenergetika (1000 kW)“ s mrežom u pokusnom radu, Izvješće za II. dio ispitivanja: Ispitivanje paralelnog pogona elektrane s mrežom u statusu kupca i proizvođača, Zagreb, prosinac 2019.
- [4] Robert Kosor, Zaštita u elektroenergetskom sustavu, Sveučilište u Splitu
- [5] Končar – Elektronika i informatika d.d., KONPRO numerički releji zaštite – Tehnički opis, Zagreb
- [6] Željko Novinc, Kakvoća električne energije, Zagreb, rujan 2006.
- [7] Dražen Arnaut, Izvještaj o provedenom ispitivanju mjerenja kvalitete električne energije, Zagreb, prosinac 2019.

## SAŽETAK

Cilj ovog diplomskog rada bio je prikazati plan i program puštanja u pogon elektrane na biomasu nazivne snage 1000 kW. Za početak prikazani su tehnički podaci o postrojenju i SN mreži te je predstavljen postupak ispitivanja i definirana su podešenja relejne zaštite u rasklopištu. Nakon toga provjeravaju se preduvjeti za provedbu operativnog plana i programa te se dolazi do najvažnijeg dijela, funkcionalnih ispitivanja elektrane. Tijekom ispitivanja izvršena je jedna značajna korekcija, vrijeme beznaponske pauze za brzi APU je u mreži promijenjeno sa 0,4 s na 0,5 s. Završni dio diplomskog rada odnosi se na mjerenje kvalitete električne energije i analiziranje utjecaja elektrane na samu mrežu gdje je ustanovljeno da su sve izmjerene vrijednosti parametara kvalitete električne energije unutar dozvoljenih granica. U zaključku je dan pregled konačnih podešenja relejna zaštite i ustanovljeno je da su sva ispitivanja uspješno provedena i da elektrana može biti puštena u pogon.

**Ključne riječi:** elektrana na biomasu, relejna zaštita, funkcionalna ispitivanja, kvaliteta električne energije

## ABSTRACT

The aim of this thesis was to present the plan and program for the commissioning of a biomass power plant with a nominal power of 1000 kW. To begin with, the technical data on the plant and MV network as well as the test procedure are presented, and the relay protection settings in the switchyard are defined. After that, the preconditions for the implementation of the operational plan and program are checked, and then comes the most important part - the functional tests of the power plant. During the tests, one significant correction was made, the voltage-free pause time for the fast APU in the network was changed from 0.4 s to 0.5 s. The final part of the thesis relates to measuring the quality of electricity and analyzing the impact of the power plant on the network where it was found that all measured values of electricity quality parameters are within acceptable limits. In the conclusion, an overview of the final settings of the relay protection was given and it was established that all tests were successfully performed and that the power plant could be put into operation.

**Keywords:** biomass power plant, relay protection, functional tests, electricity quality

## ŽIVOTOPIS

Marko Terzić je rođen 12.12.1995. u Slavonskom Brodu. Živi u selu Podcrkavlje nedaleko Slavanskog Broda. Školovanje započinje u osnovnoj školi "Osnovna škola Blaž Tadijanović Podvinje". Osnovnu školu završava 2010. godine te nakon toga nastavlja školovanje u srednjoj školi. Pohađao je srednju školu "Gimnazija Matija Mesić Slavonski Brod", smjer matematička gimnazija. Srednju školu završava 2014. godine i upisuje se na preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku koji naknadno mijenja ime te se sada zove Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Preddiplomski studij, smjer elektroenergetika završava 2018. godine. Nakon završenog preddiplomskog studija upisuje diplomski studij, smjer Industrijska elektroenergetika na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Trenutno završava diplomski studij.

U Osijeku, rujan 2020.

Marko Terzić

Potpis: