

Joško Grašo, dipl.ing.  
HEP ODS d.o.o. Elektra Zagreb  
[josko.graso@hep.hr](mailto:josko.graso@hep.hr)

Matej Cvitanović, dipl.ing.  
HEP ODS d.o.o. Elektra Zagreb  
[matej.cvitanovic@hep.hr](mailto:matej.cvitanovic@hep.hr)

Ante Čović  
HEP ODS d.o.o. Elektra Zagreb  
[ante.covic@hep.hr](mailto:ante.covic@hep.hr)

## UTJECAJ SUNČANE ELEKTRANE „SOLARNI KROV ŠPANSKO-ZAGREB“ NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU

### SAŽETAK

U posljednje vrijeme korištenje obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije poprima sve veću dimenziju. Od obnovljivih izvora energije svakako treba istaknuti energiju sunčeva zračenja koja se koristi u fotonaponskom sustavu. Sunčana elektrana kao energent koristi energiju sunčeva zračenja koju pomoću fotonaponskog sustava pretvara u električnu energiju te ju predaje u distribucijsku mrežu.

Jedna takva sunčana elektrana upotrebom fotonaponskog sustava naziva „SOLARNI KROV ŠPANSKO-ZAGREB“ instalirana je na krovu obiteljske kuće i priključena na distribucijsku niskonaponsku mrežu Elektre Zagreb.

U ovom radu su razmatrani utjecaji sunčane elektrane na distribucijsku niskonaponsku mrežu, te su u tu svrhu osim mjerenja utjecaja na kvalitetu napona, mjerene strujne i naponske vrijednosti. Istovremeno su obavljena mjerenja na priključku sunčane elektrane i u niskonaponskom izvodu na sabirnicama distribucijske transformatorske stanice.

**Ključne riječi:** sunčana elektrana, kvaliteta napona, snaga

## IMPACT OF THE „SOLARNI KROV ŠPANSKO-ZAGREB“ SOLAR ELECTRIC POWER PLANT TO THE POWER DISTRIBUTION NETWORK

### SUMMARY

Lately, the use of renewable energy resources in the production of electrical energy has gained a broader dimension. The solar energy, which has been used in the photovoltaic system, should by all means be mentioned when talking about renewable sources of energy. As an energy-generating product the solar power plant uses the solar energy, turns it into the electric energy and transmits it to the power distribution network.

One of such solar power plants based on the photovoltaic system and called „SOLAR ROOF ŠPANSKO-ZAGREB“ has been installed on the roof of a family house and connected to the power distribution network of the „Elektra Zagreb“ electric company.

This paper considers impacts of the solar power plant on the power distribution network and for that purposes the measurement of impact on the voltage quality has been conducted together with the measurements of electric and voltage values. At the same time the measurements on the solar power plant connection point and in the low-level voltage lead in the busbar of the power distribution transformer have been executed.

**Key words:** solar power plant, voltage quality, power

## 1. UVOD

Razni su razlozi povećanju integracije distribuiranih izvora električne energije u distribucijsku mrežu. Samim time se povećava i korištenje obnovljivih izvora energije. Neki od glavnih razloga su: ograničavanje emisije CO<sub>2</sub> i zaštita okoliša, izbjegavanje dodatne izgradnje mreža i velikih proizvodnih jedinica, diversifikacija izvora električne energije, povećavanje kvalitete električne energije i raspoloživosti distribucijske mreže, poticanje tržišnog natjecanja itd. Hrvatska je, kao i mnoge druge zemlje, potpisnica Kyoto protokola čime se obvezala smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> koji uzrokuje efekt staklenika i dovodi do globalnog zatopljenja [1]. Korištenjem energije sunčeva zračenja, kao jednog od obnovljivih izvora energije, sunčana elektrana „SOLARNI KROV ŠPANSKO-ZAGREB“ pridonosi očuvanju okoliša te je jedna od prvih priključenih distribuiranih izvora u Hrvatskoj. Radom sunčane elektrane smanjuje se proizvodnja električne energije u elektranama na fosilna goriva čime se posredno smanjuje emisija CO<sub>2</sub>. Dakako da se s jednom malom sunčanom elektranom ne može bitno smanjiti negativan utjecaj na okoliš, ali svakako može biti dobar poticaj i primjer za ostale kupce i potencijalne proizvođače.

Postoje i dobri i loši utjecaji distribuiranih izvora na distribucijsku mrežu [2]. Među tehničkim utjecajima treba spomenuti utjecaj na sigurnost napajanja električnom energijom, povećanje struje kratkog spoja, narušavanje osjetljivosti zaštite u elektroenergetskoj mreži, utjecaj na kvalitetu električne energije, raspoloživost distribucijske mreže, te gubitke u mreži. Naravno, svi ti utjecaji ovise o snazi distribuiranog izvora, njegovoj potrošnji na mjestu priključka i osobini pogona, te karakteristikama distribucijske mreže na koju se spaja.

### 1.1. Sunčane elektrane

Sunčane elektrane dijele se ovisno o vrsti tehnologije koju koriste. Dok jedne koriste izravnu pretvorbu sunčeve u električnu energiju preko fotonaponskih sustava, druge pretvaraju sunčevu energiju u toplinsku pa pomoću parne turbine i generatora proizvode električnu energiju.

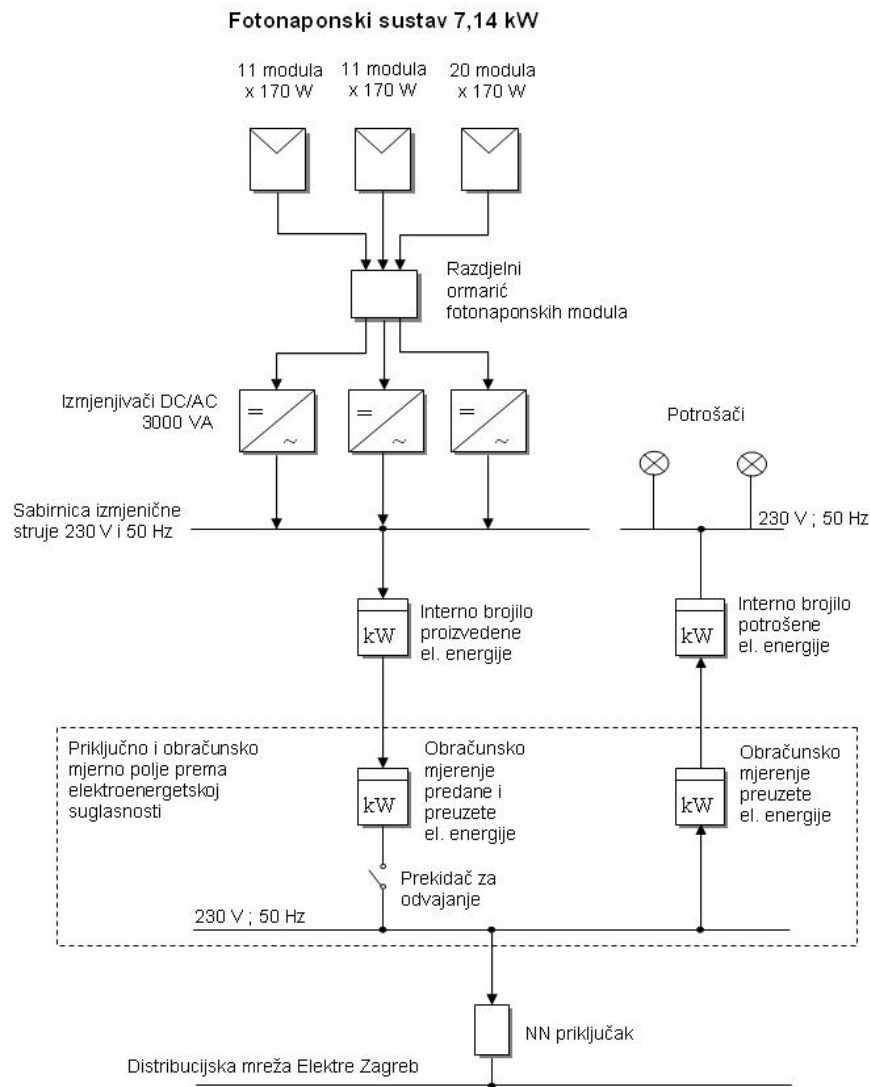
Sunčane elektrane imaju brojne prednosti od kojih su, uz već navedene, i slijedeće: sunčeva energija je besplatna i praktički neiscrpa, tehnologija pretvorbe energije je čista, moguće je napajanje potrošača na mjestima gdje nema izgrađenog elektroenergetskog sustava, karakterizira ju visoka pouzdanost i mali pogonski troškovi itd. Nedostaci sunčane elektrane su ti što proizvodnja ovisi o osunčanosti, potrebne su velike površine, tehnologija pretvorbe sunčeve u električnu energiju je još uvijek skupa, a sve to uz malu efikasnost. Time su ulaganja u solarne elektrane teško isplativa bez nekih dodatnih poticaja.

Fotonaponski sustavi spajaju se preko izmjenjivača na distribucijsku mrežu i sami proizvode istosmjernu struju koju treba naknadno pretvoriti u izmjeničnu struju mrežne frekvencije kako bi napajali trošila ili radili paralelno s elektroenergetskom mrežom. Karakteristična osobina fotonaponskih sustava je ta što imaju iznos početne struje kratkog spoja približan iznosu nazivne struje izmjenjivača, što je dobro u pogledu opasnosti od struje kratkog spoja na mjestu priključka na mrežu. Sunčane elektrane se mogu koristiti u sustavu s akumulacijskim baterijama koje akumuliraju proizvedenu električnu energiju iz fotonaponskih modula ili paralelno s elektroenergetskom mrežom gdje ih mreža „vodi“, odnosno održava frekvenciju i napon, gdje se u slučaju nestanka mrežnog napona prekida se rad izmjenjivača.

### 1.2. Sunčana elektrana „SOLARNI KROV ŠPANSKO-ZAGREB“

Na krovu obiteljske kuće instalirana je sunčana elektrana naziva „SOLARNI KROV ŠPANSKO“. Sastoji se od fotonaponskog sustava koji je preko razdjelnog ormarića spojen s izmjenjivačima. Iz izmjenjivača je preko izmjeničnih sabirnica i prekidača za odvajanje, koji je smješten u priključno-mjernom ormariću, priključena na distribucijsku niskonaponsku mrežu (Slika 1.).

Fotonaponski sustav se sastoji od 42 fotonaponska modula postavljena u tri reda po tri grupe koje su u razdjelnom ormariću fotonaponskog sustava spojene u paralelu. Svaka od grupa čini po jednu fazu. Fotonaponski moduli, svaki nazivne snage 170 W, spojeni su serijski unutar svake grupe. U jednoj fazi priključeno je 20 modula spojenih u seriju dok je u ostale dvije faze priključeno po 11 modula također u seriju. Ukupna snaga fotonaponskog sustava iznosi 7,14 kW. Predviđeno je priključivanje još jednog niza fotonaponskih modula čime bi se povećala nazivna snaga elektrane i izjednačila po fazama.

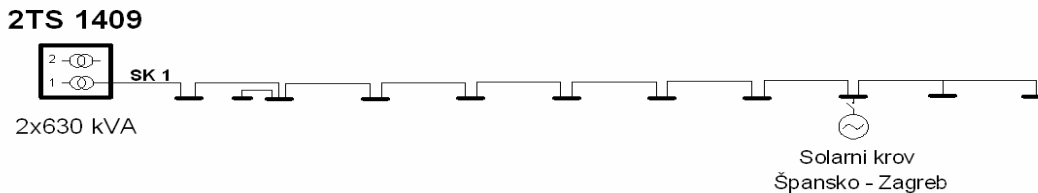


Slika 1. Blok shema sunčane elektrane „Solarni krov Špansko-Zagreb“

Tri sunčana izmjenjivača svaki nazivne snage 3000 VA pretvaraju istosmjernu struju fotonaponskog sustava u izmjeničnu. Na izmjeničnim sabirnicama dobiva se izmjenični napon reguliranog iznosa i frekvencije. U kućnom priklučno-mjernom ormariću uz prekidač za odvajanje nalaze se i obračunsko-mjerni uređaji za mjerenje električne energije. Intervalno dvosmjerno komunikacijsko brojilo električne energije mjeri električnu energiju preuzetu iz mreže koja se troši za vlastitu potrošnju potrebnu tijekom proizvodnje i rad elektrane u stanju mirovanja. Također se preko istog obračunsko-mjernog uređaja mjeri električna energija predana u distribucijsku mrežu. Elektrana je priključena na niskonaponsku mrežu preko trofaznog priključka.

Za rad sunčane elektrane koristi se električna energija iz mreže. Priključena je na niskonaponsku mrežu s kojom radi paralelno. Na strujnom krugu nalazi se zajedno s još deset potrošača, sličnih karakteristika tipa kućanstvo kao i obiteljska kuća na čijem krovu se nalazi (Slika 2.). Niskonaponska mreža na koju je priključena sunčana elektrana napajana je iz izvoda br. 1, transformatora br. 1 distribucijske 10(20)/0,4 kV transformatorske stanice 1TS 1409, instalirane snage 2x630 kVA.

Paralelni pogon sunčane elektrane s distribucijskom mrežom može uzrokovati određene promjene na mjestu priključka s distribucijskom mrežom kao i u samoj mreži. S obzirom na veličinu i jačinu instalirane snage od 7,14 kW ne očekuju se velike promjene u niskonaponskoj mreži, pa tako ni u niskonaponskom izvodu u transformatorskoj stanici.

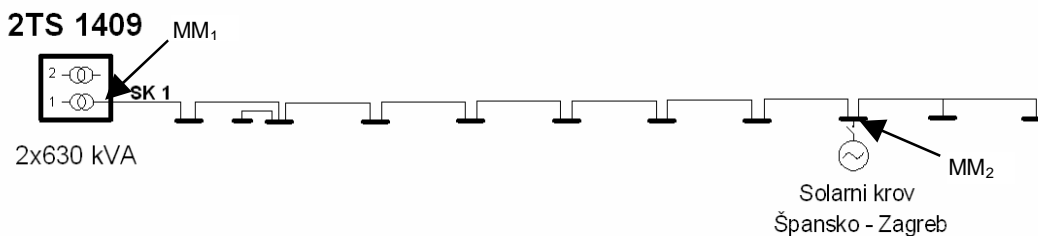


Slika 2. Priključak sunčane elektrane na distribucijsku mrežu

## 2. MJERENJA

### 2.1. Mjesto mjerenja

Sunčana elektrana je na distribucijsku mrežu priključena preko osigurača u priključno-mjernom ormariću. Priključena je trofaznim načinom na strujni krug koji se napaja iz niskonaponskog izvoda u distribucijskoj 10(20)/0,4 kVA transformatorskoj stanici 1TS1409 instalirane snage 2x630 kVA. U priključno-mjernom ormariću obavlja se preuzimanje i predaja električne energije s distribucijskom mrežom. Instrumenti za mjerenje kvalitete električne energije su postavljeni na početku strujnog kruga ( $MM_1$ ) u niskonaponskom izvodu broj 1. transformatora broj 1. u transformatorskoj stanici 1TS1409. Mjerna točka  $MM_1$  predstavlja ukupan konzum strujnog kruga napajan iz izvoda 1. U sunčanoj elektrani mjereni uređaji su postavljeni na sabirnicama izmjenične struje ( $MM_2$ ) iza izmjenjivača sunčane elektrane.



Slika 3. Mjesta mjerenja kvalitete električne energije

Mjerenje kvalitete električne energije obavljeno je prema normi EN 50160, a izvedeno je istovremeno na oba mjerna mjesta. Period mjerenja trajao je deset dan, od čega je za analizu promatrano sedam dana unutar ukupnih deset.

Norma EN 50160 daje kvantitativne odlike kvalitete napona. Svrha joj je opisati i utvrditi obilježja distributivnog napona. Ne opisuju se prosječne vrijednosti promatranih parametara, već se definiraju najveća odstupanja pojedinih parametara, koja se mogu očekivati u distribucijskoj mreži [3].

Kako bi se uočio utjecaj sunčane elektrane na distribucijsku mrežu obavljena su istovremena mjerenja na mjestu proizvodnje  $MM_2$  i u niskonaponskom izvodu transformatora  $MM_1$ .

Obavljena mjerenja kvalitete električne energije obuhvaćaju mjerenje kvalitete napona kao i mjerenje efektivnih vrijednosti struja i snaga.

Za mjerenje kvalitete električne energije u elektrani na sabirnicama izmjenične struje korišten je instrument Topas 1000 tvrtke Lem. U niskonaponskom izvodu transformatorske stanice korišten je instrument novije tehnologije Fluke 1745.

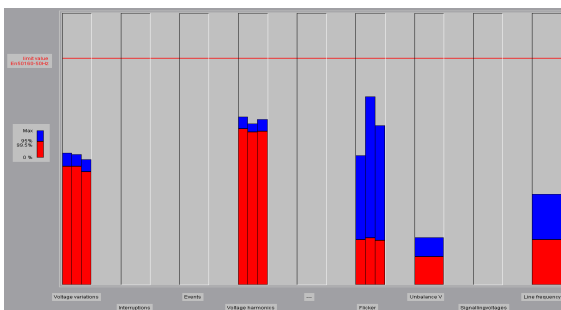
## 3. ANALIZA REZULTATA MJERENJA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Mjerenje kvalitete električne energije obavljeno je s priključenom sunčanom elektranom na distribucijsku mrežu i to krajem mjeseca ožujka u trajanju od deset dana. Za analizu je promatrano sedam dana unutar mjerenih deset. Rezultati mjerenja su radi bolje ilustracije prikazani u grafičkom obliku i na taj način analizirali dobiveni rezultati mjerenja.

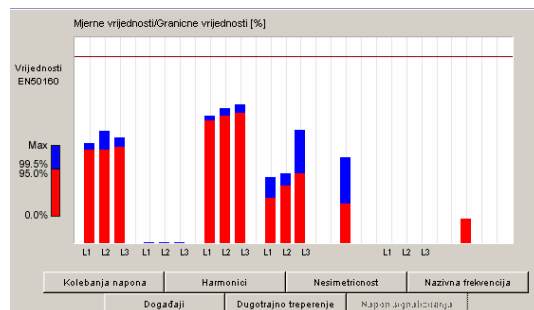
Iz dobivenih rezultata se dalo očitati da je tijekom mjerenja sunčana elektrana radila u različitim režimima rada što je posljedica ovisnosti o vremenskim uvjetima. Temeljem dobivenih rezultata mjerenja na MM<sub>1</sub> dobiven je uvid u karakter priključenih potrošača na strujnom krugu.

### 3.1. Rezultati mjerenja kvalitete napona

Na slikama 4. i 5. prikazani su rezultati mjerenja kvalitete napona. Kako je vidljivo iz prikazanih rezultata vrijednosti izmjerenih veličina, koje karakteriziraju kvalitetu napona, u skladu su s europskom normom EN 50160. Vrijednosti izmjerenih parametara koje karakteriziraju kvalitetu napona također se nalaze unutar granica dozvoljenih vrijednosti. Kolebanje napona je na oba mjerna mjesta podjednako. Na priključku elektrane s mrežom jedino je vrijednost harmonijskog izobličenja izraženija od ostalih vrijednosti parametara, no daleko ispod dozvoljene granice. Iz prikaza slika rezultata dobivenih mjerenjem jasno se vidi da su u niskonaponskom izvodu transformatorske stanice sve vrijednosti parametara koje karakteriziraju kvalitetu napona nešto boljih karakteristika u odnosu na vrijednosti parametara kvalitete napona na mjestu priključka elektrane s mrežom. Najveći utjecaj na kvalitetu napona imaju karakteristike potrošača priključenih na niskonaponsku mrežu. U niskonaponskom izvodu transformatorske stanice na kvalitetu napona najviše utječe harmonijsko izobličenje čemu je vjerojatno razlog nelinearna karakteristika trošila priključenih na mrežu. Očito je da na kvalitetu napona utječe duljina strujnog kruga i karakteristika priključenih potrošača. Sama sunčana elektrane ne utječe negativno na kvalitetu napona, pa se ne može reći da je ona krivac za lošije vrijednosti kvalitete napona u odnosu na MM<sub>1</sub>.

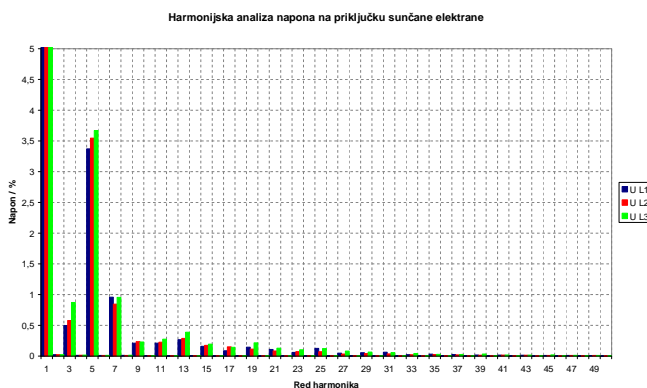


Slika 4. Prikaz rezultata mjerenja kvalitete napona na MM<sub>1</sub>



Slika 5. Prikaz rezultata mjerenja kvalitete napona na MM<sub>2</sub>

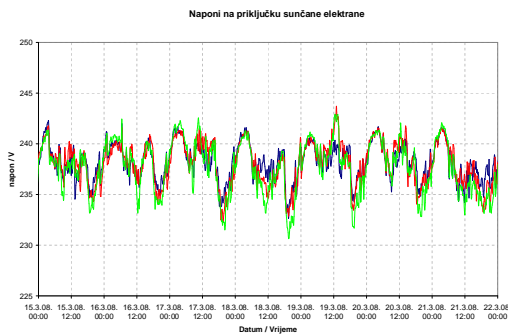
Za mjerno mjesto MM<sub>2</sub> na priključku elektrane s distribucijskom mrežom prikazani su rezultati pomoću FFT harmonijske analize valnog oblika napona što je prikazano slikom 6. Vidljivo je da dominira utjecaj 5. harmonika, dok su 3. i 7. harmonik manje izraženiji. Ostali harmonici nisu značajnije izraženi te nemaju utjecaj na valni oblik napona. Uzevši u obzir sve parametre možemo konstatirati da je valni oblik napona na mjestu mjerenja neznatno izobličen.



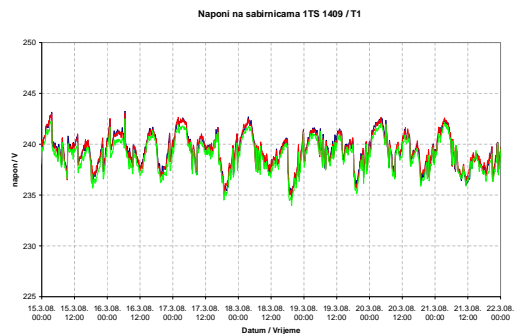
Slika 6. Prikaz rezultata harmonijske analize na priključku sunčane elektrane

### 3.1.1. Vrijednosti napona

Vrijednost napona je definirana kao efektivna vrijednost napona na mjestu predaje električne energije u određenom trenutku mjerena u određenom vremenskom periodu. Referentna vrijednost određena je nazivnim naponom mreže [3]. Za niski napon granica odstupanja od nazivnog napona u normalnom pogonu je  $+6\%/-10\%$  od nazivnog, što znači da tijekom razdoblja od sedam dana 95% 10-minutni prosjek efektivnih vrijednosti napona treba biti u rasponu  $+6\%/-10\%$  Un. Na slikama 7. i 8. su prikazane izmjerene vrijednosti napona u mjernim točkama MM<sub>1</sub> i MM<sub>2</sub> dobivene tijekom trajanja mjerenja. Vrijednosti napona u niskonaponskom izvodu transformatora 1 u transformatorskoj stanici je nešto veća od nazivne vrijednosti iznosa 230 V, ali i dalje u dozvoljenim granicama. Vrijednost napon na priključku elektrane je stabilnog karaktera s nešto manjim iznosom u odnosu na vrijednost napona u nn izvodu. S obzirom na udaljenost priključka, nazivna vrijednost napona nije znatno smanjena. Glavni uzrok manjem naponu na priključku elektrane su padovi napona uzrokovani priključenim potrošačima i dužinom strujnog kruga. Očigledno je da se tijekom uključivanja ili isključenja elektrane vrijednost napona ne mijenja. Elektrana za vrijeme rada regulira vrijednost napona na izlazu, te ga održava konstantnim. Odstupanja od vrijednosti nazivnog napona su izraženija na priključku elektrane nego u izvodu transformatorske stanice.



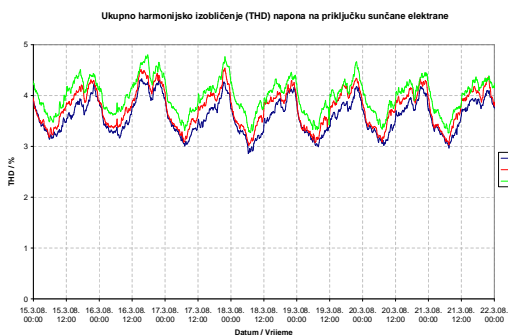
Slika 7. Prikaz vrijednosti napona na priključku sunčane elektrane



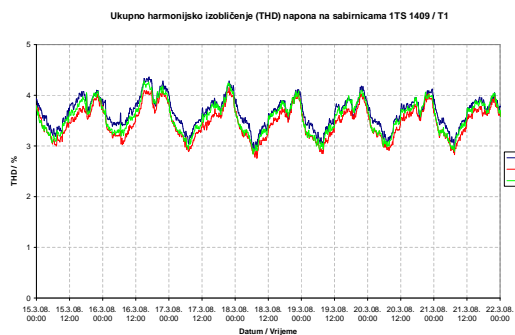
Slika 8. Prikaz vrijednosti napona u transformatorskoj stanici

### 3.1.2. THD napona

Vrijednosti harmonijskog izobličenja napona (THD), uzrokovanog priključenjem proizvođačke jedinice na mjestu priključenja, iznose najviše 2.5% u odnosu na 95% 10-minutne prosjeke efektivnih vrijednosti napona u razdoblju od tjedan dana. Taj kriterij je bilo potrebno zadovoljiti u trenutku priključenja a prije puštanja u pogon. S obzirom da je elektrana već ranije priključena na mrežu tada se granica dozvoljenih vrijednosti pomiče na vrijednost od najviše 5%. Na slikama 9. i 10. vidljivo je da su na oba mjerna mjesta izmjerene vrijednosti THD-a unutar dozvoljenih granica. Može se zaključiti da napon nije idealnog oblika već da je malo izobličen.



Slika 9. Prikaz vrijednosti THD napona na priključku sunčane elektrane



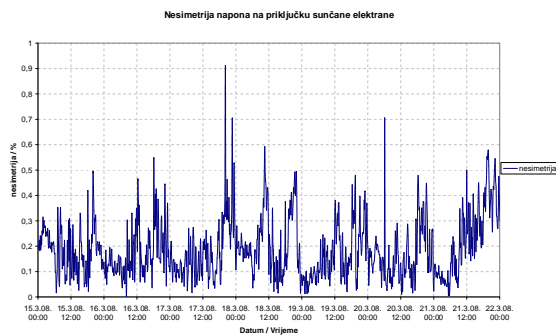
Slika 10. Prikaz vrijednosti THD napona u transformatorskoj stanici

### 3.1.3. Nesimetrija napona

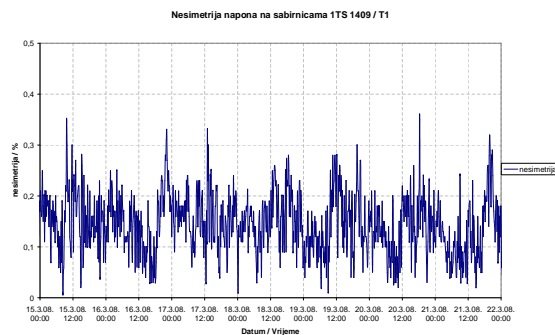
Nesimetrija napona je stanje pri kojem se naponi u trofaznom sustavu međusobno mogu razlikovati ili po iznosu ili ukoliko kut između pojedine dvije faze nije  $120^\circ$ . Definira se kao omjer inverzne i direktne komponente napona. U distribucijskim mrežama uzrokovana je neravnomjernom raspodjelom tereta po fazama [3]. Na mjestu priključenja vrijednost nesimetrije ne smije prelaziti 1.3% nazivnog napona. Iz prikazanih vrijednosti očito je da vrijednost nesimetrije napona na mjestu priključka i u nn izvodu ne prelazi vrijednosti dozvoljenih granica.

U jednom trenutku doseže vrijednost iznad 0,9% dok u ostalim slučajevima vrijednosti ne prelazi 0,7%. Glavni uzrok nesimetriji napona je neravnomjerno raspoređeno opterećenje pojedinih faza. Također na nesimetriju negativno utječe i karakter priključenih potrošača s nelinearnom karakteristikom. Što se promatra dublje u mrežu za očekivati je da nesimetrija bude veća.

Nesimetrija napona u niskonaponskom izvodu nije značajno izražena. Maksimalno postignute vrijednosti su nešto iznad 0,3%, ali nikako preko 0,4%. U transformatorskoj stanici, gdje je izvor električne energije bliži i utjecaj nesimetrije je manji. Iz priloženog je jasno da rad sunčane elektrane ima zanemariv utjecaj na nesimetriju napona.



Slika 11. Prikaz vrijednosti nesimetrije napona na priključku sunčane elektrane



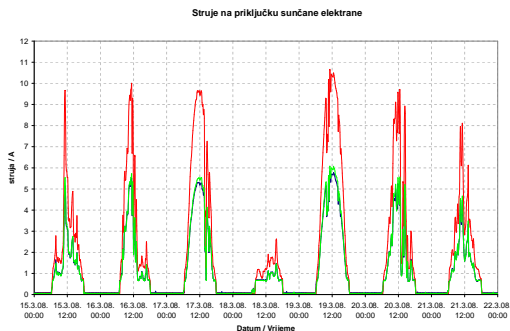
Slika 12. Prikaz vrijednosti nesimetrije napona u transformatorskoj stanici

### 3.2. Rezultati mjerenja struja

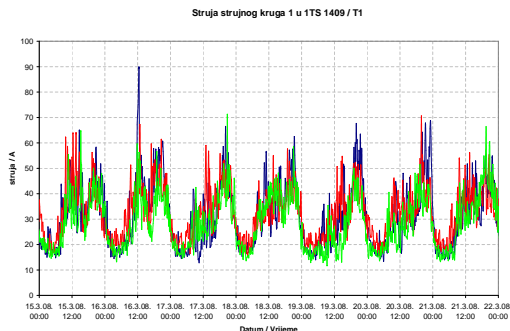
Vrijednosti struja na nn izvodu  $MM_1$  nisu simetrično opterećene. Možemo zaključiti da opterećenje po fazama nije ravnomjerno raspoređeno. Ni jedna od faza nije preopterećena, štoviše maksimalna vrijednost struje u fazi L1 doseže 90 A i to samo u jednom trenutku za vrijeme trajanja mjerenja.

Izlazne struje na priključku elektrane  $MM_2$  nisu simetričnog karaktera (Slika 13.). Glavni razlog je dvostruki broj fotonaponskih modula u fazi L2. Shodno tome je i proizvedena snaga dvostruko veća u fazi L2 u odnosu na ostale faze. Tijekom procesa proizvodnje, sunčana elektrane bitno ne utječe na smanjenje ukupnog opterećenja u nn izvodu, premda u fazi L2 struja postiže 20% vrijednost struje u nn izvodu. Razlog malog, odnosno neznatnog utjecaja, je i to što je vrijeme trajanja proizvodnje relativno kratko. Kada je proizvodnja u sunčanoj elektrani najveća, odnosno kada predaje u mrežu najviše energije pri maksimalnoj snazi tada je i potrošnja ostalih potrošača na strujnom krugu najveća. To je jedan od razloga zbog kojeg sunčane elektrane malo utječu na smanjenje opterećenja niskonaponskog izvoda.

Bitno drugačija slika bi bila kada bi u trenutku malog opterećenja strujnog kruga proizvodnja bila u punom zanosu. Takav scenarij se može očekivati ljeti kada većina potrošača nije kod kuće a elektrana pri tom radi punom snagom. Valja napomenuti da se sva proizvedena energija najprije potroši na najbližim potrošačima.



Slika 13. Prikaz vrijednosti struja na priključku sunčane elektrane



Slika 14. Prikaz vrijednosti struja u transformatorskoj stanici

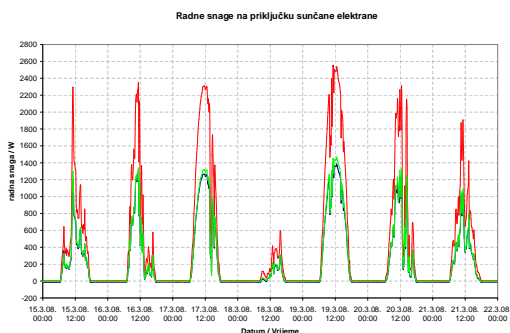
### 3.3. Rezultati mjerenja snaga

#### 3.3.1. Radna snaga

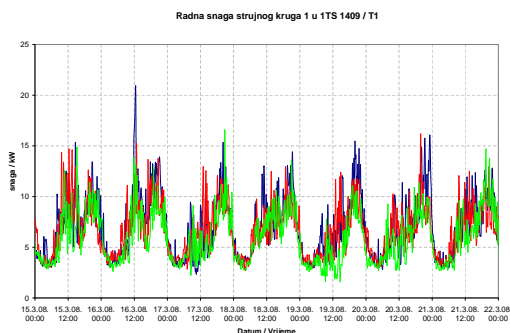
Radna snaga je proporcionalna struji stoga je očekivan i grafički prikaz izmjerenih vrijednosti. Tijekom mjerenja najveća je vrijednost proizvedene snage u fazi L2, dok je u ostale dvije skoro pa dvostruko manja. S obzirom na maksimalno opterećenje strujnog kruga u transformatorskoj stanici, sunčana elektrana ne utječe bitno na smanjenje opterećenja u niskonaponskom izvodu. Očito je i da opterećenja po fazama strujnog kruga nisu simetrično raspoređena, što se vidi po trenutnim skokovima i osciliranjima po svim fazama.

Također možemo primijetiti da je tijekom provedenog mjerenja dana 18.03. proizvodnja sunčane elektrane bila manja nego ostalih dana. Glavni razlog tomu je smanjena osunčanost.

Tijekom noći, kada nije bilo prirodne osunčanosti sunčana elektrana ipak trošila određenu radnu električnu energiju. Pretpostavka je da ja s vanjske rasvjete prometnice dopirala dovoljna osvjetljenost za proizvodni proces.



Slika 15. Prikaz vrijednosti radnih snaga na priključku sunčane elektrane



Slika 16. Prikaz vrijednosti radnih snaga u transformatorskoj stanici

#### 3.3.2. Jalova snaga

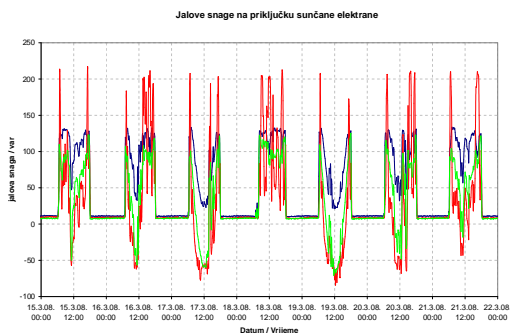
Kod jalove snage situacija je malo drugačija. Jalova snaga također nije simetrično raspoređena po fazama. Na priključku sunčane elektrane pozitivna vrijednost jalove snage znači da sunčana elektrana proizvodi jalovu električnu energiju, dok obrnuto znači da ju troši. Značajni pokazatelji su nagle promjene jalove snage koji se događaju pri najvećoj proizvodnji radne snage. Ti skokovi nemaju nikakvog utjecaja na iznos jalove snage na izvodu.

Karakteristično je da u trenutku maksimalne proizvodnje radne snage, sunčana elektrana troši jalovu električnu energiju. Uzrok takvom ponašanju sunčane elektrane vjerojatno je u elektroničkim komponentama potrebnim za proizvodnju, odnosno izmjenjivačima koji se koriste.

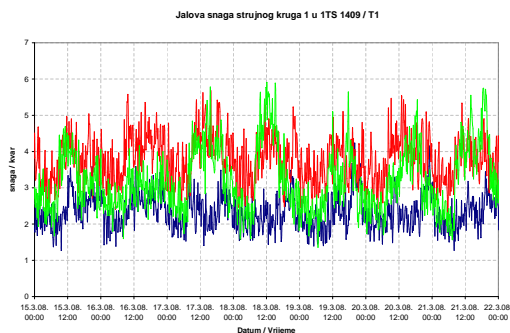


U trenutku male osunčanosti bila je smanjena i proizvodnja električne energije, što je uzrokovalo pozitivnu skokovitu jalovu snagu na priključku sunčane elektrane.

Tijekom noći kada kad nije bilo prirodne osunčanosti, sunčana elektrana je ipak davala u mrežu određenu jalovu električnu energiju. Ta činjenica nije povoljna za distribucijsku mrežu jer je tijekom noći napon ionako povećan zbog malog opterećenja i viška jalove električne energije koju proizvode neopterećeni elektroenergetski kabeli.



Slika 17. Prikaz vrijednosti jalovih snaga na priključku sunčane elektrane

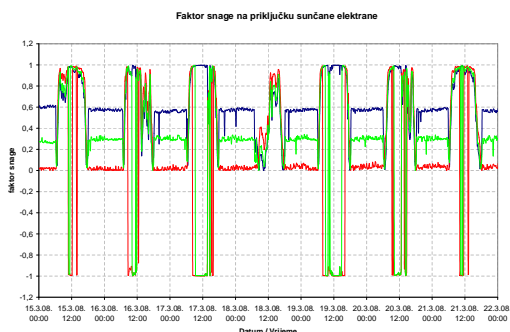


Slika 18. Prikaz vrijednosti jalovih snaga u transformatorskoj stanici

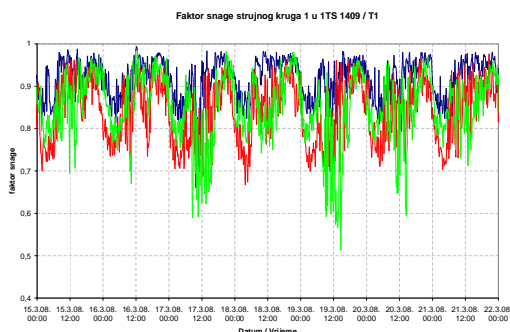
### 3.3.3. Faktor snage

Faktor snage dobiven je računski iz izmjerenih veličina snaga. Važno je napomenuti da se prikazane vrijednosti faktora snage odnose za svaku pojedinu fazu, dok se  $\cos\varphi$  odnosi na sve tri faze. Na priključku sunčane elektrane pozitivna vrijednost faktora snage znači kapacitivni karakter, tj. da sunčana elektrana proizvodi jalovu električnu energiju.

Iz prikazanog grafa (Slika 19.) vidljivi su nagli skokovi faktora snage iz kapacitivnog područja u induktivno. Razlog tome je potrošnja jalove električne energije u trenucima najveće proizvodnje radne električne energije. Zanimljivo je da u tim trenucima faktor snage faze L1 ne prelazi u induktivno područje, već u toj fazi sunčanoj elektrani samo padne proizvodnja jalove električne energije. Kada sunčana elektrana ne troši jalovu električnu energiju faktor snage ostaje pozitivan. U noćnom režimu kada elektrana praktički ne radi uočen je izrazito loš faktor snage u sve tri faze što nije povoljno.



Slika 19. Prikaz vrijednosti faktora snage na priključku sunčane elektrane



Slika 20. Prikaz vrijednosti faktora snage u transformatorskoj stanici

U promatranom niskonaponskom izvodu faktor snage faza L2 i L3 je dosta loš. Ne može se sa sigurnošću reći da je uzrok tome rad sunčane elektrane. Vidljiva je značajna razlika u iznosu izmjerenih vrijednosti jalovih snaga na priključku elektrane i na niskonaponskom izvodu u transformatorskoj stanici. Uzrok tako lošem faktoru snage može biti u nelinearnim trošilima koji su priključeni na taj strujni krug.

#### 4. ZAKLJUČAK

Analiza utjecaja distribuiranih izvora na distribucijsku mrežu trebala bi biti jedno od osnovnih polazišta HEP ODS-a tijekom izdavanja elektroenergetske suglasnosti za priključenje distribuiranog izvora na distribucijsku mrežu. Jedino na taj način može se ocijeniti razina tehničkih utjecaja distribuiranog izvora na pogon i karakteristiku distribucijske mreže.

Mjerenja su provedena u ožujku kada nije bilo velike osunčanosti, pa zato i vrijednosti proizvedenih struja sunčane elektrane nisu dostigle najveće moguće vrijednosti. No, iako nije provedeno mjerenje kvalitete električne energije pri najvećem mogućem utjecaju solarne elektrane na okolnu distribucijsku mrežu, rezultati su itekako indikativni. Jedini negativan utjecaj ima faktor snage na priključku sunčane elektrane.

Obavljena mjerenja kvalitete električne energije su potvrdila predviđene pretpostavke da rad male sunčane elektrane reda veličine do 10 kW ne utječe negativno na kvalitetu električne energije i napon distribucijske mreže. Možemo sa sigurnošću potvrditi da su zadovoljeni svi zahtjevi a sva mjerenja izvedena su u skladu s EU normom EN 50160. Ostaje pitanje što bi bilo kada bi na isti strujni krug i/ili na isti transformatorskoj stanici bilo priključeno više takvih ili sličnih elektrana u sklopu obiteljskih kuća.

#### LITERATURA

- [1] N. Dizdarević, M. Majstorović, S. Žutobradić, „Distribuirana proizvodnja električne energije“, Energija, 52, str. 321-339, listopad 2003.
- [2] D. Škrlec, S. Krajcar, A. Katić, „Utjecaj distribuiranih izvora na planiranje razdjelne mreže“, Energija, 54, str. 53-72, veljača 2005.
- [3] G. Šagovac, I. Klarić, „Razmatranje kvalitete električne energije u distribucijskim mrežama“, 5. Simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti HO CIGRE, Zadar, Hrvatska, travanj 2004. str. 25-28
- [4] M. Šporec, J. Grašo, I. Klarić, „Mjerenje kvalitete električne energije nakon priključenja mTEO Jakuševac“, 6. Simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti HO CIGRE, Osijek, Hrvatska, svibanj 2006. str. 161-165
- [5] EN 50160:1999, „Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems“, CENELEC, 1999.
- [6] J.A. Peças Lopes i sur. „Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities“, Electric Power Systems Research, 77, str. 1189-1203, srpanj 2007.
- [7] P. Dondi i sur. „Network integration of distributed power generation“, Journal of Power Sources, 106, str. 1-9, travanj 2004.