

UTICAJ PRIKLJUČENJA MALE HIDROELEKTRANE PAKLENICA NA SREDNJE NAPONSKE DISTRIBUTIVNE MREŽE I POTROŠAČKI KONZUM

S. Đekić, ZP "Elektro Doboj" a.d. Doboj, Republika Srpska, BiH
D. Muratović, MH "ERS" Trebinje, Republika Srpska, BiH
G. Radić, ZP "Elektro Doboj" a.d. Doboj, Republika Srpska, BiH
D. Savić, ZP "Elektro Doboj" a.d. Doboj, Republika Srpska, BiH

UVOD:

Dosadašnji razvoj elektroenergetske distributivne mreže u Republici Srpskoj i BiH koncipiran je na bazi radikalno napajane mreže, naponskog nivoa 35 kV, 20 kV, 10 kV i 0,4 kV (1 kV). Taj koncept, za razliku od prenosnih mreža, nije podrazumijevao projektovanje distributivnih mreža za potrebe priključenja proizvodnih objekata, odnosno za potrebe distributivne proizvodnje. Priključenjem proizvodnih objekata na distributivnu mrežu ova, do tada pasivna, mreža poprima aktivni karakter, pri čemu dolazi do promjene smjera tokova snaga u mreži. Uticaj distributivnih generatora (DG) na elektroenergetsku distributivnu mrežu (EDM) može biti pozitivan i negativan. Prva mala hidroelektrana na području dobojske regije izgrađena je davne 1896. godine u naselju Blatnica, opština Teslić. 110 godina nakon toga, odnosno 2006. god., ponovo je zaživjela ideja izgradnje hidroelektrana na području dobojske regije. MHE Paklenica, instalisane snage 220 kW i procjenjene godišnje proizvodnje 1 GWh, izgrađena je i puštena u probni pogon početkom 2011. god. U ovom radu razmatran je uticaj priključenja male hidroelektrane Paklenica na srednjenaponsku distributivnu mrežu i pripadajući potrošački konzum na osnovu provedenih mjerenja na karakterističnim tačkama mreže nakon priključenja elektrane. Aspekti uticaja razmatrani su za stacionarno stanje sistema. Za potrebe rada organizovano je i provedeno snimanje karakterističnih parametara na karakterističnim tačkama mreže u petnaestominutnim intervalima tokom višemjesečnog perioda, pri čemu su korišteni mjerni uređaji visoke klase tačnosti. Rezultati dobijeni mjerenjem u pogonskim uslovima upoređivani su sa teorijskim na osnovu čega su i doneseni izneseni zaključci rada.

TEHNIČKI UTICAJ DG NA ED MREŽU

Stacionarna stanja sistema

Uticaj DG na EDM razlikuje se u pogledu stacionarnih i dinamičkih stanja sistema. Za stacionarna stanja sistema naročito je značajan uticaj DG na tokove snaga, naponske prilike kao i gubitke aktivne i reaktivne električne energije duž EDM. Uticaj priključenja DG u pogledu tokova snaga, naponskih profila i distributivnih gubitaka aktivne i reaktivne energije može biti pozitivan i negativan. O ovome bi trebalo voditi računa prilikom izdavanja potrebnih saglasnosti za priključenje DG na mrežu. Pored sagledavanja mogućnosti priključenja DG provjerom poznatih tehničkih kriterijuma neophodno je sagledati i veličinu i karakter lokalne potrošnje koncentrisane na distributivnom vodu predviđenom za priključenje, uporedno sa kapacitetom i prognoziranim karakterom proizvodnje DG. Za potrebe priključenja MHE najčešće su dostupni radikalno napajani distributivni vodovi ruralnog područja, obzirom na geografske karakteristike

područja koje najčešće prate pogodne lokacije za izgradnju MHE. Ukoliko kapacitet proizvodnje DG zadovoljava lokalnu potrošnju, posebno ako je ista locirana bliže DG u odnosu na napojnu trafostanicu voda, smanjuje se tok energije duž voda čime se poboljšavaju naponske prilike u mreži i smanjuju gubici duž iste. Opšti efekat u ovakvim slučajevima priključenja jeste pozitivan i pozitivno utiče na prilike u mreži u manjoj ili većoj mjeri u zavisnosti od usklađenosti kapaciteta i karaktera proizvodnje i potrošnje. Ukoliko proizvodnja značajno premašuje potrebe potrošnje locirne na posmatranom izvodu dolazi do toka električne enegije ka napojnoj trafostanici i dalje duž EDM. U zavisnosti od konfiguracije mreže i blizine prenosne mreže (PM) može doći do povratnog toka električne energije u prenosnu mrežu. Ovakva stanja rada, u stacionarnom stanju, prouzrokuju povećanje napona na mreži bliže mjesta priključenja DG, povećanja gubitaka u mreži te probleme regulacije i samog rada regulatora napona u napojnim trafostanicama. U pogledu korisnika EDM ovo se maifestuje povećanjem vrijednosti napona potrošača, posebno onih bližih DG. Pri ovome je potrebno imati na umu da su otporni elementi distributivnih vodova veći nego što je to slučaj sa vodovima u okviru elektroprenosne mreže. EDM i PM razlikuju se u pogledu relativnog odnosa fizičkih parametara. U slučaju prenosne mreže karakterističan je odnos $R \ll X$ i $B \ll X$ dok je osnovna karakteristika EDM odnos $R > X$ (1). U Tabeli 1 date su približne vrijednosti predmetnih parametara nadzemnih vodova prema pripadajućim naponskim nivoima EDM i PM. Kada je riječ o aktivnoj EDM na naponske prilike se osim regulatorima napona u napojnim trafostanicama može uticati i podešavanjem djelovanja regulatora napona DG. Na naponske prilike utiče izbor režima rada DG. Režim rada DG može biti: a) rad sa konstantnim faktorom snage $\cos\varphi = \text{const}$, najčešće režim potpune kompenzacije reaktivne snage $\cos\varphi = 1$ i b) rad sa konstantnim naponom, režim regulacije napona $\cos\varphi = f(U)$. Pošto je u slučaju DG uglavnom riječ o jedinicama manje snage DG pojedinačno imaju manju mogućnost regulacije naponskih prilika u mreži. Kada je riječ o većem broju DG priključenih na EDM obično je riječ o nekoordinisanim jedinicama različitih karakteristika, što dodatno usložnjava problem regulacije. Ako se ovome doda i stohastičnost rada ME priključenih na EDM, koja uglavnom prati izvore obnovljive energije, problem regulacije naponskih prilika na ovaj način dodatno se usložnjava. Takođe, varijacija opterećenja EDM u Republici Srpskoj i BiH veoma je izražena zbog toga što dominantnu ulogu u potrošnji čine domaćinstva. Sve ovo dosta usložnjava projektovanje sistema regulacije napona pa operatori EDM DG posmatraju kao proizvođače kWh, odnosno ne uključuju DG u vođenje i upravljanje EDM (1). Situacija je povoljnija kada je riječ o DG u sklopu MHE odzirom na manju stohastičnost rijeka kao izvora energije odnosno stabilnijeg rada MHE.

TABELA 1 – PRIBLIŽNE VRIJEDNOSTI PARAMETARA NADZEMNIH VODOVA

Nazivni napon	Aktivni otpor [Ω/km]	Induktivni otpor [Ω/km]	Kapac. prov. [$\mu\text{S}/\text{km}$]
< 1 kV	1-2	0,36	< 1
10 – 35 kV	04-1	0,38	1 – 1,5
≥ 110 kV	< 0,1	0,42	>3,5

Dinamička stanja sistema

Uticao DG, kao aktivnog elementa, na EDM za dinamička stanja ogleda se u povećanju struja i snaga kratkog spoja EDM a takođe je važan i uticaj na tranzijentnu stabilnost mreže. Uticaj koji DG ima na povećanje struja i snaga kratkog spoja zavisi od mnogo faktora, kao što su: tehnologija distributivne proizvodnje, položaj u mreži, radno stanje DG, itd. U slučaju priključenja više proizvodnih jedinica odnosno više DG problem se javlja usljed različite vrijednosti struja i snaga kratkog spoja za različite kombinacije priključenosti DG. Uticaj DG na EDM u režimima kratkog spoja direktno se odražava na potrebu povećanja snaga prekidača, zahtjeva u pogledu izmjena podešenja zaštitnih releja, podešenja selektivnosti zaštite, itd. U pogledu tranzijentne stabilnosti sistema uticaj DG na EDM zavisi od snage DG u odnosu na EDM, položaja DG u EDM, snage, karaktera i raspodjele potrošnje u EDM. Ukoliko je snaga DG u odnosu na potrošački konzum EDM zanemarljiva, odnosno ako se DG može posmarati samo kao proizvođač kWh, uticaj DG na tranzijentnu stabilnost mreže je zanemarljiv. U tom slučaju najčešći scenario prilikom poremećaja rada distributivne mreže i smanjenja napona u njoj jeste ubrzanje rotora DG, koji nastoji da nadoknadi pad napona u mreži, što dovodi do prorade zaštita DG i njegovog ispada sa mreže. Ukoliko je snaga DG značajna u odnosu na potrošački konzum njegov uticaj na tranzijentnu stabilnost jeste veliki. Ostrvski rad DG prilikom prestanka napajanja iz PM zabranjen je. U slučaju prekida napajanja iz PM DG se isključuju.

Uticaj DG na kvalitet električne energije

Jedan od problema koji DG nose sa sobom jeste mogući negativan uticaj na kvalitet električne energije. Smanjenje kvaliteta električne energije manifestuje se pojavom naponskih kolebanja, flikera, harmonika, međuharmonika i drugih neželjenih pojava. DG obično izazivaju tranzijentalne naponske varijacije prilikom startovanja samog generatora. Posebno neprijatno jeste kolebanje rasvjetnih tijela, izazvano kolebanjem napona napajanja rasvjetnog tijela, koje pravi poremećaj u čovjekovom vidu. Primjena elektronskih uređaja koji mogu smanjiti ili čak i ukloniti naponska kolebanja povećava rizik od pojave harmonika a pojava harmonika ponovo zagušuje mrežu, povećava gubitke, doprinosi oštećenju osjetljive opreme napajane sa mreže, smanjuju životni vijek motora, kondenzatorskih baterija i transformatora priključenih na mrežu, itd.

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MHE PAKLENICA I POLOŽAJ U EDM

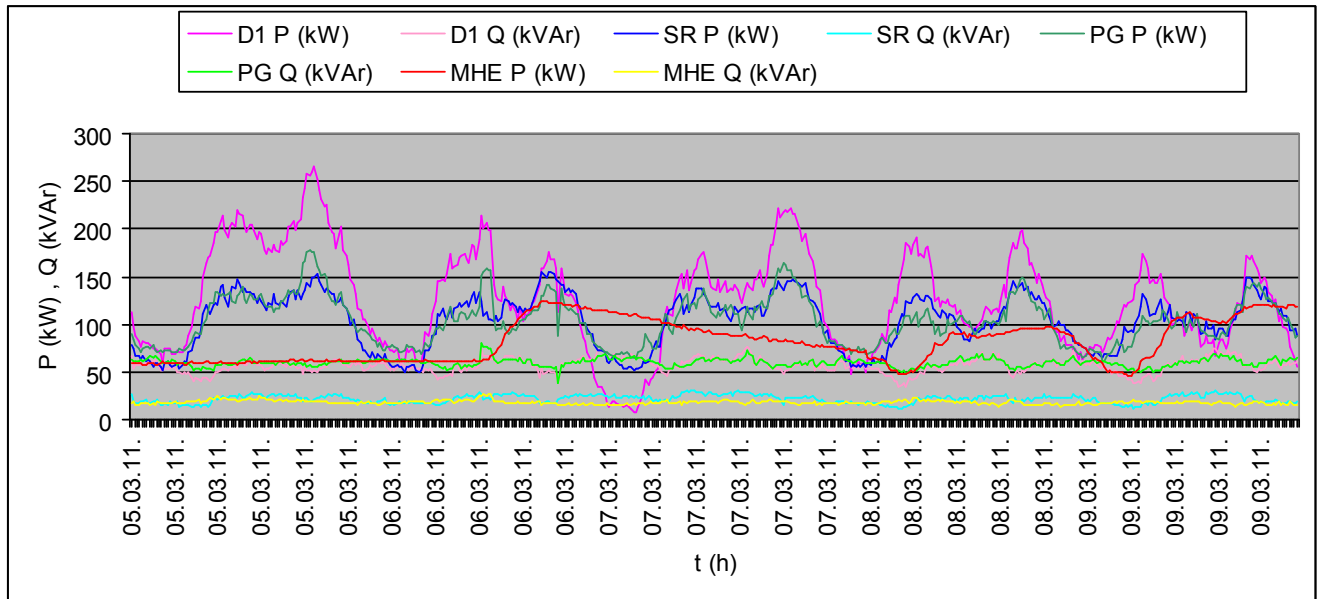
Osnovne karakteristike MHE Paklenica (izvedeno stanje)

Naziv postrojenja	MHE Paklenica
Lokalitet	Paklenica, Doboj, Republika Srpska, BiH
Tip postrojenja	Protočna, transportni cjevovod, tirolski zahvat
Pi (instalirana snaga)	220 kW
E (procijenjena godišnja proizvodnja)	995,7 MWh
Turbina	Pelton, vertikalna, 4 mlaznice, D=500 mm, n= 600 o/min,
Generator	Sin. trof. 0,4 kV, 315 kVA, 600 min-1, $\cos\phi=0,80$
Transformator	Dyn5, uljni, 400 kVA, 20(10)/0,4 kV

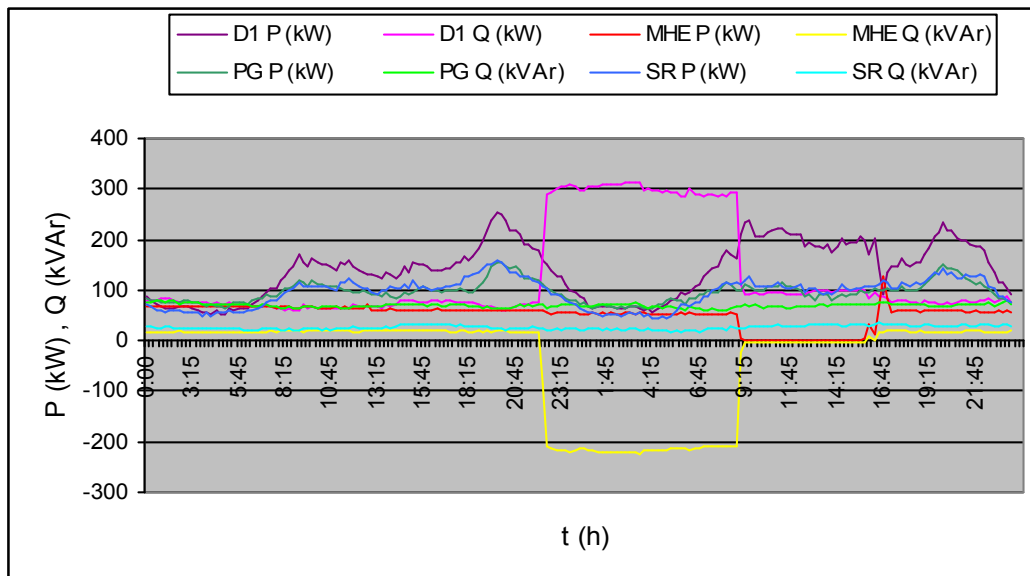
MJERENJE I DOBIJENI REZULTATI MJERENJA

U cilju posmatranja uticaja rada generatora MHE Paklenica na EDM, za stacionarno stanje sistema, organizovano je i provedeno snimanje karakterističnih parametara na karakterističnim tačkama mreže u petnaestominutnim intervalima tokom višemjesečnog perioda, pri čemu su korišteni mjerni uređaji visoke klase tačnosti. Konkretno, korištene su multifunkcionalne procesorske mjerne garniture naznačenog napona $3 \times 100 / \sqrt{3}$ V i naznačene struje 5 A, poznatog proizvođača, sa mogućnošću mjerenja i snimanja profila opterećenja (naponi, struje, frekvencije, itd.), klase tačnosti 1. Mjerenje je uspostavljeno indirektno na 10 kV naponskom nivou MHE Paklenica kao i na svim dovodnim i odvodnim DV na TS 10/0,4 kV Paklenica Donja – Rasklopnica, na koju je priključena MHE Paklenica. Izvršeno je vremensko sinhronizovanje rada svih instaliranih mjernih garnitura te je na taj način formiran jedinstveni mjerni sistem. Mjerenje je provedeno u toku probnog pogona MHE Paklenica od 26.02.2011. do 04.05.2011. i u ljetnom periodu bez pogona MHE Paklenica od 07.07. do 12.09.11. god. Dakle, za svaki instalirani mjerni uređaj prikupljeno je po 6552 odbiraka, po mjernoj garnituri, za rad sa MHE i 6552 odbiraka, po mjernoj garnituri, za rad bez MHE. Tokom čitavog trajanja posmatranog perioda rada DG MHE radio je u režimu rada sa konstantnim faktorom snage $\cos\phi = \text{const}$.

Neke sekvence rada sistema EDM sa MHE Paklenica date su na Slici 1. Prikazan je dijagram toka aktivne i reaktivne snage napojnog voda DV Doboj 1 – Rječica (D1), radijalnih odvodnih vodova DV Paklenica Gornja (PG) i DV Stara Rječica (SR) i priključnog DV sa MHE Paklenica. Odabran je period od 05.03. do 09.03.2011. god. zbog karakterističnih promjena nivoa rada MHE Paklenica. Izmjena tokova snage u predmetnom čvorištu mreže, 10 kV rasklopnica, usljed havarijskog stanja prikazana je na dijagramu predstavljenom na Slici 2. Dana 27.03.11. god. u intervalu između 22:00 i 22:15 h, usljed kvara odnosno prekida strujnog kola regulatora pobude, došlo je do preuzimanja reaktivne energije iz ED mreže. Sa predstavljenog dijagrama uočljiva je izmjena smjera toka i vrijednosti reaktivne komponente snage u pogledu napojnog DV i MHE. (Trebalo bi imati na umu da je riječ o periodu probnog pogona MHE). Na Slici 3 a) grafički je predstavljen uporedni dijagram vrijednosti aktivne snage potrošnje na 10 kV dalekovodima Paklenica Gornja i Stara Rječica, pošto se sa istih napaja sva potrošnja distributivnog konzuma dalje od tačke čvorišta (TS 10/0,4 kV Paklenica Donja – Rasklopnica) na koju je priključena MHE Paklenica u tom periodu. Dani poređenja odabrani su tako da su dnevni dijagrami opterećenja potrošnje bili najpribližniji, poredeći dane sa višim i nižim režimom rada MHE u posmatranom periodu probnog rada.



SLIKA 1 – Dijagram toka aktivne (P) i reaktivne (Q) snage po svim dolaznim i odlaznim DV u TS 10/0,4 kV Paklenica Gornja – Rasklopnica (D1 - napojni vod DV Doboj 1 – Rječica, PG - DV Paklenica Gornja, SR - DV Stara Rječica i priključni DV sa MHE Paklenica)



SLIKA 2 – Dijagramski prikaz izmjene tokova snage za havarijski režim rada MHE Paklenica (D1 - napojni vod DV Doboj 1 – Rječica, PG - DV Paklenica Gornja, SR - DV Stara Rječica i priključni DV sa MHE Paklenica)

Na Slici 3 b) dat je dijagram zbirnih vrijednosti struja opterećenja, zbirno po fazama za oba odvodna dalekovoda. Na Slici 3 c) grafički je predstavljen uporedni dijagram vrijednosti pripadajućih faznih napona u predmetnom čvorištu za odabrane dane poređenja. Viši radni nivo, u ovom slučaju, predstavljao je rad MHE sa prosječnom dnevnom vrijednošću aktivne snage 142 kW. Niži radni nivo, u ovom slučaju, predstavljao je rad MHE sa prosječnom dnevnom vrijednošću aktivne snage 62 kW. Uz napomenu da je 10 kV DV Strježevica u ovom periodu bio napajan iz alternativnog pravca bez električne veze sa

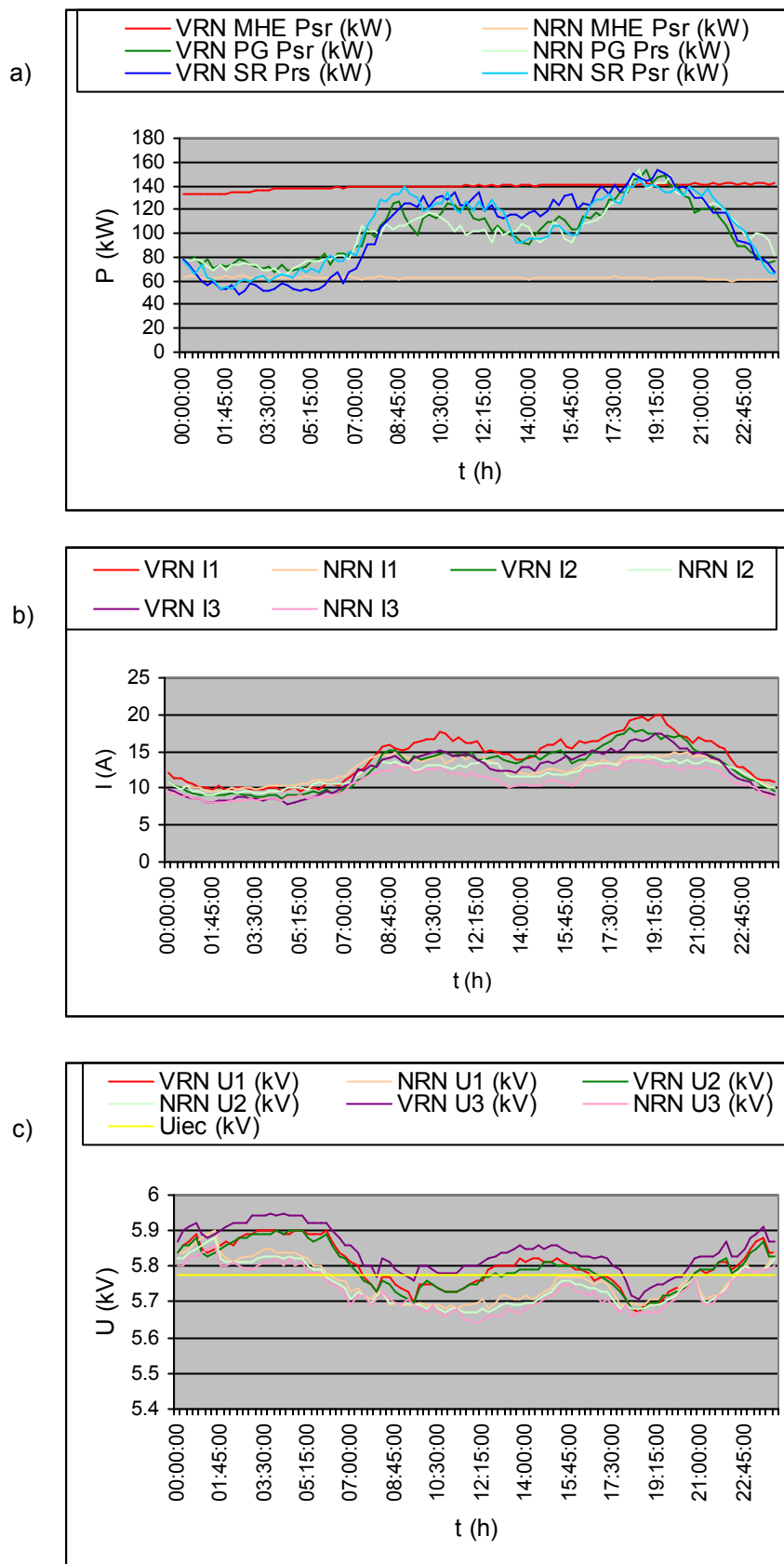
predmetnim čvorištem. Sa dijagrama prikazanog na Slici 3 vidi se da pri približnom dnevnom dijagramu potrošnje pri većoj proizvodnoj snazi elektrane, viši radni nivo, dolazi do podizanja dnevnog dijagrama napona u odnosu na niži radni nivo elektrane. Naravno, veoma važan jeste i dijagram dnevne snage potrošnje za ova dva slučaja, dva posmatrana dana, po TS duž napojnog 10 kV DV Rječica, iz pravca TS 110/35/10 kV Doboj 1. Razmatranje podudarnosti dnevnog dijagrama potrošnje za ovaj dio ED mreže izvršeno je na osnovu očitavanja sa pogonskih mjerenja lokalne SCAD-e. U ovom slučaju nije bilo riječi o istoj klasi mjerenja i sinhronizovanosti u odnosu na primjenjeni sistem mjerenja opisan u ovom radu ali su rezultati očitavanja, poklapanje dijagrama opterećenja, bili sasvim dovoljni da se pouzdano uvede pretpostavka približne dnevne potrošnje duž napojnog 10 kV DV Rječica za ova dva dana.

Na Slici 4 grafički je dat histogramski prikaz raspodjele vrijednosti faznih napona u posmatranom čvorištu za period rada MHE Paklenica i za ljetnji period bez rada MHE Paklenica. Uočljivo je da je raspodjela vrijednosti faznih napona kontinualna i približna Normalnoj raspodjeli (Gausovoj raspodjeli) za period rada MHE kao i da od istog značajno odstupa za period bez rada MHE. Radi potvrde primjenjen je grafički test, primjenom papira vjerovatnoće, odnosno, raspodjela kumulativnih vrijednosti vjerovatnoće posmatranih faznih napona prikazana je na papiru vjerovatnoće Normalne raspodjele.

Rezultati primjenjenog grafičkog testa prikazani su na Slici 5. Sa iste se jasno vidi da raspodjela vjerovatnoće faznih napona prati očekivanu Normalnu raspodjelu za pogon sa MHE kao i da od iste značajno odstupa za pogon bez MHE. Pri ovom posmatranju se mora imati na umu da je riječ o posmatrana dva različita perioda rada distributivnog sistema, "zimsko-proljetni" (26.02. do 04.05.2011.) i "ljetnji" (07.07. do 12.09.11.) te da nije bilo mogućnosti sagledati uticaj svih faktora u radu sistema koji bi mogli i koji su uticali na naponske prilike. Međutim, pošto je riječ o dužem posmatranom periodu odnosno velikom broju posmatranih podataka, 6552 u oba slučaja, može se primijetiti tendencija uticaja DG, u ovom slučaju, na poboljšanje naponskih prilika u pogledu kontinuiteta i simetričnosti raspodjele vrijednosti napona. Rad MHE Paklenica sa ovog aspekta biće zanimljivo dalje posmatrati u dužem vremenskom periodu.

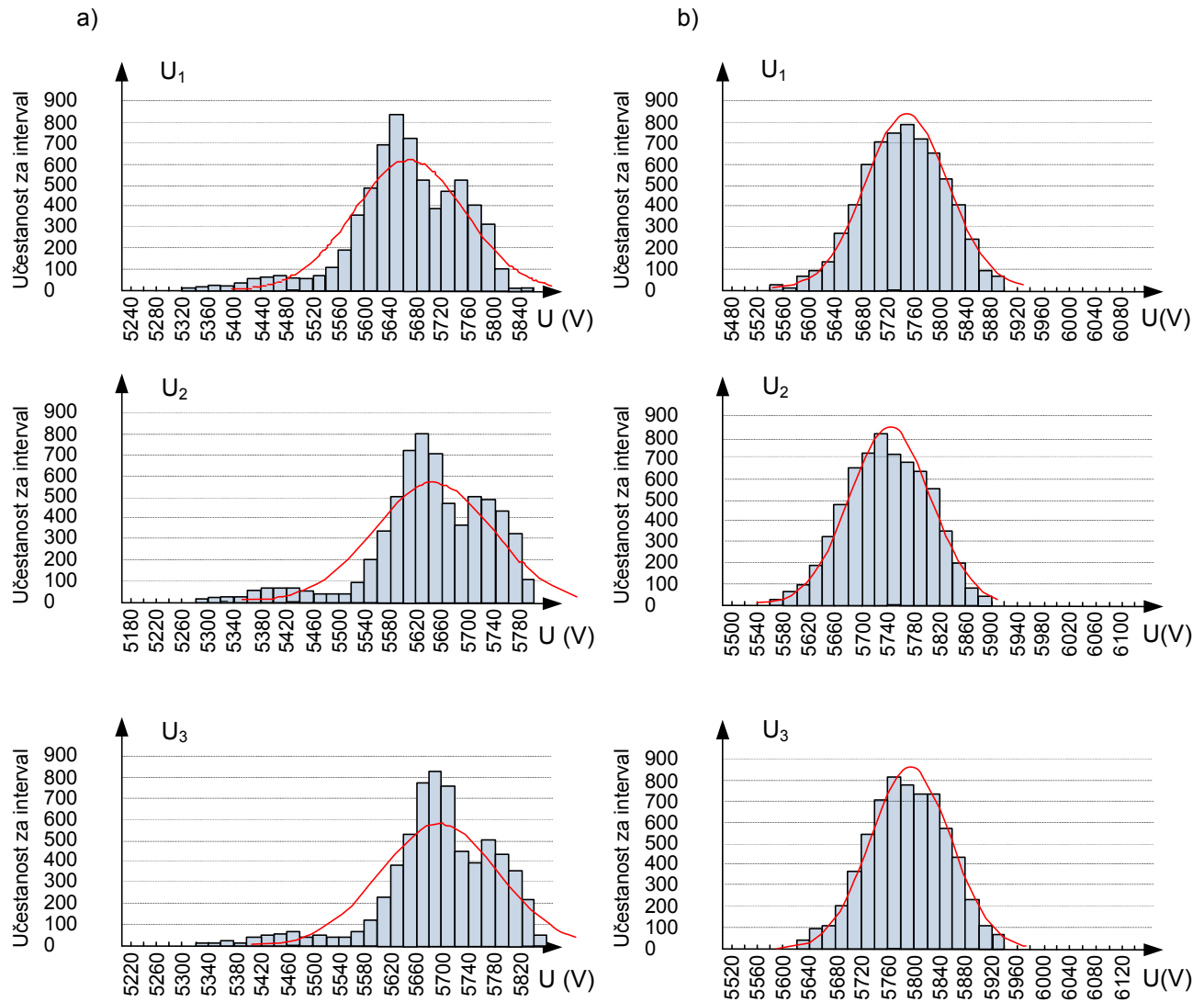
ZAKLJUČAK RADA

Cilj ovog rada bio je pokazati na konkretnom primjeru efekte uticaja paralelnog rada DG sa EDM za stacionarni radni režim. U tome se djelimično i uspjelo s obzirom da je u ovom posmatranom periodu MHE Paklenica radila u probnom pogonu kome je slijedio ljetnji period sa MHE van pogona. Na Slici 1 i Slici 2 prikazani su karakteristični dijagrami raspodjele tokova snaga po mreži, posmatrano sa tačke predmetnog čvorišta na koje je priključena MHE Paklenica. Prikazani dijagram odgovara očekivanom za oba slučaja, odnosno za normalni radni režim MHE i radni režim pri kvaru u pobudnom kolu generatora. Na osnovu rezultata prethodnih teorijskih proračuna mogućnosti i uticaja priključenja MHE Paklenica na ED mrežu moglo se zaključiti da MHE Paklenica nema značajnijeg uticaja na ED mrežu i da je njeno priključenje u ovoj tački moguće. Rezultati mjerenja u konkretnom slučaju ove zaključke i potvrđuju sa tendencijom poboljšanja naponskih prilika u mreži. Sa Slike 3 vidi se da dolazi do podizanja dnevnog dijagrama napona sa podizanjem izlazne snage MHE. Rezultati provedenih i narednih mjerenja biće osnov za uspostavljanje parametara regulacije napona na ovom izvodu. Prinudeni smo u ovom slučaju govoriti o tendenciji pošto nije bilo moguće sagledati uticaj svih faktora u radu sistema koji bi mogli i koji su uticali na naponske prilike. Razmatranje podudarnosti dnevnog dijagrama potrošnje za ovaj dio ED mreže bilo je moguće samo na osnovu očitavanja sa pogonskih mjerenja lokalne SCAD-e. U ovom slučaju nije bilo riječi o istoj klasi mjerenja i sinhronizovanosti u odnosu na primijenjeni sistem mjerenja opisan u ovom radu ali su rezultati očitavanja, poklapanja dijagrama opterećenja, bili sasvim dovoljni da se pouzdano uvede pretpostavka približne dnevne potrošnje duž napojnog 10 kV DV. Posebno zanimljiva jeste uočena tendencija uticaja paralelnog rada DG sa ED mrežom na poboljšanje naponskih prilika u pogledu kontinuiteta i simetričnosti raspodjele vrijednosti napona, Slika 4 i Slika 5. . Pri ovom posmatranju se mora imati na umu da je riječ o posmatrana dva različita perioda rada distributivnog sistema bez mogućnosti sagledavanja uticaja svih faktora u radu sistema, koji bi mogli i koji su uticali na naponske prilike. Rad i uticaj DG MHE Paklenica sa ovog aspekta mora se detaljnije razmotriti tokom budućeg perioda kontinualno prikupljajući rezultate mjerenja uspostavljenog sistema.



SLIKA 3 – Uporedni dijagram, za odabrani viši (VRN) i niži (NRN) radni nivo MHE Paklenica:
 a) aktivne snage potrošnje napajane sa 10 kV odvodnih DV Paklenica Gornja i Stara Rječica
 b) zbirnih vrijednosti struje potrošnje po fazama, oba odvodna dalekovoda

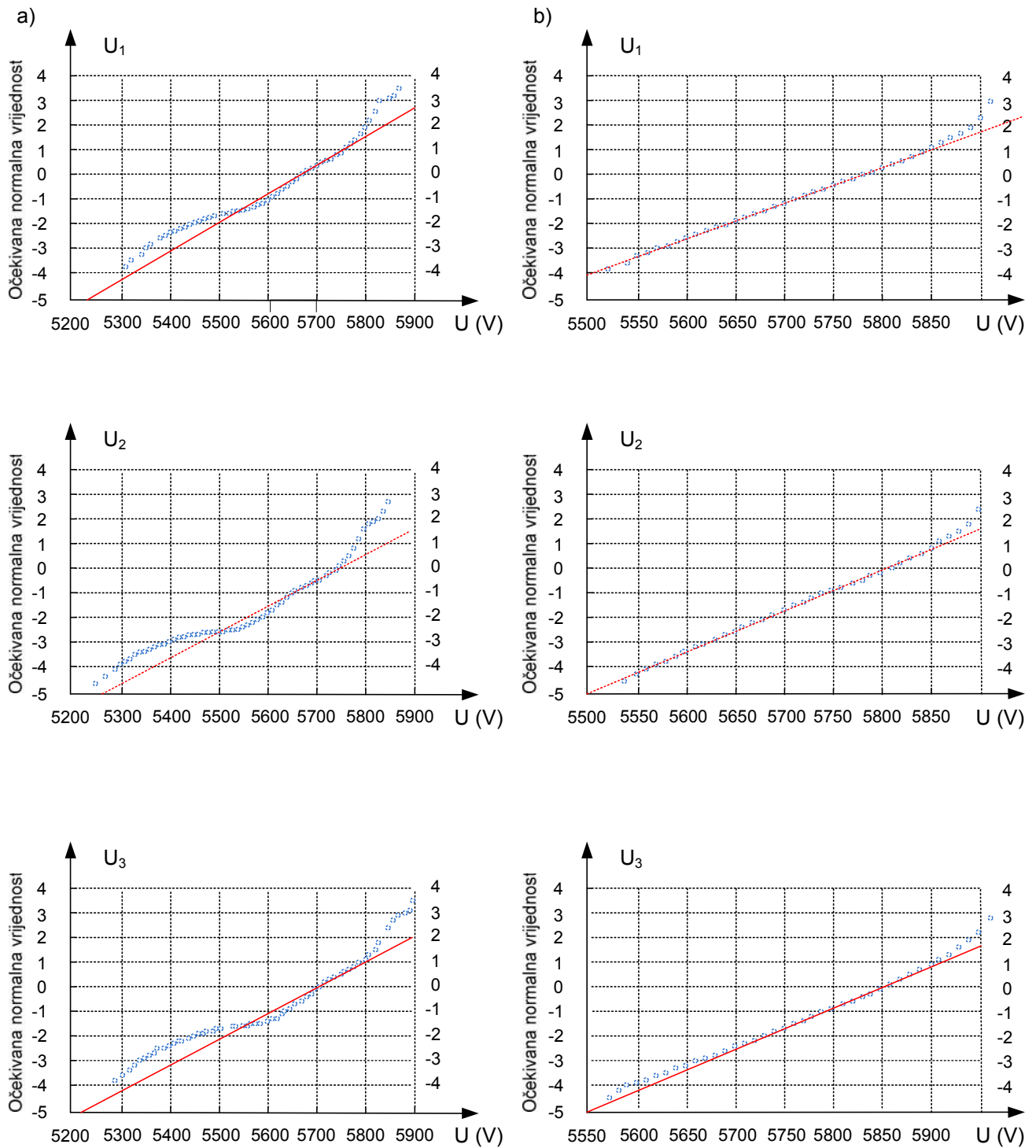
c) faznih napona ($U_{1,2,3}$) u rasklopnici TS 10/0,4 kV Paklenica Gornja – Rasklopnica



SLIKA 4 – Grafički prikaz raspodjele vrijednosti faznih napona u posmatranom čvorištu

a) bez MHE Paklenica (07.07. - 12.09.11.)

b) sa MHE Paklenica (26.02. - 04.05.11.)



SLIKA 5 - Raspodjela vjerovatnoće posmatranih faznih napona prikazana na papiru vjerovatnoće Normalne raspodjele

LITERATURA

1. M. Kušljagić, A. Nuhanović i T. Konjić, "Tehnički uticaji DG na distributivnu mrežu", VIII savjetovanje BiH CIGRE, 2007,
2. P. Osmokrović, M. Pešić, Č. Dolićanin, K. Stanković, "Statističke metode u elektroenergetici", Akademska misao, 2009.