

mr. sc. Alen Katić
HEP - ODS d.o.o., ELEKTRA KARLOVAC
alen.katic@hep.hr

PRIKLJUČENJE MALIH HIDROELEKTRANA NA ELEKTROENERGETSKU RAZDJELNU MREŽU

SAŽETAK

U radu se objašnjava problematika priključivanja malih hidroelektrana na razdjelnu elektroenergetsku mrežu. Razmatraju se utjecaji priključenja malih hidroelektrana na razdjelnu mrežu prilikom priključivanja na NN i SN mreži. Smisao rada je da se problem priključenja male hidroelektrane razmotri sa stanovišta isporučitelja električne energije, odnosno u ovom slučaju iz perspektive HEP-ODS-a.

Utjecaj malih hidroelektrana na razdjelnu mrežu razmatra se i kroz dva konkretna primjera. Na kraju rada daju se smjernice za promjenu postojećih tehničkih uvjeta za priključenje na razdjelnu mrežu HEP-a.

Ključne riječi: mala hidroelektrana, pad napona, tok snage, struja kratkog spoja, paralelni i otočni režim rada

CONNECTION OF SMALL HYDRO POWER PLANT ON ELECTROENERGETICAL DISTRIBUION NETWORK

SUMMARY

Paper describes problems which occur when small hydro power plant is connecting on electroenergetical distribution network. Paper examines problems when small power plants are connecting on LV and MV network. Meaning of the work is to examine problem of connection of small hydro power plant from supplier point of view. In this case it is HEP-ODS perspective.

The influence of small hydro power plants on distribution network is examined through two examples. At the end, paper gives some directions for changes on existing conditions for connection of small hydro power plants on distribution network of HEP.

Key words: small hydro power plant, voltage drop, power flow, shortcut current, parallel work with grid and intentional islanding work with grid

1. UVOD

Prema Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom elektroenergetska suglasnost (OU) je osnovni dokument na temelju kojeg se priključuje novi Kupac električne energije. U elektroenergetskoj suglasnosti se definiraju tehnički parametri koje je nužno zadovoljiti kako bi se Kupac priključio na razdjelnu mrežu HEP - ODS-a (isporučitelj električne energije).

Shodno tome, za priključenje bilo kojeg novog Kupca izdaje se prethodna elektroenergetska suglasnost, odnosno nakon toga i elektroenergetska suglasnost, te se radi priključak i priključuje novi

kupac. Ista procedura vrijedi i za priključivanje malih hidroelektrana (mHE) na razdjelnu mrežu. Razlika je u tome što je priključivanje Kupaca na električnu mrežu jednostavnije jer običan Kupac ima samo trošila priključena na elektroenergetsku instalaciju. Kada se priključuje proizvođač električne energije na razdjelnu mrežu isporučitelj električne energije dobiva aktivni izvor u razdjelnoj mreži što malo zakomplicira vođenje elektroenergetske mreže, te i prilikom priključivanja izvora na elektroenergetsku mrežu treba pripaziti na još dodatne probleme koji se mogu javiti u pogonu.

2. TEHNIČKI UVJETI ZA PRIKLJUČENJE MHE NA RAZDJELNU MREŽU

Prilikom priključivanja Kupca električne energije na razdjelnu mrežu najbitniji podatak je priključna snaga Kupca. Na osnovu tražene priključne snage i planirane godišnje potrošnje električne energije kupca isporučitelj električne energije može odrediti što je sve nužno izgraditi u postojećoj razdjelnoj mreži da bi se novi Kupac priključio.

U ovom slučaju situacija je relativno jednostavna. Ukoliko se Kupac priključuje na postojeću elektroenergetsku mrežu, nužno je izvršiti mjerenja opterećenja razdjelne mreže u toj točki (pad napona) i strujno opterećenje (tok snage) prema budućem Kupcu. Ovim mjerenjima se određuje da li postojeća razdjelna mreža može prihvatiti novu priključnu snagu s obzirom na postojeće padove napona i tokove snaga. Na osnovu dobivenih rezultata isporučitelj električne energije definira uvjete priključenja Kupca na razdjelnu mrežu.

2.1. Utjecaj mHE na tokove snaga i padove napona u razdjelnoj mreži

Za razliku priključivanja Kupaca na elektroenergetsku razdjelnu mrežu, priključivanje proizvođača je nešto kompliciranije. Kao i kod priključivanja Kupca električne energije, nužno je izvesti mjerenja napona u točki priključenja i tok snage u NN ili SN grani koja napaja promatranu točku u kojoj se namjerava spojiti proizvođač električne energije.

Međutim, prilikom priključivanja proizvođača, tok snage u napojnoj grani se smanjuje, te zavisno o nazivnoj snazi generatora u postrojenju proizvođača, taj tok snage može biti i u drugom smjeru, odnosno na početku NN ili SN izlaza iz pojne trafostanice struja može dolaziti iz NN ili SN izlaza u trafostanicu. Ovaj slučaj se javlja kada je snaga koju mHE daje u elektroenergetsku mrežu veća od ukupnog vršnog opterećenja svih Kupaca priključenih na tom NN ili SN izlazu. Priključna snaga distribuiranog izvora mora biti manja od prijenosne moći NN ili SN mreže i napojne transformacije na koju je izvor priključen.

Prilikom promatranja utjecaja distribuiranog izvora na naponske prilike u NN mreži treba pristupiti drugačije nego kod pasivnog potrošača (Kupca). Mrežu je potrebno provjeriti za slučaj kada mHE nije priključena na mrežu, odnosno kada je vršno opterećenje priključenih Kupaca najveće. Tada je pad napona najveći, te mreža mora zadovoljiti.

Prilikom promatranja padova napona treba se u obzir uzeti još i slučaj kada je vršna snaga koju mHE daje u mrežu maksimalna, a vršno opterećenje ostalih Kupaca priključenih na mrežu minimalno. U ovom slučaju je napon u NN mreži s mHE maksimalan, te ne smije biti viši od gornje propisane granice.

Minimalni dozvoljeni faktor snage dozvoljen za mHE iznosi 0,85 ind. [4]. Stoga je nužno da, ukoliko se u mHE ugrađuje asinkroni generator, postrojenje mHE ima kompenzaciju jalove električne energije.

2.2. Paralelni i otočni režim rada

Dva su režima rada koje je moguće ostvariti s priključenom mHE na razdjelnu mrežu: otočni rad i paralelni rad s mrežom. U najvećem broju slučajeva mHE se planira za paralelni rad s mrežom. Razlog tome je taj što je takav pogon puno lakši za izvesti i samim time jeftiniji. Slučaj otočnog rada mHE može biti poželjan u slučajevima kada mHE napaja nekog vrlo osjetljivog Kupca na prekide u napajanju električnom energijom. U slučaju spajanja mHE s mogućnošću otočnog rada, izvor mora zadovoljiti sljedeće kriterije:

- a) instalirana snaga mHE mora biti veća od vršnog opterećenja kupaca električne energije u otočnom radu
- b) za vrijeme otočnog rada mHE mora biti u mogućnosti zadržati propisane napon i frekvenciju u otočnom radu i
- c) prilikom prelaska mHE iz paralelnog rada u otočni mHE mora biti sposobna zadržati propisani napon i frekvenciju i napon u otočnom radu, odnosno mHE mora izdržati skok opterećenja koji se može javiti u prijelazu iz jednog režima rada u drugi.

Ako se na mHE postavlja uvjet za mogućnost otočnog rada najveći problem je automatika i zaštita koju je potrebno ugraditi da bi otočni rad bio moguć. Osim toga, generator mHE mora biti sinkroni generator, što dodatno poskupljuje investiciju. U momentu kada se Kupci u otočnom radu moraju ponovo spojiti na razdjelnu mrežu bez prekida u napajanju, na mjestu spajanja mreža potrebno je ugraditi uređaj za sinkronizaciju kako bi porast struje prilikom priključenja bio što manji, odnosno sinkronizacija na mrežu što bolje izvedena.

Sve navedeno upućuje na činjenicu da je, ukoliko ne postoje opravdani razlozi za otočnim radom, pogodnije predvidjeti mHE samo za paralelni rad s mrežom kako bi mHE bila što jednostavnije izvedena.

2.3. Utjecaj mHE na struje kratkih spojeva u razdjelnoj mreži

Male hidroelektrane mogu utjecati i na struje kratkih spojeva koje se javljaju na mjestu kratkog spoja prilikom pojave kratkog spoja.

U slučaju kada je na mrežu spojena mHE koja ima asinkrone generatore, takav generator daje određenu struju u mrežu samo tijekom prvih nekoliko perioda, odnosno samo za vrijeme početne struje kratkog spoja. Ovaj uvjet vrijedi samo kod trofaznog kratkog spoja. Kod jednofaznog i dvofaznog kratkog spoja asinkroni generator i za vrijeme trajanja trajne struje kratkog spoja daje određenu struju u mrežu.

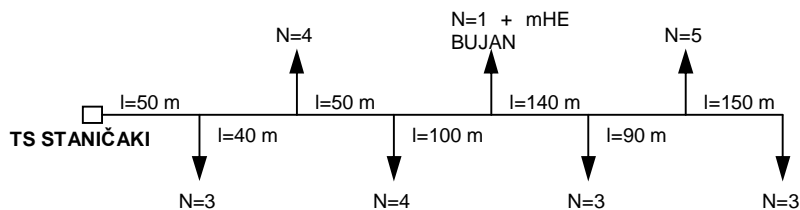
Kod sinkronog generatora situacija je nešto drugačija. Zbog toga što sinkroni generator ima svoju uzбудu, sinkroni generator daje struju kratkog spoja cijelo vrijeme trajanja kratkog spoja u mreži.

Može se zaključiti da mHE utječe na povećanje struja kratkog spoja za vrijeme kratkog spoja. Stoga je nužno, prije priključenja izvora na razdjelnu mrežu, provjeriti uzemljenja mreže na koju se spaja aktivni izvor, kako ne bi došlo, u slučaju kratkog spoja do prevelikog dodirnog napona i napona koraka na metalnim masama koje u normalnom pogonu nisu pod naponom. Isto tako, potrebno je provjeriti postojeću ugrađenu opremu da li zadovoljava s obzirom na struju kratkog spoja koja će se pojaviti u slučaju kratkog spoja.

Utjecaj mHE na povećanje struje kratkog spoja je to veći što se kratki spoj desi bliže mHE i što je veći generator ugrađen u mHE. Najveći utjecaj mHE na povećanje struje kratkog spoja je na sabirnicama generatora ugrađenog u mHE.

3. PRIKLJUČENJE mHE BUJAN NA NISKONAPONSKU RAZDJELNU MREŽU

Na području koje napaja ELEKTRA KARLOVAC na niskonaponsku razdjelnu mrežu je priključena mHE BUJAN. MHE BUJAN je priključena direktnim izlazom na TS STANIČAKI. U mHE se nalazi jedan asinkroni generator nazivne snage od 50 kVA, te je mHE predviđena za paralelni rad s mrežom bez mogućnosti otočnog rada. Direktni NN izlaz iz TS STANIČAKI je izveden kabelom XOO/O-A 3x70+71,5 mm².



Slika 1. Shema NN izlaza prema mHE BUJAN

Na slici 1 može se vidjeti izgled NN izlaza prema mHE BUJAN. Proračun pada napona i struje kratkog spoja izvesti će se s mHE BUJAN i bez nje. S obzirom da je mHE u stvarnosti spojena direktnim izlazom iz TS STANIČAKI, proračun će se sastojati iz tri slučaja:

- d) proračun s mHE BUJAN na direktnom izlazu iz trafostanice,
- e) proračun bez mHE BUJAN i
- f) proračun s mHE BUJAN spojenom na mrežu.

Na slici 1) slovo "N" se odnosi na broj Kupaca koji su priključeni na promatranoj dionici, slovo "l" se odnosi na duljinu dionice. Cjelokupna mreža je izvedena samonosivim kabelskim snopom XOO/O-A 3x70 + 71,5 mm².

3.1. Proračun s mHE BUJAN na direktnom izlazu iz trafostanice

Za ovaj proračun upotrijebiti će se formula za proračunavanje padova napona u NN mrežama:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{10 \cdot U^2} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi) [\%] \quad (1)$$

gdje su:

ΔU - postotni pad napona na promatranoj dionici,
P - snaga u kW (u ovom slučaju snaga generatora u mHE BUJAN),
l - duljina dionice NN mreže u km (udaljenost mHE i TS STANIČAKI),
U - nazivni napon NN mreže (0,4 kV),
r - otpor NN mreže u Ω/km (za promatrani kabel 0,496 Ω/km),
x - reaktancija NN mreže u Ω/km (za promatrani kabel 0,077 Ω/km) i
 $\operatorname{tg} \varphi$ - tangens kuta pomaka.

Kada se navedeni podaci uvrste u formulu (1) dobije se rezultat da postotni pad napona iznosi 3,7 %, dok je maksimalna struja u NN kabelu do mHE BUJAN 72,3 A. Ovaj rezultat zadovoljava jer su i porast napona prema mHE i struja u dionici NN mreže u granicama dozvoljenih.

Formula za proračun jednofazne struje kratkog spoja u promatranoj NN mreži glasi:

$$I_{1pKS} = \frac{C \cdot \sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(2 \cdot R + R_0)^2 + (2 \cdot X + X_0)^2}} \parallel X_{AG} [kA] \quad (2)$$

gdje su:

C - konstanta koja iznosi 0.95,
U - nazivni napon NN mreže (0,4 kV),
R - ukupni otpor petlje u Ω (za promatrani kabel 0,496 Ω/km),
 R_0 - ukupni nulti otpor petlje u Ω (za promatrani kabel 4,37 Ω/km),
X - ukupna reaktancija petlje u Ω (za promatrani kabel 0,27 Ω/km),
 X_0 - ukupna nulta reaktancija petlje u Ω (za promatrani kabel 0,507 Ω/km) i
 X_{AG} - reaktancija asinkronog generatora u Ω (za promatrani generator 58,8 Ω).

Kada se navedeni podaci uvrste u formulu (2) dobije se rezultat da početna struja jednofaznog kratkog spoja na mjestu spajanja mHE BUJAN na NN mrežu iznosi 807,5 A.

3.2. Proračun bez mHE BUJAN

Za ovaj proračun upotrijebiti će se malo izmijenjena formula za proračunavanje padova napona u NN mrežama:

$$\Delta U = \frac{\sum_{i=1}^n P \cdot l}{10 \cdot U^2} (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi) [\%] \quad (3)$$

Ova formula je ista kao i (1) tako da su i značenja varijabli u formuli identična onima u (1). Razlika je u tom što je "P" snaga u kW svakom pojedinom Kupca spojenog na mrežu i "l" duljina dionice NN mreže u km prema slici 1.

Umnožak snage i duljine se izvodi za svaku od sedam dionica mreže prema slici 1. Kada se navedeni podaci uvrste u formulu (3) dobije se rezultat da postotni pad napona iznosi 2,9 %, dok je maksimalna struja u NN kabelu na početku NN izlaza 46,7 A. Ovaj rezultat zadovoljava jer je napon na kraju dionice i struja u dionici NN mreže u granicama dozvoljenih.

Formula za proračun jednofazne struje kratkog spoja u promatranoj NN mreži glasi:

$$I_{1pKS} = \frac{C \cdot \sqrt{3} \cdot U}{\sqrt{(2 \cdot R + R_0)^2 + (2 \cdot X + X_0)^2}} [kA] \quad (4)$$

Formula je identična onoj pod (2), samo bez varijable X_{AG} . Kada se navedeni podaci uvrste u formulu (2) dobije se rezultat da početna struja jednopolnog kratkog spoja na mjestu spajanja mHE BUJAN na NN mrežu iznosi 796,3 A.

3.3. Proračun s mHE BUJAN spojenom na NN mrežu

Za ovaj proračun upotrijebiti će se malo izmijenjena formula za proračunavanje padova napona u NN mrežama. Biti će upotrebljen iterativni postupak za proračun tokova snaga i padova napona. Razlog zašto se ne može koristiti formula pod (1) je taj što NN mreža ima dva aktivna izvora. Za sve grane na slici (1) vrijedi:

$$S_i^{\wedge} = S_i^{\prime\prime} + dS_i \quad (5)$$

$$dS_i = \left| \frac{S_i^{\prime\prime}}{U_i} \right|^2 \cdot Z_i \cdot \frac{1}{1000} \quad (6)$$

$$S_i^{\prime\prime} = \sum S_i^{\wedge} + S_i \quad (7)$$

gdje su:

- S_i^{\wedge} - tok prividne snage neposredno uz početno čvorište grane (kVA),
- $S_i^{\prime\prime}$ - tok prividne snage neposredno uz krajnje čvorište grane (kVA),
- dS_i - gubitak prividne snage (kVA),
- i - indeks grane,
- k - oznaka iteracije,
- U - napon čvorišta (kV). Napon U_i se odnosi na napon na kraju grane i
- Z - impedancija grane (Ω).

Izrazi (5), (6) i (7) se mogu izvesti iz slike (1) Izrazom (5) prividna snaga koja izlazi iz dionice voda jednaka je snazi koja ulazi zbrojena s gubicima u toj dionici. Izrazom (6) izračunava se gubitak snage u dionici iz snage koja izlazi, napona na kraju dionice i otpora dionice. Izrazom (7) koji se odnosi na jedno čvorište snaga koja ulazi u čvorište jednaka je snazi koja izlazi zbrojenom sa svim snagama točkama opterećenja koje su spojene na čvorište. Zbrajanje se provodi po svim granama koje izlaze iz krajnjeg čvorišta i - te grane. Sve varijable s kojima se računa u prethodnim izrazima su kompleksni brojevi.

Izraz koji se koristi u iterativnom postupku glasi:

$$U_{i,k} = U_{poc,k-1} - \left(\frac{S_{i,k-1}^{\wedge}}{U_{poc,k-1}} \right) \cdot Z_i \cdot \frac{1}{1000} \quad (8)$$

U izrazu (8) indeks *poc* se odnosi na početak i -te grane.

U nultoj iteraciji, prema izrazima (5), (6) i (7) se računaju sve snage u mreži na osnovu ulaznih podataka, tj. snaga opterećenja i otpora dionica. Za napone čvorišta se uzimaju nazivni naponi.

Nakon izračuna svih snaga pristupa se prvoj iteraciji. Ona se provodi tako da se na osnovu dobivenih snaga iz nulte iteracije izračunaju naponi čvorišta prema izrazu (8) Tada se opet izračunavaju snage za nove vrijednosti izračunatih napona čvorišta. Dobiveni rezultati se uspoređuju sa rezultatima iz prethodne iteracije i ako greška nije veća od dozvoljene prekida se s iterativnim postupkom. Ako je greška veća, iterativni postupak se nastavlja. Valja napomenuti da se snage izračunavaju od kraja mreže prema izvoru, dok se naponi proračunavaju u obrnutom toku, tj. od izvora prema krajevima mreže.

3.4. Komentar rezultata s mHE BUJAN spojenom na NN mrežu

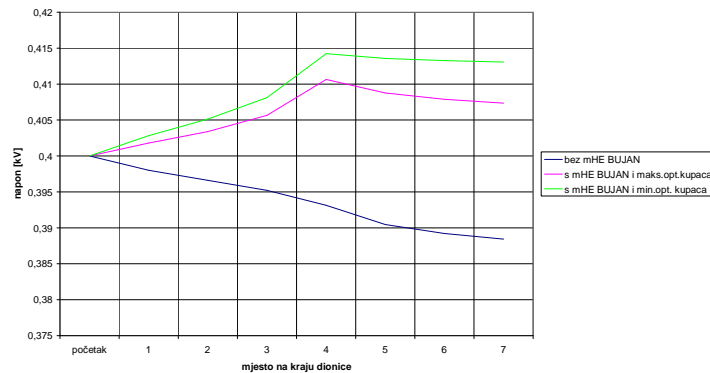
Nakon proračuna, dobiveni su slijedeći rezultati, koji su vidljivi u tablici I za padove napona.

Kao što se vidi iz tablice I i slike 2), bez mHE priključene na NN izlazu, napon pada prema kraju dalekovoda. Kod priključene mHE na sustav i maksimalnog opterećenja Kupaca na sustav napon prvo raste do točke priključka mHE na mrežu, te nakon toga počinje padati. Ovaj efekt je još izraženiji kod priključke mHE, te s minimalnim opterećenjima Kupaca priključenih na mrežu. Razlog tome je taj što mHE daje snagu (u ovom slučaju maksimalnu) u elektroenergetski sustav koje je veća od potreba konzuma u NN izlazu. Tada se dio proizvodnje električne energije daje u sustav.

Tablica I. Padovi napona na DV 10(20) kV Bubernarci za različita stanja

	bez mHE	s mHE i maks.opt.	s mHE i min.op.
početak	0,40	0,40	0,40
1	0,40	0,40	0,40
2	0,40	0,40	0,41
3	0,40	0,41	0,41
4	0,39	0,41	0,41
5	0,39	0,41	0,41
6	0,39	0,41	0,41
7	0,39	0,41	0,41

Ovisnost napona na kraju promatrane dionice o priključenju mHE BUJAN na mrežu i opterećenju Kupaca



Slika 2. Graf padova napona na NN izlazu prema mHE BUJAN

Prema proračunima struja kratkih spojeva u poglavljima 3.1., 3.2. i 3.3. početna struja jednopolnog kratkog spoja s priključenom mHE BUJAN na direktnom izlazu i na NN mreži iznosi 807,5 A, dok početna struja jednopolnog kratkog spoja na mjestu priključka mHE na mrežu, bez mHE iznosi 796,3 A. Ovdje se vidi da je mHE svojim priključkom pridonijela povećanju struje kratkog spoja.

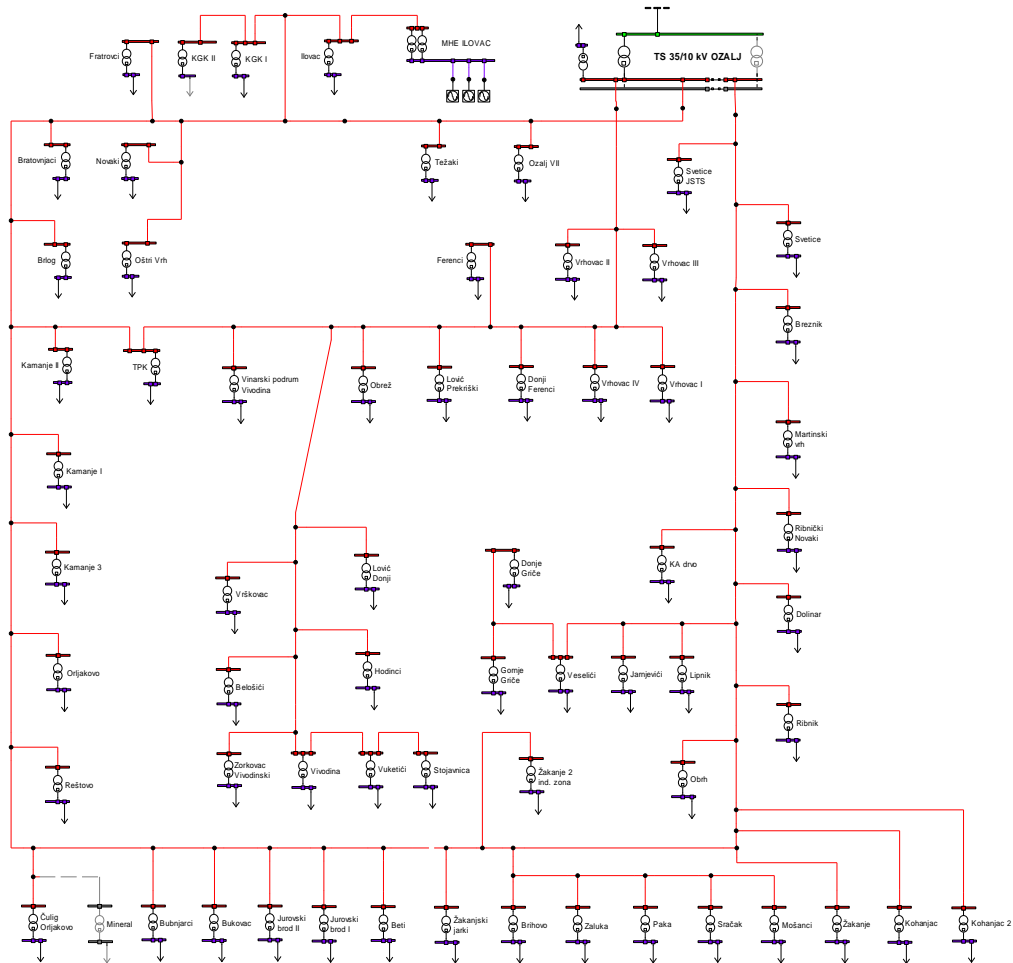
4. PRIKLJUČENJE mHE ILOVAC NA SREDNENAPONSKU RAZDJELNU MREŽU

Na području koje napaja ELEKTRA KARLOVAC postoji plan izgradnje mHE ILOVAC koje se nalazi u blizini grada Ozlja. MHE ILOVAC će biti priključena na magistralni DV 10(20) kV BUBNJARCI, odcjep prema TS ILOVAC podzemnim kabelom XHE 49-A 3x(1x150/25 mm²), 20 kV. U mHE se nalaze tri sinkrona generatora nazivne snage od 500 kVA, te je mHE predviđena za paralelni rad s mrežom bez mogućnosti otočnog rada.

Na slici 3 može se vidjeti izgled 10(20) kV mreže koju napaja mHE ILOVAC. Magistralni DV 10(20) kV BUBNJARCI napaja 22 trafostanice 10(20)/0,4 kV. Prva trafostanica na dalekovodu je TS 10(20)/0,4 kV Ozalj 7, dok je zadnja trafostanica TS 10(20)/0,4 kV Beti. Proračuni koji će biti obrađeni odnose se na normalni režim rada, odnosno na slučaj kada nema ispada u 10(20) kV mreži. U vrijeme raznih prekapčanja mreže uslijed raznih uzroka, sistem napajanja se mijenja, tako da DV 10(20) kV BUBNJARCI može napajati i šire područje. Proračun pada napona i struje kratkog spoja izvesti će se s mHE ILOVAC i bez nje za normalno uklopno stanje i za tri slučaja:

- proračun tokova snaga, padova napona i struja kratkih spojeva bez mHE ILOVAC,
- proračun tokova snaga, padova napona i struja kratkih spojeva s mHE ILOVAC s maksimalnim opterećenjima Kupaca i
- proračun tokova snaga, padova napona i struja kratkih spojeva s mHE ILOVAC s minimalnim opterećenjima Kupaca.

Proračun 10(20) kV mreže koju napaja mHE ILOVAC biti će izveden pomoću programskog paketa POWERCAD 4.0.



Slika 3. Shema 10(20) kV mreže koju napaja mHE ILOVAC

4.1. Komentar rezultata s mHE BUJAN spojenom na NN mrežu

Nakon proračuna, dobiveni su slijedeći rezultati, koji su vidljivi u tablici II, za padove napona i u tablici III za struje kratkih spojeva.

Kao što se vidi iz tablice II, bez mHE priključene na DV 10(20) kV BUBNJARCI, napon pada prema kraju dalekovoda. Kod priključene mHE na sustav i maksimalnog opterećenja Kupaca na sustav napon pada, ali malo polaganije. Razlog tome je taj što mHE daje snagu (u ovom slučaju maksimalnu) u elektroenergetski sustav. Najlošiji slučaj je kada su opterećenja Kupaca na DV 10(20) kV BUBNJARCI minimalno, a snaga koju daje mHE u sustav maksimalna. Onda se može vidjeti, da do mjesta priključka mHE na sustav, napon raste, pa tek onda počinje padati. Razlog tome je taj što na toj dionici dalekovoda struja teče prema pojnoj trafostanici TS 35/10 kV OZALJ, odnosno, proizvodnja električne energije mHE je viša od momentalnih potreba na DV 10(20) kV BUBNJARCI pa se višak daje u elektroenergetski sustav.

Tablica II. Padovi napona na DV 10(20) kV Bubnjarci za različita stanja

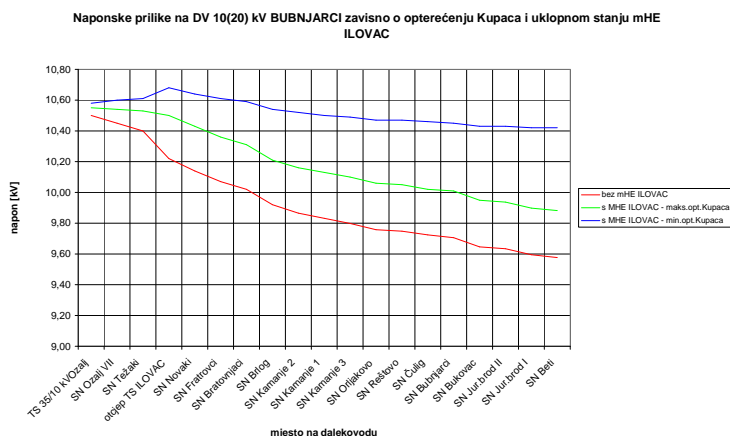
Mjesto na kojem se izračunava napon	bez mHE	s mHE - maksimalno opterećenje Kupaca	s mHE - minimalno opterećenje Kupaca
	U[kV]	U[kV]	U[kV]
TS 35/10 kV Ozalj	10,50	10,55	10,58
SN Ozalj VII	10,45	10,54	10,60
SN Težaki	10,40	10,53	10,61
otcjep TS ILOVAC	10,22	10,50	10,68
SN Novaki	10,14	10,43	10,64
SN Fratrovci	10,07	10,36	10,61
SN Bratovnjaci	10,02	10,31	10,59
SN Brlog	9,92	10,21	10,54
SN Kamanje 2	9,87	10,16	10,52
SN Kamanje 1	9,83	10,13	10,50
SN Kamanje 3	9,80	10,10	10,49
SN Orljakovo	9,76	10,06	10,47
SN Reštovo	9,75	10,05	10,47
SN Čulig	9,72	10,02	10,46
SN Bubnjarci	9,71	10,01	10,45
SN Bukovac	9,65	9,95	10,43
SN Jur.brod II	9,63	9,94	10,43
SN Jur.brod I	9,60	9,90	10,42
SN Beti	9,58	9,88	10,42

Tablica III. Struje kratkih spojeva na DV 10(20) kV Bubnjarci za različita stanja

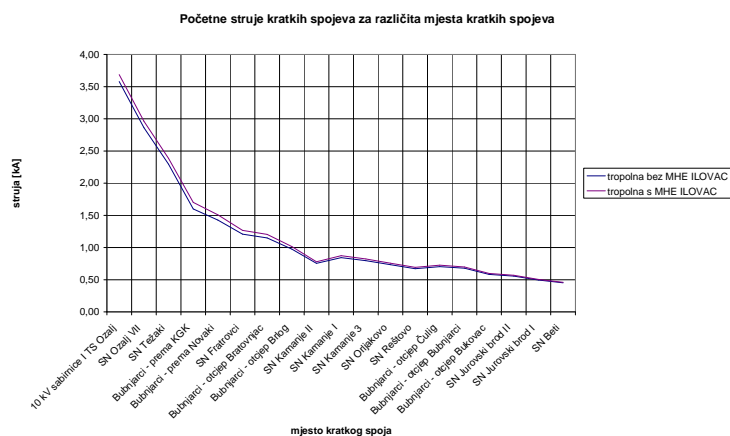
Naziv	Početne struje kratkih spojeva bez mHE ILOVAC				Početne struje kratkih spojeva s mHE ILOVAC			
	Ik3 [kA]	Ik1 [kA]	Ik2 [kA]	Ik2Z [kA]	Ik3 [kA]	Ik1 [kA]	Ik2 [kA]	Ik2Z [kA]
10 kV sabirnice I TS Ozalj	3,58	0,16	3,10	3,14	3,69	0,16	3,19	3,23
SN Ozalj VII	2,86	0,16	2,48	2,52	2,96	0,16	2,57	2,60
SN Težaki	2,29	0,16	1,99	2,02	2,39	0,16	2,07	2,10
Bubnjarci - prema KGK	1,60	0,16	1,39	1,42	1,70	0,16	1,47	1,51
Bubnjarci - prema Novaki	1,43	0,15	1,24	1,27	1,51	0,15	1,31	1,34
SN Fratrovci	1,21	0,15	1,05	1,07	1,27	0,15	1,10	1,13
Bubnjarci - otcjep Bratovnjaci	1,15	0,15	1,00	1,02	1,21	0,15	1,04	1,07
Bubnjarci - otcjep Brlog	0,98	0,15	0,85	0,87	1,02	0,15	0,88	0,91
SN Kamanje II	0,75	0,14	0,65	0,67	0,78	0,14	0,67	0,70
SN Kamanje I	0,84	0,14	0,73	0,75	0,87	0,14	0,76	0,78
SN Kamanje 3	0,80	0,14	0,69	0,71	0,82	0,14	0,71	0,73
SN Orljakovo	0,73	0,14	0,64	0,66	0,76	0,14	0,66	0,68
SN Reštovo	0,67	0,13	0,58	0,60	0,69	0,13	0,60	0,62
Bubnjarci - otcjep Čulig	0,70	0,14	0,61	0,63	0,73	0,14	0,63	0,65
Bubnjarci - otcjep Bubnjarci	0,68	0,13	0,59	0,61	0,70	0,13	0,60	0,62
Bubnjarci - otcjep Bukovac	0,58	0,13	0,51	0,52	0,60	0,13	0,52	0,54
SN Jurovski brod II	0,56	0,13	0,48	0,50	0,57	0,13	0,49	0,51
SN Jurovski brod I	0,50	0,12	0,43	0,44	0,51	0,12	0,44	0,45
SN Beti	0,45	0,12	0,39	0,41	0,46	0,12	0,40	0,41

Situacija sa strujama kratkih spojeva je u skladu s prije navedenim. Priključkom mHE na elektroenergetski sustav povećavaju se i struje kratkih spojeva. Razlog tome je činjenica da i mHE daje svoj doprinos struji kratkog spoja na mjestu kratkog spoja što se jasno vidi iz rezultata proračuna. Struja jednopolnog kratkog spoja je identična u oba slučaja. Razlog tome je taj što TS 10(20)/0,4 kV MHE

ILOVAC nema uzemljeno zvjezdište nul točke na primaru transformatora 10(20)/0,4 kV, tako da se nulta komponenta struje kratkog spoja ne može zatvoriti.



Slika 4. Graf padovi napona na DV 10(20) kV Bubnjarci za različita stanja



Slika 5. Graf struja kratkih spojeva na DV 10(20) kV Bubnjarci za različita stanja

5. VAŽEĆE GRANSKE NORME HEP-a ZA PRIKLJUČAK MALIH HIDROELEKTRANA

Postojeće Granske norme potrebno je proširiti za sve mE, odnosno i one koje proizvode istosmjerni napon. Ukoliko se ne prošire postojeće granske norme, potrebno je za spomenute objekte izdati nove granske norme. U postojećim granskim normama potrebno je obraditi i otočni rad, pošto se ove granske norme prema članku 3. odnose samo na paralelni rad s mrežom.

Granske norme nisu usklađene s novim OU i Mrežnim pravilima. Potrebno je izraditi nove obrasce zahtjeva za EES i PEES i obrasce PEES i EES, pošto postojeći nisu usklađeni s navedenim propisima. Isto tako, granske norme nisu usklađene s novim Zakonom o prostornom uređenju i građenju u smislu pojmova i upravne procedure ishođenja potvrde glavnog projekta.

U članku 15. i 16. se nepotrebno postavljaju granice do koje snage se mogu priključivati mE na NN odnosno SN mrežu.

Obaveznu zaštitu mHE je potrebno uvjetovati prema tipu generatora (asinkroni ili sinkroni), a ne prema snazi generatora i mjestu spajanja. Kao posljedica sadašnjih granskih normi, uvjetuju se neke zaštite generatora koje za određene tipove nisu uobičajene (tipa podfrekventna i nadfrekventna zaštita asinkronog generatora).

6. ZAKLJUČAK

Nakon zaprimanja valjanog zahtjeva za prethodnu elektroenergetsku suglasnost potrebno je obavezno snimiti postojeće stanje tokova snaga i padova napona u mreži na koju se želi priključiti mHE. Nakon toga, potrebno je predvidjeti slučaj kada je mHE priključena na mrežu i kada je proizvodnja električne energije u mHE maksimalna, a potrošnja električne energije u mreži minimalna. Ukoliko je povećanje napona iznad dopuštenih granica, potrebno je pribjeći zahvatu postojećoj mreži kako bi se smanjile varijacije napona i omogućilo tehnički ispravno priključenje.

Priključak mHE moguće je riješiti i direktnim izlazom iz trafostanice, ali onda se mora paziti da napon u mHE ne prijeđe iznad dozvoljene gornje granice, jer nema potrošnje električne energije na izlazu.

U prethodnoj elektroenergetskoj suglasnosti potrebno je obavezno pisati struje kratkog spoja na mjestu spajanja mHE na razdjelnu mrežu. Prilikom izrade projekta elektroenergetskog priključka mHE obavezno se moraju proračunati novonastale struje kratkog spoja, te za te struje provjeriti ugrađena oprema u razdjelnoj mreži.

Da bi se izbjegao pogon mHE za vrijeme ispada napojne mreže (u slučaju s mHE sa sinkronim generatorima) treba se riješiti nadzor pogona mHE. Odnosno, kada dođe do ispada napojnog dalekovoda, mora doći i do prekida u napajanju od strane mHE, kako ne bi došlo do neželjenog otočnog rada u kojem mHE ne bi bila u stanju ispuniti prije navedena tri uvjeta nužna za otočni rad.

Pogon mHE treba riješiti posebnim uputama koje moraju biti usklađene s vođenjem pogona isporučitelja el energije.

LITERATURA

- [1] prof.dr. Davor Škrlec, prof.dr. Slavko Krajcar, Alen Katić, dipl.ing.el., "Utjecaj distribuiranih izvora na planiranje razdjelne mreže", 5. simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti HK - CIGRE, Zadar, travanj 2004. godine
- [2] mr.sc. Alen Katić, "Utjecaj distribuirane proizvodnje na planiranje elektroenergetske razdjelne mreže", Magistarski rad, FER ZAGREB, Zavod za visoki napon i energetiku, ožujak 2006. godine
- [3] "Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom", (NN 14/06)
- [4] "Mrežna pravila elektroenergetskog sustava", (NN 36/06)
- [5] "Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede klas. br. 4.25/97, N.073.01.", (Bilten 66), 20. siječnja 1998. godine