

## **MIKRO MREŽE U ENERGETSKOM SISTEMU SRBIJE: MOGUĆNOSTI I IZAZOVI**

D. STEVANOVIĆ, EPS, Zaječar, Srbija  
A. JANJIĆ, Univerzitet Niš, Elektronski fakultet, Srbija

### **UVOD**

Novi zahtevi koji se postavljaju pred savremenim elektroenergetskim mrežama obuhvataju primenu novih tehnoloških inovacija, te usklađivanje zahteva vezane za zaštitu okoline sa zahtevima vezanim uz trgovinu. Sigurnost i zaštita sistema, uticaj okoline, kvalitet i cena električne energije, kao i energetska efikasnost posmatraju se na novi način s obzirom na potrebe u liberaliziranom tržištu. Tehnologije budućnosti takođe moraju dokazati pouzdanost, održivost i isplativost.

Na nivou distributivnih mreža, novi uslovi zahtevaju razvoj:

- a) distributivnih mreža s distribuiranom proizvodnjom (proizvodnji električne energije na lokaciji potrošača) i obnovljivim izvorima energije, koje su ili priključene lokalnom operatoru distributivnog sistema ili samostalne (nemaju priključak s lokalnim operatorom distributivnog sistema)
- b) distributivnih mreža koje omogućavaju upravljanje zahtevima krajnjih korisnika za energijom preko naprednih mernih sistema
- c) distributivnih mreža koje koriste tehnologije dinamičkog upravljanja prenosom, te koje koriste poboljšane nivoe sigurnosti, kvaliteta, pouzdanosti i dostupnosti električne energije.

Može se zaključiti da se distributivne mreže pretvaraju iz pasivnih u aktivne mreže u smislu da je donošenje odluka i upravljanje i dalje obaveza distribucije, ali su tokovi snaga dvosmerni. Takav oblik mreže osim što omogućava korišćenje distribuirane proizvodnje i obnovljivih izvora energije te skladištenje energije, omogućava i uvođenje nove opreme i usluga, uz uvažavanje uobičajenih protokola i standarda. Svrha je aktivne distribucijske mreže uspešno povezati izvore energije sa zahtevima korisnika, omogućavajući i jednima i drugima da odluče kako najbolje poslovati u stvarnom vremenu. Proračun tokova snaga, kontrola napona i zaštita sistema zahtevaju prihvatljive tehnologije te novi informacioni i komunikacioni sistem.

Mikro mreže mogu imati važnu ulogu u transformaciji električne mreže, pre svega zbog mogućnosti rada u ostrvskom režimu, autonomno od ostatka energetskeg sistema, čime se povećava pouzdanost sistema. Mikro mreža je integrisani energetske sistem sa lokalnim opterećenjima, izvorima energije, uređajima za skladiranje energije (baterije). Sistem mikro mreže je obično predviđen za rad u ostrvskom režimu rada (odvojeno od mreže) ili može raditi povezan na mrežu [1-6].

Energetski sistem Srbije ima veliki potencijal za korišćenje mikro mreža, naročito u ruralnim oblastima. Ovaj rad analizira mogućnosti rada 10 kV izvoda kao mikro mreže. Razmatrani izvod napaja 6 sela, sa 643 domaćinstava, odnosno 2338 stanovnika, i sastoji se od 14 trafo stanica 10/0,4 kV.

Izvori koji napajaju mikro mrežu su mikro i mini hidro elektrane, PV paneli i vetro generatori. Geografsko područje na kome se nalazi razmatrani 10 kV izvod ima veliki hidro potencijal, koji se sastoji od jedne reke i četiri potoka. Broj sunčanih časova godišnje na području opštine Sokobanja je 1861h godišnje, što je zadovoljavajuće za napajanje solarnih panela. U narednim poglavljima biće predstavljen proračun potrebnih kapaciteta za napajanje izvoda, kao i određivanje potrebne relejne zaštite i raspored rada distribuiranih izvora.

## 10 KV IZVODA KAO MIKROMREŽA

U ovom radu analizira se mogućnost rada 10 kV izvoda kao mikro mreže. Razmatrani izvod napaja 6 sela, sa 643 domaćinstava, odnosno 2338 stanovnika, i sastoji se od 14 trafo stanica 10/0,4 kV. Ovaj izvod „Zapadna sela“ napaja se iz TS 35/10 kV „Sokobanja“. Izvod je realizovan kao nadzemni i napaja seoska domaćinstva na području 6 sela, gde ukupna dužina izvoda iznosi 18 km. Na izvodu je priključeno 643 domaćinstava, odnosno 2338 kupaca. Napajanje krajnjih kupaca vrši se putem 14 trafo stanica 10/0,4kV različitih snaga u zavisnosti od konzuma koji napajaju (2x250kVA, 1x160kVA, 4x100kVA, 7x50kVA). U radu će biti predstavljena analiza mogućnosti rada navedenog 10 kV izvoda kao mikro mreže, koja bi bila napajana putem obnovljivih izvora energije.

## Potrebni kapaciteti

Jednopolna šema razmatranog 10 kV izvoda „Zapadna sela“ je prikazana na slici 1. Uzimajući u obzir merenja sa 10 kV izvoda, i demografske podatke sa iste teritorije, dobijen je približan dijagram dnevnog opterećenja (slika 2).

## Hidro energija

Na 10 kV izvodu „Zapadna sela“ biće priključeno ukupno 5 malih hidroelektrana. Hidro elektrana obeležena sa H1 (slika 1), biće najveće snage, odnosno 500kW, dok će ostale hidroelektrane (H2, H3, H4 i H5) biti manje snage (tri od 100kW i jedna od 50kW). Tabela I prikazuje količinu protoka vode i raspoloživu snagu svake hidroelektrane.

Proračun očekivane snage hidroelektrane:

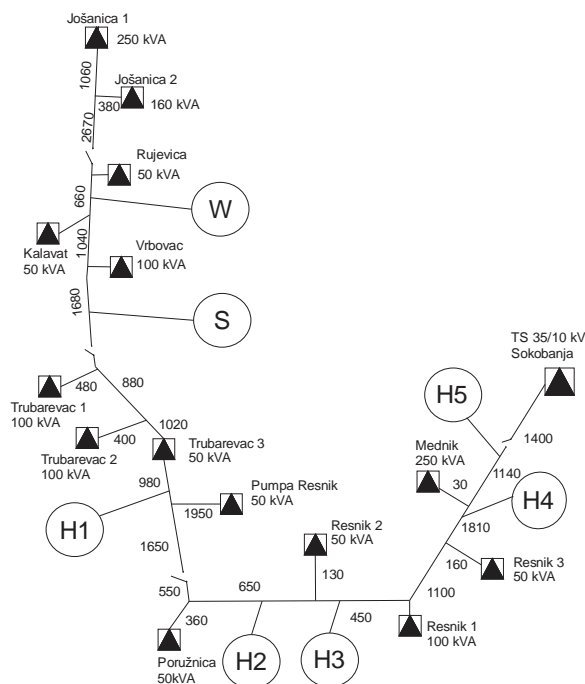
$$P = 9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad [kW] \quad (1)$$

Q – količina vode (m<sup>3</sup>/s)

H – visinski pad (m)

η – efikasnost (%)

Hidroelektrana „Moravica“ (H1) će raditi konstantno ( $P_{H1} = 490,5 kW$ ), dok će se ostale hidroelektrane koristiti za pokrivanje dnevnih vrhova opterećenja ( $P_{H2,5} = 377,685 kW$ ), a tokom noći će raditi konstantno.

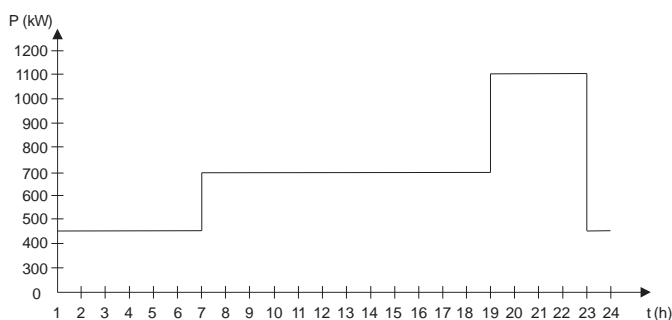


Slika 1 - Šema 10kV izvoda „Zapadna sela“ sa povezanim obnovljivim izvorima energije

Na slici 1 prikazan je 10 kV izvod „Zapadna sela“ sa pripadajućim 10/0,4kV trafo stanicama i lokacijama priključenja obnovljivih izvora energije. Na slici su navedene snage transformatora i dužine deonica na izvodu u metrima.

TABELA I - Dobijene vrednosti za hidrogeneratore

Oznaka	Količina vode (m <sup>3</sup> /s)	Visina (m)	Efikasnost (%)	Snaga (kW)
H5	0,5	50	50	122,6
H4	0,3	50	50	73,6
H3	0,5	50	50	122,6
H2	0,3	40	50	58,9
H1	10	10	50	490,5
Ukupno				868,2



Slika 2 - Aproksimacija dnevnog dijagrama opterećenja

## Vetro generatori

Samo 3% energije sunca koja dospe na zemlju se pretvara u kretanje vetra, i tako dobijena energija nije zanemariva. Jedna od prednosti vetro generatora je dostupnost energije, što samu investiciju čini isplativom [1]. Na osnovu preporuke ministarstva rudarstva i energetike, lokacija je isplativa za ulaganje ukoliko je najmanja prosečna brzina vetra godišnje između 4.9 – 5.8 m/s. [1]

### Proračun dostupnih kapaciteta vetro generatora [2].

Dužina kraka:  $l = 3m$

Brzina vetra:  $v = 15 \text{ m/s}$

Gustina vazduha:  $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$

Koeficijent snage:  $C_p = 0.4$

Radna površina predstavlja jednačinu kruga:

$$A = r^2 \cdot \pi = 3 \cdot \pi = 9.42 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Snaga pretvorena iz energije vetra u rotacionu energiju:

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p = \frac{1}{2} \cdot 1.23 \cdot 9.42 \cdot 15^3 \cdot 0.4 = 7,8 \text{ kW} \quad (3)$$

### Broj potrebnih vetro generatora za dobijanje snage od 200 kW.

$$N_{wg} = \frac{P_{uk}}{P_1} = \frac{200}{7,8} = 25 \quad (4)$$

Da bi se prevazišao problem nejednakih vremenskih uslova, potrebna je upotreba sistema baterija.

### PV paneli

Zemlja dobije više energije od sunca tokom jednog časa, nego što čovečanstvo potroši za celu godinu. Količina solarne energije koja dospe na zemlju je dva puta veća od energije dobijene putem svih ostalih obnovljivih izvora na planeti [1]. Broj sunčanih dana na području razmatranog 10 kV izvoda je jako pogodan sa aspekta upotrebe energije sunca. U tabeli II je prikazano trajanje sunčevog zračenja za svaki mesec u godini, za područje opštine Sokobanja.

TABELA II - Trajanje sunčevog zračenja na mesečnom nivou, za teritoriju opštine Sokobanja [3]

Mesec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Ukupno
Časova (h)	59	74	121	161	201	224	
Mesec	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec	1861
Časova (h)	267	262	208	158	78	48	

### Proračun očekivane godišnje energije solarnih panela.

$$W = P \cdot t \cdot 0.75 \quad \left[ \frac{kWh}{year} \right]$$

$$W = 200 \cdot 1861 \cdot 0.75 = 279 \, 150 \frac{kWh}{year}$$

$W$  – energija sa PV panela tokom godine [kWh/year]

$P$  – snaga PV panela [kW]

$t$  – broj sunčanih dana tokom godine [h]

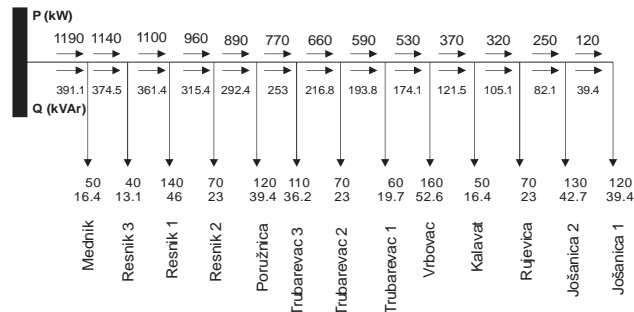
$\eta = 0.75$  – prosečni gubici sistema

**Proračun potrebne površine za postavljanje PV panela.** Za postavljanje sistema solarnih panela od 200 kW potrebna površina je:

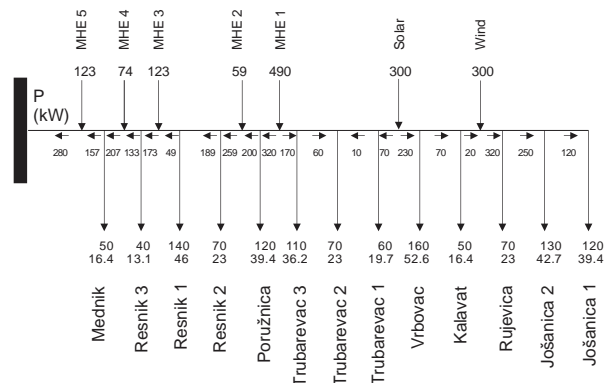
$$A = \frac{P \text{ (kW)}}{0,8} = \frac{200}{0,8} = 250 \text{ m}^2$$

## PRORAČUN TOKOVA SNAGA I PODEŠAVANJE RELEJNE ZAŠTITE

**Tokovi snaga.** Tokovi su dati za dva slučaja. Prvi slučaj analizira rad 10 kV izvoda kada se napaja iz TS 35/10 kV „Sokobanja“, a drugi slučaj je rad 10 kV izvoda kao mikro mreže. Oba slučaja su prikazana na slici 3 i slici 4. Slika 4 predstavlja slučaj kada su svi obnovljivi izvori u pogonu sa punim kapacitetom. U tom slučaju oni proizvode 280 kW snage više nego što je potrebno za napajanje potrošača. Ali, zbog promene vremenskih uslova, tokovi snaga u ostrvskom režimu su takođe promenljivi. U drugim situacijama, tokovi snaga biće različiti, i može biti potrebna upotreba baterija.



Slika 3 - Tokovi snaga kada se izvod napaja iz TS 35/10kV



Slika 4 - Tokovi snaga u ostrvskom režimu rada

**Relejna zaštita.** Većina distributivnih sistema su radijalnog oblika, gde snaga teče u jednom smeru od trafo stanice do krajnjih kupaca. Koordinacija zaštitnih uređaja na osnovu struje u takvim sistemima se izvodi relativno lako. Najčešće se koriste prekostrujni releji zbog jednostavnosti i niske cene. Međutim, zaštita distributivne mreže postaje kompleksnija kada se poveže i mikro mreža ili nekoliko generatora. Sa takvom vezom, radijalni karakter mreže se gubi, i tok snage postaje dvosmeran. U takvoj situaciji postojeći zaštitni uređaji neće funkcionisati na prethodno predviđan način [4].

Za mikro mreže se bira diferencijalna zaštita, jer nije osetljiva na promenu toka snage, broja priključenih izvora i promenu nivoa struje kvara. Ona obezbeđuje potrebnu zaštitu za oba režima rada, ostrvski i mrežni. Prekostrujni diferencijalna zaštita je efikasna jer je osetljiva, selektivna i brza [5].

Svi izvori energije u mikro mreži moraju biti zaštićeni. Iz tog razloga, svaki izvor energije je opremljen sa nekoliko zaštita: podnaponska, obrnut tok snage, prenaponska i provera sinhronizacije. Releji koji se odnose na navedene zaštite šalje signal za isključenje prekidaču izvora energije pri detektovanju bilo koje vrste poremećaja [5].

Slika 5 prikazuje definisane zone zaštite 10 kV izvoda „Zapadna sela“. Izvod je podeljen u 4 zone, kako bi se u slučaju kvara ostataka mikro mreže mogao izolovati i eventualno nastaviti nesmetan rad.

## VREMENSKI RASPORED RADA SISTEMA U SKALDU SA DNEVNIM DIJAGRAMOM OPTEREĆENJA MIKRO MREŽE

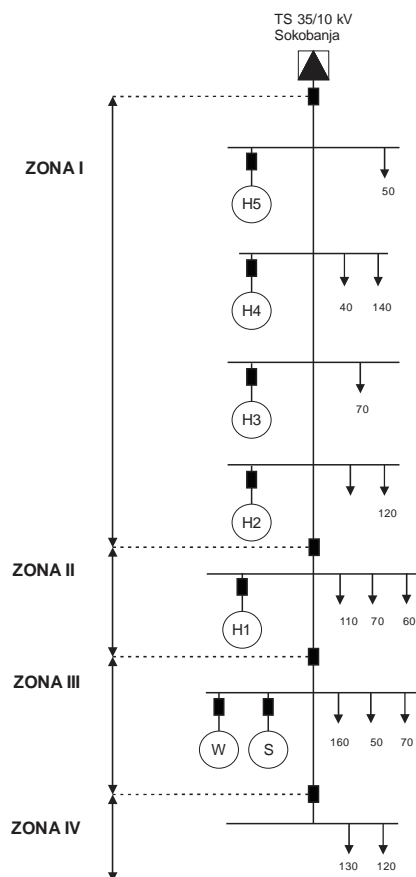
Vrednosti iz tabele III pokazuju da su tokom dnevnog opterećenja dostupni kapaciteti snage dovoljni da zadovolje potrebe potrošača, bez obzira na vremenske uslove. Sa druge strane, tokom noćnog vrha opterećenja, obnovljivi izvori ne mogu da obezbede potrebnu snagu. Najgori slučaj je II-4 (bez vetra, 70% protok vode), gde je razlika između potrebne i dostupne snage sistema 493 kW.

Iz tog razloga, potrebna je upotreba sistema baterija. U ovom slučaju, na primer, može se upotrebiti sistem od 8 baterija od po 500 kW (pr. svaka baterija daje 500 kW tokom vremena od 20 min.)

Da bi se obezbedila kontrola, monitoring, prognoza proizvodnje i potrošnje energije u mikro mreži koristi se sistem koji objedinjuje monitoring, kontrolu i upravljanje radom mikro mreže. Takav sistem kontinualno prati opterećenje i proizvodnju kako bi kreirao profil opterećenja i proizvodnje za naredna 24 časa. Ukoliko se stvarna merenja opterećenja razlikuju od prognoze, sistem će kontinualno prilagoditi svoje prognoze, kako bi obezbedio najbolju varijantu za potrebe opterećenja.

TABELA III - Pregled dostupne i potrebne snage, za slučaj različitih vremenskih uslova

Dan	Vremenski uslovi	Generatori u pogonu	Dostupna snaga (kW)
Noć			
Slučaj I-1	Sunčano i vetrovito	H1, S and W	850,5
Slučaj I-2	Oblačno, bez vetra	H1, H2, H3, H4, H5	868,2
Slučaj I-3	Oblačno i vetrovito	H1, H2, W	729,4
Slučaj I-4	Sunčano, bez vetra, 70% protok vode	S, H1, H2, H3, H4, H5	787,74
Slučaj II-1	Vetrovito	H1, H2, H3, H4, H5, W	968,2
Slučaj II-2	Vetrovito, 70% protok vode	H1, H2, H3, H4, H5, W	787,74
Slučaj II-3	Bez vetra, pun kapacitet vode	H1, H2, H3, H4, H5	868,2
Slučaj II-4	Bez vetra, 70% protok vode	H1, H2, H3, H4 i H5	607,74



Slika 5 - Prikaz definisanih zona zaštite na 10 kV izvodu "Zapadna sela"

## ZAKLJUČAK

Mikro mreže - integrisani energetska sistem sa lokalnim opterećenjima, izvorima energije, uređajima za skladištenje energije (baterije), mogu imati važnu ulogu u transformaciji električne mreže, pre svega zbog mogućnosti rada u ostrvskom režimu, autonomno od ostatka energetskeg sistema, čime se povećava pouzdanost sistema. Sistem mikro mreže je obično predviđen za rad u ostrvskom režimu rada (odvojeno od mreže) ili može raditi povezan na mrežu.

Energetski sistem Srbije ima veliki potencijal za korišćenje mikro mreža, naročito u ruralnim oblastima. U ovom radu analizirane su mogućnosti napajanja 10 kV izvoda kao mikro mreže, i demonstrirano postojanje dovoljnih kapaciteta za njegov nesmetan rad. U analizi su korišćeni samo obnovljivi izvori energije, kao što su hidro elektrane, solarni panel i vetro generatori. Da bi se obezbedila potpuna sigurnost napajanja, potrebna je ugradnja sistema baterija, koji bi se koristio tokom noćnog vrha opterećenja.

## LITERATURA

1. <http://www.solarnipaneli.org>
2. The Royal Academy of Engineering - Wind Turbine Power Calculations
3. <http://www.opstinasokobanja.com/>
4. Manjula Dewedasa, Arindam Ghosh, Gerard Ledwich – "Microgrid Operation and Control Executive Summary", CSIRO Intelligent Grid Research Cluster- Project 7 - M4
5. Manjula Dewedasa, Arindam Ghosh, Gerard Ledwich – „Protection of Microgrids Using Differential Relays“
6. GE Digital Energy – Grid IQ Microgrid control system – Optimization solution for permanently islanded or grid-connected microgrid