

Metodologija za proračun uticaja distribuirane proizvodnje na gubitke energije u distributivnoj mreži

Jelena Perić, Saša Minić¹

¹Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Koste Glavinića 8a
11000 Beograd, Srbija
jelena.peric@ieent.org
sasa.minic@ieent.org

Kratak sadržaj: Ovaj rad proistekao je iz master rada pod nazivom „Metodologija za proračun uticaja distribuirane proizvodnje na gubitke energije u distributivnoj mreži”. Postavlja se pitanje da li je pri proceni uticaja elektrane na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži neophodno analizirati svaku satnu vrednost angažovanja male elektrane i njen uticaj, ili je dovoljno analizirati manji broj stanja i u kojoj meri je moguće ići sa smanjenjem broja stanja koji se analizira da bi se adekvatno sagledao uticaj elektrane na promenu gubitaka energije u mreži. Da bi se došlo do odgovora na to pitanje biće izveden algoritam koji se sastoji iz 2 koraka: dobijanje dijagrama godišnje proizvodnje i, na osnovu dobijenih specifičnih diskretnih vrednosti, proračunavanje uticaja male elektrane na gubitke energije u distributivnoj mreži na kojoj je priključena.

Ključne reči: distribuirana proizvodnja, godišnji dijagram proizvodnje, gubici energije u distributivnoj mreži

1. Uvod

U velikom broju situacija moguće je ostvariti više, relativno ravnopravnih u tehničkom smislu, rešenja za priključenja malih elektrana na distributivnu mrežu. Iz tog razloga potrebno je definisati metodologiju po kojoj će se u tim situacijama birati najpovoljnije rešenje. Jedan od kriterijuma za izbor rešenja može biti i uticaj elektrane na gubitke u distributivnoj mreži. Ovaj uticaj je važno sagledati i u situacijama kada se nameće jedno (tehnički zadovoljavajuće) rešenje za priključenje, zbog eventualnih budućih promena povlašćene cene za energiju distributivnih elektrana.

Da bi se sagledao uticaj male elektrane na gubitke formirana je

metodologija za brzu procenu veličine ovog uticaja koja se zasniva na raspoloživim podacima o očekivanoj mesečnoj proizvodnji električne energije elektrane i modelu mreže sa maksimalnim i minimalnim opterećenjem. Metodologija za procenu (proračun) se izvodi u dva koraka. U prvom koraku se na bazi procenjenih mesečnih proizvodnji elektrane formira uređeni satni dijagram proizvodnje elektrane, koji se zatim svodi na opadajući stepenasti dijagram sa unapred definisanim brojem diskretnih vrednosti angažovanja jednakog trajanja. U drugom koraku vrši se proračun tokova snaga za maksimalno i minimalno opterećenje mreže za svaku od specificiranih diskretnih vrednosti angažovanja elektrane.

Biće detaljno opisan algoritam koji omogućuje primenu metodologije i izloženi rezultati njegove primene na realnim primerima malih elektrana različitog tipa koje se priključuju na distributivnu mrežu.

2. Modelovanje dijagrama godišnje proizvodnje male elektrane i njegova primena

U ovom poglavlju će biti opisan deo algoritma koji se odnosi na formiranje uređenog dijagrama angažovanja malih elektrana različitog tipa koje se priključuju na distributivnu mrežu. Algoritam je opisan i demonstriran na dva tipa malih elektrana zbog specifičnosti koje u formiranje dijagrama unose vetroelektrane sa svojim intermitentnim radom (na sličan način se može uvažiti i rad solarnih elektrana). Na osnovu podataka o vršnim snagama generatora i očekivanim mesečnim proizvodnjama kao prolazni rezultat se dobija uređeni dijagram satnih angažovanja male elektrane, a na osnovu ulaznog podatka o broju odbiraka koji treba da aproksimira ovaj dijagram dobija se i uređeni dijagram angažovanja male elektrane koji se sastoji od unapred definisanog broja odbiraka jednakog trajanja.

Na samom početku su usvojene određene pretpostavke:

- Uređeni dijagram proizvodnje elektrane tokom meseca je trapeznog (za hidroelektrane) i trougaonog oblika (za vetroelektrane), što znači da su pretpostavljene različite proizvodnje elektrane u svakom satu u mesecu, a između svaka dva susedna sata u uređenom dijagramu proizvodnje razlika je konstantna u svakom mesecu;

- Ne može se dogoditi situacija da se u toku dva susedna meseca sve satne proizvodnje iz jednog meseca budu veće od svih satnih proizvodnji tokom drugog meseca (čime se obezbeđuje kontinualan prelaz iz jednog meseca u drugi sa aspekta satnog generisanja).

Algoritam je objašnjen kroz primer male hidroelektrane Medna i male vetroelektrane Ram.

Ulazni podaci za MHE Medna su:

- Prosečna proizvodnja elektrane za svaki mesec u godini data je u tabeli 1;

- MHE Medna ima 2 generatora vršnih snaga po 2.417 MW.

Tabela 1. Prosečna mesečna proizvodnja MHE Medna

Prosečna mesečna proizvodnja HE Medna (MWh)													
Mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Suma
HE Medna	2018	1930	2261	3317	2626	1538	915	522	599	1068	1704	2491	20989

Ulazni podaci za MVE Ram su:

- Prosečna proizvodnja elektrane za svaki mesec u godini data je u tabeli 2;
- MVE Ram ima 3 generatora vršnih snaga po 3 MW.

Tabela 2. Prosečna mesečna proizvodnja MVE Ram

Prosečna mesečna proizvodnja VP Ram (MWh)													
Mesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Suma
VP Ram	2493	2266	2035	1808	1581	1354	1127	896	1217	1534	1855	2172	20336

Algoritam za dobijanje dijagrama godišnje proizvodnje ME sastoji se iz šest koraka:

1. korak

Izračunava se koliko sati u toku svakog meseca bi ME radila vršnom snagom da bi proizvela energiju datu za taj mesec, odnosno taj broj sati predstavlja odnos prosečne mesečne proizvodnje i vršne snage.

S obzirom da nema svaki mesec isti broj dana, uveden je tzv. mesečni faktor generisanja, koji predstavlja odnos broja sati iz prethodnog pasusa (koliko sati u toku meseca bi ME radila vršnom snagom da bi proizvela energiju datu za taj mesec) i broja sati tog meseca. Ovim faktorom je eliminisan uticaj broja dana, pa se dalje svi faktori mogu svesti na najveći mesečni faktor.

2. korak

Već je naglašeno da je usvojena pretpostavka da je dijagram mesečne proizvodnje trapeznog oblika, pa je potrebno izračunati maksimalnu i minimalnu snagu, odnosno maksimalno i minimalno angažovanje ME za svaki mesec (osnovice trapeza). Pravougaoni trapez predstavlja uređeni mesečni dijagram proizvodnje (u sistemu u kojem je apscisa vreme, a ordinata - angažovana aktivna snaga) i u definisanom koordinatnom sistemu položen je na svoj normalni krak. Površina trapeza je u ovom slučaju mesečna proizvodnja ME, horizontalna stranica (normalni krak) predstavlja broj sati u mesecu, prva vertikalna stranica (veća osnovica) je maksimalna snaga, dok je druga stranica (manja osnovica) minimalna snaga.

U pretpostavljenom mesečnom uređenom dijagramu generisanih aktivnih snaga maksimalna snaga je srazmerna svedenoj vrednosti mesečnog faktora i vršnoj snazi ME. Dakle, maksimalno angažovanje elektrane u toku meseca je srazmerno proizvedenoj mesečnoj aktivnoj energiji.

Minimalna snaga se računa iz formule za izračunavanje površine trapeza koja je jednaka proizvodnji elektrane tokom analiziranog meseca:

$$S_{trapeza} = \frac{P_{max} + P_{min}}{2} \quad (1)$$

gde su:

$S_{trapeza}$ - mesečna proizvodnja HE, u *MWh*

P_{max} - maksimalna snaga HE za mesec, u *MW*

P_{min} - minimalna snaga HE za mesec, u *MW*

n - broj sati u mesecu, u *h*

Iz (1) se minimalno angažovanje HE izračunava na sledeći način:

$$P_{min} = \frac{2 \cdot S_{trapeza}}{n} - P_{max} \quad (2)$$

Za modelovanje godišnjeg dijagrama proizvodnje vetroelektrana minimalna snaga se računa na drugačiji način. Potrebno je iskoristiti činjenicu da vetroelektrana ne radi sve vreme, jer se vetroturbina pokreće pri brzinama vetra većim od 3 m/s (za Vestas V112-3.0 MW koja će biti ugrađena u MVE Ram), pa se usvaja da je minimalna snaga jednaka nuli, a vreme trajanja se izračunava iz formule za površinu trougla:

$$S_{trougla} = \frac{1}{2} \cdot P_{max} \cdot n \quad (3)$$

gde su:

$S_{trougla}$ - mesečna proizvodnja VE, u *MWh*

P_{max} - maksimalna snaga VE za mesec, u *MW*

n - broj sati rada VE u mesecu, u *h*

Iz (3) se može izračunati koliko sati u mesecu VE radi:

$$n = \frac{2 \cdot S_{trougla}}{P_{max}} \quad (4)$$

Broj sati mirovanja VP dobija se kao razlika broja sati u mesecu i broja sati rada VP.

3. korak

U okviru ovog koraka je, na osnovu definisanog oblika uređenog dijagrama angažovanja za svaki mesec, potrebno izračunati angažovanu snagu za svaki sat u godini. To znači da je potrebno proračunati srednje satno angažovanje elektrane za 8760 odbiraka. Prvo treba odrediti odbirke pojedinačno za svaki mesec. Podaci potrebni za dobijanje ovih odbiraka su: maksimalna i minimalna snaga (iz 2. koraka) i broj sati u mesecu (u slučaju vetroelektrane broj sati rada VE).

Prvo se izračunava promena snage (usvojena je pretpostavka da je ta promena konstantna u toku jednog meseca) i izračunava se na sledeći način:

$$\Delta P = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{n - 1} \quad (5)$$

gde je:

ΔP - promena snage u toku jednog meseca, u *MW*

P_{\max} - maksimalna snaga u toku tog meseca, u *MW*

P_{\min} - minimalna snaga u toku tog meseca, u *MW*

n - broj sati u mesecu (u slučaju vetroelektrana broj sati rada VE), u *h*

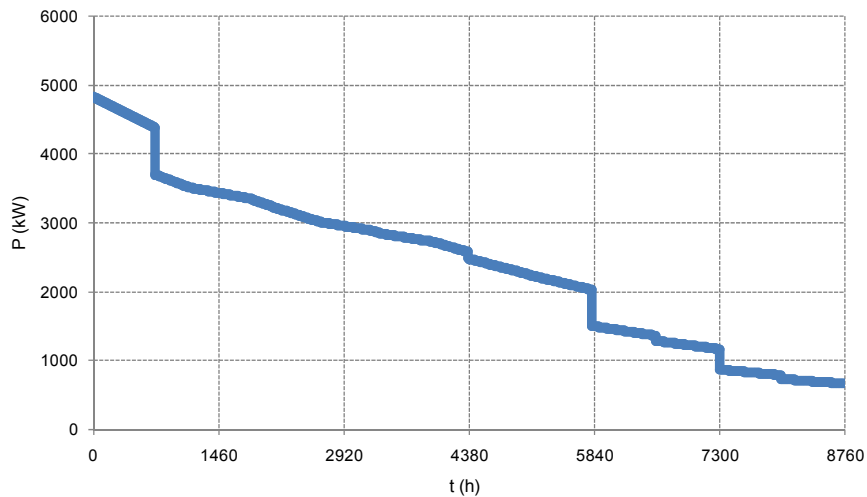
Broj odbiraka za svaki mesec će biti jednak broju sati u tom mesecu (npr. za mesec januar biće 744 odbirka), dok je za vetroelektrane broj odbiraka jednak broju sati rada vetroelektrane u tom mesecu (npr. za mesec januar biće 549 odbirka). Za prvi odbirak u mesecu uzima se maksimalna snaga tog meseca, a drugi odbirak se izračunava kada se od prvog oduzme promena snage i tako se svaki sledeći odbirak računa kao razlika prethodnog i promene snage sve dok se ne dođe do poslednjeg odbirka (koji je jednak minimalnoj snazi) u mesecu. Za vetroelektrane se za ostale odbirke (koji odgovaraju broju sati u toku meseca kada VE miruje) uzima se da je snaga jednaka nuli. Ovaj postupak se primenjuje za svaki mesec.

4. korak

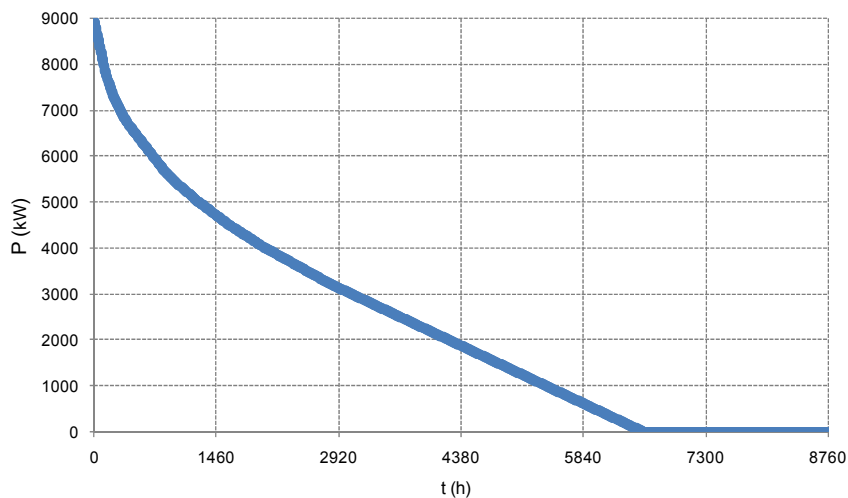
U ovom koraku algoritma odbirci po mesecima se spajaju u jednu kolonu i dobija se 8760 odbiraka koji su predstavljeni redom po mesecima (januar, februar, mart...).

5. korak

Odbirci iz 4. koraka se sortiraju po opadajućem redosledu i na taj način se dobija dijagram godišnje proizvodnje ME. Na slici 1 je prikazan dobijeni dijagram godišnje proizvodnje za hidroelektranu Medna, a na slici 2 za vetroelektranu Ram.



Slika 1. Dijagram godišnje proizvodnje MHE Medna



Slika 2. Dijagram godišnje proizvodnje MVE Ram

6. korak

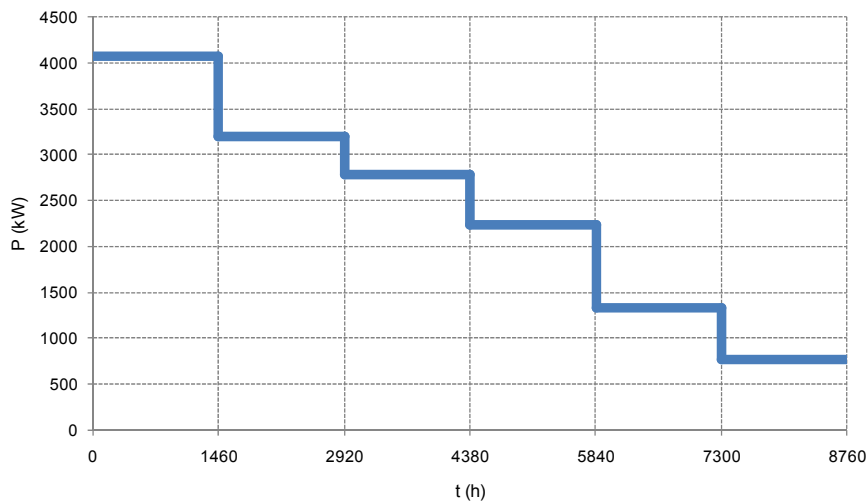
Na osnovu izračunatih odbiraka za svaki sat u godini, moguće je odrediti proizvoljan broj diskretnih vrednosti angažovanja ME u toku godine na koje se svodi uređeni godišnji dijagram generisanih snaga. Za HE Medna i VE Ram su formirane 4 različite grupe angažovanja (6, 12, 24 i 60), s tim što je za HE Medna urađeno i za grupu od 120 angažovanja. Na primeru prve grupe

angažovanja (6) biće objašnjeno dobijanje angažovanja unutar te grupe, odnosno dobijanje tih šest diskretnih vrednosti angažovanja.

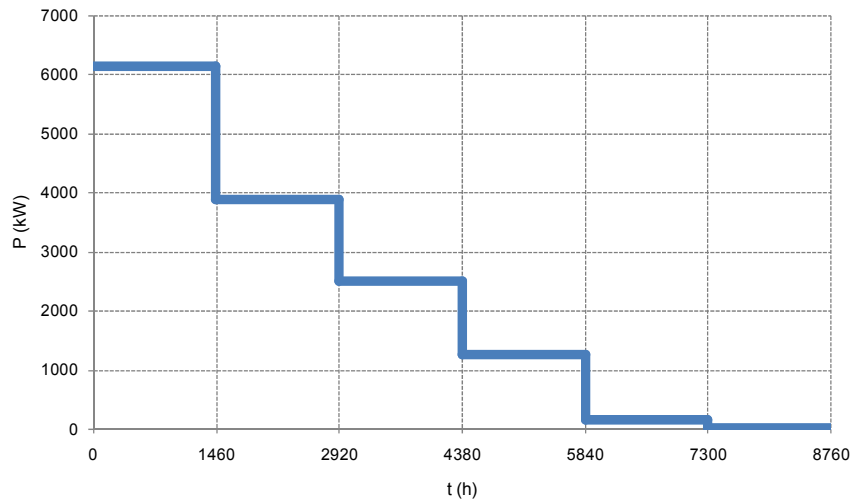
Vreme trajanja svakog od angažovanja je $8760\text{h}/6=1460\text{h}$. Ovim je usvojena još jedna dodatna pretpostavka da sva angažovanja imaju jednako vreme trajanja. Prvo angažovanje se dobija kao srednja vrednost prvih (po vrednosti) 1460 odbiraka, drugo angažovanje kao srednja vrednost drugih 1460 odbiraka i tako svih 6 angažovanja. Kada se zbir svih 6 angažovanja pomnoži sa vremenom njihovog trajanja (u ovom slučaju 1460h) kao rezultat treba da se dobije godišnja proizvodnja ME koja se dobija kao ulazni podatak (zbir svih mesečnih proizvodnji).

Na ovaj način, od uređenog satnog dijagrama godišnje proizvodnje dobijaju se pravougaonici (u ovom slučaju 6 pravougaonika) čije su horizontalne stranice jednake vremenu trajanja jednog proračunatog angažovanja (za grupu od 6 angažovanja to vreme iznosu 1460h), a vertikalne stranice odgovaraju nivou angažovanja elektrane (vertikalna stranica prvog pravougaonika jednaka je snazi prvog angažovanja, druga drugog itd). Na slici 3 su prikazane diskretne vrednosti angažovanja dobijene iz uređenog dijagrama godišnje proizvodnje HE Medna (slika 1), a na slici 4 diskretne vrednosti angažovanja iz uređenog dijagrama godišnje proizvodnje VE Ram (slika 2) za grupu od 6 angažovanja.

Dobijene diskretne vrednosti angažovanja malih elektrana su adekvatne podloge za proračun promene gubitaka energija.



Slika 3. Diskretne vrednosti angažovanja dobijene iz uređenog dijagram godišnje proizvodnje za MHE Medna (za grupu od 6 diskretnih vrednosti angažovanja)



Slika 4. Diskretne vrednosti angažovanja dobijene iz uređenog dijagram godišnje proizvodnje za MVE Ram (za grupu od 6 diskretnih vrednosti angažovanja)

Sada se postavlja pitanje da li je pri proceni uticaja elektrane na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži neophodno analizirati svaku satnu vrednost angažovanja male elektrane i njen uticaj, ili je dovoljno analizirati manji broj stanja i u kojoj meri je moguće ići sa smanjenjem broja stanja koji se analizira da bi se adekvatno sagledao uticaj elektrane na promenu gubitaka energije u mreži.

Sledeće poglavlje će dati odgovor na ovo pitanje.

3. Uticaj malih elektrana na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži za različite grupe diskretnih vrednosti angažovanja

Uticaji malih elektrana na promene gubitaka u elektrodistributivnoj mreži za različit nivo kvaliteta modelovanja uređenog godišnjeg dijagrama angažovanja biće razmotren na uzorku od četiri male elektrane (dve hidroelektrane i dve vetroelektrane). Cilj analize je da se odredi za koji nivo kvaliteta modelovanja uređenog godišnjeg dijagrama angažovanja je dovoljno izvršiti analizu uticaja ME na promenu gubitaka u mreži, a da se pri tome dobiju dovoljno kvalitetne procene uticaja ME.

Da bi se tačno sagledao uticaj elektrane na gubitke u elektrodistributivnoj mreži bilo bi neophodno modelovati satna opterećenja distributivne mreže uparena sa odgovarajućim satnim angažovanjem male elektrane. Ove grupe veličina imaju stohastički karakter i moguće su samo aproksimacije koje dovoljno kvalitetno odražavaju funkcionisanje male elektrane u distributivnom

sistemu. Budući da se ne može predvideti nivo opterećenja za pojedine vrednosti angažovanja elektrane, u primeni razvijenog algoritma pošlo se od pretpostavke da je u toku životnog veka elektrane moguće da različiti nivo angažovanja koincidira sa bilo kojom vrednošću opterećenja i to sa podjednakom verovatnoćom. Iz tog razloga se za svaki nivo angažovanja elektrane prosečan uticaj na gubitke proračunava kao srednja vrednost uticaja elektrane sa tim angažovanjem pri maksimalnom i pri minimalnom opterećenju.

Dakle, u proceni uticaja elektrane na gubitke računa se sa uparivanjem satnih angažovanja elektrane sa minimalnim i maksimalnim opterećenjem mreže i srednjom vrednošću promene gubitaka za svako stanje. Međutim, sagledavanje 8760 x 2 stanja funkcionisanja distributivne mreže je posao koji zahteva značajno vreme i resurse za pripremu podataka za proračune (da bi se svi proračuni stavili u približno istu ravan) i analizu rezultata proračuna. Postavlja se pitanje koji je to broj stanja koji je potrebno analizirati da bi se dobili rezultati koji približno odgovaraju rezultatima sagledavanja svih 8760 x 2 stanja. Na to pitanje odgovor je dat kroz analize u narednim poglavljima.

Analize su se sastojale u proračunima tokova snaga u maksimalno i minimalno opterećenoj distributivnoj mreži sa različitim brojem diskretnih vrednosti angažovanja elektrane kojima se modeluje uređeni godišnji dijagram angažovanja te elektrane. Broj diskretnih vrednosti se za svaku elektranu menjao kroz skup {6, 12, 24, 60} diskretnih vrednosti stanja (za HE Medna i za 120). Analize su pokazale da iznad određenog broja nema smisla povećavati skup diskretnih angažovanja elektrane pomoću koje se modeluje njen uređeni godišnji dijagram angažovanja, jer greška u proceni promene gubitaka postaje dovoljno mala.

Na primeru četiri elektrane (dve hidroelektrane i dve vetroelektrane) biće izračunate promene gubitaka za sva angažovanja (unutar četiri grupe angažovanja koje su dobijene primenom algoritma opisanog u poglavlju 2). Podaci se dobijaju iz početnih proračuna tokova snaga (*initial load flow*) pomoću programa Tokovi snaga.

Promena gubitaka u mreži za sve proračune je računata kao razlika gubitaka aktivne snage po elementima i naponskim nivoima sa priključenom elektranom i gubitaka aktivne snage po elementima i naponskim nivoima bez elektrane. U proračunu gubitaka aktivne snage od interesa su samo 10 i 20 kV vodovi (za hidroelektrane) i 35 kV vodovi (za vetroelektrane), a u proračun nisu uključeni gubici na priključnom vodu i na blok transformatorima u elektranama. Prosečna promena gubitaka u mreži za jedno angažovanje proračunata je kao srednja vrednost promene gubitaka u maksimalnom i minimalnom režimu za to angažovanje. Ta prosečna promena gubitaka se množi sa vremenom trajanja tog angažovanja i dobija se promena gubitaka energije u periodu angažovanja specificirane snage. Zbir promena gubitaka energije za sva angažovanja unutar jedne grupe angažovanja predstavlja ukupan uticaj te elektrane na gubitke energije.

3.1. Uticaj MHE Medna na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži za različite nivo kvaliteta modelovanja uređenog dijagrama angažovanja

Usvojeni kriterijumi za izvršenje ovih proračuna su:

- napon na 20 kV sabirnicama u TS 110/20/10 kV Mrkonjić Grad održava se na 22 kV u maksimalnom režimu;
- napon na 20 kV sabirnicama u TS 110/20/10 kV Mrkonjić Grad održava se na 20.2 kV u minimalnom režimu;
- treba da se postigne napon u tački priključenja HE Medna ≤ 22 kV u maksimalnom režimu;
- treba da se postigne napon u tački priključenja HE Medna ≤ 21 kV u minimalnom režimu;
- faktor snage u tački priključenja $\cos \varphi \geq 0.95$;
- faktor snage agregata u HE Medna $\cos \varphi_{ag} \geq 0.9$.

Ukupni uticaj HE Medna za različite grupe angažovanja je dat u tabeli 3 i on je pozitivan, jer HE utiče na smanjenje gubitaka energije u elektrodistributivnoj mreži na koju je priključena. U istoj tabeli je prikazano i odstupanje uticaja HE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 120 diskretnih vrednosti angažovanja. To odstupanje uticaja HE Medna na gubitke energije za grupe od 6, 12, 24 i 60 angažovanja je $< 0.98\%$ (za grupu od 12 je 0.853%) u odnosu na uticaj HE na gubitke energije za 120 angažovanja.

Tabela 3. Ukupan uticaj HE Medna na gubitke energije u distributivnoj mreži za različite grupe angažovanja elektrane (sa 120 angažovanja)

Grupe angažovanja	Ukupan uticaj HE Medna na gubitke energije u ED mreži (kWh) (+povećanje, -smanjenje)	Odstupanje uticaja HE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 120 angažovanja (%)
6	-591 300	0.975
12	-590 570	0.853
24	-587 103	0.267
60	-586 190	0.112
120	-585 533	-

Odstupanje uticaja HE Medna za grupu od 60 angažovanja u odnosu za grupu od 120 angažovanja je svega 0.112% . Povećanje broja diskretnih vrednosti malo utiče na promene gubitaka energija, odnosno greška u proceni je dovoljno mala, što znači da iznad određenog broja diskretnih angažovanja elektrane nema smisla povećavati broj stanja. Zbog toga se dalje neće analizirati grupa od 120 angažovanja.

U tabeli 4 je prikazano odstupanje uticaja HE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 diskretnih vrednosti

angažovanja. To odstupanje uticaja HE Medna na gubitke energije za grupe od 6, 12 i 24 angažovanja je <0.87% (za grupu od 12 je 0.742%) u odnosu na uticaj HE na gubitke energije za 60 angažovanja.

Tabela 4. Ukupan uticaj HE Medna na gubitke energije u distributivnoj mreži za različite grupe angažovanja elektrane

Grupe angažovanja	Ukupan uticaj HE Medna na gubitke energije u ED mreži (kWh) (+povećanje, -smanjenje)	Odstupanje uticaja HE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 angažovanja (%)
6	-591 300	0.864
12	-590 570	0.742
24	-587 103	0.156
60	-586 190	-

3.2. Uticaj MHE Novakovići na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži za različit nivo kvaliteta modelovanja uređenog dijagrama angažovanja

Usvojeni kriterijumi za izvršenje ovih proračuna su:

- napon na 20 kV sabirnicama u TS 110/20 kV Kotor Varoš održava se na 19.5 kV u maksimalnom i minimalnom režimu;
- napon na 20 kV sabirnicama u RTS Kneževo 2 (gde se priključuje HE Novakovići) treba da bude ≤ 21 kV u maksimalnom i minimalnom režimu;
- napon na HE Novakovići treba da bude ≤ 21.85 kV;
- faktor snage agregata $\cos \varphi_{ag} = 1$ sve dok je napon u RTS Kneževo 2 ispod 21 kV, a ako pređe tu vrednost onda ide u kapacitivni režim rada dok se ne spusti napon na 21 kV (što se dešava samo pri maksimalnim angažovanjima elektrane).

Ukupni uticaj HE Novakovići za različite grupe angažovanja je dat u tabeli 5 i on je pozitivan, jer HE utiče na smanjenje gubitaka energije u elektrodistributivnoj mreži na koju je priključena. U istoj tabeli je prikazano i odstupanje uticaja HE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 diskretnih vrednosti angažovanja. To odstupanje uticaja HE Novakovići na gubitke energije za grupe od 6, 12 i 24 angažovanja je <4.2% (za grupu od 12 je 2.021%) u odnosu na uticaj HE na gubitke energije za 60 angažovanja.

Tabela 5. Ukupan uticaj HE Novakovići na gubitke energije u distributivnoj mreži za različite grupe angažovanja elektrane

Grupe angažovanja	Ukupan uticaj HE Novakovići na gubitke energije u ED mreži (kWh) (+povećanje, -smanjenje)	Odstupanje uticaja HE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 angažovanja (%)
6	-313 900	4.186
12	-306 965	2.021
24	-301 673	0.303
60	-300 760	-

3.3. Uticaj MVE Ram na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži za različit nivo kvaliteta modelovanja uređenog dijagrama angažovanja

Usvojeni kriterijumi za izvršenje ovih proračuna su:

- napon na 35 kV sabirnicama u TS 110/35 kV Veliko Gradište održava se na 35 kV u maksimalnom režimu;
- napon na 35 kV sabirnicama u TS 110/35 kV Veliko Gradište održava se na 36 kV u minimalnom režimu;

- faktor snage u tački priključenja $\cos \varphi_{gr} \geq 1$ (vetrogeneratori imaju mogućnost regulisanja reaktivne snage posredstvom energetske elektronike).

Ukupni uticaj VE Ram za različite grupe angažovanja je dat u tabeli 6 i on je negativan, jer VE utiče na povećanje gubitaka energije u elektrodistributivnoj mreži na koju je priključena. U istoj tabeli je prikazano i odstupanje uticaja VE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 diskretnih vrednosti angažovanja. To odstupanje uticaja VE Ram na gubitke energije za grupe od 6, 12 i 24 angažovanja je <7.9% (za grupu od 12 je 2.5%) u odnosu na uticaj VE na gubitke energije za 60 angažovanja.

Tabela 6. Ukupan uticaj VE Ram na gubitke energije u distributivnoj mreži za različite grupe angažovanja elektrane

Grupe angažovanja	Ukupan uticaj VE Ram na promene gubitaka energije u ED mreži (kWh) (+povećanje, -smanjenje)	Odstupanje uticaja VE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 angažovanja (%)
6	41 610	-7.895
12	43 800	-2.500
24	45 443	1.206
60	44 895	-

3.4. Uticaj MVE Ljubinje-Pečanica na gubitke energije u elektrodistributivnoj mreži za različit nivo kvaliteta modelovanja uređenog dijagrama angažovanja

Usvojeni kriterijumi za izvršenje ovih proračuna su isti kao i za proračun uticaja MVE Ram.

Ukupni uticaj VE Ljubinje-Pečanica za različite grupe angažovanja je dat u tabeli 7 i on je pozitivan, jer VE utiče na smanjenje gubitaka energije u elektrodistributivnoj mreži na koju je priključena. U istoj tabeli je prikazano i odstupanje uticaja VE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 diskretnih vrednosti angažovanja. To odstupanje uticaja VE Ram na gubitke energije za grupe od 6, 12 i 24 angažovanja je <1.95% (za grupu od 12 je 0.346%) u odnosu na uticaj VE na gubitke energije za 60 angažovanja.

Tabela 7. Ukupan uticaj VE Ljubinje-Pečanica na gubitke energije u distributivnoj mreži za različite grupe angažovanja elektrane

Grupe angažovanja	Ukupan uticaj VE Ljubinje-Pečanica na gubitke energije u ED mreži (kWh) (+povećanje, -smanjenje)	Odstupanje uticaja VE na gubitke energije za manje grupe angažovanja u odnosu na uticaj za 60 angažovanja (%)
6	-750 440	1.946
12	-738 395	0.346
24	-737 300	0.198
60	-735 840	-

3.5. Zaključne napomene o potrebnom kvalitetu modelovanja uređenog dijagrama angažovanja elektrana radi procene njihovog efekta na gubitke energije u distributivnoj mreži

Cilj analize izložene u ovom poglavlju je bio da se odredi koliki je najmanji broj nivoa angažovanja male elektrane, kojima se aproksimira uređeni godišnji dijagram angažovanja, potreban, a ujedno i dovoljan, da bi se na osnovu proračuna moglo proceniti kakav uticaj ima priključenje ME na gubitke energije u mreži.

Na osnovu urađenih proračuna za četiri male elektrane različitog tipa (HE Medna, HE Novakovići, VP Ram i VP Ljubinje-Pečanica), koje se priključuju na različita mesta u mreži i čije priključenje ima različite posledice, za definisane grupe nivoa angažovanja elektrana došlo se do zaključka da proračunati ukupni uticaj elektrane na gubitke za 12 modelovanih nivoa angažovanja malo odstupa u odnosu na proračunati uticaj elektrane za 60 modelovanih nivoa angažovanja (tabela 8). Ovim je pokazano da je za procenu uticaja priključene ME na gubitke energije u mreži dovoljno uraditi proračun za 12 diskretnih vrednosti angažovanja kojima se aproksimira uređeni godišnji dijagram angažovanja elektrane.

Tabela 8. Odstupanje proračunatog uticaja ME na gubitke energije u mreži za 12 različitih nivoa angažovanja od proračunatog uticaja ME za 60 različitih nivoa angažovanja

Analizirane ME	Odstupanje proračunatog uticaja ME na gubitke energije u mreži za 12 različitih nivoa angažovanja od proračunatog uticaja ME za 60 različitih nivoa angažovanja (%)
HE Medna	0.742
HE Novakovići	2.021
VE Ram	2.500
VE Ljubinj-Pečanica	0.346

4. Zaključak

U okviru ovog rada formirana je metodologija za brzu i dovoljno kvalitetnu procenu uticaja malih elektrana na promenu gubitaka energije u mreži. Uticaj elektrane na gubitke u elektrodistributivnoj mreži nije među kriterijumima za priključenje elektrana, ali često su moguća različita rešenja priključenja iste elektrane i uticaj elektrane na gubitke u mreži može biti jedan od kriterijuma za donošenje odluke o optimalnom mestu za priključenje. S druge strane, ukoliko se na većem broju primera izvrši analiza uticaja elektrane na gubitke, to može biti osnova za eventualnu promenu kriterijuma za priključenje.

Značajno je istaći da su izvršene analize pokazale da elektrane mogu da imaju različit uticaj na distributivnu mrežu u pogledu promene gubitaka tj. mogu da utiču i na povećanje i na smanjenje gubitaka električne energije u distributivnoj mreži, zavisno od njihove snage, projektovane proizvodnje i mesta priključenja u distributivnoj mreži. Naravno, što više elektrana utiče na smanjenje gubitaka energije u mreži to je i bolje.

Na osnovu analiza izvršenih za četiri različite male elektrane (dve hidroelektrane i dve vetroelektrane) čiji je i uticaj na gubitke u mreži različit, ispostavilo se da je za procenu promene gubitaka energije zbog ulaska u pogon ME dovoljno analizirati aproksimaciju uređenog dijagrama opterećenja sa dvanaest različitih nivoa angažovanja, jer se dobijaju dovoljno tačne proračunate vrednosti gubitaka.

Opisana metodologija je primenljiva ne samo za proračunavanje uticaja malih hidroelektrana i vetroelektrana na gubitke energije u distributivnoj mreži nego i ostalih malih elektrana iz obnovljivih izvora energije (Sunce, biomasa).

Literatura

- [1] Perić J., „Metodologija za proračun uticaja distribuirane proizvodnje na gubitke u distributivnoj mreži“, master rad, Beograd, 2012.

- [2] „Zbirka tehničkih preporuka“, Direkcija za distribuciju EPS-a, 2001.
[3] „Pravila o radu distributivnog sistema“, JP EPS, Verzija 1.0, 2009.

Abstract: This paper is the result of the Master's final project "Methodology for calculating the impact of distributed generation on energy losses in distribution network". The question is whether, for estimation of the impact of the power plant on energy losses in the distribution network, it is necessary to analyse each hour value of small power plant engagement and its effect, or it is sufficient to analyse a small number of states, and the extent to which it is possible to reduce the number of states that will be analysed in order to review adequately the impact of the power plant on the change of energy losses in the network. To answer this question, an algorithm consisting of two steps is performed, annual production diagrams are obtained and, on the basis of calculated specific discrete values, the impact of the small power plant on energy losses in the distribution network to which it is connected is evaluated.

Keywords: distributed generation, annual production diagram, losses of energy in the distribution network

Methodology for Calculating the Impact of Distributed Generation on Energy Losses in a Distribution Network

Rad primljen u uredništvo 18.7.2013. godine
Rad prihvaćen 4.10.2013. godine