

Uticaj solarnih panela na gubitke u niskonaponskoj mreži

The Influence of Solar Panels on Losses in the Low-Voltage Network

Siniša Spremić, Aleksandar Antonić

Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad

Rezime - Najveći deo tehničkih gubitaka električne energije u distribuciji električne energije su tehnički gubici u niskonaponskim vodovima. Tehnički gubici električne energije su gubici koji nastaju u distribuciji električne energije od transformatora do potrošača u elektrodistributivnoj opremi. Komercijalni gubici obuhvataju neovlašćeno korišćenje električne energije i gubitke zbog grešaka merne opreme. Glavni izvor tehničkih gubitaka električne energije nastaje protokom električne struje kroz provodnike. Solarni paneli ugrađeni kod potrošača mogu uticati na smanjenje gubitaka smanjenjem protoka električne struje, tj. električne energije kroz niskonaponske vodove. U ovom radu je dat prikaz pretpostavljenog dnevnog dijagrama simetričnog opterećenja niskonaponskog voda sa proračunom gubitaka po satima sa i bez uticaja solarnih panela. Uticaji solarnih panela su takođe prikazani dnevnim dijagramom, kao i vrednosti napona na kraju niskonaponskog voda. U proračunu se za niskonaponski vod koristi ekvivalentni vod sa pola dužine i punim satnim opterećenjem.

Gljučne reči - tehnički gubici, solarni panel, niskonaponski, nadzemni vod, opterećenje

Abstract - The largest part of technical losses of electricity in electricity distribution are technical losses in low-voltage lines. Technical losses of electricity are losses that occur in the distribution of electricity from transformers to consumers in electrical distribution equipment. Commercial losses include unauthorized use of electricity and losses due to errors in measuring equipment. The main source of technical losses of electricity is caused by the flow of electric current through conductors. Solar panels installed by consumers can affect the reduction of losses by reducing the flow of electric current, i.e. of electricity through low-voltage lines. The presentation of the assumed daily diagram of the symmetrical load of the low-voltage line is given with the calculation of losses per hour with and without the influence of solar panels. Solar panels effects are also shown in the daily diagram, as well as the voltage values at the end of the low-voltage line. In the calculation, an equivalent line with half the length and full hourly load is used for the low-voltage line.

Index Terms - Technical losses, Solar panels, Low voltage, Overhead line, Load

I UVOD

U nekim delovima sveta se već duže vreme koriste termalni kolektori za zagrevanje i solarni paneli za proizvodnju električne energije za sopstvene potrebe i/ili za isporuku u elektrodistributivnu ili prenosnu mrežu. U Srbiji je napravljeno nekoliko solarnih elektrana na zemlji srednjih snaga i veći broj solarnih elektrana manjih snaga na objektu ili objektima najvećih snaga do 500 kW. Za njih su obavljene analize uticaja na kvalitet električne energije u elektrodistributivnoj mreži [1, 2]. Prema proračunima, priključenje solarnih elektrana na elektrodistributivnu mrežu ima povoljan uticaj na smanjenje gubitaka u prenosnoj mreži [3]. Ukoliko snaga malih solarnih elektrana u domaćinstvima i kod malih poslovnih potrošača ne prelazi minimalnu snagu niskonaponskog voda može se očekivati da će se gubici u niskonaponskoj mreži smanjiti. Povećanje gubitaka se može očekivati samo kad solarne elektrane imaju veću proizvodnju snage od snage potrošnje na delu niskonaponske mreže. Domaćinstva i mali poslovni potrošači na niskonaponskoj distributivnoj mreži će zbog niže cene uglavnom koristiti sisteme na mreži (*on grid*). Sistemi na mreži rade paralelno sa mrežom i zavisni su od električne mreže. Ovakve solarne elektrane čine 90 % tržišta kod privatnih, ali i poslovnih objekata [4].

U radu je dat pretpostavljeni dnevni dijagram simetričnog opterećenja pretpostavljenog prosečnog niskonaponskog izvoda. Dat je i pretpostavljeni dnevni dijagram proizvodnje električne snage solarnih elektrana priključenih na niskonaponski izvod. Ovime se prave greške u odnosu na stvarno stanje. Sve prethodno navedene pretpostavke odudaraju od stvarnih parametara pojedinih niskonaponskih izvoda, dijagrami opterećenja niskonaponskog izvoda su različiti, postoji nesimetrija opterećenja, proizvodnja električne snage solarnih elektrana je zavisna od godišnjeg doba i o osunčanosti, tj. o vremenskim prilikama (oblačnost) i atmosferskom stanju (zagađenost vazduha prašinom i dimom). Bez obzira na greške može da se sagleda mogućnost i proceni veličina smanjenja gubitaka električne snage i električne energije sa i bez prisustva solarnih elektrana na NN izvodima.

Takođe treba da se detaljno sagledaju i vrednuju uticaji solarnih elektrana na smanjenje gubitaka električne energije na višim nivoima napajanja: transformatorima $x/0.4$ kV, $35/x$ kV i $110/x$ i srednjenaponskim vodovima.

II PRETPOSTAVKE, ZANEMARENJA I OPIS MODELA PRORAČUNA

Pretpostavke za izradu modela proračuna su sledeće:

- napon na početku voda (0,4 kV sabirnice transformatorske stanice (u daljem tekstu: TS)) je simetričan i po fazi i po veličini,
- razmatraju se samo ustaljeni režimi bez kvarova,
- struja potrošača se zadaje sa faktorom snage, tj. faznim uglom struje potrošača u odnosu na početni napon na 0,4 kV sabirnicama TS \times 0,4 kV. Time je stvarni fazni ugao između napona i struje potrošača različit od zadatog i u proračunu se izračunava i prikazuje,
- neutralni provodnik je iste vrste provodnika i preseka kao fazni provodnici (što je stvarno stanje na najvećem delu mreže) i za gubitke je bitno u slučaju nesimetričnog opterećenja,
- podaci o radnom otporu i induktivnom otporu provodnika su dobijeni iz softverske aplikacije¹.

Zanemarenja koja su korišćena za pojednostavljenje modela proračuna:

- zanemaruju se kapacitivnosti vodova zbog malog uticaja na rezultat proračuna,
- zanemaruje se uticaj višestrukog uzemljenja neutralnog provodnika zbog malog uticaja na struju kroz neutralni provodnik u ustaljenom režimu bez kvara [5],
- ne razmatra se povećanje gubitaka usled povećanja temperature provodnika,
- kod nadzemnih vodova se zanemaruje uticaj na nesimetriju od faznog provodnika (posebno izvedenog) za javno osvetljenje koji je obično manjeg preseka od provodnika voda, a javno osvetljenje koristi nulti provodnik niskonaponskog izvoda.

Model proračuna je prikazan u [6], s tim da se koristi jedna deonica, tj. ekvivalentni vod sa pola dužine i punim satnim opterećenjem potrošača i punom satnom snagom proizvodnje solarne elektrane za dnevni dijagram (24 sata).

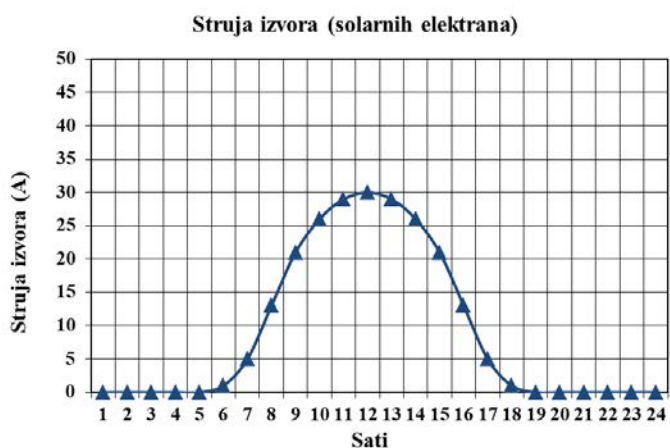
III PODACI I REZULTATI PRORAČUNA

Pretpostavka je da će se najveći broj malih solarnih panela napraviti u domaćinstvima tipa porodična kuća u gradu ili porodična kuća sa pomoćnim objektima na selu. Ova domaćinstva su najvećim delom priključena na niskonaponsku nadzemnu mrežu češće izvedenu golim provodnicima ili ređe samonosivim kablovskim snopom. U manjem delu su priključena na NN kablovsku (podzemnu) mrežu. U proračun su ubačeni podaci o NN nadzemnom vodu sa presekom aluminijumskog provodnika od 50 mm² i za fazne i za neutralni provodnik što je još uvek najčešća vrsta NN nadzemnog voda. Pretpostavljeni NN izvod je dužine 400 m (10 deonica po 40 m), a u proračun ulazi 200 m. Procenjeno je da je prosečna potrošnja električne energije pojedinačnog potrošača iz kategorije domaćinstvo (uvećano za uticaj potrošača iz kategorije ostala potrošnja) oko 500 kWh mesečno odnosno 6000 kWh godišnje. Maksimalna snaga svih potrošača je 34,6 kVA sa pretpostavljenim faktorom snage potrošača je 0,95. Maksimalna snaga solarnih panela je 20 kW.

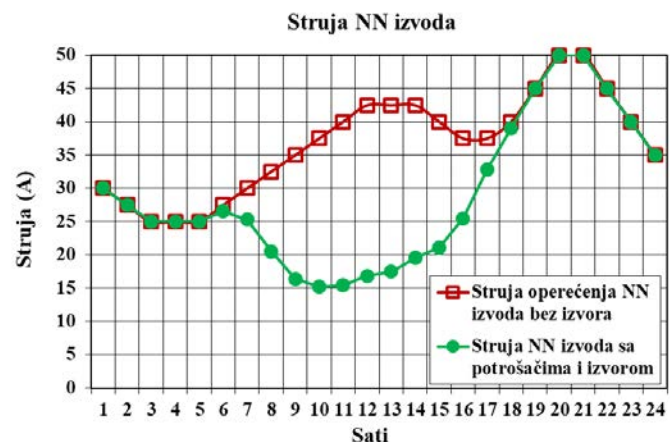
¹ Paket računarskih programa (Fortran aplikacije) za izračunavanje gubitaka u elementima mreže, J.P. Elektrovojvodina, 1992.



Slika 1. Dijagram struje niskonaponskog (NN) izvoda bez izvora



Slika 2. Dijagram struje izvora (solarnih elektrana)

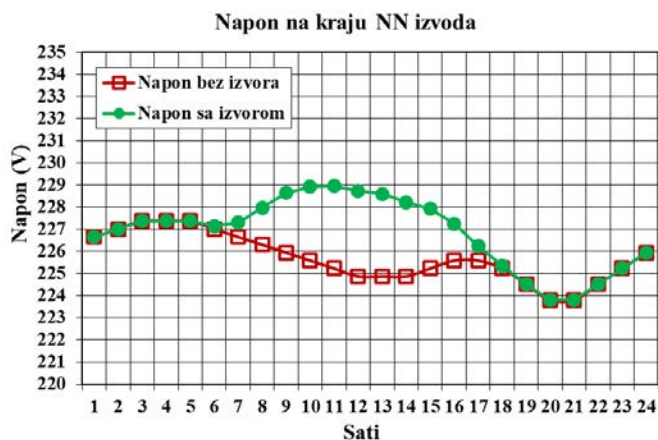


Slika 3. Dijagram struja niskonaponskog (NN) izvoda bez izvora i sa potrošačima i izvorom

Na slici 1 je prikazan pretpostavljeni prosečan dijagram simetričnog opterećenja niskonaponskog izvoda bez izvora, tj. solarnih panela. Maksimalna struja opterećenja je 50 A u večernjim satima, a minimalna 25 A u posleponoćnim satima. Na slici 2 je prikazan pretpostavljeni dijagram simetričnih struja

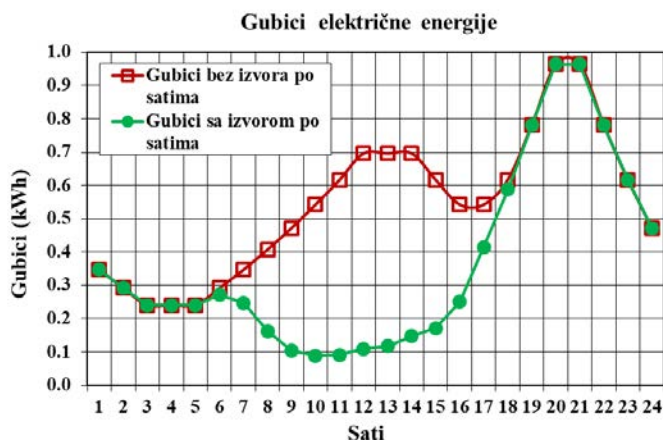
izvora (solarnih panela) sa faktorom snage jednakim 1. Vidi se da proizvodnja solarne elektrane postoji 13 sati. Na slici 3 je prikazan dijagram sa strujom potrošača i zajedničkom strujom potrošača i izvora (solarnih elektrana).

Na slikama 1 i 2 se vidi da je maksimalna struja izvora veća od minimalne struje potrošača. Maksimalna struja izvora i minimalna struja potrošača su u različitim vremenskim periodima tako da prema prikazanim dijagramima neće doći do toka struje (snage) sa niskonaponskog izvoda u sredjenaponsku mrežu preko transformatora $x/0,4$ kV. Na slici 4 je prikazan dijagram vrednosti napona na kraju izvoda u toku 24 sata.



Slika 4. Dijagram napona na kraju niskonaponskog (NN) izvoda bez izvora i sa izvorom

U periodu kada izvor daje struju (snagu) u niskonaponsku mrežu dolazi do osetnog poboljšanja veličine napona. U vreme kada su najveća opterećenja na niskonaponskom izvodu i time najniži naponi izvor ne može da utiče na poboljšanje napona. Ovo bi bilo moguće samo u slučaju da solarni paneli imaju mogućnost skladištenja energije. Uskladištena energija bi se onda mogla koristiti u vreme većih opterećenja. Time bi se na niskonaponskom izvodu tokom čitavog dana dobile ujednačene vrednosti napona. Prema prethodnim pretpostavkama naponi su u standardom predviđenim granicama dozvoljenih vrednosti.



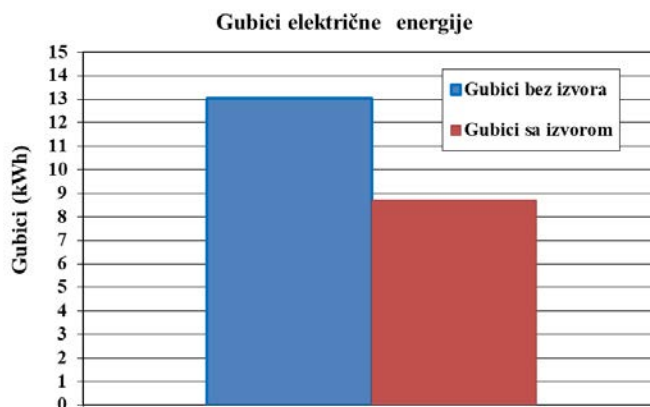
Slika 5. Dijagram satnih gubitaka električne energije na niskonaponskom izvodu u toku 24 sata

Na slici 5 je prikazan dijagram satnih gubitaka električne energije na niskonaponskom izvodu u toku 24 sata.

Ovaj dijagram je sličan dijagramu struje sa slike 3, jer su gubici snage i električne energije proporcionalni sa kvadratom struje.

S obzirom da su prethodno prikazani dijagrami za pretpostavljeno usrednjeno opterećenje pretpostavljenog prosečnog niskonaponskog izvoda kod ovakvog niskonaponskog izvoda bi bilo mnogo dana sa značajno većim opterećenjem. Time bi i gubici mogli biti značajno veći, a vrednosti napona značajno niže od onih prikazanih na slikama 4 i 5. Moguće je da bude i obrnuto, manja opterećenja, manji gubici i veće vrednosti napona. U stvarnosti postoji mnogo niskonaponskih izvoda sa značajno većim dužinama i/ili sa značajno većim opterećenjima. Tada su gubici električne energije značajno veći od ovde prikazanih, a vrednosti napona duž i na kraju niskonaponskog izvoda su značajno manji od ovde prikazanih i u određenim vremenskim razdobljima odstupaju od dozvoljenih prema standardu.

Na slici 6 su prikazane vrednosti dnevnih gubitaka električne energije za prethodne proračune slučajeva bez i sa izvorom.



Slika 6. Dnevni gubici električne energije na niskonaponskom izvodu bez izvora i sa izvorom

Proračun je obavljen sa zadatim naponom na početku niskonaponskog izvoda vrednosti $400/\sqrt{3}$ V. Napon na početku se stvarno menja zbog promene opterećenja i posledično padova napona u transformatoru $x/0,4$ kV i sredjenaponskoj mreži. Takođe i zbog rada automatske regulacije napona i promene položaja regulacione sklopke pod opterećenjem na transformatoru $110/x$ kV. Prikličenje solarnih panela na niskonaponske izvode treba da bude praćeno. U slučaju prikličenja veće snage solarnih panela na TS $x/0,4$ kV treba prethodno proračunima, a kasnije merenjima proveriti potrebu promene položaja besteretnog menjača transformatora $x/0,4$ kV. Ukoliko se na nekom većem području koje napaja TS $110/x$ kV priključuje veća snaga solarnih panela moguće je da će se ukazati potreba za prepedešavanjem parametara automatske regulacije napona. U svakom slučaju je neophodno da odgovarajuće stručne službe prate uticaj solarnih panela na dnevne promene opterećenja i napona po radnim i neradnim danima i po sezonama. Neophodno je sagledati i uticaje vremenskih prilika i

atmosferskog stanja.

Dnevni gubici električne energije na niskonaponskom nadzemnom izvodu bez izvora (solarnih panela) iznose 13,033 kWh, a sa izvorom 8,71 kWh. Smanjenje gubitaka sa izvorom iznosi 4,323 kWh, tj. gubici električne energije su manji za 33,17%. Procentualno najveći deo gubitaka u elektrodistributivnoj mreži je u niskonaponskim nadzemnim vodovima, tako da se priključenjem solarnih panela u domaćinstvima može ostvariti velika ušteda na gubicima električne energije.

Naredna istraživanja treba da obuhvate složenije proračune i uključite uticaje na transformatore višeg nivoa i srednjenaponske vodove. Neophodno je detaljno sagledati mogućnosti skladištenja električne energije iz solarnih panela u vreme moguće veće proizvodnje solarnih panela od potrošnje na niskonaponskim izvodima i korišćenje iste u vreme vršnih opterećenja. Ovo bi moglo imati dodatni značajan povoljan uticaj na smanjenje gubitaka i poboljšanje naponskih prilika. Zbog dodatnih troškova ulaganja u akumulatorske baterije potrebno je dodatno potaknuti vlasnike solarnih panela. Potrebno je ustanoviti i način praćenja uticaja priključenih solarnih panela na čitavom elektrodistributivnom području na svim naponskim nivoima. Ovo se odnosi na veličine napona, tokove struja (snaga), veličine faktora snage, gubitke električne energije i parametre kvaliteta električne energije. Razvijanje pametne mreže (*smart grid*) u ovom pravcu bi pomoglo u mogućnosti praćenja i analize.

IV ZAKLJUČAK

Priključenje solarnih panela prema prikazanom proračunu može da ima značajan uticaj na smanjenje gubitaka i poboljšanje napona na niskonaponskim izvodima elektrodistributivne mreže.

Određena sredstva se odvajaju kao podrška i podsticaj većem korišćenju solarnih panela, ali su ta sredstva do sada bila mala. U slučaju da solarni paneli potrošača isporučuju električnu energiju

u niskonaponsku distributivnu mrežu neophodno je zbog koristi usled smanjenja gubitaka i zbog povoljnog uticaja na životnu sredinu podstaći potrošače na priključenje solarnih panela.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Grujić, A., Todorović, S. Kvalitet električne energije generisane iz krovne PV elektrane stabenog objekta u Vranju, in Proc. XI Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem (CIRED Srbija), Kopaonik, R-2.12, 24-28. septembar 2018.
- [2] Čorba, Z., Milićević, D., Dumnić, B., Katić, V., Popadić, B. Ispunjenje kriterijuma dozvoljenih struja viših harmonika pri priključenju fotonaponskih elektrana na distributivni sistem, in Proc. XI Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem (CIRED Srbija), Kopaonik, R-2.13, 24-28. septembar 2018.
- [3] Simović, V., Žerajić, M. Procena uticaja integracije solarnih elektrana na niskom i srednjem naponu na smanjenje vrednosti gubitaka aktivne snage u prenosnom sistemu, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 1, pp. 81-83, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.81S>
- [4] Vuković, M., Ostojčić, B. Koncept korišćenja mini solarnih centrala u domaćinstvima, in Proc. 36. Savetovanje Energetika 2021, Zlatibor, Srbija, 22-25 Jun 2021.
- [5] Ćirić, R., Ochoa, L.F., Feltrin, A.P., Nouri, H. Analiza kvarova u četverožičnim distributivnim mrežama, Elektrodistribucija: bilten o distribuciji električne energije, No. 1, pp. 34-42, 2006.
- [6] Spremić, S., Obradović, D. Razmatranje gubitaka u niskonaponskim vodovima sa prikazom rezultata proračuna, Energija, ekonomija, ekologija, Vol. 24, No. 1, 2022. <https://doi.org/10.46793/EEE22-1.68S>

AUTORI/AUTHORS

Siniša Spremić - dipl.el.inž., Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad, sinisa.spremic@ods.rs, ORCID [0000-0003-3669-3999](https://orcid.org/0000-0003-3669-3999)

Aleksandar Antonić - dipl.el.inž., Elektrodistribucija Srbije – Tehnički centar Novi Sad, aleksandar.antonc@ods.rs, ORCID [0009-0003-0633-8926](https://orcid.org/0009-0003-0633-8926)