

Tomislav Alinjak
HEP ODS d.o.o. Elektra Slavonski Brod
Tomislav.alinjak@hep.hr

ANALIZA UTJECAJA KUPACA S VLASTITOM PROIZVODNjom NA OPTEREĆENJA I GUBITKE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

SAŽETAK

Posljednjih nekoliko godina u Republici Hrvatskoj je zabilježen značajan porast kupaca s vlastitom proizvodnjom i u kategorijama kućanstva i poduzetništva. Istovremeno s povećanjem broja i instalirane snage elektrana takvih korisnika zabilježen je i porast gubitaka u distribucijskoj mreži unatoč značajnim ulaganjima koja bi trebala dovesti do smanjenja gubitaka i unatoč povećanju broja priključaka i rastu vršnog opterećenja u mreži koji bi također trebali povoljno utjecati na smanjenje gubitaka.

Cilj ovog članka je napraviti analizu na primjeru Elektre Slavonski Brod koja bi obuhvatila kretanje gubitaka u razdoblju prije i nakon pojave značajnijeg broja takvih korisnika te utvrditi koliki je utjecaj takvih korisnika na gubitke u distribucijskoj mreži. Utvrđivanjem razine utjecaja rezultati se mogu primijeniti na planiranje i razvoj distribucijske mreže u okruženju povećanog udjela kupaca s vlastitom proizvodnjom.

Ključne riječi: kupac s vlastitom proizvodnjom, gubici, fotonaponske elektrane, opterećenje, intermitentna proizvodnja

ANALYSIS OF PROSUMERS IMPACT ON LOADINGS AND LOSSES IN DISTRIBUTION GRID

SUMMARY

In the last few years, in Croatia has recorded a significant increase of prosumers, both in households and business categories. At the same time as the number and installed capacity of such powerplants have increased, there has also been an increase in losses in distribution grid, despite significant investments that should lead to a reduction in losses and despite the increase in the number of new connections and the growth of the peak load in the network, which should also have a positive effect on the reduction of losses.

The aim of this article is to conduct an analysis using the example of the grid in Elektra Slavonski Brod, which would include the movement of losses in the period before and after the appearance of significant number of such users, and to determine the impact of such users on losses in the distribution grid. By determining the level of impact, the results can be applied to the planning and development of the distribution network in an environment of an increased share of prosumers.

Keywords: prosumer, losses, photovoltaics, loading, intermittent generation

1. UVOD

Posljednjih nekoliko godina u Republici Hrvatskoj je zabilježen značajan porast kupaca s vlastitom proizvodnjom i u kategorijama kućanstva i poduzetništva. Gotovo sva proizvodnja za vlastite potrebe se odnosi na fotonaponske elektrane. Na porast takvih korisnika istovremeno je utjecalo više faktora: značajan pad cijene opreme, rast cijene energije, želja za energetsom neovisnošću korisnika, velike fluktuacije cijena energenata (plin, gorivo, drva), poticaji za izgradnju takvih postrojenja i za ugradnju dizalica topline, pad cijena električnih i hibridnih vozila. Trenutna proizvodnja fotonaponskih elektrana ovisi o trenutnoj osvjetljenosti fotonaponskih modula, a na osvjetljenost utječu duljina dnevnog svjetla, kut upada sunčevih zraka i vanjska temperatura. Budući da se proizvodnja neprestano mijenja ovisno vanjskim utjecajima, električni izvori poput vjetroelektrana i fotonaponskih elektrana se nazivaju intermitentni izvori.

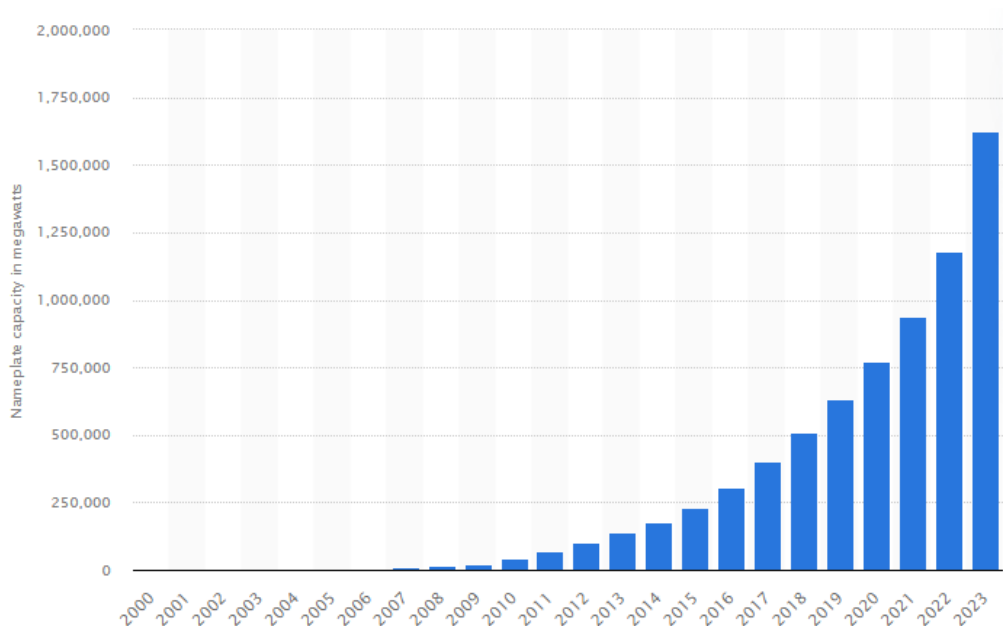
S obzirom na specifičan dijagram proizvodnje fotonaponskih elektrana dolazi do razlika u potrošnji i proizvodnji te se razlika energije pokriva mrežom, bilo predajom u mrežu, bilo preuzimanjem iz mreže. Osobito kod kućanstava razlike znaju biti velike jer u periodima najveće proizvodnje u fotonaponskoj elektrani ukućani su na poslu, u školi i sl., a u večernjim satima kad je najveća potrošnja, osvjetljenost FN modula je mala ili je nema. Takve razlike utječu na prilike u elektroenergetskom sustavu, a utjecaj se povećava s povećanjem instaliranih kapaciteta takvih izvora. Utjecaj se posebno osjeti u distribucijskoj mreži budući da je onda inicijalno građena i razvijana isključivo za potrošače te je imala jedini cilj osigurati opskrbu potrošača zadovoljavajuće kvalitete električne energije.

Istovremeno s povećanjem broja i instalirane snage elektrana takvih korisnika zabilježen je i porast gubitaka u distribucijskoj mreži unatoč značajnim ulaganjima koja bi trebala dovesti do smanjenja gubitaka i unatoč povećanju broja priključaka i rastu vršnog opterećenja u mreži koji bi također trebali povoljno utjecati na smanjenje gubitaka.

Cilj ovog članka je napraviti analizu na primjeru Elektre Slavonski Brod koja bi obuhvatila kretanje gubitaka u razdoblju prije i nakon pojave značajnijeg broja takvih korisnika te utvrditi koliki je utjecaj takvih korisnika na gubitke u distribucijskoj mreži. Utvrđivanjem razine utjecaja rezultati se mogu primijeniti na planiranje i razvoj distribucijske mreže u okruženju povećanog udjela kupaca s vlastitom proizvodnjom.

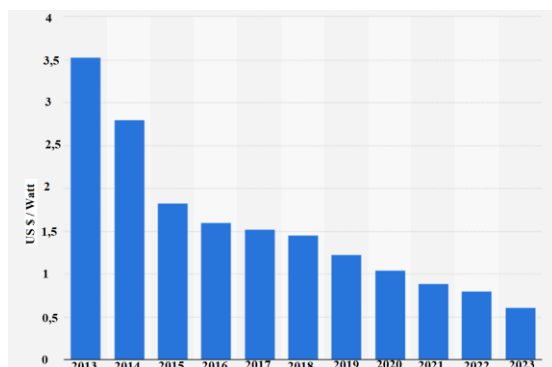
2. TRENDovi I PROGNOZE INSTALIRANIH KAPACITETA FNE

Na slici 1. prikazan je trend porasta kapaciteta instaliranih fotonaponskih elektrana u svijetu od 2000. do 2023. godine te vidimo da je krivulja porasta eksponencijalno rastućeg karaktera, a isti trend se očekuje i u narednom periodu. Na kraju 2023. godine ukupna instalirana snaga je iznosila 1.628 GW, a do kraja 2028. godine se prognozira da će iznositi 5.117 GW [1].



Slika 1. Prikaz porasta instalirane snage fotonaponskih elektrana u svijetu u periodu od 2000. do 2023. godine [2]

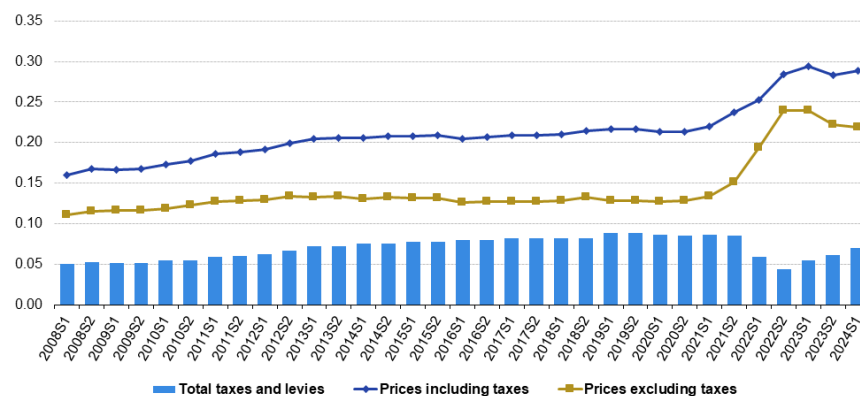
Na slici 2. paralelno je prikazano kretanje prosječne cijene izgradnje fotonaponskih elektrana u svijetu po kW instalirane snage u američkim dolarima. Vidljivo je da je krivulja eksponencijalno padajuća te da je u 2022. godini ukupna prosječna cijena izgradnje iznosila manje od 600 \$/kW.



Slika 2. Prikaz kretanja cijene izgradnje fotonaponskih elektrana u svijetu u periodu od 2013. do 2023. godine [3]

Na slici 3. prikazano je kretanje cijene električne energije za kućanstva u Europskoj Uniji. Značajan porast cijene električne energije je zabilježen od 2021. godine.

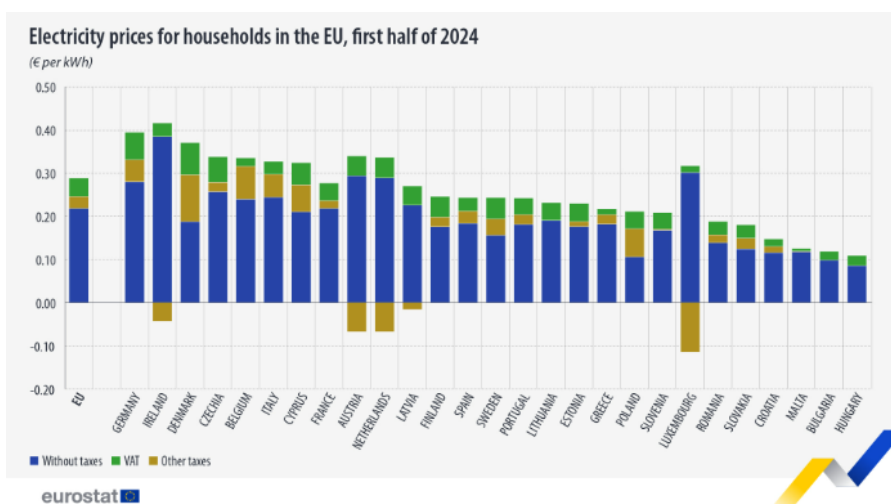
Development of electricity prices for household consumers, EU, 2008-2024
(€ per kWh)



Source: Eurostat (online data codes: nrg_pc_204)

eurostat

Slika 3. Prikaz kretanja cijene električne energije za kućanstva u EU u periodu od 2008. do 2024. [4]



eurostat

Slika 4. Prikaz cijene električne energije za kućanstva u EU po državama u 2024. godini [4]

Na slici 4. prikazane su cijene električne energije kućanstava po državama Europske Unije s prikazanim udjelom poreza.

Uzimajući u obzir sve gore navedene utjecaje porast instalirane snage fotonaponskih elektrana je očekivan budući da su s vremenom postale komercijalno isplative i bez sustava poticaja. Taj trend se osjeti i u Hrvatskoj. Porast broja elektrana je posebno zabilježen u kategoriji kućanstvo zbog poticaja na izgradnju te zbog sustava obračuna potrošnje energije korištenjem netiranja koji takve investicije, ako su dobro dimenzionirane, čine isplativima za manje od 5 godina.

3. PREGLED TRENUTNOG STANJA U ELEKTRI SLAVONSKI BROD

Na području Elektre Slavonski Brod na kraju 2024. godine je bilo priključeno ukupno 785 elektrana s ukupnom priključnom snagom od 33,555 MW dok je 2019. godine bilo priključeno samo 125 elektrana s ukupnom priključnom snagom od 10,277 MW. Od toga su samo tri elektrane na biomasu s ukupnom priključnom snagom od 7,6 MW i sve tri su bile priključene prije 2019. godine. Iz toga proizlazi da je ukupna priključna snaga fotonaponskih elektrana 2019. godine bila 2,677 MW (123 elektrane), a na kraju 2024. godine 25,955 MW (782 elektrane). U promatranom šestogodišnjem razdoblju priključna snaga fotonaponskih elektrana se povećala skoro deset puta, a broj elektrana skoro 6,5 puta. U tablici I. prikazani su statistički podaci za distribucijsko područje Elektra Slavonski Brod u razdoblju od 2019. do 2024. godine koji su preuzeti iz godišnjih izvješća o poslovanju HEP ODS-a.

Tablica I. Statistički podaci Elektre Slavonski Brod u razdoblju od 2019. do 2024. godine

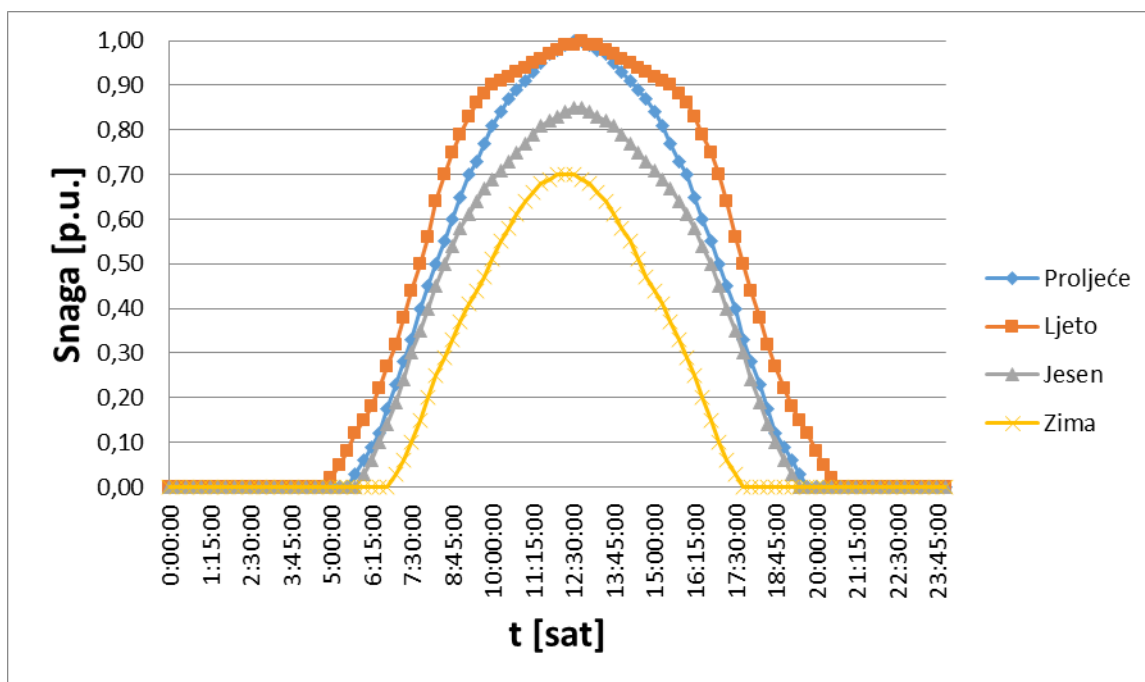
Godina	Ukupna nabava [MWh]	Prodaja [MWh]	Gubici [MWh]	Gubici [%]	Broj OMM	Broj elektrana	Instalirana snaga elektrana [MW]	Vršno opterećenje [MW]
2024	377898	352265	25.633	6,78	67309	785	33555	72,47
2023	368341	342174	26.167	7,07	66779	503	26288	70,00
2022	369187	345177	24.010	6,51	66287	272	17215	65,00
2021	377481	353857	23.624	6,26	65924	190	13383	67,00
2020	370736	341190	29.546	7,97	65318	155	11074	67,00
2019	382132	352242	29.890	7,80	65125	125	10277	67,00

Istovremeno s povećanjem broja elektrana ukupna nabave električne energije se smanjivala od 2019. godine osim 2024. godine kad je ponovno zabilježen porast nabave. Nabava obuhvaća ukupni ulaz energije uključujući nabavu iz prijenosne mreže, iz distribuiranih izvora i iz susjednih distribucijskih područja. Gubici u mreži se računaju kao razlika ukupne nabave i prodaje električne energije te obuhvaćaju tehničke i netehničke gubitke. U razdoblju do 2021. godine svake godine je zabilježen trend smanjenja gubitaka u mreži u odnosu na prethodnu godinu što je bila posljedica značajnog ulaganja u novu opremu u mreži u smislu zamjene 10 kV opreme novom 20 kV opremom te povećanjem presjeka vodiča, posebno u niskonaponskim mrežama. Također, na području netehničkih gubitaka se dulji niz godina ulaže u sanacije obračunskih mjernih mjesta čime se smanjuje mogućnost nepovlasne potrošnje, obračunska mjerna mjesta se čini dostupnima što smanjuje greške očitavanja te se mijenjaju mjerni uređaji čime se smanjuje mogućnost netočnosti mjernih podataka.

Unatoč nastavku ulaganja u modernizaciju mreže te povećanju dijelova mreže na 20 kV naponu, u 2022. i 2023. godini je zabilježen porast relativnih gubitaka u mreži. Taj podatak je praćen naglim porastom broja priključenih elektrana u mreži od kojih su sve fotonaponske elektrane, a oko 80% ukupne priključne snage takvih elektrana su elektrane za vlastitu potrošnju ili elektrane za samoopskrbu. Ukupni broj priključaka u posljednje tri godine se udvostručio na godišnjoj razini u odnosu na period prije 2021. godine što bi očekivano dovelo do povećane nabave i vršne potrošnje. Vršna potrošnja je preko deset godina stagnirala i kretala se oko 65 MW. Povećanjem broja OMM očekivano se povećala i vršna potrošnja, ali nabava je bila manja u 2022. i 2023. godini te su ukupni gubici porasli. Iz navedenih podataka se može zaključiti da je dio korisnika koji je izgradio elektranu za vlastitu potrošnju pokrio dio svoje potrošnje vlastitom elektranom te je došlo do smanjenja ukupne nabave u mreži. U narednim poglavljima obradit će se veza gubitaka i proizvodnje iz distribuiranih izvora.

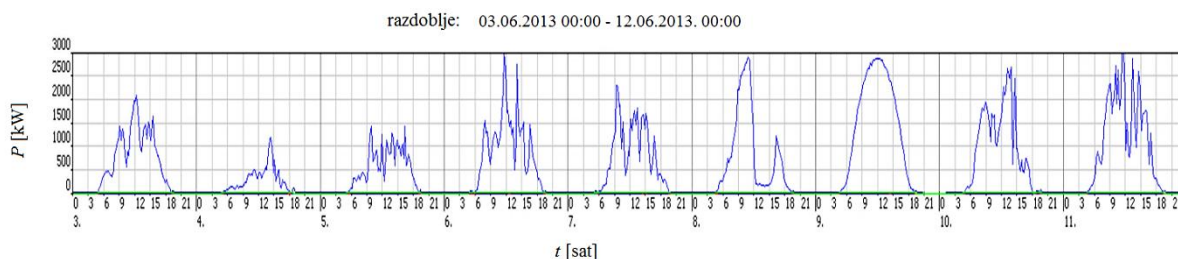
4. UTJECAJ FOTONAPONSKIH ELEKTRANA NA GUBITKE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Dijagram proizvodnje fotonaponskih elektrana ovisi o već gore nabrojanim vanjskim uvjetima. Na slici 5. prikazana je usporedba dnevnih dijagrama proizvodnje elektrana po godišnjim dobima za karakteristični sunčani dan.



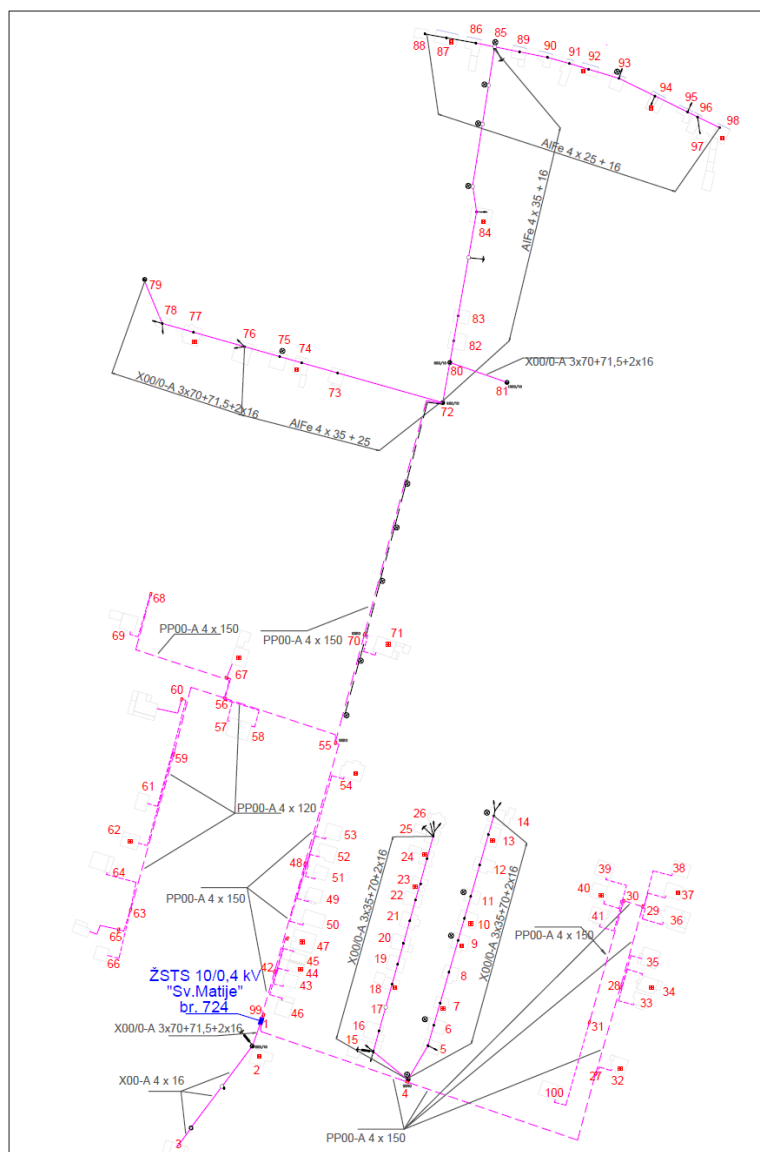
Slika 5. Usporedba dnevnih dijagrama proizvodnje elektrana po godišnjim dobima za karakteristični sunčani dan [5]

Na slici 6. prikazani su stvarni dijagrami proizvodnje prema podacima s brojila za devet uzastopnih dana tijekom lipnja. Vidljivo je da je samo jedan dan bio savršeno sunčan, a da u preostalom vremenu dijagrami nisu glatke krivulje.



Slika 6. Primjer dnevnih dijagrama proizvodnje po fazi fotonaponske elektrane nazivne snage 10 kW tijekom devet uzastopnih dana tijekom mjeseca lipnja [5]

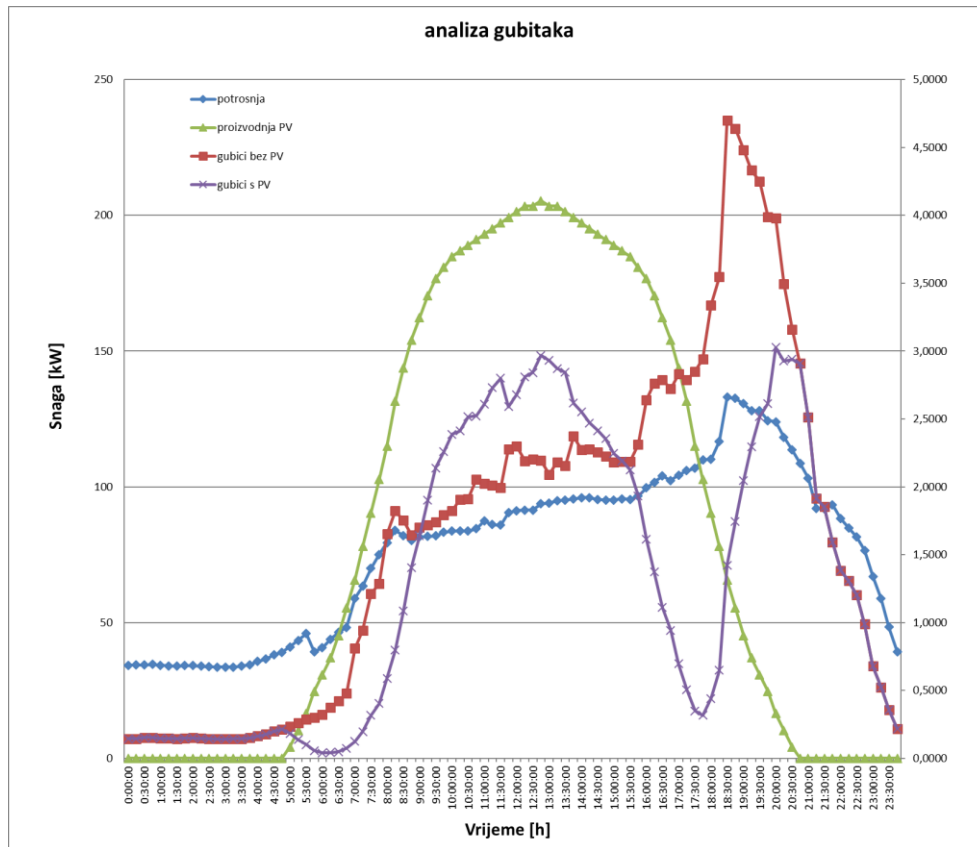
Za potrebe analize utjecaja fotonaponskih elektrana na gubitke napravljen je testni model niskonaponske mreže budući da je najveći broj elektrana priključen upravo na niskonaponsku mrežu (slika 7). Model je razgranata NN mreža sa 100 kupaca od čega 25 njih ima priključenu fotonaponsku elektranu za vlastite potrebe. Ukupna priključna snaga elektrana iznosi 205,40 kW. Trenutno ograničenje priključne snage je jednako priključnoj snazi u smjeru potrošnje za trofazne priključke, a za jednofazne je maksimalna priključna snaga 3,68 kW prema mreži. S obzirom na sustav obračuna energije netiranjem sve elektrane se dimenzioniraju na način da se pokrije godišnja potrošnja korisnika. S obzirom na neistovremenost dijagrama potrošnje i proizvodnje, često dolazi do velikih razlika, a samim time i razmjena energije u oba smjera preko brojila.



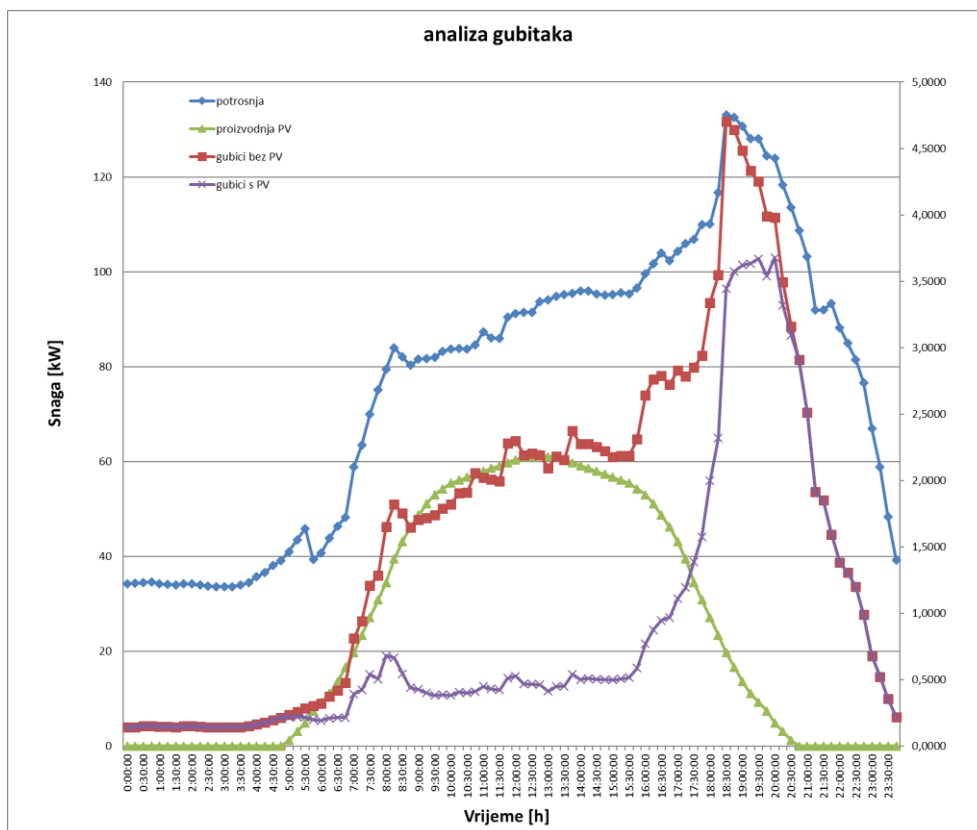
Slika 7. Testni model realne niskonaponske mreže [5]

U literaturi [5] je detaljno analiziran utjecaj na velikom broju ulaznih podataka te je obrađen velik broj slučajeva. Na slikama 8. i 9. prikazani su dnevni dijagrami ukupne potrošnje u mreži, ukupne proizvodnje svih elektrana, ukupni tehnički gubici bez priključenih elektrana (crvena linija) i s priključenim elektranama (ljubičasta linija). Slika 8 se odnosi na idealan sunčani ljetni dan, a slika 9 na oblačan ljetni dan (elektrane rade na 30%). Iz navedenih dijagrama vidljivo je da elektrane djeluju na smanjenje gubitaka u mreži kad je ukupna proizvodnja manja od potrošnje. Međutim u periodima kad ukupna energija proizvodnje premašuje potrošnju, gubici u mreži rastu te elektrana uzrokuje povećanje gubitaka u mreži.

Prema statističkim klimatskim podacima u Hrvatskoj broj sunčanih dana godišnje prosječno se kreće između 12% i 20% za kontinentalnu Hrvatsku te između 20% i 30% za priobalni dio. Najviše sunčanih dana ima tijekom ljetnog perioda, a najmanje zimi. Broj oblačnih dana se kreće između 35% i 40% za gorsku Hrvatsku, između 30% i 35% za sjevernu, središnju i istočnu Hrvatsku te između 20% i 30% za priobalnu Hrvatsku. Preostali dani imaju promjenjivo vrijeme [6].



Slika 8. Usporedba gubitaka u testnoj mreži sa i bez priključenih elektrana tijekom sunčanog dana [5]



Slika 9. Usporedba gubitaka u testnoj mreži sa i bez priključenih elektrana tijekom oblačnog dana [5]

Prema Analizi tehničkih gubitaka u SN mreži Elektre Slavonski Brod [7] analizirano je stanje gubitaka u razdoblju do 2014. godine, odnosno u periodu kad je udio priključenih elektrana bio zanemarivo mal. U zaključku studije je navedeno da „apsolutni i relativni iznos gubitaka ovise o razini opterećenja, ali i o raspodjeli opterećenja u sustavu. U svim navedenim primjerima gubici su manji za stanje u kojem je veći udio potrošnje industrijskog tipa. Veći udio potrošnje industrijskog tipa znači da se veći dio snage troši bliže pojnim točkama, prolazi kroz kraće vodove većeg presjeka i dolazi do boljeg iskorištenja većih transformatorskih jedinica na 10(20)/0,4 kV. Pri povećanom udjelu opće potrošnje gradskog, a posebno vangradskog tipa (stanje apsolutnog maksimuma), veći udio snage troši se na većoj udaljenosti od pojmih točaka, prolazi kroz dulje vodove manjeg presjeka, a dolazi i do pojave visokih i vrlo visokih opterećenja transformatora manje snage (30 – 160 kVA) što rezultira većim gubicima.“

Ukupni gubici Elektre Slavonski Brod u 2014. godini su iznosili oko 8,5 % godišnje. U tom periodu još nije bilo značajnijeg porasta priključenih distribuiranih izvora, a nakon tog perioda obilježene su intenzivne aktivnosti na prelasku na 20 kV gdje je cijeli istočni dio elektre prešao na 20 kV napon. Centar grada Slavanskog Broda je gotovo u cijelosti rekonstruiran te će uskoro biti spreman za prelazak. Sve to je dovelo do redovnog smanjivanja gubitaka iz godine u godinu. Studija [7] je u tom trenutku zaključila da tehnički gubici u SN mreži iznose oko 3,5%. Ako se tome pridodaju i tehnički gubici u NN mreži od cca. 2%, ukupni tehnički gubici u tom trenutku su iznosili oko 5,5%, a preostali gubici od oko 3% su se odnosili na netehničke gubitke.

Smanjenje ukupne nabave električne energije u mreži zbog samoopskrbe može uzrokovati povećani udio netehničkih gubitaka, posebno onih koji se odnose na nepovlasnu potrošnju jer je logično da korisnik koji neovlašteno koristi električnu energiju neće instalirati elektranu za vlastitu potrošnju.

Zbog sustava netiranja korisnici kako bi povećali ukupnu proizvodnju energije do svoje godišnje potrošnje često moraju izgraditi fotonaponsku elektranu priključne snage veće nego li sami uistinu troše, a posebno ako se uzme karakteristični dijagram potrošnje kućanstva gdje se najveća potrošnja ostvaruje između 18 i 21 sat kad elektrane rade smanjenim kapacitetom (od travnja do listopada) ili uopće ne rade (od listopada do travnja).

Dodatni utjecaj na gubitke je režim rada fotonaponskih elektrana. Gotovo sve fotonaponske elektrane rade s faktorom snage $\cos\varphi = 1$ zbog isplativosti jer kod kućanstava nema obračuna potrošnje jalove energije. Na taj način korisnici pokriju potrošnju svoje radne snage, a jalovu energiju moraju uzimati iz mreže pa kroz vodiče imamo povećane tokove jalove snage.

Kod kućanstava s vlastitom proizvodnjom koja su u sustavu netiranja pojavljuje se problem s neplaćanjem mrežarine. U 2024. godini u Elektri Slavonski Brod ukupna nabava električne energije iz elektrana je iznosila 65.289.135 kWh. Od ukupno 785 proizvođača, njih 155 su kupci s vlastitom proizvodnjom, 463 su kućanstva s vlastitom proizvodnjom (samoopskrba), a preostali broj od 167 korisnika su proizvođači. Ukupna priključna snaga korisnika samoopskrbe u smjeru proizvodnje iznosi 2.713,79 kW. Ako se uzme da je prosječna godišnja potrošnja na promatranom području 1200 kWh/kW instalirane snage, može se procijeniti da ti korisnici godišnje proizvedu cca. 3.256.548 kWh. Dio te energije se lokalno potroši prije brojila, a dio završi u mreži. Prosječno oko 50% ukupno proizvedene energije završi u mreži što bi značilo da su ti korisnici predali u mrežu cca. 1.628.274 kWh. Cijena tarifikne stavke za radnu energiju u višoj tarifi za tarifni model bijeli iznosi 0,038649 EUR/kWh za distribuciju i 0,019324 EUR/kWh za prijenos. To bi značilo da je sustavom netiranja izbjegnuto plaćanje mrežarine u godišnjem iznosu od 62.931,16 eura za distribucijsku mrežu i 31.464,77 eura za prijenosnu mrežu. Udio te energije u ukupno prodanoj energiji za Elektru Slavonski Brod iznosi 0,46%.

Svi kupci s vlastitom proizvodnjom imaju cilj pokriti što veći udio vlastite potrošnje iz svoje elektrane, a za razliku energije u oba smjera koriste mrežu. Duljina mreže koju operatori moraju održavati ostaje ista, ali se tokovi energije smanjuju za iznos energije koju su takvi korisnici sami potrošili iza brojila. Na taj način se smanjuju prihodi operatora. Može se procijeniti da se kod samoopskrbe 90% proizvedene energije ili netira ili direktno potroši iza brojila, dok se kod kupaca s vlastitom proizvodnjom obračunava ukupna razmjena energije u oba smjera pa se može procijeniti da se oko 60% energije potroši lokalno iza brojila, a ostatak predaju u mrežu. Pomoću podataka o prosječnoj godišnjoj proizvodnji, cijenama mrežarine i količini energije se može procijeniti ukupno godišnje smanjenje prihoda od mrežarine za oba operatora. Prema procijenjenoj godišnjoj proizvodnji korisnika samoopskrbe ukupno se smanjuje mrežarina za 2.930.893,2 kWh. Ukupna priključna snaga kupaca s vlastitom proizvodnjom je 13.940,03 kW pa njihova procijenjena godišnja proizvodnja iznosi 16.728.036 kWh. Prema procjeni energija koju korisnici sami potroše iznosi 10.036.821,6 kWh. Ukupni procijenjeni iznos smanjenja tokova energije u Elektri Slavonski Brod iznosi 12.967.714,8 kWh. Na godišnjoj razini smanjenje prihoda od mrežarine za područje Elektre Slavonski Brod se procjenjuje na 501.189,21 EUR za distribuciju, odnosno 250.588,12

EUR za prijenos. Plan redovnog održavanja Elektre Slavonski Brod u 2025. godini iznosi 949.000 EUR, a smanjenje prihoda od mrežarine za distribuciju je veće od 50% tog plana. Udio ukupne energije kojom korisnici s vlastitom proizvodnjom smanjuju mrežarinu u ukupnoj nabavi energije Elektre Slavonski Brod iznose 3,43%, a u ukupnoj prodaji 3,68%.

5. PRIJEDLOZI ZA SMANJENJE UTJECAJA ELEKTRANA NA MREŽU

Iz prethodnog poglavlja vidljivo je da korisnici s vlastitom proizvodnjom imaju značajan utjecaj na ukupne gubitke i prihode od mrežarine. Osim toga, povećani udio intermitentnih izvora u mreži zahtijeva dodatna ulaganja u pojačanje mreže i smislu povećanja kapaciteta u transformatorima i u vodovima. Kako bi se omogućilo priključenje većeg broja elektrana, posebno u niskonaponske mreže, potrebno je planirati zamjene postojećih vodiča manjih presjeka u vodiče većih presjeka. U HEP ODS-u u NN mrežama se u nove zračne mreže standardno ugrađuje samonosivi kabelski snop presjeka 70 mm², ali je još uvijek prilično velik udio AlFe vodiča presjeka do 35 mm². S obzirom na duljinu NN mreže, ulaganja u zamjene vodiča su zahtjevne u financijskom i vremenskom pogledu.

U trenucima predaje viškova energije u mrežu iz elektrana dolazi do porasta napona u mreži. S povećanjem udjela fotonaponskih elektrana u niskonaponskim mrežama postaje sve veći izazov za operatore održavati naponske prilike u propisanom okviru $\pm 10\%$ od nazivnog napona. Posljednjih tridesetak godina standardno su se ugrađivali transformatori s prijenosnim omjerom 10(20)/0,42 kV što je u startu davalo sekundarni napon povećan za 5% od nazivnog napona. Time je smanjen kapacitet mreže za prihvrat novih distribuiranih izvora pa je potrebno razmotriti i rješenje sa starim prijenosnim omjerima 10(20)/0,4 kV.

Ulaganja u primarnu opremu su ekonomski opravdana do razine maksimalnih standardnih presjeka vodiča i nazivnih snaga transformatora za pasivnu mrežu. Ekonomski nije opravdano povećavati presjeke vodiča i povećavati nazivne snage transformatora zbog korisnika s vlastitom proizvodnjom budući da su vršna opterećenja mreže zbog prevelike proizvodnje kratkotrajna pa bi u većini vremena mreža bila značajno podopterećena što bi dovelo i do povećanja gubitaka u mreži te preinvestiranosti [8]. Za optimizaciju pogona distribucijske mreže puno učinkovitije su se pokazale promjene u metodama vođenja mreže.

Kako bi se smanjili gubici u distribucijskoj mreži potrebno je pristupiti aktivnom vođenju mreže što zahtijeva prvenstveno razradu modela vođenja sukladno prilikama u mreži te određivanju optimalnih režima i uklopnih stanja u mreži koja bi se trebala mijenjati ovisno o dijelovima dana (noć, dan), o sezoni i vremenskoj prognozi. Za češće promjene uklopnih stanja potrebno je intenzivirati ulaganja u automatizaciju mreže po dubini te pristupiti sustavnom prikupljanju i obradi svih mjernih podataka po dubini sa razine transformatorskih stanica i pametnih brojila.

Jedan od načina smanjenja utjecaja elektrana je i uvođenje novih tržišnih i tarifnih modela te uvjetovanja ugradnje baterijskih spremnika kod takvih korisnika kojima će se smanjiti predaja viškova u mrežu te donekle smanjiti opseg kretanja napona u mreži u scenarijima niske proizvodnje i visoke potrošnje i visoke proizvodnje i niske potrošnje.

Potrebno je razmotriti uvođenje aktivne regulacije rada fotonaponskih elektrana. Budući da je u niskonaponskim mrežama gotovo nemoguće provesti automatizaciju upravljanja po dubini, regulacija bi se provodila na razini samih elektrana na izmjenjivačima. U pojedinim državama takva praksa je već neko vrijeme u primjeni i svi izmjenjivači moraju imati mogućnost regulacije snage.

Potrebno je razmotriti i uvjetovanje rada elektrana u kapacitivnom režimu rada. Radom elektrana s faktorom snage $\cos \varphi = 1$ kompenzira se potrošnja radne snage, a udio tokova jalove snage u ukupnoj snazi kroz vodiče se povećava.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog članka je bio analizirati pojavu porasta gubitaka na primjeru distribucijske mreže Elektre Slavonski Brdo koja je poklopila s naglim povećanjem udjela distribuiranih izvora za vlastitu potrošnju. Gubici su se povećali unatoč velikim ulaganjima u modernizaciju mreže zamjenom starih dotrajalih elemenata novima (transformatori, kabeli, vodiči i sl.) koji su energetske puno učinkovitiji, aktivnostima na prelasku na 20 kV napon te na aktivnostima optimizacije vođenja mreže s ciljem smanjenja gubitaka.

U članku su analizirani statistički podaci te je izvršena procjena doprinosa korisnika s vlastitom proizvodnjom na kretanje gubitaka. Naglašeno je da osim gubitaka takvi korisnici utječu i na smanjenje prihoda od mrežarine koja je glavni prihod operatora distribucijskog i prijenosnog sustava. S obzirom na rastući trend priključenja obnovljivih izvora, posebno fotonaponskih elektrana, koji se očekuje i u narednim godinama, njihov utjecaj na gubitke i naponske prilike će se i dalje povećavati, prihodi operatora će se smanjivati, a potreba za ulaganjima u mrežu povećavati.

Svrha ovog članka je bila potaknuti na razmišljanje i pokrenuti raspravu u kojem smjeru donositi odluke o daljnjem razvoju distribucijske mreže iz pogleda samog operatora, ali i regulatora. S obzirom da sve veći utjecaj potrebno je planirati cijene mrežarina, naknada za priključenje i načine izračuna naknada (jedinična cijena, stvarni trošak, udio i sl). Također je potrebno donijeti zaključke i postaviti granice opravdanosti ulaganja u mrežu iz razloga priključenja distribuiranih izvora imajući u vidu osnovnu svrhu i namjenu distribucijske mreže, a da se pri tom neopravdano ne koči razvoj novih tehnologija i obnovljivih izvora energije.

Zaključak je da se u bliskoj budućnosti mogu očekivati sve veći izazovi u pogledu vođenja distribucijske mreže i da se već sad moraju donijeti smjernice i upute za razvoj i modernizaciju mreže u narednom desetogodišnjem planu. Opravdanim i ciljanim ulaganjima u modernizaciju mreže i povećanje kapaciteta te aktivnim vođenjem distribucijske mreže, koje podrazumijeva povećanje udjela automatizacije mreže po dubini te prikupljanje i obradu mjernih podataka po dubini mreže, može se značajno utjecati na smanjenje gubitaka i bolju iskoristivost mreže te iskoristiti sve dobrobiti koje distribuirani izvori donose u mrežu.

7. LITERATURA

- [1] <https://www.statista.com/statistics/1024067/forecast-for-total-installations-of-solar-energy-capacity/>
- [2] <https://www.statista.com/statistics/280200/global-new-installed-solar-pv-capacity/>
- [3] <https://www.statista.com/statistics/971982/solar-pv-capex-worldwide-utility-scale/>
- [4] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Development_of_electricity_prices_for_household_consumers_2008-2024.png
- [5] T. Alinjak, „Minimizacija gubitaka snage u distribucijskoj mreži sa značajnim udjelom fotonaponskih elektrana primjenom metode umjetnih kolonija pčela“, doktorski rad, Zagreb 2018.
- [6] K. Zaninović, M. Gajić-Čapka, M. Perčec Tadić, M. Vučetić, J. Milković, A. Bajić, K. Cindrić, L. Cvitan, Z. Katušin, D. Kaučić, T. Likso, E. Lončar, Ž. Lončar, D. Mihajlović, K. Pandžić, M. Patarčić, L. Srnec, V. Vučetić :“Klimatski atlas Hrvatske 1961.-1990., 1971.-2000.“, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2008.
- [7] „Analiza tehničkih gubitaka u SN mreži Elektre Slavonski Brod“, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, listopad 2014.
- [8] S. Hashemi, J. Østergaard :“Methods and Strategies for Overvoltage Prevention in Low Voltage Distribution Systems with PV“, IET Renewable Power Generation, vol. 11, Issue 2, pp. 205-214, 24. travanj 2017.