

Tanja Marijanić  
HEP – ODS d.o.o., Zagreb  
[tanja.marijanic@hep.hr](mailto:tanja.marijanic@hep.hr)

Tomislav Alinjak  
HEP – ODS d.o.o., Zagreb  
[tomislav.alinjak@hep.hr](mailto:tomislav.alinjak@hep.hr)

Anđelko Tunjić  
HEP – ODS d.o.o., Zagreb  
[andelko.tunjic@hep.hr](mailto:andelko.tunjic@hep.hr)

## PRISTUP PLANIRANJU DISTRIBUCIJSKE MREŽE U OKRUŽENJU NAPREDNIH MREŽA

### SAŽETAK

Današnji elektroenergetski sustavi suočeni su sa značajnim promjenama u načinu potrošnje i proizvodnje električne energije. Distribuirani izvori energije postupno pretvaraju distribucijske mreže u distribucijske sustave, a same mreže u aktivne, tzv. Napredne mreže.

Zbog porasta udjela distribuiranih izvora potrebno je prilagoditi konvencionalne načine planiranja i vođenja distribucijskih mreža. U radu su predstavljeni izazovi pri planiranju aktivnih distribucijskih mreža te inovativni pristupi planiranju kojima se mogu odgoditi ulaganja u povećanje kapaciteta mreže.

Na primjeru mreže prikazan je mogući utjecaj distribuiranih izvora na električne prilike u mreži te na koji se način implementacijom funkcionalnosti Naprednih mreža, bez ulaganja u povećanje kapaciteta mreže, može otkloniti ili smanjiti negativni utjecaj distribuiranih izvora na gubitke i naponske prilike.

**Ključne riječi:** distribucijska mreža, planiranje, Napredna mreža, distribuirani izvor, mikromreža

## DISTRIBUTION NETWORK PLANNING APPROACH REGARDING SMARTGRIDS

### SUMMARY

Nowadays, power systems are facing significant changes in electricity consumption and generation. Distributed generation is forcing distribution networks to gradually evolve into distribution systems, and distribution grids into active networks, i.e. Smart Grids.

With the increase of the penetration of distributed generation, conventional planning and control methods need to be examined. This paper presents challenges of active distribution network planning and demonstrates innovative planning approaches which can postpone grid reinforcements.

A specific example shows how distributed generation can influence grid operation. The same example demonstrates how implementing Smart Grid functions with no grid reinforcements eliminates the negative impact distributed generation can have on losses and voltage profiles.

**Key words:** distribution network, planning, Smart Grid, distributed generation, microgrid

## 1. UVOD

Postojeće distribucijske mreže nastale su kao odgovor na porast potrošnje električne energije, planirane su i građene za jednosmjerne tokove snage od viših naponskih razina prema nižima. U posljednjim desetljećima su distribucijske mreže širom svijeta suočene sa značajnim promjenama:

- U načinu potrošnje energije – prijelaz gospodarstva s proizvodnog na uslužni sektor uzrokuje široko distribuiranu potrošnju, tehnološkim napretkom povećava se potrošnja energije kućanstava, pojavljuju se novi potrošači (npr. električna vozila i punionice), dok socijalni i ekonomski pritisci potiču energetska učinkovitost i upravljanje potrošnjom,
- U načinu proizvodnje energije – s ciljem smanjenja štetnog utjecaja na okoliš i povećanja energetske učinkovitosti potiče se proizvodnja iz distribuiranih izvora energije na svim naponskim razinama.

Do pojave distribuiranih izvora (DI), distribucijske mreže bile su isključivo pasivne. Distribuirani izvori postupno mrežu pretvaraju u aktivnu, tzv. Naprednu mrežu (eng. *Smart Grid*). Napredna mreža je mreža koja može na inteligentan način integrirati aktivnosti svih korisnika spojenih na nju, proizvođača, kupaca i onih koji objedinjuju te dvije funkcije, i pritom osigurati učinkovitu, održivu i sigurnu dobavu električne energije.

Novonastali uvjeti predstavljaju izazov konvencionalnom planiranju distribucijske mreže, dok ostale funkcionalnosti Naprednih mreža (npr. automatizacija mreže, napredna mjerenja, upravljanje potrošnjom i visoka razina informatizacije i izgradnje telekomunikacijske infrastrukture), omogućuju operateru distribucijskog sustava integraciju novih korisnika uz minimalne zahvate u mreži.

Zbog navedenog, potrebno je uspostaviti novi pristup planiranju distribucijske mreže koji će na ekonomski prihvatljiv način omogućiti porast udjela distribuirane proizvodnje i implementaciju ostalih funkcionalnosti Napredne mreže, uz poštivanje općeprihvaćenih tehničkih i ekonomskih kriterija planiranja.

U prvom dijelu rada predstavljen je konvencionalni pristup planiranju pasivnih distribucijskih mreža te su prikazana načela planiranja aktivnih distribucijskih mreža, uz detaljniji opis nekih od predloženih novih struktura Naprednih mreža, hibridnih mreža i mikromreža. Drugi dio rada prikazuje kako se priključenjem solarnih mikroelektrana na niskonaponsku mrežu može zadržati stabilnost sustava i odgoditi ulaganje u povećanje kapaciteta mreže.

## 2. KONVENCIONALNO PLANIRANJE DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Planiranje distribucijske mreže obuhvaća izradu različitih varijanti i odabir optimalne varijante pružanja pouzdane usluge korisnicima mreže obzirom na njihove buduće potrebe. Cilj planiranja je definirati niz i redosljed zahvata koje je potrebno provesti u mreži kako bi se kroz čitavo promatrano razdoblje osigurao pouzdan pogon mreže. Zahvati koji proizlaze iz planiranja distribucijske mreže su [1]:

- Izgradnja novog voda,
- Izgradnja nove transformatorske stanice VN/SN ili SN/SN za napajanje mreže srednjeg napona,
- Povećavanje prijenosne moći postojećih vodova ili transformatora kroz prijevremenu ili nužnu rekonstrukciju,
- Prijelaz dijela mreže na pogon na višoj naponskoj razini,
- Daljnji razvoj pomoćnih sustava (npr. automatizacija mreže – daljinski upravljive rastavne sklopke ili prekidači, linijski regulatori napona i dr.),
- Promjena uklopnog stanja mreže u kombinaciji s vremenskim odlaganjem nekog od gore navedenih rješenja.

U postupku planiranja distribucijske mreže razmatraju se sva rješenja koja zadovoljavaju primijenjene tehničke i ekonomske kriterije.

### 2.1. Tehnički kriteriji

Tehnički kriteriji planiranja distribucijske mreže u HEP – Operatoru distribucijskog sustava odnose se na preopterećenja električnih komponenti mreže, kvalitetu napona i pouzdanost opskrbe potrošača [2]. Točnije, pogonske veličine za koje se kriteriji popisuju su:

- Dopušteno opterećenje transformatora, vodova i kabela,

- Dopušteno odstupanje napona,
- Pouzdanost opskrbe.

Propisani kriteriji planiranja trebaju biti zadovoljeni za dvije vrste pogonskih stanja:

- a) Normalni pogon distribucijske mreže („n“ stanje), odnosno, stanje mreže u kojem su svi kupci opskrbljeni, naponi se održavaju u rasponu između dopuštenog maksimalnog i minimalnog napona, opterećenja svih elemenata distribucijske mreže su manja od nazivnih vrijednosti, struje kratkog spoja u svim čvorištima distribucijske mreže manje su od rasklopne moći pripadajućih prekidača, postoje dovoljne rezerve u prienosnoj mreži i elektranama priključenim na distribucijsku mrežu te se ostvaruju sve usluge i planski radovi u distribucijskoj mreži.
- b) Izvanredni pogon distribucijske mreže („n-1“ stanje), koji nastupa prilikom neplaniranog zastoja, tj. neraspoloživosti pojedine komponente mreže. „n-1“ kriterij planiranja je zadovoljen ako je nakon zastoja uspostavljeno novo pogonsko stanje u kojemu se naponi i opterećenja elemenata mreže održavaju u dopuštenim okvirima bez smanjenja potrošnje, odnosno, trajanja prekida napajanja većih od dopuštenih.

## 2.2. Ekonomski kriteriji

Primjenom ranije opisanih kriterija na promatranu mrežu dolazi se do varijanti rješenja distribucijske mreže koje zadovoljavaju definirane tehničke kriterije.

Ekonomskim analizama [1] optimalnom varijantom razvoja odabire se ona koja u promatranom razdoblju zahtijeva najmanje troškove ulaganja. Osim ulaganja u izgradnju i pojačanje mreže, u obzir se uzimaju i troškovi gubitaka energije i snage, troškovi neisporučene energije i snage te troškovi pogona mreže.

## 2.3. Pristup i procedura planiranja

Uobičajeni proces planiranja distribucijske mreže započinje pripremom ulaznih podataka (podaci o postojećoj mreži, troškovi zahvata u mreži) te izradom modela mreže na kojemu će se provoditi analize. Procedura planiranja distribucijske mreže provodi se kroz sljedeće osnovne korake:

- 1) Analiza postojećeg stanja i pogona mreže, određivanje slabih točaka mreže,
- 2) Prognoza opterećenja,
- 3) Određivanje slabih točaka distribucijske mreže (sukladno tehničkim kriterijima),
- 4) Izrada varijanti razvoja mreže (sukladno tehničkim kriterijima),
- 5) Odabir optimalne varijante razvoja mreže (sukladno ekonomskim kriterijima).

## 3. PLANIRANJE U OKRUŽENJU NAPREDNIH MREŽA

Planiranje i vođenje distribucijskih mreža nepromijenjeno je od razdoblja elektrifikacije sredinom prošlog stoljeća. Distribucijske mreže planirane su i građene za pasivan rad, tj. jednosmjerni prienos energije od prienosnog sustava do korisnika mreže.

Dosadašnji mali broj distribuiranih izvora priključen je prema potrebi, razmatrajući zasebno svaki pojedini slučaj, pri čemu se utjecaj na okolnu mrežu promatra u najnepovoljnijem slučaju, pretpostavljajući maksimalnu proizvodnju DI uz minimalno lokalno opterećenje, kako priključak DI ne bi narušio postojeće prilike u mreži.

Povećanje udjela distribuirane proizvodnje utječe na pogon distribucijske mreže kroz:

- Dvosmjerne tokovi snaga i moguće preopterećenje elemenata sustava,
- Utjecaj na naponske prilike i odstupanje od dopuštenih iznosa,
- Porast struja kratkog spoja,
- Utjecaj na gubitke u mreži,
- Utjecaj na sustave zaštite.

Uz promijenjene uvjete u mreži, stabilnost pogona može se zadržati povećanjem kapaciteta mreže, no i primjenom ekonomski prihvatljivijih inovativnih rješenja planiranja i vođenja mreže.

### 3.1. Promjene u pristupu planiranju

Konvencionalno planiranje pasivnih mreža, uz proceduru opisanu u poglavlju 2.3., slijedi niz: predviđanje opterećenja – planiranje zahvata na postojećim objektima i izgradnja novih objekata po naponskim razinama. Pri planiranju aktivnih distribucijskih mreža, u obzir treba uzeti mogućnost pojave DI na svim naponskim razinama, u bilo kojoj točki mreže, pri čemu su snaga i proizvodnja DI nepredvidive. Konvencionalno planiranje na ove pretpostavke odgovara značajnim ulaganjima u povećanje kapaciteta mreže, što, uz neizvjesnost priključenja DI, operatoru distribucijskog sustava predstavlja znatan rizik.

Pojednostavljena procedura planiranja aktivnih distribucijskih mreža slijedi korake [3]:

- 1) Analiza postojećeg stanja i pogona mreže, određivanje slabih točaka mreže (bez DI),
- 2) Prognoza opterećenja (bez DI),
- 3) Izrada osnovnih modela razvoja mreže (konvencionalno planiranje bez DI),
- 4) Izrada alternativnih modela razvoja mreže (planiranje s DI),
- 5) Odabir optimalnog modela razvoja mreže.

Kako bi se smanjio rizik, a istovremeno osigurala buduća stabilnost sustava, osim pojačanja mreže pri planiranju treba razmatrati i:

- Alternativne strukture mreže,
- Nove načine vođenja,
- Razmjenu informacija sa nadređenom mrežom,
- Korištenje širokog opsega podataka o mreži prikupljenih zahvaljujući novim tehnologijama.

### 3.2. Promjene u strukturi mreže

Priključak većeg udjela DI zasigurno zahtjeva investicije u pojačanje mreže. Prilagodбом načina planiranja i vođenja mreže dijelom se može izbjeći izgradnja novih vodova i transformatorskih stanica, uz nužnu automatizaciju mreže i primjenu novih tehnologija pri vođenju mreže.

Dostupna literatura predlaže razne inovativne strukture mreže čiji je cilj koristeći funkcionalnosti Naprednih mreža, uz minimalne zahvate i izgradnju mreže, omogućiti prihvata velikog udjela distribuiranih izvora. Moguće nove strukture mreže su: prstenaste i hibridne mreže, rezervne sredjonaponske mreže, mikromreže (eng. *microgrid*) itd. Struktura i pogon prstenastih i hibridnih mreža te mikromreža detaljnije su razrađeni u nastavku.

#### 3.2.1. Prstenaste i hibridne mreže

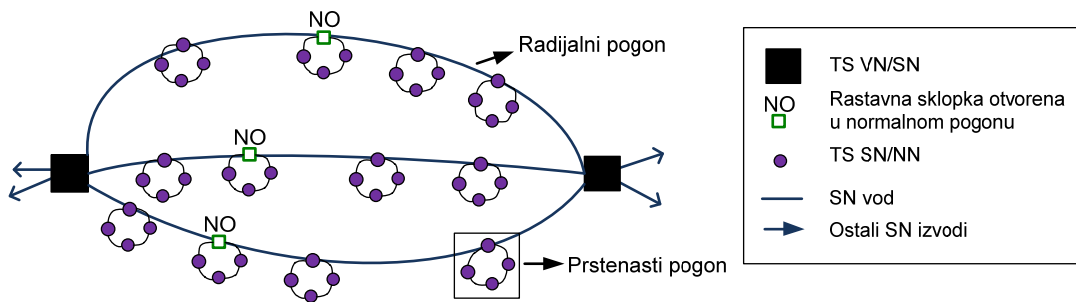
Istraživanja [4,5] pokazuju kako se prelaskom s tradicionalno radijalnih na prstenaste ili hibridne mreže može prihvatiti značajan udio distribuiranih izvora.

Prstenastom ili hibridnom strukturom distribucijske mreže mogu se:

- Smanjiti gubici, tj. prihvatiti veći udio DI prije no što dođe do povećanja gubitaka,
- Odgoditi značajnija ulaganja u povećanje kapaciteta mreže kroz smanjeno opterećenje i bolju iskoristivost transformatora te smanjenje broja jače opterećenih vodova,
- Poboljšati pouzdanost napajanja, tj. smanjiti količine neisporučene energije.

Naravno, složenija struktura prstenastih mreža zahtijeva prilagodbu sustava zaštite, intenzivniju automatizaciju i upravljanje pogonom mreže.

Jedno od predloženih rješenja prihvata velikog udjela DI je i hibridni pogon distribucijske mreže [5], prikazan Slikom 1.



Slika 1. Načelna shema hibridne mreže

U ovom se slučaju izvodi iz TS VN/SN napajaju radijalno, uz rastavne sklopke otvorene u normalnom pogonu. Trafostanice SN/NN međusobno su prstenasto spojene te priključene na glavni vod. Ovakav hibridni pogon uređen je na sljedeći način [5]:

- Svaki je prsten na glavni vod spojen preko dvije daljinski upravljive rastavne sklopke te jednog prekidača koji djeluje u slučaju kvara unutar prstena,
- Svaka TS SN/NN u prsten je spojena preko rastavne sklopke zatvorene u normalnom pogonu.

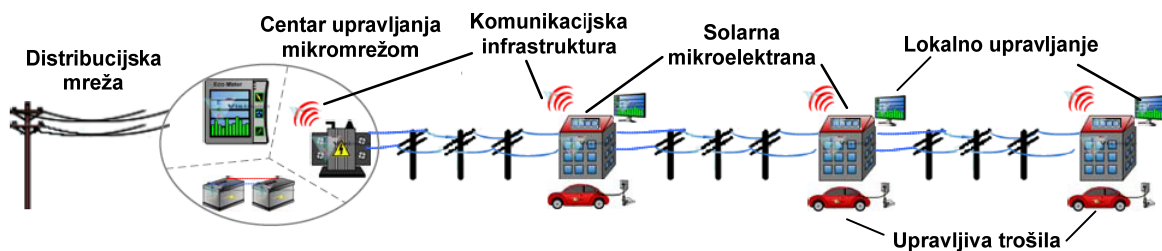
Hibridna struktura i daljinsko vođenje mreže omogućava pronalazak i izolaciju kvara na bilo kojoj lokaciji u nekoliko koraka ponovnog uklopa rastavnih sklopki. Istraživanja na stvarnoj mreži dokazuju kako se s porastom broja prstena smanjuje ukupno trajanje prekida napajanja te povećava mogućnost prihvata DI [5].

### 3.2.2. Mikromreže

Priključkom malih, modularnih DI na niskonaponsku mrežu dolazi do razvoja tzv. mikromreža. Pod tim pojmom podrazumijeva se SN/NN distribucijski sustav unutar kojega koordinirano djeluju distribuirani izvori, upravljiva trošila i uređaji za pohranu energije.

Kao što je prikazano Slikom 2., mikromreže sadrže [6]:

- Niskonaponsku mrežu,
- Male, modularne proizvodne jedinice,
- Uređaje za pohranu energije,
- Sustave upravljanja (centralni i lokalni, upravljanje sustavom, DI i trošilima).



Slika 2. Načelna shema mikromreže

Ovakvi sustavi u normalnom pogonu rade paralelno s distribucijskom mrežom, djelomično ili potpuno opskrbljuju lokalnu potrošnju i, ovisno o prilikama, višak proizvedene energije isporučuju u sustav te tako mogu pozitivno djelovati na održavanje napona, smanjiti gubitke u sustavu i odgoditi pojačanja mreže. U slučaju ispada više naponske razine, mikromreže mogu biti predviđene za prelazak u otočni pogon, čime se na predmetnom području dodatno povećava pouzdanost i raspoloživost napajanja.

Dodatna ulaganja u komunikacijsku infrastrukturu, napredna mjerenja i upravljanje mikromrežom mogu biti opravdana kroz tehničke i ekonomske koristi:

- Odgoda ulaganja u pojačanje mreže,
- Smanjenje ukupne potrošnje energije,
- Energetska učinkovitost,
- Povećanje pouzdanosti.

## 4. U OKRUŽENJU SOLARNIH ELEKTRANA

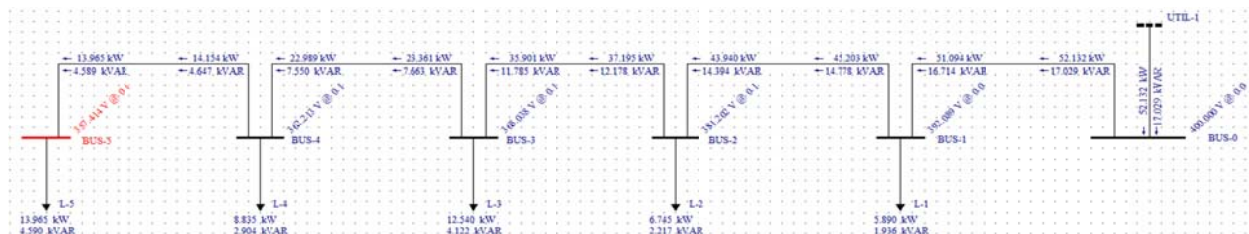
### 4.1. Distribucijska mreža u okruženju solarnih elektrana

Veliki broj distribuiranih izvora postupno pretvara distribucijsku mrežu u aktivnu mrežu, što zahtijeva nova rješenja u vođenju i održavanju distribucijskog sustava. Za veće elektrane, koje se priključuju na srednjonaponsku mrežu, izrađuju se studije utjecaja na mrežu te se uvjetuje direktno upravljanje iz dispečerskog centra sustavom daljinskog vođenja. Najčešće se radi o sinkronim generatorima koji su relativno lako upravljivi i imaju konstantnu snagu, što pojednostavljuje izradu planova vođenja sustava i kao takvi ne predstavljaju problem. Međutim, najveći broj distribuiranih izvora se odnosi na solarne elektrane instalirane na krovovima kuća i priključene na niskonaponsku mrežu. Ove izvore odlikuje velika prostorna raspršenost, nepredvidivost lokacije budućih elektrana i proizvodnja koja ovisi o trenutnim vremenskim prilikama, a njihova upravljivost je znatno složenija od generatora i ponajviše ovisi o ugrađenim funkcijama invertera. Prema važećim propisima solarne elektrane mogu u mrežu predavati isključivo radnu snagu što uzrokuje poraste napona u mreži. Ovisno o konfiguraciji mreže, utjecaj može biti pozitivan, ali i negativan. Načinjen je model radijalne mreže koji će prikazati primjer pozitivnog i negativnog utjecaja elektrane na mrežu.

Cijela mreža izvedena je vodičima AlFe 4x25 mm<sup>2</sup>, a ukupna duljina iznosi 374 m. Tanki presjek vodiča i veliki razmak između potrošača su ciljano odabrani kako bi se prikazala slaba mreža koja je osjetljiva na promjene opterećenja. Napon na početku izvoda iznosi 400 V. Proračun pada napona je izveden pomoću komercijalnog programskog paketa Easypower, a sva opterećenja su simetrična trofazna i s faktorom snage  $\cos \varphi = 0,95$ . Ulazni podaci za proračun nalaze se u Tablici I. Prema rezultatima proračuna tokova snaga napon u krajnjoj točki mreže iznosi 357,4 V, što je ispod donje dozvoljene granice od (-10) % (Slika 3).

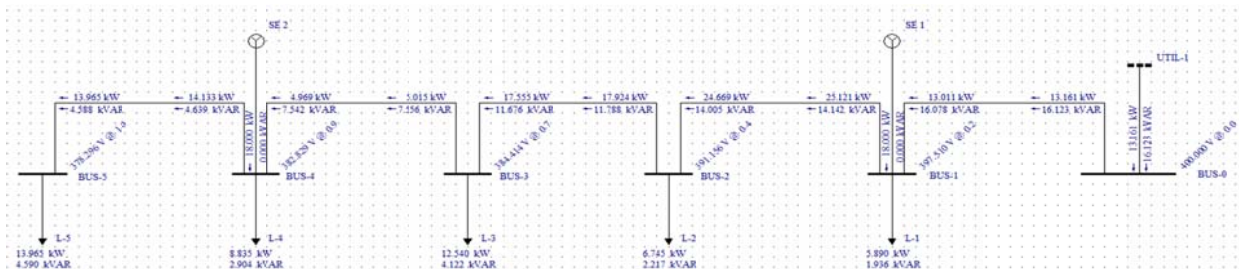
Tablica I. Ulazni podaci za proračun padova napona na zadanom primjeru

Čvorište	Opterećenje (kVA)	Duljina dionice (m)
1	6,2	45
2	7,1	70
3	13,2	100
4	9,3	68
5	14,7	91

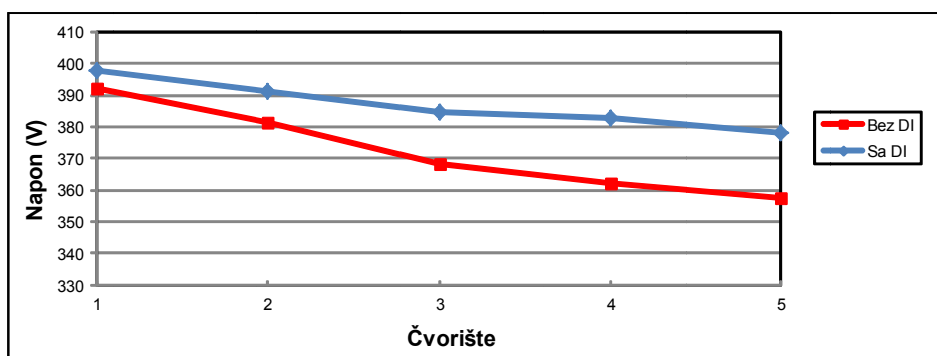


Slika 3. Proračun tokova snaga na zadanom mreži bez priključenih distribuiranih izvora

U sljedećem slučaju potrebno je pretpostaviti da su na istu mrežu priključene dvije solarne elektrane nazivnih snaga 30 kW. Prva je priključena u čvorištu 1, a druga u čvorištu 4. Proračun je proveden za isto opterećenje mreže i uz pretpostavku da elektrane rade sa 60% nazivne snage (Slika 4). Analizirajući naponske prilike, vidi se da je napon na kraju izvoda porastao na 378,3 V što je unutar dozvoljenih granica. Dakle, pravilnim dimenzioniranjem snage elektrane s obzirom na dnevni dijagram opterećenja izvoda, solarne elektrane mogu popraviti naponske prilike što se može vidjeti usporedbom padova napona na Slici 5.



Slika 4. Proračun tokova snaga na zadanoj mreži s priključenim solarnim elektranama u čvorištima 1 i 4

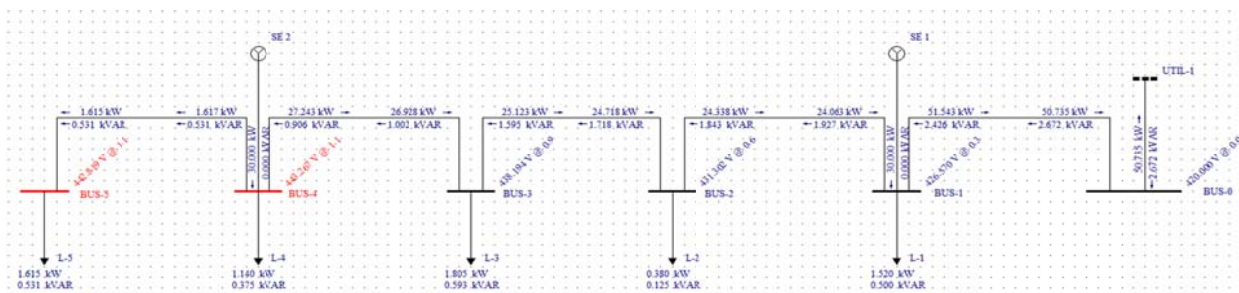


Slika 5. Naponske prilike na izvodu prije i nakon priključenja solarnih elektrana

Na istom primjeru mreže provest će se analiza tokova snaga u trenutku izuzetno malog opterećenja (Tablica II) i vršne proizvodnje u elektranama. Pretpostavljeni napon na početku izvoda iznosi 420 V. Rezultati proračuna se nalaze na Slici 6. Vidljivo je da su elektrane u zadnja dva čvorišta podigle napon iznad dozvoljene granice od (+10)%. Najviši napon je u čvorištu 4 i iznosi 443,3 V. Stoga je prije izdavanja uvjeta potrebno provjeriti mogućnost priključenja elektrane u najnepovoljnijem slučaju kako elektrana ne bi narušila postojeće električne prilike u mreži.

Tablica II. Ulazni podaci za proračun padova napona za minimalno opterećenje izvoda

Čvorište	Opterećenje (kVA)	Duljina dionice (m)
1	0,9	45
2	0,7	70
3	1,1	100
4	1,3	68
5	1,3	91



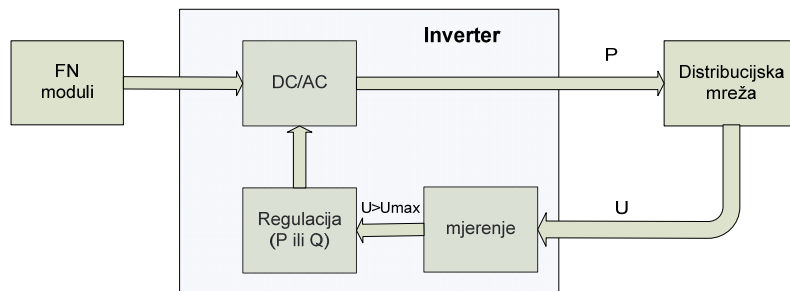
Slika 6. Proračun tokova snaga uz minimalno opterećenje i maksimalnu proizvodnju

#### 4.2. Primjena funkcionalnosti Napredne mreže u okruženju solarnih elektrana

Količina snage iz promjenjivih distribuiranih izvora koju distribucijska mreža može primiti je ograničena karakteristikama mreže. Kako bi se omogućilo priključenje većeg broja takvih izvora na distribucijsku mrežu potrebno je uvesti napredne upravljačke funkcije kojima bi se lakše upravljalo mrežom te racionalnije koristila energija. Tehnička rješenja funkcionalnosti Naprednih mreža mogu biti

jednostavnije izvedbe, npr. dogradnjom upravljačkih funkcija pojedinom elementu mreže taj element mijenja vlastite izlazne vrijednosti i prilagođava ih električnim prilikama mreže [9].

Jedna takva funkcija je napredna funkcija regulacije napona invertera. Inverter mjeri trenutne električne prilike na mjestu priključenja, a u slučaju doseganja nedozvoljenih vrijednosti napona uključuje naponsku regulaciju. Naponska regulacija se može izvesti smanjenjem izlazne radne snage na inverteru ili regulacijom jalove snage (Slika 7). Prva mogućnost se već primjenjuje u pojedinim zemljama gdje postoji veća količina takvih izvora priključenih na mrežu. Druga mogućnost je još uvijek u fazi proučavanja i razmatranja te u većini zemalja nije dozvoljena. Međutim, brojne studije predviđaju primjenu i ove mogućnosti u skoroj budućnosti. Ovo rješenje predstavlja automatsku regulaciju napona, a upravljanje svakog pojedinog elementa nije povezano s ostalim elementima.

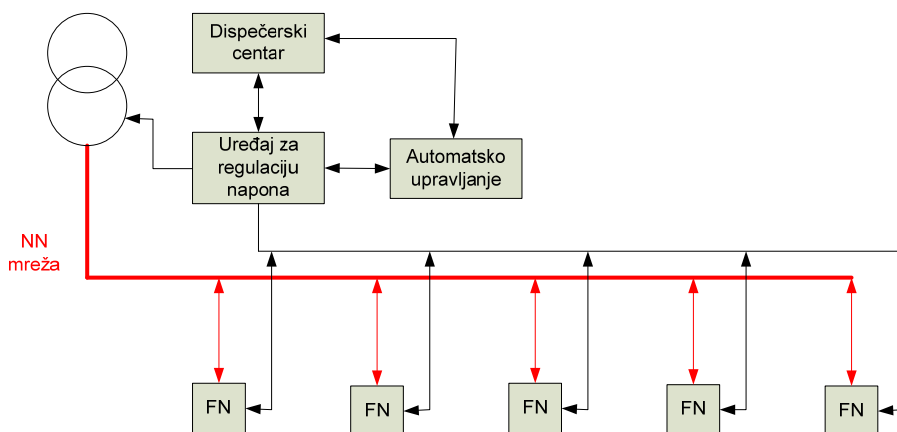


Slika 7. Napredne funkcije invertera za regulaciju napona kod fotonaponskih (FN) sustava

Drugi način regulacije napona je regulacija u transformatorskoj stanici. Moguće su dvije opcije koje mogu raditi svaka zasebno, ali i zajedno. Jedna je ugradnja uređaja za redukciju radne snage na svakom pojedinom izvodu. Uređaj je povezan sa svim inverterima na izvodu optičkom vezom ili bežičnim putem i tim putem prima vrijednosti mjerenja na mjestu priključenja. Ako napon poraste iznad dozvoljene vrijednosti, uređaj stupnjevito reducira radnu snagu svih invertera na izvodu dok se naponske prilike ne svedu unutar dozvoljenih granica.

Druga mogućnost obuhvaća upravljanje regulacijskom preklopkom transformatora. Ovisno o mjerenim vrijednostima prekloпка snižava ili povišuje napon niskonaponske sabirnice u svrhu smanjenja gubitaka u mreži i stvaranja povoljnih naponskih prilika.

Objе funkcije se mogu ugraditi u jedan uređaj. Upravljanje uređajem se može vršiti ručno iz dispečerskog centra i automatski prema zadanim vrijednostima (Slika 8). Preporuča se automatsko vođenje uz mogućnost preuzimanja ručnog upravljanja dispečera u slučaju otkazivanja automatike.

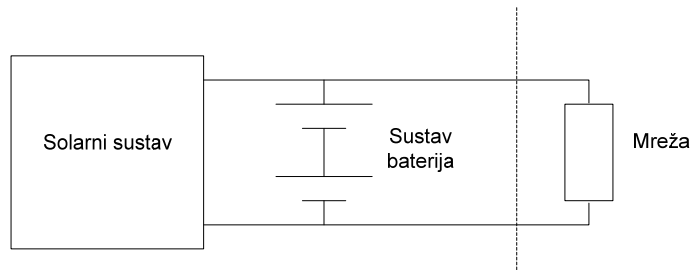


Slika 8. Uređaj za redukciju radne snage

Sve do sada nabrojane funkcionalnosti Napredne mreže rade na principu smanjenja radne snage koja se predaje u mrežu. To znači da se sav višak energije proizvedene u određenom trenutku odbacuje čime se smanjuje efikasnost cijelog elektroenergetskog sustava. Zamisao DI u smislu decentralizacije proizvodnje, smanjenja gubitaka i poticanja proizvodnje zelene energije ima potpuni učinak u slučaju potrošnje proizvedene energije lokalno, tj. na naponskoj razini na kojoj je i proizvedena. Stoga se sve češće javlja pitanje pohrane viškova energije kako ne bi došlo do povećanja gubitaka u mreži ili redukcije proizvedene snage.



Pohrana električne energije podrazumijeva upotrebu baterija. Baterije se mogu ugraditi kod proizvođača uz svaki inverter. U tom slučaju inverter prvo napaja potrošnju objekta, višak energije usmjerava u punjenje baterije, a u slučaju da je baterija puna ili da je proizvodnja dovoljno velika, ostatak energije predaje u mrežu. Energija iz baterija se u tom slučaju koristi za potrebe objekta u trenucima kad nema proizvodnje ili ona ne zadovoljava trenutne potrebe. Baterije se također koriste i za ublažavanje skokovitih promjena snage prilikom trenutnih promjena osvjetljenosti fotonaponskih modula (Slika 9).

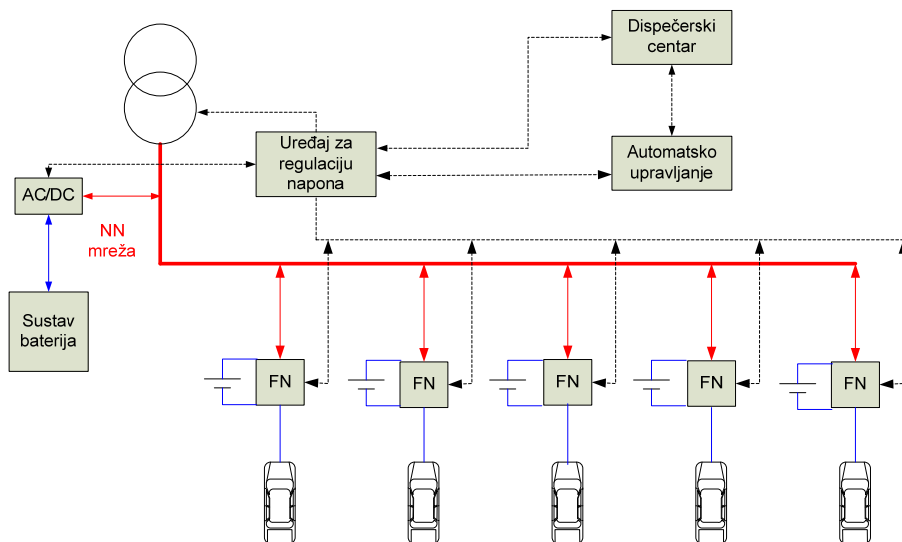


Slika 9. Upotreba baterija u solarnom sustavu

Drugi način korištenja baterija je centralni u transformatorskoj stanici. Sva energija koja teče iz NN mreže prema sabirnicama se usmjerava u punjenje baterija. Energija iz baterija se potom koristi za peglanje vrhova dnevnog dijagrama potrošnje ili za optimiranje tokova snaga. Na taj način se aktivno smanjuju gubici u elektroenergetskoj mreži i povećava učinkovitost sustava [7].

Zbog rastućih cijena nafte došlo je ubrzanog razvoja na području električnih automobila. Punjenje njihovih akumulatora također predstavlja pohranu energije. Dakle, višak proizvedene energije iz solarnih sustava tijekom dana se preusmjerava za punjenje akumulatora električnih vozila. Na taj način se sprječava znatno povećanje opterećenja elektroenergetskog sustava koje bi punjenje akumulatora prouzročilo da se pune samo iz mreže [8].

Nabrojane funkcionalnosti Naprednih mreža koje reguliraju napon i koje spremaju energiju mogu se uklopiti u jedan zajednički sustav, mikromrežu, koji potom predstavlja visoko tehnološko upravljanje elektroenergetskim sustavom (Slika 10). Crvenom bojom je označena NN mreža, plavom bojom su označeni istosmjerni krugovi, a isprekidanom linijom upravljački i komunikacijski krugovi. Razvoj takvih sustava je presudan za zadane ciljeve vezane za postizanje određenog udjela distribuiranih izvora u ukupnoj proizvodnji. Time se omogućuje reguliranje električnih prilika u svrhu smanjenja gubitaka i povećanja kapaciteta mreže što dalje omogućuje priključenje većeg broja takvih mikroelektrana.



Slika 10. Primjer mikromreže sa solarnim mikroelektranama

## 5. ZAKLJUČAK

Najveći izazov planiranju i vođenju distribucijske mreže danas predstavlja veliki broj distribuiranih izvora koji, inače pasivnu distribucijsku mrežu, pretvaraju u aktivnu. Aktivna distribucijska mreža u kojoj se intenzivno primjenjuju nove tehnologije, informatizacija i automatizacija čini Naprednu mrežu.

Povećanje udjela distribuirane proizvodnje mijenja konvencionalne načine planiranja i vođenja distribucijske mreže. S jedne strane, distribuirani izvori čine planiranje mreže još složenijim, dok s druge strane, ostale funkcionalnosti Napredne mreže omogućuju prihvata distribuiranih izvora uz odgođena ulaganja u povećanje kapaciteta mreže.

U radu su opisane neizbježne promjene u pristupu planiranju distribucijskih mreža te su predstavljeni prijedlozi novih struktura mreža, hibridne mreže i mikromreže, koje će omogućiti prihvat većeg udjela distribuirane proizvodnje.

Na analiziranom modelu radijalne mreže u nekoliko je koraka prikazan razvoj jednostavne mikromreže. Počevši od mreže sa nedopuštenim padom napona u krajnjoj točki, preko priključenja solarnih mikroelektrana koje mijenjaju naponske prilike ovisno o trenutnoj proizvodnji i lokalnom opterećenju, primjenom funkcionalnosti Naprednih mreža formiran je stabilan sustav, uz odgođena ulaganja u povećanje kapaciteta mreže.

Ovaj rad daje načelne prijedloge novog pristupa planiranju distribucijskih mreža te predstavlja uvod u izradu smjernica za novi pristup planiranju i razvoju distribucijske mreže s ciljem prihvata većeg udjela distribuiranih izvora i implementacije koncepta Napredne mreže.

## LITERATURA

- [1] „Razvoj SN mreže za razdoblje narednih 20 godina za distribucijsko područje Elektra Čakovec“, Studijski rad, EIHP, 2010.
- [2] „Trogodišnji plan razvoja i izgradnje distribucijske mreže 2011.-2013.“, HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., 2011.
- [3] M. Fan, A. Su, Z. Zhang, „A planning approach for active distribution networks“, CIRED 2011, 21st International conference on electricity distribution, Frankfurt, Njemačka, lipanj 2011., Referat br. 0387
- [4] F. Pilo, „The distribution network of the future: challenges and business opportunities“, Prezentacija, Zagreb, prosinac 2005.
- [5] N. Hadjsaid, M.-C. Alvarez-Herault, R. Claire, B. Raison, J. Descloux, W. Bienia, „Novel architectures and operation modes of Distribution Network to increase DG integration“, IEEE conference, General Meeting, Minneapolis, SAD, 2010
- [6] João Tomé Saraiva, J. Peças Lopes, N. Hatziargyriou, N. Jenkins, „Management of MicroGrids“, International Electric Equipment Symposium on the Electric Network of the Future and Distributed generation JIEEC, Bilbao, Španjolska, listopad 2003.
- [7] R. Carbone, "Energy storage in grid-connected photovoltaic plants“, University „Mediterranea“ of Reggio Calabria, Italija, 2011.
- [8] S. Ying, H. Schwarz, K. Pfeiffer, "Impact of an increasing penetration of urban photovoltaic systems and electric cars on the low voltage networks“, CIRED 2011, 21<sup>st</sup> International conference on electricity distribution, Frankfurt, Njemačka, lipanj 2011., Referat br. 0806
- [9] J.H.R. Enslin, H. Alatrash, "Distribution network impacts of high penetration of distributed photovoltaic systems“, CIRED 2011, 21<sup>st</sup> International conference on electricity distribution, Frankfurt, Njemačka, lipanj 2011., Referat br. 1058