

# Aktivna uloga potrošnje u radu elektroenergetskog sustava

---

**Matić, Marija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:552349>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Preddiplomski sveučilišni studij**

**AKTIVNA ULOGA POTROŠNJE U RADU  
ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA**

**Završni rad**

**Marija Matić**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 24.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Marija Matić
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4145b, 24.09.2019.
OIB studenta:	35541922178
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Aktivna uloga potrošnje u radu elektroenergetskog sustava
Znanstvena grana rada:	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	24.09.2020.
Datum potvrde ocjene Odbora:	30.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Marija Matić

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4145b, 24.09.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

4%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Aktivna uloga potrošnje u radu elektroenergetskog sustava**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
1.1.	Zadatak završnog rada .....	1
2.	PREGLED PODRUČJA TEME .....	2
3.	EVOLUCIJA TRADICIONALNE DISTRIBUTIVNE MREŽE U NAPREDNU MREŽU .....	3
3.1.	Tradicionalna distributivna mreža .....	3
3.2.	Aktivna distribucijska mreža .....	6
3.3.	Napredna mreža .....	8
3.3.1	Mreža naprednih točaka .....	9
3.3.2.	Mreža lokalnih naprednih područja .....	10
3.3.3.	Napredna mreža .....	10
4.	UPRAVLJANJE POTROŠNJOM U NAPREDNIM MREŽAMA .....	11
4.1.	Mjere upravljanja potrošnjom .....	12
4.2.	Upravljanje potrošnjom primjenom različitih cijena za različito vrijeme korištenja električne energije - tarife .....	14
4.3.	Primjer upravljanja potrošnjom pomoću tarifnih modela u Republici Hrvatskoj .....	16
4.3.1.	Kućanstvo .....	16
4.3.2.	Poduzetništvo .....	18
5.	PRORAČUN TOKOVA SNAGE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI SA I BEZ UPRAVLJANJA POTROŠNJOM .....	20
5.1.	Slučaj 1 - rezultati .....	21
5.2.	Slučaj 2 – rezultati .....	22
5.3.	Slučaj 3 – rezultati .....	24
5.4.	Slučaj 4 – rezultati .....	25

5.5. Slučaj 5 - rezultati .....	27
5.6. Usporedba rezultata .....	28
6. ZAKLJUČAK .....	30
SAŽETAK.....	31
ABSTRACT .....	31
LITERATURA.....	32

# 1. UVOD

Tradicionalna distribucijska mreža implementiranjem distribuiranih izvora energije postaje aktivan distribucijska mreža te kasnije napredna mreža u kojoj veliku ulogu predstavlja upravljanje potrošnjom. Upravljanje potrošnjom su promjene koje korisnici izvršavaju koristeći električnu energiju u odnosu kako su je prije koristili.

U ovom završnom radu su opisane neke od metoda upravljanja potrošnjom u distribucijskoj mreže te kako bi se vidio utjecaj upravljanja potrošnjom na distribucijsku mrežu u radu je izvršen proračun tokova snage u distribucijskoj mreži sa i bez upravljanja potrošnjom.

Završni rad se sastoji od šest poglavlja. Prvo poglavlje je uvod u kojem je opisan cilj ovog rada. U drugom poglavlju je pregled literature te u tom poglavlju se opisuju dosad napravljeni radovi na ovu temu ili radovi koji su usko povezani s ovom temom. U trećem poglavlju je opisan prijelaz s tradicionalne distribucijske mreže na naprednu mrežu preko aktivne distribucijske mreže. U četvrtom poglavlju su opisani načini upravljanja potrošnjom u naprednim mrežama i naveden je primjer upravljanja potrošnjom u Republici Hrvatskoj. U petom poglavlju je napravljen proračun tokova snage u distribucijskoj mreži sa i bez upravljanja potrošnjom i u šestom poglavlju je izveden zaključak na temelju rezultata dobivenih iz simulacije.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Kratko opisati princip uravnoteženja proizvodnje i potrošnje u elektroenergetskom sustavu. Opisati mogućnosti upravljanja potrošnjom i navesti nekoliko primjera. Na primjeru malog sustava izvršiti proračun tokova snaga kada se izvodi i kada se ne izvodi upravljanje potrošnjom.

## 2. PREGLED PODRUČJA TEME

U ovom radu proučavano je kako upravljanje potrošnjom utječe na distribucijsku mrežu, odnosno kako je lokacija mjesta upravljanja potrošnjom vrlo bitna. Kako je upravljanje potrošnjom važno u današnjoj distribucijskoj mreži provedena su mnoga istraživanja kako drugi vide razvoj distribucijske mreže te na koje sve načine se još može vršiti upravljanje potrošnjom.

Autori u literaturi [1] detaljno opisuju tradicionalnu distribucijsku mrežu. Autori navode da se distribucijska mreža dijeli na srednjenaponsku i niskonaponsku distribucijsku mrežu. Također, opisuju koji su to sastavni dijelovi distribucijske mreže te koji sve postoje električni parametri i nadomjesne sheme elemenata distribucijskih mreža.

U literaturi [2] autorica je dala prijedlog uvođenja naprednih mreža. Predložen je koncept koji se sastoji od tri razine i u kojem je opisan prijelaz iz tradicionalne distribucijske mreže u naprednu mrežu preko integracije distribuiranih izvora.

Autori u literaturi [3] opisuju cilj upravljanja potrošnjom kupaca te su na europskom nivou provedena upravljanja potrošnjom na mikrorazini. U literaturi je opisana primjena upravljanja potrošnjom kupaca u Francuskoj koja se razvijala kroz četiri faze.

U literaturi [4] autori opisuju mjere upravljanja potrošnjom kojima je cilj premjestiti teret za vrijeme vršnog opterećenja ili ga smanjiti te tim postupcima dovesti sustav u ravnotežu. Također, autori su mjere upravljanja potrošnjom podijelili na tri dijela.

Autori u literaturi [5] su razvili model dijela distribucijske mreže. Autori su vršili proračun upravljanja potrošnjom u distribucijskoj mreži koja sadrži fotonaponske elektrane te su predložili algoritam za upravljanje potrošnjom u stvarnom vremenu.

U literaturi [6] autori su razvili algoritam koji je testiran pomoću softvera PSCAD/EMTDC pomoću kojeg bi se upravljanje potrošnjom u mikro mreži ispravila neravnoteža napona u mreži.



### 3. EVOLUCIJA TRADICIONALNE DISTRIBUTIVNE MREŽE U NAPREDNU MREŽU

#### 3.1. Tradicionalna distributivna mreža

Autori u literaturi [1] su distribucijsku mrežu definirali: „Distribucijska mreža kojom se električna energije preuzeta iz prijenosne mreže ili manjih elektrana priključenih na distribucijsku mrežu distribuiraju do srednjih i malih potrošača priključenih na distribucijsku mrežu. Distribucijska mreža se kao i prijenosna mreža sastoji od: zračnih i kablskih vodova (ali manjih nazivnih napona, najčešće ispod 110 kV) i rasklopnih postrojenja (također manjih nazivnih napona u odnosu na prijenosnu mrežu).

Distribucijska mreža obično se dijeli na dvije cjeline:

- Srednjenaponska distribucijska mreža (najčešće nazivnih napona 10kV, 20kV, 35kV),
- Niskonaponska distribucijska mreža (najčešće nazivnog napona 0.4 kV)“

Sastavni dijelovi distribucijske mreže su:

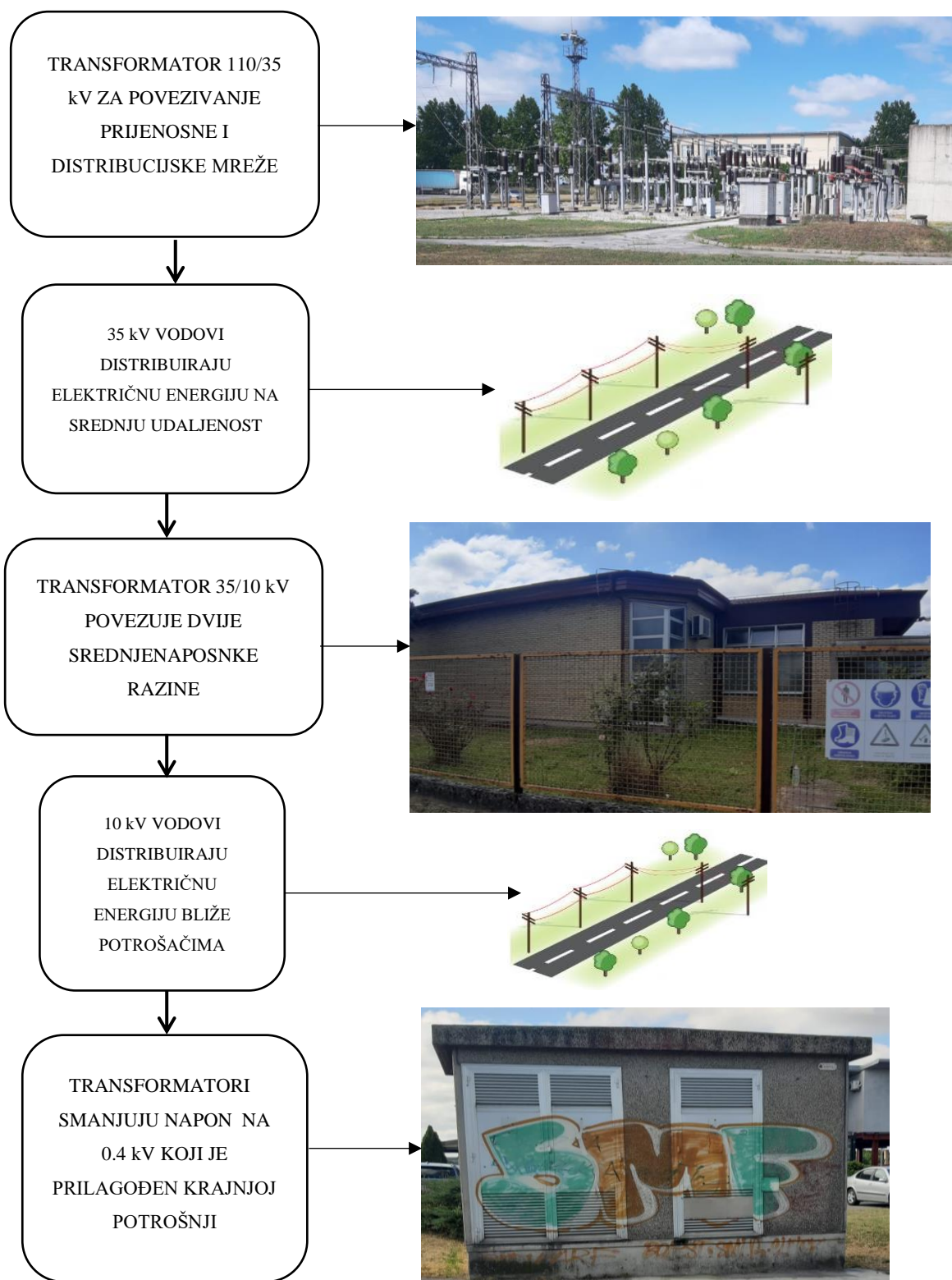
- Vodovi koji mogu biti:
  - Zračni (nadzemni elektroenergetski) vodovi su vodovi čiji se vodiči nalaze iznad zemlje i koji su fiksirani na izolatorima koji se nalaze na određenim nosivim konstrukcijama
  - Kablski vodovi su vodovi čiji su vodiči dobro izolirani kako bi bili zaštićeni od vanjskih utjecaja i kako bi mogli biti smješteni u zemlji ili vodi
- Trafostanice u kojima se električna energija transformira iz jednog naponskog nivoa u drugi, a to su:
  - Unutar distribucijske mreže između dvije podmreže
  - Iz distribucijske mreže u električno postrojenje industrijskog potrošača

Potrošači u distribucijskoj mreži nemaju veliku fleksibilnost upravljanja potrošnjom. Potrošači električnu energiju troše kada i koliko žele. Svi korisnici koriste neki tarifni model prema kojem se vrše obračuni potrošnje električne energije. Postoje jednotarifna i višetarifna brojila te prema tipu brojila se vrše obračuni potrošnje električne energije. Kod jednotarifnog brojila potrošnja električne energije obračunava se po jednoj tarifi, dok kod višetarifnog brojila se može vršiti

obračun potrošnje električne energije prema više tarifa. Prema HEP ELEKTRI [7] cijena prema višoj tarifi iznosi 1,055 kn/kWh, a niža tarifa iznosi 0,565 kn/kWh.

Preko tarifnih modela pokušava se motivirati potrošače da više troše električnu energiju po noći, odnosno po nižoj tarifi. Tokom noći u funkciji nisu uslužni sektori, industrija te mnogi drugi veliki potrošači električne energije te se po noći stvara višak električne energije te se tako pokušava motivirati manje potrošače, odnosno kućanstava, da električnu energiju troše noću i tako troše višak električne energije. Niža i viša tarifa je dominantni način upravljanja potrošnjom u distribucijskoj mreži.

U tradicionalnoj distribucijskoj mreži je moguć samo jednosmjernan tok električne energije od prijenosne mreže prema potrošnji. Energija se uzima iz prijenosne trafostanice (TS 110/35/10 kV) te se preko srednjenaponskih distribucijskih vodova električna energija prenosi do transformatorskih stanica 35/10 kV koje transformiraju dvije razine srednjeg napona i tada se električna energija prenosi do transformatorskih stanica 10/0.4 kV kojima se vrši zadnja transformacija napona koji je sada prilagođen krajnjoj potrošnji (npr. kućanstvima i sl.). (Slika 3.1.)

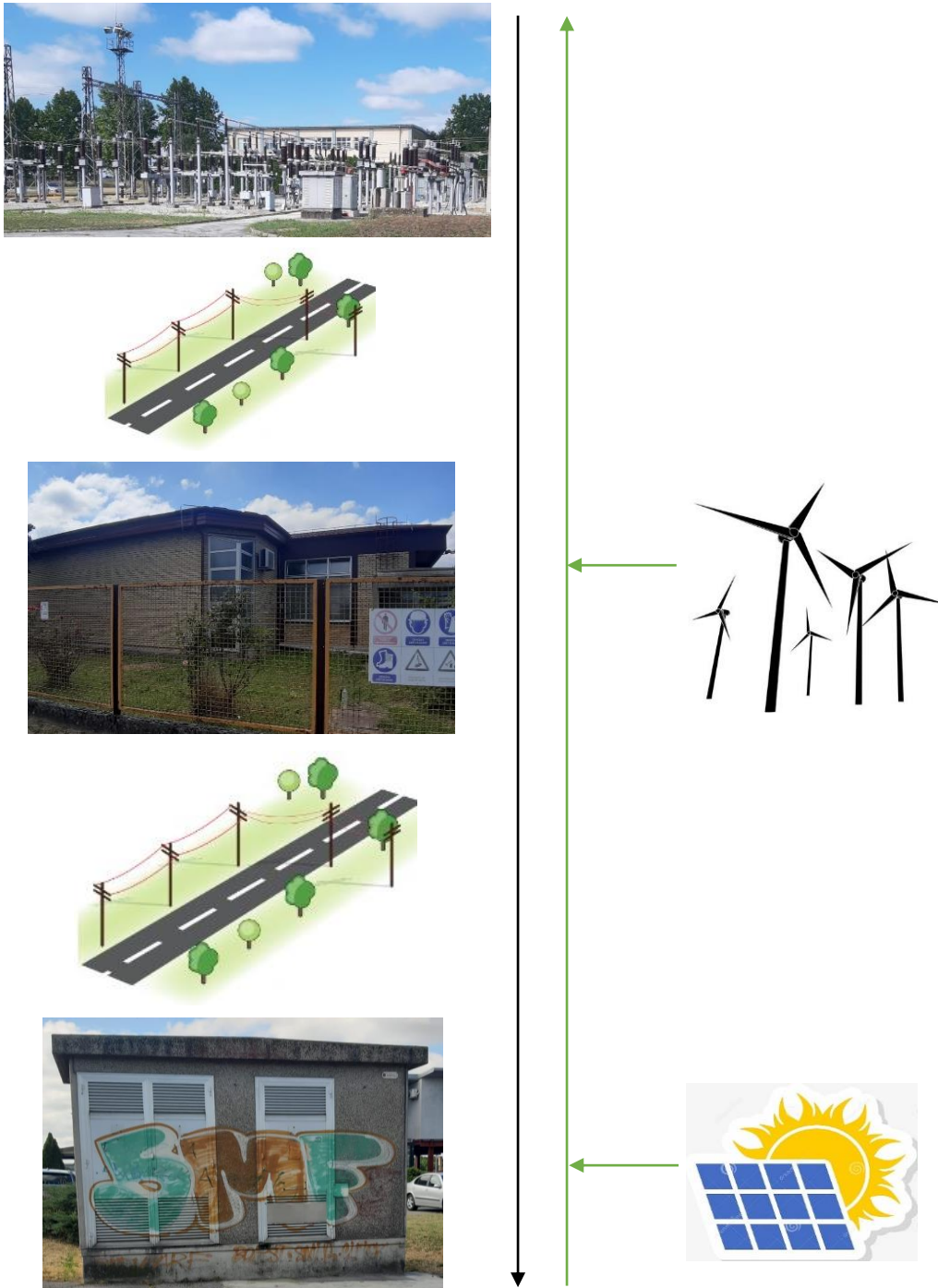


**Slika 3.1.** Tradicionalna mreža (jednosmjernan tok električne energije)

### **3.2. Aktivna distribucijska mreža**

Aktivna distribucijska mreža je mreža u koju se implementiraju distribuirani izvori energije. Distribuirani izvori mogu biti i obnovljivi i neobnovljivi, ali većinom prevladavaju elektrane na obnovljive izvore. Pojavom distribuirane proizvodnje mijenja se struktura distribucijske mreže. Distribucijska mreža uz postojeće probleme kao što su rad na rubu kapaciteta i potreba za ručnim prebacivanjem toka električne energije, zbog koje potrošači dugo ostaju bez električne energije, sada se još susreće sa izazovima koje donosi distribuirana proizvodnja (povišenje napona, dvosmjernan tok energije i sl.). Priključenjem distribuirane proizvodnje na distribucijsku mrežu u sustavu se mijenjaju tokovi snaga te kako dolazi do mijenjanja tokova snage u mreži tako dolazi i do mijenjanja napona u mreži. Probleme u mreži više ne stvara samo preniski napon, nego i previsok napon. Distribucijska mreža priključenjem distribuirane proizvodnje više nema jednosmjernog toka električne energije, nego on sada postaje dvosmjernan. Današnju distribucijsku mrežu možemo smatrati aktivnom distribucijskom mrežom.

Aktivna distribucijska mreža se najlakše može opisati preko primjera u kojem ćemo kućanstvo gledati kao jednog potrošača te ujedno i proizvođača električne energije. Kućanstvu se dodaju fotonaponski paneli pomoću kojih će se proizvoditi električna energija. Kako je kućanstvo sada ujedno i proizvođač mora imati i dvosmjerno brojilo. Ugradnjom fotonaponskih panela smjer energije više nije jednosmjernan, nego postaje dvosmjernan. Kućanstvo u trenucima kada proizvodi više električne energije, nego što može potrošiti, taj višak može predati u mrežu. Distribuirana proizvodnja se još može ugraditi i na srednjem naponu u vidu manjih vjetroelektrana, bioplinskih elektrana, elektrana na biomasu i sl. (Slika.3.2.)



**Slika 3.2.** *Aktivna distribucijska mreža*

### 3.3. Napredna mreža

Autori u literaturi [8] navode: „SmartGrid (hrv. Napredna mreža) je električna mreža koja može inteligentno integrirati sve koji su spojeni na nju – generatore, potrošače i one koji objedinjuju te dvije funkcije kako bi se osigurala efikasna, održiva i sigurna dobava električne energije. SmartGrid upotrebljava inovativne proizvode i servise zajedno s inteligentnim nadzorom, kontrolom, komunikacijom i samopopravkom u svrhu:

- Boljeg povezivanja i rada generatora svih veličina i tehnologija
- Dopuštanja potrošačima da sudjeluju u optimiziranju rada sustava
- Pružanje više informacija, ali i odabir nabavljača potrošačima
- Velikog smanjenja utjecaja na okoliš cijelog dobavnog sustava
- Većeg stupnja pouzdanosti i sigurnosti dobave
- Razvitak SmartGridsa mora uključiti, uz tehnologije, tržišta i komercijalna razmatranja, utjecaj na okoliš, zakonske okvire, standardizaciju, ICT i migracijske strategije, također i društvene zahtjeve i naredbe vlasti.“

Napredne mreže omogućuju dvosmjernu razmjenu električne energije te nam nude bolju integraciju obnovljivih izvora u elektroenergetskoj mreži.

Klasični način vođenja distribucijske mreže podrazumijeva mjerenje strujno-naponskih okolnosti na početku voda te iz toga dolazi i do saznanja o okolnostima duž cijelog voda. Autori u literaturi [2] navode: „Naponski profil voda kreira se temeljem podataka o mjernom naponu na početku voda i izmjerenoj struji, tj. trenutnom opterećenju voda.“ No, kada imamo distribuiranu proizvodnju tada ne možemo doći do podataka o okolnostima duž voda preko mjerenja strujno-naponskih okolnosti na početku voda. Tako izračunati podaci ne će niti približno pokazivati točan naponski profil ili tokove snage. Zbog ovih naglih promjena operator distribucijskog sustava, pomoću nekozervativnog pristupa, ima vremena prilagoditi se promjenama nastalim u sustavu.

Kako bi se riješili novonastali problemi u mreži koja je predviđena za jednosmjernan prijenos električne energije, potrebno je pronaći brzo i jeftinije rješenje. Najbolji način bi bio zamijeniti postojeću opremu s opremom za upravljanje pogonom koji će sada imati mogućnost dvosmjernog prijenosa električne energije, no to to bi dugo trajalo i stoga bi bilo i veoma skupo. Kada bi krenuli s tim načinom to bi značilo da bi određeni pogoni morali biti potpuno zaustavljeni kako bi se izmijenila oprema što bi dovelo do velikih gubitaka. Također, jedno rješenje bi bilo uvođenje

naprednih mreža, ali je to i dalje daleka budućnost. Stoga je najbolje rješenje iskoristiti sve mogućnosti koje nam pruža sadašnji sustav.

Neki od tih resursa su [2]:

- Da svako obračunsko mjerno mjesto na elektrani posjeduje napredno brojilo
- Da svako obračunsko mjerno mjesto elektrane na srednjem naponu operator distribucijskog sustava ima mogućnost daljinskog praćenja te također posjeduje uređaj za trajno praćenje kvalitete električne energije
- Da svaki elektrana ima i nadnaponsku zaštitu te tako i svaki prekidač za odvajanje treba posjedovati nadnaponsku zaštitu
- Da svaka elektrana ima naponsku regulaciju
- Da su sva napredna brojila daljinski dostupna

Autori u literaturi [2] navode: „Koncept uvođenja naprednih mreža kroz integraciju distribuiranih izvora u distribucijsku mrežu uključuje tri razine:

1. Mreža naprednih točaka
2. Mreža lokalnih naprednih područja
3. Napredna mreža – napredni distribucijski sustav“

### **3.3.1 Mreža naprednih točaka**

Prva razina uvođenja naprednih mreža je mreža naprednih točaka. Do sada smo na temelju podataka uzetih iz pojne točke na početku voda, radili moguća predviđanja što će se dogoditi duž cijelog voda. Ovaj način treba zadržati, ali sada trebamo gledati da je svaki distribuirani izvor ujedno i pojna točka te također i početak voda. Kako smo do sada pratili okolnosti u pojnoj točki tako sad trebamo pratiti okolnosti u svim pojnim točkama tog voda. Potrebno je na sva obračunska mjerna mjesta sada ugraditi napredna brojila.

Ovaj korak zahtjeva uvođenje pojma napredna točka i slaba točka. Autori u literaturi [2] definiraju: „Napredna točka je čvor u mreži koji ima sposobnost daljinskog praćenja i obvezu lokalnog upravljanja okolnostima u mreži.“ U pravilu gledano napredna točka je također i pojna točka, ali i elektrana, ali i obračunsko mjerno mjesto. Kako bi otkrili je li došlo do prekoračenja graničnih vrijednosti operator distribucijskog sustava, treba nadoknaditi pomanjkanje naprednih točaka složenom analizom mreže, koja bi trebala identificirati sve slabe točke u mreži te također dati

optimalne granice mjernih veličina na pragu elektrane. Slaba točka je čvor u lokalnoj mreži u kojoj napon najviše oscilira. Slaba točka uz to što je obračunsko mjerno mjesto također ima sposobnost daljinskog praćenja. U slučaju kada slaba točka nije obračunsko mjerno mjesto tada je potrebno ugraditi napredno brojilo.

### **3.3.2. Mreža lokalnih naprednih područja**

U trenutku kada u lokalnoj mreži ima dovoljno naprednih točaka tada ona postaje lokalno napredno područje. Porastom broja elektrana bit će sve manje slabih točaka jer će na mjestima gdje je nekad bila slaba točka sada biti elektrana odnosno napredna točka. Međutim, i dalje postoji mogućnost za pojavom novih slabih točaka na nekom drugom mjestu. Stoga s vremena na vrijeme operator distribucijskog sustava treba provjeravati jesu li vrijednosti reguliranih i kontroliranih veličina unutar graničnih vrijednosti.

### **3.3.3. Napredna mreža**

U trenutku porasta broja lokalnih naprednih područja tada se oni povezuju u naprednu mrežu. Sada je cijeli distribucijski sustav u potpunosti upravljiv te se sada naziva napredni distribucijski sustav. U naprednom distribucijskom sustavu analiza mreže će se vršiti samo kada sustav vođenja naprednih mreža odluči. Do sada je potrošač bio pasivan. Potrošač se priključi na mrežu i koristi energiju te plaća svoje usluge korištenja energije. Jedina mogućnost upravljanja potrošnjom je bila preko dvotarifnog modela. Uvođenjem distribuiranih izvora mreža postaje aktivna. Kako su u većem broju elektrane na obnovljive izvore one su također i nesigurne jer ovise o vanjskim utjecajima. Elektrane koje se najčešće priključuju u distributivnu mrežu su fotonaponske elektrane. Kao što je već spomenuto da elektrane na obnovljive izvore ovise o vanjskim uvjetima, tako i fotonaponske elektrane ovise i vanjskim utjecajima. Energiju ne možemo trošiti onda kada mi to želimo, nego smo ovisni o vanjskim utjecajima.



## 4. UPRAVLJANJE POTROŠNOM U NAPREDNIM MREŽAMA

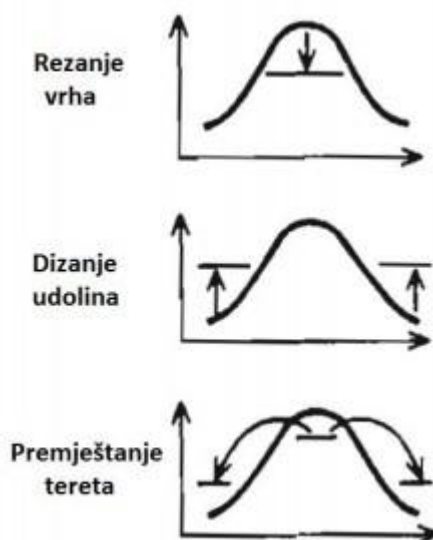
Upravljanje potrošnjom možemo definirati kao promjene koje korisnici izvršavaju koristeći električnu energiju u odnosu kako su je prije koristili. Korisnike se motivira cijenama električne energije ili plaćanjem poticaja kojima se potiče potrošnja u vremenskim intervalima kada je tržišna cijena električne energije niska, a demotivira kada je tržišna cijena električne energije visoka.

Prema Međunarodnoj energetskej agenciji (*eng. International Energy Agency, IEA*) [10], upravljanje potrošnjom predstavlja trend koji će posebno doći do izražaja u budućnosti. Navodi se da bi se uz pomoć racionalnijih scenarija potrošnje, globalna potrošnja električne energije do 2035. godine mogla značajno smanjiti. Korisnicima se nudi mogućnost da u stvarnom vremenu kontroliraju potrošnju i donose odluke o upravljanju električnom energijom. Odnosno, korisnici nabavljaju energiju od drugih opskrbljivača ili mogu su djelovati u mehanizmima za upravljanje potrošnjom koji su utemeljeni na opskrbi po naknadi gdje korisnici nabavljaju energiju od opskrbljivača tako što plaćaju integralne naknade koje uključuju fiksnu kvotu određenu ugovorom i varijabilni iznos koji se odnosi na potrošnju koja se objavljuje u službenim državnim dokumentima koji se redovito ažuriraju. Korisnici također mogu usvojiti i neke druge metode za upravljanje potrošnjom, a koje koriste vrijeme kao osnovu. Neke metode su: vrijeme korištenja (*eng. Time of Use*), cijena u stvarnom vremenu (*eng. Price in real time*) i kritična cijena u vrijeme najveće potrošnje električne energije (*eng. Critical Price in Peak Hours*). Neki mehanizmi za upravljanje potrošnjom nude korisniku izravnu mogućnost kontrole potrošnjom te mogućnost prekida potrošnje. Upravljanje potrošnjom se može uokviriti u širu razvojnu liniju u mrežama nazvanim upravljanje potražnjom. Upravljanje potražnjom se može definirati kao niz mjera za poboljšanje energije na strani potrošača. Neke od tih mjera su poboljšanje energetske učinkovitosti korištenjem boljih materijala i naprednijih tehnologija za krajnju potrošnju te projektiranjem pametnih naknada za energiju s poticajima za određene navike potrošača te primjenom složenih sustava za kontrolu u stvarnom vremenu koji uključuju podijeljene energetske resurse.

Tradicionalnim pristupom upravljanja potrošnjom korisnik nije bio upućen u preopterećenja u elektroenergetskom sustavu koja su bila riješena pomoću električnih uređaja i mehanizama dostupnih operatoru distribucije, dok se sada korisniku individualno šalje zahtjev za smanjenjem potražnje i korisnik sada ima mogućnost kontroliranja uređaja na temelju svojih želja i prioriteta opterećenja.

## 4.1. Mjere upravljanja potrošnjom

Autori u literaturi [4] navode: „Mjere upravljanja potrošnjom jedan su od načina povećanja pouzdanosti energetske mreže.“ Kako bi se krajnje potrošače motiviralo da sudjeluju u upravljanju potrošnjom oni trebaju biti informirani o prednostima upravljanja potrošnjom kao što su: upravljanjem potrošnjom električne energije stvara se stabilnost u mreži te pravilnim upravljanjem dolazi se do novčane uštede. Jedan od glavnih ciljeva upravljanja potrošnjom je izravnati krivulju opterećenja. Na slici 4.1. su slikovito opisani načini smanjenja vršnog opterećenja. Kod rezanja vrha (*eng. Peak Clipping*) cilj je da se vršna potrošnja smanji i da se pronađu kupci koji će smanjiti potrošnju kada im distributer pošalje signal. U drugom dijelu slike imamo dizanje udolina (*eng. Valley Filling*) i tom je metodom cilj povećati potrošnju u područjima u kojima je ona vrlo niska. Odnosno, želi se povećati potrošnja noću te u trećem dijelu slike imamo premještanje tereta. Kod premještanja tereta (*eng. Load Shifting*) cilj je da se potrošnja premjesti u vrijeme kada nije najveće opterećenje. Odnosno, da se premjesti prije ili poslije najvećeg opterećenja.



**Slika 4.1.** Ciljevi modifikacija krivulje opterećenja [4]

Također, autori u literaturi [4] navode: „Trenutne metode upravljanja potrošnjom možemo podijeliti u tri kategorije: izravne metode, neizravne metode i regulirane metode gdje svaka obuhvaća nekoliko specifičnih načina.“

- Izravne metode – uređajima se upravlja na temelju ugovora kako bi se elektroenergetski sustav doveo u ravnotežu. Distributeri kod izravne metode imaju mogućnost slanja

signala kojim se mogu uključivati i isključivati određeni uređaji (npr. bojler, rasvjeta i sl.)

- Izravno upravljanje trošilima – distributer ima ograničenu mogućnost upravljanja uređaja te se time narušava privatnost kupca, a prednost je ušteda novca i energije.
- Digirana potrošnja – distributer pomoću daljinskog upravljanja odlučuje vrijeme korištenje električne energije, odnosno električna energija kupcu nije dostupna tokom cijelog dana
- Program dražbe za kupce – za razliku od ostalih metoda, program dražbe za kupce je vođen tržištem te kupci koji aktivno sudjeluju na tržištu električne energije tako što kada distributer pošalje signal za smanjenjem potrošnje, kupci smanje potrošnju i u zamjenu dobiju nagradu (npr. niža cijena električne energije)
- Neizravne metode – krajnji potrošači imaju slobodu u odlučivanju žele li sudjelovati ili ne želi u upravljanju potrošnjom te operatori nude različite beneficije kupcima koji odluče sudjelovati u upravljanju potrošnjom nakon što oni daju signal kada je to potrebno.
  - Tarife – podrazumijeva različite cijene za električnu energiju tokom cijelog dana
  - Edukacija – metoda kojom se informiranjem kupaca o potrošnji određenih uređaja potiče na upravljanje potrošnjom
  - Subvencije – metoda koja kupce koji sudjeluju u upravljanju potrošnjom nagrađuje (npr. popustom za kupovinu energetski učinkovitih uređaja)
- Regulirane metode – metode kojima se pokušava uspostaviti red u potrošnji električne energije i to na način da se planira potrošnja električne energije i pokušavaju se izbjeći neplanirane potrošnje električne energije

Metode upravljanja potrošnjom se većinom temelje na cijeni te se kupce potiče da samostalno upravljaju potrošnjom. Odnosno, motivira ih se da upravljaju potrošnjom tako da sustav bude u ravnoteži i to na način da smanje potrošnju u vrijeme kada je veliko opterećenje mreža ili da potrošnju premjeste u vrijeme kada će opterećenje mreže biti nisko.

## 4.2. Upravljanje potrošnjom primjenom različitih cijena za različito vrijeme korištenja električne energije - tarife

Upravljanje potrošnjom primjenom različitih tarifa, naplaćuje se električna energija u različito doba dana i/ili godine po različitim cijenama. Tarife odražavaju vremenski različite troškove opskrbe električnom energijom i potrošače žele potaknuti da smanje potrošnju električne energije tijekom vršnih sati i/ili preusmjeriti potrošnju na prije ili poslije vršnih sati. Autori u literaturi [11] navode da postoje četiri metoda kako ostvariti različitu naplatu u različito vrijeme i to su: vrijeme upotrebe električne energije (*eng. time-of-use (TOU)*), kritična (vrlo visoka) cijena u vrijeme vršne potrošnje (*eng. critical peak pricing (CPP)*), popust za potrošače koji smanje potrošnju u vrijeme vršnih sati (*eng. peak-time rebate (PTR)*) i varijabilna cijena za vrijeme vršnih sati (*eng. variable peak pricing (VPP)*). Posljednje tri vrste spadaju u rubriku dinamičnih cijena. Također jedna od metoda koju treba spomenuti je i cijena električne energije za potrošnju u stvarnom vremenu (*eng. real-time pricing (RTP)*)

Vrijeme upotrebe (TOU) može biti definirano kao ili doba dana, u kojoj se dan dijeli na vremenska razdoblja s različitim stopama ili sezonska stopa, na koju se godina dijeli na više godišnjih doba i različite stope su predviđene za različita godišnja doba. Tarifa po kojoj se naplaćuje električna energija unutar jednog vremena upotrebe je fiksna i prema tome nudi sigurnost cijene i vremena kada će se ta cijena primijeniti. Cijena električne energije u vršnom razdoblju bi trebala biti skuplja, a niža tijekom ostalih razdoblja. Uobičajeno je cijena više tarife dvostruko veća od cijene niže tarife. Metoda TOU slikovito je prikazana na slici 4.2.a.

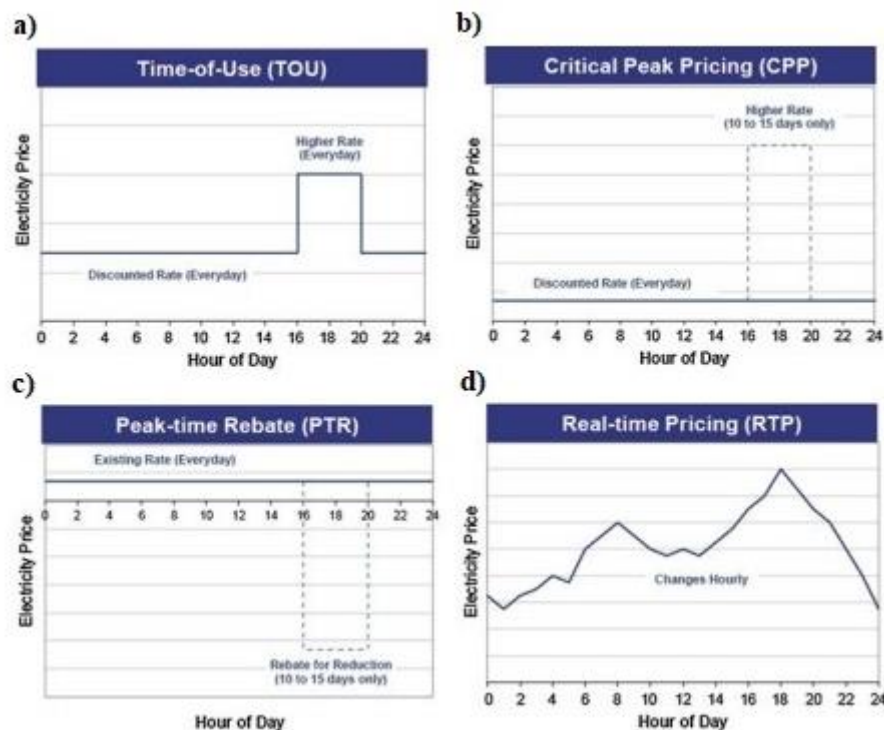
Prema metodi CPP kupci plaćaju vrlo visoku cijenu (i do deset puta veću od uobičajene) za električnu energiju u vrijeme najveće potrošnje u jednoj godini kada su veleprodajne cijene najviše (obično prvih 10-15 dana u godini koje čine 10 do 20% vršnog opterećenja sustava). Ova vrlo visoka vršna cijena odražava i troškove energije i kapaciteta. U ostalom dijelu godine, kupci plaćaju puno manju cijenu. Kupci se obično obavijesti o nadolazećem „vršnom razdoblju“ jedan dan unaprijed i imaju slobodu odluke hoće li trošiti električnu energiju po vrlo visokoj cijeni ili će upravljati svojom potrošnjom i tako uštedjeti. Metoda CPP ilustrirana je na slici 4.2.b.

Kao i po CPP stopi, kupci s varijabilnom cijenom za vrijeme vršnih sati (VPP) plaćaju više cijene za vrijeme vršnog razdoblja tijekom nekoliko dana u godini kada su veleprodajne cijene najviše. Glavna razlika između CPP-a i VPP-a je u tome što varijabilna vršna cijena varira od jednog događaja do drugog, i koja se određuje prema tržišnim cijenama. Vršne cijene se obično razlikuju

svaki dan ovisno o tržišnim cijenama dan unaprijed. U danima koji nisu događaji, VPP stopa djeluje poput normalne TOU stope, s fiksnim cijenama u razdoblju upotrebe.

Metoda popusta u vršnom razdoblju (PTR), umjesto da se tijekom kritičnih događaja naplaćuje veća cijena, sudionike koji smanjuju opterećenje tijekom vršnog razdoblja se nagrađuje u vidu popusta koji se procjenjuje na temelju onoga što bi kupac inače potrošio. Ako kupci ne žele sudjelovati, oni jednostavno kupuju električnu energiju po postojećoj tarifi. Nema popusta na cijenu u danima koji nisu kritični. Metoda PTR je slikovito prikazana na slici 4.2.c.

Korisnici metode RTP plaćaju energiju po tarifi koja je povezana s tržišnom cijenom električne energije po satu. Ovisno o njihovoj veličini, korisnike se obično upoznaje s cijenama električne energije dan ili sat unaprijed. Ovi programi objavljuju cijene koje najtočnije odražavaju troškove proizvodnje električne energije tijekom svakog sata u danu i na taj način pružaju najbolje cjenovne signale kupcima, dajući im poticaj da smanje potrošnju za vrijeme sati kada su aktivne visoke cijene električne energije. Metoda RTP je ilustrirana na slici 4.2.d.



**Slika 4.2.** Opcije promjenjivih varijabilnih stopa [11]

### **4.3. Primjer upravljanja potrošnjom pomoću tarifnih modela u Republici Hrvatskoj**

Kupcima električne energije u Republici Hrvatskoj dostupne su različite vrste tarifnih modela pomoću kojih se kupcima obračunava potrošnja električne energije. Tarifni modeli su najjednostavniji modeli upravljanja potrošnjom te ujedno i jedini načini upravljanja potrošnjom u RH danas. Korisnici imaju mogućnog korištenja jednotarifnog i višetarifnog brojila. Kod jednotarifnog brojila moguća je samo jedna tarifa u kojoj se cijena električne energije obračunava po jednoj tarifi, dok su kod višetarifnog brojila moguće primjene različitih tarifnih modela.

Tarifni modeli koji postoje u Republici Hrvatskoj prema HEP ELEKTRI [7]:

- „za kućanstvo:
  - tarifni model Plavi,
  - tarifni model Bijeli,
  - tarifni model Crveni
  - tarifni model Crni
- za poduzetništvo:
  - tarifni model Plavi,
  - tarifni model Bijeli,
  - tarifni model Crveni
  - tarifni model Žuti“

#### **4.3.1. Kućanstvo**

Prema HEP ELEKTRI [7]: „ Tarifni model Plavi mogu izabrati kupci na niskom naponu koji imaju jednotarifno ili višetarifno brojilo. Tarifni model Plavi sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po jedinstvenoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), prekomjerna jalova energija (kn/kvarh) i naknada za obračunsko mjerno mjesto (kn/mj).“ Cijene za Plavi tarifni model mogu se vidjeti u Tablici 4.1. Kod Plavog tarifnog modela ustvari nema upravljanja potrošnjom te imamo jednu cijenu električne energije tokom cijelog dana.

Za Bijeli tarifni model HEP ELEKTRA navodi [7]: „Tarifni model Bijeli mogu izabrati kupci na niskom naponu s višetarifnim brojilom. Tarifni model Bijeli sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po višoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), radna energija po nižoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), prekomjerna jalova energija (kn/kvarh) i naknada za obračunsko mjerno mjesto

(kn/mj).“ Cijene za Bijeli tarifni model prikazane su u Tablici 4.1. Kod Bijelog tarifnog modela postoji mogućnost upravljanja potrošnjom i kupce se potiče da troše energiju u noćnim satima, odnosno po nižoj tarifi.

Crveni tarifni model je baziran na Bijelom tarifnom modelu, samo što se odnosi na korisnike mreže priključne snage veće od 20 kW i razlikuje se po tome što se plaća maksimalno angažirana radna snaga što se može vidjeti u Tablici 4.1. Kod Crvenog tarifnog modela upravljanje potrošnjom je moguće i kupce se motivira da troše energiju u noćnim satima po nižoj tarifi. Osim energije, potiče se i potrošnja sa nižom snagom što pomaže u vođenju distribucijskog sustava.

Kategorija	Tarifni model	Tarifni element						
		Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjesto	
		JT	VT	NT				
		[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]	
		Tarifne stavke						
Kućanstvo	Niski napon	Plavi	0,77 (0,87)	-	-	-	-	17,40 (19,66)
		Bijeli	-	0,84 (0,95)	0,41 (0,46)	-	-	17,40 (19,66)
		Crveni	-	0,70 (0,79)	0,34 (0,38)	38,50 (43,51)	-	48,70 (55,03)
		Crni	0,37 (0,42)	-	-	-	-	6,20 (7,01)

**Tablica 4.1.** Tarifne stavke za kupce kategorije kućanstvo; u primjeni od 1.siječnja 2019. godine [7]

Crni tarifni model se odnosi samo na kategoriju kućanstvo, za razliku od prva tri tarifna modela koja možemo naći i u kategoriji poduzetništvo. U Tablici 4.1. prikazane su tarifne stavke za tarifne elemente za Crni tarifni model. U Crnom tarifnom modelu električna energija kupcu nije dostupna tokom cijelog dana, nego isporučitelj daljinskim upravljanjem određuje kada će električna energija biti dostupna kupcu. Kod Crnog tarifnog modela je moguće upravljanje potrošnjom. Kako se Crni tarifni model primjenjuje u kućanstvu, tako se zapravo primjenjuje na trošilima u kućanstvu i to

na onim trošilima na kojima je moguća prilagodba korištenja električne energije (npr. bojler, rasvjeta,...). Kako bi Crni tarifni model mogao biti u funkciji potrebno je ispuniti određene preduvjete koje navodi HEP ELEKTRA u literaturi [7]: „HEP ODS mora imati tehničke uvjete koji omogućavaju sustav daljinskog upravljanja potrošnjom na određenom području, a kupac mora imati posebno brojilo i pripadajuću instalaciju, u skladu s važećim tehničkim uvjetima.“ Za sada se Crni tarifni model primjenjuje samo na području Elektroistre Pula i Elektrojuga Dubrovnik.

### **4.3.2. Poduzetništvo**

U kategoriji poduzetništvo tarifni modeli su dostupni kupcima ovisno o naponskoj razini na kojoj je korisnik priključen.

Za Plavi tarifni model za kupce na niskom naponu HEP ELEKTRA navodi [12]: „Tarifni model Plavi sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po jedinstvenoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), prekomjerna jalova energija (kn/kvarh) i naknada za obračunsko mjerno mjesto (kn/mj).“ Cijene za Plavi tarifni model su prikazane u Tablici 4.2. Kao i u kategoriji kućanstvo, tako i u kategoriji poduzetništvo u Plavom tarifnom modelu nema mogućnosti upravljanja potrošnjom i cijena električne energije je jednaka tokom cijelog dana.

Bijeli tarifni model se razlikuje od ostalih tarifnih modela jer ima mogućnost da korisnici budu spojeni na niski, srednji, visoki i vrlo visoki napon. Bijeli tarifni model za kupce na niskom naponu je definiran prema HEP ELEKTRI [12]: „Tarifni model Bijeli sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po višoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), radna energija po nižoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), prekomjerna jalova energija (kn/kvarh) I naknada za obračunsko mjerno mjesto (kn/mj).“ Dok je za kupce na srednjem, visokom i vrlo visokom naponu HEP ELEKTRA Bijeli tarifni model definirala [12]: „ Tarifni model Bijeli koji sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po višoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), radna energija po nižoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), obračunska vršna radna snaga (kn/kW), prekomjerna jalova energija (kn/kvarh) i naknada za obračunsko mjerno mjesto (kn/mj).“ Cijene ta Bijeli tarifni model su prikazane u Tablici 4.2. te kao i u kategoriji kućanstvo u Bijelom tarifnom modelu je moguće upravljanje potrošnjom. Korisnike se potiče na korištenje električne energije po nižoj (noćnoj) tarifi.

Za tarifni model Crveni HEP Elektra navodi [12]: „Tarifni model Crveni odnosi se na korisnike mreže iz kategorije poduzetništvo s priključnom snagom većom od 20 kW i sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po višoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), radna energija po



nižoj dnevnoj tarifi (kn/kWh), obračunska vršna radna snaga (kn/kW), prekomjerna jalova energija (kn/kvarh) i naknada za obračunsko mjerno mjesto (kn/mj).“ U Tablici 4.2. su prikazane cijene za Crveni tarifni model. Kod Crvenog tarifnog modela je moguće upravljanje potrošnjom i to na isti način kao kod Bijelog tarifnog modela.

Žuti tarifni model je model koji se odnosi samo na kategoriju poduzetništvo. HEP ELEKTRA navodi u literaturi [12]: „Tarifni model Žuti (javna rasvjeta) sadrži tarifne stavke za sljedeće tarifne elemente: radna energija po jedinstvenoj dnevnoj tarifi (kn/kWh) i naknada za obračunsko mjerno mjesto (kn/mj)“ te je to prikazano u Tablici 4.2.

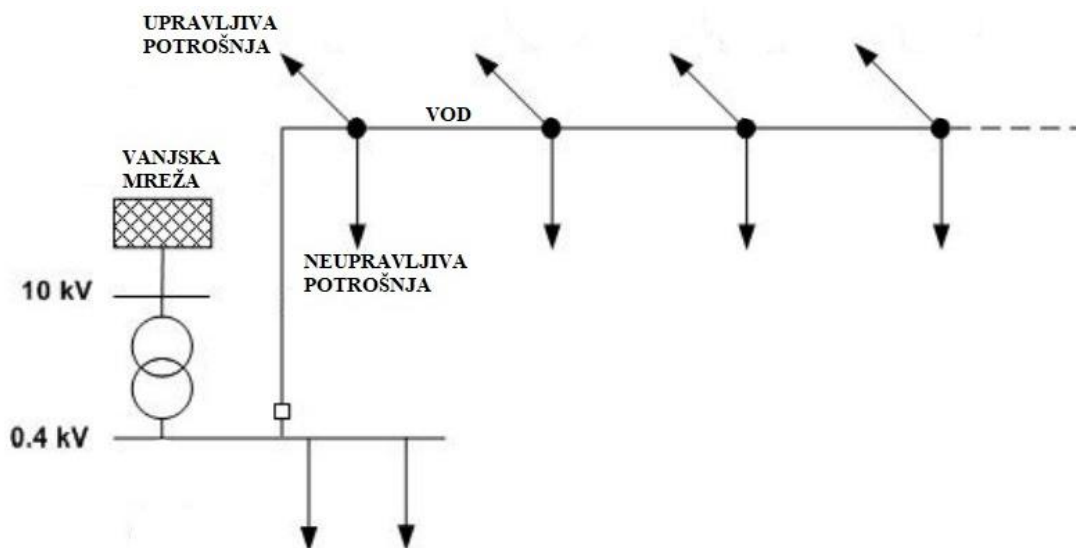
Kategorija/ naponska razina		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za obračunsko mjerno mjesto
			JT	VT	NT			
			[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kWh]	[kn/kW]	[kn/kvarh]	[kn/mj]
Tarifne stavke								
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	0,6827	0,3980	14,00	0,16	68,00
	Srednji napon	Bijeli	-	0,7640	0,4371	26,00	0,15	66,00
	Niski napon	Plavi	0,9189	-	-	-	0,15	41,30
		Bijeli	-	1,0499	0,5817	-	0,15	41,30
		Crveni	-	0,8198	0,4587	38,50	0,15	41,30
		Žuti	0,7065	-	-	-	-	14,70
VN-OPS*	Bijeli	-	0,6427	0,3780	-	-	-	

\*Odnosi se isključivo na kupce priključene na mrežu prijenosa koji zaprimaju dva računa

**Tablica 4.2.** Tarifne stavke za kupce kategorije poduzetništvo, u primjeni od 1.srpnja 2020.godine [12]

## 5. PRORAČUN TOKOVA SNAGE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI SA I BEZ UPRAVLJANJA POTROŠNJOM

Za primjer upravljanja potrošnjom u niskonaponskoj distributivnoj mreži koristit će se model koji je rađen po uzoru na mrežu koja se nalazi u literaturi [5] i koja je modelirana u programu PowerWorld. Na slici 5.1. je prikazan dio distribucijske mreže u kojoj je vanjska mreža spojena na transformatorsku stanicu 10/0,4 kV. Na transformatorsku stanicu su spojena tri izvoda (sa 20 obiteljskih kuća spojenih na svakom izvodu) te je samo jedan izvod detaljno modeliran sa svakom obiteljskom kućom, u kojoj prema literaturi [13] vršna snaga kuće iznosi 5,75 kW. Modelirat će se potrošnja s djelatnom snagom, a za jalovu snagu će se uzeti 0 var, odnosno  $\cos\varphi$  će biti jednak 1, jer se radi o kućanstvima, a ona nemaju veliku induktivnu potrošnju te pretpostavljamo da je  $\cos\varphi$  jedinični. Ukupna snaga izvoda postavljena je na 115 kW. Dok je neupravljiva potrošnja postavljena na 3,75 kW, a upravljiva na 2 kW.



Slika 5.1. Principijelna jednofazna shema [5]

U ovom radu je modelirano 5 slučajeva u kojima se prikazuje upravljanje potrošnjom na detaljno opisanom izvodu:

1. Slučaj – Distribucijska mreža bez upravljanja potrošnjom i bez regulacije napona
2. Slučaj – Distribucijska mreža bez upravljanja potrošnjom, ali sa regulacijom napona
3. Slučaj – Distribucijska mreža sa upravljanjem potrošnjom na zadnje četiri kuće
4. Slučaj – Distribucijska mreža sa upravljanjem potrošnjom na prve četiri kuće

5. Slučaj – Distribucijska mreža sa upravljanjem potrošnjom s kućama koje se nalaze u sredini

### 5.1. Slučaj 1 - rezultati

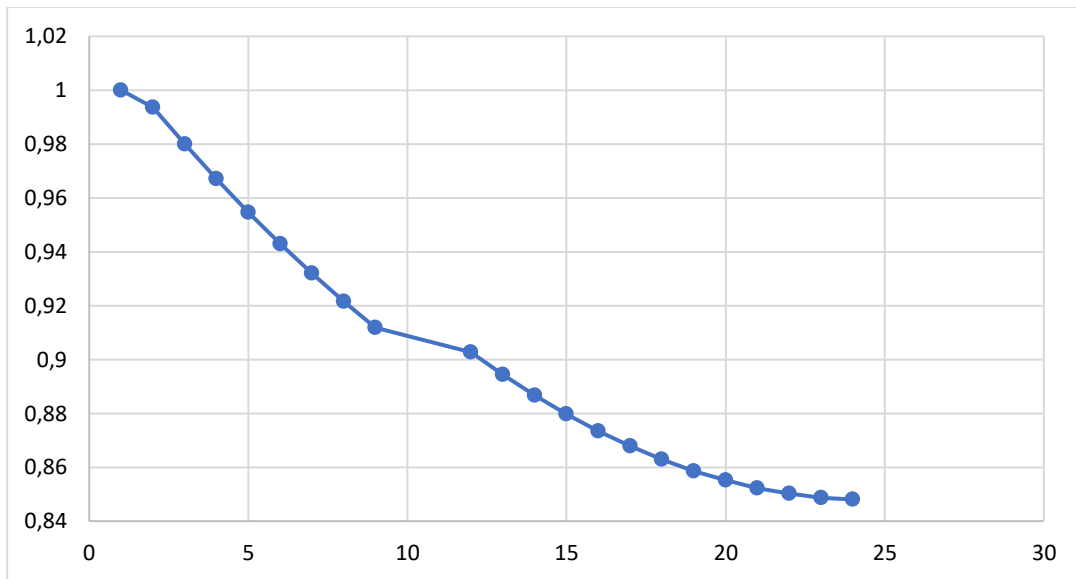
Simulacija prvog slučaja se provodi u mreži u kojoj se ne upravlja potrošnjom i bez regulacije napona pomoću transformatora. Prvi slučaj je ekstremni slučaj i u tom slučaju sve kuće imaju maksimalnu potrošnju, odnosno rade s maksimalnom snagom. Za ova slučaj se koristio najgori mogući događaj, a to je da svi rade s maksimalnom snagom iako za ostvarivanje ovog događaja postoji vrlo mala vjerojatnost.

Broj sabirnice	PU napon
1	1
2	0.99356
3	0.97996
4	0.96699
5	0.95466
6	0.94297
7	0.93194
8	0.92156
9	0.91185
12	0.9028
13	0.89443

Broj sabirnice	PU napon
14	0.88675
15	0.87974
16	0.87342
17	0.8678
18	0.86287
19	0.85864
20	0.85511
21	0.85228
22	0.85016
23	0.84875
24	0.84804

**Tablica 5.1.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 1

Pokretanjem simulacije dobili smo podatke prikazane u tablici 5.1. te su podaci slikovitije prikazani na slici 5.2. Kako iz podataka tako se i iz slike može vidjeti kako su naponi preniske te postoji jako veliki pad napona. Napon je prenizak te koji je čak 10% niži od nazivnog, što se vidi na posljednjih par sabirnica, riješiti će se regulacijom transformatora u slučaju 2.



*Slika 5.2. Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 1*

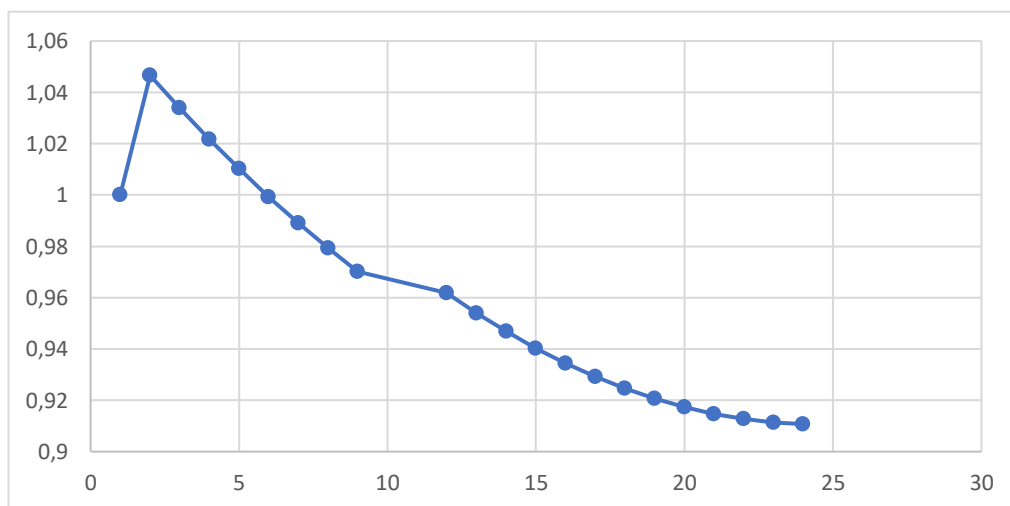
## 5.2. Slučaj 2 – rezultati

Simulacija drugog slučaja se također provodi u mreži u kojoj se ne upravlja potrošnjom, ali postoji regulacija transformatora. Kako bi se riješio problem preniske napona potrebno je izvršiti regulaciju transformatoru 10/0,4 kV, odnosno transformator 10/0,4 kV ima mogućnost promjene prijenosnog omjera te se na taj način napon može izregulirati. Prema literaturi [14] moguće je promijeniti prijenosni omjer tako da transformator podigne napon za 5%. te se u postavkama transformatora smanji prijenosni omjer na 0,95 kako bi napon narastao. Pokretanjem simulacije dobiju se podaci prikazani u tablici 5.2. te su podaci slikovito prikazani na slici 5.3. Promjenom prijenosnog omjera uspije se napon malo podići te se tim zahvatom postigne da sve točke imaju dozvoljen napon. Iako posljednje točke i dalje imaju najmanji napon, on se nalazi u  $\pm 10\%$  nazivnog napona.

Broj sabirnice	PU napon
1	1
2	1.0466
3	1.03388
4	1.02174
5	1.01021
6	0.99929
7	0.98898
8	0.97929
9	0.97023
12	0.96179
13	0.95398

Broj sabirnice	PU napon
14	0.94681
15	0.94028
16	0.9344
17	0.92916
18	0.92456
19	0.92062
20	0.91734
21	0.91471
22	0.91273
23	0.91141
24	0.91076

**Tablica 5.2.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 2



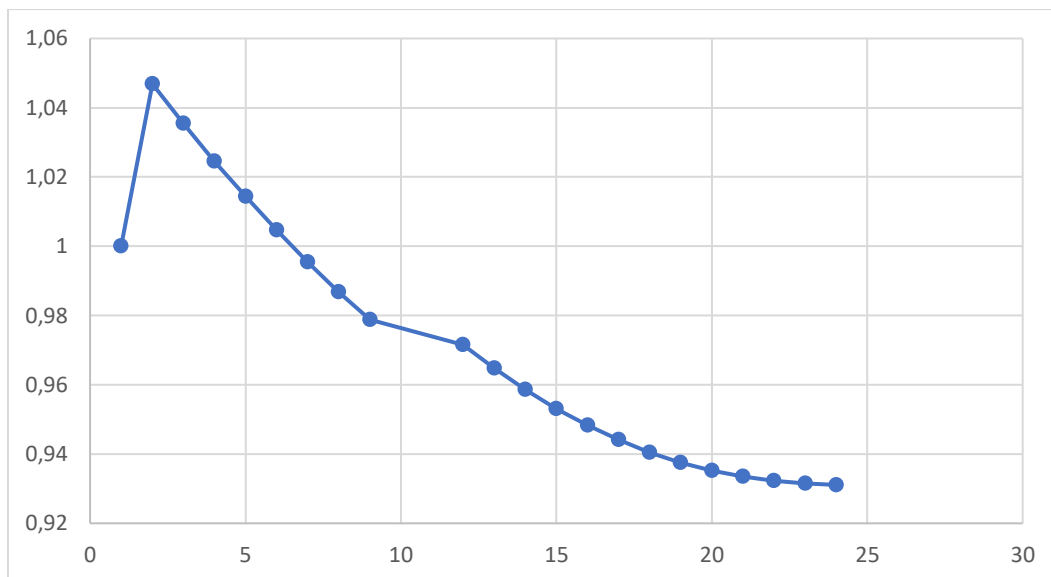
**Slika 5.3.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju

### 5.3. Slučaj 3 – rezultati

Simulacija trećeg slučaja se sada radi u mreži u kojoj će se vršiti upravljanje potrošnjom i to sa četiri kuće koje se nalaze na kraju. Transformator je i u ovom slučaju podešen na 0,95. Upravljanje potrošnjom se vrši na način da se pošalje signal četirima kućama koje se nalaze na kraju da isključe upravljivu potrošnju od 2 kW. Tim postupkom se automatski rastereti mreža. Podaci dobiveni simulacijom su prikazani u tablici 5.3. i slikovito prikazani na slici 5.4.

Broj sabirnice	PU napon	Broj sabirnice	PU napon
1	1	14	0.95864
2	1.04688	15	0.95315
3	1.03544	16	0.94829
4	1.02459	17	0.94407
5	1.01434	18	0.94049
6	1.00469	19	0.93755
7	0.99547	20	0.93525
8	0.98686	21	0.93359
9	0.97887	22	0.93234
12	0.9715	23	0.93151
13	0.96475	24	0.9311

**Tablica 5.3.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 3



**Slika 5.4.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 3

Rezultati dobiveni ovom simulacijom su očekivani. Smanjivanjem snage posljednje 4 kuće ukupna snaga voda se smanjila, odnosno smanjila se struja duž čitavog voda. Smanjivanjem struje čitavog voda dolazi do manjeg pada napona na svim dijelovima voda što za rezultat ima veći napon na sabirnicama ovisno o iznosu smanjenja struje, odnosno snage. Prema tome, u ovom slučaju za prvih 21 sabirnicu smanjenje pada napona je otprilike isto, dok se kod posljednje 3 sabirnice smanjenje pada napona smanjuje s obzirom da se u njihovoj okolini upravlja potrošnjom i na kućama ispred i na kućama iza.

#### 5.4. Slučaj 4 – rezultati

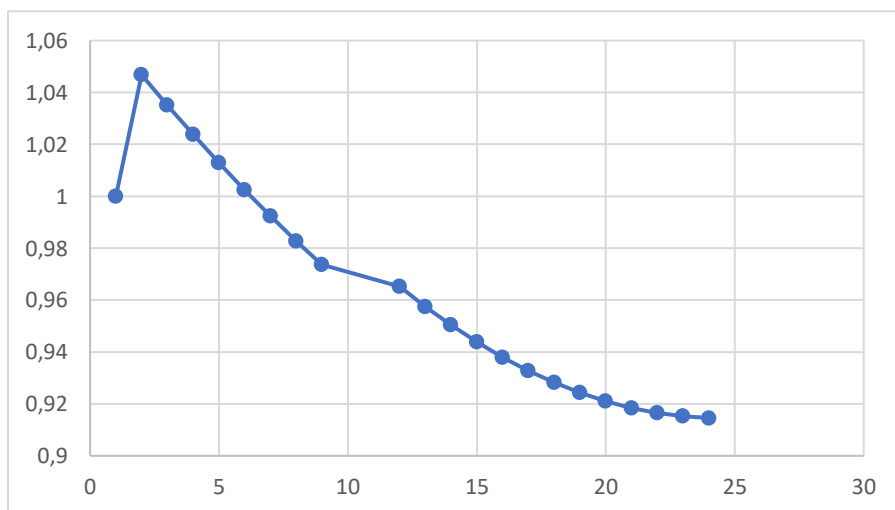
Simulacija četvrtog slučaja se također radi u mreži u kojoj će se vršiti upravljanje potrošnjom i to sa četiri kuće koje se nalaze na početku. Podaci u simulaciji ostaju isti kao i u prethodnom slučaju. U ovom slučaju se upravljanje potrošnjom izvršava na način da se prvim četirima kućama pošalje signal da isključe potrošnju od 2 kW. Podaci dobiveni simulacijom su prikazani u tablici 5.4. i ilustrirani na slici 5.5.

Rezultati dobiveni ovom simulacijom također su očekivani. Smanjivanjem snage prve 4 kuće smanjila se struja voda do te četiri kuće, a dalje na vodu se nije mijenjala. Smanjivanjem struje na početnom dijelu voda dolazi do značajnijeg smanjenja pada napona samo na dijelovima voda s početka pa prema tome napon na sabirnicama s početka je veći dok je na sabirnicama iza prve 4 kuće gotovo ne promijenjen u odnosu na slučaj broj 2.

Broj sabirnice	PU napon
1	1
2	1.0468
3	1.03514
4	1.02387
5	1.01299
6	1.00252
7	0.99226
8	0.98263
9	0.97361
12	0.96522
13	0.95746

Broj sabirnice	PU napon
14	0.95033
15	0.94384
16	0.93799
17	0.93279
18	0.92823
19	0.92432
20	0.92107
21	0.91846
22	0.91651
23	0.91521
24	0.91455

**Tablica 5.4.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 4



**Slika 5.5.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 3

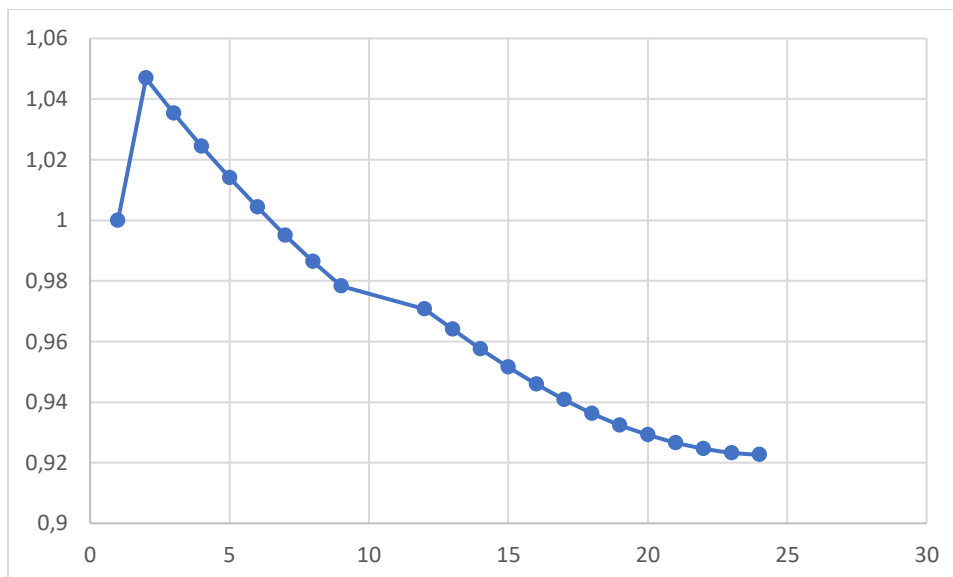


## 5.5. Slučaj 5 - rezultati

Simulacija petog slučaja se radi u mreži u kojoj će se vršiti upravljanje potrošnjom i to sa četiri kuće koje se nalaze u sredini. Podaci u simulaciji ostaju isti kao i u prethodna dva slučaja. Kao i u prethodna dva slučaja i u ovom se slučaju upravljanje potrošnjom vrši na način da se četirima kućama u sredini pošalje signal da isključe potrošnju od 2 kW. Podaci dobiveni simulacijom su prikazani u tablici 5.5. i ilustrirani na slici 5.6.

Broj sabirnice	PU napon	Broj sabirnice	PU napon
1	1	14	0.95755
2	1.04685	15	0.95155
3	1.03532	16	0.94595
4	1.02439	17	0.94078
5	1.01405	18	0.93624
6	1.00432	19	0.93235
7	0.99502	20	0.9291
8	0.98633	21	0.9265
9	0.97825	22	0.92455
12	0.9708	23	0.92325
13	0.96397	24	0.9226

**Tablica 5.5.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 5



**Slika 5.6.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1-24 u slučaju 5

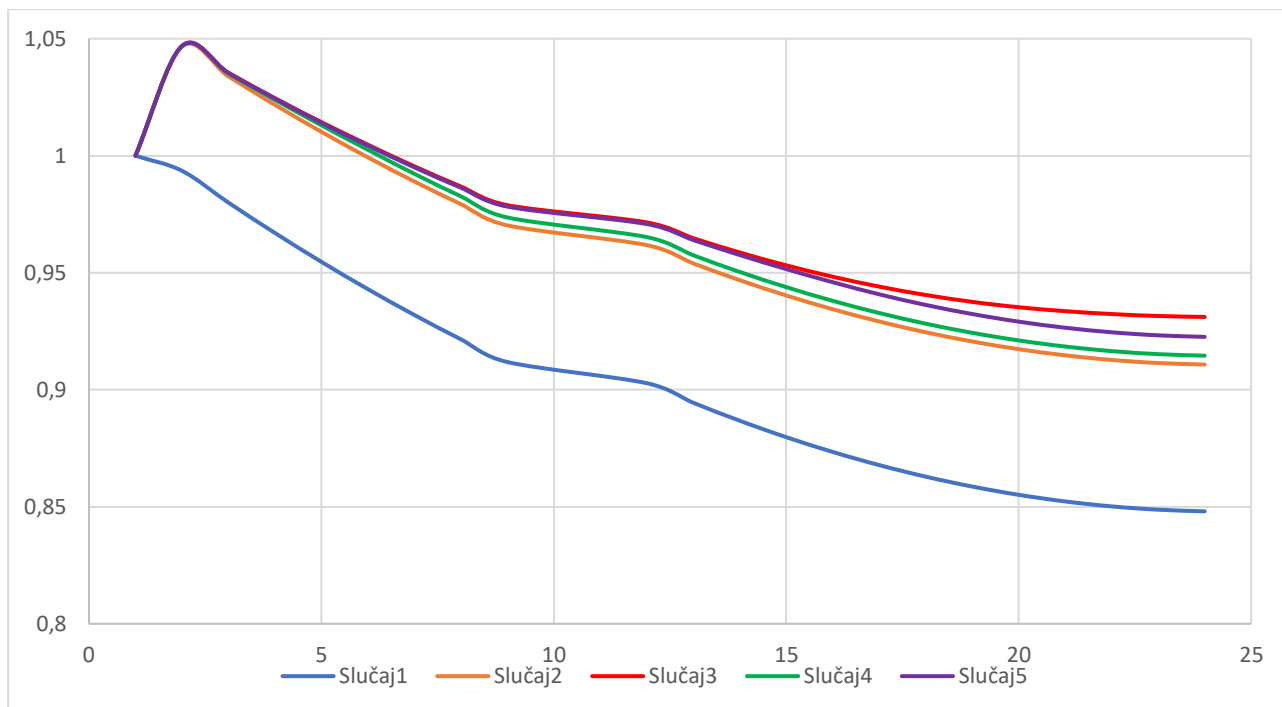
Rezultati dobiveni ovom simulacijom kao i u prethodne dvije, očekivani su. Smanjivanjem snage na 4 kuće u sredini također se smanjila struja na djelu voda između transformatora i reguliranih kuća pa je ondje i pad napona na vodu smanjen, odnosno napon sabirnica u tom djelu je porastao slično kao u slučaju broj 3.

## 5.6. Usporedba rezultata

Nakon 5 simuliranih slučajeva moguće je raditi usporedbu rezultata za svih 5 slučajeva. Prvi slučaj je ekstremni i postoji vrlo mala vjerojatnost da će se on ostvariti. Drugi slučaj je sličan prvom, ali je u drugom slučaju izvršena regulacija napona, dok je na slučajevima od 3 do 5 vršeno upravljanje potrošnjom.

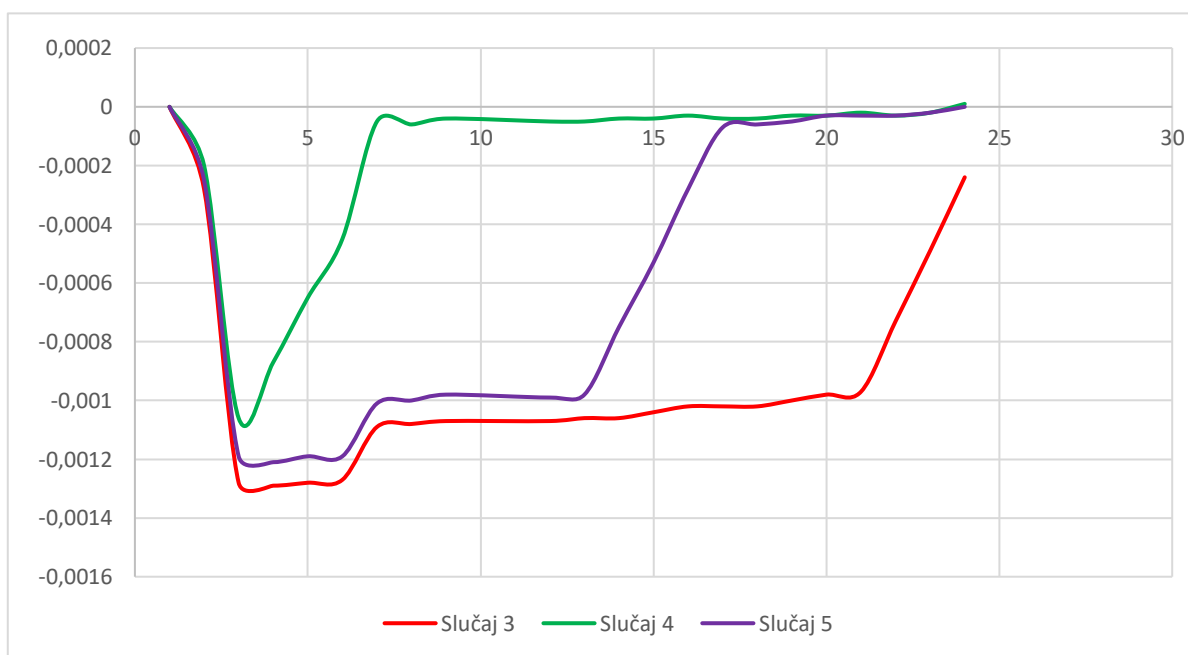
Uspoređivanje slučajeva 3,4 i 5 sa slučajem 2 može se uočiti svrha upravljanja potrošnjom, dok se međusobnom usporedbom slučajeva 3,4 i 5 može uočiti efikasnost upravljanja potrošnjom ovisno o lokaciji upravljanih objekata u mreži.

Na slici 5.7. su vidljivi naponi pojedine sabirnice za svih 5 slučajeva. Iz dolje navedenog vidljivo je da crvena linija postiže najveće napone na svim sabirnicama od 1 do 24, odnosno način upravljanja iz slučaja 3 postiže najbolje rezultate na naponima svih sabirnica. Također vidljivo je da svi slučajevi s upravljanjem potrošnje postižu bolje rezultate nego slučaj 2 koji je simuliran bez upravljanja potrošnjom.



**Slika 5.7.** Jedinične vrijednosti (p.u.) napona sabirnica 1 – 24 u simuliranim slučajevima

Međusobnim uspoređivanjem slučajeva od 3 do 5 može se zaključiti nešto više od ovisnosti lokacije upravljanja potrošnjom. Na slici 5.8. prikazane su promjene pada napona na vodu između susjednih sabirnica te je vidljivo kako lokacija upravljanja utječe na njih te se iz toga može zaključiti da najveći učinak upravljanja potrošnjom ima na kraju voda odnosno u slučaju 3.



**Slika 5.8.** Prikaz promjene pada napona

## 6. ZAKLJUČAK

Postoje razni načini upravljanja potrošnjom električne energije u distribucijskoj mreži te ona ima pozitivan utjecaj što se vidi iz simulacije. To se vidi iz svih slučajeva u kojima se upravljalo potrošnjom jer su naponi u tim slučajevima viši, nego u onim slučajevima u kojima se nije upravljalo potrošnjom. Na temelju simulacije zaključujemo kako pri upravljanju potrošnjom treba voditi računa i o lokaciji, jer se postiže drugačiji efekt te zaključujemo kako je najbolje upravljati potrošnjom na kraju voda u našem slučaju sa zadnje četiri kuće. U samom radu nisu razmatrani tipovi trošila i gubitke nismo uzimali u obzir.

Negativna strana upravljanja potrošnjom električne energije je to što upravljanje potrošnjom ne mora uvijek biti dostupno, jer ne će sva kućanstva kada prime signal da smanje potrošnju biti u mogućnosti da to naprave ili jednostavno ne će biti voljni isključiti teret. Također, još jedna negativna strana je što košta, odnosno ljudima treba kompenzirati to što oni nisu trošili električnu energiju kada se to od njih tražilo.

## SAŽETAK

Završni rad opisuje prijelaz s tradicionalne distribucijske mreže u naprednu mrežu preko integracije distribuiranih izvora. Opisane su neke od metoda upravljanja potrošnjom u naprednim mrežama kao što su mjere upravljanja potrošnjom i upravljanje potrošnjom primjenom različitih cijena za različito vrijeme te je opisan primjer upravljanja potrošnjom u Republici Hrvatskoj. Kako bi se vidio utjecaj upravljanja potrošnjom u distribucijskoj mreži, u ovom završnom radu je izvršen proračun tokova snaga u distribucijskoj mreži sa i bez upravljanja potrošnjom električne energije.

**Ključne riječi:** distribucijska mreža, napredna mreža, upravljanje potrošnjom

## ABSTRACT

The final paper describes the transition from a traditional distribution network to a smart grid through the integration of distributed sources. Some of the methods of demand response in smart grid are described, such as demand response measures and demand response by applying different prices for different times, and an example of consumption management in Croatia is described. In this final paper, in order to see the impact of demand response in the distribution network, the calculation of power flows in the distribution network was performed with and without electricity demand response.

**Keywords:** distribution network, smart grid, demand response

## LITERATURA

- [1] R.Goić, D.Jakus, I.Penović, Distribucija električne enenrgije, interna skripta, Split, 2008.goidna (dostupno na: <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/dm/skriptaDM.pdf>) [11.7.2020.]
- [2] M.Čavlović, Prijedlog koncepta uvođenja naprednih mreža kroz integraciju distribuiranih izvora u distribucijsku mrežu, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, S04-08, 1-11, Sveti Martin na Muri,2012.godina (dostupno na: <http://www.ho-cired.hr/3savjetovanje/SO4-08.pdf>) [27.6.2020.]
- [3] S.Cazin, G.Levačić, A.Župan, Uloga upravljanja potrošnjom kupaca u europskom elektroenergetskom sustavu, Hrvatski ogranak međunarodnog vijeća za velike elektroenergetske sustave – Cigré, 2-15, 1-9, Split, 2016.godina (dostupno na: <https://bib.irb.hr/datoteka/972878.T2-15.pdf>) [29.6.2020.]
- [4] D.Šćulac, A.Pavlinić, D.Damjanić, Pregled mogućnosti upravljanja potrošnjom, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO CIRED, S06-10, 1-9, Opatija, 2018.godina.
- [5] Z.Klaić, K.Fekete, D.Šljivac, Demand Side Management in the Distribution System with Photovoltaic Generation, Tehnički vjesnik, 19, 709-715, 2012.godina
- [6] H. Çimen, N. Çetinkaya, Voltage sensitivity-based demand-side management to reduce voltage unbalance in islanded microgrids, IET Renewable Power Generation, 2367 – 2375, 2019. godina (dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8836256> ) [23.9.2020.]
- [7] <http://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifni-modeli/1577> [10.9.2020.]
- [8] <https://www.ieee.hr/download/repository/SDD.pdf> [11.7.2020.]
- [9] L. A. Arias, E. Rivas, F. Santamaria i V. Hernandez, A Review and Analysis of Trends Related to Demand Response, Energies, 11, 1-3, Basel, Švicarska, 2018.godina (dostupno na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/7/1617> ) [24.8.2020.]
- [10] International Renewable Energy Agency. International Renewable Energy Agency. In Technical Report; Publisher: Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2015.
- [11] D. Mah, P. Hills, V. O.K. Li, R. Balme, Smart Grid Applications and Developments, Springer-Verlag, 61-63, London, 2014.
- [12] <http://www.hep.hr/elektra/poduzetnistvo/tarifni-modeli-1548/1548> [10.9.2020.]
- [13] [http://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup\\_mrezi/PM\\_1.2.1.\\_Za\\_htjev\\_za\\_izdavanje\\_EES\\_kupci.pdf](http://www.hep.hr/ods/UserDocsImages/dokumenti/Obrasci/Pristup_mrezi/PM_1.2.1._Za_htjev_za_izdavanje_EES_kupci.pdf) [15.9.2020.]
- [14] Tehnički priručnik, Končar, peto izdanje, Zagreb, 1991.godina