

## ANALIZA KAPACITETA 35 KV ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE ZA POTREBE PRIKLJUČENJA DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE

### ANALYSIS OF THE CAPACITY OF THE 35 KV ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORK FOR THE NEEDS OF CONNECTING DERS

Dušan VUKOTIĆ, „Elektrodistribucija Srbije“ d.o.o. Beograd, Srbija  
Goran LEPOVIĆ, „Siemens“ d.o.o. Beograd, Srbija  
Aleksa VUKOTIĆ, „Go2Power“ d.o.o. Beograd, Srbija

#### KRATAK SADRŽAJ

Preispitivanje raspoloživih kapaciteta postojeće energetske infrastrukture, jedno je od posledica nezaustavljivog procesa dekarbonizacije u energetskom sektoru. Nedovoljna ulaganja u povećanje kapaciteta elektrodistributivne mreže u odnosu na nesrazmerno veća ulaganja u prenosnu mrežu, već sada sa postignutim nivoom penetracije obnovljivih izvora električne energije dovode do postojanja evidentnih zagušenja mreže koja nije lako otkloniti bez velikih investicionih ulaganja. Imajući u vidu veliki broj elemenata elektrodistributivne mreže koje treba pojačati, same intervencije će zahtevati, pored značajnih sredstva, i velike vremenske periode za realizaciju ovako složenih poslova. Česta nehomogena izgrađenost elektroenergetskih objekata i vodova u pogledu raspoloživih kapaciteta, sa prisutnom depopulacijom stanovništva u pojedinim ruralnim delovima mreže, dakle sa značajnim smanjenjem opterećenja elemenata mreže, dovode do potrebe da se preispita nivo ulaganja. Suprotno, u urbanim delovima distributivne mreže, gde je evidentan značajan trend rasta opterećenja problem nehomogene izgrađenosti elektroenergetskih objekata i vodova u pogledu raspoloživih kapaciteta relativno brzo će iscrpeti raspoložive kapacitete u mreži. Srednjenaponska elektrodistributivna mreža je suočena sa velikim brojem zahteva za priključenjem relativno velikih proizvodnih kapaciteta, pre svega tipa „C“, koji će veoma brzo dostići raspoložive kapacitete mreže na tim naponskim nivoima. Imajući u vidu sve veću penetraciju udela „kupaca-proizvođača“ u okviru niskonaponske mreže, raspoloživi kapaciteti na srednjenaponskoj mreži će se značajno smanjivati. Zbog toga je izuzetno važno postaviti optimalne odnose u pogledu alokacije proizvodnih kapaciteta na naponskim nivoima elektrodistributivne mreže. U radu je korišćen konceptijski model elektrodistributivne mreže 35 kV naponskog nivoa, u okviru kojeg su prikazane i analize proračuna kapaciteta mreže u slučajevima kada imamo izuzetno visoke nivoe potrošnje, ali i relativno male nivoe opterećenja, koji treba da nam ukažu na stvarne mogućnosti priključenja proizvodnih jedinica na 35 kV naponskom nivou.

**Cljučne riječi:** SN mreža, kapacitet mreže, obnovljivi izvori, alokacija kapaciteta, planiranje mreže

#### ABSTRACT

Reviewing the available capacities of the existing energy infrastructure is one of the consequences of the unstoppable process of decarbonization in the energy sector. Insufficient investments in increasing the capacity of the power distribution network in relation to disproportionately larger investments in the transmission network, with already achieved level of penetration of renewable sources of electricity, lead to the existence of evident grid congestion that is not easy to eliminate without large investments. Bearing in mind the large number of elements of the electrical distribution network that need to be reinforced, the interventions themselves will require, in addition to significant funds, long periods of time for the realization of such complex tasks. The frequent inhomogeneous construction of power facilities and lines in terms of available capacities, with the presence of depopulation in some rural parts of the network, thus with a significant reduction in the load on network elements, lead to the need to review the level of investment. On the contrary, in urban parts of the distribution network, where a significant trend of load growth is evident, the problem of non-homogeneous construction of power facilities and lines in terms of available capacities will relatively quickly exhaust the available capacities in the network. The MV electric distribution network is faced with a large number of requests for the connection of relatively large production capacities, primarily of type "C", which will very quickly reach the available capacities of the network at those voltage levels. This is why it is extremely important to establish optimal relations regarding the allocation of production capacities at the voltage levels of

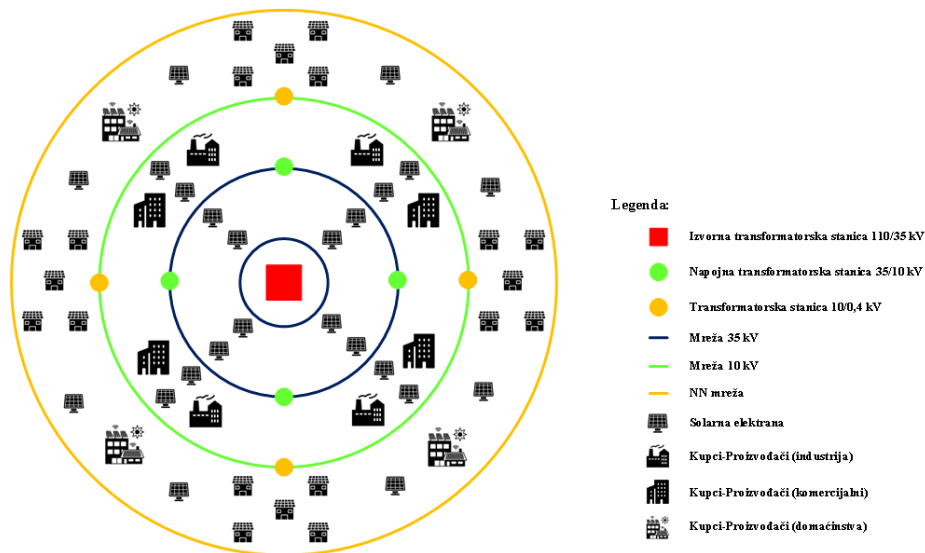
the electrical distribution network. In the paper, a conceptual model of the 35 kV voltage level electric distribution network was used, within which the analysis of network capacity in cases where we have extremely high levels of load, but also relatively low levels of load, are presented, which should indicate the real connection possibilities production units at 35 kV voltage level.

**Key words:** MV network, network capacity, renewable sources, capacity allocation, network planning

Dušan Vukotić, dusan.vukotic@ods.rs

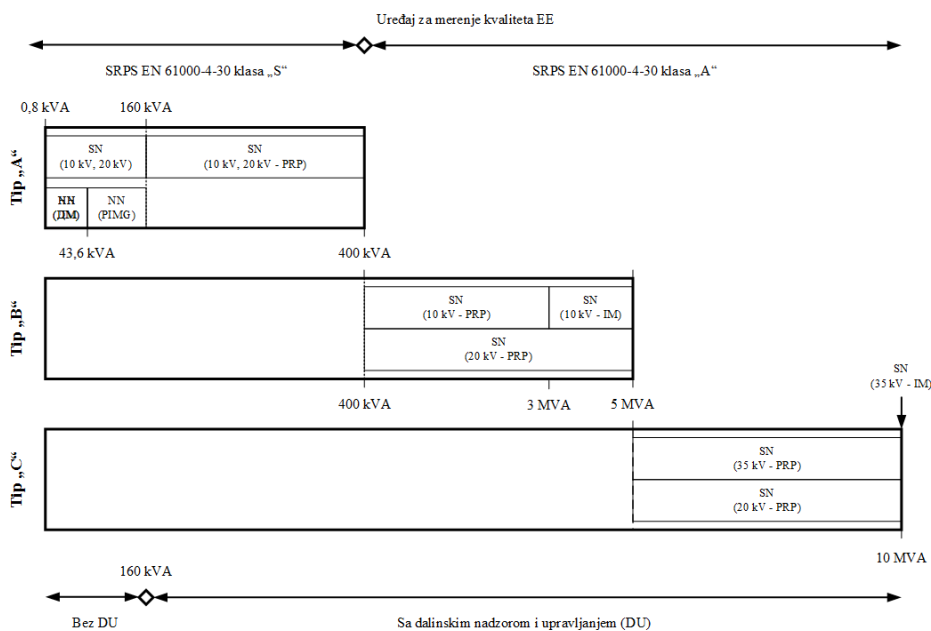
## 1. UVOD

Operator distributivnog sistema „Elektrodistribucija Srbije“ (ODS) suočen je sa velikom izazovom koji je pre svega prouzrokovan procesom dekarbonizacije, u kome ODS ima jednu od najznačajnijih uloga. ODS treba u bliskoj budućnosti da obezbedi sve neophodne uslove za priključenje velikog broja proizvodnih jedinica, praktično na svim naponskim nivoima elektrodistributivne mreže. ODS upravlja elektrodistributivnom mrežom u Republici Srbiji u skladu sa primenjenim četvoronaponskim konceptom mreže (110 kV, 35 kV, SN (20 kV i 10 kV), NN), čije su koncepcije oblikovanja mreže postavljene još osamdesetih godina prošlog veka. Kao što je poznato, priključenje velikog broja proizvodnih jedinica praktično na svim naponskim nivoima, već u ovom trenutku je značajno promenilo karakter elektrodistributivne iz pasivne mreže u krajnje aktivnu mrežu.



Slika 1 – Alokacija priključenja kapaciteta obnovljivih izvora po naponskim nivoima

Na Slici 1 je prikazana alokacija priključenja kapaciteta obnovljivih izvora po naponskim nivoima, gde se proizvodne jedinice priključuju ka „kupci-proizvođači“ na SN i NN elektrodistributivnu mrežu, dok se proizvodne jedinice u statusu proizvođača priključuju praktično na svim naponskim nivoima. Naravno, uniformnost po pitanju broja, ali i same snage priključenja naponskih nivoa se razlikuje od ciljnog naponskog nivoa elektrodistributivne mreže gde se proizvodne jedinice priključuju.



Slika 2 – Raspodela proizvodnih jedinica prema tipovima i naponskim nivoima

U skladu sa donetom „Uredbom o mrežnim pravilima koja se odnosi na priključenje na mrežu proizvodnih jedinica“, proizvodne jedinice koje se priključuju na elektrodistributivne mreže se razvrstavaju u skladu sa traženim snagama priključenja po tipovima po odgovarajućim tipovima: „A“, „B“ i „C“ tip. Tip „D“ proizvodnih jedinica se priključuje na 110 kV naponskom nivou, pa shodno tome ODS nije odgovoran za njihovo priključenje, jer je njihovo priključenje u direktnoj nadležnosti Operatora prenosnog sistema (OPS). Donetom odlukom od strane operatora prenosnog sistema utvrđene su granice za tipove proizvodnih jedinica u skladu sa donetom Uredbom. Na Slici 2 prikazana je raspodela proizvodnih jedinica priključenih na distributivni elektroenergetski sistem, pri čemu je dat način priključenja proizvodnih jedinica određene snage na ciljni naponski nivo.

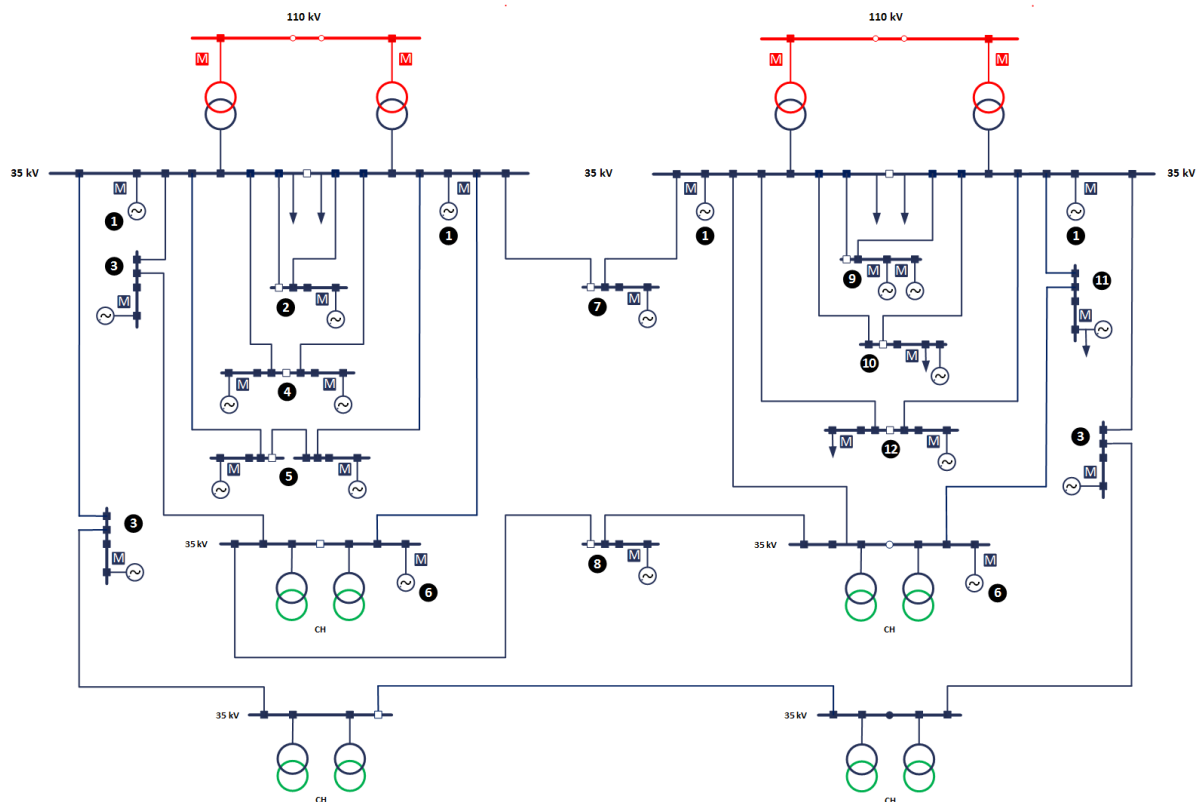
## 2. KONCEPCIJA 35 kV ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE

Kao što je navedeno, koncepcije oblikovanja elektrodistributivne mreže po određenim naponskim nivoima je doneta pre više od pedeset godina i ona se nije uniformno primenjivala na pojedina distributivna područja, budući da su u prethodnom periodu elektrodistributivna preduzeća imale svoje pristupe prilikom razvoja elektrodistributivne mreže u skladu sa specifičnostima svojih konzumnih područja i strukturama krajnjih kupaca.

Distributivna elektroenergetska mreža 35 kV naponskog nivoa, koja je ranije bila i ostala u nadležnosti ODS, koncepcijski je oblikovana u zavisnosti od gustine opterećenja na sledeće načine:

- u ruralnim i prigradskim delovima konzuma po principu „jedan vod – jedna transformatorska stanica“, i
- u gradskim delovima konzuma po principu „jedan vod – jedan transformator“.

U slučaju kada je distributivna elektroenergetska mreža 35 kV naponskog nivoa modelovana po principu „jedan vod – jedna transformatorska stanica“, tada napojni vod po pravilu napaja transformatorsku stanicu instalisane snage (2 x 4 MVA) ili (2 x 8 MVA). Sa druge strane, kada je mreža koncepcijski modelovana po principu „jedan vod – jedan transformator“, tada glavni napojni vod napaja jedan transformator instalisane snage 8 MVA ili 12,5 MVA. Po pravilu, u gradskim delovima konzuma kada je mreža koncepcijski modelovana po principu „jedan vod – jedan transformator“, tada napajani transformator ima rezervni vod iz susedne transformatorske stanice. Na Slici 3 je prikazan koncept oblikovanja 35 kV elektrodistributivne mreže sa ciljnim tačkama priključenja proizvodnih jedinica distribuirane proizvodnje (DG).



Slika 3 – Primenjeni koncept 35 kV elektrodistributivne mreže sa ciljnim tačkama priključenja DG

Na Slici 3 prikazan je karakterističan primer distributivne elektroenergetske mreže 35 kV naponskog nivoa, na koji su primenjeni principi konceptualnog oblikovanja mreže. Mreža je prikazana uprošćeno, budući da bi po svom obimu mogla da ude daleko složenije prikazana, pre svega zbog velikog broja 35 kV izvodnih ćelija, koje su u ovom uprošćenom modelu morale da budu ekvivalentirane. Način priključenja na distributivnu elektroenergetsku mrežu je propisan zakonskim i podzakonskim dokumentima, koja propisuju da proizvodne jedinice mogu da budu priključene na mrežu preko priključno-razvodnih postrojenja (PRP) ili u slučaju priključenja sa velikom snagom proizvodne jedinice na određenom naponskom nivou, direktno u izvodno-mernu (IM) ćeliju izvorne transformatorske stanice 110/35 kV. Na Slici 3 prikazane su ciljne tačke priključenje sa karakterističnim slučajevima priključenja proizvodnih jedinica na 35 kV naponskom nivou:

- Slučaj 1 - Priključenje proizvodne jedinice u 35 kV IM ćeliju izvorne TS 110/35 kV.
- Slučaj 2 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP koji se nalazi na površini koja je u vlasništvu korisnika DS, preko dva direktna voda iz izvodnih 35 kV ćelija izvorne TS 110/35 kV.
- Slučaj 3 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP na glavni vod za napajanje TS 35/x kV.
- Slučaj 4 – Priključenje proizvodnih jedinica preko PRP sa dva merna mesta („leptir“) preko dva direktna voda iz izvodnih 35 kV ćelija izvorne TS 110/35 kV.
- Slučaj 5 – Priključenje proizvodnih jedinica preko dva nezavisna PRP sa po jednim mernim mestom, u okviru petlje iz izvodnih 35 kV ćelija izvorne TS 110/35 kV.
- Slučaj 6 – Priključenje proizvodne jedinice u 35 kV IM ćeliju napojne TS 35/x kV.
- Slučaj 7 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP na međupovezni vod između dve izvorne TS 110/35 kV.
- Slučaj 8 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP na međupovezni vod između dve napojne TS 35/x kV.
- Slučaj 9 – Priključenje proizvodne jedinice preko jednog PRP sa dva merna mesta (za svaku proizvodnu jedinicu pojedinačno), koje se nalazi u krugu izvorne TS 110/35 kV preko dva direktna voda iz dve izvodne 35 kV ćelije.

- Slučaj 10 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP, gde se priključuje „kupac-proizvođač“ (centralizovana proizvodnja u energetsom kompleksu) preko dva direktna voda iz dve izvodne 35 kV ćelije izvorne TS 110/35 kV.
- Slučaj 11 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP, gde se priključuje „kupac-proizvođač“ (decentralizovana proizvodnja u energetsom kompleksu) na glavni vod za napajanje napojne TS 35/x kV.
- Slučaj 12 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP sa dva merna mesta (jedno merno mesto za potrošnju, a drugo merno mesto za proizvodnju) preko dva direktna voda iz dve izvodne 35 kV ćelije izvorne TS 110/35 kV.

Imajući u vidu da je prema novom zakonskom rešenju u okviru „Zakona o korišćenju obnovljivih izvora“ [1], moguće priključiti proizvodnu jedinicu od najviše 150 kVA kod „kupca-proizvođača“ koji ne pripada domaćinstvu (osim tokom trajanja rokova propisanih prelaznim odredbama Zakona), ova kategorija korisnika neće postojati na 35 kV naponskom nivou, te se sa te strane neće biti razmatrana u radu. Sa druge strane, imajući u vidu veliki broj zahteva za priključenje proizvodnih jedinica od skoro 10 MVA, do sada su ti zahtevi rešavani isključivo putem priključenja u IM ćelije izvornih transformatorskih stanica. Kako je veliki broj rezervnih 35 kV izvodnih ćelija, tokom razmatranih postupaka za priključenje proizvodnih jedinica na ovaj način u potpunosti iskorišćen, stvorila se potreba da se pristupi sledećoj fazi gde će se proizvodne jedinice isključivo priključivati putem PRP u dubini 35 kV distributivne mreže, što je načelno novom „Uredbom o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom“ [2] i predviđeno.

Sa druge strane, u okviru istog zakonskog rešenja na osnovu člana 38, predviđeno je da mesto razgraničenja distributivnog sistema i instalacija postojećeg objekta kupca ili proizvođača koji se priključuje na elektrodistributivni sistem napona većeg od 1kV bude uvod kabla u kablovsko polje, odnosno ćeliju u objektu operatora sistema, za slučaj priključenja kabla kupca ili proizvođača. Na osnovu tumačenja zakonske regulative, nameće se zaključak da mesto razgraničenja, odnosno tačka priključenja, bude u kablovskoj izvodno-mernoj ćeliji izvorne ili napojne transformatorske stanice ili u kablovskoj priključnoj ćeliji priključno-razvodnog postrojenja (PRP) koji bi se gradio na granici parcele korisnika sistema. Iz toga razloga u okviru postavljenog modela sve proizvodne jedinice su priključene kao što je navedeno u uvodnom delu ove tačke.

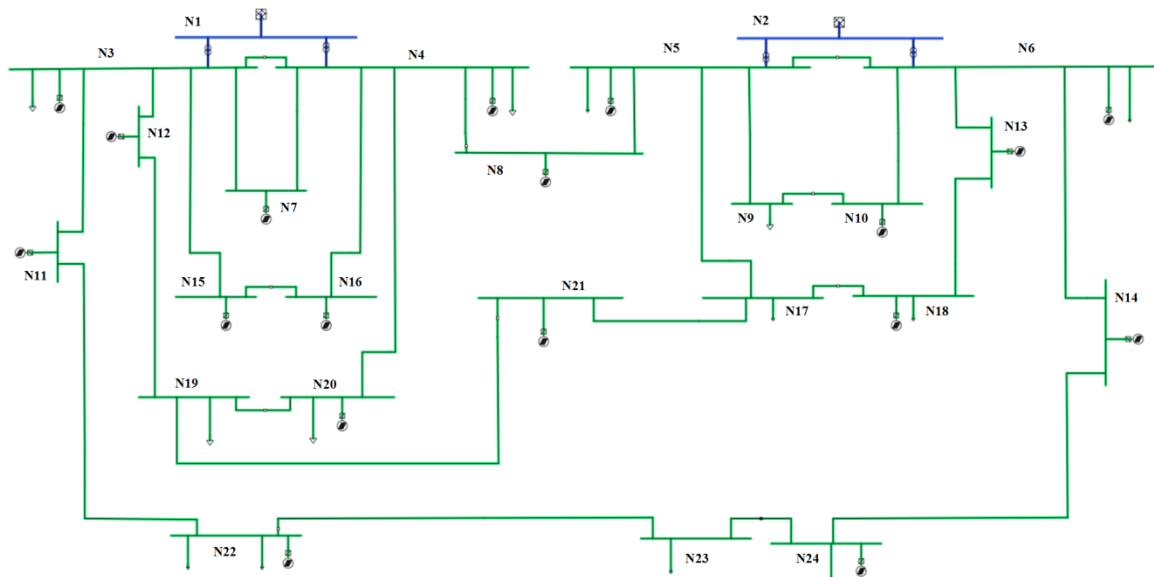
Već duže vreme, Operator distributivnog sistema (ODS) je suočen sa velikim brojem zahteva za priključenje distribuirane proizvodnje, a pre svega proizvodnih jedinica obnovljivih (varijabilnih) izvora na elektrodistributivnom nivou. Zastoj koji je u prethodnom periodu nastupio u postupcima priključenja distribuirane proizvodnje na prenosnom nivou, prouzrokovao je da se na elektrodistributivnom nivou pojavi veliki broj zahteva za priključenje „usitnjenih“ (manjih) proizvodnih jedinica instalisane snage do 10 MW, koje su nastale podelom instalisanih snaga planiranih proizvodnih jedinica za priključenje na prenosnom nivou u neposrednoj blizini izvorne transformatorske stanice. Imajući u vidu da u pojedinim izvornim transformatorskim stanicama 110/35 kV postoji izvestan broj raspoloživih 35 kV izvodnih ćelija za priključenje planirane distribuirane proizvodnje, glavni fokus priključenja proizvodnih jedinica na 35 kV naponskom nivou je upravo usmeren ka njima. Važno je napomenuti da se zahtevi za priključenje isključivo dominantno odnose na priključenje solarnih proizvodnih jedinica pre svega zbog relativno brze izgradnje i puštanja u pogon takvih proizvodnih kapaciteta, te se rad isključivo odnosi na priključenje tog tipa proizvodnih jedinica.

### 3. MODEL 35 kV ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE

Na osnovu gore navedenih razloga, prilikom modelovanja 35 kV mreže biće razmatrani sledeći primeri priključenja:

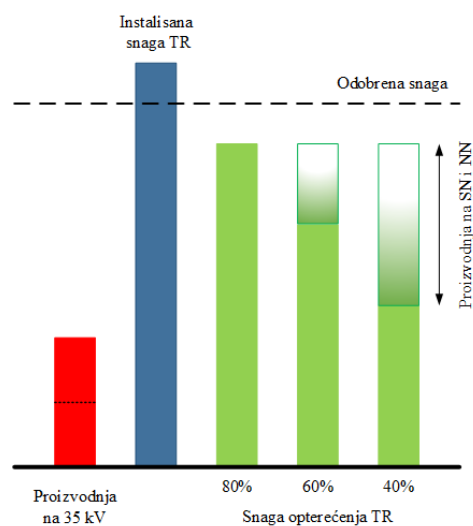
- Primer 1 - Priključenje proizvodne jedinice u 35 kV IM ćeliju izvorne TS 110/35 kV.
- Primer 2 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP na glavni vod za napajanje TS 35/x kV.
- Primer 3 – Priključenje proizvodnih jedinica preko dva nezavisna PRP sa po jednim mernim mestom, u okviru petlje iz izvodnih 35 kV ćelija izvorne TS 110/35 kV.
- Primer 4 – Priključenje proizvodne jedinice u 35 kV IM ćeliju napojne TS 35/x kV.
- Primer 5 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP na međupovezni vod između dve izvorne TS 110/35 kV.
- Primer 6 – Priključenje proizvodne jedinice preko PRP na međupovezni vod između dve napojne TS 35/x kV.

Na Slici 4 prikazan je model 35 kV mreže u kome su primenjeni svi primeri (svih 6 primera), koju su navedeni u prethodnom paragrafu i koji su kombinovani sa mestima potrošnje korisnika u zavisnosti od ciljnog mesta priključenja proizvodne jedinice.



Slika 4 – Prikaz modela u softverskom modelu za proračun kapaciteta 35 kV mreže

Na Slici 5 je prikazana raspodela opterećenja i proizvodnje po jednom transformatoru snage u izvornoj transformatorskoj stanici 110/35 kV. Kao što je poznato, Operator distributivnog sistema koristi dve tipse instalisane snage transformatora snage u izvornim transformatorskim stanicama koje iznose 31,5 MVA i 63 MVA, respektivno. Unifikacija identičnih instalisanih snaga transformatora snage je urađena iz razloga što je namera u modelovanju 35 kV mreže da se ukaže na raspodelu opterećenja usled priključenja proizvodnih jedinica, a ne da se izvrši simulacija u svim mogućim scenarijima sa različitim instalisanim snagama po izvornim transformatorskim stanicama. U prikazanom modelu 35 kV mreže na Slici 4, prilikom izvršavanja proračuna kapaciteta mreže uzete su identične snage transformatora snage od 31,5 MVA, odnosno 63 MVA u jednom scenariju u kome je vršen proračun.



Slika 5 – Prikaz modelovanja opterećenja transformatora i instalisane snage proizvodnih jedinica

Zakonskom regulativom [1] u članu 68a je pripisano da je Operator distributivnog sistema dužan da ograniči priključenje na elektrodistributivni sistem elektrane koje koriste varijabilne obnovljive izvore energije tako da:

- 1) Ukupna instalisana snaga elektrana koje koriste obnovljive izvore energije i koje su priključene na delu distributivnog sistema, povezanog na prenosni sistem, nije veća od 80% instalisane snage transformatorske stanice na mestu predaje električne energije između distributivnog i prenosnog sistema,

pod uslovom da ukupna aktivna snaga koja se predaje iz distributivnog sistema u prenosni sistem u jednoj transformatorskoj stanici nije veća od 16 MW.

- 2) Maksimalna snaga proizvodne jedinice koja koristi varijabilne obnovljive izvore energije ne pređe vrednost od 10 MW po priključku.

Ukupna snaga svih proizvodnih jedinica se dobija kao algebarski zbir svih pojedinačnih proizvodnih jedinica koje su instalisani od strane proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora i kupaca - proizvođača na delu distributivnog sistema koji se napajaju iz jednog mernog mesta na prenosnom sistemu. Sa druge strane, Operator distributivnog sistema ne primenjuje ograničenje na „kupce – proizvođače“ koji praktično mogu da budu priključeni na svim naponskim nivoima distributivnog elektroenergetskog sistema.

Bez obzira da li transformatori snage rade u normalnom pogonu u paralelnom radu ili odvojeno, sagledavanje je izvršeno po pojedinačnim transformatorima snage, iako je merno mesto formirano kao zbirno prema prenosnom sistemu. Na Slici 5 naznačeno je da maksimalna odobrena aktivna snage izvorne transformatorske stanice ne može da bude veća od aktivne snage opterećenja sa faktorom snage od 0,95. Saglasno tome, možemo pretpostaviti da je maksimalna odobrena aktivna snaga po transformatoru snage srazmerna tome. Za osnovni scenario simulacije je uzeta pretpostavka da maksimalna aktivna snaga potrošnje iznosi 80% instalisane snage transformatora snage, dok je u ostalim scenarijima opterećenje smanjeno u koracima od po 20%, što bi odgovaralo srazmerno snazi priključenja proizvodnih jedinica na SN i NN naponskom nivou distributivne elektroenergetske mreže. Naravno to su optimistični scenariji, budući da se u narednom periodu neće toliko smanjivati ukupno opterećenje transformatora snage, budući da je do sada za godinu i po dana primene Zakona [1] na celokupnu distributivnu elektroenergetsku mrežu Operatora distributivnog sistema, priključeno ukupno 50 MW instalisane snage korisnika iz kategorije „kupac-proizvođač“ Takođe, važno je napomenuti da smanjenje potrošnje nije samo uslovljeno priključenjem proizvodnih jedinica na nižim naponskim nivoima, već da duže vreme ukupno opterećenje ima tendenciju opadanja iz razloga depopulacije stanovništva u većini delova konzuma, ali i primene određenih mera energetske efikasnosti naročito kod industrijskih korisnika.

U radu [3] je vršena šira analiza u pogledu drugačijih dužina standardnih tipova 35 kV nadzemnih i kablovskih vodova na nešto jednostavnijoj distributivnoj mreži 35 kV naponskog nivoa. Tada se analizom 35 kV vodova na distributivnom području grada Beograda došlo do zaključka da je maksimalna dužina jednog od kablovskih vodova nešto preko 5 km, dok je najveća dužina jednog od nadzemnog voda oko 20 km. Budući da se u ruralnim delovima konzuma po pravilu javljaju proizvođači električne energije koji žele da priključe svoje proizvodne jedinice u relativnoj blizini izvorne transformatorske stanice, a kako se oni ciljno priključuju u IM 35 kV ćelije, tada su takvi obnovljivi izvori modelovani tako da se praktični direktno povezuju na 35 kV sabirnice u izvornoj transformatorskoj stanici. Takođe, postoji i dodatni razlog takvog modelovanja direktno priključenja proizvodne jedinice, jer postoji namera da se prikažu tehnički gubici u mreži koji padaju na teret Operatora distributivnog sistema, dok tehnički gubici na vodu elektrane sa direktnim priključenjem proizvodne jedinice u 35 kV IM ćeliju, padaju na teret proizvođača električne energije. Stoga, u radu je uzeta dužina vodova od 10 km do prve napojne stanice gledano od strane izvorne transformatorske stanice u dužini od 10 kV, pri čemu su priključno-razvodna postrojenja (PRP) koja se priključuju u dubini mreže, priključena na polovini izvoda, odnosno dele dužinu voda od 10 km na dve deonice od po 5 km. Tako postavljene dužine vodova sa standardnim presekom su korišćene u svim scenarijima proračuna. Kao što je napomenuto, u svim scenarijima je korišćen standardni tip voda, koji je kablovski vod tipa XHE-A 3 x 150 mm<sup>2</sup>, gde je termička struja opterećenja voda od 324 A.

#### 4. PRORAČUN KAPACITETA 35 kV MODELA MREŽE

U svrhu proračuna kapaciteta 35 kV modela mreže korišćen je aplikativno (modul) rešenje renomiranog svetskog proizvođača, koje je implementirano u okviru njegove softverske platforme za mrežne proračune namenski kreirane za distributivne elektroenergetske sisteme svih naponskih nivoa. U poslednje vreme praktično svi proizvođači sličnih softverskih platformi za proračune su uključili sličan modul u svoja programska rešenja, što nesumnjivo ukazuje na prepoznati značaj primene ovog modula za proračun kapaciteta mreže u praksi. Korišćeni modul ima mogućnost automatskog određivanja maksimalne proizvodnje u odnosu na postojeće opterećenje mreže, pri čemu se razmatrana proizvodnja, odnosno priključenje proizvodne jedinice, može priključiti u svakoj tački elektrodistributivne mreže bez narušavanja postavljenih ograničenja. Ovaj modul kombinuje osnovne energetske proračune, kao što su proračun tokova snaga i proračun struja kratkih spojeva u okviru posmatranog režima rada mreže.

Tabela 1 – Prikaz kapaciteta 35 kV mreže koja se napaja preko transformatora snage od 31,5 MVA

Opterećenje TR - 40%			Opterećenje TR - 60%			Opterećenje TR - 80%		
Čvor	S  [MVA]	P [MW]	Čvor	S  [MVA]	P [MW]	Čvor	S  [MVA]	P [MW]
N1	10,000	10,000	N1	10,000	10,000	N1	10,000	10,000
N2	10,000	10,000	N2	10,000	10,000	N2	10,000	10,000
N3	10,000	10,000	N3	10,000	10,000	N3	10,000	10,000
N4	10,000	10,000	N4	10,000	10,000	N4	10,000	10,000
N5	10,000	10,000	N5	10,000	10,000	N5	10,000	10,000
N6	10,000	10,000	N6	10,000	10,000	N6	10,000	10,000
N7	10,000	10,000	N7	10,000	10,000	N7	10,000	10,000
N8	10,000	10,000	N8	10,000	10,000	N8	10,000	10,000
N9	10,000	10,000	N9	9,836	9,836	N9	9,327	9,327
N10	10,000	10,000	N10	10,000	10,000	N10	9,720	9,720
N11	10,000	10,000	N11	10,000	10,000	N11	10,000	10,000
N12	10,000	10,000	N12	10,000	10,000	N12	10,000	10,000
N13	10,000	10,000	N13	10,000	10,000	N13	10,000	10,000
N14	10,000	10,000	N14	10,000	10,000	N14	10,000	10,000
N15	8,818	8,818	N15	8,614	8,614	N15	8,406	8,406
N16	8,801	8,801	N16	8,590	8,590	N16	8,376	8,376
N17	10,000	10,000	N17	9,482	9,482	N17	8,884	8,884
N18	10,000	10,000	N18	9,581	9,581	N18	9,005	9,005
N19	8,545	8,545	N19	8,215	8,215	N19	7,885	7,885
N20	8,533	8,533	N20	8,195	8,195	N20	7,857	7,857
N21	6,991	6,991	N21	6,667	6,667	N21	6,350	6,350
N22	8,477	8,477	N22	8,112	8,112	N22	7,747	7,747
N23	10,000	10,000	N23	9,401	9,401	N23	8,787	8,787
N24	10,000	10,000	N24	9,401	9,401	N24	8,787	8,787

Za potrebe analize kapaciteta mreže u cilju priključenja novih proizvodnih jedinica u okviru posmatrane mreže postavljena su sledeća ograničenja:

- Dozvoljena promena napona  $\Delta u = 2\%$
- Dozvoljena donja granica napona: 90%
- Dozvoljena gornja granica napona: 90%
- Dozvoljeno termičko opterećenje elemenata: 90%
- Nije dozvoljeno injektiranje u prenosnu mrežu
- Bez istovremenog priključenja u svim tačkama mreže
- Opseg posmatrane proizvodnje: 0- 10 MW
- Usvojen faktor snage: 1

U okviru Tabela 1-2 su prikazani uporedni rezultati proračuna kapaciteta posmatranog modela 35 kV mreže, u kojima su napojni transformatori snage u izvornim transformatorskim stanicama od 31,5 MVA i 63 MVA, respektivno. U tabelama su sistematizovani proračuni u odnosu na korišćeno opterećenje mreže koje je dato u opsegu od 40% do 80%, što omogućava realno sagledavanje rezultata proračuna, budući da se za potrebe provere kriterijuma priključenja analiziraju pogonska stanja mreže sa minimalnim i maksimalnim opterećenjem. Dobijeni su očekivani rezultati koji ukazuju da je bez narušavanja postavljenih kriterijuma moguće priključiti proizvodne jedinice u sve posmatrane 35 kV IM ćelije (čvorovi: N3, N4, N5 i N6) sa maksimalnom dozvoljenom snagom od 10 MW bez izuzetka. Sa druge strane, dobijeni su i očekivani rezultati za priključenje proizvodnih jedinica po dubini posmatrane mreže, budući da je u svim tačkama moguće priključiti proizvodne jedinice veće snage od postavljene granice za tip „C“. U svakom slučaju, potvrđena je mogućnost priključenja proizvodnih jedinica tipa „C“ u svim tačkama mreže, a naročito u dubini mreže, budući da se proizvodne jedinice ovog tipa kreću u rasponu od 5 MW do 10 MW. Dobijeni rezultati ukazuju da je postavljeni opseg za tip „C“ odgovarajući i da će u najvećem broju slučajeva omogućiti priključenje proizvodnih jedinica ovog tipa praktično su svim tačkama 35 kV distributivne mreže. Takođe, dobijeni rezultati ukazuju da prilikom izrade Studija za priključenje proizvodnih jedinica u 35 kV IM ćelije možda i nije neophodna detaljna provera svih kriterijuma u slučaju kada se priključuje samo jedna proizvodna jedinica snage 10 MW na 35 kV sabirnice jednog od transformatora snage.



Tabela 2 – Prikaz kapaciteta 35 kV mreže koja se napaja preko transformatora snage od 63 MVA

Opterećenje TR - 40%			Opterećenje TR - 60%			Opterećenje TR - 80%		
Čvor	S  [MVA]	P [MW]	Čvor	S  [MVA]	P [MW]	Čvor	S  [MVA]	P [MW]
N1	10,000	10,000	N1	10,000	10,000	N1	10,000	10,000
N2	10,000	10,000	N2	10,000	10,000	N2	10,000	10,000
N3	10,000	10,000	N3	10,000	10,000	N3	10,000	10,000
N4	10,000	10,000	N4	10,000	10,000	N4	10,000	10,000
N5	10,000	10,000	N5	10,000	10,000	N5	10,000	10,000
N6	10,000	10,000	N6	10,000	10,000	N6	10,000	10,000
N7	10,000	10,000	N7	10,000	10,000	N7	10,000	10,000
N8	10,000	10,000	N8	10,000	10,000	N8	10,000	10,000
N9	10,000	10,000	N9	10,000	10,000	N9	10,000	10,000
N10	10,000	10,000	N10	10,000	10,000	N10	10,000	10,000
N11	10,000	10,000	N11	10,000	10,000	N11	10,000	10,000
N12	10,000	10,000	N12	10,000	10,000	N12	10,000	10,000
N13	10,000	10,000	N13	10,000	10,000	N13	10,000	10,000
N14	10,000	10,000	N14	10,000	10,000	N14	10,000	10,000
N15	9,830	9,830	N15	9,644	9,644	N15	9,450	9,450
N16	9,811	9,811	N16	9,617	9,617	N16	9,416	9,416
N17	10,000	10,000	N17	10,000	10,000	N17	9,691	9,691
N18	10,000	10,000	N18	10,000	10,000	N18	9,756	9,756
N19	9,561	9,561	N19	9,246	9,246	N19	8,923	8,923
N20	9,547	9,547	N20	9,222	9,222	N20	8,892	8,892
N21	7,238	7,238	N21	7,000	7,000	N21	6,758	6,758
N22	9,493	9,493	N22	9,140	9,140	N22	8,782	8,782
N23	10,000	10,000	N23	10,000	10,000	N23	9,568	9,568
N24	10,000	10,000	N24	10,000	10,000	N24	9,568	9,568

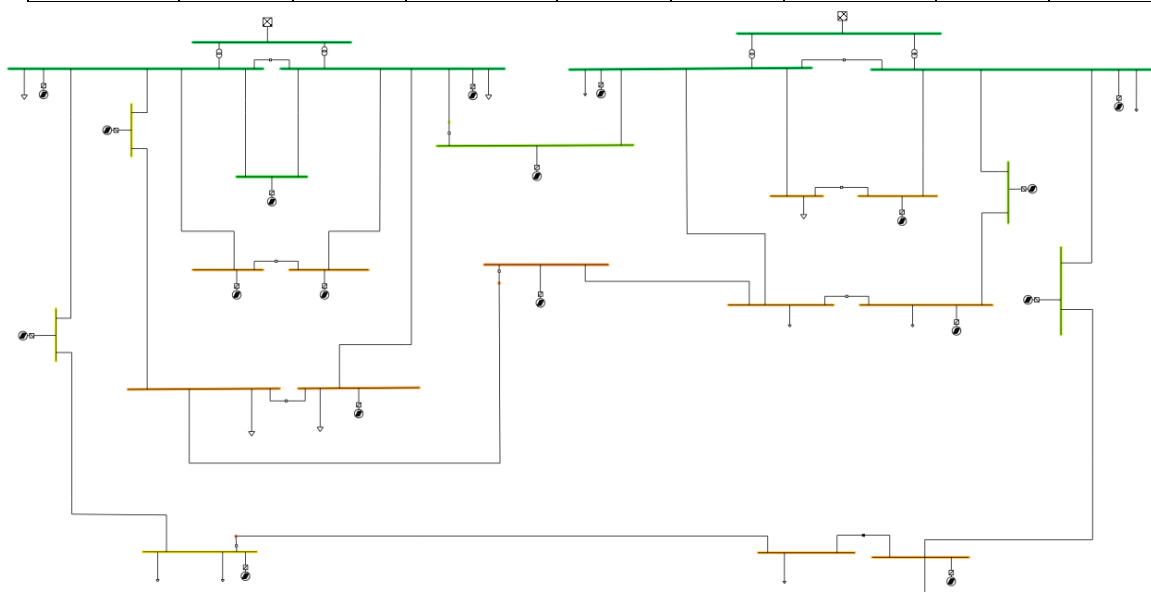
Za potrebe priključenja proizvodnih jedinica po 35 kV dubini mreže je neophodno uraditi detaljne provere kriterijuma za priključenje proizvodnih jedinica, jer je moguće da u slučaju neodgovarajućih preseka provodnika mreže ili velike dužine mreže, neće biti zadovoljeni neki od postavljenih kriterijuma. Zbog ograničenog prostora u radu nije moguće prikazati proračun kapaciteta u slučaju da već postoje priključene proizvodne jedinice, ali svakako takve proračune u sklopu Studija priključenja je neophodno raditi za svaki konkretan slučaj.

Važno je možda još jednom istaći da su svi proračuni urađeni pod strogim ograničenjem da nije moguće povećanje napona u svim čvorovima posmatrane mreže veće od 2%, kao i da nije moguće injektiranje u prenosni sistem do dozvoljene vrednosti snage injektiranja od 16 MW. Pod ovim ograničenjima dobijena su donje granice priključenja proizvodnih jedinica. Takođe, pri dodatnim simulacijama potvrđuje se da je dominantan kriterijum promene napona po čvorovima mreže, dok ograničenje po pitanju injektiranja ne utiče na proračunatu snagu priključenja, posebno po pojedinim čvorovima po dubini mreže.

U okviru Tabela 3 su prikazani uporedni rezultati proračuna kapaciteta posmatranog modela 35 kV mreže, u kojima su napojni transformatori snage u izvornim transformatorskim stanicama od 31,5 MVA, a pri čemu je opseg posmatrane proizvodnje od 0 do 18 MW. Predmetni proračun kapaciteta modela 35 kV mreže je urađen iz razloga što energetska infrastruktura preko koje se proizvodne jedinice priključuju na distributivni elektroenergetski sistem putem energetskog voda (voda elektrane) ili preko PRP, poseduje sasvim dovoljan kapacitet u pogledu priključenja proizvodnih jedinica daleko veće snage. U tom smislu, izabran je opseg priključenja do 18 MW, kako bi se dobile nove veće granice priključenja proizvodnih jedinica po pojedinim čvorovima mreže. Proračun kapaciteta još jednom potvrđuje da je nesporno priključenje proizvodnih jedinica veće instalisane snage od trenutnog ograničenja od 10 MW, što u budućnosti možda stvori mogućnost da usled promene zakonske regulative da se to ograničenje poveća, čime bi proizvođači nesmetano proširili svoje proizvođačke kapacitete i da pri tome koriste postojeću energetska infrastrukturu bez proširenja.

Tabela 3 – Prikaz kapaciteta 35 kV mreže koja se napaja preko transformatora snage od 31,5 MVA za priključenje proizvodnih jedinica do 18 MW

Opterećenje TR - 40%			Opterećenje TR - 60%			Opterećenje TR - 80%		
Čvor	S  [MVA]	P [MW]	Čvor	S  [MVA]	P [MW]	Čvor	S  [MVA]	P [MW]
N1	18,000	18,000	N1	18,000	18,000	N1	18,000	18,000
N2	18,000	18,000	N2	18,000	18,000	N2	18,000	18,000
N3	18,000	18,000	N3	18,000	18,000	N3	18,000	18,000
N4	18,000	18,000	N4	18,000	18,000	N4	18,000	18,000
N5	18,000	18,000	N5	18,000	18,000	N5	18,000	18,000
N6	18,000	18,000	N6	18,000	18,000	N6	18,000	18,000
N7	18,000	18,000	N7	17,998	17,998	N7	16,154	16,154
N8	18,000	18,000	N8	15,280	15,280	N8	12,615	12,615
N9	9,838	9,838	N9	8,711	8,711	N9	7,740	7,740
N10	10,127	10,127	N10	9,093	9,093	N10	8,199	8,199
N11	12,292	12,292	N11	11,249	11,249	N11	10,283	10,283
N12	12,295	12,295	N12	11,261	11,261	N12	10,300	10,300
N13	18,000	18,000	N13	14,625	14,625	N13	12,047	12,047
N14	18,000	18,000	N14	14,330	14,330	N14	11,775	11,775
N15	8,258	8,258	N15	7,840	7,840	N15	7,425	7,425
N16	8,245	8,245	N16	7,821	7,821	N16	7,399	7,399
N17	9,543	9,543	N17	8,344	8,344	N17	7,322	7,322
N18	9,669	9,669	N18	8,509	8,509	N18	7,524	7,524
N19	7,989	7,989	N19	7,460	7,460	N19	6,944	6,944
N20	7,982	7,982	N20	7,445	7,445	N20	6,922	6,922
N21	6,744	6,744	N21	6,117	6,117	N21	5,539	5,539
N22	11,693	11,693	N22	10,685	10,685	N22	9,754	9,754
N23	9,504	9,504	N23	8,320	8,320	N23	7,319	7,319
N24	9,504	9,504	N24	8,320	8,320	N24	7,319	7,319



Slika 5 – Prikaz rezultata proračuna kapaciteta modela 35 kV mreže („Heat map“)

Na Slici 5 su prikazani rezultati proračuna kapaciteta modela 35 kV mreže za jedan od scenarija, pri čemu su čvorovi u kojima je moguće priključenje prema rasponu boja obojeno odgovarajućom bojom („Heat map“). Na

osnovu dobijenog prikaza na jedan jednostavan i efektivan način mogu se uočiti čvorovi u koje je nesmetano moguće priključiti proizvodne jedinice pod datim ograničenjima.

Na kraju je važno istaći da proračun kapaciteta mreže nije bio sagledan kao opcija prilikom razmatranja priključenja novih proizvodnih jedinica početkom 2017.godine kada su urađena „Pravila o radu distributivnog sistema“ [5] i kao takav nije usvojen kao neophodan preduslov za dalju analizu priključenja, odnosno proveru postavljenih kriterijuma za priključenje novih proizvodnih jedinica. U međuvremenu, proračun kapaciteta mreže je dobio na značaju, jer na vrlo efikasan način određuje kapacitet postojeće mreže u cilju priključenja novih proizvodnih jedinica. Stoga, izmene „Pravila o radu distributivnog sistema“, koje će se desiti u bliskoj budućnosti, treba da uvrste proračun kapaciteta mreže kao polaznu osnovu za dalje analize u okviru Studija priključenja novih proizvodnih jedinica.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan proračun kapaciteta na modelu 35 kV mreže, koja je kreirana u skladu sa usvojenim konceptijskim rešenjima u cilju njenog oblikovanja i proširenja, poštujući sva ograničenja u pogledu njenog planiranja i razvoja u prethodnom periodu. Tako modelovana 35 kV mreža poslužila je kao dobra osnova za proračun kapaciteta 35 kV mreže za potrebe priključenja novih proizvodnih jedinica i nedvosmisleno je ukazala na moguće snage priključenja proizvodnih jedinica, kao i da postojeće granice snage priključenja proizvodnih jedinica na 35 kV naponskom nivou treba preispitati. Takođe, kreiran i prikazan model 35 kV mreže može da se koristi i za druge proračune budući da poseduje dovoljan broj čvorova (ukupno 24 čvora), kao i što uključuje sve konceptijske postavke u cilju oblikovanje mreže tog naponskog nivoa. Dosadašnje ograničenje po pitanju maksimalne snage priključenja na 35 kV naponskom nivou je definisano bez proračuna kapaciteta mreže, što svakako u budućnosti ne treba da bude slučaj, jer u ovom trenutku postoje alati koji na krajnje jednostavan i efikasan način izračunavaju postojeći kapacitet mreže. Naravno, proračun kapaciteta mreže je potrebno proširiti i na ostale SN naponske nivoe (20 kV, 10 kV), kao bi se koordinisao uticaj priključenja proizvodnih jedinica na međusobno povezanim naponskim nivoima. I na kraju je potrebno još jednom ukazati da prikazani proračun kapaciteta mreže treba u značajnoj meri ubrza postupak analitičke obrade zahteva za priključenje, jer na efikasan način određuje moguću snagu priključenja, ali i ukazuje na moguće kritične tačke u distributivnoj mreži.

## LITERATURA

- [1] „Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije“ („Službeni glasnik RS“, br. 40/2021 i 35/2023)
- [2] „Uredba o uslovima isporuke i snabdevanja električnom energijom“ (Službeni glasnik RS“, br.84/2023)
- [3] D. Vukotić, M. Dilaprić, J. Dabić „Analiza priključenja proizvodnih jedinica na 35 kV naponskom nivou“, 243, CIGRE SRBIJA 2023, Zlatibor, 2023.
- [4] „Tehničko uputstvo za priključenje proizvodnih jedinica na elektrodistributivni sistem“, EDS, 2024.
- [5] „Pravila o radu distributivnog sistema“, ODS, 2017.