

VARIJANTNA REŠENJA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE NA PODRUČJU POGONA RAŠKA DO 2030. GODINE

D. DABIĆ, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Srbija
A. ŠARANOVIĆ, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Srbija
I. BELIĆ, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Srbija
N. ŠUŠNICA, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Srbija
S. MINIĆ, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Srbija

UVOD

Ovaj rad ima za cilj da prikaže varijantna rešenja elektrodistributivne mreže na području pogona Raška koja obuhvataju idejna rešenja izgradnje pojedinih elemenata mreže 10-110 kV. Rad je zasnovan na analizama izvršenim u okviru studije dugoročnog razvoja mreže za ovo područje, [4]. Osnova za izvršene analize su detaljne podloge o mreži i kupcima čija sistematizacija je opisana u posebnom delu rada. Na osnovu formirane prognoze opterećenja u 2030. godini, analize postojećeg stanja mreže, pretpostavkama o životnom veku pojedinih elemenata mreže, te na bazi usvojenih kriterijuma za planiranje i jediničnih cena elemenata mreže formirana su varijantna rešenja mreže. Osnovni rezultati analize funkcionisanja mreže i prognoze potrošnje prikazani su u posebnim segmentima ovog rada. Ciljna rešenja mreže su detaljnije elaborirana u ovom radu. Posebna pažnja je posvećena izboru načina transformacije VN/SN u novoj TS Kopaonik. U radu je dat pregled investicija razvrstanih po naponskim nivoima. Područje pogona Raška je karakteristično po značajnom potencijalu za izgradnju malih HE, pa je izvršena i analiza uticaja rada malih HE čija se izgradnja očekuje u narednom periodu na funkcionisanje distributivne mreže u maksimalnim režimima.

1. FORMIRANJE PODLOGA ZA PROGNOZU, ANALIZU I PLANIRANJE DISTRIBUTIVNE MREŽE NA PODRUČJU POGONA RAŠKA

Da bi se dostiglo kvalitetno i ekonomično funkcionisanje elektrodistributivne mreže neophodne su stalne analize njenog prethodnog rada ali i planiranje njenog daljeg razvoja. Kao osnova za analize u okviru studije „Analiza funkcionisanja distributivnih mreža 10-110 kV, prognoza potrošnje I srednjoročni plan razvoja na području pogona Raška”, [4] poslužila je detaljna sistematizacija raspoloživih podataka o potrošnji i mreži. Sistematizacija podloga predočena je u četiri celine:

- podaci o utrošenoj električnoj energiji,
- prostorna raspodela potrošnje električne energije,
- podaci o električnoj mreži, koji pored tehničkih parametara uključuju i preciznu prostornu raspodelu elemenata i fizičko stanje, merenja struja, napona i snaga na različitim naponskim nivoima i

- podaci o kvarovima po pojedinim elementima mreže i njihovim posledicama na napajanje potrošača.

Pored navedene četiri grupe podataka koje su sadržane u informacionim sistemima distributivnih preduzeća sagledani su i podaci koji to nisu, a bitni su za planiranje razvoja distributivnih mreža: demografski i podaci o planovima privrednog razvoja. Da bi se za potrebe analize stanja distributivne mreže modelovala opterećenja po TS X/0.4 kV i mernim mestima 10 i 35 kV, potrebno je doći do podatka o ukupnoj energiji protekloj kroz datu TS X/0.4 kV, odnosno merno mesto, za podrazumevani period. Prethodno je za sve kupce izvršena provera podatka o napojnoj TS 10/0.4 kV i provera pripadnosti popisnom naselju. Svi kupci su, dakle, šifrirani prema TS 10/0.4 kV sa koje se napajaju što omogućava da se ima precizan uvid u geografsku raspodelu kupaca i njihove potrošnje, a srazmerno tome i protokle energije i opterećenja TS X/0.4 kV. Kada je reč o kvalitetnom modelovanju mreže, što je polazna osnova za analize koje je potrebno sprovesti, od izuzetne su važnosti podloge sa kojima se raspolaže. Podaci o mreži dobijeni su snimanjem mreže pomoću GPS uređaja. Bilo je potrebno snimiti sve ugaone stubove (mesta promene pravca voda), mesta grananja vodova, mesta drugih diskontinuiteta na vodu (npr. promena preseka, ili čak i promena tipa vodova). Snimljene su i lokacije svih TS X/0.4 kV, TS 35/X kV i TS 110/X kV. Po snimanju, neke od elemenata bilo je moguće identifikovati na digitalizovanim podlogama (sve TS, stubove 35 kV i 110 kV), što je smanjilo grešku koju čini GPS uređaj.

Potrošnja i nabavka električne energije u prethodnom periodu

Da bi se sagledali osnovni trendovi u potrošnji električne energije na području Raške formirana je tabela 1, u kojoj je prikazana ukupna nabavka električne energije, prodaja po naponskim nivoima i kategorijama kupaca i ukupna prodaja i gubici, za period 1998-2008. godine (podaci prikazani u tabelama odnose se na tzv. obračunsku godinu - npr. podaci iz tabela za 2008. godinu odnose se na period od 1. aprila 2008. godine do 30. marta 2009. godine). Godišnji procenti porasta veličina navedenih u tabeli 1, kao i prosečan godišnji procenat porasta za period 1998-2008. godine dati su u tabeli 2.

TABELA 1 - PREGLED NABAVKE I PRODAJE U POGONU RAŠKA U PERIODU 1998 - 2008. GODINE

Godina	Ukupna nabavka (kWh)	Prodaja po tipu potrošnje (kWh)							Ukupna prodaja (kWh)	Gubici (kWh)	Procenat gubitaka (%)
		35 kV	10 kV	I stepen 0.4 kV	II stepen 0.4 kV	Javna rasveta	Domaćinstva	Ukupno virmanski kupci i javna rasveta			
1998	176 615 180	45 185 600	17 435 800	9 769 130	11 556 834	774 771	42 548 542	84 722 135	127 270 677	49 344 503	27.94%
1999	139 195 000	23 125 600	20 459 400	10 372 385	12 764 001	778 868	43 150 857	67 500 254	110 651 111	28 543 889	20.51%
2000	148 325 540	32 049 800	20 846 000	11 533 645	12 989 120	704 582	47 554 736	78 123 147	125 677 883	22 647 657	15.27%
2001	139 503 902	12 346 400	21 349 600	14 047 111	13 671 852	1 081 914	48 738 161	62 496 877	111 235 038	28 268 864	20.26%
2002	140 792 862	8 007 400	20 689 100	18 435 498	10 202 353	997 078	51 026 962	58 331 429	109 358 391	31 434 471	22.33%
2003	138 183 052	6 529 600	19 708 900	20 860 605	9 074 250	1 484 120	52 648 069	57 657 475	110 305 544	27 877 508	20.17%
2004	143 809 120	6 891 000	21 331 300	22 156 511	8 289 937	1 808 733	56 598 531	60 477 481	117 076 012	26 733 108	18.59%
2005	158 151 350	8 840 600	21 754 800	23 028 996	8 348 406	1 765 495	59 146 449	63 738 297	122 884 746	35 266 604	22.30%
2006	153 869 107	8 757 800	22 643 900	24 131 789	8 512 715	1 776 800	58 165 717	65 823 004	123 988 721	29 880 386	19.42%
2007	174 551 255	9 607 400	21 966 400	26 306 183	8 941 828	2 105 719	64 109 641	68 927 530	133 037 171	41 514 084	23.78%
2008	173 555 143	8 948 400	20 750 900	27 328 453	9 576 700	1 979 756	62 057 204	68 584 209	130 641 413	42 913 730	24.73%

TABELA 2 - GODIŠNJI PROCENTI PORASTA NABAVKE I PRODAJE PO TIPU POTROŠNJE U PERIODU 1998-2008. GODINE ZA PODRUČJE RAŠKE

Godina	Ukupna nabavka (kWh)	Prodaja po tipu potrošnje (kWh)							Ukupna prodaja (kWh)	Gubici (kWh)
		35 kV	10 kV	I stepen 0.4 kV	II stepen 0.4 kV	Javna rasveta	Domaćinstva	Ukupno virmanski kupci i javna rasveta		
1999/1998	-21.19%	-48.82%	17.34%	6.18%	10.45%	0.53%	1.42%	-20.33%	-13.06%	-42.15%
2000/1999	6.56%	38.59%	1.89%	11.20%	1.76%	-9.54%	10.21%	15.74%	13.58%	-20.66%
2001/2000	-5.95%	-61.48%	2.42%	21.79%	5.26%	53.55%	2.49%	-20.00%	-11.49%	24.82%
2002/2001	0.92%	-35.14%	-3.09%	31.24%	-25.38%	-7.84%	4.70%	-6.67%	-1.69%	11.20%
2003/2002	-1.85%	-18.46%	-4.74%	13.15%	-11.06%	48.85%	3.18%	-1.16%	0.87%	-11.32%
2004/2003	4.07%	5.53%	8.23%	6.21%	-8.64%	21.87%	7.50%	4.89%	6.14%	-4.11%
2005/2004	9.97%	28.29%	1.99%	3.94%	0.71%	-2.39%	4.50%	5.39%	4.96%	31.92%
2006/2005	-2.71%	-0.94%	4.09%	4.79%	1.97%	0.64%	-1.66%	3.27%	0.90%	-15.27%
2007/2006	13.44%	9.70%	-2.99%	9.01%	5.04%	18.51%	10.22%	4.72%	7.30%	38.93%
2008/2007	-0.57%	-6.86%	-5.53%	3.89%	7.10%	-5.98%	-3.20%	-0.50%	-1.80%	3.37%
2008/2003	2.31%	3.20%	0.52%	2.74%	0.54%	2.92%	1.66%	1.75%	1.71%	4.41%
2008/1998	-0.17%	-14.95%	1.76%	10.83%	-1.86%	9.84%	3.85%	-2.09%	0.26%	-1.39%

2. PROGNOZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA PODRUČJU POGONA RAŠKA

U narednom poglavlju biće ukratko izložena metodologija koja je korišćena u izradi prognoze potrošnje električne energije kao i neke specifičnosti u obradi podataka koje su bile neophodne kako bi se metodologija prilagodila podacima s kojima se raspolagalo. Potrebno je naglasiti da su formirane dve varijante prognoze potrošnje električne energije, odnosno snage, niža i viša varijanta. Konačni rezultati prognoze su prognozirana opterećenja raspoređena po postojećim TS 10/0.4 kV, mernim mestima 10 i 35 kV na području pogona Raška, po svim presečnim etapama perspektivnog perioda. Da bi se formirala njena dobra prostorna raspodela, prognoza potrošnje električne energije se sprovodi po pojedinim kategorijama kupaca. Izdvojene su sledeće kategorije: „domaćinstva”, „ostala potrošnja”, „javno osvetljenje” i „velepotrošači”.

2.1. Prognoza potrošnje električne energije za kategoriju „domaćinstva”

Krajnji rezultat prognoze potrošnje električne energije u kategoriji „domaćinstva” je potrošnja električne energije u ovoj kategoriji po svakoj od TS 10/0.4 kV u svakoj od definisanih presečnih godina. Model za prognozu potrošnje je detaljnije izložen u prethodnim metodologijama i studijama Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla”, [2]:

- utvrđuje se kolika je potrošnja električne energije za potrebe grejanja i za ostale namene po prosečnom domaćinstvu u svakom naselju (dakle, specifična potrošnja),
- posebno se prognozira razvoj specifične potrošnje za potrebe grejanja, a posebno razvoj specifične potrošnje za ostale namene u svakom od naselja,
- prognozira se kako će se kretati broj domaćinstava u svakom od naselja,
- na bazi dobijenih rezultata utvrđuje se kako će se kretati ukupna potrošnja za potrebe grejanja i ukupna potrošnja za ostale namene u svakom od naselja, odnosno, prosečni procenti promene ovih potrošnji i
- izračunati procenti se primenjuju na potrošnju za potrebe grejanja i za ostale namene na konzumu svake od TS 10/0.4 kV, prema naselju kojem ta potrošnja pripada.

Polazna osnova za prognozu broja stanovnika su popisni podaci iz 1991. i 2002. godine. Preliminarna prognoza porasta broja stanovnika bazirana je na proračunatom trendu rasta proizišlog iz popisnih podataka u periodu 1991-2002. godine. Imajući u vidu značajnu vremensku distancu u odnosu na poslednji popis analizirani su podaci o vitalnim događajima (prirodni priraštaj, migracija stanovništva) u Saopštenju Republičkog zavoda za statistiku u periodu 2003-2009. godine i na osnovu njih izvršena korekcija trenda porasta broja stanovnika.

2.2. Prognoza potrošnje električne energije za deo kupaca iz kategorije ostale potrošnje

U prognozi su ovom kategorijom potrošnje obuhvaćene raznorodne grupe kupaca: virmanci II stepena - razni lokali, firme, prodavnice, zanatski i trgovinski centri, kao i zajednička potrošnja stambenih objekata. Za ovu kategoriju kupaca usvojen je fiksni procenat rasta električne energije na godišnjem nivou, i to za period 2009-2010. godine prognozira se pad potrošnje u ovoj kategoriji i to na godišnjem nivou od -2% u nižoj varijanti prognoze, odnosno 0% u višoj varijanti prognoze, dok je za period 2011-2030. godine usvojen godišnji procenat rasta od 2% u nižoj varijanti, odnosno 4% u višoj varijanti prognoze.

2.3. Prognoza potrošnje električne energije za kategoriju „javno osvetljenje”

Potrošnja iz kategorije „javno osvetljenje” se prognozira na isti način kao i „ostala potrošnja”, dakle, sa fiksnim procentom rasta na nivou godine. Kada je ova kategorija potrošnje u pitanju, usvojene vrednosti godišnjeg porasta su 3% u nižoj varijanti prognoze i 4.5% u višoj varijanti prognoze. Na osnovu analize podataka o potrošnji u kategoriji „javno osvetljenje” koja je realizovana u obračunskoj 2008. godini, za područje Raške je proračunata specifična vrednost električne energije javnog osvetljenja od 200 kWh/domaćinstvu (ukupna registrovana energija u kategoriji „javno osvetljenje” podeljena je sa ukupnim brojem domaćinstava, dobijenim kao rezultat prognoze u 2008. godini, za naselja u kojima je prisutno javnoosvetljenje).

Izdvojena su naselja u kojima u ovom trenutku nema javnog osvetljenja i proračunat je ukupan broj domaćinstava u tim naseljima dobijen prognozom za 2008. godinu - 5979 domaćinstava. Računato je da će se do kraja perspektivnog perioda pojaviti javno osvetljenje u svim ovim naseljima. Definisana je takva dinamika da se godišnje javnim osvetljenjem „pokriva” prosečno ukupno oko 250 domaćinstava. Do ove vrednosti se jednostavno došlo tako što je ukupan prognozirani broj domaćinstava za

2008. godinu u izdvojenim naseljima (5979 domaćinstava) podeljen sa brojem godina u perspektivnom periodu (period 2008-2030. godine, tj. 22 godine). Dakle, počev od 2009. godine vršen je izbor naselja u kojima će se pojaviti potrošnja u kategoriji „javno osvetljenje”, tako da se godišnje obuhvati prosečno ukupno oko 250 domaćinstava. Izbor naselja je vršen po broju domaćinstava u 2008. godini, polazeći od naselja sa najvećim brojem domaćinstava. Nakon pojavljivanja javnog osvetljenja u datom naselju u nekoj od etapa razvoja (pojavljuje se nivo potrošnje koji je proračunat kao proizvod usvojene specifične vrednosti i prognoziranog broja domaćinstava u izabranom naselju u datoj godini), računato je sa fiksnim procentom rasta ove energije, i to sa istim usvojenim vrednostima procenata kao što je prognozirani porast potrošnje električne energije u kategoriji „javno osvetljenje” po TS 10/0.4 kV na kojima ona već postoji (u pitanju su usvojeni procenti za prognozu potrošnje u kategoriji „javno osvetljenje”: 3% u nižoj varijanti prognoze i 4.5% u višoj varijanti prognoze).

Na opisan način formirana je prognoza potrošnje u kategoriji „javno osvetljenje” po naseljima u kojima ona u ovom trenutku ne postoji, a zatim je izvršena njena preraspodela po TS 10/0.4 kV koje napajaju ta naselja prema broju potrošača iz kategorije „domaćinstava” koje data TS 10/0.4 kV napaja u datom naselju.

2.4. Prognoza potrošnje električne energije za deo kupaca iz kategorije „velepotrošači” koji su pojedinačno prognozirani

Ova kategorija kupaca je formirana na osnovu posebne baze podataka koja sadrži podatke o kupcima iz nekoliko grupa potrošnje: direktni kupci na 35 i 10 kV, kupci na 0.4 kV I stepen (svi navedeni imaju merenje snage, aktivne i reaktivne energije) i kupci 0.4 kV II stepen i zajednička potrošnja (imaju samo merenje aktivne energije). Dve poslednje grupe potrošnje prognozirane su u okviru prethodnih kategorija kao „ostala potrošnja”, odnosno kao „javno osvetljenje”.

Što se tiče kupaca koji imaju merenje snage, oni su podeljeni u dve potkategorije: „mali” i „veliki” velepotrošači. Podela je inicijalno izvršena na bazi godišnje vršne snage („veliki” su iznad 50 kW) ili utrošene godišnje električne energije („veliki” imaju potrošnju veću od 100 000 kWh godišnje). Ideja je bila da se svi veliki velepotrošači pojedinačno anketiraju i zatim prognoziraju. Zbog velikog broja kupaca za anketiranje i dovoljnog poznavanja njihove prirode, za pojedinačno anketiranje su izdvojeni samo značajniji i oni su pojedinačno prognozirani. Svi ostali velepotrošači su svrstani u kategoriju „malih” i prognozirani su sa fiksnom stopom porasta potrošnje energije u okviru „ostale potrošnje” (usvojeni procenti na godišnjem nivou su: za period 2009-2010. godine prognozira se pad potrošnje odnosno stagnacija u ovoj kategoriji i to na godišnjem nivou od -2% u nižoj varijanti prognoze, odnosno 0% u višoj varijanti prognoze, dok je za period 2011-2030. godine usvojen godišnji procenat rasta od 2% u nižoj varijanti, odnosno 4% u višoj varijanti prognoze). Za svakog od njih se raspolagalo informacijom o TS 10/0.4 kV sa koje se napaja, tako da je direktno izvršena i raspodela prognozirane energije. U okviru ove prognoze data je i prognoza za nove kupce čija je pojava izvesna.

2.5. Prognoza ukupnih potreba za električnom energijom

Ukupna prognoza potrošnje električne energije po TS 10/0.4 kV dobijena je kao zbir prognoza za pojedine kategorije potrošnje, po TS 10/0.4 kV. Detaljno je opisano (2.1 - 2.4) na koji način je proračunato aktivno opterećenje za pojedine kategorije kupaca. Reaktivno opterećenje se računa na osnovu aktivnog opterećenja i usvojenog faktora snage 0.954 za kupce iz kategorija „domaćinstava” i „javno osvetljenje”, dok je za kategoriju „velikih velepotrošača” pojedinačno za svakog kupca direktno prognozirano i reaktivno opterećenje, odnosno, vrednost faktora snage - reaktivna energija računata je na osnovu proračunate aktivne energije i prognozirane vrednosti faktora snage. Kada je u pitanju kategorija „ostala potrošnja” (u okviru nje prognozirani su i tzv. „mali velepotrošači”), za potrošače koji imaju samo merenje aktivne energije, reaktivno opterećenje je izračunato na osnovu aktivnog opterećenja i usvojenog faktora snage 0.954. Za potrošače koji imaju merenje aktivne i reaktivne energije, pri proračunu reaktivnog opterećenja u prve dve godine perspektivnog perioda (2009. i 2010. godina) usvojena je ista vrednost za faktor snage kao u obračunskoj 2008. godini. Od etape razvoja u 2011. godini računa se da će se iskompenzovati svi potrošači kod kojih je u proračunskoj 2008. godini zabeležena vrednost faktora snage manja od 0.9 i kod njih je u prognozi računato sa faktorom snage 0.95. Kod potrošača kod kojih je u obračunskoj 2008. godini zabeležen faktor snage veći ili jednak 0.9, računa se upravo s tom vrednosti do kraja perspektivnog perioda.

Konačan rezultat prognoze potrošnje je da se na nivou transformacije 110/X kV očekuje porast opterećenja od oko 38.79% u naredne dvadeset dve godine (prosečno godišnje 1.50%), kada je u pitanju niža varijanta prognoze, odnosno oko 67.76% kada je u pitanju viša varijanta prognoze

(prosečno godišnje 2.38%). U okviru studije je izvršeno poređenje dobijenih rezultata prognoze sa rezultatima dobijenim u okviru [3].

3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I PREDLOŽENE MERE ZA POBOLJŠANJE RADA MREŽE NA PODRUČJU POGONA RAŠKA

Za potrebe analiza rada mreže 10 - 110 kV modelovana su opterećenja po TS 10/0.4 kV koja su proračunata na osnovu ukupne energije isporučene kupcima kroz svaku TS 10/0.4 kV u 2008. godini (u pitanju je period 1. april 2008. godine - 30. mart 2009. godine). Za analize koje se odnose na stanje u mreži 35 i 110 kV, kao i analize tokova na transformatorima 110/X kV, modelovana su opterećenja na nivou TS 110/X kV koja su proračunata tako što je protekla energija po svakoj TS 10/0.4 kV deljena sa 3550 sati, osim u slučaju direktnih kupaca sa ekvivalentnim vremenom trajanja vršne snage koje je bilo veće od usvojene vrednosti za prosečno vreme korišćenja energije isporučene potrošačima na nivou TS 110/X kV, za koje je računato sa njihovim vršnim opterećenjem (računato je da ovi kupci sa velikom verovatnoćom „ulaze u vrh” napojne TS 110/X kV sa svojim maksimalnim opterećenjem). Za analizu rada mreže nižih naponskih nivoa (10 kV mreža i transformatori 35/10 kV) usvojena je vrednost za prosečno vreme korišćenja energije isporučene kupcima od 2900 sati. Sa ovom vrednosti prosečnog vremena korišćenja energije isporučene potrošačima računato je pri modelovanju opterećenja na nivou sredjenaponskih izvoda. S obzirom da se nivo opterećenja koji odgovara transformaciji 110/X kV koristi i pri analizama 35 kV mreže, odnosno da se za analize koje se odnose na transformaciju 35/10 kV koriste opterećenja koja odgovaraju nivou sredjenaponskih izvoda, potrebno je naglasiti da je pri ovim analizama vođeno računa o faktoru jednovremenosti (fj) koji definiše međusobni odnos učešća vršnog opterećenja elementa nižeg naponskog nivoa u vršnom opterećenju elementa višeg naponskog nivoa. Za područje Raške za faktor jednovremenosti proračunata je vrednost 0.939 na osnovu usvojene vrednosti ekvivalentnog vremena trajanja vršne snage sredjenaponskih izvoda, koja je služila kao osnov za proračun maksimalnih opterećenja po sredjenaponskim izvodima.

Ukupno modelovano opterećenje za područje pogona Raška, koje odgovara nivou sredjenaponskih izvoda, iznosi 43.111 MW i 16.378 Mvar i raspoređeno je po TS 10/0.4 kV i po mernim mestima 6 i 10 kV (opterećenja modelovana po mernim mestima 6 i 10 kV odnose se uglavnom na velepotrošače koji preuzimaju energiju na tom naponskom nivou). Ukupno modelovano opterećenje na nivou transformacije 110/X kV iznosi 36.095 MW i 13.705 Mvar.

Za analizirani vršni režim u TS 110/35 kV Raška regulatori su podešeni tako da se napon na sekundaru kreće oko 35 kV. Što se tiče transformatora 35/10 kV svi su podešeni na nominalni prenosni odnos.

Modelovano je uklopno stanje koje se ima u normalnom radnom režimu, a prema podacima dobijenim iz dispečerskog centra pogona Raška.

Što se tiče mreže pogona Raška, kao izvorna tačka modelovana je TS 220/110 kV Kraljevo 3 koja je proglašena za balansni čvor i u njoj se u maksimalnom radnom režimu održava napon oko 116 kV. Kompletna snaga za područje Raške dolazi upravo iz TS 220/110 kV Kraljevo 3, a modelovan je i tok na 110 kV vodu između TS 110/35 kV Raška i Novi Pazar 1.

Na osnovu analize postojećeg stanja zaključeno je sledeće:

- obe jedinice u TS 110/35 kV Raška su visoko opterećene - 80%, odnosno 83% nominalne snage (za modelovana opterećenja na nivou TS 110/X kV),
- što se tiče 35 kV vodova, kritična je situacija kada je u pitanju pravac TS 110/35 kV Raška - TS 35/10 kV Raška 1 - TS 35/10 kV Raška 2 kojim se distribuiraju snaga ne samo za dve pomenute TS 35/10 kV na području grada, već i za TS 35/X kV Rudnica, Lešak i Belo brdo. Prva deonica do TS 35/10 kV Raška 1 je nedozvoljeno opterećena u normalnom pogonu tj. preopterećena skoro 27%, a naredna deonica između TS 35/10 kV Raška 1 i 2 je nominalno opterećena. Kada su u pitanju preostali 35 kV vodovi, opterećenje najopterećenijeg od njih ne prelazi 49% nominalne snage (deonica TS 35/10 kV Raška 2 - TS 35/10 kV Rudnica),
- što se tiče jedinica 35/10 kV kritična je situacija u slučaju TS 35/10 kV Raška 2 gde su obe instalisane jedinice nedozvoljeno opterećene u normalnom pogonu tj. preopterećene (23%, odnosno 28%). Isto važi i za transformator 2 u TS 35/10 kV Raška 1 koji je preopterećen oko 4%, dok je druga jedinica u ovoj napojnoj TS prilično nisko opterećena (ova dva transformatora ne rade u paraleli, pa se predlaže da se oni puste u paralelan rad, ako je to tehnički izvodljivo). Jedina instalisana jedinica u TS 35/10 kV Ušće je takođe nedozvoljeno opterećena - njeno preopterećenje iznosi oko 12%. Kada su u pitanju preostale jedinice ugrađene u TS 35/10 kV sa područja pogona Raška, njihovo opterećenje se kreće ispod 66% nominalne snage.

U okviru analize optimalnog uklopnog stanja predlaže se i jedna promena koja se odnosi na mrežu 35 kV. Predlaže se da se TS 35/6 kV Eteks i TS 35/10 kV Ušće u normalnom pogonu napajaju iz pravca TS 35/10 kV Brvenik, preko veze TS 110/35 kV Raška - TS 35/10 kV Brvenik - TS 35/6 kV Eteks - TS 35/10 kV Ušće. Smanjenje gubitaka koje se postiže ovom promenom uklopnog stanja iznosi 38 kW. Sve ostale promene granica napajanja koje se predlažu u okviru optimizacije uklopnog stanja odnose se na 10 kV mrežu

4. PLANIRANJE MREŽE DO KRAJA 2030. GODINE I KARAKTERISTIKE BUDUĆIH REŠENJA MREŽE OD 10-110 KV

Za modelovana opterećenja koja su rezultat formirane više varijante prognoze opterećenja, imajući u vidu podatke o postojećem stanju mreže na području pogona Raška i vodeći računa da usvojeni kriterijumi za planiranje budu ispunjeni, formirano je pet varijantnih rešenja.

Varijanta 1 obuhvata sledeće:

1. nova TS 110/X kV Kopaonik
2. nova jedinica (umesto dotrajale snage 20 MVA) snage 31.5 MVA u TS 110/35 kV Raška
3. novi 35 kV vod od TS 110/35 kV Raška do mesta odvajanja postojećeg dvostrukog 35 kV priključka za TS 35/10 kV Raška 2
4. nova direktna 35 kV veza između TS 35/10 kV Baljevac i Ušće i izgradnja rezervne 35 kV veze za TS 35/10 kV Jošanička Banja kao „T” priključak na postojeći 35 kV vod TS 35/6 kV Eteks - TS 35/10 kV Ušće
5. gašenje TS 35/10 kV Belo Brdo i napajanje konzuma koji gravitira ovoj TS 35 kV vodom (koji bi radio pod naponom 10 kV) iz pravca TS 35/10 kV Lešak
6. TS 35/10 kV Raška 1 i 2 (8+4 MVA), TS 35/10 kV Ušće (2×4 MVA), TS 35/10 kV Jošanička Banja (nova jedinica snage 2.5 MVA umesto dotrajale iste snage)
7. razdvajanje izvoda Milatkoviće iz TS 35/10 kV Raška 2 na dva izvoda, Milatkoviće i Novo naselje, kako bi se odvojilo napajanje nadzemne mreže od kablovske
8. novi izvod Mislopolje 4 iz TS 35/10 kV Raška 1 da bi se rasteretio postojeći izvod Kaznovići-Omča iz iste napojne TS
9. novi 10 kV kabl između TS 10/0.4 kV Bioskop I Bela Stena (za sigurno napajanje TS Bioskop i Komitet 2)
10. formiranje 10 kV prstena koji bi obrazovali izvod Novo naselje i Supnje 5 iz TS 35/10 kV Raška 2 (novi 10 kV kabl između TS Supnje 4 i 5)
11. povećanje preseka na magistralnom pravcu izvoda Gradac-Kruševica iz TS 35/10 kV Rudno
12. povezivanje 10 kV mreže pogona Raška i pogona Ivanjica zbog potrebe da se rastereti izvod Mlanča-Dobri Do iz TS 35/10 kV Ušće; novi 10 kV vodovi kojim bi se povezala mreža koja se napaja iz TS 35/10 kV Rudno i TS 35/10 kV Kumanica (pogon Ivanjica) za rezerviranje ispada jedine jedinice u TS 35/10 kV Rudno.

Varijanta 2

Da bi se izbeglo povezivanje mreže pogona Raška i Ivanjica, koje je opisano u okviru Varijante 1 (planirane su ukupno tri 10 kV veze preko kojih bi se obrazovali međupovezni vodovi između TS 35/10 kV Ušće i Kumanica, odnosno TS 35/10 kV Rudno i Kumanica), analizirana je posebna varijanta razvoja sa ulaskom u pogon nove TS 35/10 kV Milići iz koje bi se u normalnom pogonu napajao deo konzuma koji se u postojećem stanju napaja preko izvoda Mlanča-Dobri Do iz TS 35/10 kV Ušće. Uklapanje nove TS 35/10 kV Milići u 35 kV mrežu koje podrazumeva izgradnju 35 kV vodova TS 35/10 kV Ušće - TS 35/10 kV Milići - TS 35/10 kV Rudno, kao i formiranje međupoveznog voda između TS 35/10 kV Milići i Rudno, bi obezbedili sigurno napajanje konzuma koji gravitira pomenutim TS 35/10 kV. S obzirom da ulazak u pogon nove TS 35/10 kV Milići utiče isključivo na rešenja koja se odnose na TS 35/10 kV Ušće i Rudno, i u ovoj varijanti razvoja, kada je u pitanju ostatak mreže, sprovedena su kompletno rešenja koja su predložena u okviru Varijante 1. U ovoj varijanti predlaže se da se realizuje povezivanje delova 10 kV mreže koji se napajaju iz TS 35/10 kV Rudno i TS 35/10 kV Ušće (odnosno, perspektivno iz TS 35/10 kV Milići kada ona uđe u pogon). Nije potrebna izgradnja 35 kV voda od lokacije TS 35/6 kV Eteks do TS 35/10 kV Ušće da bi se formirala direktna veza između TS 35/10 Baljevac i Ušće. U TS 35/10 kV Milići trebalo bi ugraditi jedinicu snage 2.5 MVA.

Varijanta 3 - uvođenje 20 kV napona na području Kopaonika

U ovoj varijanti razvoja razmatran je prelazak kompletnog konzuma sa područja Kopaonika na rad pod naponom 20 kV. Imajući u vidu da je mreža na ovom području u velikoj meri pripremljena za 20 kV napon (u velikom broju TS 10/0.4 kV su ugrađeni preklopivi ili prevezivi transformatori i uglavnom su polagani 20 kV kablovi). Jedan transformator 110/35/20 kV u novoj TS 110/X Kopaonik snage 20/20/13.3 MVA i jedinica snage 35/20 kV snage 8 MVA kao rezervna. U Varijanti 3 bi moralo da se računa sa troškovima kompletne rekonstrukcije zgrade i postrojenja 35 kV kako bi se u TS 35/X kV Rudnica mogla ugraditi i druga jedinica 35/10 kV snage 2.5 MVA.

Varijanta 4 - zadržavanje transformacije 35/10 kV u TS 35/10 kV Belo Brdo uz realizaciju napajanja ove TS iz pravca TS 110/X kV Kopaonik

Razmatrana je i varijanta razvoja u kojoj ne bi došlo do gašenja TS 35/10 kV Belo Brdo, kako je predloženo u Varijanti 1. U tom slučaju, da bi bio ispunjen usvojeni kriterijum sigurnosti „n-1”, potrebno je u ovu TS u etapi razvoja do 2013. godine ugraditi kao drugu jedinicu transformator snage 2.5 MVA, uz opremanje 35 i 10 kV transformatorske ćelije, i izgraditi 35 kV vod iz pravca TS 110/X kV Kopaonik što bi bilo osnovno napajanje TS 35/10 kV Belo Brdo, što podrazumeva opremanje i dve 35 kV vodne ćelije. Pored TS 35/10 kV Belo Brdo, preko nove 35 kV veze iz pravca TS 110/X kV Kopaonika u normalnom pogonu plasirala bi se snaga i za potrebe napajanja TS 35/10 kV Lešak.

Analiza efekata priključenja malih HE na elektrodistributivnu mrežu na području pogona Raška

Na osnovu zahteva nadležnih iz pogona Raška izvršena je analiza uticaja rada malih HE čije se priključenje očekuje na elektrodistributivnu mrežu 10 i 35 kV. Pregled malih HE čiji je priključak analiziran dat je u tabeli 3. Imajući u vidu da se ne znaju precizni uslovi priključenja ovih HE, one su modelovane na sabirnicama 10 kV ili 35 kV najbližih TS 10/0.4 kV ili TS 35/10 kV, u zavisnosti od snage. Analiza je izvršena za maksimalnu generisanu aktivnu snagu elektrana, pri čemu su ograničenja po maksimalnoj reaktivnoj snazi data u tabeli 3. Analiza je izvršena za stanje mreže iz 2013. godine, za opterećenja na nivou TS 110/X kV.

TABELA 3 - PREGLED MALIH HE ČIJE SE PRIKLJUČENJE OČEKUJE NA ELEKTRODISTRIBUTIVNU MREŽU 10 I 35 kV

Redni broj	Datum izdavanja saglasnosti	Naziv objekta	Instalisana snaga (kVA/kW)	Vodotok (za MHE)	Lokacija	Mesto modelovanja	S (MVA)	P _{max} (MW)	Q _{max} (Mvar)
1	20.05.2004	MHE Klupci	40 kVA/ 30 kW	Gobeljska reka	KP 309 KO Crna Glava	TS 10/0.4 kV Crna glava	0.040	0.030	0.026
2	1.3.2008	MHE Grajčići	210 kVA/190 kW	Graička reka	KP 3247/2 KO Mlanča	TS 10/0.4 kV Grajčići	0.210	0.190	0.089
3	10.07.2005	MHE Velež	(665+334) kVA/ (542+257) kW	Veleštička reka	KP 6063 KO J. Banja	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja	0.999	0.799	0.600
4	11.07.2005	MHE Šutanovina	(525+ 320) kVA/ (410+256) kW	Gobeljska reka	KP 1145 KO J. Banja	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja	0.845	0.666	0.520
5	26.3.2008	MHE Marići	990 kVA/ 940 kW	Jošanička i Gobeljska reka	KP 3485 KO J.Banja	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja	0.990	0.940	0.311
6	26.3.2008	MHE Vladići	680 kVA/640 kW	Jošanica	KP 1095 KO J.Banja	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja	0.680	0.640	0.230
7	25.08.2008	MHE Planska	(470+470) kVA/ (375+375) kW	Jošanička reka	KP 2220 KO J. Banja	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja	0.940	0.750	0.567
8	16.4.2009	MHE Vladići 1	900 kVA/ 880 kW	Jošanica	KP856.857 KO Rakovac	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja	0.900	0.880	0.189
9	9.05.2006	MHE Kaludra	(400+400) kVA/ (320+320) kW	Studenica	KP 3506-1 KO Mlanča	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Ušće	0.800	0.640	0.480
10	11.3.2008	MHE Ošje brdo	(361+361) kVA/ (290+290) kW	Graička reka	KP 3951 KO Mlanča	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Ušće	0.722	0.580	0.430
11	18.12.2008	MHE Ušće	1400 kVA/1120 kW	Studenica	KP 2113 KO Ušće	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Ušće	1.400	1.120	0.840
12	5.11.2009	MHE Most	(118+338) kVA/ (110+315) kW	reka Želebić	KP 3047 KO Polumir	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Ušće	0.456	0.425	0.165
13	15.12.2006	MHE Buče	475 kVA/360 kW	Bučki potok	KP 446 KO Rudno	Sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Rudno	0.475	0.360	0.310

Izvršena analiza je pokazala sledeće:

1. Uočavaju se tri zone priključenja elektrana: Ušće, Jošanička Banja i Rudno. Najveću snagu u mrežu plasiraju elektrane modelovane na sabirnicama 35 kV u TS 35/10 kV Ušće i Jošanička Banja (~2.8 MW i ~4.7 MW). Nešto je manja snaga koja se plasira u mrežu na sabirnicama 35 kV u TS 35/10 kV Rudno (0.36 MW), a značajno su manje snage koje se plasiraju na sabirnice 10 kV u TS 10/0.4 Graići (izvod Mlanča-Dobri Do iz TS 35/10 kV Ušće) i TS 10/0.4 kV Crna Glava (izvod Rakovac iz TS 35/10 kV Jošanička Banja).
2. Elektrane priključene na 10 kV mrežu nemaju većeg značaja za funkcionisanje mreže 35 kV, ali je HE priključena na TS 10/0.4 kV Graići (snage 190 kW) od velikog značaja za održavanje dobrih naponskih prilika na izvodu Mlanča-Dobri Do, i posledica njenog priključenja je da nema potrebe za napajanjem dela mreže pogona Raška iz pravca pogona Ivanjica (ogranak Čačak), kako je predloženo u jednoj od varijanti razvoja.
3. Elektrane priključene na sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Ušće su, zbog većeg opterećenja ove TS i činjenice da je između nje i napojne TS 110/35 kV Raška i TS 35/10 kV Baljevac (3.7 MW), pod manjim uticajem regulacije napona u TS 110/35 kV Raška. Pozitivna strana kod ovih HE je i činjenica da imaju nešto veći opseg regulacije reaktivne snage.
4. Elektrane priključene na sabirnice 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja i, naročito, TS 35/10 kV Rudno su pod direktnim uticajem regulacije napona u TS 110/35 kV Raška. To znači da će ove elektrane biti izložene značajnim promenama napona pri automatskoj regulaciji napona u TS 110/35 kV Raška. To znači da one moraju da imaju robusne sisteme za regulaciju napona.
5. Budući da su dosta udaljene od TS 110/35 kV Raška i da generišu veću snagu od ukupnog opterećenja na napojnom 35 kV vodu, elektrane modelovane na 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja dovode do povećanja napona na sabirnicama 35 kV u TS 35/10 kV Jošanička Banja u odnosu na napon na sabirnicama 35 kV u TS 110/35 kV Raška. Za modelovano opterećenje i modelovani režim rada elektrana ovo povećanje iznosi 2%. Ovu činjenicu treba imati u vidu pri regulaciji napona u TS 110/35 kV Raška.
6. Prikazano stanje pokazuje da je za maksimalno opterećenje iz 2013. godine i maksimalno angažovanje modelovanih HE moguće zadovoljiti naponske kriterijume, pri čemu nije neophodan ulazak HE u potpobuđeni režim rada (u kojem HE troši reaktivnu snagu iz mreže).

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani najznačajniji rezultati studije [4] koji se odnose na područje pogona Raška. Što se tiče prognoze, prikazani su osnovni primenjene metodologije i rezultati njene primene. Prognoza je formirana u dve varijante sa prosečnim stopama porasta od 1.5% i 2.38% uz prognozirani porast godišnje potrošnje električne energije po stanovniku sa sadašnjih 3060 kWh/stanovniku na 4390 kWh/stanovniku u nižoj varijanti prognoze, odnosno na 5300 kWh/stanovniku u višoj varijanti prognoze.

U okviru prikaza rezultata analize postojećeg stanja dat je pregled rezultata analize nivoa opterećenja elemenata mreže 110 i 35 kV i osnovni rezultati analize sigurnosti, uz ilustrativni prikaz efekata promene uklopnog stanja u mreži 35 kV, koji pokazuje deo mogućnosti poboljšanja eksploatacije postojeće mreže.

Na ovom području se planira ulazak u pogon nove TS 110/X kV Kopaonik. Posebno su analizirane varijanta razvoja sa zadržavanjem 10 kV napona na području Kopaonika i varijanta razvoja sa uvođenjem 20 kV napona. Varijanta razvoja sa 20 kV naponom, pored dodatnih troškova za pripremu mreže i TS X/0.4 kV za ovaj prelazak, zahteva i rekonstrukciju zgrade i postrojenja u TS 35/X kV Rudnica, jer je u tom slučaju potrebno instalisani kapacitet transformacije 35/10 kV u ovoj TS povećati na 2×2.5 MVA.

Što se tiče objekata TS 35/10 kV, u jednoj varijanti razvoja sagledan je razvoj bez novih objekata 35/X kV, ali je potrebno izvršiti višestruko povezivanje (ukupno treba formirati tri veze) mreže sa područja pogona Raška sa mrežom sa područja pogona Ivanjica (ogranak Čačak). Posebno je analizirana varijanta razvoja koja isključuje pomenuto povezivanje preko 10 kV mreže, a u kojoj se planira ulazak u pogon nove TS 35/10 kV Milići (1×2.5 MVA) i uklapanje ove TS u 35 kV mrežu što podrazumeva izgradnju 35 kV vodova u pravcu TS 35/10 kV Ušće i Rudno.

Što se tiče 35 kV vodova, potrebno je naglasiti da varijacija rešenja koja se odnosi na ulazak u pogon TS 35/10 kV Milići utiče i na oblikovanje 35 kV mreže na preostalom području. Naime, u varijanti razvoja bez TS 35/10 kV Milići, da bi se obezbedilo sigurno napajanje za TS 35/10 kV Ušće potrebno je izgraditi novu 35 kV deonicu između TS 35/10 kV Eteks i Ušće, da bi se formirala direktna veza između TS 35/10 kV Baljevac i Ušće, kako je predloženo u analizama potencijalnih pravaca razvoja.

Potrebno je formirati i rezervnu 35 kV vezu za TS 35/10 kV Jošanička Banja, kao „T” priključak na postojeći vod između TS 35/10 kV Eteks i Ušće, koji postaje rezervni. U varijanti razvoja sa TS 35/10 kV Milići, predložena je izgradnja direktne 35 kV rezervne veze između TS 35/10 kV Eteks i Ušće.

Izgradnja 35 kV voda od TS 110/35 kV Raška do mesta sa kojeg se odvaja 35 kV priključak za TS 35/10 kV Raška 2 je invarijantno rešenje koje omogućuje da se u normalnom pogonu razdvoji napajanje TS 35/10 kV Raška 1 i 2 od napajanja TS 35/X kV Rudnica, Lešak i Belo Brdo, do ulaska u pogon nove TS 110/X kV Kopaonik, odnosno da se razdvoji napajanje TS 35/10 kV Raška 1 i 2 od trenutka kada TS 110/X kV Kopaonik preuzme napajanje TS 35/10 kV Rudnica, Lešak i Belo Brdo.

Što se tiče TS 35/10 kV Belo Brdo, u analizama potencijalnih pravaca razvoja predloženo je gašenje ove TS, jer je procenjeno da su ulaganja koja su potrebna da bi se ispunio usvojeni kriterijum sigurnosti kada je u pitanju ova TS velika, a napajanje tog konzuma bi moglo da se realizuje iz pravca TS 35/10 kV Lešak, koristeći napojni 35 kV vod za pomenutu TS koji bi radio pod naponom 10 kV. U okviru detaljne razrade varijanti razvoja razmatrana je i posebna varijanta razvoja u kojoj se zadržava transformacija 35/10 kV u ovoj TS, računajući sa troškovima nabavke druge jedinice i izgradnju 35 kV veze iz pravca TS 110/X kV Kopaonik što bi bilo osnovno napajanje ove TS.

Predložena pojačanja u mreži 10 kV, izuzev onih koja se odnose na povezivanje 10 kV mreže sa područja pogona Ivanjica i Raška, su potpuno ista u svim varijantama razvoja. Jedna grupa pojačanja vezana je za ispunjenje principa sigurnosti „n-1” u kablovskoj mreži, drugu grupu čine pojačanja vezana za povećanje ekonomičnosti distribucije električne energije nadzemnom vangradskom mrežom, a treću grupu pojačanja čine 10 kV veze između mreža 10 kV napajanih iz TS 35/10 kV na području pogona Raška koje služe kao najjeftiniji način da se obezbede zadovoljavajuće naponske prilike u pojedinim delovima mreže, ili ispomoć u slučaju ispada nekog od transformatora 35/10 kV ili napojnog 35 kV voda.

Posebna pažnja u radu je posvećena uticaju rada većeg broja malih hidroelektrana na funkcionisanje mreže u stacionarnom stanju. Pokazalo se da elektrane na određenim mestima mogu doprineti poboljšanju naponskih prilika na problematičnim srednjenaponskim izvodima, ali da sistemi regulacije napona u nizu elektrana moraju biti relativno robusni zbog potencijalnih značajnih varijacija napona u napojnoj tački distributivne mreže.

LITERATURA

- [1] Tehničke preporuke Direkcije za distribuciju EPS-a
- [2] Metodologija izrade prognoze potrošnje električne energije i njene prostorne raspodele i primeri primene, 2008, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Juko CIRED
- [3] Studija perspektivnog razvoja prenosne mreže Srbije do 2020 (2025) godine, 2007, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd
- [4] Analiza funkcionisanja distributivnih mreža 10-110 kV, prognoza potrošnje i srednjoročni plan razvoja na području pogona Raška, 2010, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd