

## RANGIRANJE PREDLOŽENIH INVESTICIJA U DISTRIBUTIVNU MREŽU

Miroslav STANKOVIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“ a.d. Beograd, Srbija  
Saša MINIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“ a.d. Beograd, Srbija  
Igor BELIĆ, Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“ a.d. Beograd, Srbija  
Vladimir JOKOVIĆ, JP „Elektroprivreda Srbije“ Beograd, Srbija

### KRATAK SADRŽAJ

Prilikom izrada studija dugoročnog planiranja, ali i studija kratkoročnog i srednjoročnog planiranja razvoja distributivne mreže naponskog nivoa 10-110 kV, predlaže se niz investicija koje je neophodno realizovati kako bi čitav distributivni konzum funkcionisao u tehnički dozvoljenim granicama u svakoj etapi planskog perioda. Uzimajući u obzir da su ograničena sredstva koje je potrebno odvojiti i investirati u distributivnu mrežu u svakoj etapi perspektivnog perioda, potrebno je izvršiti odabir onih investicija koje je neophodno realizovati kako bi se ispunili tehnički kriterijumi, odnosno, izvršiti rangiranje (ponderisanje) investicija kako bi se izdvojile one sa najvećim prioritetom.

Metoda rangiranja investicija koja se predlaže je indeksna. Sve investicije koje je potrebno realizovati do kraja perspektivnog perioda mogu se podeliti u četiri grupe: investicije u cilju rasterećenja preopterećenih elemenata, investicije u cilju ispunjenja naponskih kriterijuma, investicije u zamenu dotrajalih elemenata i investicije u cilju ispunjenja kriterijuma sigurnosti „n-1“. Za svaku grupu investicija formirana je metodologija na osnovu koje se proračunavaju ponderi koji su osnov za rangiranje.

U zavisnosti od etape razvoja u kojoj se analiziraju predložene investicije, svaka od grupa dobija svoj prioritet u odnosu na ostale tri grupe. Ovo može da znači da jedna grupa investicija ima veći stepen prioriteta u realizaciji od druge grupe investicija u prvom petogodišnjem periodu, a da nakon toga do kraja planskog perioda menja svoj prioritet, odnosno druga grupa investicija dobija veći prioritet u odnosu na prvu grupu investicija.

Što se tiče samih investicija u okviru neke od četiri pomenute grupe, sve ih možemo podeliti na investicije u vodove (nadzemne i kablovske) i investicije u energetske transformatore. Bez obzira o kojem elementu distributivne mreže se radi, u istoj grupi investicija, neophodno je formirati jedinstven ponder koji će u analiziranoj etapi razvoja odrediti stepen prioriteta svake investicije u grupi.

Na opisan način, u zavisnosti od raspoloživih materijalnih sredstava, moguće je u svakoj etapi razvoja planskog perioda izdvojiti investicije sa najvećim prioritetom koje je potrebno realizovati.

Ključne reči: elektrodistributivna mreža, investicije, rangiranje, planiranje razvoja.

### SUMMARY

During the preparation of long-term planning studies, as well as the short- and medium-term planning studies for the development of the distribution network for the voltage level of 10-110 kV, a number of proposed investments are required to be implemented, so that the entire distribution system operates in technically permissible limits at each stage of the planning period. Given the limited resources that need to be allocated and invested in the distribution network at each stage of the perspective period, it is necessary to select the investments that need to be realized in order to meet the technical criteria, in other words to carry out the ranking (weighting) of investments in order to single out those with the highest priority.

Proposed methodology for ranking investments is based on index calculation. All investments that need to be realized by the end of the perspective period can be divided into four groups: investments in order to relieve overloaded elements, investments in order to meet voltage criteria, investments in replacement of worn-out elements and investments in order to fulfill the safety criteria "n-1". For each investment group, a methodology based on weighting factors for ranking has been formed.

Depending on the development stage in which the proposed investments are analyzed, each group receives its priority over the other three groups. This may mean that one group of investments has a higher priority in the implementation than the second group in the first five-year period, and after that, till the end of the planning period, it changes its priority, meaning that the second group of investments gets a higher priority than the firstone.

As far as investments are considered within one of the four mentioned groups, we can divide them all into investment in lines (overhead and cable) and investments in power transformers. Regardless the element of the

distribution network in question, in the same investment group, it is necessary to create a unique weighting factor that will determine the degree of priority of each investment in the group at the analyzed stage of development. In the described way, depending on the available material resources, it is possible to single out the investments with the highest priority that need to be realized at each stage of the development of the planning period.

**Key words:** power distribution network, investments, ranking, development planning.

Miroslav STANKOVIĆ: [miroslav.stankovic@ieent.org](mailto:miroslav.stankovic@ieent.org)  
Saša MINIĆ: [saminic@ieent.org](mailto:saminic@ieent.org)  
Igor BELIĆ: [igor.belic@ieent.org](mailto:igor.belic@ieent.org)  
Vladimir JOKOVIĆ: [vladimir.jokovic@eps.rs](mailto:vladimir.jokovic@eps.rs)

## UVOD

Izrade srednjoročnih i dugoročnih planova razvoja, kako prenosne tako i distributivne elektroenergetske mreže su od strateškog značaja za jedan region, odnosno državu. Kroz planove razvoja neophodno je sagledati potrebu za novim elektroenergetskim objektima, rekonstrukcijom ili napuštanjem postojećih objekata nakon isteka životnog veka, kroz niz tehničko-ekonomskih analiza. Rezultat svakog plana razvoja jeste skup svih neophodnih investicija u EES, kako bi čitav konzum funkcionisao u tehnički dozvoljenim granicama i ispunio postavljene kriterijume u svakoj etapi razmatranog planskog perioda.

Kako bi se što realnije sagledao razvoj jednog EES-a, neophodno je raspolagati što tačnijim ulaznim podacima (podaci o elementima EES-a, podaci o kupcima električne energije, istorija potrošnje električne energije za pojedine kupce, odnosno kategorije potrošnje, georeferencirane-digitalizovane podloge itd). Ulazne podatke kojima se ne raspolaže potrebno je pretpostaviti na osnovu iskustva, odnosno uzimajući u obzir podatke o sličnim elementima mreže. Na osnovu ulaznih podataka formira se model EES-a, najčešće u nekom od softverskih paketa namenjenih analizama rada elektroenergetskih mreža.

Prvi korak u izradi planova razvoja elektroenergetske mreže jeste formiranje prognoze potrošnje električne energije na predmetnom konzumu u razmatranom planskom periodu. Neophodno je što realnije sagledati buduću potrošnju, kako postojećih kupaca, tako i pojavu novih kupaca električne energije, za šta je potrebno detaljno analizirati urbanističke i regionalne planove razvoja, ali i planove razvoja novih industrijskih kupaca koji se često javljaju sa relativno visokom zahtevima za električnom energijom. Dobra procena buduće potrošnje električne energije je značajna jer direktno utiče na formiranje investicija, odnosno donošenje odluka koja će investicija „ući“ u planove razvoja tj. koje će se rešenje odabrati, ali i na dinamiku realizacije predloženih investicija.

Naredni korak u izradi planova se odnosi na analizu postojećeg stanja mreže, koja bi trebalo da ukaže na trenutne probleme i predloži rešenja kako se bez dodatnih ulaganja može poboljšati rad mreže, pre svega smanjiti gubitke električne energije. Rezultati analize postojećeg stanja mreže bi trebalo da se poklapaju sa stvarnim izmerenim vrednostima, čime se verifikuje formirani model mreže, što je veoma bitno jer se na ovako formirani model koristi u daljim analizama prilikom izrade planova razvoja.

Naredni korak u izradi planova razvoja jeste formiranje skupa rešenja, odnosno investicija, koje je neophodno realizovati do kraja perspektivnog perioda. Da bi se formirala ciljna mreža, odnosno mreža na kraju perspektivnog perioda, neophodno je sagledati sva potrebna ulaganja u postojeću mrežu za prognozirana opterećenja iz poslednje etape planskog perioda. Često se kao rezultat detaljnih analiza formiraju više ciljnih rešenja, tj. više varijantnih rešenja, koja je neophodno uporediti kako bi se došlo do zaključka koje od scenarija je najrealnije očekivati, odnosno koje je rešenje ekonomski najisplativije.

Za odabrano ciljno rešenje (ponekad i više rešenja) potrebno je odrediti dinamiku realizacije svake od predloženih investicija, u zavisnosti od prioriteta koje je potrebno definisati. Često je teško odrediti koja investicija ima veći prioritet zbog čega je neophodno formirati metodologiju kojom bi se sve investicije adekvatno rangirale na osnovu formiranih pondera. Svaka od metodologija za rangiranje investicija bazira se na tehničkim i ekonomskim parametrima na osnovu kojih se formiraju ponderi i vrši odabir prioriternih investicija u svakoj etapi razvoja. Na kraju izrade plana razvoja, predlažu se investicije u svakoj etapi planskog perioda sa detaljnim opisom šta je neophodno uraditi i koliko je novca potrebno uložiti da bi se one realizovale.

Metodologija za rangiranje investicija, koja je obrađena u ovom radu, formirana je i primenjena u „Studiji perspektivnog razvoja DEES na području ogranaka Čačak, Jagodina i Arandelovac“ (1), čiji je naručilac JP „Elektroprivreda Srbije“ a obrađivač Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“.

## METODOLOGIJA RANGIRANJA I FORMIRANJE INDEKSA (PONDERA) INVESTICIJA

Nakon analize postojećeg stanja mreže i formiranja prognoze potrošnje električne energije i snage na području predmetnih ogranaka u okviru prvog dela „Studije perspektivnog razvoja DEES na području ogranaka Čačak, Jagodina i Arandelovac“ (1), formirani su potencijalni pravci razvoja mreže do 2035. godine. Svaka od predloženih varijanti razvoja mreže predstavlja skup investicija koje je neophodno realizovati do kraja perspektivnog perioda, kako bi svi kriterijumi planiranja bili ispunjeni. Kada se nakon tehničko-ekonomske analize svake od predloženih varijanti razvoja mreže, usvoji varijanta (ili više varijanti), koja se očekuje do kraja perspektivnog perioda, neophodno je formirati detaljnu razradu razvoja usvojene varijante mreže po definisanim etapama razvoja (2017-2018-2019-2020-2021-2022-2023-2024-2025-2026-2030-2035. godina). Detaljna razrada razvoja mreže, treba da sagleda efekte svake predložene investicije iz potencijalnih pravaca razvoja i definiše prioritete u realizaciji investicija za svaku etapu razvoja. Ponekad je zaista teško odrediti koju je investiciju neophodno pre realizovati, zbog čega je potrebno definisati jedinstvene parametre svake investicije koji bi nam olakšali donošenje odluke o izboru prioritete investicije. U svakoj etapi razvoja potrebno je izdvojiti sve investicije koje je moguće realizovati i svakoj od njih odrediti indeks (ponder) na osnovu kojeg bi se predložena investicija rangirala.

Perspektivni period od 2017. do 2035. godine moguće je podeliti na: prvi petogodišnji period (2017-2021. godina), drugi petogodišnji period (2022-2026. godina), period 2027-2030. godina i period 2031-2035. godina. Za svaki ovako definisani planski period moguće je formirati redosled prioriteta realizacije investicija u zavisnosti od prioriteta tehničkih kriterijuma, što znači da ako jedna investicija ima prioritet u jednom planskom periodu na mora da znači da će u nekom drugom periodu imati isti nivo prioriteta.

Najpre je neophodno sve investicije, koje bi se realizovale do kraja perspektivnog perioda, grupisati na sledeći način:

1. investicije u cilju rasterećenja preopterećenih elemenata,
2. investicije u cilju ispunjenja naponskih kriterijuma,
3. investicije u zamenu dotrajalih elemenata,
4. investicije u cilju ispunjenja kriterijuma sigurnosti „n-1“.

Najpre se sagledava prvi petogodišnji planski period od 2017. do 2021. godine. Uzimajući u obzir šta je potrebno uraditi u prvom petogodišnjem planu, prioritet realizacije investicija definisan je po redosledu po kome su one navedene. Najveći prioritet imaju investicije koje se realizuju u cilju rasterećenja preopterećenih elemenata mreže. Zatim, potrebno je realizovati sve investicije kojima se rešavaju problemi niskih napona u mreži, a potom investicije u zamenu dotrajalih elemenata. Poslednje po prioritetu su investicije kojima se ispunjava kriterijum sigurnosti „n-1“ za elemente mreže koji nemaju ispunjen ovaj kriterijum u postojećem stanju. Ovde se može postaviti pitanje „Da li veći prioritet ima investicija u zamenu dotrajalih elemenata istim elementom ili investicija kojom se ispunjava kriterijum sigurnosti „n-1“, elemenata kojima je kriterijum sigurnosti narušen zbog povećanja prognoziranog opterećenja?“. U tom slučaju, prioritet se daje investicijama potrebnim da se zadrži sigurnost elementa koja bi se izgubila u tekućoj etapi, a nakon toga bi se realizovala investicija u zamenu dotrajalih elemenata. Redosled prioriteta u prvom petogodišnjem periodu je definisan na opisani način iz razloga što je veći deo mreže na predmetnim ograncima, u konkretnom razmatranom slučaju, dotrajao (računato je sa životnim vekom transformatora od 40 godina, odnosno 50 godina za nadzemne vodove i kablove), što daje na značaju potrebi da se oni što je pre moguće zamene novim elementima, odnosno napuste, u zavisnosti koje rešenje je sagledano u potencijalnim pravcima razvoja. Inače, analizirajući podatke o godinama ulaska u pogon nadzemnih i kablovskih vodova, na području sva tri predmetna ogranka, a uzimajući u obzir pretpostavljeni životni vek, došlo se do zaključka da bi do kraja perspektivnog perioda (2035. godina) preko 50% vodova izašlo iz pogona zbog dotrajalosti (od čega oko 80% dotrajalih elemenata čine nadzemni vodovi). Ako se analiziraju godine ulaska u pogon transformatora prenosnog odnosa 110/X kV, 35/10 kV i 10(20) kV, kao i njihov procenjeni životni vek, procenat dotrajalih transformatora koji su trenutno u pogonu, a koji bi do kraja planskog perioda izašli iz pogona, je još veći nego kod vodova.

U drugom petogodišnjem planu razvoja (2022-2026. godina), redosled prioriteta u realizaciji investicija poslednje dve grupe se menja tj. neophodno je ispuniti kriterijum sigurnosti „n-1“ za svaki element mreže pre nego investirati u zamenu dotrajalog elementa. Redosled prioriteta je promenjen iz razloga što se do 2021. godine očekuje da se obezbedi sigurnost u napajanju svakog elementa naponskog nivoa 110 i 35 kV, odnosno u 10(20) kV gradskoj kablovskoj mreži, što se opet svodi da prioritet u realizaciji investicija imaju one kojima se obezbeđuje sigurno napajanje elemenata koji su imali sigurnost u prethodnim etapama, a iz nekog razloga im je u tekućoj etapi sigurnost narušena. Isti redosled u prioritetu realizacije investicija se zadržava u etapama razvoja 2030. i 2035. godine.

Osnovni princip date metodologije se zasniva na tome da se u svakoj etapi razvoja prvo grupišu sve investicije u navedene četiri grupe, a zatim, u okviru svake grupe se izvrši rangiranje investicija na osnovu izračunatih

pondera. Na kraju, uvažavajući definisane pondere (indekse) i prioritete grupa, predlaže se realizacija skupa investicija sve dok se ne ispuni predviđeni budžet za datu etapu razvoja.

Pre donošenja odluke o tome koje investicije treba realizovati u posmatranoj etapi, neophodno je sagledati ukupnu vrednost (budžet) svih investicija koje treba realizovati u svakom razmatranom periodu i uporediti ga sa raspoloživim sredstvima. U konkretnom slučaju, prilikom planiranja dinamike realizacije predloženih investicija, vođeno je računa da se ukupne vrednosti investicija za sve planske periode, koji traju isti broj godina, što približnije preraspodele. Prilikom formiranja petogodišnjih planova razvoja, za pojedine pogone u okviru ogranaka Čačak, Jagodina i Arandelovac, ispostavilo se da je ukupna vrednost investicija u prvom petogodišnjem periodu (2017-2021. godina) znatno veća u odnosu na ukupnu vrednost investicija u drugom petogodišnjem periodu (2022-2026. godina). U ovom slučaju, prioriteti u realizaciji investicija su menjani. Sagledane su vrednosti investicija u oba petogodišnja perioda i deo investicija koje se odnose na zamenu dotrajalih elemenata (pre svega 10 kV nadzemnih i kablovskih vodova) iz prvog petogodišnjeg perioda su prebačene u drugi petogodišnji period. Kada se na ovaj način, ukupna vrednost svih investicija planiranih da se realizuju u razmatranim planskim periodima, što približnije preraspodeli, potrebno je ukupnu vrednost investicija u jednom planskom periodu što ravnomernije preraspodeliti u svakoj etapi razvoja planskog perioda. Uzimajući u obzir da je prva etapa razvoja mreže (2017. godina), prilikom izrade Studije (1) bila u toku, predloženo je da planirani budžet u ovoj etapi razvoja bude manji u odnosu na preostale četiri etape (2018-2021. godina) prvog planskog perioda.

Na koji način se formiraju indeksi investicija u okviru svake od četiri grupe, za svaku posmatranu etapu razvoja, opisan je u nastavku teksta.

### **Ponderisanje investicija u cilju rasterećenja preopterećenih elemenata mreže**

Problem preopterećenih elemenata mreže, u normalnom radnom režimu, može se javiti usled povećanja opterećenja, što je posledica prognoziranog opterećenja kako postojećih kupaca tako i novih kupaca čije se priključenje na distributivnu mrežu očekuje u toku planskog perioda. Eksploatacija preopterećenog elementa, u dužem vremenskom periodu, dovodi do ubrzanog starenje izolacije, čime se životni vek elementa skraćuje. Problem je moguće rešiti promenom uklopnog stanja u postojećoj mreži ili ugradnjom novog elementa preko kojeg je moguće rasteretiti preopterećeni element. Promena uklopnog stanja u postojećoj mreži ne iziskuje dodatne troškove i iz tog razloga se ovakvo rešenje uvek pre prihvata nego izgradnja novog elementa.

Kao što je već napomenuto, investicije koje je neophodno realizovati u cilju rasterećenja elemenata, imaju najviši rang prioriteta bez obzira koji planski period se razmatra. Iz tog razloga, neophodno je u svakoj etapi razvoja mreže sagledati nivo opterećenja svakog elementa i izdvojiti one elemente koji bi se za prognoziranu opterećenja iz razmatrane etape razvoja preopteretili. Elementi mreže na kojima bi moglo doći do preopterećenja u odnosu na nazivnu vrednost struje u normalnom radnom režimu podeljeni su u četiri podgrupe: transformatori, kablovi, samonoseći kablovski snopovi i nadzemni vodovi. Na osnovu dozvoljenog nivoa kratkotrajnog preopterećenja ove četiri vrste elemenata, koja su definisana „Tehničkim preporukama Direkcije za distribuciju EPS-a“ (3), investicije su razvrstani u četiri istoimene podgrupe i formirani su prioriteti u realizaciji, po sledećem redosledu:

1. investicije u cilju rasterećenja preopterećenih kablovskih deonica,
2. investicije u cilju rasterećenja preopterećenih transformatora,
3. investicije u cilju rasterećenja preopterećenih deonica izvedenih sa SKS-om,
4. investicije u cilju rasterećenja preopterećenih nadzemnih deonica izvedenih golim provodnicima.

Predloženim rangiranjem, investicije u cilju rasterećenja preopterećenih kablovskih deonica imaju najviši prioritet, a investicije u cilju rasterećenja preopterećenih nadzemnih deonica izvedenih golim provodnicima imaju najniži prioritet. Preostalim dvema podgrupama investicija u rasterećenju elemenata dodeljen je prioritet između prethodno navedenih podgrupa, pri čemu investicije u rasterećenje transformatora ima viši prioritet od rasterećenja SKS.

U okviru svake podgrupe, investicije bi se rangirale na osnovu nivoa preopterećenja tj. investicije kojima bi se rešio problem većeg preopterećenja elementa imao bi prioritet u odnosu na investiciju kojom bi se rešio problem nižeg preopterećenja elementa. Uzimajući u obzir da su formirani modeli mreža na nivou opterećenja transformacije 110/X kV, opterećenja svih ostalih elemenata mreže je potrebno proračunati sa jednim ili više faktora jednovremenosti, kako bi se sagledalo opterećenja na nivou razmatranih elemenata.

### **Ponderisanje investicija u cilju ispunjenja naponskih kriterijuma**

Nakon što bi se rešili problemi svih preopterećenih elemenata mreže, sledeći korak jeste realizacija investicija u cilju ispunjenja naponskih kriterijuma, koji su definisani u „Pravilima o radu distributivnog sistema“ (2), u tabeli 3.4.3. U okviru navedenih pravila, za naponske nivoove 35, 20, 10 i 0,4 kV definisani su opsezi (minimalna i maksimalna vrednost napona), u kojima je dozvoljeno da se kreću vrednosti napona planirane mreže.

Najčešći problemi koji se javljaju jesu niski naponi, čije su vrednosti ispod minimalnih vrednosti definisanih Pravilima (2). Problem niskih napona su uočeni i u nekim delovima mreže predmetnih ogranaka prilikom analize postojećeg stanja mreže. U tom slučaju, ako je to bilo moguće, predlagane su mere kojima bi se bez dodatnih investicija mogao rešiti problem niskih napona ili bar poboljšale naponske prilike na problematičnom delu konzuma (promenom uklopnog stanja u srednjenaponskoj mreži ili promenom položaja regulatora na transformatorima 35/10 kV). Kada se analizira perspektivna mreža, problemi niskih napona se u najvećem broju slučajeva javljaju zbog povećanja prognoziranog opterećenja, najčešće na dugačkim vangradskim izvodima 10(20) kV. Jedno od rešenja jeste povećanje preseka napojnih vodova na izvodu sa niskim naponima, ako je to moguće, ali je ono primenljivo samo u slučaju da su odstupanja napona od minimalne dozvoljene vrednosti mala. Najčešće se problem niskih napona rešava rasterećenjem problematičnog izvoda. Ovo rešenje podrazumeva da se deo konzuma na kome se očekuju niski naponi prebaci na drugi izvod, a da pri tome budu ispunjeni svi kriterijumi planiranja. Rasterećenje je moguće preko postojeće mreže (promenom uklopnog stanja postojećih vodova) ili izgradnjom novih srednjenaponskih vodova. Problem visokih napona u perspektivnim mrežama je redak, osim u analizama koje se odnose na priključenje novih malih elektrana na distributivnu mrežu.

Investicije u cilju ispunjenja naponskih kriterijuma su druge po prioritetu bez obzira u kojem planskom periodu se realizuju (prve po prioritetu su investicije u cilju rasterećenja preopterećenih elemenata). Kao i za bilo koju grupu investicija tako i za investicije kojima se rešavaju problemi loših naponskih prilika na nekom delu konzuma, neophodno je formirati indekse (pondera), na osnovu kojih bi odredili prioritete realizacija. U okviru razmatrane grupe investicija, indeksi bi se formirali na sledeći način:

- Identifikovala bi se tačka na delu konzuma u kome se rešavaju problemi niskih napona sa minimalnim naponom pre realizacije investicije ( $U_{min1}$ ).
- Identifikovala bi se tačka na delu konzuma u kome se rešavaju problemi niskih napona sa minimalnim naponom nakon realizacije investicije ( $U_{min2}$ ).
- Proračunala bi se razlika minimalnog napona nakon realizacije investicije i minimalnog napona pre realizacije investicije ( $\Delta U_{min}$ ).
- Formirao bi se količnik  $\Delta U_{min}$  i vrednosti investicije.

Formirani količnik predstavlja indeks (ponder) na onovu kojeg bi se rangirale investicije, u okviru grupe investicija u cilju ispunjenja naponskih kriterijuma.

Potrebno je napomenuti, da tačka sa minimalnim naponom u problematičnom delu mreže pre realizacije investicije ne mora biti ista tačka sa minimalnim naponom nakon realizacije investicije (moguće je nakon realizacije investicije izvršiti preraspodelu opterećenja tj. promenu uklopnog stanja).

### **Ponderisanje investicija u zamenu dotrajalih elemenata**

U okviru studije (1), kao što je napomenuto, računalo se sa životnim vekom transformatora 110/X, 35/10 i 10(20) kV od 40 godina, odnosno sa životnim vekom od 50 godina za sve nadzemne vodove, SKS-ove i kablove. Na osnovu podataka o godini ulaska u pogon svakog od elementa mreže (transformatora i vodova) i pretpostavljenog životnog veka, procenjena je etapa izlaska iz pogona svakog elementa koji dotrajava u periodu 2017-2035. godina. Potencijalni pravci razvoja mreže, deo Studije (1) koji je prethodio detaljnoj razradi razvoja mreže po etapama, sagledali su svaku investiciju koja je predložena da se realizuje iz razloga što pojedni elementi mreže izlaze iz pogona zbog dotrajalosti. U najjednostavnijim slučajevima, predložena je ugradnja novog elementa umesto dotrajalog, sa sličnim ili istim karakteristikama. Sa druge strane, za prognozirana opterećenja koja se očekuju do kraja perspektivnog perioda, pojedine elemente mreže čiji se životni vek završava u nekoj od etapa razvoja unutar planskog perioda, neophodno je zameniti novim elementima, veće ili manje snage a da pri tome budu ispunjeni svi kriterijumi planiranja. Ovo podrazumeva da se na osnovu prognoziranog opterećenja koje se očekuje kroz neki od elemenata mreže koji dotrajava, izvrši tehničko-ekonomska analiza i izabere novi element istog tipa čije bi karakteristika ispunile sve kriterijume, kako u normalnom radnom režimu tako i u havarijskom. Osim, zamene dotrajalog elementa novim elementom, predlagana su i nova rešenja koja su podrazumevala napuštanje dotrajalog elementa, a u nekim slučajevima i izgradnju novih elemenata na drugim lokacijama u mreži. Sve navedene investicije koje su se ticale dotrajalosti elemenata mreže svrstane su u grupu investicija u zamenu dotrajalih elemenata. Na osnovu tipa dotrajalog elementa sve investicije iz ove grupe mogu se podeliti u četiri podgrupe, prikazane po prioritetu realizacije (od najvećeg do najmanjeg prioriteta):

1. investicije u zamenu dotrajalih transformatora 110/X kV,
2. investicije u zamenu dotrajalih transformatora 35/10 kV,
3. investicije u rekonstrukciju dotrajalih vodova 35 kV,
4. investicije u rekonstrukciju dotrajalih 10 kV deonica.

Podgrupu najvišeg prioriteta čine investicije u zamenu dotrajalih transformatora 110/X kV, iz razloga što su posledice otkaza ovih elemenata najvećih razmera u poređenju sa otkazom bilo kojeg drugog elementa iz preostale tri podgrupe elemenata. Sa druge strane, investicije u rekonstrukciju dotrajalih 10 kV vodova su najmanjeg prioriteta. Logika na osnovu koje su definisani prioriteti podgrupa investicija u zamenu dotrajalih

elemenata jeste takva da se pretpostavilo koliko je opterećenje pojedinih elementa u normalnom pogonu i koliko je vremena neophodno da se jedan takav element zameni novim elementom. Obzirom da transformatori 110/X kV najčešće prenose najveća opterećenja u odnosu na preostale tri podgrupe elemenata, a nabavka novog transformatora obično zahteva značajno vreme, stavlja zamenu dotrajalog transformatora na sam vrh prioriteta u okviru ove grupe investicija. Ako sada uporedimo otkaz transformatora 35/10 kV i voda 35 kV možemo zaključiti da vodovi 35 kV uglavnom prenose veće opterećenje od transformatora 35/10 kV. Sa druge strane, prilikom kvara na dotrajalom transformatoru 35/10 kV neophodno je zameniti jedinicu u kvaru, što zahteva značajno vreme, čak i ukoliko postoji neki rezervni transformator, a prilikom kvara na 35 kVvodu nije nophodno kompletno rekonstruisati čitav vod, već je dovoljno zameniti pojedine kritične deonice u vrlo kratkom vremenskom periodu. Iz navedenih razloga, dolazimo do konačnog zaključka da investicije u zamenu dotrajalih transformatora 35/10 kV potrebno pre realizovati u odnosu na investicija u zamenu 35 kV vodova. Poslednja podgrupa investicija u rekonstrukciju dotrajalih 10 kV deonica, kao što je već navedeno, imaju najmanji prioritet jer je kvar na jednom ovakvom elementu relativno lako rešiti zamenom kritične deonice u relativno kratkom vremenu, uz minimalna ulaganja. Iz navedenih razloga, investicije u zamenu dotrajalih 10 kV vodova su često odlagane, ne samo u okviru istog planskog perioda, već su, zbog što ravnomernije preraspodele sredstava između planskih perioda, odlagane iz jednog planskog perioda u drugi planski period.

Unutar svake podgrupe investicija u zamenu dotrajalih elemenata formirani su indeksi (ponderi) koji su računati kao količnik opterećenja elementa koji se zamenjuje zbog dotrajalosti i vrednosti investicije u njegovu zamenu. Analizirajući godine izlaska iz pogona svih razmatranih elemenata mreže, odnosno njihov životni vek, došlo se do zaključka da u razmatranim DEES postoje elementi čiji je životni vek istekao pre deset i više godina. Kako bi ovi elementi dobili na važnosti, uveden je koeficijent ( $k_g$ ) koji uzima u obzir razliku u godinama razmatrane etape razvoja i godine izlaska iz pogona dotrajalog elementa. Uzimajući u obzir koeficijent  $k_g$ , opterećenje elementa i vrednosti investicija u njihovu zamenu, formirani su indeksi po formuli:

$$I_x = \frac{P_e}{I} (1 + k_g \cdot (G_{et} - G_{ip}))$$

gde je:

$P_e$  - opterećenje dotrajalog elementa,

$I$  - vrednost investicije u zamenu dotrajalog elementa,

$k_g$  - koeficijent izlaska iz pogona elementa,

$G_{et}$  - godina razmatrane etape,

$G_{ip}$  - godina izlaska iz pogona dotrajalog elementa.

Na ovaj način favorizovali bi se elementi čiji je životni vek istekao pre deset i više godina u odnosu na elemente koji izlaze iz pogona u razmatranoj etapi bez obzira na nivo opterećenja i vrednosti investicije u njegovu zamenu. Ako je godina izlaska iz pogona elemenata iz iste grupe, u istoj etapi razvoja, približno ista nije nužno uvoditi koeficijent tj. vrednost koeficijenta  $k_g$  je nula. Na sličan način mogu se uvažiti i raspoložive informacije o indeksu zdravlja pojedinih transformatora.

Dodatno je potrebno objasniti na koji način se formiraju indeksi (ponderi) za investicije u rekonstrukciju 10 kV deonica. Naime, investicije u zamenu kablovskih 10 kV deonica su tretirane ne opisani način kao i investicije u zamenu svih ostalih elemenata mreže (transformatori i vodovi 35 kV), dok su investicije u zamenu dotrajalih 10 kV nadzemnih deonica sagledane zbirno za čitav 10 kV izvod na kojem su ugrađene. Za ovako zbirno sagledane dotrajale deonice na jednom 10 kV izvodu, formiran je jedinstven indeks (ponder). Najpre su analizirana opterećenja svake dotrajale deonice na izvodu za razmatranu etapu razvoja, i njena dužine. Za tako dobijene parove opterećenje-dužina formirana je suma proizvoda opterećenja svake dotrajale deonice i njene dužine, a zatim tako formirana suma podeljena sa ukupnom dužinom svih dotrajalih deonica. Na ovaj način, proračunata je usrednjena vrednost opterećenja na dotrajalim deonicama, koja predstavlja ulazni podatak u proračunu indeksa za dotrajale 10 kV elemente po prikazanoj formuli.

### **Ponderisanje investicija u cilju ispunjenja kriterijuma sigurnosti „n-1“**

Kriterijum sigurnosti „n-1“ koji se koristi pri planiranju razvoja i upravljanju distributivnim sistemom, a odnosi se na neraspoloživost jedne jedinice distributivnog sistema (transformator, distributivni vod), definisan je „Pravilima o radu distributivnog sistema“ (2) na sledeći način: “Kriterijum je zadovoljen, ukoliko pri neraspoloživosti jedne jedinice distributivnog sistema ostatak sistema zadovoljava uslove u pogledu dozvoljenih odstupanja napona i dozvoljenih termičkih opterećenja jedinica distributivnog sistema“. Za ovako definisan kriterijum, a uzimajući u obzir uobičajena tehnička ograničenja, kojima se definiše da kriterijum mora biti ispunjen za elemente mreže naponskog nivoa 110 kV, 35 kV i gradsku kablovsku mrežu napona 10(20) kV, analizom postojećeg stanja mreže obično se zaključi da postoje elementi mreže za koje kriterijum sigurnosti „n-1“ nije ispunjen. Takođe, formiranjem potencijalnih pravaca razvoja mreže, sagledava se potreba za ulaganjem u cilju obezbeđivanja sigurnosti elemenata koji u postojećem stanju imaju ispunjen ovaj kriterijum, ali zbog izlaska iz pogona pojedinih elemenata ili promene opterećenja na osnovu formirane prognoze potrošnje

električne energije i snage, kriterijum sigurnosti „n-1“ biva narušen. Detaljnom razradom mreže po etapama razvoja potrebno je definisati etapu u kojoj element gubi sigurnost u napajanju i u kojoj je neophodno investirati da se potrebna sigurnost održi na istom ili višem nivou. Za elemente mreže koji nemaju ispunjen kriterijum sigurnosti „n-1“, u okviru Studije (1), predviđeno je da se potrebni kriterijum ispuni u prvom petogodišnjem periodu (2017-2021. godina), a da predložena rešenja obezbede sigurno napajanje do kraja perspektivnog perioda (2035. godina).

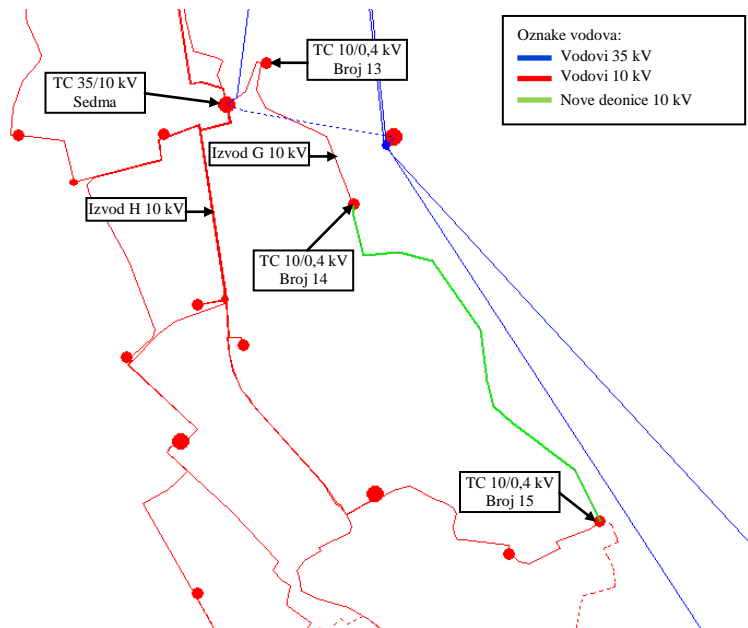
Grupa investicija koje se realizuju u cilju ispunjenja kriterijuma sigurnosti „n-1“ su investicije najnižeg prioriteta, ako se njihovom realizacijom obezbeđuje sigurno napajanje konzuma koji u postojećem stanju nema ispunjen kriterijum „n-1“ (u prvom petogodišnjem planu). Ipak, ako se ispadom nekog elementa u postojećem stanju može obezbediti sigurno napajanje ugroženog konzuma, kriterijum sigurnosti „n-1“ za dati element se mora obezbediti u svakoj etapi razvoja mreže, što stavlja ovu grupu investicija prioriternijim u odnosu na investicije u zamenu dotrajalih elemenata. Kao što je već pomenuto, sagledavajući vrednosti investicija u svakom od planskih perioda i težnju da se ukupne vrednosti investicija u svakom od njih što približnije raspodele, potrebno je pojedine investicije iz jednog planskog perioda odložiti za sledeći planski period. Kao posledica ovoga je promena prioriteta grupa investicija. Iz tog razloga je moguće, u prvom planskom periodu, investicijama u cilju ispunjenja kriterijuma „n-1“ za elementa koji u postojećem stanju nemaju ispunjen ovaj kriterijum, dodeliti veći prioritet od investicija u zamene dotrajalih elemenata (pre svega investicije u rekonstrukciju dotrajalih 10 kV deonica).

Kako bi se rangirale investicije u okviru grupe investicija u cilju ispunjenja kriterijuma sigurnosti „n-1“, kao i u okviru prethodno opisane tri grupe neophodno je formirati indekse (pondere). Za svaku investiciju u okviru ove grupe, indeks se izračunava kao količnik prognoziranog opterećenja konzuma u razmatranoj etapi razvoja za koji se obazbeđuje sigurno napajanje i vrednosti investicije koju je neophodno realizovati da bi se obazbedilo sigurno napajanje ugroženog konzuma. Na osnovu tako formiranih indeksa, izvršilo bi se rangiranje investicija tako da investicija sa najvećim indeksom (ponderom) bi imala najveći prioritet.

Primer rangiranja investicija u cilju ispunjenja kriterijuma „n-1“ biće prikazan u nastavku teksta.

**Primer** - U TABELA 1 i SLIKA 1, SLIKA 2 i SLIKA 3 dat je primer rangiranja investicija u cilju ispunjenja kriterijuma „n-1“.

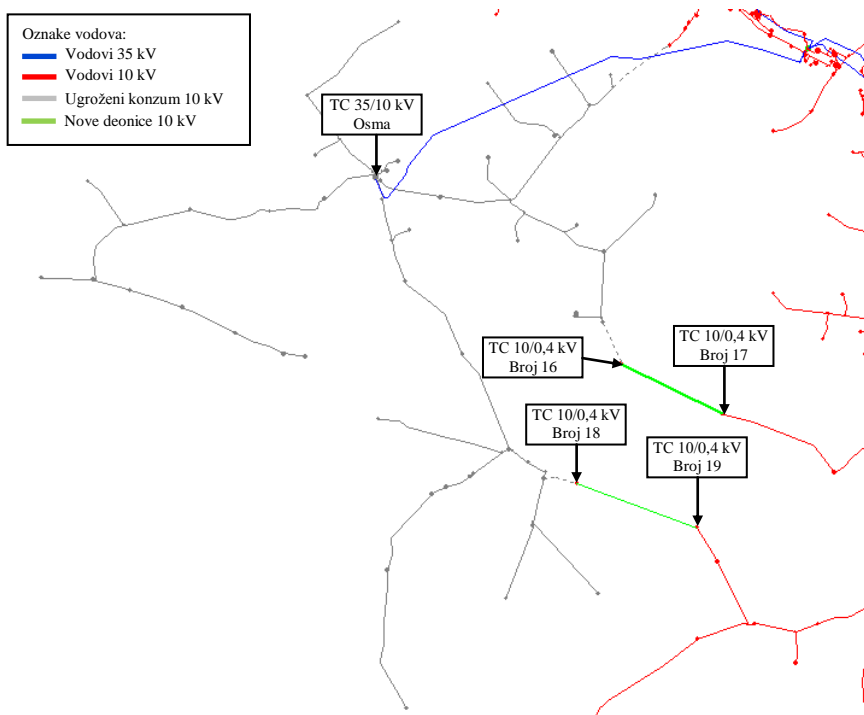
Na SLIKA 1-SLIKA 3 prikazane su tri konzuma koja pri ispada nekog od elemenata mreže ostaju bez napajanja, odnosno nije ispunjen kriterijum „n-1“. Na prvoj od tri slike (SLIKA 1), prikazan je radijalno napajan 10 kV izvod G iz TS 35/10 kV Sedma, na kome se nalaze TS 10/0,4 kV Broj 13 i TS 10/0,4 kV Broj 14. Prilikom kvara na početnoj deonici izvoda G (deonica TS 35/10 kV Sedma-TS 10/0,4 kV Broj 13) čitav konzum izvoda ostaje bez napajanja. Da bi se obezbedilo sigurno napajanje ugroženog konzuma, predlaže se izgradnja nove deonice TS 10/0,4 kV Broj 14 i TS 10/0,4 kV Broj 15, čime bi se formirala petlja izvoda G i izvoda H iz iste napojne TS 35/10 kV.



**SLIKA 1 – SIGURNO NAPAJANJE KONZUMA SA IZVODA G TS 35/10 KV SEDMA**

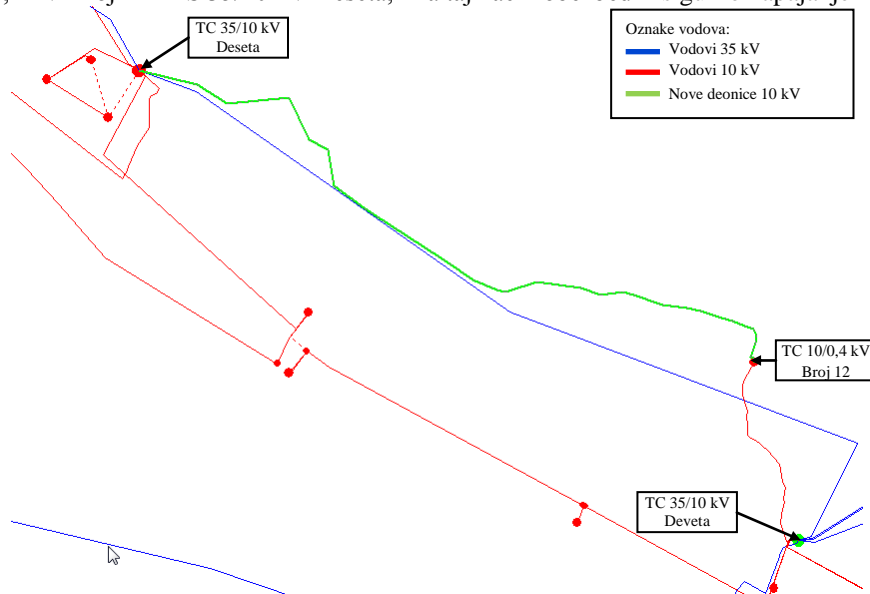
U drugom slučaju, na SLIKA 2 prikazan je radijalno napojen konzum sa TS 35/10 kV Osmi. Ako bi na napojnom 35 kV vodu za TS 35/10 kV Osmi došlo do kvara, čitav 10 kV konzum sa ove TS 35/10 kV bi ostao bez napajanja. Izgradnjom dve nove 10 kV deonice (TS 10/0,4 kV Broj 16-TS 10/0,4 kV Broj 17 i TS 10/0,4 kV Broj 18-TS 10/0,4 kV Broj 19), formirala bi se dva nova međupovezna voda između susednih TS 35/10 kV.

Preko novoizgrađenih deonica, putem 10 kV mreže, čitav ugroženi konzum sa TS 35/10 kV Osma moguće je prihvatiti iz pravca susedne TS 35/10, čime bi se obezbedilo sigurno napajanje (ispunjen kriterijum „n-1“).



**SLIKA 2 – SIGURNO NAPAЈANJE KONZUMA SA TS 35/10 KV OSMA**

Na SLIKA 3 prikazana je radijalno napajana TS 10/0,4 kV Broj 12 iz TS 35/10 kV Deveta. U slučaju ispada napojnog voda za TS 10/0,4 kV Broj 12, ova TS bi ostala bez napajanja. Potrebno je izgraditi rezervnu deonicu između TS 10/0,4 kV Broj 12 i TS 35/10 kV Deseta, i na taj način obezbedili sigurno napajanje za TS 10/0,4 kV.



**SLIKA 3 – SIGURNO NAPAЈANJE KONZUMA SA TS 10/0,4 KV BROJ 12**

Iz TABELA 1 se može videti opterećenja konzuma čiju sigurnost obezbeđujemo i vrednosti investicija neophodnih da bi se ispunio kriterijum „n-1“. Na osnovu ove dve grupe podataka lako možemo proračunati pondere (indekse) prostim deljenjem opterećenja ugroženog konzuma i vrednosti investicije. Poredeći vrednosti formiranih pondera, investicija neophodna da bi se obezbedilo sigurno napajanje za konzum izvoda G iz TS 35/10 kV Sedma bi imalo najviši rang prioriteta (najveći indeks), dok bi investicija u sigurno napajanje TS 10/0,4 kV Broj 12 imala najniži rang prioriteta (najmanji indeks).



**TABELA 1 – RANGIRANJE INVESTICIJA U CILJU ISPUNJENJA KRITERIJUMA SIGURNOSTI  
“N-1”**

Naziv investicije	Opterećenje konzuma čija se sigurnost obezbeđuje [MW]	Vrednost investicije [1000 €]	Ponder (Indeks)	Rang prioriteta
Sigurno napajanje konzuma sa 10 kV izvoda G iz TS 35/10 kV Sedma	0.231	21.6	0.010694	1
Sigurno napajanje konzuma sa TS 35/10 kV Osmo	0.534	85.32	0.006259	2
Sigurno napajanje konzuma sa TS 10/0.4 kV Broj 12	0.064	56.005	0.001143	3

## ZAKLJUČAK

Planovi razvoja distributivnog sistema su od izuzetnog značaja i zbog toga je veoma bitno što je moguće realnije sagledati potrebu za svakom predloženom investicijom. Takođe, isto tako je značajno predvideti kada bi predložena investicija mogla biti realizovana, što diktira formirana prognoza potrošnje električne energije i snage kao i stanje svih postojećih elemenata u mreži, ali i raspoloživi resursi za realizaciju, kao i mogućnost realizacije sa vremenskog aspekta. Kada će neka investicija biti realizovana značajna je sa aspekta planiranja godišnjeg budžeta distributivnog preduzeća.

Poslednjih nekoliko godina obaveza Operatora distributivnog sistema (ODS) je da dostavi desetogodišnje planove razvoja. Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, je u proteklih pet godina realizovao dve studije razvoja distributivnog sistema na području ogranaka Užice, Kruševac, Čačak, Jagodina i Arandelovac, u okviru kojih se od obrađivača zahtevalo da se detaljno razrade desetogodišnji planovi razvoja (svaka godina unutar prvog desetogodišnjeg perioda), što je predstavljalo upravo one planove koje je potrebno da ODS dostavi „Agenciji za energetiku Republike Srbije“ (AERS). Sagledavajući potrebu za izradom planova, ovakve studije razvoja distributivnog sistema dobijaju na značaju, jer kroz studije sve predložene investicije moraju biti opravdane, dok je dinamika njihovih realizacija bazirana na metodologiji koja je izložena u ovom radu.

Predložena metodologija rangiranja investicija pored „Studije dugoročnog razvoja DEES na području ogranaka Čačak, Jagodina i Arandelovac“ (1), u nešto manje razvijenoj formi primenjena je i u „Studiji razvoja distributivne mreže na teritoriji ogranaka Užice i Kruševac“ (4). U sličnoj formi, metodologija je primenjena i na studije razvoja izvan granica Republike Srbije, tačnije “Study of distribution network development in the area of Meram“ (5), koja je realizovana za potrebe Elektrodistribucije Turske.

Opisana metodologija bi trebala biti osnova za buduće studije kroz koje bi se formirali planovi razvoja distributivnih mreža, a predložena metodologija bi ostavila prostor za dalji razvoj. U izloženoj metodologiji, moguće je izvršiti korekcije, ali i omogućiti sagledavanje novih problema koji bi se možda javili na području obrađivanih elektrodistributivnih mreža. U svakom slučaju, metodologija rangiranja investicija predstavlja dobru bazu za formiranje dinamike realizacija investicija koje su sagledane u okviru planskog perioda.

## LITERATURA

1. „Studija perspektivnog razvoja DEES na području ogranaka Čačak, Jagodina i Arandelovac“, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd, 2017.
2. „Pravila o radu distributivnog sistema“, „EPS Distribucija“, 2017.
3. „Tehničke preporuke Direkcije za distribuciju EPS-a“.
4. „Studija razvoja distributivne mreže na teritoriji ogranaka Užice“, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd, 2015.
5. “Study of distribution network development in the area of Meram“, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd, Siemens d.o.o. Belgrade, 2015.