

Revitalizacija vodnog polja visokonaponskog rasklopnog postrojenja

Bivolčević, Marija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:614323>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-22**

Repository / Repozitorij:

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



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

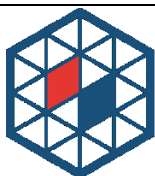
Sveučilišni studij

**REVITALIZACIJA VODNOG POLJA
VISOKONAPONSKOG RASKLOPNOG POSTROJENJA**

Diplomski rad

Marija Bivolčević

Osijek, 2022.

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

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 30.08.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Ime i prezime Pristupnika:	Marija Bivolčević
Studij, smjer:	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	D-1309, 11.10.2020.
OIB studenta:	94233206534
Mentor:	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	Andrej Mađarac
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Fekete
Član Povjerenstva 1:	Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
Član Povjerenstva 2:	Nemanja Mišljenović, mag. ing. el.
Naslov diplomskog rada:	Revitalizacija vodnog polja visokonaponskog rasklopnog postrojenja
Znanstvena grana diplomskog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak diplomskog rada:	U diplomskom radu potrebno je dati pregled aparata koji se koriste u vodnom polju visokonaponskog rasklopnog postrojenja. Nadalje, potrebno je definirati smjernice prema kojima se predlaže zamjena ili revitalizacija pojedinih aparata u vodnom polju. Na primjeru vodnog polja, potrebno je provesti tehno-ekonomsku analizu odabira pojedinog aparata promatranog vodnog polja. Sumentor iz HOPS-a: Andrej Mađarac, dipl.ing.el. Tema rezervirana za studenta: Marija Bivolčević
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	30.08.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

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

Osijek, 09.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Marija Bivolčević

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1309, 11.10.2020.

Turnitin podudaranje [%]:

9

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Revitalizacija vodnog polja visokonaponskog rasklopnog postrojenja**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević

i sumentora ,

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

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak diplomskog rada	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME	2
3. VODNO POLJE VISOKONAPONSKOG POSTROJENJA	3
3.1. Izbor rastavljača	4
3.2. Izbor prekidača	6
3.3. Izbor strujnih i naponskih mjernih transformatora	7
4. KRITERIJI I METODOLOGIJE U REVITALIZACIJI	9
4.1. Starenje opreme	11
4.1.1. Prekidači	12
4.1.2. Rastavljači	13
4.1.3. Mjerni transformatori	14
4.1.4. Sabirnice	14
4.1.5. Ostala oprema u transformatorskoj stanici	14
4.2. Kvarovi i neraspoloživost opreme	15
4.3. Procjena uloge i značaja	18
4.4. Ekonomski kriterij	19
4.5. Kriteriji i metodologija pri izradi liste prioriteta	20
5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA IZBORA ELEMENATA VODNOG POLJA	25
5.1. Izbor prekidača u 110 kV vodnom polju	26
5.2. Izbor rastavljača u 110 kV vodnom polju	29
5.3. Izbor mjernih transformatora u 110 kV vodnom polju	31
6. ZAKLJUČAK	35
7. SAŽETAK	36
8. ABSTRACT	37
LITERATURA	38
ŽIVOTOPIS	40

1. UVOD

Visokonaponska oprema i uređaji u elektroenergetskom sustavu stare i troše se za vrijeme svoje životne dobi. Zbog povećanog broja komponenti koje su pri isteku životnog vijeka, a čija je neraspoloživost povećana, može doći smanjenja pouzdanosti i sigurnosti opskrbe električnom energijom, a time i povećanja troškova rada elektroenergetskog sustava. U prošlosti je glavni razlog za modernizaciju sustava bio porast opterećenja, pa je zbog toga danas, u vrijeme nižeg porasta opterećenja, većina opreme i aparata u mogućnosti ispunjavati svoju ulogu u sustavu do isteka životne dobi. Zbog toga se javlja problem da velik broj opreme, koji je onda ugrađen, u isto vrijeme dolazi do kraja životnoga vijeka. Također je potrebno optimalno planiranje zamjena i rekonstrukcija, odnosno revitalizacija, u planiranju razvoja prijenosne mreže kako bi se postigla zadovoljavajuća sigurnost opskrbe i raspoloživosti sustava te omogućio priključak novih korisnika i integraciju obnovljivih izvora energije sustav. Prema tome, plan revitalizacija treba izrađivati uzimajući u obzir dugoročni razvoj prijenosne mreže, dok kratkoročno planiranje revitalizacija se oslanja na ulogu i trenutno stanje opreme u mreži.

U radu je navedeno kako se vrši izbor pojedinog elementa visokonaponskog vodnog polja i koji parametri visokonaponskog aparata su pri tome ključni. Stanje i značaj visokonaponske opreme osnovni su kriteriji koji su razrađeni i prema kojima se određuju kandidati za revitalizaciju. Prema tim kriterijima stanja opreme, njenog značaja u sustavu i ekonomske opravdanosti revitalizacije prikazana je metodologija pri izradi liste prioriteta za revitalizaciju. U posljednjem poglavlju provedena je tehno-ekonomska analiza izbora aparata jednog vodnog polja promatrane 110 kV trafostanice.

1.1. Zadatak diplomskog rada

U diplomskom radu potrebno je dati pregled aparata koji se koriste u vodnom polju visokonaponskog rasklopnog postrojenja. Nadalje, potrebno je definirati smjernice prema kojima se predlaže zamjena ili revitalizacija pojedinih aparata u vodnom polju. Na primjeru vodnog polja, potrebno je provesti tehno-ekonomsku analizu odabira pojedinog aparata promatranog vodnog polja.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

Revitalizacija je dio procesa održavanja i razvoja elektroenergetske mreže te je sastavni dio desetogodišnjih investicijskih planova razvoja prijenosne mreže kojeg izrađuje i donosi Hrvatski operator prijenosnog sustava d.d. (u daljnjem tekstu HOPS). Trenutno je važeći „Desetogodišnji plan razvoja hrvatske prijenosne mreže 2021.-2030. s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje“ objavljen 17. ožujka 2021. godine nakon odobrenja Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA). Tekst plana razvoja, kao i svi prethodni planovi razvoja, mogu se pronaći na stranicama HOPS-a. Aktualni plan razvoja korišten je kao literatura [1] ovog diplomskog rada, jer je isti rezultat najnovijih događanja i spoznaja u razvoju prijenosne mreže. Dio plana razvoja je revitalizacija i rekonstrukcija pojedinih dijelova mreže do kojih dolazi zbog premašenog životnog vijeka jedinica, komponenti i opreme te zbog neraspoloživosti jedinica koje uzrokuju povećano narušavanje pouzdanosti sustava. Ovisno o stanju i značaju komponente te financijskim sredstvima koriste se metodologije koje daju optimalan poredak kandidata za revitalizaciju.

Razmatranjem kriterija i metodologija prilikom planiranja izgradnje i razvoja, odnosno revitalizacije i rekonstrukcije prijenosne mreže prikazuje članak [2] u kojem se navodi da jedini dokument koji definira i određuje pravila za procese planiranja razvoja prijenosne mreže su Mrežna pravila hrvatskog EES [3]. Detaljnije kriterije i metodologije u revitalizaciji mreže razmatra doktorski rad Davora Bajsa na Energetskom institutu Hrvoje Požar [4] i studija „Kriteriji i metodologija za definiranje liste prioriteta kod zamjena i rekonstrukcija elemenata prijenosne mreže“ koju je za HOPS izradio Energetski institut Hrvoje Požar [5].

Osim životnog vijeka i neraspoloživosti komponenti operatori se susreću s problemom porasta potražnje za električnom energijom što dovodi do porasta struja kratkog spoja i prijenosnih kapaciteta te stoga ugrađena oprema više ne zadovoljava termička i mehanička naprezanja. Članak [6] se bavi povećanjem nazivne i podnosive kratkospojne struje te daje uvid u procese revitalizacije i rekonstrukcije trafostanica.

3. VODNO POLJE VISOKONAPONSKOG POSTROJENJA

Visokonaponska postrojenja nazivnog napona 110 kV, 220 kV i 400 kV dio su prijenosne mreže u Hrvatskoj. Prema izvedbi ta postrojenja su otvorena ili izolirana plinom. Glavni dijelovi postrojenja se mogu podijeliti u električni (rasklopno postrojenje) i građevinski dio (ograđeni plato i zgrade) [7].

Električni dio čine primarno postrojenje, sekundarno (pomoćno) postrojenje, pomoćni uređaji i sustavi, telekomunikacije te uzemljenje. Primarni dio se sastoji od sabirnica koja su električka čvorišta mreže te polja koja te sabirnice povezuju, a čiji je glavni element prekidač [8].

Vrste polja koje postrojenje sadrži ovisi o njihovoj namjeni, tako razlikujemo [7]:

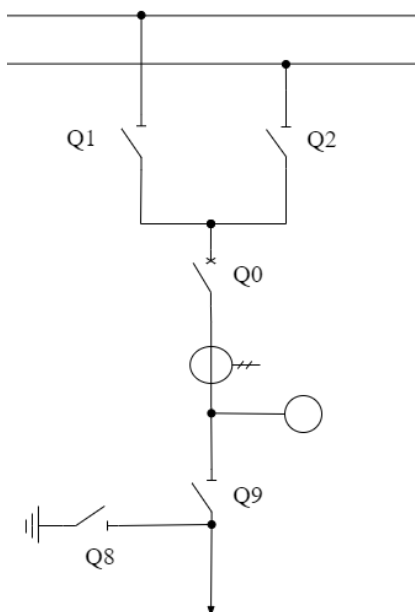
- vodna polja imaju ulogu priključka vodova na postrojenje,
- transformatorska polja za priključak transformatora,
- generatorska polja za priključak generatora,
- mjerna polja za priključak mjernih transformatora te
- spojna polja za povezivanje sabirničkih sustava.

Sekundarni dio postrojenja se sastoji od sustava za nadzor, upravljanje i zaštitu te mjerenje, napajanje, signalizaciju i regulaciju. Pomoćne sustave čine rasvjeta, grijanje, hlađenje, zaštita od munje, protupožarna zaštita i dr. [7].

Vodno polje čija je uloga dovod i odvod energije u postrojenje, prema jednopolnoj shemi prikazanoj na slici 3.1., sastoji se od:

- sabirničkih rastavljača Q1 i Q2,
- prekidača Q0,
- strujnog i naponskog mjernog transformatora te
- izlaznog rastavljača Q9 i
- rastavljača za uzemljenje Q8.

U većini slučajeva rastavljači Q8 i Q9 su jedan rastavljač s noževima za uzemljenje.



Slika 3.1. Jednopolna shema vodnog polja

3.1. Izbor rastavljača

„Uloga rastavljača u postrojenju je vidljivo odvajanje dijela rasklopnog postrojenja koji nisu pod naponom od dijela postrojenja koje je pod naponom.“ [7] Zadatak rastavljača je povećanje sigurnosti radnika i osoblja koji izvode radove čišćenja, ispitivanja, remonta ili popravaka dijela koji je isključen, jer je položaj noževa (kontakata) vidno odvojen. Naglasak je na tome da je vidljivo odvojeno jer se rastavljačem ne smije manipulirati kada kroz njega teče struja, on nema mogućnost prekidanja strujnog kruga i gašenja električnog luka koji pri tome nastaje [7].

Parametri za izbor rastavljača su [8]:

- nazivni napon,
- nazivna struja,
- udarna struja kratkog spoja,
- struja kratkog spoja.

Prilikom odabira rastavljača mjerodavna je maksimalna struja rastavljača u normalnom pogonu, tj. nazivna struja rastavljača, koja može trajno teći kroz rastavljač, a da temperatura vodiča ne prekorači dopuštenu granicu [7]. Nakon odabira rastavljača prema nazivnom naponu i struji vrši se kontrola izbora s obzirom na trajnu struju kratkog spoja koja uzrokuje zagrijavanje (termička naprezanja) te udarnu struju kratkog spoja koja uzrokuje mehanička naprezanja na mjestu gradnje

i izdržljivost konstrukcije. U katalogima proizvođači navode podatke o dozvoljenoj udarnoj struji i o dozvoljenoj struji mjerodavnoj za ugrijavanje koju rastavljač može izdržati jednu sekundu [8].

Ako se dogodi da kratki spoj traje duže ili kraće od 1 sekunde, iznos dozvoljene struje određujemo sljedećim izrazom [8]:

$$I_t = \frac{I_{t1}}{\sqrt{t}} \quad (3-1)$$

gdje je I_{t1} dozvoljena jednosekundna struja, a t vrijeme trajanja kratkog spoja u sekundama.

Ako se kontrolom ustanovi da rastavljač ne može izdržati termička i mehanička naprezanja onda se odabire rastavljač veće nazivne struje da bi se spriječilo njegovo oštećenje u slučaju kratkog spoja.

S obzirom na poziciju u polju mogu biti sabirnički ili linijski rastavljači koji još mogu sadržavati i noževe za uzemljenje. Ako postoje noževi za uzemljenje onda su oni mehanički blokirani da rastavljač kojim teče struja ne može uklopiti noževe za uzemljenje. Postavljaju se tako da sve tri faze istovremeno otvaraju ili zatvaraju svoje kontakte, a ovisno koliko prostora imaju i da sve bude vidljivo mogu se postaviti u brazdu, paralelno ili dijagonalno. Pogoni rastavljača mogu biti ručni (polugom direktno na mjestu gdje je rastavljač), pneumatski (postrojenje sadrži pneumatske prekidače) i elektromotorni. Upravljanje se može vršiti daljinski preko računala i SCADA sustava, iz razvodnog ormara te iz kućišta pogona rastavljača. Ovisno o načinu sklapanja kontakata izvedbe visokonaponskih rastavljača su različite: okretni rastavljač s krajnjim ili središnjim rastavljanjem, trostupni okretni rastavljač, pantografski rastavljač i dr.[7]



Slika 3.2. Rastavljači [7]

3.2. Izbor prekidača

„U elektroenergetskom postrojenju prekidač je uređaj koji služi za uklapanje i isklapanje strujnih krugova, ali također i za zaštitu strujnih krugova od kratkog spoja ili preopterećenja. Njihova osnovna zadaća jest pravovremeno prekidanje strujnog kruga, kako bi se spriječila daljnja oštećenja, a za razliku od osigurača, prekidač se može ponovno uklopiti bilo ručno ili automatski te nastaviti s normalnim radom. Prekidač predstavlja jedinstveni uređaj u usporedbi s ostalim elementima rasklopnog postrojenja, što znači da može duži vremenski period biti u uklopljenom stanju, a opet u danom trenutku, bez obzira na pogonske uvjete mora pouzdano prekinuti strujni krug.“ [9]

Vrste i podjele prekidača su različite ovisno o nazivnom naponu, mjestu ugradnje, mediju za gašenje te dizajnu. Visokonaponski prekidači, prema mediju za gašenje električnog luka, dijele se na zračne, uljne, vakumske i SF₆ prekidače [9].

U današnje vrijeme najčešće se koriste SF₆ prekidači koji koriste SF₆ plin kao medij za gašenje električnog luka. Karakteristike SF₆ plina su velika dielektrična čvrstoća, visoka toplinska vodljivost, inertan, nezapaljiv, nekorozivan, bez mirisa, netoksičan i ima vrlo brzu rekombinaciju nakon gašenja luka što znači da nema potrošnje medija za gašenje luka [9]. Zbog svih ovih karakteristika SF₆ prekidači imaju vrlo kratko vrijeme gašenja luka, potpuno su zatvoreni i bešumni te nema ispuštanja plina u atmosferu što znači da su sigurni u postrojenjima u kojima postoji opasnosti od eksplozije. Ova izvedba prekidača je skuplja od ostalih, ali se pokazala pouzdanom i efikasnom.

Izbor prekidača se vrši prema:

- nazivnoj struji,
- nazivnom naponu te
- rasklopnj moći, koja predstavlja osnovnu karakteristiku prekidača.

Prekidač treba biti sposoban isklopiti struju kratkog spoja na mjestu ugradnje. Do potrebne jakosti struje dolazi se proračunima ili simulacijama, a na temelju tih rezultata, iz kataloga se odabire odgovarajući prekidač. Nakon izbora prekidača prema struji kratkog spoja, radi se kontrola izbora prema termičkoj struji I_t i udarnoj struji kratkog spoja [7].

Razlikujemo trolno i jednopolno upravljanje prekidačem. Trolno uklapanje i isklapanje prekidačem pokreće jedan zajednički pogon, dok se jednopolna izvedba sastoji od tri nezavisna

pogona, što znači da se svaka faza može zasebno uklopiti/isklopiti neovisno o ostalima. Isto je značajno kod pojave jednofaznih kratkih spojeva u mreži gdje ostale dvije zdrave faze mogu ostati u pogonu dok se otkloni kratki spoj. Također dodatna mogućnost prekidača je automatski ponovni uklop nakon prekida kratkog spoja. S beznaponskom pauzom APU otklanja 60-70% kratkih spojeva, a ciklus uklapanja daje se u obliku O-0,3s-CO-3min-CO što znači isključenje struje kratkog spoja pa slijedi beznaponska pauza 0,3 s te uključenje i isključenje pa beznaponska pauza 3 minute i nakon toga ponovno uključenje i isključenje [7].



Slika 3.3. Prekidači [7]

3.3. Izbor strujnih i naponskih mjernih transformatora

Visokonaponski naponski i strujni mjerni transformatori prilagođavaju (transformiraju) pogonske struje i napone na veličine koje omogućuju upotrebu uređaja za zaštitu, mjerenje i druge sekundarne potrebe. Mjerni transformatori sadrže jezgru od elektromagnetskih materijala te primarne i sekundarne namote koji su galvanski odvojeni. Primarni namot je spojen u mjerni strujni krug, a na željeni uređaj za mjerenje ili zaštitu sekundarni namot se spaja [8]. Danas se

najčešće u postrojenjima mogu pronaći kombinirani mjerni transformatori koji se sastoje od dvije mjerne jedinice induktivnog naponskog transformatora i strujnog transformatora, primjer je prikazan na slici 3.4. [10].

Izbor mjernih transformatora se obavlja prema izvedbi, najvišem pogonskom naponu, broju namota i prijenosnom omjeru, te klasi točnosti i nazivnoj snazi, a strujni još i prema nadstrujnom broju. Nazivni sekundarni napon naponskog transformatora je 100 V, a nazivna sekundarna struja strujnog transformatora je 5 A za niski napon odnosno 1 A za visoki napon. Klasa točnosti određuje granice dopuštene naponske i strujne pogreške uz primarne vrijednosti 10 do 120% uz opterećenje 25 do 100% nazivne snage. Nadstrujni broj je višekratnik primarne nazivne struje SMT, uz priključen nazivni teret, pri kojoj je pogreška -10 %, a taj se parametar još naziva faktor sigurnosti i faktor točnosti ovisno o tome koristi li se mjerni transformator za mjerenje ili zaštitu [7].

Kontroliraju se i ostali parametri mjernih transformatora s naglaskom na stvarno opterećenje koje mora biti unutar granica dopuštenog, a kontrolira se i sila na vrhu NMT od udarne struje kratkog spoja te termička struja kratkog spoja [7].



Slika 3.4. Kombinirani mjerni transformatori [10]

4. KRITERIJI I METODOLOGIJE U REVITALIZACIJI

Prema [1] „revitalizacija je skup aktivnosti na zamjenama pojedinih jedinica/uređaja/komponenti u prijenosnoj mreži kako bi se očuvala njihova tehnička ispravnost te za koju nije potrebna građevinska dozvola (zamjena transformatora, zamjena sekundarne opreme, zamjena prekidača, rastavljača..). Pod rekonstrukcijom se smatra izvedba građevinskih i drugih radova na postojećoj građevini kojima se utječe na ispunjavanje temeljnih zahtjeva za tu građevinu ili kojima se mijenja usklađenost te građevine s lokacijskim uvjetima u skladu s kojima je izgrađena (dograđivanje, nadograđivanje, uklanjanje vanjskog dijela komponente, izvođenje radova radi promjene namjene građevine ili tehnološkog procesa i sl.), odnosno izvedba građevinskih i drugih radova na ruševini postojeće građevine (prijenosni vodovi, transformatorske stanice).“ Primjenom kriterija i metodologija za rekonstrukciju i revitalizaciju HOPS je utvrdio redosljed građevina, objekata, uređaja i komponenti za rekonstrukcije i revitalizacije koje će ili premašiti životni vijek ili su im narušene tehničke karakteristike. Cilj revitalizacije je i povećanje prijenosne moći u dijelu prijenosne mreže zbog priključenja novih korisnika, a konačni opseg revitalizacije određuje se odgovarajućim tehno-ekonomskim analizama.

U prošlosti glavni razlog razvoja i modernizacije sustava je bio porast opterećenja, oprema se zamjenjivala jer njezini parametri nisu više bili usklađeni s promijenjenim zahtjevima, a danas s nižim porastom opterećenja većina opreme zadovoljava kvantitativno i kvalitativno sve do kraja svog životnog vijeka te se pojavljuje u sustavu da velik broj opreme ugrađene u periodu velikog porasta potrošnje u isto vrijeme doseže kraj svog životnog vijeka.

Zbog velikog broja stare opreme s povećanom neraspoloživosti, dolazi do narušavanja pouzdanosti i smanjenja sigurnosti opskrbe, tj. povećanih troškova rada elektroenergetskog sustava. Iz toga slijedi da se planovi revitalizacija i rekonstrukcija mogu podijeliti na [1]:

- operativno planiranje,
- dugoročno planiranje.

Dugoročno planiranje se provodi usporedbom starosti jedinice i očekivanog životnog vijeka. Ako se pokaže da nije narušena pouzdanost sustava ili sigurnost opskrbe, revitalizaciju i rekonstrukciju treba odgoditi, a financijska sredstva maksimalno iskoristi u druge revitalizacije u prijenosnoj mreži [1].

Prioritete za kratkoročno planiranje potrebno je odrediti prema stvarnom trenutnom stanju jedinice i značaju koju ima u prijenosnoj mreži. Pri izradi plana razvoja procjenjuje se optimalan poredak kandidata na temelju stanja i značaja, a ovisno o financijskim mogućnostima jedan dio kandidata (prijenosnih vodova i transformatorskih stanica) se rekonstruira ili revitalizira svake godine [1].

Prilikom izrade plana razvoja uzimaju se u obzir i planovi novih korisnika mreže koji su dostavili zahtjeve za priključke te se sagledavaju načini priključenja i njihov utjecaj na razvoj sustava. Također, obuhvaća se i izgradnja novih objekata i njihova mogućnost izgradnje prema prostornim, okolišnim i drugim ograničenjima te ekonomsku opravdanost izgradnje. Ukupni trošak razvoja i revitalizacije procjenjuje se s obzirom na trenutnu razinu jediničnih cijena visokonaponske opreme, određenu javnim natječajima HOPS-a i ponudama izvođača radova ili proizvođača te opreme.

Prilikom izrađivanja plana razvoja HOPS mora uzeti u obzir kriterije planiranja koje definiraju Mrežna pravila prijenosnog sustava (NN 67/2017, 128/2020) [3] kao i kriterije planiranja koja definira ENTSO-E TYNDP 2020. godine:

- tehnička ocjena projekta: fleksibilnost i elastičnost predloženog rješenja,
- minimalni trošak provedbe projekta,
- minimalni ekološki i sociološki utjecaji,
- sigurnost opskrbe prema uvjetima kvalitete opskrbe,
- veće socijalne koristi i integracija tržišta električne energije EU,
- održivost projekta: smanjiti gubitke u prijenosu, smanjiti emisije CO₂, integracija OiE.

Ekonomska procjena koristi i troškova investicije pruža važne informacije o pokretanju i procesu njihova odobravanja od strane HERA-e. U korist investicije je uključeno povećanje sigurnosti napajanja kroz smanjenje troškova u prijenosnoj mreži (troškovi neisporučene električne energije, troškovi gubitaka u mreži, troškovi preraspodjele proizvodnje po elektranama te ostali troškovi). Od sustavnog je značaja da investicije u prijenosnu mrežu osnaže sigurnost rada mreže i opskrbu krajnjih kupaca prema (n-1) kriteriju ili nekom drugom tehničkom kriteriju [1].

Glavni kriteriji pri odabiru jedinica za revitalizaciju, odnosno slaganje liste prioriteta za zamjene i rekonstrukcije, su starenje i pouzdanost opreme te njihova uloga i značaj u sustavu. Prema [4] postoji više čimbenika koji utječu na stanje opreme i određivanje prioriteta za revitalizaciju, a to su:

- starost promatrane opreme i njena očekivana životna dob,
- frekvencija kvarova za promatranu opremu u godini dana,
- trenutno stanje i dodatni posao održavanja opreme,
- regulatorni zahtjevi i zahtjevi zaštite okoliša zbog ispuštanja plina ili ulja,
- troškovi održavanja i popravaka,
- troškovi zamjene ili popravka te ostanka u pogonu,
- raspoloživost rezervnih dijelova,
- sposobnost osoblja u održavanju i popravcima,
- sigurnost za zaposlenike u blizini promatrane opreme,
- javna sigurnost okoline i susjedne opreme,
- zastarjeli dizajn i njegova funkcionalnost,
- utjecaj na kvalitetu opskrbe,
- utjecaj na potrošače koji se napajaju,
- utjecaj na kompaniju i njezino poslovanje te
- pravovremena mogućnost izvođenja zamjena i rekonstrukcija.

Svaki čimbenik ima određeni faktor rizika prema kojem se oprema razvrstava u kategorije niskog, srednjeg i visokog rizika, a prema tom faktoru određuju se i aktivnosti popravaka ili zamjene.

4.1. Starenje opreme

Za vrijeme svoje životne dobi oprema i uređaji u električnoj mreži stare i troše se. Smatra se da oprema ima svoje životno vrijeme unutar kojeg radi prema određenim karakteristikama bez puno zastoja i kvarova, a starenjem postupno gubi karakteristike i svojstva te se kvarovi sve češće javljaju. Redovitim održavanjem može raditi pouzdano sve dok zbog starosti više nema mogućnost ispravnog rada.

Na životnu dob utječu različiti klimatski uvjeti, okoliš, održavanje i druge aktivnosti. Može se uočiti da građevinske komponente, ukoliko se redovno održavaju i saniraju, imaju dvostruko veći životni vijek od električnih komponenti koje se dodatno troše električnim sklapanjima, prenaponima i kratkim spojevima. Glavni proces koji utječe na čelično-rešetkaste stupove je korozija kojoj su najviše izloženi vijci, a moguće ju je usporiti premazivanjem antikorozivnim

sredstvima. Stoga iz [4] slijedi da uz sanacije i održavanja stupovi i čelične konstrukcije mogu imati očekivanu životnu dob oko 80 godina (63 ± 21 godinu).

4.1.1. Prekidači

Na životnu dob i starenje visokonaponskih prekidača najveći utjecaj imaju [4]:

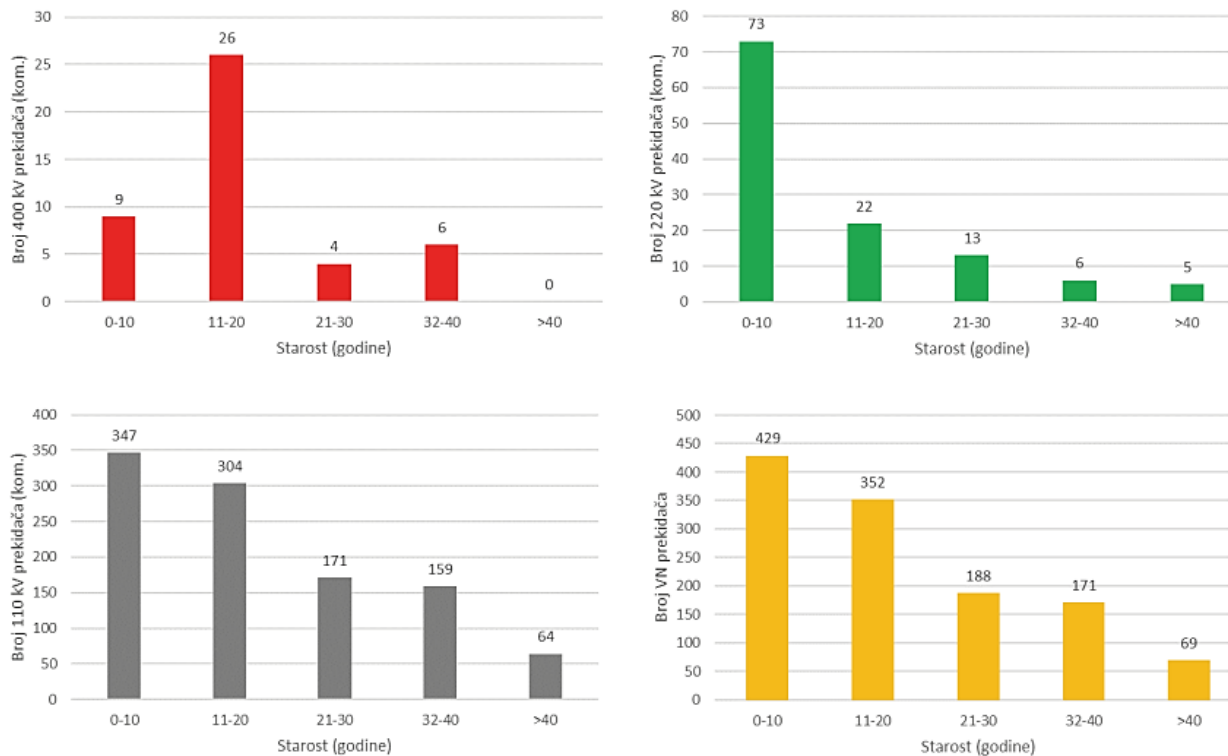
- tip i konstrukcija,
- količina sklopnih operacija u normalnom pogonu,
- broj prekida struje kratkog spoja,
- broj isklopa induktivnih i kapacitivnih struja,
- aktivnosti održavanja,
- stanje okoliša (temperatura, vlažnost, zagađenje).

Prekidač u polju je važan za pouzdanost sustava u cjelini te treba obratiti posebnu pozornost na njegovo stanje u smislu promatranja, ispitivanja, dijagnostike i održavanja. Stvarno stanje moguće je utvrditi pregledom pogonskih događaja (broj sklopnih operacija, broj isklapanja kratkog spoja), aktivnosti i održavanja, te dijagnostičkih zapisa za vrijeme proizvodnje ili pogona prekidača. Broja prekidača u elektroenergetskom sustavu je velik pa je uobičajeno vršiti statističku obradu pojedinačnih karakteristika, zapisa iz pogona i rezultata dijagnostičkih ispitivanja te procijeniti životni vijek za grupu istovrsnih prekidača [4].

U literaturi [4] autori navode kako prosječni godišnji troškovi održavanja prekidača iznose oko 1 % cijene novog prekidača, a ukoliko oni narastu na oko 5 % potrebno je provesti tehno-ekonomsku analizu da bi se procijenila opravdanost zamjene prekidača. Stoga je potrebno uzeti u obzir sve troškove koji nastaju u životnom ciklusu od instalacije do održavanja i prilagodbe prekidača te se najčešće u stare prekidače ne ulaže zbog visokih troškova rezervnih dijelova, ispada radi neispravnosti, nezadovoljavajućih karakteristika, napretka tehnologije i boljih karakteristika novih prekidača, povećanih zahtjeva na okoliš i sigurnost, i dr.

Najčešći faktori zbog kojih je potrebna zamjena prekidača su: karakteristike prekidača nezadovoljavajuće zbog razvoja mreže, povećana frekvencija kvarova, nedostupnost dijelova za održavanje te visoki trošak održavanja. Velik broj elektroprivreda zamjenjuje stare pneumatske i uljne prekidače prije isteka životnog vijeka s novim SF₆ prekidačima zbog njihovih nižih troškova nabave, instalacije i održavanja, a među ostalim i njihovom većom pouzdanošću rada te niskom

učestalosti održavanja. Smatra se da prekidači do trenutka generalnog remonta izvrše oko 2000 sklopnih operacija (800 godišnje, 25 godina), a neki poput prekidača u poljima kondezatorskih baterija ili prigušnica i više. Za različite vrste prekidača životna dob može iznositi otprilike 30 do 50 godina [4]. Na slici 4.1. [1] su prikazani podaci o trenutnoj starosti prekidača u hrvatskoj prijenosnoj mreži 2020.godine.



Slika 4.1. Raspodjela prekidača u prijenosnoj mreži prema starosti [1]

4.1.2. Rastavljači

Rastavljači najčešće ne obavljaju sklopne operacije stoga njihovo starenje mehaničkom istrošenošću je zanemarivo, a većina problema koji nastaju uzrokovana je mirovanjem rastavljača. Okolina rastavljača te njihovo održavanje glavni su faktori koji utječu na životni vijek rastavljača [4].

Redovnim održavanjem, osim ako tijekom pogona ne nastanu neka ozbiljnija oštećenja, očekivana životna dob je 35 godina, a detaljne revizije i popravke je potrebno vršiti svakih 15 do 20

godina[4]. Slijedi da razvoj sustava i novi parametri sustava, troškovi održavanja i korozija stare opreme su glavni kriteriji za zamjenu ili revitalizaciju rastavljača.

Životni vijek rastavljača, kao dio opreme unutar trafostanice, se procjenjuje na 40 ± 7 godina [4].

4.1.3. Mjerni transformatori

Pokazatelji starenja i funkcionalnost mjernih transformatora mogu biti povećanje $\tan\delta$, sadržaj otopljenih plinova i povećano curenje ulja [4].

Životna dob naponskih i strujnih mjernih transformatora procjenjuje se na 30 do 50 godina, a zamjena se vrši najčešće zbog uvođenja novih tehnologija, veće nazivne struje i dr. [4].

4.1.4. Sabirnice

Revitalizaciju sabirnica ili njezinih komponenti potrebno je provesti u slučaju:

- povećanog opterećenja iznad dopuštenih granica,
- oštećenja ili korozije glavnih elemenata poput nosača, portala, temelja i dr.

Nakon temeljitog pregleda postrojenja moguće je donijeti odluku o revitalizaciji, a analizom tokova snaga utvrđuje se planiranje elektroenergetskog sustava i njegova konfiguracija u budućnosti te se može odrediti očekivano strujno opterećenje sabirnica, s obzirom na to i odlučiti o zamjeni. Za sabirnice i njene komponente očekivana životna dob iznosi oko 40 godina [4].

4.1.5. Ostala oprema u transformatorskoj stanici

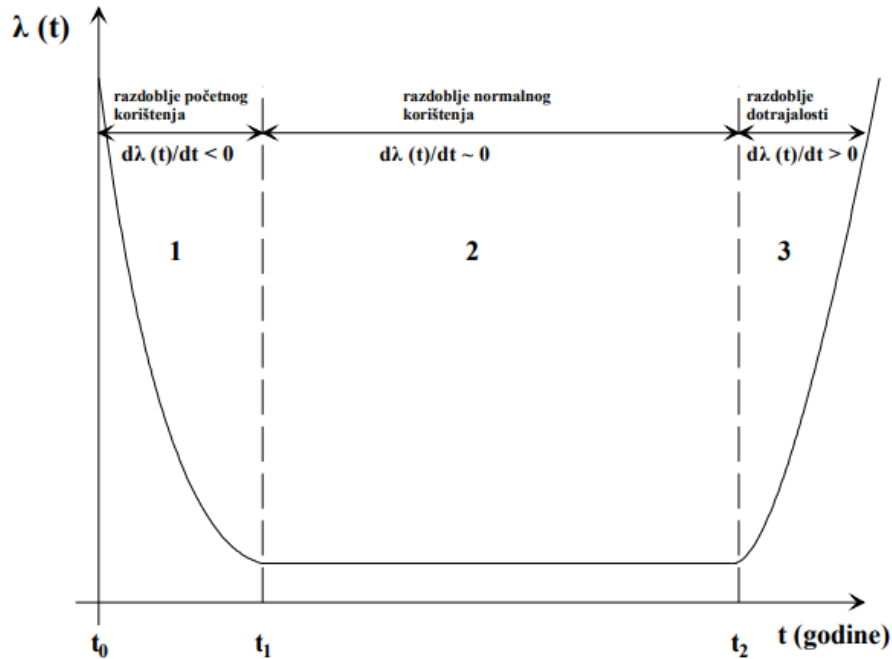
Osim osnovnih dijelova primarne opreme polja i sabirnica potrebno je naglasiti da je transformator glavni dio TS. Kod dugoročnog planiranja treba uzeti u obzir i njegovo stanje detaljnim pregledima i analizama ulja kao i ostalih komponenti transformatora. On zauzima velik dio investicije te ga se pokušava što duže održati u pogonu, a njegov životni vijek se procjenjuje na 40 do 50 godina. Od ostale primarne opreme tu su odvodnici prenapona i kompenzacijski uređaji (prigušnice i kondezatorske baterije) koji imaju približno jednak životni vijek kao i ostatak primarne opreme, a moguće je revitalizaciju planirati zasebno ili paralelno s revitalizacijom osnovnih komponenti. Sekundarna oprema (zaštitni releji, uređaji za mjerenja, telekomunikacijski uređaji i sustavi

daljinskog upravljanja) često ima kraći životni vijek od primarne opreme, najčešće zbog sadržaja elektronike i njihovog napretka u tehnologiji, pa se postupak revitalizacije ponekad može obaviti i neovisno o rekonstrukciji vanjskog postrojenja [4].

4.2. Kvarovi i neraspoloživost opreme

Neraspeloživost je definirana kao vremenski period u kojem neka jedinica mreže nije u funkciji unutar promatranog razdoblja (najčešće godinu dana). Smatra se da će oprema za vrijeme svog životnog vijeka raditi u skladu s propisanim karakteristikama bez dugotrajnih zastoja i kvarova. Funkcija kvara ili neraspeloživosti komponenti prijenosne mreže $\lambda(t)$ ima nepravilan oblik „kade“ (slika 4.2. [5]) koji se ne može matematički izraziti. Karakterizira je povećan broj kvarova (neraspeloživosti) na početku korištenja (područje 1), odnosno puštanje u pogon, nakon toga slijedi dugo razdoblje normalne upotrebe s malim i približno konstantnim brojem kvarova (područje 2), te na kraju naglo povećani broj kvarova zbog starosti jedinice (područje 3). Kao što je već spomenuto, redovnim održavanjem oprema pouzdano radi uz deklarirane karakteristike dok zbog starosti ne prestane ispravno funkcionirati [4].

Razdoblje između trenutaka t_1 i t_2 predstavlja normalno vrijeme korištenja opreme, odnosno može ga se nazvati i očekivanim životnim vijekom. Tu točku je nemoguće predvidjeti jer ovisi o različitim vanjskim i unutarnjim utjecajima. Idealno bi bilo provesti revitalizaciju u trenutku t_2 ili baš neposredno nakon, jer tako bi optimizirali financijska sredstva i razdoblje korištenja. No životni vijek ne bi trebao biti jedini i isključivi kriterij jer velik broj jedinica mreže svoju funkciju dobro obavlja i poslije isteka pretpostavljenog životnog vijeka te bi prema tome slijedilo da su financijska sredstva neopravdano uložena, stoga on služi samo kao općeniti pokazatelj moguće potrebe za revitalizacijom.



Slika 4.2. Funkcija nerasploživosti električne opreme [5]

Nerasploživost je pokazatelj pouzdanosti mreže, a održavanje smanjuje vjerojatnost kvara kao i dobra organizacija, obuka i koordinacija onih koji upravljaju i održavaju mrežu pa se tako može smanjiti učestalost kvarova i srednje vrijeme popravka kvara. Slijedi da pouzdanost i nerasploživost ovise o broju kvarova, vrsti i veličini kvara te o vremenima otklanjanja istih. Ne rezultiraju svi kvarovi zastojem, niti svaki zastoj rezultira neisporučenom električnom energijom.

Kvar je definiran kao nepotpuno funkcioniranje barem jedne od komponenti koje čine jedinicu mreže [5]. Ovisno o ispravnosti, stanje jedinice može biti ispravno ili neispravno, a ovisno o radnom stanju može biti u pogonu ili van pogona, a moguće su sve četiri kombinacije stanja. Stoga slijedi da kvar ne mora nužno dovesti do izvanpogonskog stanja, ali se može očekivati da će prije ili kasnije kvar na komponenti dovesti do toga da jedinica dođe u stanje gdje više ne može obavljati svoju funkciju pa će biti potrebno da izađe iz pogona prisilno ili planirano. Unutar statistike pogonskih događaja koje prati i izrađuje HOPS zastoji se mogu podijeliti na [5]:

- planirane i
- prisilne,

koji se još dijele na zastoje s unutarnjim i vanjskim razlozima.

Prisilni zastoji su izvanpogonska stanja promatrane jedinice ostvarena ispadom ili prisilnim isklopom te mogu biti [5]:

- prisilni trajni zastoji i
- prisilni privremeni zastoji.

Trajan prisilni zastoj nastaje zbog kvara komponente ili elementa promatrane jedinice koja nastavlja pogon nakon otklanjanja kvara. Privremeni prisilni zastoji su oni gdje jedinica nastavi raditi nakon isklopa bez potrebe za popravkom ili zamjenom komponenti. Prisilni prolazni zastoji su oni u kojima jedinica nastavlja raditi nakon isklapanja i uspješnog APU koji nisu uključeni u statistiku pogonskih događaja pa ne doprinose ukupnoj neraspoloživosti jedinice. Stoga je očito da starost ima utjecaj jedino na veličinu trajnih, dok će do privremenih i prolaznih prisilnih zastoja dolaziti bez obzira na starost jedinice [4].

Planirani zastoji su izvanpogonska stanja promatrane jedinice ostvarena planiranim gašenjem, a ne ispadom, u svrhu izvršenja neke planirane namjere kao što su održavanje, otklanjanje nedostataka, preventivna dijagnostika i dr. Planirani zastoj uzrokovan unutarnjim razlogom nastaje zbog nekog zahvata na promatranoj jedinici, a planirani zastoj vanjskog razloga nastaje zahvatom izvan promatrane jedinice, a nju je onda potrebno isključiti. Starenje utječe na obje vrste zastoja s unutarnjim razlogom. Zastoji s vanjskim razlozima događaju se neovisno o starosti, tj. oni se događaju s jednakom vjerojatnošću i starijim i novijim jedinicama [4].

Sve nabrojane vrste zastoja s obzirom na ukupan broj zastoja i ukupno trajanje zastoja u godini dana prati statistika pogonskih događaja. Iz ukupnog trajanja zastoja jedinice moguće je izračunati njegovu neraspoloživost u promatranoj godini G izrazom [5]:

$$q(i) = \frac{\text{ukupno trajanje svih zastoja u godini } G(\text{sati})}{\text{Ukupan broj sati u godini } G (8760 \text{ sati})} \quad (4-1)$$

Neraspeloživost u promatranoj godini $q(i)$ moguće je iskazati i kao ukupan broj neraspeloživosti zbog prisilnih i planiranih zastoja s vanjskim ili unutarnjim razlozima:

$$q(i) = q_{prUn-Tr} + q_{prUn-Priv} + q_{plUn} + q_{prVa-Tr} + q_{prVa-Priv} + q_{plVa} \quad (4-2)$$

gdje je:

$q_{prUn-Tr}$ – prisilna trajna neraspoloživost s unutarnjim razlogom,

$q_{prUn-Priv}$ – prisilna privremena neraspoloživost s unutarnjim razlogom,

q_{plUn} – planirana neraspoloživost s unutarnjim razlogom,

$q_{prVa-Tr}$ – prisilna trajna neraspoloživost s vanjskim razlogom,

$q_{prVa-Priv}$ – prisilna privremena neraspoloživost s vanjskim razlogom,

q_{plVa} – planirana neraspoloživost s vanjskim razlogom.

Pri čemu se svi članovi u ukupnoj neraspoloživosti određuju kao omjer trajanja određenog zastoja s promatranim razlogom i ukupnog broja sati u godini dana. Ako za neku jedinicu vrijedi sljedeće [5]:

$$q_{prUn-Tr} + q_{plUn} \gg q_{prUn-Priv} + q_{prVa-Tr} + q_{prVa-Priv} + q_{plVa} \quad (4-3)$$

To znači da se ta jedinica vrlo vjerojatno nalazi u razdoblju dotrajalosti što povećava potrebu za njenom revitalizacijom[5].

4.3. Procjena uloge i značaja

Osim kriterija koji su ovisni o stanju jedinice, druga grupa kriterija je ovisna o ulozi i važnosti jedinice u elektroenergetskom sustavu poput godišnje energije kroz promatrani prekidač, rizik sigurnosti pogona i opskrbe potrošača u slučaju kvara na prekidaču te šteta u slučaju kvara. Pri procjeni uloge jedinice u mreži trebalo bi promatrati sve definirane scenarije koji mogu ovisiti o vremenskom razdoblju, izgradnji novih elektrana, hidrološkim prilikama, ravnoteži sustava te ostalim nesigurnostima u promatranom vremenskom razdoblju.

Značaj u pogonu elektroenergetskog sustava ovisi o pouzdanosti i sigurnosti koju jedinica pruža sustavu. Velik broj kvarova i duži zastoji nekih jedinica možda neće dovesti do značajnijih troškova, no moguće je da u mreži postoje dijelovi gdje je raspoloživost iznimno bitna jer o takvim jedinicama ovisi napajanje kupaca. Razlika prosječnog očekivanog godišnjeg troška rada sustava

pri trajnoj neraspoloživosti i pri punoj raspoloživosti kandidata ekonomski je kriterij značaja tog kandidata za zamjene i rekonstrukcije u elektroenergetskom sustavu [1].

Priključenjem novih korisnika i izgradnjom mreže povećavaju se vrijednosti najvećih struja kratkih spojeva koji se mogu dogoditi pa postoji i mogućnost da oprema nije zadovoljavajuća. Usporedbom rasklopnih moći prekidača u poljima unutar TS i proračunom kratkih spojeva u idućem 3g i 10g razdoblju promatra se opravdanost revitalizacije cijele trafostanice ili parcijalne zamjene pojedinih aparata.

Godišnja energija koja ulazi u postrojenje i iz njega izlazi određuje se iz proračuna tokova snaga te time je mjerilo značaja trafostanice u elektroenergetskom sustavu. Rizik i štete u pogonu zbog zastoja sabirničkog sustava ovise o tome koliko sabirničkih sustava trafostanica ima i o dispečerskim mjerama koje se moraju poduzeti na sanaciji pogonskih prilika da bi financijske posljedice tog nužnog redispečinga ili redukcije dijela konzuma bile minimalne [5].

Prema [6] povećanjem opterećenja zbog priključenja novih korisnika dolazi do porasta struja kratkog spoja i prijenosnih kapaciteta, a time termička i mehanička izdržljivost opreme više nije zadovoljavajuća. Prilagođavanje trafostanice da može podnijeti veće nazive struje i veće struje kratkih spojeva često znači potrebu za značajnom rekonstrukcijom. Kada se podižu parametri postrojenja onda je potrebno zamijeniti spojeve između dijelova postrojenja, a odgovarajućim proračunima ili ispitivanjima treba dokazati izdržljivost stezaljki u slučaju povećanih elektrodinamičkih sila. Također ako se radi zamjena starijih prekidača potrebna je analiza statičkih i dinamičkih naprezanja temelja te je često problem osigurati zahtijevani prostor za rad na prekidaču što ovisi o dimenzijama trafostanice i koliko prostora ima na raspolaganju. Posebno je potrebno razmotriti i utjecaj djelovanja potresa koji se u slučaju starih prekidača nije uzimao u obzir.

4.4. Ekonomski kriterij

Postojeće stanje transformatorske stanice je potrebno što više iskoristiti s tehničkog i ekonomskog aspekta jer se svi kvarovi, neisporučenost, zamjene, popravci, održavanje i ostalo gleda s ekonomskog stajališta [4]. Pri planiranju revitalizacije kako bi se dobili svi parametri za tehnokonomsku analizu investicije HERA može tražiti dokaz za ekonomsku opravdanost izradom CBA (eng. Cost-Benefit Analysis) analize čiji rezultat se može koristiti kao ekonomski kriterij pri određivanju liste prioriteta.

Ekonomska analiza pojedinih projekata revitalizacije sadrži velik broj prethodno definiranih kriterija za revitalizaciju proširenih s obzirom na očekivane utjecaje u mreži i financijske posljedice pojedinih događaja koji mogu nastati. Ekonomski indikator nekog projekta je vrijednost ENPV (ekonomska neto sadašnja vrijednost) koja ukazuje hoće li očekivane korist od realizacije nekog projekta biti veće od troškova realizacije tog projekta u određenom vremenskom razdoblju. Projekt se smatra ekonomski opravdan ukoliko mu je vrijednost ENPV veća od nule, a ekonomski najpovoljniji su oni projekti koji imaju najveće izračunate vrijednosti ENPV. Ekonomska analiza podrazumijeva detaljne proračune mreže i eventualno tržišne simulacije u određenom vremenskom razdoblju [5].

4.5. Kriteriji i metodologija pri izradi liste prioriteta

Plan zamjena i rekonstrukcija prijenosne mreže sastavlja se koristeći prethodno nabrojane tehnokoekonomske kriterije. Definiranje plana i liste prioriteta za revitalizacije treba uvažavati održavanje pouzdanosti sustava i sigurnosti opskrbe uz vođenje računa o optimalnom raspolaganju financijskim sredstvima. Lista prioriteta temelji se na podacima koji su raspoloživi unutar HOPS-a, a bitni su za ocjenu stvarnog stanja i značaja jedinice mreže te proračuna koji se radi za očekivana buduća razdoblja. Prilikom definiranja kandidata za revitalizaciju transformatorskih stanica podjela se vrši prema naponskim razinama rasklopišta s pripadajućom primarnom i sekundarnom opremom zbog različitog značaja unutar prijenosne mreže, a pri ocjenjivanju stanja istovrsna grupa unutar TS grupno se promatra, na primjer prekidači u 110 kV poljima.

Ranije opisani kriteriji ovisni o stanju transformatorske stanice (kandidata za revitalizaciju) mogu se podijeliti na [5]:

- starost (kriterij TS-S.1),
- ocjena stanja primarne opreme unutar TS, odnosno polja i transformatora zajedno s pripadnim sabirničkim sustavima (kriterij TS-S.2),
- ocjena stanja sekundarne opreme (kriterij TS-S.3),
- ocjena stanja pomoćne i ostale opreme (kriterij TS-S.4),
- ocjena stanja građevinskih dijelova TS (kriterij TS-S.5).

Kriteriji ovisni o značaju kandidata su [5]:

- zadovoljenje karakteristika opreme s obzirom na kratkospojnu razinu (kriterij TS-Z.1),

- godišnja energija kroz promatranu transformatorsku stanicu (kriterij TS-Z.2),
- rizik po sigurnosti pogona i opskrbu kupaca u slučaju zastoja jednog sabirničkog sustava (kriterij TS-Z.3),
- štete u slučaju zastoja jednog sabirničkog sustava (kriterij TS-Z.4),
- broj planiranih novih jedinica mreže koje se priključuju na promatranu trafostanicu u idućem 10g razdoblju (kriterij TS-Z.5).

Ekonomski kriterij (kriterij TS-E.1) poprima vrijednost nula za sve kandidate koji nemaju izrađenu ekonomsku analizu ili im je izračunata ENPV manja od nule, a vrijednost 1 poprima kandidat za koji je ekonomskom analizom izračunata najveća pozitivna ekonomska neto sadašnja vrijednost [5].

Metodologija pri izradi liste prioriteta za revitalizaciju sastoji se od sljedećih koraka [5]:

1. definiraju se liste kandidata prema opisanim kriterijima stanja i značaja za promatrano buduće 3g ili 10g razdoblje,
2. provođenje odgovarajućih proračuna i analiza, te određivanje broja bodova za sve kriterije stanja i značaja kandidata za revitalizaciju uključujući i izračun bodova za ekonomski kriterij,
3. izračun indeksa stanja svakog kandidata primjenom bodova u kategorijama stanja, uključujući unaprijed definirane težinske faktore koji određuju međusobne odnose između kategorija,
4. izračun indeksa značaja svakog kandidata primjenom bodova u kategorijama značaja, uključujući unaprijed definirane težinske faktore koji određuju međusobne odnose između kategorija,
5. izračun ukupnog indeksa stanja, značaja i ekonomske opravdanosti svakog kandidata uključujući unaprijed definirane težinske faktore koji određuju međusobne odnose između pojedinih indeksa, te razvrstavanje kandidata prema vrijednostima ukupnog indeksa stanja, značaja i ekonomske opravdanosti,
6. uvrštavanje kandidata za revitalizaciju s najvećom vrijednošću indeksa stanja, značaja i ekonomske opravdanosti na odgovarajuće mjesto konačne liste prioriteta, brisanje istog s liste kandidata te ponavljanje postupka od koraka 3.

Indeks stanja promatranog kandidata i izračunava se na sljedeći način [5]:

$$\begin{aligned} \text{INDEKS STANJA } (i) = \\ TF(TS-S.1) \times TS-S.1 + TF(TS-S.2) \times TS-S.2 + TF(TS-S.3) \times TS-S.3 \quad (4-4) \\ + TF(TS-S.4) \times TS-S.4 + TF(TS-S.5) \times TS-S.5 \end{aligned}$$

Indeks značaja promatranog kandidata i izračunava se na sljedeći način [5]:

$$\begin{aligned} \text{INDEKS ZNAČAJA } (i) = \\ TF(TS-Z.1) \times TS-Z.1 + TF(TS-Z.2) \times TS-Z.2 + TF(TS-Z.3) \times TS-Z.3 \quad (4-5) \\ + TF(TS-Z.4) \times TS-Z.4 + TF(TS-Z.5) \times TS-Z.5 \end{aligned}$$

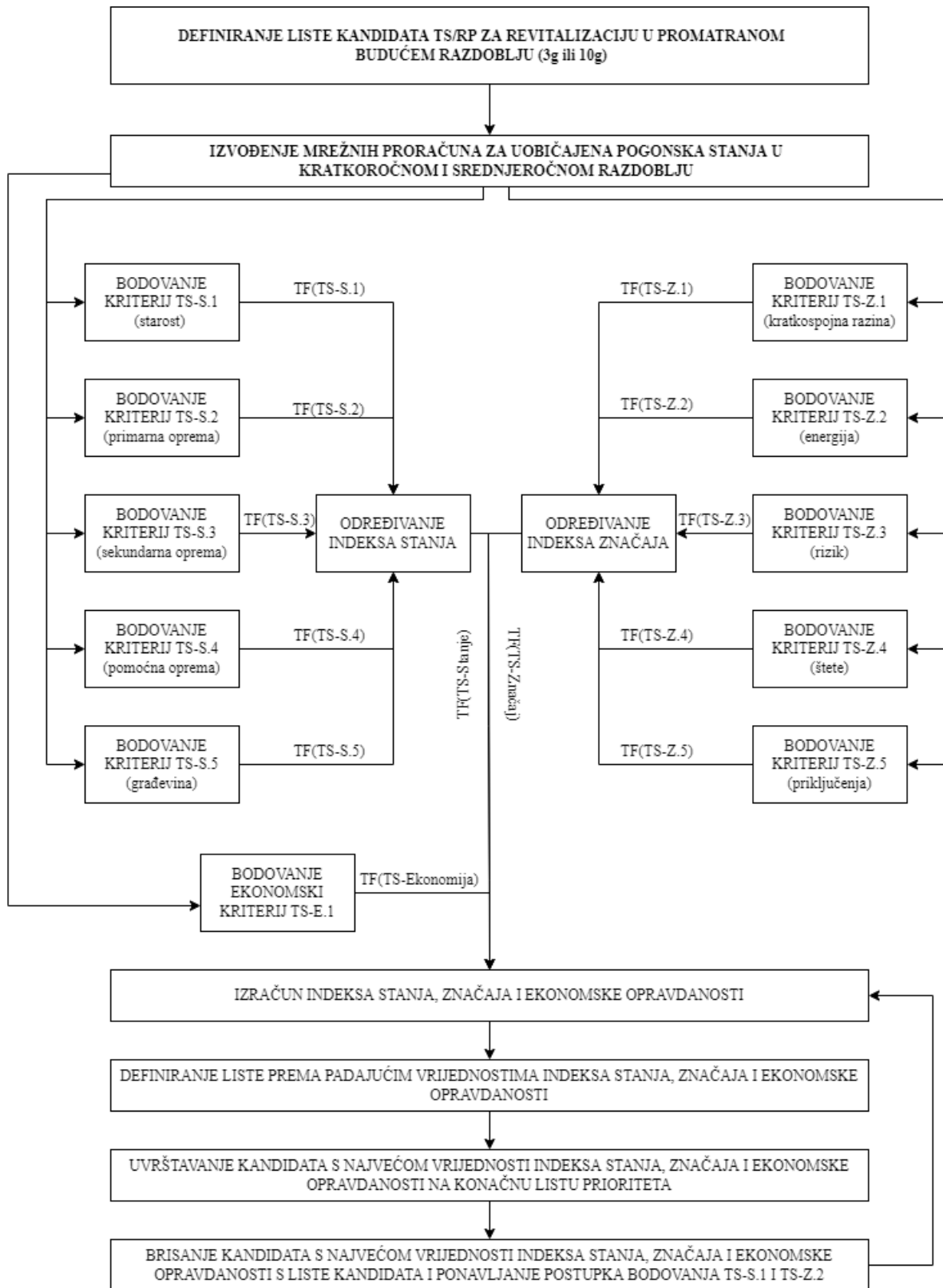
Bodovi za pojedini kriterij su definirani studijom, a težinske faktore TF(TS-S.1) do TF(TS-S.5) i TF(TS-Z.1) do TF(TS-Z.5) definira HOPS ovisno o tome kojem se kriteriju daje veća važnost u odnosu na druge. Težinske faktore potrebno je definirati u određenom rasponu (na primjer od 1 do 10), pri čemu se vodi računa o važnosti kriterija.

Težinski faktori primjenjuju se i kod izračuna konačnog indeksa stanja, značaja i ekonomske opravdanosti, a preporuča se veći faktor uz ekonomsku opravdanost kako bi se istaknuli projekti za koje je ekonomska analiza pokazala opravdanost provođenja projekta revitalizacije.

Indeks stanja, značaja i ekonomske opravdanosti promatranog kandidata i izračunava se na sljedeći način [5]:

$$\begin{aligned} \text{INDEKS STANJA, ZNAČAJA I EKONOMSKE OPRAVDANOSTI } (i) = \\ TF(TS\text{-Stanje}) \times \text{INDEKS STANJA}(i) + TF(TS\text{-Značaj}) \times \text{INDEKS ZNAČAJA}(i) \quad (4-6) \\ + TF(TS\text{-Ekonomija}) \times TS\text{-E.1} \end{aligned}$$

Nakon što se odredi kandidat za revitalizaciju, odnosno kandidat s najvećom vrijednošću indeksa stanja, značaja i ekonomske opravdanosti, isti se uvrštava na prvo mjesto liste prioriteta TS za revitalizaciju. Taj kandidat se zatim isključuje s liste kandidata nakon čega se izračunavaju kriteriji koji su ovisili o međusobnom odnosu kandidata te se takav iterativni postupak ponavlja dok se ne sastavi konačna lista TS za revitalizaciju (slika 4.3. [5]).



Slika 4.3. Metodologija određivanja liste prioriteta za revitalizaciju[5]

5. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA IZBORA ELEMENATA VODNOG POLJA

U ovome poglavlju dan je primjer izbora aparata vodnog polja u promatranj trafostanici koja se nalazi na listi kandidata za revitalizaciju. Rasklopno postrojenje 110 kV izvedeno je kao vanjsko postrojenje poluvisoke izvedbe. Sastoji se od dva energetska transformatora, spojnog, mjernog i vodnih polja. Prijenosna mreža je zamkastog oblika te je s više konekcijskih dalekovoda međusobno povezana kako bi se osigurala pouzdanost sustava.

Prema kriterijima objašnjenim u prethodnom poglavlju trafostanica je na konačnoj listi za revitalizacije zbog stare opreme i njenog lošeg stanja te bitne uloge u prijenosnom sustavu.

Stanje promatrane TS:

- prema kriteriju TS-S.1 trafostanica koja je doživjela kraj svog životnog vijeka zbog starosti veće od 40 godina,
- vizualnim pregledom i prema kriteriju TS-S.2 ocjenjuje se da je oprema zastarjela te se ne može više održavati zbog toga što sadrži sustav komprimiranog zraka za pogone rastavljača i prekidača, također je potrebno prepraviti sustav sabirnica koji nije pouzdan,
- stanje sekundarne opreme prema TS-S.3 nije zadovoljavajuće jer je potrebna zamjena upravljačko-signalnih kabela u 110 kV poljima te je potrebno ugraditi sabirničku zaštitu što do sada nije bilo moguće,
- kriterij TS-S.4 stanje pomoćne opreme trenutno se sastoji od pneumatskog sustava koji više neće biti potreban jer novi prekidači su SF6 izvedbe, a rastavljači će sadržavati elektromotorni pogon,
- potrebno je uklanjanje starih temelja i postolja sabirničkih portala i VN aparata koji ne zadovoljavaju važeće propise i zahtjeve dinamičkih opterećenja prema TS-S.5.

Značaj promatrane TS:

- proračunima za buduća razdoblja struja trolejnog kratkog spoja iznosi 10,358 kA [11] te prema kriteriju TS-Z.1 nova oprema će biti dimenzionirana za kratkospojna naprezanja od 40 kA,
- prema TS-Z.2 godišnja energija kroz promatranu TS proračunava se na temelju tokova snaga u budućem razdoblju te zbog povećane pouzdanosti opreme povećava se i pouzdanost isporuke električne energije,

- prema kriteriju TS-Z.3 rizik je velik jer u slučaju kvara na bilo kojim sabirnicama zbog povezivanja sekcijским rastavljačem može doći do ispada cijelog 110 kV postrojenja,
- uloga promatrane TS je značajna zbog napajanja velikog potrošača u blizini te prema kriteriju TS-Z.4 štete u slučaju zastoja bi bile velike,
- prema kriteriju TS-Z.5 značaj ovisi o broju planiranih priključaka u budućem razdoblju.

Ekonomski kriterij

Ekonomski kriterij je zadovoljen zbog očitog smanjenja troškova kroz uklanjanje pneumatskog sustava čije je održavanje i rezervna oprema skupa. Također dijelovi kompresorskog postrojenja se mogu iskoristiti u trafostanicama koje još uvijek sadrže sustave komprimiranog zraka.

Prema Statistici pogonskih događaja [12] prijenosno područje Osijek, gdje se promatrana trafostanica nalazi, ima izrazito nisku frekvenciju kvarova i zastoja, pa slijedi da je niska i neraspoloživost sustava. Unatoč tome, kako zbog isteka predviđenog perioda upotrebe VN aparata, poglavito prekidača i rastavljača kojima je potreban i tehnološki iskorak, tako i zbog značaja promatrane TS u prijenosnom sustavu Slavonije i Baranje, nužno je izvesti temeljitu revitalizaciju i rekonstrukciju postrojenja.

5.1. Izbor prekidača u 110 kV vodnom polju

Zbog gore navedenih razloga starosti prekidača i skupe rezervne opreme i održavanja potrebno je u postrojenje ugraditi novu primarnu opremu. Sva primarna oprema u vanjskom 110 kV postrojenju, pa tako i prekidači, mora zadovoljiti pogonske i klimatske uvjete.

Kao što je navedeno u poglavlju 3.2. izbor prekidača se vrši prema nazivnoj struji prekidača u polju, nazivnom naponu te rasklopnoj moći prekidača da isklopi struju kratkog spoja. „Studija proračuna kratkog spoja u prijenosnoj mreži EES-a Hrvatske za nazivnu 2020., 2025. i 2030 godinu“ daje za predviđeno stanje mreže 2020. godine trolpolne i jednopolne struje kratkog spoja na 110 kV sabirnicama promatrane trafostanice (Tablica 5.1. [11]).

Tablica 5.1. Proračunate vrijednosti struja kratkog spoja za nazivnu 2020., 2025. i 2030. godinu na sabirnicama 110 kV [11]

Nazivna godina	Tropolni kratki spoj I''_{k3} [kA]	Jednopolni kratki spoj I''_{k1} [kA]
2020.	9,999	7,582
2025.	10,004	7,584
2030. scenarij A	10,358	7,705
2030. scenarij B	10,097	7,589

S obzirom na proračunate vrijednosti struja kratkog spoja u budućem razdoblju dimenzioniranje opreme u 110 kV postrojenju biti će provedeno za nazivnu struju kratkog spoja 40 kA. Na mjesto pneumatskog 110 kV prekidača odabire se prekidač novije tehnologije gašenja električnog luka SF₆ plinom čiji su podaci dani u Tablici 5.2.

Tablica 5.2. Tehničke karakteristike 110 kV prekidača SF₆ izvedbe za vanjsku montažu [13]

Tehničke karakteristike	Iznos
Nazivni napon	123 kV
Nazivna trajna struja	3150 A
Nazivna kratkotrajna podnosiva struja	40 kA
Nazivna vršna podnosiva struja	100 kA
Nazivna struja prekidanja kratkog spoja	40 kA
Nazivna uklopna struja kratkog spoja	100 kA
Nazivni podnosivi izmjenični napon kod 50 Hz, 1 min	230 kV
Nazivni podnosivi udarni napon	550 kV
Nazivni slijed operacija	O-0, 3s-CO-3min-CO
Vrijeme uklapanja	≤70 ms
Vrijeme isklapanja	≤30 ms
Ukupno vrijeme prekidanja	50 ms

Izbor prema nazivnoj struji se vrši tako da nazivna struja prekidača mora biti veća od trajne nazivne struje u tom vodnom polju, prema tome slijedi:

$$I_{N_{prekidača}} > I_N \quad (5-2)$$
$$3150 \text{ A} > 605 \text{ A}$$

Nazivna struja prekidača je veća od nazivne pogonske struje u polju te možemo zaključiti da prekidač ovaj kriterij zadovoljava.

Izbor prema nazivnom naponu se vrši na isti način, ako je nazivni napon prekidača veći ili jednak nazivnom naponu u polju prekidač zadovoljava, što je i pokazano sljedećim izrazom.

$$U_{N_{prekidača}} \geq U_N \quad (5-3)$$
$$123 \text{ kV} \geq 110 \text{ kV}$$

Konačni izbor prekidača se vrši prema rasklopnoj moći. Prekidač se dimenzionira da isklopi struju kratkog spoja do koje može doći. Prema tablici 5.1. proračunom kratkog spoja za buduća razdoblja predviđene su struje kratkog spoja na sabirnicama trafostanice. Tehničke karakteristike prekidača su dimenzionirane za struju kratkog spoja do 40 kA, stoga slijedi da ako je ta struja veća od najveće struje kratkog spoja do koje može u budućnosti doći onda prekidač zadovoljava.

$$I_{K_{prekidača}} \geq I''_{k3} \quad (5-4)$$
$$40 \text{ kA} \geq 10,358 \text{ kA}$$

Kontrola se vrši prema termičkoj struji kratkog spoja i prema udarnoj struji pa prema tome je potrebno reducirati nazivnu termičku struju na trajanje kratkog spoja od 3 s.

$$I_{T,3s} = \frac{I_{T,1s}}{\sqrt{T_k}} = \frac{40}{\sqrt{3}} = 23,09 \text{ kA} \quad (5-5)$$

Udarna dinamička struja računa se uz pomoć udarnog koeficijenta κ koji ovisi o impedanciji na mjestu kratkog spoja, odnosno o omjeru R/X impedancije na mjestu kratkog spoja. Prema Studiji [11] taj koeficijent iznosi 1,50 te se udarna struja računa prema sljedećem izrazu:

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I''_{3ks} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,358 = 21,97 \text{ kA} \quad (5-6)$$

Odabrani prekidač zadovoljava sve kriterije za izbor i kontrolu prekidača na mjestu ugradnje u 110 kV vodnom polju. Dimenzioniranjem opreme za veće nazivne struje, nego što su trenutno potrebne, osigurava se da odabrani prekidač zadovoljava na mjestu ugradnje cijeli svoj životni vijek, što znači da ukoliko u budućem razdoblju dođe do povećanja nazivnih struja kratkog spoja prekidač se neće morati zamijeniti. Takvo dugoročno planiranje je bitno s ekonomskog stajališta da se oprema ne mora često mijenjati, a ugradnjom nove opreme postiže se tehnološki modernija oprema, povećava se pouzdanost opreme, a time i isporuke električne energije i smanjenje neraspoloživosti zbog zatajena prekidača ili druge sklopne opreme.

5.2. Izbor rastavljača u 110 kV vodnom polju

Prema poglavlju 3.1. parametri za izbor rastavljača su:

- nazivni napon,
- maksimalna struja u normalnom pogonu,
- udarna struja kratkog spoja,
- struja kratkog spoja.

Za izbor rastavljača važna je nazivna struja rastavljača. Nakon odabira rastavljača prema nazivnom naponu i struji vrši se kontrola izbora s obzirom na trajnu struju kratkog spoja koja uzrokuje zagrijavanje (termička naprezanja) te udarnu struju kratkog spoja koja uzrokuje mehanička

naprezanja. Tehničke karakteristike rastavljača koji se ugrađuje u vodno polje prikazane su u Tablici 5.3. [14]

Tablica 5.3. Tehničke karakteristike rastavljača [14]

Tehničke karakteristike	Iznos
Nazivni napon	123 kV
Nazivna trajna struja	1250 A
Nazivna kratkotrajna podnosiva struja	40 kA
Nazivna vršna podnosiva struja	100 kA
Nazivno trajanje kratkog spoja	1 s
Nazivni podnosivi izmjenični napon kod 50 Hz, 1 min	230 kV
Nazivni podnosivi udarni napon	550 kV

Izbor prema nazivnom naponu i nazivnoj struji se vrši tako da nazivne vrijednosti rastavljača budu veće ili jednake nazivnim vrijednostima vodnog polja na koje se rastavljač ugrađuje.

$$U_{N_{rastavljača}} \geq U_N \quad (5-7)$$

$$123 \text{ kV} \geq 110 \text{ kV}$$

$$I_{N_{rastavljača}} > I_N \quad (5-8)$$

$$1250 \text{ A} > 605 \text{ A}$$

Prema ovim izrazima slijedi da rastavljač zadovoljava nazivne vrijednosti. Također je potrebno provjeriti izbor rastavljača prema struji kratkog spoja i udarnoj struji. Uzima se maksimalna struja kratkog spoja do koje može doći u budućnosti.

$$I_{K_{rastavljača}} \geq I''_{k3} \quad (5-9)$$

$$40 \text{ kA} \geq 10,358 \text{ kA}$$

Udarna struja se računa kao kod prekidača:

$$i_p = \kappa \sqrt{2} I''_{3ks} = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,358 = 21,97 \text{ kA} \quad (5-10)$$

$$I_{U_{rastavljača}} \geq i_p \quad (5-11)$$

$$100 \text{ kA} \geq 21,97 \text{ kA}$$

Kontrola izbora rastavljača se vrši prema termičkoj struji koja uzrokuje termička naprezanja aparata za vrijeme trajanja kratkog spoja od 1 s. U vodno polje ugrađuju se sabirnički i izlazni rastavljač te je važno napomenuti da izlazni rastavljač vodnog polja sadrži i noževe za uzemljenje, ali po karakteristikama jednak je sabirničkim rastavljačima. Prema provedenim proračunima može se zaključiti da rastavljač zadovoljava sve uvjete na mjestu ugradnje i za buduća razdoblja. Ugradnjom novih rastavljača s elektromotornim pogonom neće postojati potreba za održavanjem kompresora i razvoda zraka te se postojeći dijelovi kompresorskog razvoda mogu iskoristiti za druga postrojenja gdje su još ostali pneumatski prekidači. Uklanjanjem pneumatskih pogona prestaje potreba za održavanjem kompresorskog postrojenja što znači smanjenje troškova održavanja.

5.3. Izbor mjernih transformatora u 110 kV vodnom polju

Izbor mjernih transformatora se vrši kao što je navedeno u poglavlju 3.3. prema izvedbi, nazivnom pogonskom naponu, broju namota i prijenosnom omjeru, prema klasi točnosti, nadstrujnom broju i nazivnoj snazi.

Prema tome mjerni transformatori koji se ugrađuju u 110 kV polje nazivnog napona 110 kV i nazivne struje 605 A trebaju biti sljedećih tehničkih karakteristika navedenih u Tablici 5.4.[15]

Tablica 5.4. Tehničke karakteristike kombiniranih mjernih transformatora [15]

Tehničke karakteristike	Iznos
Nazivni napon	123 kV
Nazivna frekvencija	50 Hz
Nazivni podnosivi izmjenični napon kod 50 Hz, 1 min	230 kV
Nazivni podnosivi udarni napon	550 kV
Tehničke karakteristike strujnih mjernih transformatora	
Nazivna trajna termička struja	$1,2 \cdot I_n$
Nazivna kratkotrajna struja (I_{th}/I_{dyn})	40/100 kA
Jezgra 4x150/1 A; 5 VA; kl. 0,2S; Fs10	
Jezgra 4x150/1 A; 15 VA; kl. 0,2S; Fs10	
Jezgra 4x150/1 A; 30 VA; 5P30; $R_2 \leq 5 \Omega$	
Jezgra 4x150/1 A; 30 VA; 5P30; $R_2 \leq 5 \Omega$	
Jezgra 4x150/1 A; 30 VA; 5P30; $R_2 \leq 5 \Omega$	
Tehničke karakteristike naponskih mjernih transformatora	
Nazivni naponski faktor	1,5/30 s
Namot $(110/\sqrt{3})\text{kV} / (100/\sqrt{3})\text{V}$; 0-10 VA; kl. 0,2	
Namot $(110/\sqrt{3})\text{kV} / (100/\sqrt{3})\text{V}$; 15 VA; kl. 0,2	
Namot $(110/\sqrt{3})\text{kV} / (100/\sqrt{3})\text{V}$; 50 VA; 3P	

Na svaku jezgru mjernih transformatora se priključuju različiti uređaji za nadzor, upravljanje, zaštitu i mjerenje te će se u nastavku dati primjer za izbor jedne strujne i jedne naponske jezgre.

Strujni mjerni transformator

I. Jezgra 4x150/1 A; 5 VA; kl. 0,2S; Fs10

Na prvu jezgru se spajaju obračunska mjerenja, na primjer brojilo snage $S = 0,1$ VA.

Duljina spojnih vodiča od uređaja do vodnog polja je 190 m, presjek 4 mm^2 te slijedi da je otpor spojnih vodiča [15] :

$$R_{sv} = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{S} = \frac{2 \cdot 0,0175 \cdot 190}{4} = 1,66 \Omega \quad (5-12)$$

Gubici u kabelu se računaju uz nazivnu struju sekundara mjernog transformatora 1 A pa slijedi da je ukupan teret na sekundaru iznosi $1,66 + 0,1 = 1,76$ VA.

Iz navedenog slijedi da odabrana jezgra zadovoljava jer je $5 \text{ VA} > 1,76 \text{ VA}$, a kako je riječ o mjernoj jezgri klase točnosti 0,2S mora biti zadovoljeni uvjet da je ukupan priključen teret veći od 1 VA nazivne snage te u ovom slučaju je taj uvjet zadovoljen ($1,76 \text{ VA} > 1 \text{ VA}$).

Naponski mjerni transformator

I. Namot $(110/\sqrt{3})\text{kV} / (100/\sqrt{3})\text{V}$; 0-10 VA; kl. 0,2

Potrebno je provjeriti presjeke vodiča naponske grane prema kriteriju pada napona te zaštitu od preopterećenja i kratkog spoja sekundarnih namota. Izračunat pad napona u naponskim granama za obračunsko mjerenje trebao bi biti $\leq 0,05\%$, za pokazna mjerenja $\leq 0,1\%$ te za zaštitu $\leq 0,1\%$. Pad napona se računa prema sljedećem izrazu [15] :

$$u_{\%} = \frac{2 \cdot l \cdot P \cdot \rho \cdot 10^5}{U_F^2 \cdot S} \quad (5-13)$$

gdje je:

l – dužina kabela (m),

P – snaga tereta (kVA),

ρ - specifični otpor za Cu vodiče ($0,0175 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$),

U_F – fazni napon (V),

S – presjek kabela (mm^2).

Na namot je spojeno obračunsko energetska brojilo snage 0,05 VA, dužina spojnih vodiča je 190 m, a presjek 4 mm^2 te slijedi da pad napona iznosi :

$$u_{\%} = \frac{2 \cdot 190 \cdot 0,05 \cdot 0,0175 \cdot 10^5}{\left(\frac{100}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 4} = 0,002\% \quad (5-14)$$

Kako je $0,002\% < 0,05\%$ i ukupno opterećenje manje od nazivne snage transformatora (0,05 VA < 10 VA) slijedi da namot zadovoljava uvjete.

Odabire se kombinirani mjerni transformator tip VAU koji sadrži strujne i naponske jezgre. Naponski transformator smješten je unutar izolatora, kao kod induktivnog naponskog transformatora tipa VPU. Strujni transformator smješten je u glavi transformatora, kao kod strujnog transformatora tipa AGU. Prednost ovog transformatora je što zahtijeva manje prostora u postrojenju, manje spojnih elemenata, manje kablskih kanala i dr. u odnosu na klasični strujni i naponski mjerni transformator.

6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu bilo je potrebno opisati kako se vrši izbor pojedinih aparata visokonaponskog vodnog polja te navesti kriterije prema kojima je potrebno revitalizirati vodno polje u promatranoj trafostanici. Osnovni element vodnog polja je prekidač čiji se izbor vrši prema nazivnim parametrima napona i struje na mjestu ugradnje. Isto tako, za odabir prekidača mjerodavna je i struja kratkog spoja. Za odabir rastavljača u polju bitni su nazivni parametri struje i napona u polju te struja kratkog spoja i početna udarna struja kratkog spoja. Pri odabiru mjernih transformatora važni su nazivni napon, nazivna snaga, prijenosni omjer te odabir mjernih jezgri prema klasama točnosti ili nadstrujnom broju koji su potrebni za mjerenja u polju. Planiranje revitalizacije potrebno je uskladiti s planom razvoja prijenosne mreže, a glavni kriteriji prema kojima se radi lista za revitalizacije su trenutno stanje, značaj u sustavu i ekonomski pokazatelji. Trenutno stanje polja se određuje vizualnim pregledom uređaja u polju, funkcionalnim ispitivanjima i procjenom životne dobi komponenti polja. Također bitna je pouzdanost opreme te njena raspoloživost u sustavu jer ukoliko su kvarovi česti i oprema neraspoloživa potrebni su česti popravci što uzrokuje dodatne troškove. Značaj u pogonu ovisi o pouzdanosti jedinice i sigurnosti opskrbe potrošača, dok se uloga u sustavu promatra kroz vremenski presjek buduće izgradnje mreže ili novih elektrana. Postojeće stanje je potrebno što bolje iskoristiti s tehničkog i ekonomskog stajališta. Pri izradi liste prioriteta se rade izračuni indeksa stanja, značaja i ekonomske opravdanosti koji uključuju unaprijed definirane težinske faktore kako bi se složila konačna lista prioriteta za revitalizacije, odnosno zamjene i rekonstrukcije. Provedena je analiza izbora aparata u vodnom polju promatrane trafostanice koja zadovoljava sve kriterije za revitalizaciju 110 kV postrojenja. Odabrana je SF₆ izvedba prekidača te je provedena analiza zadovoljavaju li karakteristike aparata, projektirane uvjete na mjestu ugradnje. Isto tako je provedena analiza za odabir rastavljača u polju, kao i analiza jezgri mjernih transformatora.

Prikazanom analizom utvrđeno je da novi prekidač i rastavljači zadovoljavaju na mjesto ugradnje trenutno, ali i za buduća razdoblja jer je u obzir uzet i plan razvoja mreže te povećanje opterećenja i struje kratkog spoja u promatranoj trafostanici. Prednost odabira kombiniranih transformatora je što zauzimaju manje prostora i zahtijevaju manje spojne opreme, a pri izboru jezgri uzeto je u obzir koji uređaji za mjerenje i zaštitu se spajaju na koju jezgru. Cilj tehno-ekonomske analize bio je pokazati da se nova oprema dimenzionira s tehničkog i ekonomskog stajališta i za buduće stanje mreže, ali i da se u trafostanici kojoj je potrebna revitalizacija ovakva revitalizacija vodnog polja isplati jer je nova oprema pouzdanija pa su manji troškovi održavanja.

7. SAŽETAK

Uvodni dio diplomskog rada navodi zadatak diplomskog rada iza kojeg slijedi pregled područja teme i literature korištene pri izradi diplomskog rada. U trećem poglavlju su navedene i pojašnjene funkcije i parametri opreme koja se nalazi u visokonaponskom vodnom polju. Četvrto poglavlje navodi i pojašnjava kriterije trenutnog stanja, značaja u sustavu i ekonomske opravdanosti prema kojima se izrađuje lista kandidata za revitalizacije, a također sadrži primjer metodologije pri izradi konačne liste trafostanica za revitalizaciju. Zatim je u petom poglavlju na primjeru jednog vodnog polja trafostanice koja se revitalizira provedena analiza izbora prekidača, rastavljača i mjernih transformatora.

Ključne riječi: trafostanica, revitalizacija, vodno polje, prekidač, rastavljač, mjerni transformator

8. ABSTRACT

The introductory part of the thesis states the task of the thesis, followed by an overview of the subject area and the literature used in the preparation of the thesis. In the third chapter, the functions and parameters of the equipment found in the high-voltage line feeder are listed and explained. The fourth chapter lists and clarifies the criteria of the current state, significance in the power system and economic justification according to which the list of candidates for revitalization is created, also it contains an example of the methodology for creating the final list of substations for revitalization. Then, in the fifth chapter, an analysis of the selection of circuit breaker, disconnectors and measuring transformers was shown through the example of a line feeder of a substation that is being revitalized.

Key words: substation, revitalization, line feeder, circuit breaker, disconnector, measuring transformer

LITERATURA

- [1] Hrvatski operator prijenosnog sustava, Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2022. 2031. s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje, Zagreb, 2021. dostupno na: <https://www.hops.hr/92136ad3-dfa8-4674-b6aa-3c7a0d41654c> (Pristupljeno 20.05.2022.)
- [2] D. Bajs, G. Majstorović, M. Majstorović, N. Dizdarević, EIHP, Kriteriji i metodologija planiranja razvoja i izgradnje te zamjena i rekonstrukcija prijenosne mreže, CIGRÉ, 2004.
- [3] Mrežna pravila prijenosnog sustava, Narodne novine br. 67/2017, 128/2020 [Online] dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_11_128_2453.html (Pristupljeno 28.04.2022.)
- [4] D. Bajs, Metoda i kriteriji u revitalizaciji elektroenergetske prijenosne mreže, doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2007.
- [5] D. Bajs, G. Majstorović, Kriteriji i metodologija za definiranje liste prioriteta kod zamjena i rekonstrukcija elemenata prijenosne mreže, Energetski institut Hrvoje Požar, Studija za HOPS d.o.o., Zagreb, 2020.
- [6] Ž. Čosić, S. Ravlić, V. Ravlić, Povećanje podnosivih kratkospojnih struja i nazivnih struja postojećih transformatorskih stanica, HRO CIGRÉ, Šibenik, 2015. dostupno na: <https://www.ravel.hr/Article/POVE%C4%86ANJE%20PODNOŠIVIH%20KRATKOSPOJNIH%20STRUJA%20I%20NAZIVNIH%20STRUJA%20POSTOJE%C4%86IH%20TRANSFORMATORSKIH%20STANICA.pdf> (Pristupljeno 23.04.2022.)
- [7] G. Knežević, Elektroenergetska postrojenja, Presentacija s predavanja, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2020.
- [8] H. Požar, Visokonaponska rasklopna postrojenja, Treće popravljeno izdanje, Zagreb, 1990.
- [9] M. Barukčić, I. Provči, Z. Baus, and M. Stojkov, Električni sklopni aparati, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2014.
- [10] Končar mjerni transformatori d.d., Kombinirani transformatori, [Online] dostupno na: http://www.koncar-mjt.hr/proizvodi/visokonaponski_mjerni_transformatori/Kombinirani_transformatori (Pristupljeno 23.04.2022.)

- [11] I. Pavić, I. Damjanović, Studija proračuna kratkog spoja u prijenosnoj mreži EES-a Hrvatske za nazivnu 2020., 2025. i 2030. godinu, Zagreb, 2019.
- [12] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Statistika pogonskih događaja u prijenosnoj mreži 2020., Zagreb 2021.
- [13] Končar - Aparati i postrojenja d.d., Pogonske upute za jednopolni SF6 prekidač 8E1-I 123 kV s motorno-opružnim pogonom, Zagreb, 2019.
- [14] Končar - Aparati i postrojenja d.d., Pogonske upute rastavljača CB-N, CBe-N, CBee-N 72,5 - 170 kV, Zagreb, 2017.
- [15] Končar - Mjerni transformatori d.d., Uputa za rukovanje i održavanje mjernog transformatora tip VAU-123, Zagreb, 2017.

ŽIVOTOPIS

Marija Bivolčević rođena je 14. listopada 1998. godine u Novoj Gradiški, s prebivalištem u Vrbju. Osnovnu školu „Ljudevit Gaj“ Nova Gradiška završava 2013. godine te upisuje Opću Gimnaziju također u Novoj Gradiški. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku upisuje 2017. godine te se na Preddiplomskom studiju elektrotehnika i informacijska tehnologija opredjeljuje za smjer Elektroenergetika. Završetkom preddiplomskog studija 2020. godine upisuje Diplomski studij elektrotehnika, smjer Elektroenergetika, izborni blok Elektroenergetski sustavi. Aktivno se služi engleskim jezikom, a poznaje i osnove njemačkog. Tijekom studija je naučila se služiti i koristiti programima u programskom paketu Microsoft Office, MATLAB, EasyPower te DIgSILENT Power Factory.

U Osijeku, rujan 2022. godine

Potpis autora