



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
inštalacije

**POSODOBITEV OPREME IN ZAŠČITNEGA
SISTEMA NA 20 KV DV NA ODSEKU RP
KOZARJE – POLHOV GRADEC**

Mentor: mag. Jože Kragelj, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Manja Belina, mag. prof. slov. in mag. prof. špan.

Kandidat: Gregor Koligar

Ljubljana, junij 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Jožetu Kraglju in somentorjem g. Francu Prepeluhu, g. Antonu Majcnu in g. Georgiu Zlatarevu za vso potrebno strokovno pomoč in koristne nasvete ter hitro odzivnost.

Poleg tega se zahvaljujem tudi mentorju iz podjetja Elektro Ljubljana, d. d., g. Mitji Kosu, za vse potrebno gradivo in strokovno pomoč.

Zahvaljujem se lektorici ge. Manji Belina, ki je moje diplomsko delo pregledala in slovnično popravila.

Hvala tudi partnerki Nuši in sestri Valentini za vso pomoč in spodbudne besede.

IZJAVA

Študent Gregor Koligar izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Jožeta Kraglja, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Predmet diplomskega dela je posodobitev opreme in zaščitnega sistema na 20 kV daljnovodu (DV) podjetja Elektro Ljubljana, d. d., iz razdelilne transformatorske postaje (RTP) Litostroj na odseku razdelilne postaje (RP) Kozarje – DV Polhov Gradec. S predlagano posodobitvijo bi dosegli povečanje zanesljivosti napajanja odjemalcev oziroma zmanjšanje števila in trajanja izpadov.

V diplomskem delu smo se osredotočili na DV, ki napaja območje Polhovega Gradca, na katerem zaradi njegove razgibanosti in hribovitega terena prihaja do večkratnih izpadov zaradi vremenskih razmer, kot so sneg, veter, atmosferske razelektritve in padci dreves. Obstoječa vgrajena zaščita v RP Kozarje in na odcepu PG18 ter PG34 ne omogoča selektivnega delovanja zaščite. Za posodobitev nastavitev zaščite so bili potrebni izračuni kratkostičnih tokov na predlaganih mestih vgradnje nove stikalne opreme in zaščitnih naprav.

KLJUČNE BESEDE

- Daljinsko vodena stikala,
- radialno omrežje,
- kratkostični tok,
- avtomatizacija,
- zaščitni sistemi.

ABSTRACT

The subject of the thesis is the modernisation of the equipment and protection system on the 20 kV transmission line of Elektro Ljubljana d. d. from RTP Litostroj on the section RP Kozarje – DV Polhov Gradec. The proposed upgrade would increase the reliability of power supply to customers or reduce the number and duration of outages.

In this thesis, we focused on a transmission line supplying the area of Polhovo Gradec, which, due to its rugged and hilly terrain, is subject to multiple outages due to weather conditions such as snow, wind, atmospheric discharges and falling trees. The existing protection installed in RP Kozarje and at the PG18 and PG34 branches does not allow selective operation of the protection. To update the protection settings, short-circuit current calculations were needed at the proposed installation locations of the new switchgear and protection devices.

KEYWORDS

- Remote controlled,
- radial network,
- short circuit current,
- automation,
- protection systems.

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja	1
1.4	Predpostavke in omejitve.....	2
1.5	Metode dela.....	2
2	SPLOŠNO O VGRAJENI OPREMI – PRAKSA V SLOVENIJI ZA DISTRIBUCIJSKA OMREŽJA	3
2.1	Daljinsko vodena stikala (ALM).....	3
2.1.1	Opis oznak (odklopnik, odklopni ločilnik, ločilnik)	3
2.1.2	Kompaktni vakuumski odklopnik Nu-Lec U27/ADVC3 (PG18).....	4
2.1.3	Močnostni ločilnik – bremensko stikalo SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3 (PG34)	7
2.1.4	Delovanje v vlogi bremenskega stikala.....	9
2.1.5	Delovanje v vlogi avtomatskega ločilnika (SIOB).....	9
2.2	SPLOŠNO O ZAŠČITI RADIALNIH SREDNJE NAPETOSTNIH OMREŽIJ	11
2.2.1	Funkcije zaščitnega numeričnega releja (IED) SIEMENS, SIPROTEC 4, 7SJ632	14
2.2.2	zaščitne funkcije zaščitnega numeričnega releja ISKRA FPC 501	17
2.3	Statistika kratkotrajnih izpadov	20
3	IZRAČUNI kratkostičnih tokov in kratkostičnih moči.....	22
3.1	Shema trenutnega stanja omrežja	22
3.2	RTP Litostroj.....	23
	DV 20 kV RTP Litostroj – RP Kozarje (odsek 1).....	26
3.3	RP Kozarje	27
	DV 20 kV RP Kozarje – Polhov Gradec PG 18 (odsek 2)	28
3.4	DV 20 KV Polhov Gradec v točki 85	30
	DV 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec PS PG 11 (odsek 3)	31
3.5	DV 20 KV Polhov Gradec v točki 38	34
3.6	DV 20 KV Polhov Gradec v točki TP Tehovec	37
	DV 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 5)	38
3.7	DV 20 KV Polhov Gradec v točki 177	41
	Daljnovod 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 6)	41
3.8	DV 20 KV Polhov Gradec v točki 12	44
3.9.	DV 20 KV Polhov Gradec v točki TP Selo Cerkev.....	48
	DV 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec (PG 55) (odsek 8).....	48
3.10	DV 20 KV Polhov Gradec.....	51

3.11	Pregled izračunanih kratkostičnih razmer pred predvideno posodobitvijo DV PG 54	
3.12	Prikaz trenutnih nastavitv v RTP Litostroj, RP Kozarje, PG 18, PG 34 ...	56
4	PREDLOG BODOČEGA STANJA SN OMREŽJA	60
4.1	Stopnjevalni načrt zaščitnega sistema	62
4.1.1	Stopnjevalni načrt za nadtokovno zaščito.....	62
4.1.2	Stopnjevalni načrt za kratkostično zaščito	64
4.1.3	Stopnjevalni načrt zemeljskostične zaščite.....	65
4.1.4	Aktiviranje zaščitne sheme s pomočjo sporočil GOOSE.....	66
4.2	Delovanje zaščite pri različnih lokacijah napak	67
5	ZAKLJUČEK.....	69
6	LITERATURA IN VIRI.....	70

KAZALO SLIK

Slika 1: Kompaktni vakuumski odklopnik U27 za zunanjo montažo	5
Slika 2: Krmilna omarica kompaktnega vakuumskega odklopnika Nu-Lec U27	5
Slika 3: Krmilna plošča ADV3 odklopnika ALM PG 18	6
Slika 4: BS RL27/ADV3 (PG 34)	7
Slika 5: Krmilna plošča ADV3 BS PG 34	8
Slika 6: Okvara na odseku 1	10
Slika 7: Okvara na odseku 2	10
Slika 8: Okvara na odseku 3	11
Slika 9: Primer stopnjevanja numeričnih relejev	12
Slika 10: Časovno neodvisna karakteristika zaščite	13
Slika 11: Zaščitni numerični rele (IED) Siemens, Siprotec 4, 7SJ632	14
Slika 12: Zaščitni numerični rele (IED) Iskra FPC 501	17
Slika 13: Zaščitni numerični rele (IED) Iskra FPC 501	17
Slika 14: Shema trenutnega stanja omrežja	22
Slika 15: Enopolna shema RTP Litostroj	23
Slika 16: RTP Litostroj – RP Kozarje (odsek 1)	26
Slika 17: Enopolna shema RP Kozarje	27
Slika 18: RP Kozarje – Polhov Gradec PG18 (odsek 2)	28
Slika 19: RP Kozarje – Polhov Gradec PG 11 (odsek 3)	31
Slika 20: Odsek 4	35
Slika 21: RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 5)	39
Slika 22: RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 6)	42
Slika 23: RP Kozarje – Polhov Gradec (PG 55) (odsek 8)	49
Slika 24: Odsek 9	52
Slika 25: Prikaz trenutnih nastavitvev v RTP Litostroj, RP Kozarje, PG 18, PG 34 ...	56
Slika 26: Časovno in amplitudno stopnjevanje nadtokovne kratkostične zaščite	57
Slika 27: Časovno stopnjevanje zemeljskostične zaščite	58
Slika 28: Prikaz bodočega stanja omrežja in predvidenih zaščit, novo stanje je označeno z rdečo barvo	60
Slika 29: Bodoče stanje omrežja	61
Slika 30: Stopnjevalni načrt za nadtokovno zaščito	62
Slika 31: Časovno in amplitudno stopnjevanje nadtokovne in kratkostične zaščite bodočega SNO	63
Slika 32: Stopnjevalni načrt za kratkostično zaščito	64
Slika 33: Stopnjevalni načrt zemeljskostične zaščite	65
Slika 34: Časovno stopnjevanje zemeljskostične zaščite	65
Slika 35: Izpad za ALM PG 11	67
Slika 36: Izpad za ALM PG 34	68
Slika 37: Izpad za BS PG 89	68

KAZALO TABEL

Tabela 1: Kazalniki neprekinjenosti za zadnjih pet let.....	20
Tabela 2: Podatki kabla za odsek 1	26
Tabela 3: Podatki vodnikov na odseku 2	29
Tabela 4: Podatki vodnikov na odseku 3	32
Tabela 5: Podatki vodnikov na odseku 4	35
Tabela 6: Podatki vodnikov na odseku 5	39
Tabela 7: Podatki vodnikov na odseku 6	42
Tabela 8: Odsek 7.....	45
Tabela 9: Podatki vodnikov na odseku 7	46
Tabela 10: Podatki vodnikov na odseku 8	49
Tabela 11: Podatki vodnikov na odseku 9	52
Tabela 12: Trenutne nastavitve zaščit	57
Tabela 13: Trenutno aktivne zaščite.....	59

KRATICE IN AKRONIMI

A:	Amper
ALM:	Avtomatsko ločilno mesto
APV:	Avtomatski ponovni vklop
BNP:	Breznepetostna pavza
BS:	Bremensko stikalo
CAIFI:	Kazalnik povprečne frekvence prekinitev napajanja odjemalca
CT:	Tokovni transformator (angl. current transformer)
CV:	Center vodenja
CVT:	Kapacitivni napetostni transformator (angl. capacitive voltage transformer)
DCV:	Distribucijski center vodenja
cos ^φ :	Funkcija kosinus kota fi
DV:	Daljnovod
DVN:	Detektor visokohmskih napak
FPC:	Naprava za vodenje in zaščito vodov (angl. Feeder Protection Control)
GOOSE:	angl. Generic Object Oriented Substation Event
HAPV:	Hitri avtomatski ponovni vklop
I:	Tok
Ik:	Kratkostični tok
IEC:	Mednarodna elektrotehniška komisija (angl. International Electrotechnical Commission)
IED:	Inteligentna elektronska naprava (angl. Intelligent Electronic Device)
In:	Nazivni tok

IV DIR 67:	Usmerjena nadtokovna zaščita ($I_d >$)
IV 50:	Nadtokovna zaščita ($I >$)
KV 50:	Kratkostična zaščita ($I >>$)
KV DIR 67:	Usmerjena kratkostična zaščita ($I_d >>$)
LM:	Ločilno mesto
MAIFI:	Kazalnik povprečne frekvence kratkotrajnih prekinitev napajanja v sistemu
NN:	Nizka napetost
NIT:	Napetostni merilni transformator
NEO:	Nadzor energetske omrežij
PAPV:	Počasni avtomatski ponovni vklop
PG:	Polhov Gradec
PIV:	Pol izolirani vodnik
PS:	Progovno stikalo (ločilna in bremenska stikala na ročni pogon)
R:	Ohmska upornost
RMS:	Korenski srednji kvadrat (angl. Root mean square)
RP:	Razdelilna postaja
RTP:	Razdelilna transformatorska postaja
s:	Sekunda
SAIDI:	Kazalnik povprečnega trajanja prekinitev napajanja v sistemu
SAIFI:	Kazalnik povprečne frekvence prekinitev napajanja v sistemu
SCADA:	Programska oprema za vodenje in nadzor (angl. Supervisory Control And Data Acquisition)
SIOB:	Samodejna izolacija okvare v breznapetostni pavzi
Sk:	Kratkostična moč
SN:	Srednja napetost
SNO:	Srednje napetostno omrežje
TIT:	Tokovni merilni transformator
TP:	Transformatorska postaja 20/0,4 kV
TR:	Transformator
U:	Napetost
U _k :	Kratkostična napetost
U _n :	Na zivna napetost
U _r :	Ohmska kratkostična napetost
U%:	Skupna kratkostična napetost
V:	Volt
Z:	Impedanca
ZV 51N:	Zemeljskostična zaščita ($I_e >$)
ZV DIR 67N:	Usmerjena zemeljskostična zaščita ($I_{ed} >$)
ZVO 51Ns:	Pogojena občutljiva zemeljskostična zaščita ($I_{es} >$)
ZVOS 51Ns:	Občutljiva usmerjena zemeljskostična zaščita ($I_{esd} >$)
X:	Induktivna upornost

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V sodobnem času so človeške dejavnosti v veliki meri odvisne od električne energije. Dandanes je vedno več električnih naprav, brez katerih si ne predstavljamo življenja in ki so del našega vsakdana bodisi na delovnem mestu ali doma. V današnjem času večina prebivalstva ogreva, kuha ipd. Električna energija pa predstavlja velik problem, ko pride do nenačrtovanega izpada napajanja. Večji problem nastane, ko pride do izpada napajanja v večjih podjetjih, kjer so prekinjeni pomembni delovni procesi in lahko nastane ogromna materialna/finančna škoda. Te potrebe lahko dosežemo le z zanesljivo dobavo električne energije. Distribucijska podjetja se zavezujejo k standardom, ki predpisujejo nemoteno oskrbo z električno energijo, kjer pa kljub prizadevanju podjetja in zaposlenih prihaja v dobavi električne energije do občasnih motenj (Elektro Ljubljana d.d.).

1.2 Cilji naloge

Cilj diplomskega dela je predlagati najprimernejše točke za vgradnjo daljinsko vodenih stikal, ki bi jih lahko vgradili v prihodnosti. Poleg tega je cilj tudi izračunati oziroma oceniti kratkostične tokove na mestih, kjer so predvidena daljinsko vodena stikala. Izračune bomo potrebovali za nastavitev selektivnosti zaščite.

1.3 Predstavitev okolja

Podjetje Elektro Ljubljana, d. d., ki obratuje že od leta 1896, je podjetje za distribucijo električne energije, ki se razprostira na 6.166 km² v osrednjem delu Slovenije, kar predstavlja največji delež v Republiki Sloveniji. Zagotavljajo zanesljivo preskrbo z električno energijo za več kot tretjino Slovenije in upravljajo največjo mrežo električnih polnilnic.

V diplomskem delu se bomo osredotočili na nadzorništvo Vrhnika, bolj natančno na daljnovod (DV) Polhov Gradec (PG), ki je napajan iz razdelilne transformatorske postaje (RTP) Litostroj. Ta se napaja iz transformatorja TR2, katerega moč znaša 31,5 MVA, 110/20 kV. Njegova vezava je YNyn6(d5). Zvezdišče na sekundarju 20 kV je ozemljeno preko upora 80 Ω , 150 A. Napaja se preko vodne celice J32 preko kableske povezave do razdelilne postaje (RP) Kozarje. Nato poteka preko vodne celice J11 DV 20 kV PG. Trenutno vgrajene zaščite so v RTP Litostroj, RP Kozarje, avtomatskem ločilnem mestu (ALM) PG18 in bremensko stikalo (BS) PG 34. Dolžina DV PG znaša 66,795 km, od tega je 55,930 km nadzemnih vodov in 10,865 km

podzemnih vodov. Sestavlja ga tudi 68 transformatorskih postaj (TP). DV PG poteka po razgibanem in gozdnatem terenu, kjer so večje možnosti okvar zaradi vremenskih vplivov, dotikov vej dreves, padcev dreves, ki povzročijo izpad DV. Njegova oddaljenost zahteva tudi daljši odzivni čas monterjev, kar pomeni daljši čas izpada, kar pripelje do nezadovoljstva odjemalcev.

1.4 Predpostavke in omejitve

DV PG poteka po zelo razgibanem terenu. To pomeni, da večina omrežja, ki ga sestavljajo nadzemni vodi, poteka po gozdnem terenu.

Trenutno sta vgrajeni dve daljinsko vodeni stikali, to sta ALM PG 18 in BS PG 34. Predpostavljamo lahko, da bi v primeru večjega števila takšnih stikal lahko hitreje locirali napake, razbremenili dežurne monterje in skrajšali čas izpada.

Omejitev predstavlja posodobitev programa SCADA, ki onemogoča vpogled v starejše podatke o izpadih. Posledično teh podatkov ne bomo uporabili v nalogi kot dokaz o preteklih izpadih. Namestitvev dodatnih stikal pa omejujeta tudi finančno stanje in interes podjetja.

1.5 Metode dela

V teoretičnem delu sta za prikaz trenutnega obstoječega stanja uporabljeni dve metodi. Prva je opisna metoda, kjer je opisano trenutno stanje omrežja. Druga metoda pa je metoda združevanja, saj smo združili lastne vire z literaturo različnih avtorjev.

V drugem delu je naveden računski del z rezultati, ki prikazujejo stanje kratkostičnih tokov in moči. Izračuni se nanašajo na RTP Litostroj. To so izračuni kratkostične moči na 110 kV zbiralkah, impedanca 110 kV omrežja, ki je pretvorjena na 20 kV nivo, kratkostični tok in moč na 20 kV zbiralkah. V RP Kozarje smo izračunali kratkostični tok in moč na 20 kV zbiralkah. Izračuni zajemajo več različnih tipov vodnikov, za katere smo naredili izračune impedance za vsakega posebej. Za nastavitve zaščite na ALM je bilo treba izračunati še najbolj oddaljene točke DV. Sledi izračun trenutne nastavitve zaščite na predlog bodočega stanja.

2 SPLOŠNO O VGRAJENI OPREMI – PRAKSA V SLOVENIJI ZA DISTRIBUCIJSKA OMREŽJA

Podane so stikalne naprave in zaščitni sistemi ter njihovo delovanje in funkcije, ki so vgrajene v srednje napetostnem omrežju (SNO).

Obravnavani so konkretni primeri:

- kompaktni vakuumski odklopnik Nu-Lec U27/ADVC3 (PG18),
- močnostni ločilnik BS SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3 (PG34),
- zaščitni numerični rele SIEMENS, SIPROTEC 4, 7SJ632,
- zaščitni numerični rele ISKRA FPC 501.

2.1 Daljinsko vodena stikala (ALM)

Po nekaj letih se je v Sloveniji na področju avtomatizacije SNO nabralo kar nekaj izkušenj. Da smo do izkušenj prišli, so slovenska distribucijska podjetja v kar nekaj projektih preizkušala različno opremo, pristope in koncepte. Pri tem so upoštevali tako lastne zahteve kot tudi svetovne razvojne trende za doseganje zadanih ciljev. Uporabljena so bila klasična ločilna stikala odprte izvedbe za zunanjo in notranjo montažo. Imeli so dograjen motorni pogon v pritličju zidanih stolpastih postaj ali ob vznožju droga. Po izkušnjah se je pogon na koncu izkazal za šibek člen. Razlogi so naslednji:

- občutljivost na zunanje vplive (vremenski pogoji: sneg, žled ...),
- natančnost pri montaži pogona in nastavitvi aparata,
- potreba po rednem vzdrževanju in podmazovanju gibljivih delov,
- ločilna stikala in ločilniki so bili prvotno narejeni za ročno upravljanje, kasneje pa so nekateri proizvajalci ponudili kot dodatno opremo motorni pogon.

2.1.1 Opis oznak (odklopnik, odklopni ločilnik, ločilnik)

V diplomskem delu so uporabljene oznake Mednarodne elektrotehniške komisije (angl. International Electrotechnical Commission – IEC) za vgrajeno primarno opremo (Kališnik, 2018):

- odklopnik je električna narava, ki vklaplja, prevaja in prekinja tokove v normalnih pogojih obratovanja, ter vklaplja, prevaja in prekinja tokove kratkega stika;

OZNAKA:



- odklopni ločilnik izklaplja tokove vse do njegove nazivne vrednosti (npr. 630 A). Da odklopi odsek, ki je v okvari, potrebuje breznapetostno pavzo (BNP). Ne odklaplja pa kratkostičnih tokov;

OZNAKA:



- ločilniki se uporabljajo zgolj pri rednih vzdrževalnih delih in pri ločevanju SN vodov pri lociranju napak. Ta stikala ne izklopijo kratkih stikov in prav tako ne omogočajo preklopov med obremenitvijo.

OZNAKA:



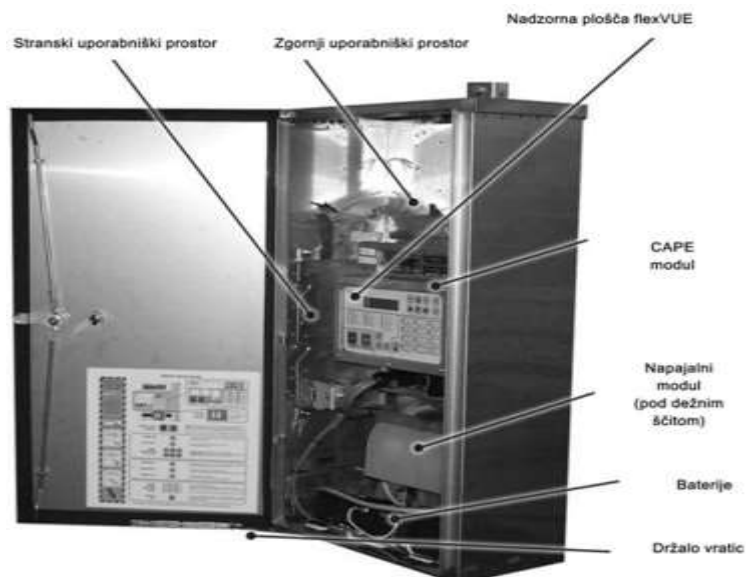
2.1.2 Kompaktni vakuumski odklopnik Nu-Lec U27/ADVC3 (PG18)

Elektronsko krmiljen vakuumski odklopnik z vgrajeno zaščito je odklopnik U27. Montira se tako na betonske in lesene drogove kot tudi na kovinske konstitucije na SNO. Ta vrsta stikal ima vakuumske komore, vgrajene v izolatorje, ki so narejene iz tako imenovane epoksi kompozitne smole. To pomeni, da ne potrebujejo drugega izolacijskega sredstva (SF6 plin, olje). Pri teh vrstah stikal so kontakti vodeni z elektromagnetnim prožilnim mehanizmom. Njegovo delovanje je neodvisno od zunanje napajalne napetosti. Nahaja se v ohišju, ki je iz nerjavečega jekla in je sestavni del spodnjega dela stikalne naprave (Tehnični priročnik, ALTENS, Nu-Lec U27 / ADVC3, (b. l.)).



Slika 1: Kompaktni vakuumski odklopnik U27 za zunanjo montažo
(Lastni vir)

Pod stikalno napravo se na steber namesti omarica, ki je narejena iz nerjavečega jekla. Njena oblika nudi popolno zaščito za vgrajene dele pred zunanjimi vplivi okolja in omogoča hiter, enostaven dostop do krmilne plošče. Krmilna plošča omogoča krmiljenje naprave 6 (Tehnični priročnik, ALTENS, Nu-Lec U27 / ADV3, (b. I.)).



Slika 2: Krmilna omarica kompaktnega vakuumskega odklopnika Nu-Lec U27
(Vir: Tehnični priročnik, ALTENS, Nu-Lec U27 / ADV3, b. I.)

- izračun vrednosti RMS faznih in ničelnih tokov ter faznih in medfaznih napetosti,
- meritve I, P, U, Q, harmonska popačenja, zajemanje signalov, okvarni tok (podatki, ki so shranjeni za analizo),
- daljinska vodenja (neprekinjeno in nadzorovano obratovanje elektronske opreme, stikala in dodatne komunikacijske opreme omogoča napajalnik, ki je mikroprocesorsko nadzorovan. V pomnilnik krmilnik ADVC3 zapisuje in zajema vse informacije ter lastnosti stikalnega aparata. Zaradi tega se v primeru okvare krmilne omarice ali stikalnega aparata okvarjeno enoto hitro nadomesti z novo. Pri tem se ohranijo vsi pomembni podatki stikalnega aparata – zmogljivost, obraba izklopnih kontaktov, kalibracijski podatki ...).

Zaščitne funkcije (Elektro Ljubljana, d. d.):

- nadtokovna zaščita (IV50, I>),
- kratkostična zaščita (KV50, I>>),
- zemeljskostična zaščita (ZV51N, Ie>),
- hitri avtomatski ponovni vklop (HAPV) in počasni avtomatski ponovni vklop (PAPV).

2.1.3 Močnostni ločilnik – bremensko stikalo SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3 (PG34)



Slika 4: BS RL27/ADVC3 (PG 34)
(Lastni vir)

BS 27 kV s samodejno izolacijo okvare v BNP (SIOB). Kot ročno ali daljinsko vodeno stikalo oziroma kot avtomatizirani ločilnik se uporablja serija RL. Izolator stikalne enote je plin SF6. Plin je namenjen tudi kot gasilo oblokov. Stikalna enota je normirana za odklope tokovnih obremenitev do 630 A (Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, (b. I.)).



Slika 5: Krmilna plošča ADVC3 BS PG 34
(Lastni vir)

BS se lahko montira na betonski ali leseni drog DV za nadzemne vode do 38 kV zunanjih vhodnic s serijsko vgrajenimi kapacitivnimi delilniki in tokovnimi transformatorji. Ti omogočajo, da se stikalo vgradi kot daljinsko voden ločilnik s SIOB ali kot stikalo v avtomatizaciji zank in kot mejno stikalo. Iz nadzornega centra ga lahko daljinsko upravljamo z elektronskim krmilnikom ADVC3 in elektromotorjem. Krmilnik ima predloženo ločilniško logiko, s katero upravljamo ločilnik v sklopu z odklopnikom. S pomočjo takšnega kompletnega sistema se lahko hitro locirajo okvarjeni deli DV, poleg tega pa se zmanjša tudi čas izpada (Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, (b. I.)).

2.1.4 Delovanje v vlogi bremenskega stikala

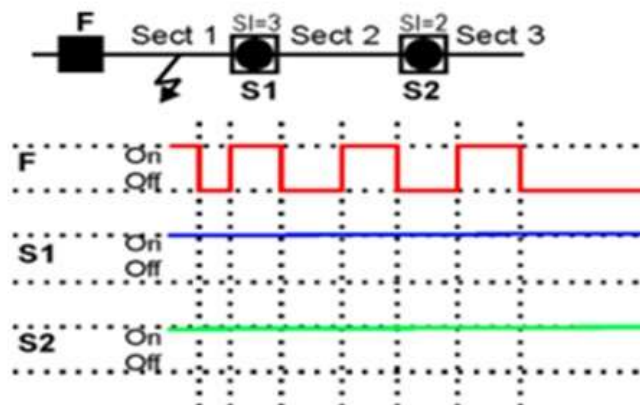
Serijski RL BS se lahko uporablja za preusmeritev pretoka energije v primerih, ko je to potrebno. Lahko pa se uporablja za izolacijo segmentov omrežja. Preklop se lahko izvede različno – na primer daljinsko preko komunikacijskega portala, ročno s pomočjo izolirne palice ali lokalno z uporabo kontrolnega panela. BS RL27 so opremljena s tokovnimi senzorji, s katerimi se zaznava fazne in zemeljskostične napake. Preko PC-ja ali preko operaterskega panela se nastavijo nastavitve. Takšni detektorji so v pomoč operaterjem in tudi vzdrževalcem pri lociranju okvare. S tem se skrajša čas izpadov, posledično pa se poveča zadovoljstvo odjemalcev (Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, (b. I.)).

2.1.5 Delovanje v vlogi avtomatskega ločilnika (SIOB)

V povezavi s krmilnikom ADVC3 lahko BS RL27 deluje kot avtomatski ločilnik. To pomeni, da okvarjeni odsek omrežja avtomatsko izolira v povezavi z višje ležečimi odklopniki z zaščito. Da to doseže, zaznava napetost in trifazni tok ter šteje izklope odklopnikov, ki ležijo višje. Krmilnik v BNP (PAPV) izda ukaz za izklop ločilnika, ko je zaznana prednastavljeno število odklopov. Tako izolira nižje ležečo okvaro in s tem omogoča APV odklopnika z zaščito, ki leži višje. Logika ločilniškega omrežja je razložena z uporabo časovnih diagramov (Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, (b. I.)).

V primeru spodaj (slika 2.3.3) odklopnik »F« štiti del omrežja, ki vsebuje tudi ločilnika »S1« in »S2«, ki sta programirana tako, da izklopita po dveh oziroma po treh izklopih odklopnika. Različne okvare so označene na mestih 1, 2, 3 in so spodaj podrobneje opisane (Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, (b. I.)).

- Okvara na odseku 1 (slika 6)
Odklopnik »F« gre v definitivni izpad, ločilnika (S1, S2) ne spreminjata stanja.

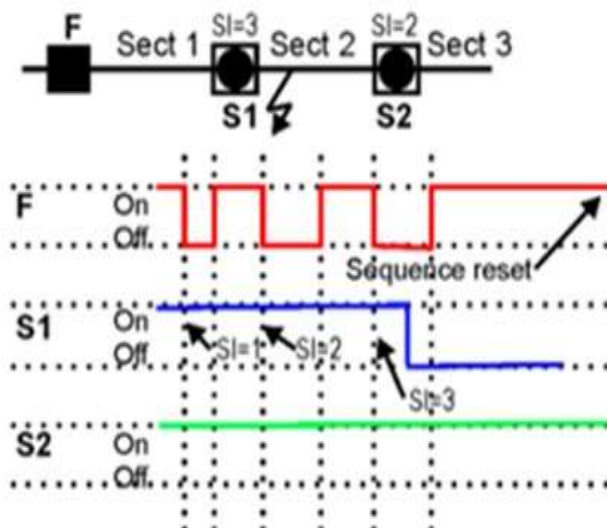


Slika 6: Okvara na odseku 1

(Vir: Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, b. I.)

- Okvara na odseku 2 (slika 7)

V primeru te okvare odklopnik najprej izklopi in nato ponovno vklopi. V primeru, ki je prikazan spodaj, do tega pride dvakrat. Po tretjem izklopu odklopnika ločilnik z oznako »S1« izolira in izklopi napako. Za tem tretji vklop odklopnika vrne napajanje do ločilnika »S1«.

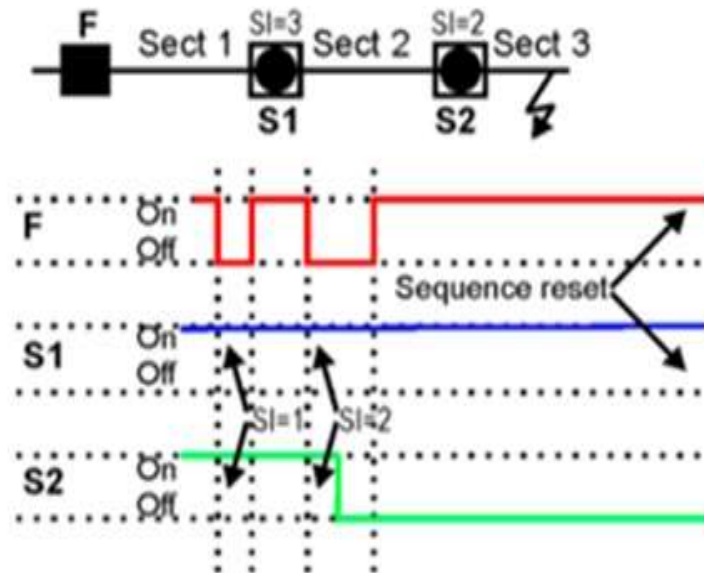


Slika 7: Okvara na odseku 2

(Vir: Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, b. I.)

- Okvara na odseku 3 (slika 8)

V tem primeru okvare bo okvara na odseku številka 3 povzročila izklop in ponovni vklop odklopnika. Med drugo BNP odklopnika ločilnik z oznako »S2« izolira okvaro. Tretji ponovni vklop odklopnika povrne napajanje do točke z oznako »S2«.



Slika 8: Okvara na odseku 3

(Vir: Tehnični priročnik, ALTENS, SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3, b. I.)

2.2 SPLOŠNO O ZAŠČITI RADIALNIH SREDNJE NAPETOSTNIH OMREŽIJ

Nadtokovna zaščita

Osnovna zaščita v radialnih vodih so predvsem tokovne zaščitne funkcije. Nastavitve le-teh določamo glede na presek vodnikov. Kot posledica tega je termičen vpliv na daljnovode in kablovode. Nadtokovne zaščite se delijo na časovno neodvisne in odvisne. Poleg tega pa tudi na usmerjene in neusmerjene. Nadtokovne časovno neodvisne zaščite z zakasnitvijo izklopa so najenostavnejše. Te delujejo pri absolutni vrednosti, kar pomeni, da mora tok preseči nastavljene vrednosti. Selektivnost dosežemo z izklopom, ki je časovno zakasnen. Od vgrajene energetske opreme in njene zmogljivosti ter pozitivnih in negativnih časovnih pogreškov relejev je odvisno stopnjevanje. V tem primeru imamo trifazno nadtokovno zaščito. To pomeni, da imamo v vseh treh fazah enake nastavitve. Za točne nastavitve vrednosti toka in časa, se upošteva, da je nadtokovna zaščita (Trpin, 2016):

- nižja oziroma enaka od termične obremenitve vodov. V nasprotnem primeru je nastavljena na trajno vrednost maksimalnega dopustnega toka, glede na najmanjši presek vodnika na vodu.
- manjša od najmanjše vrednosti kratkostičnega toka, ki se nahaja v nadtokovnem releju. Ta temu releju tudi sledi. S tem nadtokovna zaščita služi kot rezervna zaščita.
- povišana za 20 % od najvišjega bremenskega toka, ki bo v neugodnih situacijah tekel skozi vod.

Pri časovnih nastavitvah in nastavitvah toka upoštevamo tudi (Trpin, 2016):

- relejno karakteristiko,
- karakteristične, bremenske tokove,
- nastavitve zaščit, ki sledijo zaščitenim vodom.



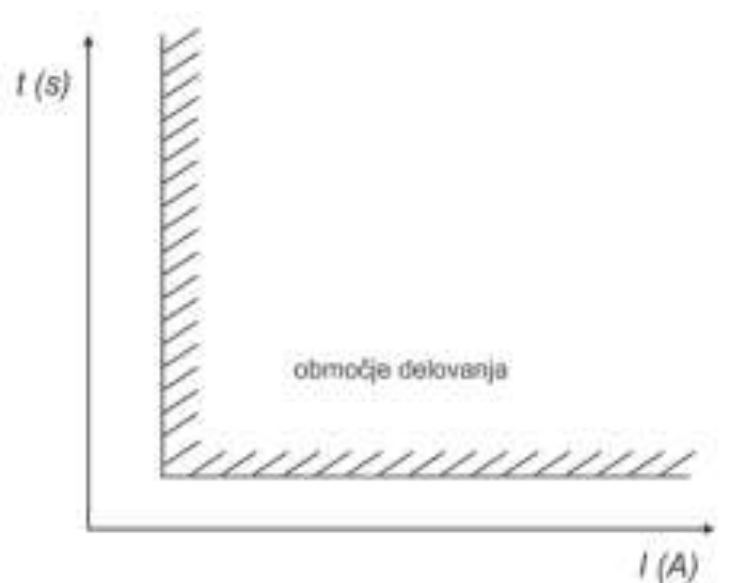
Slika 9:Primer stopnjevanja numeričnih relejev

(Vir: Trpin, 2016)

Na zgornji sliki je prikaz RTP oziroma RP (točke A, B, C,D). na izvodih so prikazane pripadajoče zaščite. Le te tokovno prilagodimo in časovno zamikamo oziroma zakasnimo. S tem zagotovimo selektivnost. Če do okvare pride na koncu voda, bo delovala zaščita v točki D, ker ima nastavljen najhitrejši izklopni čas. Na primer, da zaščita v točki D zataji, bo delovala prva pred njim. To je zaščita v točki C. Slaba stran je, da imamo najdaljši čas delovanja same zaščite v bližini izvora. Kot posledica tega so večje obremenitve vodov s kratkostičnim tokovi (Trpin, 2016).

Časovna zakasnitev izklopa je konstantna s stopnjevanjem najmanj 0,4 s, kar omogoča ustrezno selektivnost zaporedno postavljenih nadtokovnih zaščit med posameznimi odseki. Časovne zakasnitve nadtokovnih zaščit pri elektromehanskih relejih so naslednje (Leskovec, 1997):

- RP 20 kV izvod1 s,
- RTP 110/20 kV izvod1,5 s,
- RTP 110/20 kV transformator.....2.0 s.



Slika 10: Časovno neodvisna karakteristika zaščite
(Vir: Trpin, 2016)

Kratkostična zaščita

Ob kratkem stiku se na omrežju pojavijo tokovi, ki se ob normalnih pogojih ne pojavljajo. Ti tokovi pregrevajo vodnike in s tem povzročajo izgube, ki rastejo s kvadratom toka. Nastala toplota se shranjuje v vodniku in s tem povečuje njihovo temperaturo, ki bi z višanjem ogrozila izolacijo kablov in mehansko trdnost vodnikov, zato je treba te vrste okvar v čim krajšem času prekiniti (Trpin, 2016).

Usmerjene zaščite

Za zaščito paralelnih vodov, krožnih vodov in zazankanih omrežij uporabljamo usmerjeno ali smerno zaščito. To uporabljamo v naslednjih zaščitnih funkcijah: kratkostični, zemeljskostični in nadtokovni zaščiti. Uporabna je v radialnih vodih pri občutljivi zemeljskostični zaščiti, kjer so zelo majhni okvarni tokovi. Poleg tokovnih vrednosti za delovanje usmerjene zaščite potrebujemo še referenčne vrednosti, ki so v tem primeru napetosti (Trpin, 2016).

Zemeljskostična zaščita

Za detekcijo zemeljskih stikov v SNO uporabljamo zemeljskostično zaščito, ki je najpomembnejša zaščita. Statistično je v SNO 70 % vseh okvar zemeljskostičnih. Zemeljskostična zaščita mora delovati v čim krajšem možnem času, tako da zmanjša nevarnost nedovoljene napetosti dotika in koraka na mestu okvare kot tudi nevarnost

električnega udara. Delovni upor 80Ω , priključen v zvezdišču TR VN/SN na 150 A, nam omejuje velikost toka pri zemeljskem stiku v 20 kV omrežju. Residualni tok, ki se pojavi ob zemeljskem stiku, meri merilni tokovni transformator, nameščen v nevtralni točki. Zemeljskostična zaščita lahko deluje na dva načina. To pomeni, da lahko deluje kot nesmerena ali smerna zaščita. V primeru smerne zaščite se upošteva še fazni kot, ki se pojavi ob okvari $3I_0$ in $3U_0$. Zajemanje $3U_0$ je izvedeno z odprtim trikotom napetostnih instrumentov transformatorjev v merilni celici 20 kV (Trpin, 2016).

Občutljiva smerna zemeljskostična zaščita

Pri visokoohmskih okvarah je prehodna upornost okvare zelo visoka. V tem primeru se lahko zgodi, da zemeljskostična zaščita ne bi delovala. Klasična zemeljskostična zaščita ima nastavljene vrednosti 30 A in navzgor, pri visokoohmskih okvarah pa imamo tokove le nekaj amperov. Za pogoj delovanja ima občutljiva smerna zemeljskostična zaščita mejne vrednosti toka $3I_0$, napetosti $3U_0$ in fazni kot med njima. Namen te zaščite je odpraviti okvare pri zelo majhnih tokovih, ki jih zemeljskostična zaščita ne bi mogla zaznati. Vrednosti okvarnih tokov so nekaj amperov in so lahko po velikosti podobni kot kapacitivni tokovi, ki normalno tečejo v omrežju. Za ugotovitev smeri potrebujemo residualno napetost ($3U_0$), ki jo pridobimo iz napetostnih merilnih transformatorjev (NIT). Imenujemo jo napetost odprtega trikota. Poleg tega pa potrebujemo še residualni tok ($3I_0$), ki ga dobimo iz objemnih tokovnih transformatorjev ali pa iz vezave Holm – Green (Trpin, 2016).

2.2.1 Funkcije zaščitnega numeričnega releja (IED) SIEMENS, SIPROTEC 4, 7SJ632

Zaščitna naprava SIEMENS, SIPROTEC 4, 7SJ632 je vgrajena na DV J32 RP Kozarje v RTP Litostroj.



Slika 11: Zaščitni numerični rele (IED) Siemens, Siprotec 4, 7SJ632
(Lastni vir)

Zaščitni numerični terminal (IED) 7SJ632

Naprava 7SJ632 je zaščitni tokovni rele z inverzno ali neodvisno časovno karakteristiko, opremljen s sistemom za določitev smeri toka, uporablja se ga v SN zazankanih omrežjih in pri enostransko napajanih vzporednih vodih ali transformatorjih. Lahko služi tudi kot rezervna zaščita pri diferencialnih zaščitah vodov, transformatorjev, generatorjev, motorjev in zbiralk. Izvedba ozemljitve zvezdišča pri tem ni bistvena. Za kasnejšo analizo napak se med okvaro na omrežju v napravi shranjujejo trenutne vrednosti meritev v času trajanja do treh sekund. Z nenehnim preverjanjem simetrije merjenih vrednosti naprava zazna motnje v tokokrogih merilnih tokovnih transformatorjev. Serijski vmesniki omogočajo vzpostavitev zmožljive komunikacije z drugimi digitalnimi napravami za vodenje in shranjevanje podatkov. Zaščitne funkcije so smerne nadtokovne zaščite (uporabljeno), motorske zaščite, nadnapetostna in podnapetostna zaščita, preobremenitvena termična zaščita, nadtokovne zaščite (uporabljeno), občutljive smerne in zemeljskostične zaščite (uporabljeno), zemeljskostična nadnapetostna zaščita, APV (uporabljeno), zaščita pred okvaro odklopnika, podfrekvenčne in nadfrekvenčne zaščite (uporabljeno, ni aktivirano) ter zaščita inverznega vrtilnega polja toka in napetosti (uporabljeno) (Elektro Ljubljana, d. d.).

Zaščitni numerični rele Siemens, Siprotec 4, 7SJ632 je vgrajen v RTP Litostroj, vodna celica J32 KB 20 kV Kozarje 2 in ima naslednje funkcije (Elektro Ljubljana, d. d.):

- APV,
- nadtokovna in usmerjena nadtokovna zaščita,
- zemeljskostična in usmerjena zemeljskostična zaščita,
- frekvenčna zaščita,
- kratkostična in usmerjena kratkostična zaščita,
- občutljiva zemeljskostična zaščita s pogojem DVN,
- občutljiva usmerjena zemeljskostična zaščita.

APV vodne celice se vzbudi, ko začne delovati zaščita. Avtomatika je nastavljena po časovni zakasnitvi (0,3 s – HAPV), ki vključi odklopnik na odvodu. Če je napaka še prisotna, se odklopnik ponovno izklopi. Po drugi časovni zakasnitvi (30 s – PAPV) ponovno vključi odklopnik na odvodu. V primeru še vedno prisotne napake zaščita ponovno izklopi odklopnik in blokira APV. V primeru, da je na SN vodno celico vključeno le SN KB omrežje, je aktivirana le druga časovna zakasnitev (30 s – PAPV), kar velja tudi za celico J32 (Elektro Ljubljana, d. d.).

Kratkostična in nadtokovna ter zemeljskostična zaščita so napajane iz treh faznih tokovnih merilnih transformatorjev (TIT). Ti so nameščeni v vsaki vodni celici. Nadtokovna zaščita ščiti odvod pri preobremenitvah, kratkostična pa pri kratkih stikih. Tokovna nastavitvev zaščite je odvisna od materiala in preseka kabla in deluje preko

časovne zakasnitve na izklop odklopnika v polju. Naloga kratkostične zaščite je, da štiti odvod pri kratkih stikih. Naloga zemeljskostične zaščite je, da zaščiti vod pred nizkoohmskimi zemeljskimi stiki. Tokovna nastavitev zaščite je standardno časovno zakasnjena za 0,5 s, tok pa je standardno 50 A. Deluje na izklop vodnega odklopnika (Elektro Ljubljana, d. d.).

Občutljiva smerna zemeljskostična zaščita in občutljiva pogojena (sig, DVN) zemeljskostična zaščita sta napajani iz objemnega merilnega tokovnega transformatorja. Ta je nameščen v vsaki vodni celici in iz odprtega trikotnika NIT, nameščenih v transformatorskih celicah. Občutljivi zemeljskostični zaščiti štiti vod v primeru visokoohmskih okvar na vodu (Elektro Ljubljana, d. d.).

Funkcija frekvenčne zaščite je kontrola nivoja frekvence na posameznem izvodu. Časovni člen sproži izklop voda v primeru odstopanja frekvence preko nastavljene meje. V primeru, da se odstopanje frekvence vrne znotraj nastavljenih mej in histereze pred iztekom časovne zakasnitve, se procedura frekvenčne zaščite zaustavi. Izklop posameznega izvoda brez delovanja APV sledi v nasprotnem primeru. Nastavitve podfrekvenčne zaščite se nastavijo v skladu s shemo podfrekvenčnega razbremenjevanja. Shema ne vključuje celice J32, zato je podfrekvenčna zaščita izklopljena (Elektro Ljubljana, d. d.).

Občutljiva pogojena (sig, DVN) zemeljskostična zaščita štiti odvod pri visokoohmskih zemeljskih stikih. Tokovna nastavitev zaščite je 1,25 A (0,005 In). Časovna zakasnitev je 1,2 s na izklop vodnega odklopnika ob pogoju, da je prisoten signal DVN1 iz transformatorske zaščite nevtralne točke vsaj 2 s. Signal DVN 1 se prenaša po postajnem komunikacijskem vodilu preko signala GOOSE. Ta signal sledi enopolni shemi SN stikališča in položajem SN stikalnih elementov. Tako je signal DVN1 posredovan le v SN vodne celice, ki so v galvanski povezavi z okvarjenim delom SNO (Elektro Ljubljana, d. d.).

Nastavitev usmerjene zemeljskostične zaščite je 2,5 A (0,01 In), 1,8 V (0,018 Un) in deluje preko časovne zakasnitve, ki znaša 1 s na izklop vodnega odklopnika. Usmerjenost zaščite je pogojena s funkcijo $\cos\varphi$ med kotom I_0 in napetostjo U_0 . Vsa delovanja zaščit se signalizirajo lokalno na prikazovalniku releja 7SJ632 in lokalni SCADI v objektu RTP ter daljinsko na distribucijskem centru vodenja (DCV) SCADO (Elektro Ljubljana, d. d.), in sicer:

- IV – nadtokovna zaščita – izklop,
- KV – kratkostična zaščita – izklop,
- ZV – zemeljskostična zaščita – izklop,
- ZVO – občutljiva zemeljskostična zaščita,
- ZVOS – občutljiva smerna zemeljskostična zaščita,
- ZVO 51Ns – pogojena visokoohmska zaščita,
- APVD – delovanje APV,

- APVI – definitivni izklop po neuspešnem delovanju APV,
- F– izpad po podfrekvenčni zaščiti.

2.2.2 zaščitne funkcije zaščitnega numeričnega releja ISKRA FPC 501

Zaščitna naprava je vgrajena v DV polje J11 PG v RP Kozarje. Podana je na spodnji sliki



Slika 12: Zaščitni numerični rele (IED) Iskra FPC 501
(Lastni vir)



Slika 13: Zaščitni numerični rele (IED) Iskra FPC 501
(Lastni vir)

Naprava FPC 501 združuje funkcije numerične zaščite, lokalne avtomatike in vodenja tako za radialna kot tudi za zazankana omrežja in paralelne vode. Za tako zaščito je značilna uporaba zaščitnih sistemov, ki delujejo na osnovi več vhodnih veličin, kot so tokovi in napetosti. Osnova naprave FPC 501 so zaščitne funkcije, katerim so lahko dodane funkcije lokalne avtomatike in vodenja. Napravo FPC 501 se lahko uporablja v (Elektro Ljubljana, d. d.):

- direktno ozemljenih omrežjih,
- preko upora ozemljenih omrežjih,
- omrežjih, ozemljenih prek Petersenove tuljave,
- izoliranih omrežjih.

Zaščitne funkcije naprave FPC 501 so občutljive smerne in nesmerne zemeljskostične zaščite (uporabljeno), nadtokovne zaščite (uporabljeno), APV (HAPV, PAPV – uporabljeno). Zaščitni rele ima naslednje funkcije (Elektro Ljubljana, d.d.):

- APV,
- zemeljskostična zaščita,
- občutljiva usmerjena zemeljskostična zaščita,
- nadtokovna zaščita,
- občutljiva zemeljskostična zaščita,
- kratkostična zaščita.

Občutljiva usmerjena zemeljskostična zaščita in zemeljskostična nadtokovna zaščita sta napajani iz objemnega TIT. Ta je nameščen v vsaki vodni celici in iz odprtega trikotnika NIT, nameščenih v merilnih celicah. Naloga zemeljskostične zaščite je, da zaščiti odvod proti nizkoohmskim zemeljskim stikom. Tokovna nastavitvev zaščite je standardno časovno zakasnjena za 0,3 s, tok pa je standardno 50 A. Deluje na izklop vodnega odklopnika. Občutljiva zemeljskostična zaščita ni aktivirana, ker naprava FPC501 ne omogoča pogojenega delovanja s pogojem DVN1. Občutljiva usmerjena zemeljskostična zaščita ščiti odvod proti viskoohmskim zemeljskim stikom. Nastavitvev zaščite je 2,5 A (0,01 In), 1,8 V (0,018 Un) in deluje preko časovne zakasnitve, ki znaša 0,8 s na izklop vodnega odklopnika (Elektro Ljubljana, d. d.).

APV vodne celice se vzbudi, ko začne delovati zaščita. Avtomatika je nastavljena po časovni zakasnitvi (0,3 s – HAPV), ki vključi odklopnik na odvodu. Če je napaka še prisotna, se odklopnik ponovno izklopi. Po drugi časovni zakasnitvi (30 s – PAPV) ponovno vključi odklopnik na odvodu. V primeru še vedno prisotne napake zaščita ponovno izklopi odklopnik in blokira APV. V celi J11 je aktiviran tako PAPV kot tudi HAPV. Vsa delovanja zaščit se signalizirajo lokalno na prikazovalniku releja ISKRA FPC501 in daljinsko v DCV SCADI, in sicer (Elektro Ljubljana, d.d.):

- IV – nadtokovna zaščita – izklop,

- KV – kratkostična zaščita – izklop,
- ZV – zemeljskostična zaščita – izklop,
- ZVOS – občutljiva smerna zemeljskostična zaščita,
- APVD – delovanje APV.

Zaščitne funkcije (Elektro Ljubljana, d.d.):

- nadtokovne zaščite (fiksni čas, inverzne karakteristike),
- občutljive smerne in nesmerne zemeljskostične zaščite,
- APV (HAPV, PAPV).

Nadzorne funkcije in meritve (Elektro Ljubljana, d.d.):

- nadzor nad več stikalnimi napravami (odklopnik, ločilnik, ozemljilni ločilnik) – uporabljeno nadzor Q0, Q1 in Q9,
- svetlobni, led prikaz alarmov – uporabljeno,
- nadzor in meritve toka – uporabljeno,
- nadzor izklopnega tokokroga odklopnika (KIT) – uporabljeno,
- beleženje oscilografij ob dogodkih na omrežju – uporabljeno, spomin za eno oscilografijo.

Komunikacija (Elektro Ljubljana, d.d.):

- Sistemski port za povezavo na vodenje NEO 2000

Sistemski port je izveden z optično zaporedno povezavo vseh naprav posameznega sektorja na koncentrador. V kolikor izpade ena naprava, vse naprave za njo izgubijo povezavo z vodenjem. Koncentrador pošilja podatke v DCV SCADO. Na objektih RP ni izvedene lokalne SCADA. Upravljanje zaščitnih naprav je urejeno centralizirano iz centra za nadzor zaščit. Vse naprave so dostopne daljinsko in jih je možno daljinsko preparametrirati ali prebrati oscilografijo.

Sistem NEO 2000 je namenjen vodenju in zaščiti distribucijskih omrežij, ki ga sestavljajo:

- komunikacijski vmesniki in poti,
- center vodenja (CV),
- lokalno realiziran računalniško podprt nadzor TP,
- inteligentne naprave, ki so namenjene vodenju in zaščiti posameznih delov TP,
- inteligentne naprave, ki so namenjene nadzoru distribucijskih vodov in kablov,
- samostojne numerične zaščite vseh vrst,
- inteligentne enote, ki so namenjene vodenju dislociranih in manjših enot.

2.3 Statistika kratkotrajnih izpadov

Neprekinjenost napajanja se predpisuje za skupno število in trajanje nenapovedanih kratkotrajnih in dolgotrajnih prekinitev v enem letu na enem prevzemno-predajnem mestu. Predpisano je tudi število napovedanih prekinitev.

Načrtovana prekinitev napajanja predstavlja stanje, ko so odjemalci predhodno obveščeni, da se bodo na omrežju izvajala načrtovana dela in ko je napetost na predajnem mestu manjša od 5 % dogovorjene napetosti. Nenačrtovana prekinitev napajanja pa pomeni stanje, ko je napetost na predajnem mestu manjša do 5 % dogovorjene napetosti. Nepričakovano prekinitev napajanja povzročajo predhodne ali trajne okvare, ki jih povzročijo okvara opreme, zunanji dogodki in motnje. Glede na trajanje, stroške, vrsto, posledice in napetostni nivo lahko razvrščamo prekinitev. Poleg tega so lahko kratkotrajne, kar pomeni do treh minut, ali dolgotrajne, kar pomeni daljše od treh minut. Določene so z evropskim tehničnim standardom SIST EN 50160. Prekinitev so lahko nenapovedane in napovedane. Lahko pa se zgodijo tudi prekinitev na različnih napetostnih nivojih (Agencija za energijo (2021).

Trajanje in skupno število vseh nenapovedanih odjemov ali nenapovedanih prekinitev dobave na enem prevzemno-predajnem mestu v enem letu ne sme presegati dovoljenega skupnega števila in trajanja prekinitev v minutah oziroma urah za posamezne vrste omrežja. Za to je odgovoren upravljalec omrežja v primeru, da se z odjemalcem ne dogovori drugače.

LETO	SAIFI (prek./odj.)	SAIDI (min./odj.)	CAIFI (prek./odj.)	MAIFI (prek./odj.)
2017	7,788	576,551	19,745	46,871
2018	4,941	196,663	18,026	28,474
2019	2,671	87,050	3,473	23,374
2020	2,006	59,674	2,612	14,419
2021	3,085	126,813	5,085	21,085

Tabela 1: Kazalniki neprekinjenosti za zadnjih pet let
(Lastni vir)

Razlaga izrazov SAIFI, SAIDI, CAIFI, MAIFI (Slovenski državni holding, d. d., 2019):

- **SAIFI:** parameter povprečne frekvence prekinitev napajanja v sistemu (SAIFI) je razmerje med celotnim številom prekinitev napajanja uporabnikov v določenem časovnem intervalu in celotnim številom uporabnikov v sistemu za čas trajanja tega časovnega intervala. Parameter SAIFI izražamo s številom

prekinitev na uporabnika glede na obdobje opazovanja oziroma poročanja (mesečno, letno). V LNU se izraža v »število prekinitev/uporabnika/leto«.

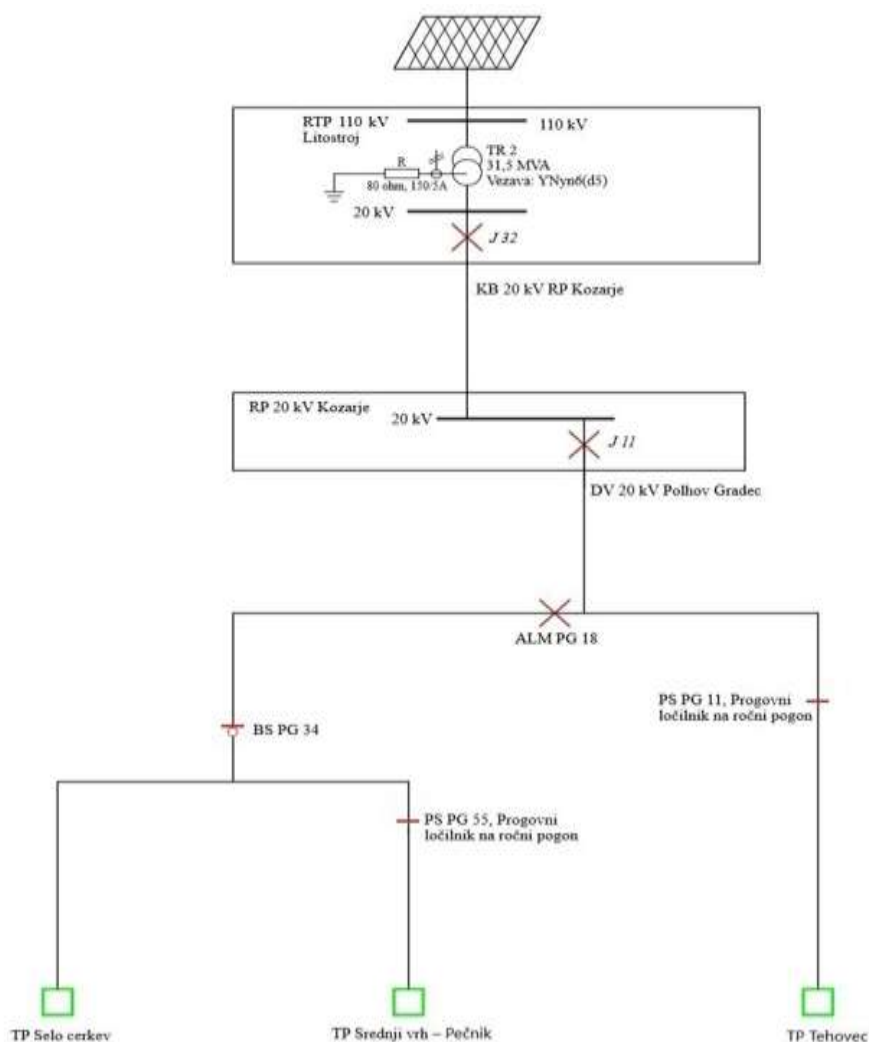
- **SAIDI:** parameter povprečnega trajanja prekinitev napajanja v sistemu (SAIDI) je razmerje med vsoto trajanja prekinitev napajanja posameznih uporabnikov v določenem časovnem intervalu in celotnim številom uporabnikov v sistemu za čas trajanja tega časovnega intervala. Parameter SAIDI se izraža v minutah na uporabnika glede na obdobje opazovanja oziroma poročanja (mesečno, letno). V LNU se izraža v »minute/uporabnika/leto«.
- **CAIFI:** je razmerje med celotnim številom prekinitev napajanja odjemalcev v določenem časovnem intervalu in celotnim številom prizadetih odjemalcev z vsaj eno prekinitvijo v času trajanja tega časovnega intervala.
- **MAIFI:** parameter povprečne frekvence kratkotrajnih prekinitev napajanja (MAIFI) je razmerje med celotnim številom kratkotrajnih prekinitev napajanja uporabnikov v določenem časovnem intervalu in celotnim številom uporabnikov v sistemu za čas trajanja tega časovnega intervala. Parameter MAIFI izražamo s številom prekinitev na uporabnika glede na obdobje opazovanja oziroma poročanja (mesečno, letno). V LNU se izraža v »število kratkotrajnih prekinitev/uporabnika/leto«.

3 IZRAČUNI KRATKOSTIČNIH TOKOV IN KRATKOSTIČNIH MOČI

Spodnja enopolna shema prikazuje trenutno stanje omrežja. Trenutno sta vgrajeni dve ALM. To sta ALM PG 18, ki je daljinsko voden odklopnik, in BS PG 34, ki je BS in izklaplja v drugi BNP.

3.1 Shema trenutnega stanja omrežja

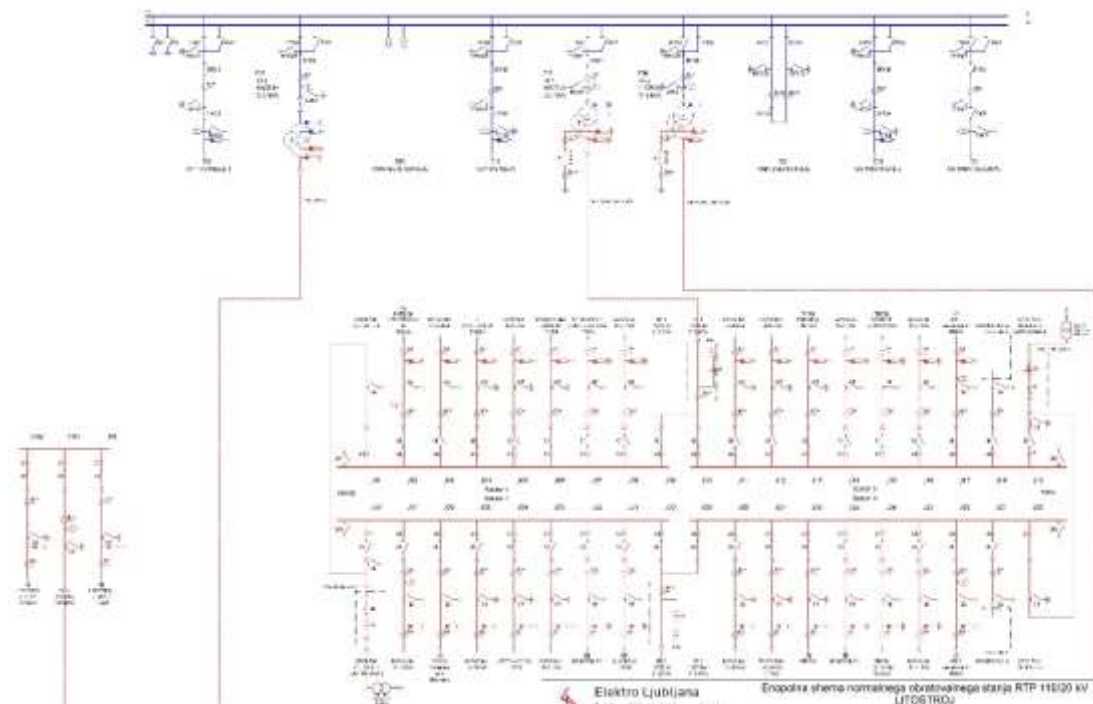
Slika 14 prikazuje shemo trenutnega stanja omrežja RTP Litostroj, RP Kozarje in DV 20 kV PG.



Slika 14: Shema trenutnega stanja omrežja
(Lastni vir)

3.2 RTP Litostroj

Spodnja slika prikazuje enopolno shemo RTP Litostroj.



Slika 15: Enopolna shema RTP Litostroj
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Kratkostični tok na zbiralkah v RTP Litostroj je 25,219 kA (Vir Študija EIMV, št 2350/2, Ljubljana 2017). Na osnovi kratkostičnega toka na zbiralkah se izračunata kratkostična moč in impedanca tujega omrežja (110 kV).

$$U_n = 110 \text{ kV}$$

$$I_{k110} = 25,219 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 110 kV zbiralkah v RTP Litostroj:

$$S_{k110}[\text{MVA}] = \sqrt{3} \cdot U[\text{kV}] \cdot I_k [\text{kA}] = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 25,219 = 4805 \text{ MVA}$$

Impedanca 110 kV omrežja:

$$Z_{110} = \frac{1,1 \cdot U^2}{S_{k110}} = \frac{1,1 \cdot 110^2}{4805} = 2,77 \Omega$$

Impedanca omrežja znaša 2,770 Ω.

Z_{110} razčlenimo in pri tem upoštevamo, da je $R_{110} \approx 0,1 \cdot X_{110}$:

$$|Z_{110}| = \sqrt{R_{110}^2 + X_{110}^2} = \sqrt{(0,1 \cdot X_{110})^2 + X_{110}^2} = \sqrt{1,01 \cdot X_{110}^2} = 1,005 \cdot X_{110}$$

$$X_{110} = \frac{|Z_{110}|}{1,005} = \frac{2,770}{1,005} = 2,756 \Omega$$

$$\underline{Z}_{110} = (0,277 + j2,756)\Omega$$

Razčlenjena impedanca omrežja 110 kV znaša: $(0,277 + j2,756) \Omega$.

Za potrebe računanja kratkostičnih tokov in moči se impedanca omrežja preračuna na 20 kV nivo.

$$\underline{Z}_{20} = Z_{110} \cdot \left(\frac{Un_{20}}{Un_{110}}\right)^2 = (0,276 + j2,756) \cdot \left(\frac{20}{110}\right)^2$$

$$\underline{Z}_{20} = (0,009 + j0,091) \Omega$$

Impedanca 110 kV omrežja, pretvorjena na 20 kV nivo, znaša $(0,009 + j0,091) \Omega$.

Izračun impedance transformatorja TR 2–110/20 kV:

- moč: 31,5 MVA,
- napetost: 110–21/10, 5 kV,
- vezna skupina: YNyn6 (d5),
- u_k : 13,87 %,
- zvezdišče sekundarne strani transformatorja je ozemljeno preko upora 80 Ω , 150 A.

$$u_R = 0,5 \%, u_k = 13,87 \%$$

$$X_{tr20} = \frac{u_x \cdot Un_{20}^2}{100 \cdot S_n} = \frac{13,86 \cdot 20^2}{100 \cdot 31,5} = 1,76 \Omega$$

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_R^2} = \sqrt{13,76^2 - 0,5^2} = 13,86 \%$$

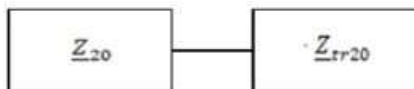
$$R_{tr20} = \frac{u_R \times Un_{20}^2}{100 \cdot S_n} = \frac{0,005 \cdot 20^2}{100 \cdot 31,5} = 0,063 \Omega$$

$$\underline{Z}_{tr20} = R_{tr20} + jX_{tr20} = 0,063 + j1,76 = (0,063 + j1,76) \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV zbiralkah v RTP Litostroj:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S1}}$$

\underline{Z}_{S1} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV in impedanco transformatorja, pretvorjeno na 20 kV nivo, v RTP Litostroj.



$$\underline{Z}_{S1} = \underline{Z}_{20} + \underline{Z}_{tr20}$$

$$\underline{Z}_{S1} = (0,009 + j0,091) + (0,063 + j1,76) = (0,072 + j1,851)\Omega$$

$$|Z_{S1}| = \sqrt{0,072^2 + 1,851^2} = 1,85 \Omega$$

Izračunamo kratkostični tok na 20 kV zbiralkah:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,838} = 6,911 \text{ kA}$$

Za tem pa še kratkostično moč na 20 kV zbiralkah:

$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 6,911 \cdot 10^3 = 239,4 \text{ MVA}$$

RTP LITOSTROJ

Un	110/20 kV
Ik 110 kV	25,219 kA
Sk 110 kV	4805 MVA
Ik 20 kV	6,91 kA
Sk 20 kV	239,4 MVA

DV 20 kV RTP Litostroj – RP Kozarje (odsek 1)

Za izračun impedance 20 kV DV se uporabijo naslednji podatki.

Tip SN voda (kabelska povezava med RTP Litostroj in RP Kozarje).



Slika 16: RTP Litostroj – RP Kozarje (odsek 1)
(Lastni vir)

Izvod J32 KB 20 kV RP Kozarje 2

	Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina (km)	voda	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1	AL NA2XS(FL)2Y	1 x 240 mm ²	9,430		0,125	0,106

Tabela 2: Podatki kabla za odsek 1
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Kabel zemeljski AL NA2XS(FL)2Y 1 x 240 mm² 24 kV (podatki pridobljeni v programu SDMS, PIS-ELJ).

$$l = 9,430 \text{ km}, r = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km}, x = 0,106 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV20-1.odsek} = l \cdot (r + jx)$$

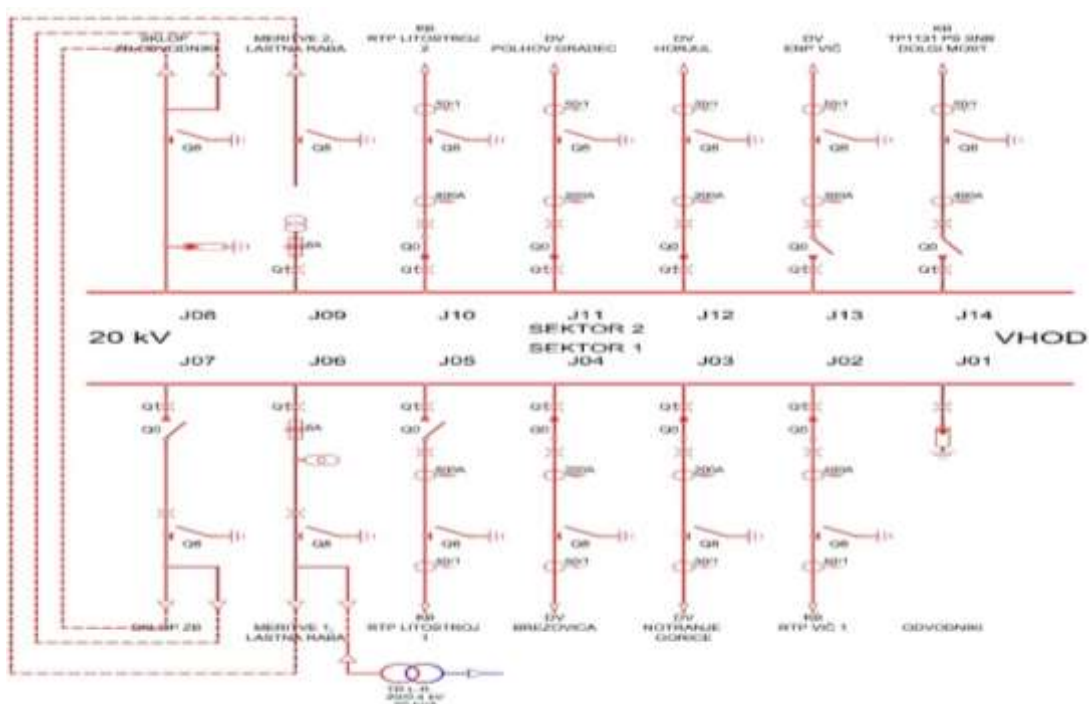
$$\underline{Z}_{DV20-1.odsek} = 9,430 \text{ km} \cdot (0,125 + j0,106) \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$Z_{DV20-1.odsek} = (1,179 + j0,999) \Omega$$

$$|Z_{DV20-1.odsek}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,179^2 + 0,999^2} = 1,54 \Omega$$

3.3 RP Kozarje

Spodnja slika prikazuje enopolno shemo RP Kozarje.

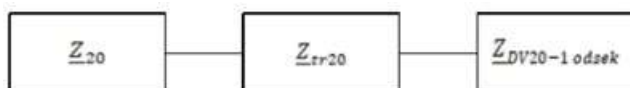


Slika 17: Enopolna shema RP Kozarje

(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV zbiralkah v RP Kozarje se mora upoštevati skupno impedanco mreže v RTP Litostroj, impedanco TR2 in impedanco DV 1. odseka.

Skupna impedanca Z_{S2} v RP Kozarje:



$$Z_{S2} = Z_{20} + Z_{tr20} + Z_{DV20-1 odsek}$$

\underline{Z}_{S2} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV pretvorjena na 20 kV nivo, impedanco transformatorja in impedanco KB 20 kV med RTP Litostroj in RP Kozarje.

$$\underline{Z}_{S2} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,17 + j0,999)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S2} = (1,250 + j2,85)$$

$$|\underline{Z}_{S2}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,250^2 + 2,85^2} = 3,11 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV zbiralkah v RP Kozarje:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3,11} = 4,084 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV zbiralkah:

$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 4,097 \cdot 10^3 = 141,9 \text{ MVA}$$

DV 20 kV RP Kozarje – Polhov Gradec PG 18 (odsek 2)

DV 20 kV RP Kozarje – ALM PG 18.

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.



Slika 18: RP Kozarje – Polhov Gradec PG18 (odsek 2)
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

	Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina (km)	voda r (Ω/km)	x (Ω/km)
1	AL NA2XS(F)2Y	1 x 150	1,010	0,191	0,22
2	AL NA2XS(F)2Y	1 x 70	0,3	0,41	0,22
3	Al/Fe	70/12	3,192	0,41	0,38
4	PIV Al	1 x 70	1,987	0,493	0,32

Tabela 3: Podatki vodnikov na odseku 2
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24 kV

$$l = 1,010 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv kabel}} = 1,010 \text{ km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv kabel}} = (0,193 + j0,222) \Omega$$

$$|\underline{Z}_{DV \text{ 20kv kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,193^2 + 0,222^2} = 0,29 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24 kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|\underline{Z}_{DV \text{ 20kv kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 70/12 mm²

$$l = 3,192 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv gol-vod}} = 3,192 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv gol-vod}} = (1,309 + j1,213) \Omega$$

$$|\underline{Z}_{DV \text{ 20kv gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,309^2 + 1,213^2} = 1,78 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 1 x 70 mm²

$$l = 1,987 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv PIV}} = 1,987 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv PIV}} = (0,979 + j0,636) \Omega$$

$$|\underline{Z}_{DV \text{ 20kv PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,979^2 + 0,636^2} = 1,17 \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv-2 ods.}} = (0,193 + j0,222) + (0,123 + j0,066) + (1,309 + j1,213) + (0,979 + j0,636)$$

$$\underline{Z}_{DV \text{ 20kv-2 ods.}} = (2,605 + j2,137) \Omega$$

$$|\underline{Z}_{DV \text{ 20kv-2 ods.}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{2,605^2 + 2,137^2} = 3,37 \Omega$$

3.4 DV 20 KV Polhov Gradec v točki 85

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki 85 (ALM PG 18) se mora upoštevati skupna impedanca celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S3} = \underline{Z}_{20} + \underline{Z}_{tr20} + \underline{Z}_{DV20-1 \text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-2 \text{ odsek}}$$

\underline{Z}_{S3} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV pretvorjena na 20 kV nivo, impedanco transformatorja in impedanco KB 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV odsek 2.

$$\underline{Z}_{S3} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,179 + j0,999) + (2,605 + j2,137)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S3} = (3,856 + j4,987)$$

$$|Z_{S3}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,856^2 + 4,987^2} = 6,30 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV PG v točki 85:

$$I_{k20} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,30} = 2,016 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$S_{k20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 2,016 \cdot 10^3 = 70,8 \text{ MVA}$$

DV 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec PS PG 11 (odsek 3)

DV 20 kV RP Kozarje – stojno mesto v točki 38 na odcepu Topol–Katarina.
Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.



Slika 19: RP Kozarje – Polhov Gradec PG 11 (odsek 3)
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

	Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina (km)	voda	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1	ERICSSON AXCES	AL 3 x 95	2,462		0,32	0,097
2	AL NA2XS(F)2Y	1 x 70	0,3		0,41	0,22
3	AL NA2XS(F)2Y	1 x 150	1,010		0,191	0,22
4	Al/Fe	70/12	3,139		0,41	0,38
5	PIV Al	1 x 70	2,043		0,493	0,32

Tabela 4: Podatki vodnikov na odseku 3
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel SN AL AXCES 3 x 95 mm²

$$l = 2,462 \text{ km}, r = 0,32 \Omega/\text{km}, x = 0,097 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 2,462 \text{ km} \cdot (0,32 + j0,097) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,788 + j0,239) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,788^2 + 0,239^2} = 0,82 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24 kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24 kV

$$l = 1,010 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 1,010 \text{ km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,193 + j0,222) \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 20kV kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,193^2 + 0,222^2} = 0,29 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 70/12 mm²

$$l = 3,139 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 3,139 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (1,287 + j1,193) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,287^2 + 1,193^2} = 1,76 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 1 x 70 mm²

$$l = 2,043 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = 2,043 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = (1,007 + j0,654) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,007^2 + 0,654^2} = 1,20 \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{20kV \text{ 3.ods}} &= (0,788 + j0,239) + (0,123 + j0,066) + (0,193 + j0,222) \\ &\quad + (1,287 + j1,193) + (1,007 + j0,654) \end{aligned}$$

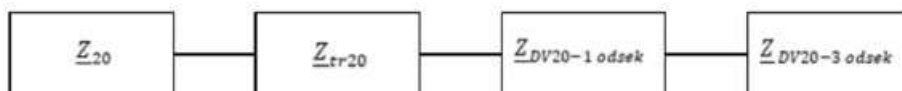
$$\underline{Z}_{20kV \text{ 3.ods}} = (3,397 + j2,373) \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 20kV 3.ods}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,397^2 + 2,373^2} = 4,14 \Omega$$

3.5 DV 20 KV Polhov Gradec v točki 38

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki 38 se mora upoštevati skupno impedanco celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S4} = \underline{Z}_{20kV} + \underline{Z}_{tr20kV} + \underline{Z}_{DV20-1 \text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-3 \text{ odsek}}$$

\underline{Z}_{S4} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, pretvorjene na 20 kV nivo, impedanco transformatorja in impedanco KB 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV odsek 3.

$$\underline{Z}_{S4} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,178 + j0,999) + (3,397 + j2,373)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S4} = (4,645 + j5,221)$$

$$|Z_{S4}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{4,645^2 + 5,221^2} = 6,99 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV PG v točki 38:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,99} = 1,817 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1,817 \cdot 10^3 = 62,9 \text{ MVA}$$

Za nastavitev zaščite je treba izračunati še Ik_{20} in Sk_{20} na najdaljši točki tega odsepa in to je TP Tehovec (odsek 4).



Slika 20: Odsek 4
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

	Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina (km)	voda r (Ω/km)	x (Ω/km)
1	ERICSSON AXCES	AL 3 x 95	3,684	0,32	0,097
2	AL NA2XS(F)2Y	1 x 70	0,380	0,41	0,22
3	AL NA2XS(F)2Y	1 x 150	1,010	0,191	0,22
4	Al/Fe	35/6	0,042	0,82	0,38
5	Al/Fe	70/12	3,139	0,41	0,38
6	PIV Al	1 x 70	2,043	0,493	0,32

Tabela 5: Podatki vodnikov na odseku 4
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel SN AL AXCES 3 x 95 mm²

$l = 3,684 \text{ km}, r = 0,32 \Omega/\text{km}, x = 0,097 \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20\text{kV}} \text{ kabel} = 3,684 \text{ km} \cdot (0,32 + j0,097) \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20\text{kV}} \text{ kabel} = (1,179 + j0,357) \Omega$

$$|Z_{20kV\ kabel}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,179^2 + 0,357^2} = 1,23\ \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24 kV

$$l = 0,380\ km, r = 0,41\ \Omega/km, x = 0,22\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ kabel} = 0,380\ km \cdot (0,41 + j0,22)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ kabel} = (0,156 + j0,084)\ \Omega$$

$$|Z_{20kV\ kabel}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,156^2 + 0,084^2} = 0,18\ \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24 kV

$$l = 1,010\ km, r = 0,191\ \Omega/km, x = 0,22\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ kabel} = 1,010\ km \cdot (0,191 + j0,22)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ kabel} = (0,193 + j0,222)\ \Omega$$

$$|Z_{20kV\ kabel}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,193^2 + 0,222^2} = 0,29\ \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 35/6 mm²

$$l = 0,042\ km, r = 0,82\ \Omega/km, x = 0,38\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = 0,042\ km \cdot (0,82 + j0,38)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = (0,034 + j0,016)\ \Omega$$

$$|Z_{20kV\ gol-vod}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,034^2 + 0,016^2} = 0,04\ \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 70/12 mm²

$$l = 3,139 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 3,139 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (1,287 + j1,193) \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 20kv gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,287^2 + 1,193^2} = 1,75 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 1 x 70 mm²

$$l = 3,513 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = 3,513 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = (1,732 + j1,124) \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 20kv PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,732^2 + 1,124^2} = 2,06 \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\underline{Z}_{20kV \text{ 4.ods}} = (1,179 + j0,357) + (0,156 + j0,084) + (0,193 + j0,222) + (0,034 + j0,016) + (1,287 + j1,193) + (1,732 + j1,124)$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ 4.ods}} = (4,581 + j2,997) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ 4.ods}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{4,581^2 + 2,997^2} = 5,47 \Omega$$

3.6 DV 20 KV Polhov Gradec v točki TP Tehovec

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki TP Tehovec se mora upoštevati skupna impedanca celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S5} = \underline{Z}_{20\text{ kV}} + \underline{Z}_{Tr20} + \underline{Z}_{DV20-1\text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-4\text{ odsek}}$$

\underline{Z}_{S5} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, pretvorjene na 20 kV nivo, impedanco transformatorja in impedanco KB 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV odsek 4.

$$\underline{Z}_{S5} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,179 + j0,999) \\ + (4,581 + j2,997)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S5} = (5,832 + j5,847)$$

$$|Z_{S5}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{5,832^2 + 5,847^2} = 8,26 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV PG v točki TP Tehovec:

$$I_{k20} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 8,26} = 1,538 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$S_{k20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1,538 \cdot 10^3 = 53,3 \text{ MVA}$$

DV 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 5)

DV 20kV RP Kozarje – BS PG 34 (točka 177).



Slika 21: RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 5)
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina voda (km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1 Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 150 mm ²	1,195	0,191	0,22
2 Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 70 mm ²	0,300	0,41	0,22
3 Vodnik goli Al/Fe	3 x 1 x 70 mm ²	7,778	0,41	0,38
4 Vodnik PIV Al	3 x 1 x 70 mm ²	3,394	0,493	0,32

Tabela 6: Podatki vodnikov na odseku 5
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24kV

$l = 1,195 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 1,195 \text{ km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,228 + j0,263) \Omega$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,228^2 + 0,263^2} = 0,35 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70/12 mm²

$$l = 7,778 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 7,778 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (3,189 + j2,956) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ gol-vo}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,189^2 + 2,956^2} = 4,35 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70 mm²

$$l = 3,394 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = 3,394 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = (1,673 + j1,086) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,673^2 + 1,086^2} = 1,99 \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\underline{Z}_{20kV \text{ 5.ods}} = (0,228 + j0,263) + (0,123 + j0,066) + (3,189 + j2,956) \\ + (1,673 + j1,086)$$

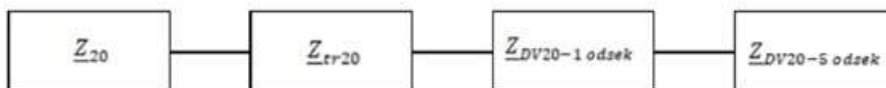
$$\underline{Z}_{20kV \text{ 5.ods}} = (5,214 + j4,371) \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 5.ods}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{5,214^2 + 4,371^2} = 6,80 \Omega$$

3.7 DV 20 KV Polhov Gradec v točki 177

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki 177 se mora upoštevati skupna impedanca celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S6} = \underline{Z}_{20 \text{ kV}} + \underline{Z}_{tr20} + \underline{Z}_{DV20-1 \text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-5 \text{ odsek}}$$

\underline{Z}_{S6} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, pretvorjene na 20 kV nivo, impedanco transformatorja in impedanco KB 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV BS PG 34 odsek 5.

$$\underline{Z}_{S6} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,179 + j0,999) + (5,214 + j4,371)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S6} = (6,465 + j7,221)$$

$$|Z_{S6}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{6,465^2 + 7,221^2} = 9,69 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV PG 34 v točki 177:

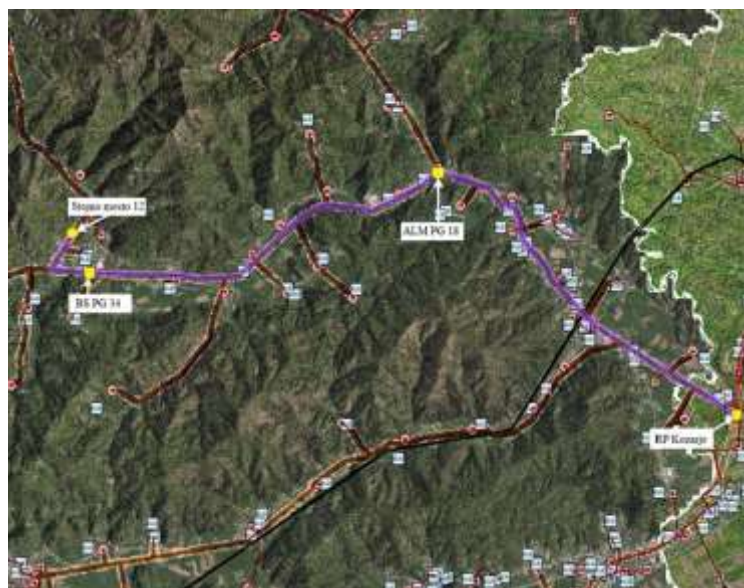
$$I_{k20} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 9,69} = 1,311 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$S_{k20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1,311 \cdot 10^3 = 45,4 \text{ MVA}$$

Daljnovid 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 6)

DV 20 kV RP Kozarje – odcep Selo je v točki 12 predvideno BS PG 89.



Slika 22: RP Kozarje – Polhov Gradec (odsek 6)
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina voda (km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1 Kabel zemeljski SN Al 3 x 1 x 150 NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 150	1,495	0,191	0,22
2 Kabel zemeljski SN Al 3 x 1 x 70 NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 70	0,300	0,41	0,22
3 Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 35	3 x 1 x 35	0,420	0,82	0,38
4 Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70	3 x 1 x 70	7,778	0,41	0,38
5 Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70	3 x 1 x 70	3,949	0,493	0,32

Tabela 7: Podatki vodnikov na odseku 6
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24 kV

$l = 1,495 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20\text{kV kabel}} = 1,495\text{km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,285 + j0,329) \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 20kv kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,285^2 + 0,329^2} = 0,44 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70mm² 24kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|Z_{20kv \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70/12mm²

$$= 7,778 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 7,778 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (3,189 + j2,956) \Omega$$

$$|Z_{20kv \text{ gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,189^2 + 2,956^2} = 4,35 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70mm²

$$l = 3,949 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = 3,949 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = (1,947 + j1,264) \Omega$$

$$|Z_{20kv \text{ PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{1,947^2 + 1,264^2} = 2,32 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al 3 x 1 x 35/6 mm²

$$l = 0,420 \text{ km}, r = 0,82 \text{ } \Omega/\text{km}, x = 0,38 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20\text{kV} \text{ gol-vod}} = 0,420 \text{ km} \cdot (0,82 + j0,38) \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20\text{kV} \text{ gol-vod}} = (0,344 + j0,160) \text{ } \Omega$$

$$|Z_{DV \text{ 20kV} \text{ PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,344^2 + 0,160^2} = 0,38 \text{ } \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{20\text{kV} \text{ 6.ods}} &= (0,285 + j0,329) + (0,123 + j0,066) + (3,189 + j2,956) \\ &\quad + (1,947 + j1,264) + (0,344 + j0,160) \end{aligned}$$

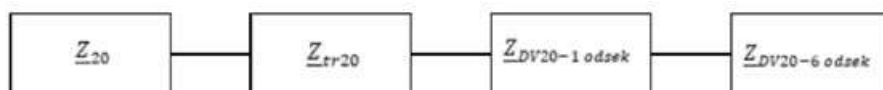
$$\underline{Z}_{20\text{kV} \text{ 6.ods}} = (5,888 + j4,775) \text{ } \Omega$$

$$|Z_{20\text{kV} \text{ 6.ods}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{5,888^2 + 4,775^2} = 7,58 \text{ } \Omega$$

3.8 DV 20 KV Polhov Gradec v točki 12

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki 12 se mora upoštevati skupno impedanco celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S7} = \underline{Z}_{20 \text{ kV}} + \underline{Z}_{tr20 \text{ kV}} + \underline{Z}_{DV20-1 \text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-6 \text{ odsek}}$$

\underline{Z}_{S7} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, impedanco transformatorja, pretvorjeno na 20 kV nivo, in impedanco DV 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV 6.odseka do točke 12 odcep selo.

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{S7} &= (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,179 + j0,999) \\ &\quad + (5,888 + j4,775)\Omega \end{aligned}$$

$$\underline{Z}_{S7} = (7,139 + j7,625)$$

$$|Z_{S7}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{7,139^2 + 7,625^2} = 10,5 \text{ } \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV odcep selo v točki 12:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 1,217 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1,217 \cdot 10^3 = 42,2 \text{ MVA}$$

Za nastavitev zaščite je treba izračunati še Ik_{20} in Sk_{20} na najdaljši točki tega odcepa in to je TP Selo Cerkev (odsek 7).

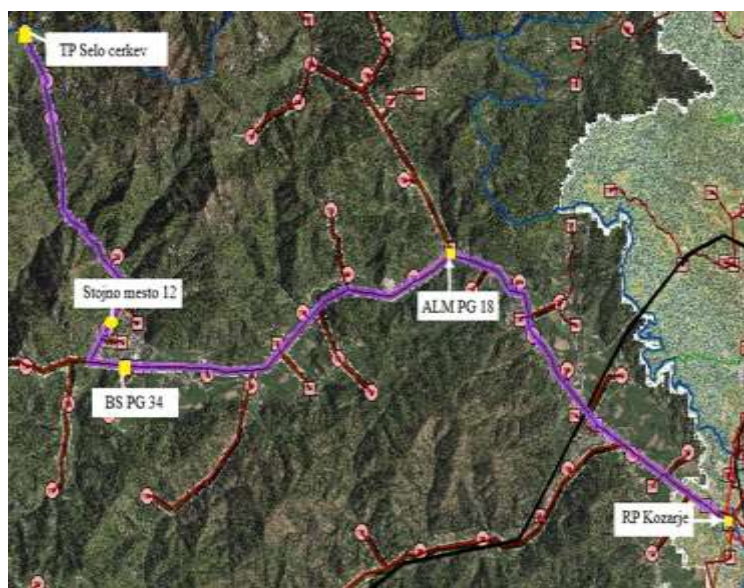


Tabela 8: Odsek 7
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

	Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina voda (km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1	Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y 3 x 1 x 150	3 x 1 x 150	1,495	0,191	0,22
2	Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 35/6	3 x 1 x 35/6	3,265	0,82	0,38
3	Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y 3 x 1 x 70	3 x 1 x 70	0,300	0,41	0,22
4	Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70	3 x 1 x 70	7,987	0,41	0,38
5	Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70	3 x 1 x 70	5,238	0,493	0,32
6	Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 50	3 x 1 x 50	0,755	0,574	0,38

Tabela 9: Podatki vodnikov na odseku 7
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24kV

$$l = 1,495 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 1,495 \text{ km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,285 + j0,329) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,285^2 + 0,329^2} = 0,43 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24 kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70/12 mm²

$$l = 7,987 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = 7,987\ km \cdot (0,41 + j0,38)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = (3,275 + j3,035)\ \Omega$$

$$|Z_{20kV\ gol-vod}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,275^2 + 3,035^2} = 4,47\ \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70 mm²

$$l = 5,238\ km, r = 0,493\ \Omega/km, x = 0,32\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ PIV} = 5,238\ km \cdot (0,493 + j0,32)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ PIV} = (2,582 + j1,676)\ \Omega$$

$$|Z_{20kV\ PIV}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{2,582^2 + 1,676^2} = 3,08\ \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 35/6 mm²

$$l = 3,265\ km, r = 0,82\ \Omega/km, x = 0,38\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = 3,265\ km \cdot (0,82 + j0,38)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = (2,677 + j1,241)\ \Omega$$

$$|Z_{DV\ 20kV\ gol-vod}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{2,677^2 + 1,241^2} = 2,95\ \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli $\frac{Al}{Fe}$ 3 x 1 x 50/8 mm²

$$l = 0,755\ km, r = 0,574\ \Omega/km, x = 0,38\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = 0,755\ km \cdot (0,574 + j0,38)\ \Omega/km$$

$$\underline{Z}_{20kV\ gol-vod} = (0,433 + j0,287)\ \Omega$$

$$|Z_{DV\ 20kV\ gol-vod}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,433^2 + 0,287^2} = 0,52\ \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\underline{Z}_{20kV\ 7.ods} = (0,285 + j0,329) + (0,123 + j0,066) + (3,275 + j3,035) + \\ (2,582 + j1,676) + (2,677 + j1,241) + (0,433 + j0,287)$$

$$\underline{Z}_{20kV\ 7.ods} = (9,375 + j6,634)\ \Omega$$

$$|Z_{20kV\ 7.ods}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{9,375^2 + 6,634^2} = 11,5\ \Omega$$

3.9. DV 20 KV Polhov Gradec v točki TP Selo Cerkev

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki TP Selo Cerkev se mora upoštevati skupno impedanco celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S8} = \underline{Z}_{20kV} + \underline{Z}_{tr20 \text{ kV}} + \underline{Z}_{DV20-1 \text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-7 \text{ odsek}}$$

\underline{Z}_{S8} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, pretvorjene na 20 kV nivo, impedanco transformatorja in impedanco KB 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV 7 odseka do točke 12 odcep selo.

$$\underline{Z}_{S8} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,178 + j0,999) + (9,375 + j6,634)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S8} = (10,625 + j9,484)$$

$$|Z_{S8}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{10,625^2 + 9,484^2} = 14,3 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV odcep selo v točki 12:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 14,3} = 0,892 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

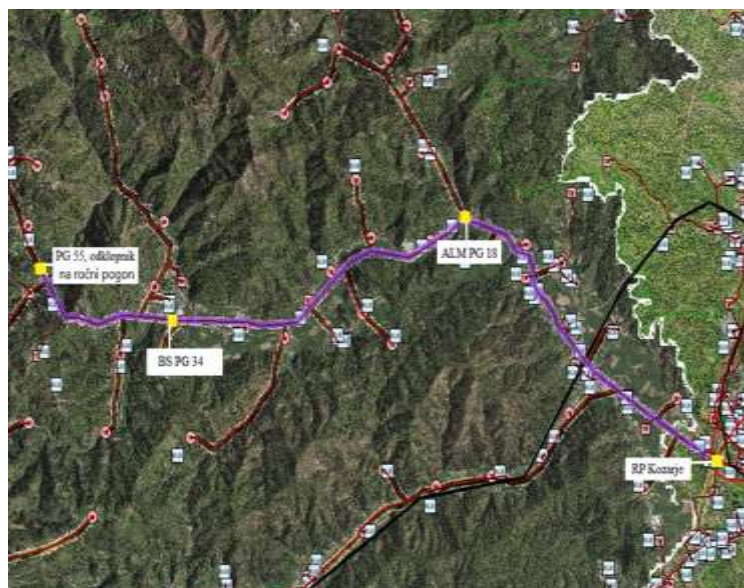
$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot Ik = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,892 \cdot 10^3 = 30,9 \text{ MVA}$$

$$Ik_{20} = 0,892 \text{ kA}$$

$$Sk_{20} = 30,9 \text{ MVA}$$

DV 20kV RP Kozarje – Polhov Gradec (PG 55) (odsek 8)

DV 20kV RP Kozarje – PG55 točka 221.



Slika 23: RP Kozarje – Polhov Gradec (PG 55) (odsek 8)
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina voda (km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1 Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 150 mm ²	1,195	0,191	0,22
2 Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 70 mm ²	0,300	0,41	0,22
3 Vodnik goli Al/Fe	3 x 1 x 70 mm ²	7,778	0,41	0,38
4 Vodnik PIV Al	3 x 1 x 70 mm ²	6,212	0,493	0,32

Tabela 10: Podatki vodnikov na odseku 8
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24kV

$l = 1,195 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 1,195 \text{ km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$

$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,228 + j0,263) \Omega$

$|\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,228^2 + 0,263^2} = 0,35 \Omega$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70/12 mm²

$$l = 7,778 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 7,778 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (3,189 + j2,956) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,189^2 + 2,956^2} = 4,35 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70 mm²

$$l = 6,212 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = 6,212 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = (3,062 + j1,988) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,062^2 + 1,988^2} = 3,65 \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

$$\underline{Z}_{20kV \text{ 8.ods}} = (0,228 + j0,263) + (0,123 + j0,066) + (3,189 + j2,956) + (3,062 + j1,988)$$

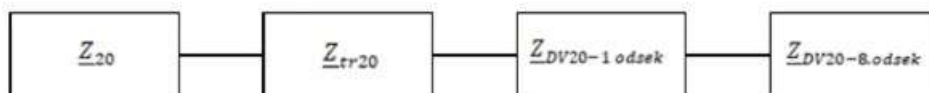
$$\underline{Z}_{20kV \text{ 8.ods}} = (6,602 + j5,273) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ 8.ods}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{6,602^2 + 5,273^2} = 8,45 \Omega$$

3.10 DV 20 KV Polhov Gradec

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki 221 se mora upoštevati skupno impedanco celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$\underline{Z}_{S9} = \underline{Z}_{20kV} + \underline{Z}_{tr20 \text{ kV}} + \underline{Z}_{DV20-1 \text{ odsek}} + \underline{Z}_{DV20-8.odsek}$$

\underline{Z}_{S9} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, impedanco transformatorja, pretvorjeno na 20 kV nivo, in impedanco DV 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV odsek do PG55.

$$\underline{Z}_{S9} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,178 + j0,999) + (6,602 + j5,273)\Omega$$

$$\underline{Z}_{S9} = (7,852 + j8,123)$$

$$|Z_{S9}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{7,852^2 + 8,123^2} = 11,4 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV PG55 v točki 222:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,4} = 1,124 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1,124 \cdot 10^3 = 38,9 \text{ MVA}$$

Za nastavitev zaščite je treba izračunati še Ik_{20} in Sk_{20} na najdaljši točki tega odsepa in to je TP Srednji Vrh – Pečnik (odsek 9).



Slika 24: Odsek 9
(Lastni vir)

Za izračun impedance DV se uporabijo naslednji podatki.

Oznaka kabla	Presek (mm ²)	Dolžina (km)	voda	r (Ω/km)	x (Ω/km)
1 Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 150	1,195		0,191	0,22
2 Kabel zemeljski SN Al NA2XS(F)2Y	3 x 1 x 70	0,300		0,41	0,22
3 Vodnik goli Al/Fe	3 x 1 x 35/6	0,061		0,82	0,38
3 Vodnik goli Al/Fe	3 x 1 x 70	7,778		0,41	0,38
4 Vodnik PIV Al	3 x 1 x 70	11,640		0,493	0,32

Tabela 11: Podatki vodnikov na odseku 9
(Vir: SDMS, PIS-ELJ)

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS (F)2Y 1 x 150 mm² 24kV

$$l = 1,195 \text{ km}, r = 0,191 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 1,195 \text{ km} \cdot (0,191 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,228 + j0,263) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,228^2 + 0,263^2} = 0,35 \Omega$$

Tip SN voda

Kabel zemeljski SN AL NA2XS(F)2Y 1 x 70 mm² 24kV

$$l = 0,3 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,22 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = 0,3 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,22) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ kabel}} = (0,123 + j0,066) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ kabel}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,123^2 + 0,066^2} = 0,14 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 35/6 mm²

$$l = 0,061 \text{ km}, r = 0,82 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 0,061 \text{ km} \cdot (0,82 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (0,050 + j0,023) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,050^2 + 0,023^2} = 0,06 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik goli Al/Fe 3 x 1 x 70/12 mm²

$$l = 7,778 \text{ km}, r = 0,41 \Omega/\text{km}, x = 0,38 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = 7,778 \text{ km} \cdot (0,41 + j0,38) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ gol-vod}} = (3,189 + j2,956) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ gol-vod}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{3,189^2 + 2,956^2} = 4,35 \Omega$$

Tip SN voda

Vodnik PIV Al 3 x 1 x 70 mm²

$$l = 11,640 \text{ km}, r = 0,493 \Omega/\text{km}, x = 0,32 \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = 11,640 \text{ km} \cdot (0,493 + j0,32) \Omega/\text{km}$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ PIV}} = (5,739 + j3,725) \Omega$$

$$|Z_{20kV \text{ PIV}}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{5,739^2 + 3,725^2} = 6,84 \Omega$$

Skupna impedanca voda je:

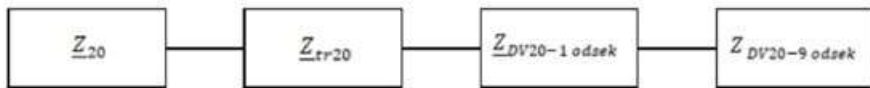
$$\underline{Z}_{20kV \text{ 9.ods}} = (0,228 + j0,263) + (0,123 + j0,066) + (0,050 + j0,023) + (3,189 + j2,956) + (5,739 + j3,725)$$

$$\underline{Z}_{20kV \text{ 9.ods}} = (9,329 + j7,033) \Omega$$

$$|Z_{20kv\ 9.ods}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{9,329^2 + 7,033^2} = 11,7 \Omega$$

Za izračun kratkostičnega toka in moči na 20 kV DV v točki TP Srednji Vrh – Pečnik se mora upoštevati skupno impedanco celotnega odseka.

Skupna impedanca:



$$Z_{S10} = Z_{DV110+Z_{tr110/20}} + Z_{DV20-1\ odsek} + Z_{DV20-9\ odsek}$$

Z_{S10} – skupna impedanca predstavlja impedanco toge mreže 110 kV, impedanco transformatorja, pretvorjeno na 20 kV nivo, in impedanco DV 20 kV odsek 1 ter impedanco DV 20 kV 9. Odsek do TP Srednji Vrh – Pečnik.

$$Z_{S10} = (0,009 + j0,091)\Omega + (0,063 + j1,76)\Omega + (1,178 + j0,999) + (9,329 + j7,033)\Omega$$

$$Z_{S10} = (10,579 + j9,883)$$

$$|Z_{S10}| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{10,579^2 + 9,883^2} = 14,6 \Omega$$

Kratkostični tok na 20 kV DV:

$$Ik_{20} = \frac{1,1 \cdot Un}{\sqrt{3} \cdot Z_{S2}} = \frac{1,1 \cdot 20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 14,6} = 0,876 \text{ kA}$$

Kratkostična moč na 20 kV strani:

$$Sk_{20} = \sqrt{3} \cdot U \cdot Ik = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,876 \cdot 10^3 = 30,3 \text{ MVA}$$

3.11 Pregled izračunanih kratkostičnih razmer pred predvideno posodobitvijo DV PG

Za pravilno nastavitvev kratkostične zaščite se upošteva priporočen faktor sigurnosti $k = 0,8$, pri čemer upoštevamo, da mora zaščita odklopiti kratkostično okvaro do drugega odklopnika v vrsti. Tok izračunamo po enačbi:

$$I \gg = k \cdot Ik$$

- RTP Litostroj izvodna celica J 32, odklopi kratkostično okvaro do ALM PG 18

$$I \gg = 0,8 \cdot 6,911 = 5,529 \text{ kA}; I \gg = 0,8 \cdot 2,019 = 1,615 \text{ kA}$$

- RP Kozarje izvodna velica J 11, odklopi okvaro do TP Tehovec ali ALM PG 34:

$$\gg = 0,8 \cdot 4,099 = 3,280 \text{ kA}; I \gg = 0,8 \cdot 1,312 = 1,049 \text{ kA}$$

- ALM PG 18, odklopi okvaro do TP Selo cerkev oz. TP Srednji vrh - Pečnik:

$$I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 2,019 = 1,615 \text{ kA}; I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 0,876 = 0,700 \text{ kA}$$

- ALM PG 11 odklopi okvaro do TP Tehovec:

$$I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 1,820 = 1,456 \text{ kA}; I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 1,312 = 1,049 \text{ kA}$$

- ALM PG 34:

$$I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 1,312 = 1,049 \text{ kA}; I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 0,876 = 0,700 \text{ kA}$$

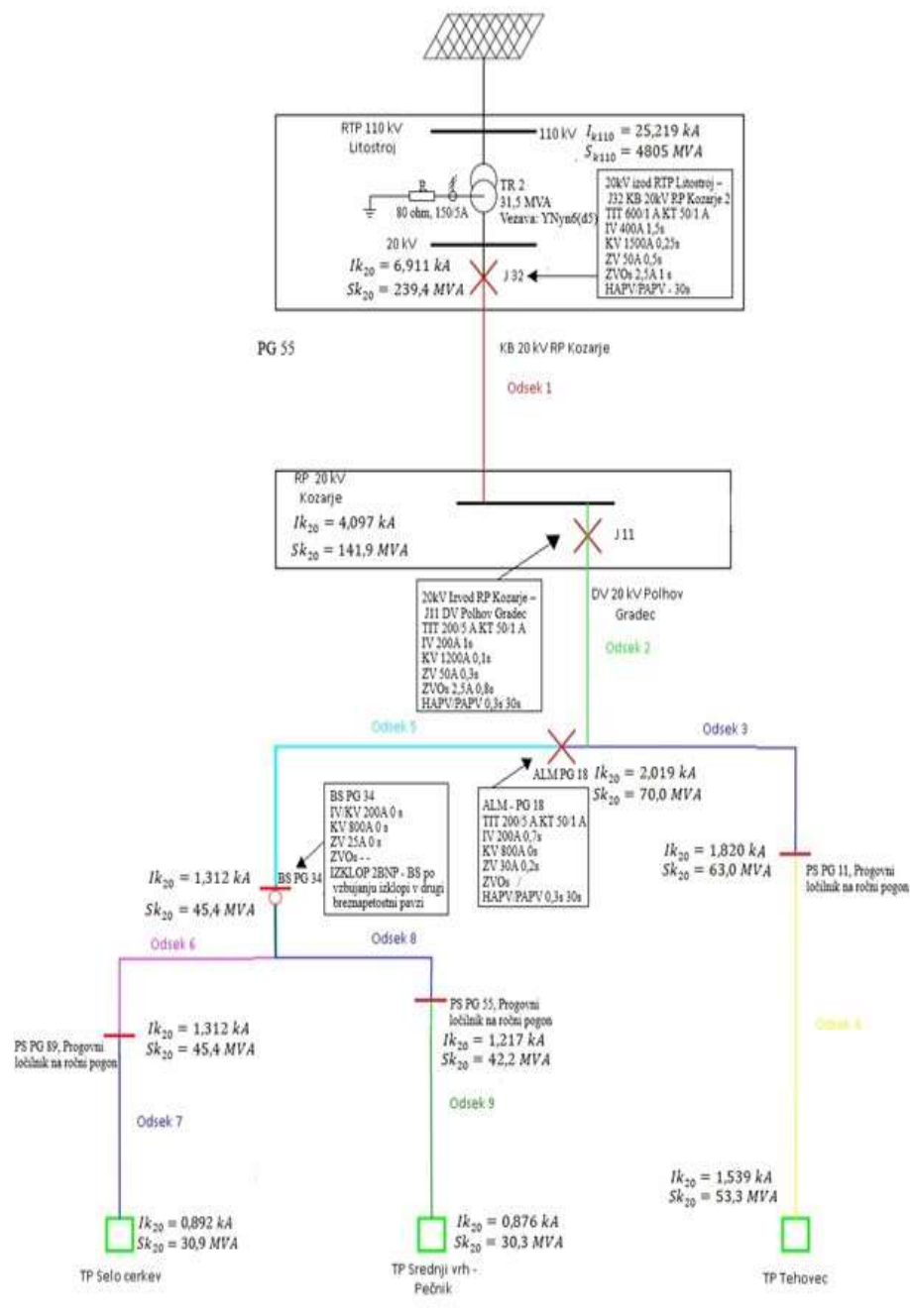
- Bremensko stikalo PG 89 :

$$I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 1,217 = 0,974 \text{ kA}; I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 0,892 = 0,700 \text{ kA}$$

- Bremensko stikalo PG 55:

$$I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 1,125 = 0,900 \text{ kA}; I_{>=0,8} = 0,8 \cdot 0,876 = 0,700 \text{ kA} = 0,700 \text{ kA}$$

3.12 Prikaz trenutnih nastavitv v RTP Litostroj, RP Kozarje, PG 18, PG 34



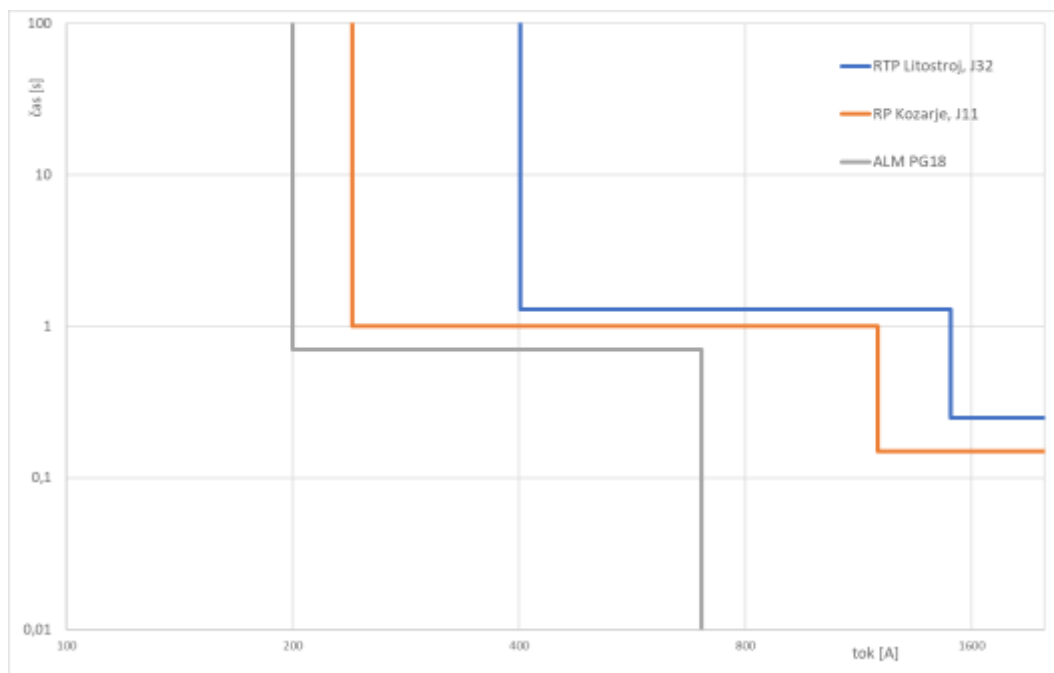
Slika 25: Prikaz trenutnih nastavitv v RTP Litostroj, RP Kozarje, PG 18, PG 34 (Lastni vir)

Spodnja tabela prikazuje trenutne nastavitve zaščit.

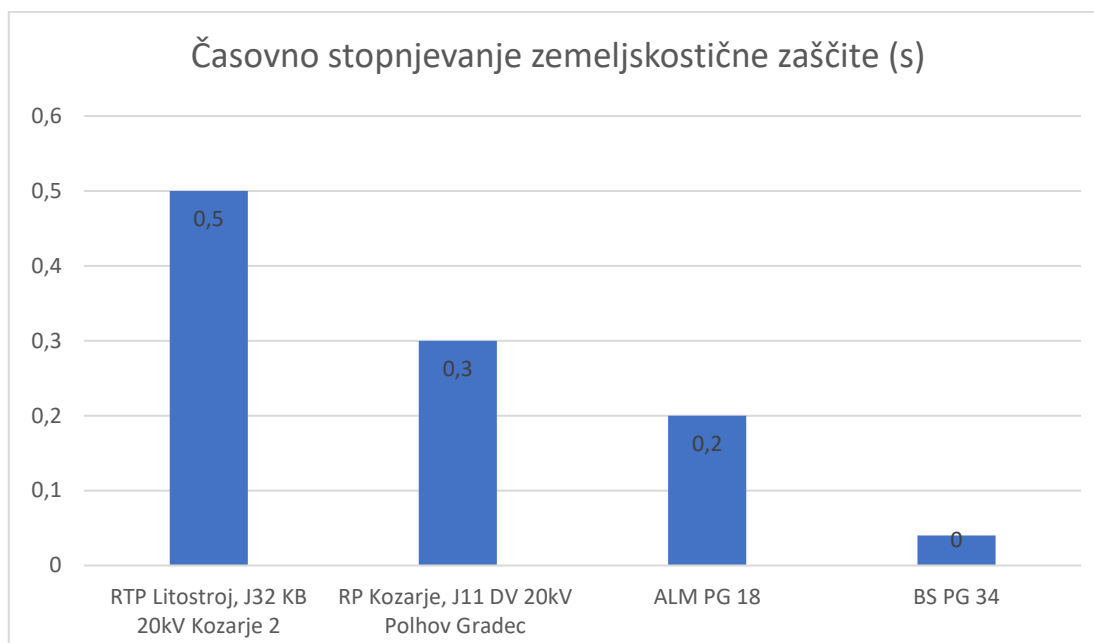
	<i>IV50</i>	t_{iv}	<i>KV50</i>	t_{kv}	<i>ZV51N</i>	t_{zv}
RTP Litoštroj J32 KB Kozarje 2	402 A	1,5 s	1500 A	0,25 s	50 A	0,5 s
RP Kozarje J11 DV 20 kV PG	200 A	1 s	1200 A	0,1 s	50 A	0,3 s
ALMPG18	200 A	0,7 s	800 A	0 s	30 A	0,2 s
BS PG34	200 A	0 s	800 A	0 s	25 A	0 s

Tabela 12: Trenutne nastavitve zaščit
(Lastni vir)

Spodnji graf prikazuje časovno in amplitudno stopnjevanje nadtokovne in kratkostične zaščite trenutnih nastavitvev.



Slika 26: Časovno in amplitudno stopnjevanje nadtokovne kratkostične zaščite
(Lastni vir)



Slika 27: Časovno stopnjevanje zemeljskostične zaščite
(Lastni vir)

Spodnja tabela prikazuje trenutno aktivne zaščite po posameznih sektorjih.

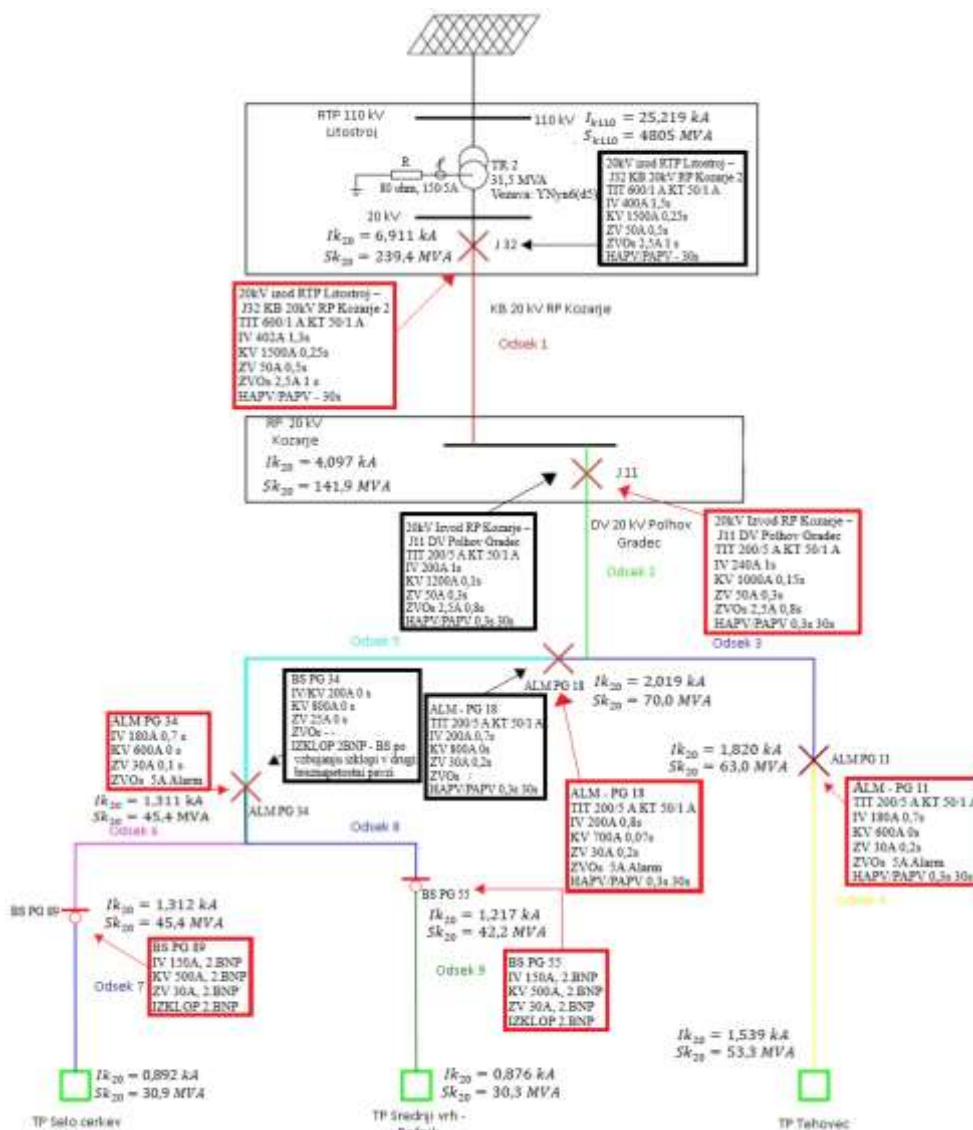
Objekt	RTP Litostroj	RP Kozarje	ALM	BS
Celica, ime izvoda	J32KB 20 kV Kozarje 2	J11 DV 20 kV PG	PG18	PG34
Zaščitna naprava	Siemens, 7SJ632 nadtokovni rele, Vodenje IEC61850 ed.1	Iskra, FPC 501 nadtokovni rele, Vodenje NEO 2000	Tip ALM: Nu-Lec U27S, Zaščitna naprava: CAPM 5	Tip BS: SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3
TIT	600/1	200/5	200/5	200/5
OTIT	50/1	50/1	50/1	50/1
APV	PAPV, 30 s	HAPV 0,3 s in PAPV 30 s	HAPV 0,3 s in PAPV 30 s	Izklop v 2 BNP
IV 50	$I_{IV} = 402 \text{ A};$ $t_{IV} = 1,5 \text{ s}$	$I_{IV} = 200 \text{ A};$ $t_{IV} = 1 \text{ s}$	$I_{IV} = 200 \text{ A};$ $t_{IV} = 0,7 \text{ s}$	$I_{IV} = 200 \text{ A};$ $t_{IV} = 0 \text{ s}$
IV DIR 67	Smer forward $I_{IV} = 402 \text{ A};$ $t_{IV} = 1,3 \text{ s};$ RARV = 45°	Zaščitna naprava ne omogoča	Ni izvedena	Ni izvedena
KV 50	$I_{KV} = 1500 \text{ A};$ $t_{KV} = 0,25 \text{ s}$	$I_{KV} = 1200 \text{ A};$ $t_{KV} = 0,1 \text{ s}$	$I_{KV} = 800 \text{ A};$ $t_{KV} = 0 \text{ s}$	$I_{KV} = 800 \text{ A};$ $t_{KV} = 0 \text{ s}$
KV DIR 67	Smer forward $I_{KV} = 1500 \text{ A};$ $t_{KV} = 0,2 \text{ s};$ RARV = 45°	Zaščitna naprava ne omogoča	Ni izvedena	Ni izvedena
ZV 51N	$I_{ZV} = 50 \text{ A};$ $T_{ZV} = 0,5 \text{ s}$	$I_{ZV} = 50 \text{ A};$ $t_{ZV} = 0,3 \text{ s}$	$I_{ZV} = 30 \text{ A};$ $t_{ZV} = 0,2 \text{ s}$	$I_{ZV} = 25 \text{ A};$ $t_{ZV} = 0 \text{ s}$
ZV DIR 67N	Smer forward; $I_{ZV} = 50 \text{ A};$ $t_{ZV} = 0,4 \text{ s};$ $U_o = 10 \text{ v}$	Zaščitna naprava ne omogoča	Ni izvedena	Ni izvedena
ZVOS67Ns	Smer forward; $I_{ZVOS} = 2,5 \text{ A};$ $t_{ZVOS} = 1 \text{ s};$ cosfi; $U_o = 1,8 \text{ V}$	Forward = 2,5 A (0,05 A); 0,8 s cosfi; 1,8 VU _o	Ni izvedena	Ni izvedena
ZVO 51Ns pogoj prisotnost DVN1	$I_{ZVO} = 1,25 \text{ A};$ $t_{ZVO} = 1,2 \text{ s};$ pogoj DVN1	Ni aktivna, ni DVN1 signala	Ni izvedena	Ni izvedena

Tabela 13: Trenutno aktivne zaščite

(Vir: Elektro Ljubljana, d. d.)

4 PREDLOG BODOČEGA STANJA SN OMREŽJA

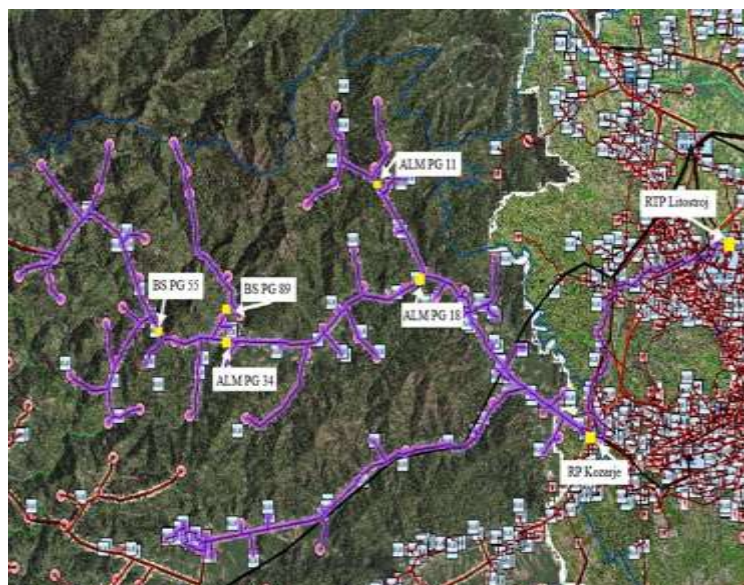
Na spodnji sliki je prikaz bodočega stanja omrežja in predvidenih zaščit, novo stanje je označeno z rdečo barvo.



Slika 28: Prikaz bodočega stanja omrežja in predvidenih zaščit, novo stanje je označeno z rdečo barvo (Lastni vir)

Spodnja slika prikazuje predlog bodočega stanja omrežja, kjer se spremenijo nastavitve zaščit v RTP Litostroj, ki ščiti SN vod do RP Kozarje. Odsek med RP

Kozarje in PG 11 (odsek 2 in 3) trenutno ščiti zaščita v RP Kozarje, ALM PG 18 pa ščiti SNO do BS PG 34. Odsek med ALM PG 18 in PG 11 (odsek 3) tvori trenutno nadzemni kabelski vod (*Ericsson Al axces*). Na tem odseku je malo verjetnosti, da pride do izpada zaradi dotikov vej dreves in padcev manjših dreves. Zato smo se določili, da predlagamo zamenjavo trenutno vgrajenega ročno vodenega ločilnika PG 11 z daljinsko vodenim odklopnikom ALM PG 11. Ker SNO od PG 11 poteka po zelo gozdnatem ter razgibanem terenu in v primeru, da pride do napake za stikalom PG 11, izpade celoten DV PG. To bi občutno izboljšalo in skrajšalo lociranje napake z vgradnjo odklopnika ALM PG 11. ALM PG 11 bi imel naslednje zaščitne funkcije: HAPV – 0,3 s, PAPV – 30 s, nadtokovno zaščito – 180 A, 0,7 s, kratkostično zaščito – 800 A, 0 s, zemeljskostično zaščito 30 A, 0,2 s. Odklopniku ALM PG 18, ki ščiti omrežje do ALM PG 34, se spremenijo nastavitve nadtokovne zaščite $I_{lv} = 200$ A, $t_{lv} = 0,8$ s, kratkostične zaščite $I_{kv} = 700$ A, $t_{kv} = 0,07$ s, zemeljskostične zaščite $I_{zv} = 30$ A, $t_{zv} = 0,2$ s. Predlagali smo zamenjavo trenutno vgrajenega ločilnika BS PG 34 z odklopnikom ALM PG 34, ki bo imel nastavitve nadtokovne zaščite $I_{lv} = 180$ A, $t_{lv} = 0,7$ s, kratkostične zaščite $I_{kv} = 600$ A, $t_{kv} = 0$ s in zemeljskostične zaščite $I_{zv} = 30$ A, $t_{zv} = 0,1$ s. Predlagana je tudi vgradnja BS PG 89 na odcep za TP Selo Cerkev in BS PG 55, ki bosta izklapljala v drugi BNP.

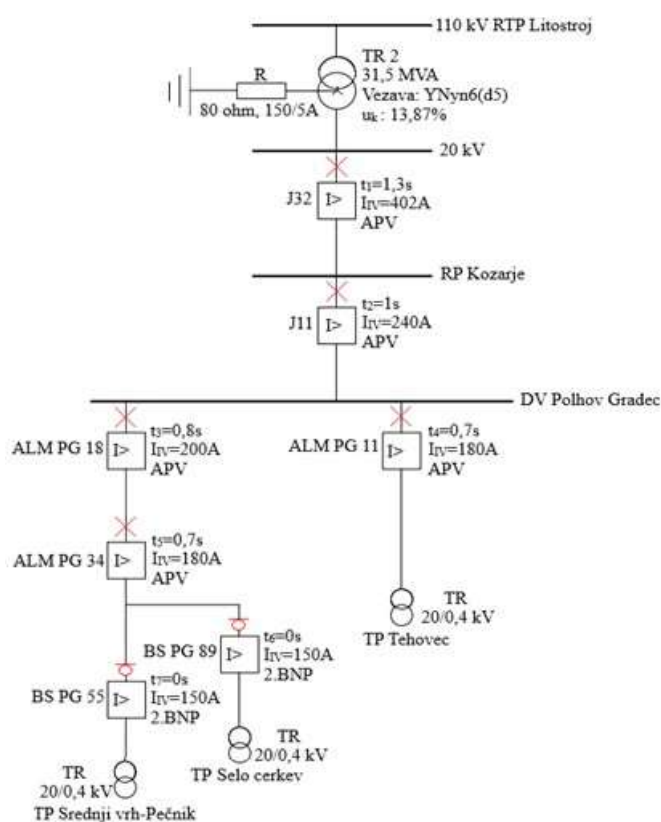


Slika 29: Bodoče stanje omrežja
(Lastni vir)

4.1 Stopnjevalni načrt zaščitnega sistema

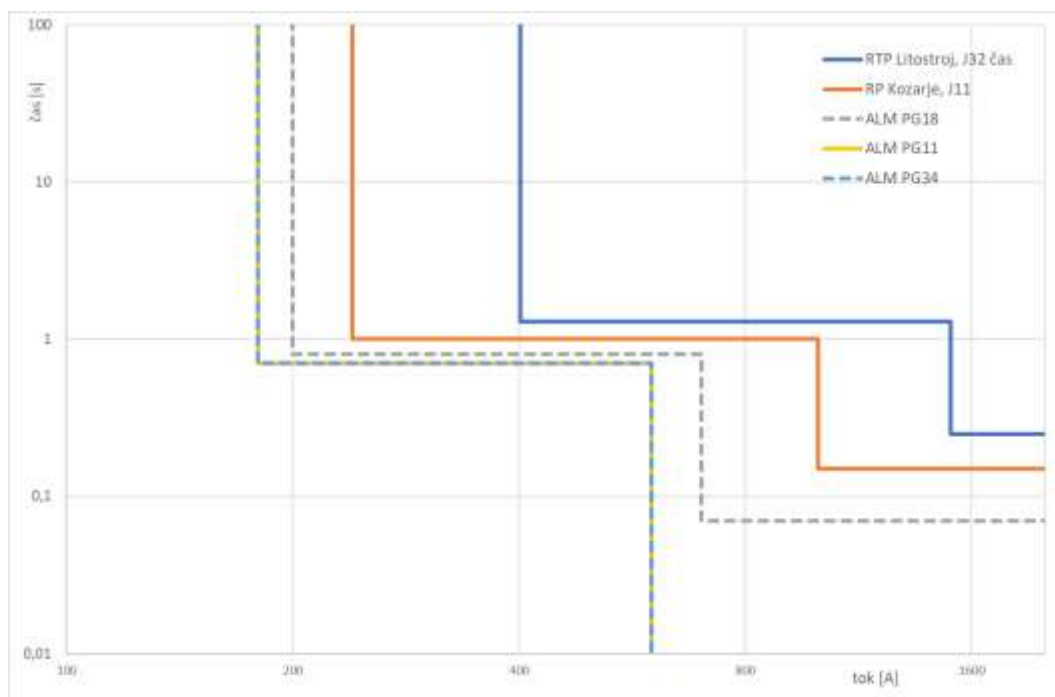
Kratkostično zaščito med ALM PG34 in ALM PG18 smo časovno stopnjevali za 70 ms, med ALM PG18 in stikalom v RP Kozarje pa 80 ms. Odločitev za krajšo časovno stopnjevanje kot običajno utemeljujemo z dejstvom, da proizvajalec ALM jamči odzivni čas delovanja odklopnika 35 ms. Omenjeno odločitev potrjujejo tudi zabeležene oscilografije.

4.1.1 Stopnjevalni načrt za nadtokovno zaščito



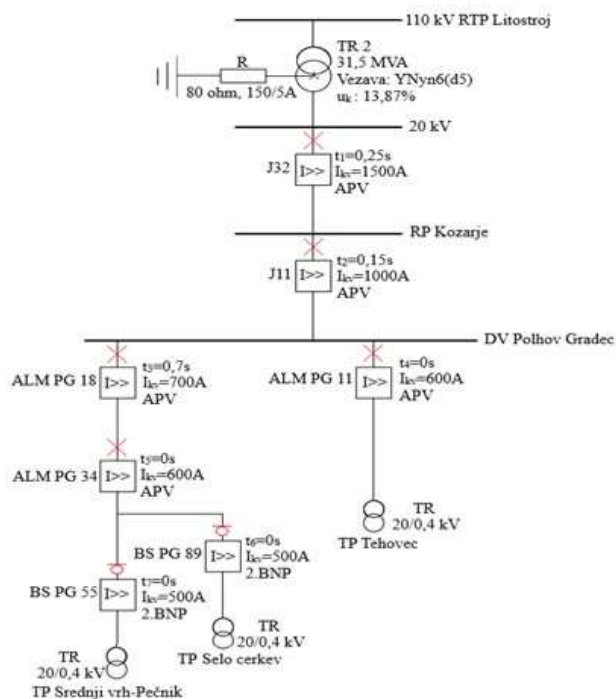
Slika 30: Stopnjevalni načrt za nadtokovno zaščito
(Lastni vir)

Graf prikazuje časovno in amplitudno stopnjevanje nadtokovne in kratkostične zaščite pri bodoči konfiguraciji SNO.



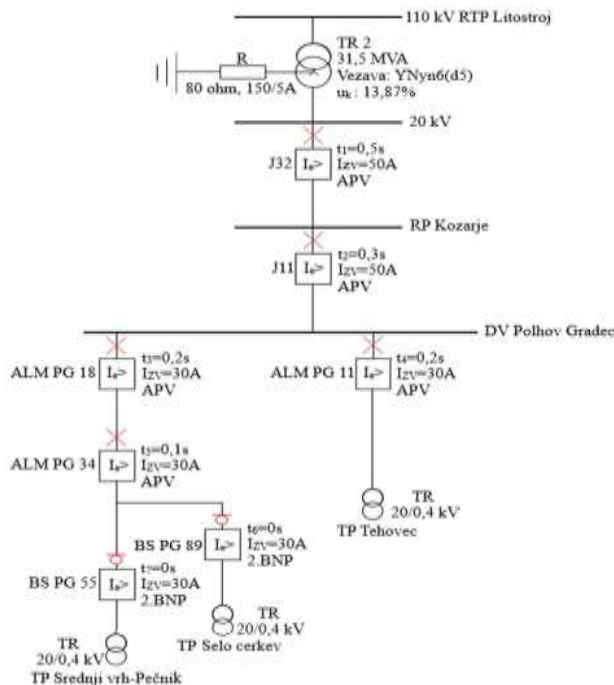
Slika 31: Časovno in amplitudno stopnjevanje nadtokovne in kratkostične zaščite bodočega SNO (Lastni vir)

4.1.2 Stopnjevalni načrt za kratkostično zaščito



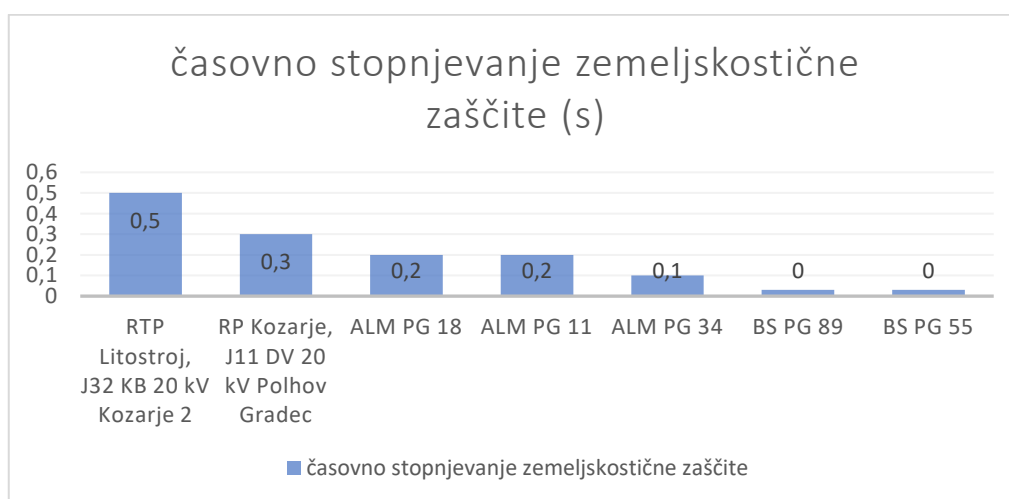
Slika 32: Stopnjevalni načrt za kratkostično zaščito
(Lastni vir)

4.1.3 Stopnjevalni načrt zemeljskostične zaščite



Slika 33: Stopnjevalni načrt zemeljskostične zaščite (Lastni vir)

Graf prikazuje časovno stopnjevanje zemeljskostične zaščite.



Slika 34: Časovno stopnjevanje zemeljskostične zaščite (Lastni vir)

4.1.4 Aktiviranje zaščitne sheme s pomočjo sporočil GOOSE

Komunikacija med napravami po tehnologiji 4G trenutno omogoča samo vodenje naprav ALM. Za področje zaščite tehnologija 4G vnaša preveč zakasnitev in ni uporabna za koordinacijo zaščitnih shem. Velika pričakovanja na področju zaščitnih sistemov prinaša komunikacijsko mobilno omrežje 5G, katerega uvajanje pa je zelo počasno. Hitro mobilno omrežje 5G omogoča zelo majhne zakasnitve prenosa podatkov in ob uporabi sporočil GOOSE na podlagi standarda IEC 61850 lahko izboljšamo delovanje zaščitnih shem. V našem primeru bi stopnjevanje kratkostične zaščite lahko poenostavili z metodo pospeševanja po zelo preprostem principu: naprava (IED), ki ni vzbujena po kratkostični zaščiti, časovno pospeši delovanje električno gledano predhodne naprave (IED).

Razlaga principa pospeševanja kratkostične zaščite v primeru napajanja področja PG je navedena spodaj.

Naprava IED v RP Kozarje omogoča kreiranje sporočila GOOSE, ki ga po hitrem optičnem omrežju pošljemo v napravo (IED) RTP Litostroj, J32. Sporočilo GOOSE poimenujemo GOOSE_KV_posp, njegova vrednost je 1, v kolikor kratkostična zaščita v RP Kozarje, J11 ni vzbujana (negirano RP Kozarje J11 »pickup«). V celotni zaščitni shemi kratkostične zaščite posodobimo nastavitve časa delovanja, amplitudne nastavitve ostanejo nespremenjene:

- RTP Litostroj, J32 KV 50 čas = 300 ms,
- RP Kozarje, J11 KV 50 čas = 200 ms,
- PG18, KV50 čas = 100 ms,
- PG11, KV čas = 0 ms,
- PG34, KV čas = 0 ms.

Pri GOOSE_KV_posp upoštevamo t. i. »quality bit«, ki prikazuje pravilnost sporočila GOOSE in v kolikor je sporočilo neveljavno, potem postavi vrednost GOOSE_KV_posp = 0.

Primer 1: Na obravnavanem omrežju ni kratkostične okvare.

V RP Kozarje, J11 kratkostična zaščita ni vzbujana, kar pomeni, da ima GOOSE_KV_posp vrednost 1. Ker tudi kratkostična zaščita v RTP Litostroj, J32 ni vzbujana, ni delovanja zaščite.

Primer 2: Kratkostična okvara med RTP Litostroj, J32 in RP Kozarje, J11.

V RP Kozarje, J11 kratkostična zaščita ne vidi okvare in zato ni vzbujana, kar pomeni, da ima GOOSE_KV_posp vrednost 1. Kratkostična zaščita v RTP Litostroj je zaradi okvare vzbujana in ker je pogoj GOOSE_KV_posp izpolnjen, ta odklopi okvaro v nastavljenem minimalnem delovanju 100 ms.

Primer 3: Kratkostična okvara je električno gledano naprej od odklopnika v celici J11, RP Kozarje.

Zaradi okvare je v RP Kozarje, J11 kratkostična zaščita vzbujana, kar pomeni, da ima GOOSE_KV_posp vrednost 0. Tudi kratkostična zaščita v RTP Litostroj, J32 je lahko vzbujana, ker pa ni pogoja $GOOSE_KV_posp = 0$, bo ta zakasnjena 300 ms.

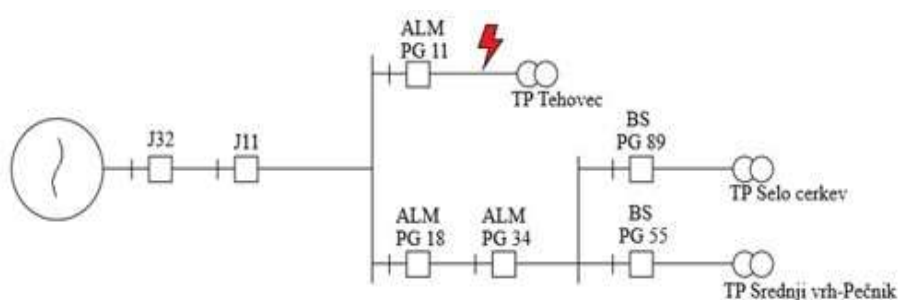
Prednosti opisane rešitve:

- med ALM PG18 in PG34 lahko nastavimo časovno zakasnitev 100 ms;
- hitri izklop okvare v primeru okvare med RTP Litostroj, J32 in RP Kozarje, J11;
- hitri izklop okvare v primeru zatajitve zaščite v RP Kozarje, J11;
- v najslabšem možnem scenariju, ki je malo verjeten (izostanek sporočila GOOSE), bo kratkostična zaščita v RTP Litostroj J32 odklopila okvaro v 300 ms.

Z metodo pospeševanja bi lahko odpravili morebitno neselektivnost kratkostične zaščite našega obravnavanega primera, kjer smo uporabili časovno zakasnitev, manjšo od 100 ms. Za ta namen se v RP Kozarje v celici J11 zamenja zaščitni rele z napravo najnovejše generacije (IED) in kreira sporočilo GOOSE za pospeševanje delovanja kratkostične zaščite v RTP Litostroj J32, ki se ga pošlje po obstoječem optičnem TK omrežju v lasti in upravljanju podjetja Elektro Ljubljana.

4.2 Delovanje zaščite pri različnih lokacijah napak

- Primer okvare na DV za ALM PG 11:

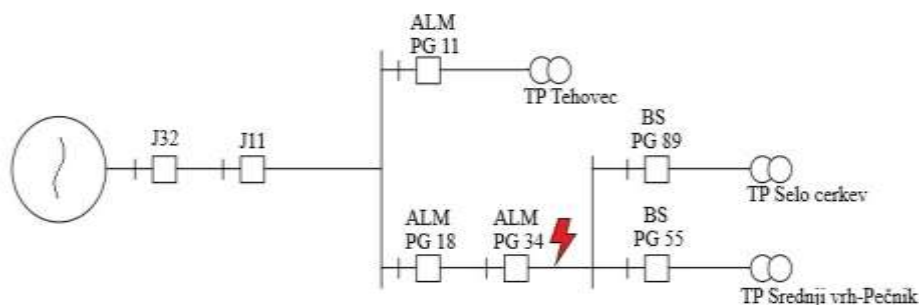


Slika 35: Izpad za ALM PG 11
(Lastni vir)

V primeru napake, označene na sliki zgoraj (slika 31), bo v smeri TP Tehovec delovala zaščita v odklopniku ALM PG 11 po nastavljenih parametrih. V tem primeru bo deloval

HAPV 0,3 s, če je napaka še prisotna, deluje PAPV. V primeru, da delovanje zaščite zataji, deluje zaščita v RP Kozarje, vodna celica J11.

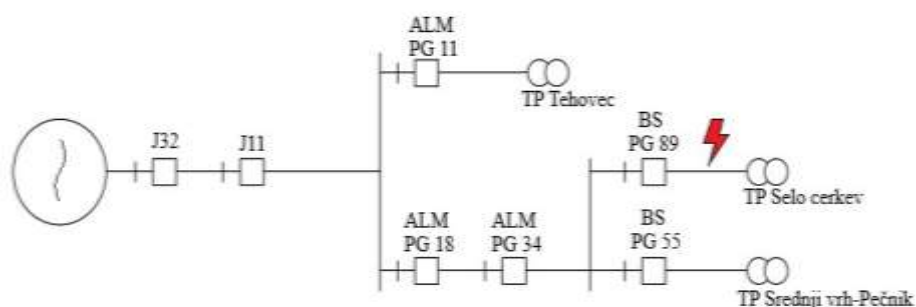
- Primer okvare na DV za ALM PG 34:



Slika 36: Izpad za ALM PG 34
(Lastni vir)

V primeru napake, označene na sliki zgoraj (slika 32), bo v smeri TP Selo cerkev in TP Srednji vrh – Pečnik delovala zaščita v odklopniku ALM PG 34 po nastavljenih parametrih. V tem primeru bo deloval HAPV 0,3 s, če je napaka še prisotna, deluje PAPV. V primeru, da delovanje zaščite zataji, deluje zaščita v odklopniku ALM PG 18.

- Primer okvare na DV za BS PG 89:



Slika 37: Izpad za BS PG 89
(Lastni vir)

V primeru napake, označene na sliki zgoraj (slika 33), bo v smeri TP Selo cerkev delovala zaščita v odklopniku ALM PG 34. HAPV ALM PG ni uspešen. Med drugo BNP se izklopi ločilnik BS PG 89, sledita PAPV in priklop ALM PG 34. Ker je napako odklopil BS PG89, je PAPV na ALM PG 34 uspešen. Za lociranje napake izvaja manipulacije dispečer v CV do prihoda dežurnih delavcev.

5 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo obravnavali DV, ki napaja območje PG, na katerem zaradi njegove razgibanosti in hribovitega terena prihaja do večkratnih izpadov zaradi vremenskih razmer, kot so sneg, veter, strela in padci dreves. Obstoječa vgrajena zaščita v RP Kozarje in na odcepu PG18 ter PG34 ne omogoča selektivnega delovanja zaščite. Za posodobitev nastavitve zaščite so bili potrebni izračuni kratkostičnih tokov na predlaganih mestih vgradnje nove stikalne opreme in zaščitnih naprav.

Predlagana je vgradnja odklopnikov in odklopnih ločilnikov na mestih, kjer prihaja največkrat do izpadov obravnavanega omrežja.

V diplomskem delu smo predlagali novo nastavitve celotnega sistema zaščite na območju, ki je napajano iz RTP Litostroj, na podlagi izračunov kratkostičnih razmer.

Zaradi velikih stroškov posodabljanja opreme in pričakovanih koristi bi bila potrebna podrobna analiza. Z upoštevanjem prihrankov na posameznih območjih je potrebna odločitev o dinamiki investiranja.

Komunikacija med napravami po tehnologiji 4G trenutno omogoča samo vodenje naprav ALM. Za področje zaščite tehnologija 4G vnaša preveč zakasnitev in ni uporabna za koordinacijo zaščitnih shem. Velika pričakovanja na področju zaščitnih sistemov prinaša komunikacijsko mobilno omrežje 5G, katerega uvajanje pa je zelo počasno. Hitro mobilno omrežje 5G omogoča zelo majhne zakasnitve prenosa podatkov in ob uporabi sporočil GOOSE na podlagi standarda IEC 61850 lahko izboljšamo delovanje zaščitnih shem. V našem primeru bi stopnjevanje kratkostične zaščite lahko poenostavili z metodo pospeševanja po zelo preprostem principu: naprava (IED), ki ni vzbujena po kratkostični zaščiti, časovno pospeši delovanje električno gledano predhodne naprave (IED).

Z metodo pospeševanja bi lahko odpravili morebitno neselektivnost kratkostične zaščite našega obravnavanega primera, kjer smo uporabili časovno zakasnitev, manjšo od 100 ms. Za ta namen se v RP Kozarje v celici J11 zamenja zaščitni rele z napravo najnovejše generacije (IED) in kreira sporočilo GOOSE za pospeševanje delovanja kratkostične zaščite v RTP Litostroj J32, ki se ga pošlje po obstoječem optičnem TK omrežju v lasti in upravljanju podjetja Elektro Ljubljana.

V primeru napajanja območja PG iz RTP Vič, ko ne obratuje TR II v RTP Litostroj, se spremenijo kratkostične razmere in posledično nastavitve zaščite, kar pa ni predmet te diplome.

6 LITERATURA IN VIRI

Agencija za energijo. (2021). Nепrekinjenost napajanja. Pridobljeno 10. 11. 2022 z naslova <https://www.agen-rs.si/gospodinjski/elektrika/kakovost-oskrbe/неprekinjenost-napajanja>.

Elektro Ljubljana, d. d. (2022). *Interno gradivo*. Ljubljana.

Kališnik, D. (2018). Avtomatska ločilna stikala v srednjenapetostni mreži. Diplomsko delo, Ljubljana: ICES.

Leskovec, F. (1997). *Selektivnost zaščite med RP 20 kV in RTP 110 kV*. CIGRE. Nova Gorica.

Slovenski državni holding, d. d. (2019). *Merila za merjenje uspešnosti poslovanja družb s kapitalsko naložbo države*, 8-9. Pridobljeno 8. 3. 2023 z naslova https://www.sdh.si/Data/Documents/pravni-akti/Merila%20za%20merjenje%20uspe%C5%A1nosti%20KN%20v%20lastni%C5%A1tvu%20dr%C5%BEave_november_2019.pdf.

Tehnični priročnik ALTENS. (b. l.). *Avtomatizacija SNO. Nu-Lec 27 Kompaktni vakuumski odklopnik 27Kv*, 4-6. Pridobljeno 20. 4. 2023 z naslova https://www.altens.si/wp-content/uploads/2012/07/U27-Prosp_ADVC-V04.pdf.

Tehnični priročnik ALTENS. (b. l.). *Avtomatizacija SNO. SCHNEIDER ELECTRIC RL27/ADVC3*, 2-12. Pridobljeno 12. 4. 2023 z naslova <https://www.altens.si/wpcontent/uploads/2010/09/RL27-Prospekt.pdf>.

Trpin, S. (2016). *Paralelno napajanje RP Bovec iz RTP Kobarid*. Diplomsko delo, Ljubljana: ICES.