



ICES  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

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

# **ANALIZA UČINKOVITOSTI SHUNT ODKLOPNIKA PRI ODPRAVI OKVAR V SREDNJENAPETOSTNEM OMREŽJU**

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.

Kandidat: Aleš Štemberger

Lektorica: dr. Aleksandra Gačič, univ. dipl. prof. zgo. in slov.

Ljubljana, april 2022

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el., za pomoč pri pisanju diplomskega dela in g. Tomažu Kastelicu iz podjetja Elektro Primorska, d. d., za nasvete in usmeritve pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi podjetju Elektro Primorska, d. d., ki mi je omogočilo študij.

Posebna zahvala gre partnerki Urški ter sinovoma Filipu in Žaku za vso potrpežljivost in podporo v celotnem času študija.

## IZJAVA

Študent Aleš Štemberger izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča, 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**

V srednjenapetostnih omrežjih je enopolni zemeljski stik daleč najpogostejša vrsta okvare. Dokler so bila elektroenergetska omrežja manjša in so obratovala z izolirano nevtralno točko, ni bilo potrebe po takojšnji izključitvi napajalnega voda, saj so bili okvarni tokovi majhni in je električni oblok na mestu okvare v večini primerov samodejno ugasnil. V današnjih omrežjih zaradi večjih okvarnih tokov ne pride več do samougasnitve obloka, zato je treba pri vsakem zemeljskem stiku vod izključiti, kar znižuje kakovost električne energije.

V diplomskem delu je prikazan način odprave prehodnih zemeljskih stikov s shunt odklopnikom. Njegova prednost je v tem, da lahko vklopi vsak pol posebej, in posebnost, da namenoma ustvari nadzorovan zemeljski stik na zbiralkah srednjenapetostnega stikališča, kar privede do ugasnitve obloka na mestu okvare brez prekinitve napajanja.

Predstavili smo delovanje in zgradbo shunt odklopnika ter na temelju pridobljenih podatkov iz RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica naredili analizo zemeljskih stikov in ocenili uspešnost njegovega delovanja.

## **KLJUČNE BESEDE:**

- shunt odklopnik,
- prehodni zemeljski stik,
- enopolni zemeljski stik,
- srednjenapetostno omrežje.

## **ABSTRACT**

The most frequent failure in middle-voltage networks is the one-phase short-circuit fault. When electricity networks were smaller and operated through an insulated neutral point, the supply line did not have to be shut off immediately, as fault currents were small and electrical arcs automatically shut off in most cases at the location of a failure. Due to larger fault currents, electrical arcs in modern networks do not shut off automatically. For this reason, the supply line must be shut off at each fault, thus reducing the quality of electricity.

This paper presents one approach to eliminating transient short-circuit faults using a shunt circuit breaker. It is especially useful because it can turn on each phase separately, and also special because it creates a controlled short-circuit fault on busbars of the middle-voltage network on purpose, shutting off the arc at the location of a failure without interrupting power supply.

We presented the operation and structure of a shunt circuit-breaker and conducted an analysis, based on the acquired data from the RTP 110/20 kV distribution facility in Ilirska Bistrica, of short-circuit faults, also assessing performance of the facility.

## **KEYWORDS:**

- shunt circuit breaker,
- transient short-circuit fault,
- one-phase short-circuit fault,
- middle-voltage network.

## KAZALO

1	UVOD .....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge .....	1
1.3	Predstavitev okolja .....	1
1.3.1	Obravnavano omrežje.....	1
1.4	Predpostavke in omejitve .....	2
1.5	Metode dela .....	3
2	TEORETIČNE OSNOVE.....	3
2.1	Kakovost električne energije .....	3
2.1.1	Komercialna kakovost.....	3
2.1.2	Zanesljivost oskrbe .....	4
2.1.3	Kakovost napetosti.....	5
2.2	Delitev elektroenergetskih omrežij.....	7
2.2.1	Nazivne napetosti.....	7
2.2.2	Funkcije omrežja .....	8
2.2.3	Struktura omrežja.....	10
2.3	Načini ozemljitve nevtralne točke transformatorjev .....	10
2.3.1	Obratovanje z izolirano nevtralno točko.....	11
2.3.2	Obratovanje z nizkoohmsko ozemljitvijo.....	12
2.3.3	Obratovanje z resonančno ozemljeno nevtralno točko .....	12
2.4	Okvare v SN-omrežjih .....	13
2.4.1	Samougasni zemeljski stik .....	13
2.4.2	Prehodni zemeljski stik.....	13
2.4.3	Poltrajni in trajni zemeljski stik.....	14
3	SHUNT ODKLOPNIK .....	14
3.1	Splošno o odklopnikih .....	14
3.2	Načelo delovanja shunt odklopnika .....	15
3.2.1	FPC 525.....	15
3.2.2	Pogoji za delovanje.....	17
3.3	Vpliv delovanja shunt odklopnika na ozemljitveni upor in zaščito izvodov .....	17
3.4	Zgradba shunt odklopnika .....	20
3.5	Tehnični podatki shunt odklopnika .....	22
4	ANALIZA DELOVANJA SHUNT ODKLOPNIKA V RTP ILIRSKA BISTRICA ...	23
4.1	Časovni potek delovanja shunt odklopnika.....	25
4.2	Analiza zemeljskih stikov.....	29
4.3	Vpliv shunt odklopnika na kazalnike zanesljivosti .....	33
5	ZAKLJUČEK .....	37
6	LITERATURA IN VIRI .....	38
	PRILOGE .....	40

## KAZALO SLIK

Slika 1: Struktura prenosnega in distribucijskega omrežja .....	9
Slika 2: Struktura omrežja: a) radialno in b) zazankano .....	10
Slika 3: Izolirano zvezdišče transformatorja s prikazanimi dozemnimi kapacitivnostmi .....	12
Slika 4: Ozemljeno zvezdišče TR prek nizkoohmskega upora .....	12
Slika 5: Resonančna ozemljitev nevtralne točke .....	13
Slika 6: Zaščitni rele FPC 525 .....	16
Slika 7: Enopolna shema vezave shunt odklopnika in nadzorno-krmilne enote .....	16
Slika 8: Nizkoohmski upor .....	17
Slika 9: Tokovi pri delovanju shunt odklopnika .....	18
Slika 10: Shunt odklopnik na izvlekljivem vozičku .....	20
Slika 11: Merska skica shunt odklopnika .....	21
Slika 12: Oscilogram izvoda DV Prem .....	27
Slika 13: Oscilogram shunta .....	28
Slika 14: Zemeljski stiki po izvodih – niz B .....	29
Slika 15: Razmerje med prehodnimi in trajnimi zemeljskimi stiki .....	30
Slika 16: Število zemeljskih stikov po izvodih .....	31
Slika 17: Delež zemeljskih stikov po izvodih .....	31
Slika 18: Delovanje zaščit ob zemeljskih stikih .....	32
Slika 19: Uspešno odpravljeni prehodni zemeljski stiki v nizu B .....	32
Slika 20: Zemeljski stiki po izvodih – niz A .....	33
Slika 21: Primerjava prekinitev in izločenih prekinitev po izvodih .....	36
Slika 22: Kratkotrajne prekinitve in izločene prekinitve .....	36

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Značilnosti napetosti v normalnem obratovalnem stanju .....	6
Tabela 2: Minimalni standardi kakovosti .....	7
Tabela 3: Nazivne in najvišje obratovalne napetosti .....	8
Tabela 4: Izpis dogodkov SCADA .....	19
Tabela 5: Tehnični podatki shunt odklopnika .....	22
Tabela 6: Splošni podatki .....	23
Tabela 7: Izvodi niza A .....	24
Tabela 8: Izvodi niza B .....	25
Tabela 9: Izvodi niza C .....	25
Tabela 10: Potek RMS-faznih napetosti in tokov ob aktiviranju shunta – celica JB04 .....	27
Tabela 11: Potek RMS-faznih napetosti ob aktiviranju shunta – celica JE01 .....	28
Tabela 12: Prehodni in trajni zemeljski stiki – niz B .....	29
Tabela 13: Dolgotrajne prekinitve po izvodih .....	34
Tabela 14: Kratkotrajne prekinitve po izvodih .....	35

Tabela 15: Kratkotrajne prekinitve brez shunt odklopnika..... 35

## **KRATICE IN AKRONIMI**

RTP: razdelilna transformatorska postaja

TP: transformatorska postaja

NN: niskonapetostno omrežje

SN: srednjenapetostno omrežje

VN: visokonapetostno omrežje

k: kilo

V: volt

A: amper

DE: distribucijska enota

SODO: Sistemski operater distribucijskega omrežja

APV: avtomatski ponovni vklop

PAPV: počasni avtomatski ponovni vklop

HAPV: hitri avtomatski ponovni vklop

GIS: Gas Insulated Switchgear – plinsko izolirana stikalna naprava



# 1 UVOD

## 1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V današnjem času si večina ljudi sploh ne zna predstavljati življenja brez električne energije. Odjemalec električne energije pričakuje, da je slednja na voljo takrat, ko jo potrebuje in da je ta energija ustrezne kakovosti. Sredjenapetostna distribucijska omrežja so v pretežni meri izvedena z nadzemnimi vodi, kar poveča dovzetnost za okvare in slabša kazalnike zanesljivosti oskrbe. Naloga distribucijskih podjetij je, da v največji možni meri zmanjšajo število izpadov električne energije odjemalcem. V ta namen se na izvodih daljnovodov vgrajujejo različne zaščitne naprave, ki se aktivirajo ob določenih pogojih. Ena izmed takšnih naprav je shunt odklopnik, ki je namenjen odpravljanju enopolnih prehodnih zemeljskih stikov brez prekinitve napajanja.

## 1.2 CILJI NALOGE

V diplomskem delu bo predstavljeno omrežje 20 kV, pri katerem sta smotrna vgradnja shunt odklopnika in podana analiza delovanja že vgrajenega shunt odklopnika v RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica. Iz analize bomo lahko ocenili, kako uspešno je shunt odklopnik odpravljal prehodne zemeljske stike v določenem časovnem obdobju in ga primerjali z drugimi zaščitami.

## 1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

V diplomskem delu se bomo osredotočili na podatke, pridobljene iz RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica, ki spada pod okrilje Elektra Primorske, podjetje za distribucijo električne energije d. d. (v nadaljevanju Elektro Primorska).

Elektro Primorska je podjetje z osnovno dejavnostjo distribucije električne energije. Svojim odjemalcem zagotavljamo kakovostno, zanesljivo in varno oskrbo z električno energijo, skrbimo za razvoj in izgradnjo omrežij ter inženiring storitev s področja energetike ob konkurenčnih cenah. (Elektro Primorska d. d., 2022)

### 1.3.1 Obravnavano omrežje

Podjetje Elektro Primorska je razdeljeno na štiri distribucijske enote (DE) in osemnajst nadzorništev:

DE Nova Gorica:

- Nadzorništvo Gorica,
- Nadzorništvo Ajdovščina,
- Nadzorništvo Kanal,

- Nadzorništvo Bilje;

DE Koper:

- Nadzorništvo Koper,
- Nadzorništvo Izola,
- Nadzorništvo Piran,
- Nadzorništvo Dekani;

DE Sežana:

- Nadzorništvo Sežana,
- Nadzorništvo Postojna,
- Nadzorništvo Pivka,
- Nadzorništvo Ilirska Bistrica,
- Nadzorništvo Kozina;

DE Tolmin:

- Nadzorništvo Tolmin,
- Nadzorništvo Bovec,
- Nadzorništvo Kobarid,
- Nadzorništvo Cerknjo,
- Nadzorništvo Idrija.

V diplomskem delu bo obravnavano omrežje, ki spada pod DE Sežana, nadzorništvo Ilirska Bistrica. Nadzorništvo Ilirska Bistrica vzdržuje in upravlja RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica ter SN- in NN-omrežje, ki se napaja iz tega RTP-ja. Območje nadzorništva leži na jugozahodu Slovenije in je geografsko zelo raznoliko, saj obsega del snežniških gozdov, dolino reke Reke ter tudi del hribovitih Brkinov in kraškega podgrajskega podolja. Zaradi raznolikosti terena sta gradnja in vzdrževanje omrežja zahtevna, prav tako nam predstavlja izziv pri zagotavljanju kakovostne električne energije in zanesljivosti oskrbe.

## 1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavljamo, da bomo z analizo delovanja shunt odklopnika dokazali, da pripomore k odpravljanju enopolnih zemeljskih stikov v distribucijskem omrežju 20 kV, kar vodi k izboljšanju kakovosti električne energije in podaljšanju življenjske dobe vgrajenih elementov.

Omejitev pri diplomskem delu predstavlja dejstvo, da so okvare na elektroenergetskih omrežjih nepredvidljive in so odvisne od vrste različnih dejavnikov (vreme, dotrajanost materialov, človeški dejavnik, višja sila itd.), kar pomeni, da bi lahko s podobno analizo v drugem okolju ali časovnem obdobju prišli do drugačnih rezultatov.

## 1.5 METODE DELA

V teoretičnem delu je za prikaz obstoječega stanja uporabljena opisna metoda. Na temelju strokovne literature in člankov je opisano SN-omrežje, RTP 110/20 kV in zaščite na splošno ter podrobneje predstavljeno omrežje, ki se napaja iz RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica.

V praktičnem delu je uporabljena analitična metoda, kjer smo razčlenili in primerjali delovanje različnih zaščit v omrežju ter rezultate analize s sintetično metodo smiselno združili v celoto.

## 2 TEORETIČNE OSNOVE

### 2.1 KAKOVOST ELEKTRIČNE ENERGIJE

Oskrba z električno energijo je postala ena izmed najpomembnejših storitev. Odjemalci od svojega distributerja pričakujejo, da je energija na razpolago, ko jo potrebujejo in da je ta ustrezne kakovosti, tako da vse naprave delujejo varno in zanesljivo. Dobava električne energije neustrezne kakovosti lahko pripelje do zaustavitve proizvodnih procesov, prekinitev storitvenih dejavnosti ali celo do okvar industrijskih naprav in opreme.

»Kakovost oskrbe z električno energijo delimo na:

- komercialno kakovost, ki označuje razmerje med operaterjem in uporabnikom;
- zanesljivost (neprekinjenost) oskrbe, ki se nanaša na število in trajanje prekinitev, ki jih zazna odjemalec;
- kakovost napetosti, ki se nanaša na frekvenco, velikost, obliko vala in simetrijo trifaznega sistema električne napetosti na prevzemno-prodajnem mestu odjemalca.« (Blažič in Papič, 2019, str. 110)

#### 2.1.1 Komercialna kakovost

Komercialna kakovost določa kakovost sistemskih storitev, ki so jih operaterji dolžni zagotavljati uporabnikom električnega omrežja v okviru splošne in individualne komercialne kakovosti. Določeni so pogoji izvedbe storitev, ki jih sistemski operater nudi, in minimalni odzivni časi v katerih lahko odjemalec pričakuje izvedbo storitev. (Blažič in Papič, 2019)

## 2.1.2 Zanesljivost oskrbe

Zanesljivost oskrbe z električno energijo prikazujemo z zanesljivostnimi kazalniki omrežij, ki nam prikažejo stanje omrežja glede na izbrane kriterije. Za različne tipe prekinitev so bile določene različne definicije in vzpostavljene metode njihovega vrednotenja. V nadaljevanju bomo predstavili nekatere porabniško usmerjene kazalnike, ki se nanašajo na frekvenco prekinitev (napovedane in nenapovedane prekinitev), na trajanje prekinitev (kjer prekinitev krajše od treh minut uvrščamo med kratkotrajne, daljše od treh minut pa med dolgotrajne prekinitev) in na razpoložljivost napajanja glede na napetostno raven.

»Zanesljivost oskrbe se predpisuje za skupno število in trajanje nenapovedanih kratkotrajnih in dolgotrajnih prekinitev v enem letu na enem prevzemno-predajnem mestu. Predpisano je tudi število nenapovedanih prekinitev. Uredba predvideva tudi dogovor med sistemskim operaterjem omrežja in odjemalcem, ki se lahko dogovorita o drugačnem številu prekinitev. V standardu SIST EN 50160 so za te količine podane samo okvirne vrednosti, s čimer je omogočen dogovor oziroma pogodbeno razmerje z drugačnimi vrednostmi.« (Blažič in Papič, 2019, str. 111)

Za pregled stanja zanesljivosti oskrbe v celotnem elektroenergetskem omrežju se uporabljajo naslednji kazalniki zanesljivosti:

- »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. Veličina se izračuna na sledeč način: če je  $t_{ij}$  trajanje  $i$ -te prekinitev napajanja  $j$ -temu odjemalcu v izbranem časovnem intervalu  $T$  in  $N_s$  celotno število odjemalcev, potem sledi:

$$SAIDI = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij}}{N_s \cdot T}$$

Pri izračunu SAIDI se upoštevajo samo dolgotrajne prekinitev. Vrednost kazalnika izražamo v minutah na odjemalca.« (Golob, 2020, str. 3)

- »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. Veličina se izračuna na sledeč način: če je  $t_{ij}$  trajanje  $i$ -te prekinitev napajanja  $j$ -temu odjemalcu v izbranem časovnem intervalu  $T$  in  $N_s$  celotno število odjemalcev, potem sledi:

$$SAIFI = \frac{\sum_j n_j}{N_s \cdot T}$$

Pri izračunu SAIFI se upoštevajo samo dolgotrajne prekinitve. Vrednost kazalnika izražamo s številom prekinitev na odjemalca.« (Golob, 2020, str. 3)

Poleg porabniško orientiranih kazalcev obstajajo še kazalci trenutnih prekinitev. Zavedati se moramo, da zgornji kazalci ne zajemajo prekinitev, ki so krajše od treh minut (standard EN 50160). A ravno te prekinitve so za sodobno industrijo, kjer lahko tudi krajši izpadi povzročijo težave, prav tako pomembne. V tej kategoriji je opredeljen kazalec trenutnih prekinitev:

- »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. Veličina se izračuna na naslednji način: če je oskrba z električno energijo v časovnem intervalu T odjemalca j prekinjena  $U_j$  krat in predstavlja  $N_s$  celotno število odjemalcev, potem sledi:

$$\text{MAIFI} = \frac{\sum_j U_j}{N_s \cdot T}$$

Vrednost kazalnika MAIFI izražamo s številom prekinitev na odjemalca.« (Golob, 2020, str. 4)

### 2.1.3 Kakovost napetosti

»Po standardu SIST EN 50160 kakovost napetosti določajo naslednji parametri:

- odkloni napajalne napetosti,
- kratkotrajne in dolgotrajne prekinitve,
- odstopanje omrežne frekvence,
- hitre spremembe napetosti – fliker,
- harmonske in medharmonske napetosti,
- neravnotežje napajalne napetosti,
- signalne napetosti in
- prenapetosti in upadi napetosti.« (Blažič in Papič, 2019, str. 111)

Mejne vrednosti, znotraj katerih lahko končni odjemalec pričakuje značilnosti napetosti v normalnem obratovalnem stanju, so prikazane v tabeli 1.

Značilnosti napetosti	Integracijska perioda	Časovno merilno obdobje	Verjetnost nahajanja znotraj tolerance	Ovrednotenje parametra - toleranca
Odkloni napajalne napetosti	10 minut	1 teden	95 %	$\pm 10 \%$
	10 minut	1 teden	100 %	+ 10 %/–15 %
Omrežna frekvenca	10 s	1 teden/leto	99,50 %	$\pm 1 \%$
	10 s	1 teden/leto	100 %	+ 4 %/–6 %
Fliker	2 uri	1 teden	95 %	$\leq 1$
Harmoniki	10 minut	1 teden	95 %	SIST EN 50160
Neravnotežje napajalne napetosti	10 minut	1 teden	95 %	$\leq 2 \%$
Signalne napetosti	3 sekunde	1 teden	95 %	SIST EN 50160

*Tabela 1: Značilnosti napetosti v normalnem obratovalnem stanju*  
(Vir: Blažič in Papič, 2019)

SODO je za vse odjemalce, ki nimajo sklenjene pogodbe o kakovosti električne energije, objavil minimalne standarde zanesljivosti oskrbe z električno energijo. Vrednosti dovoljenega trajanja in števila nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitev, ki so posledica lastnih vzrokov in števila vseh kratkotrajnih prekinitev za vsako prevzemno-predajno mesto v enem koledarskem letu, so prikazane v tabeli 2. Vrednosti se razlikujejo po tipu izvoda in po napetostni ravni.

Napetostna raven	Vrsta izvoda RTP/RP na SN-omrežju	Priključitev odjemalca na SN-izvod RTP	Skupno trajanje nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitev (lastni vzrok) [min/leto]	Skupno število dolgotrajnih prekinitev (lastni vzrok) [prek./leto]	Število vseh kratkotrajnih prekinitev [prek./leto]
VN					1
SN	Podeželski	neposredno	450	6	28
	Mešani		150	5	18
	Mestni		150	4	10
NN	Podeželski	neposredno	950	16	35
	Mešani		350	10	22
	Mestni		350	8	13

*Tabela 2: Minimalni standardi kakovosti  
(Vir: SODO, 2016)*

## 2.2 DELITEV ELEKTROENERGETSKIH OMREŽIJ

Upošteva joč Blažiča in Papiča (2019), električna omrežja najpogosteje delimo po:

- nazivnih napetostih,
- funkcijah, ki jih v elektroenergetskem sistemu opravljajo, in
- strukturah ali konfiguracijah pri normalnem obratovanju ter ob okvarah.

### 2.2.1 Nazivne napetosti

Za vsako električno omrežje, ki ga obravnavamo, moramo poznati nazivno napetost, za katero je omrežje grajeno, in najvišjo obratovalno napetost, ki v normalnih pogojih ne sme biti presežena. Poznamo naslednje napetostne ravni:

- nizko napetost ali NN – napetost do 1 kV,
- srednjo napetost ali SN – napetost od 1 kV do 35 kV,
- visoko napetost ali VN – napetost 35 kV do 420 kV,
- najvišjo napetost, ki je napetost od 420 kV naprej.

V Sloveniji se v NN-omrežjih uporablja napetost 0,4 kV, distribucijska SN-omrežja obratujejo na 10 kV, 20 kV in 35 kV, s tem, da se napetostna raven 35 kV opušča, medtem ko se sistemi 10 kV počasi nadgrajujejo na 20 kV. Za potrebe prenosnega sistema se uporabljajo napetostne ravni 110 kV, 220 kV in 400 kV. Razmerja med nazivnimi in najvišjimi obratovalnimi napetostmi so prikazana v tabeli 3.

<b>Nazivna napetost [kV]</b>	0,4	10	20	35	110	220	400
<b>Najvišja obratovalna napetost [kV]</b>	0,44	12	24	42	123	245	420

*Tabela 3: Nazivne in najvišje obratovalne napetosti  
(Lastni vir)*

### 2.2.2 Funkcije omrežja

Elektroenergetska omrežja po funkciji ločimo na porabniška, distribucijska in prenosna. (Blažič in Papič, 2019)

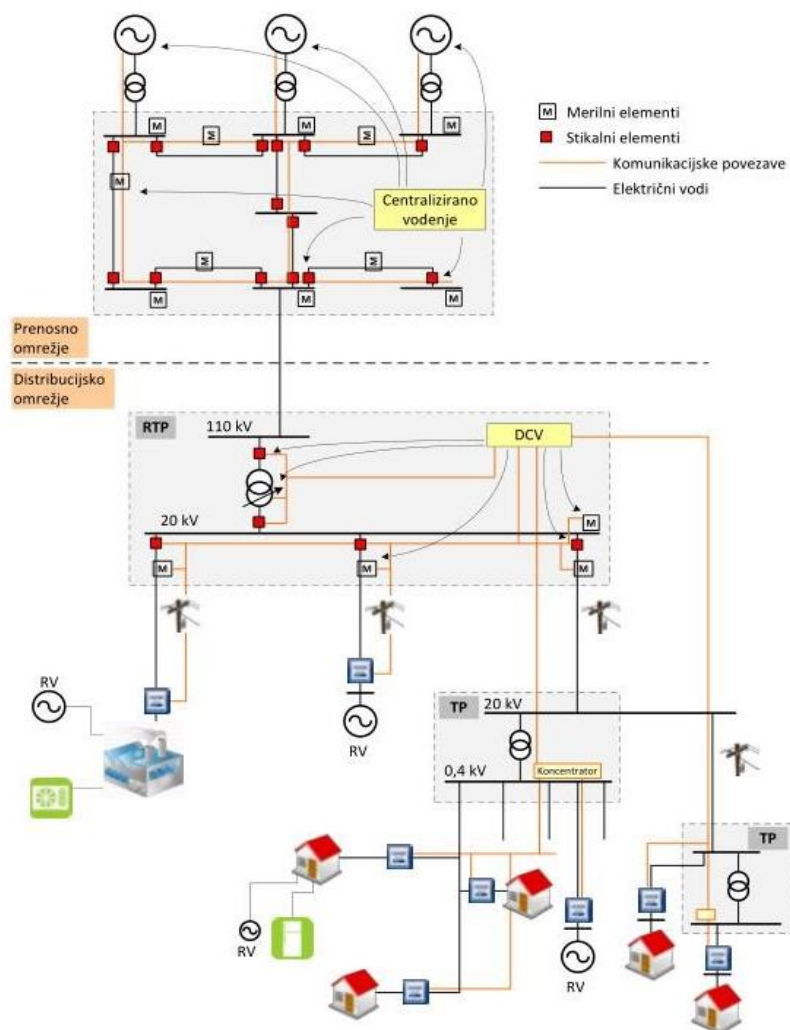
#### **Prenosno omrežje**

Slovensko prenosno elektroenergetsko omrežje je v lasti systemskega operaterja, družbe ELES, d. o. o., ki omrežje tudi upravlja. Sestavni deli prenosnega omrežja so večinoma nadzemni daljnovodi in RTP-ji. Nanj so priključene vse večje slovenske proizvodne enote, medtem ko se za domače potrebe iz njega napaja vseh pet javnih distribucijskih omrežij. Razen tega se iz njega neposredno napaja tudi nekaj največjih slovenskih odjemalcev električne energije. (Agencija za energijo, 2017)

#### **Distribucijsko omrežje**

Distribucijsko omrežje je priključeno na prenosni sistem prek RTP-jev 110 kV/SN. Sestavljajo ga električni vodi različnih napetostnih ravni in izvedb (nadzemni in podzemni) in TP-ji, ki so namenjeni dobavljanju električne energije končnim porabnikom, kot je razvidno s slike 1. Na distribucijsko omrežje se v zadnjem času priključuje tudi vedno več manjših proizvajalcev električne energije.





Slika 1: Struktura prenosnega in distribucijskega omrežja  
(Vir: Blažič, 2013)

Na območju Republike Slovenije izvaja javno službo systemskega operaterja distribucijskega omrežja električne energije družba SODO d. o. o.. Na temelju pogodbe o najemu in vzdrževanju elektrodistribucijskega omrežja in izvajanju trženjskih storitev, v imenu SODO te dejavnosti izvajajo naslednja distribucijska podjetja:

- Elektro Primorska d. d.,
- Elektro Ljubljana d. d.,
- Elektro Maribor d. d.,
- Elektro Gorenjska d. d. in
- Elektro Celje d. d.

(Agencija za energijo, 2021)

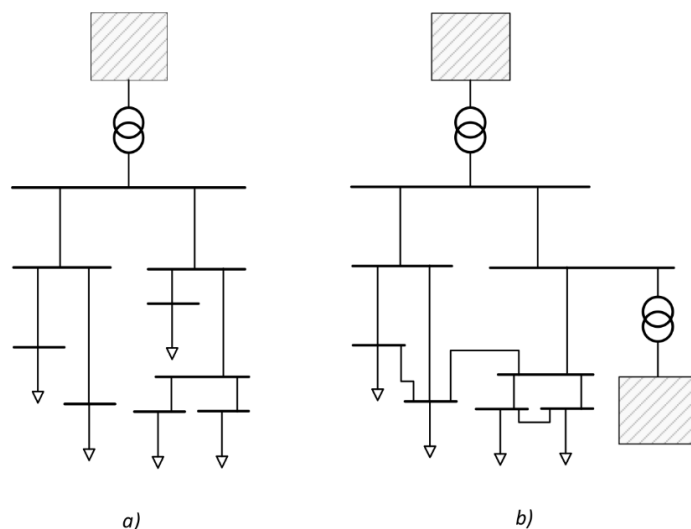
### Porabniška omrežja

Porabniška omrežja so tisti deli omrežja, ki so pri samem uporabniku (to je lahko instalacija v stanovanjski hiši, ali v industrijskem obratu) ter jih tudi upravlja in vzdržuje uporabnik sam. (Blažič in Papič, 2019)

#### 2.2.3 Struktura omrežja

Elektroenergetska omrežja po strukturi delimo na omrežja odprtega in zaprtega tipa. Zaprta, ali zazankana omrežja se uporabljajo v prenosnih omrežjih, kjer je prenos energije mogoč po dveh ali več različnih poteh istočasno. V distribucijskih omrežjih na SN-ravni pa so omrežja večinoma izvedena v obliki odprte zanke, kar nam omogoča spreminjanje konfiguracije omrežja v primeru vzdrževalnih del ali okvar.

Na sliki 2 sta prikazana primera radialnega in zazankanega omrežja. Vidimo, da so lahko odjemalci pri radialnih omrežjih (slika 2a) napajani samo z ene strani, kar pomeni da v primeru okvare na vodu vsi porabniki ostanejo brez električne energije. Pri zazankanih omrežjih (slika 2b) pa so določeni postroji večkrat povezani med seboj, kar nam omogoča, da v primeru izpada določenega daljnovoda v omrežju neprekinjeno zagotavljamo električno energijo. (Blažič in Papič, 2019)



Slika 2: Struktura omrežja: a) radialno in b) zazankano

(Vir: Blažič in Papič, 2019)

## 2.3 NAČINI OZEMLJITVE NEVTRALNE TOČKE TRANSFORMATORJEV

Žunko (2007) navaja, da se je v slovenskih SN-distribucijskih omrežjih način ozemljitve nevtralne točke energetskih transformatorjev skozi zgodovino spreminjal. Prvotna SN-omrežja so imela izolirano nevtralno točko. Pri enofaznih kratkih stikih

(zemeljskih stikih) teče samo kapacitivni tok, ki je bil v takratnih majhnih, večinoma nadzemnih omrežjih razmeroma majhen. Vendar se je z večanjem omrežij in s prehodom na kabelska omrežja povečeval tudi kapacitivni zemeljsko-stični tok in presegel vrednosti, pri katerih je še zagotovljena samougasnitev obloka pri zemeljskem stiku. Zato so začeli uvajati ozemljitve nevtralne točke distribucijskih transformatorjev.

Prva ozemljena omrežja so imela nevtralno točko ozemljeno prek nizkoohmskega upora. V takem primeru se v omrežju znižajo stacionarne prenapetosti, kar zmanjša nevarnost dvojnih zemeljskih stikov. Hkrati se poveča zemeljskostični tok. Zaradi tega se poveča tudi selektivnost zaščite, vendar se hkrati poveča tudi vpliv na telekomunikacijske vode in poslabšajo se varnostne razmere. Zaradi tega v nekaterih državah raje preidejo na ozemljitev nevtralne točke prek kompenzacijske (Petersenove) tuljave. Oba sistema ozemljitve sta se tako sočasno razvijala in izpopolnjevala ter se še danes uspešno uporabljata v razdelilnih omrežjih po vsem svetu. (Žunko, 2007)

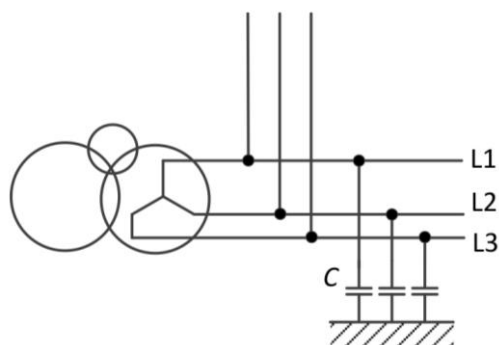
### 2.3.1 Obratovanje z izolirano nevtralno točko

Prednosti omrežij, ki obratujejo z izolirano nevtralno točko, so majhni kapacitivni tokovi pri enofaznih zemeljskih stikih, ki ne dopuščajo vzdrževanje obloka na mestu okvare, kar privede do samougasnitve. Omrežje bi torej lahko obratovalo v zemeljskem stiku ene faze, vendar se to v praksi ne izvaja, ker lahko pride do prenapetosti in preboja izolacije v zdravih fazah, kar lahko povzroči dvojni zemeljski stik in velike termične obremenitve. (Blažič in Papič, 2019)

Največji še dovoljen tok enofaznih zemeljskih stikov je lahko po DIN VDE 0228 predpisih 35 A za napetosti od 3 kV do 35 kV. To je namreč meja samougasnitve električnega obloka pri prehodnih zemeljskih stikih. (Hrobat in Isakovič, 2008)

Pri okvarnih tokovih 30 A in več v omrežjih 20 kV so se pri enopolnih zemeljskih stikih zaradi prenapetosti začeli pojavljati preboji na zdravem delu omrežja, kar je imelo za posledico izpad več izvodov. (Vižintin in Lovrenčič, 2001)

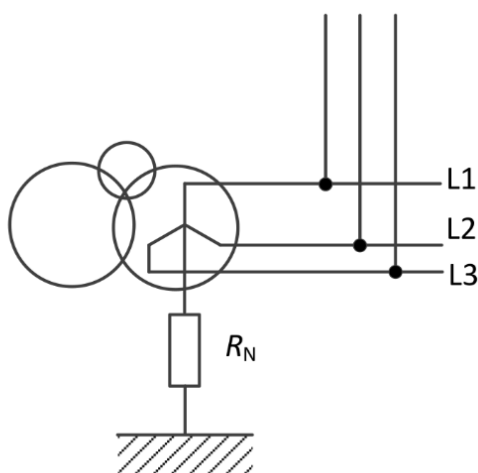
Na sliki 3 je prikazano izolirano zvezdišče transformatorja z dozemnimi kapacitivnostmi.



Slika 3: Izolirano zvezdišče transformatorja s prikazanimi dozemnimi kapacitivnostmi  
(Vir: Blažič in Papič, 2019)

### 2.3.2 Obratovanje z nizkoohmsko ozemljitvijo

Za razliko od izolirane nevtralne točke so pri obratovanju z ozemljitvijo prek nizkoohmskega upora okvarni tokovi veliki, saj se kapacitivni in ohmski tok seštevata. Velik tok omogoča selektivno delovanje zaščit, povzroči pa lahko tudi večje poškodbe na mestu okvare, zato je potrebno vod na katerem se pojavi zemeljski stik izklopiti v vseh primerih, kar slabša kakovost električne energije. (Blažič in Papič, 2019)

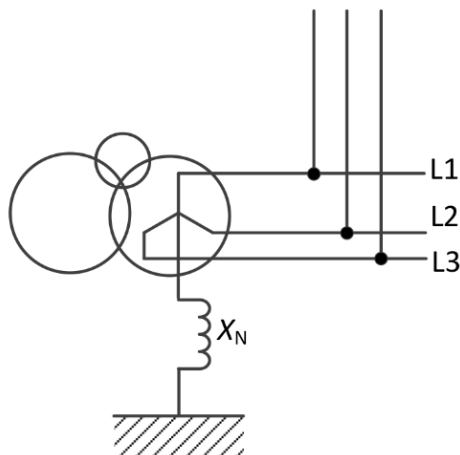


Slika 4: Ozemljeno zvezdišče TR prek nizkoohmskega upora  
(Vir: Blažič in Papič, 2019)

### 2.3.3 Obratovanje z resonančno ozemljeno nevtralno točko

Ozemljitev nevtralne točke prek resonančne ali Petersenove dušilke zmanjša kapacitivni del toka pri enofaznih zemeljskih stikih. Na takšen način ozemljeno omrežje se v precej primerih obnaša kot omrežje z izoliranim zvezdiščem, s tem, da lahko tudi pri večjih omrežjih kompenziramo kapacitivne tokove do te mere, da pride do samougasnitve obloka, in ni potrebe po izklopu omrežja. Termična obremenitev

omrežja je pri enofaznih stikih zaradi majhnih tokov majhna, medtem ko mora biti izolacija dimenzionirana na medfazno napetost ali višje. Priklučitev resonančne dušilke je prikazana na sliki 5. (Blažič in Papič, 2019)



Slika 5: Resonančna ozemljitev nevtralne točke  
(Vir: Blažič in Papič, 2019)

## 2.4 OKVARE V SN-OMREŽJIH

Prostozračno omrežje je močno izpostavljeno vremenskim vplivom, kot so: atmosferske razelektritve, dež, sneg, veter in žled, ki v omrežjih povzročajo različne okvare in prekinitve oskrbe z električno energijo. V nadaljevanju je predstavljenih nekaj tipičnih okvar, ki se pojavljajo v SN-omrežjih.

### 2.4.1 Samougasni zemeljski stik

Majhen odstotek enofaznih zemeljskih stikov je takšnega značaja, da ugasne sam od sebe, ne glede na ozemljitev nevtralne točke. V posrednem ozemljenem omrežju pri uporabi standardne zaščite pomeni vsak zemeljski stik izklop izvoda, kar pomeni, da posredna ozemljitev nudi slabše obratovalne pogoje. Temu se pri tovrstno ozemljenih omrežjih lahko izognemo z zakasnitvijo delovanja zaščite.

### 2.4.2 Prehodni zemeljski stik

Enopolni kratki stik oziroma zemeljski stik je v elektroenergetskih omrežjih najpogostejša vrsta okvare. Statistično je namreč ugotovljeno, da je več kot 75 % vseh izpadov posledica trenutnih ali poltrajnih zemeljskih stikov. (Vižintin in Lovrenčič, 2001)

V izoliranih in resonančno ozemljenih omrežjih prehodni zemeljski stik načeloma ne povzroči izpada okvarjenega voda in prekinitve dobave električne energije potrošnikom, priključenim na ta izvod. V posredno ozemljenih omrežjih je treba poiskati dodatno rešitev, da ne pride do izpada okvarjenega izvoda pri prehodnem zemeljskem stiku. V uporabi sta dve možnosti. Prva je uvedba hitrega avtomatskega ponovnega vklopa (HAPV), ki omogoča z izklopom okvarjenega izvoda za 0,3 s ugasnitev obloka prehodnega zemeljskega stika. Vendar v tem primeru izklop izvoda, čeprav kratkotrajen, povzroči izpad dela potrošnikov. Druga rešitev je vgradnja shunt odklopnika v RTP 110/SN, čigar delovanje bo podrobneje predstavljeno v nadaljevanju.

### 2.4.3 Poltrajni in trajni zemeljski stik

V omrežjih z izoliranim zvezdiščem in v resonančno ozemljenih omrežjih načeloma ni razlike med trajnimi in poltrajnimi zemeljskimi stiki. Razlika se pojavlja samo v posredno ozemljenih omrežjih, v katerih se uporablja razen hitrega še počasni avtomatski ponovni vklop (PAPV). V izoliranih in v resonančno ozemljenih omrežjih je po naših predpisih dovoljeno, da obratuje omrežje pri enofaznem kratkem stiku še naprej, vendar ne več kot dve uri. V tem času je treba okvaro locirati in odpraviti, ne da bi potrošniki okvaro sploh zaznali. V omrežjih, ozemljenih prek maloohmskega upora, te možnosti ni, ker ostane izvod po neuspešnih ponovnih vklopih dokončno izklopljen in s tem tudi prekinjena dobava električne energije.

## 3 SHUNT ODKLOPNIK

### 3.1 SPLOŠNO O ODKLOPNIKIH

Odklopnik je vrsta električnega stikala, ki ob preobremenitvi ali kratkem stiku samodejno prekine tokokrog v katerem je okvara. Njegova funkcija je primerljiva s talilnimi varovalkami, s to razliko, da ga lahko uporabimo tudi za ponovni avtomatski vklop. (Razpet, 2001)

Namen odklopnikov je vklapljanje in izklapljanje tokokrogov v normalnih in zahtevnejših obratovalnih pogojih:

- v rednem obratovanju pri nazivnih vrednostih,
- pri izklapljanju kratkih stikov,
- izklapljanju ob okvarah (avtomatsko),
- pri vklapljanju na kratek stik pri ponovnih hitrih vklopih (avtomatski ponovni vklop) ali pri napačnih stikalnih manipulacijah.

Glede na način gašenja električnega oblaka, ki je določen z izvedbo in konstrukcijo odklopnika, ločimo:

- plinskega (SF 6),
- malooljnega (gasilni medij je olje),
- oljnega (gasilni medij je olje),
- ekspanzijskega in
- kompresijskega.

(Razpet, 2001)

## **3.2 NAČELO DELOVANJA SHUNT ODKLOPNIKA**

Kot je bilo že poudarjeno, se shunt odklopnik uporablja za odpravo prehodnih enofaznih zemeljskih stikov. Shunt odklopnik je sestavljen iz treh enopolnih vakuumskih odklopnikov, krmiljenih prek namenske nadzorno-krmilne enote. Na eno stran vsakega izmed polov so priključene faze zbiralk SN-stikališča, čigar omrežje ščitimo, druga stran polov pa je združena in prek ustreznega kabla povezana na ozemljitev nevtralne točke transformatorja. (Bizjak in Žunko, 2002)

Za ustrezno delovanje shunt odklopnika skrbi nadzorno-krmilna enota, s tem da meri vrednosti faznih napetosti SN-zbiralk in tok skozi ozemljitveni upor. Ko zaščitni rele zazna zemeljski stik, izda komando in deluje na ustrezen pol shunt odklopnika. Istočasno rele blokira ostale zaščite v RTP-ju, tako da shunt stikalo lahko opravi svoje delo. (Bizjak in Žunko, 2002)

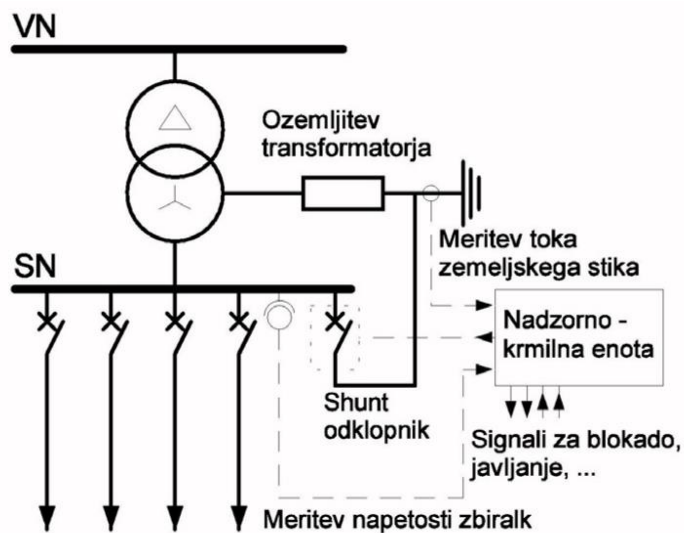
### **3.2.1 FPC 525**

V RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica je vgrajen sistem NEO 2000, proizvajalca Iskra sistemi d. d., ki je namenjen zaščiti in vodenju distribucijskih omrežij. Nadzorno-krmilna naprava FPC 525 je namenjena ščitenju shunt odklopnika in odpravljanju prehodnih zemeljskih stikov v SN-omrežjih. Naprava lahko beleži dogodke s časovno resolucijo 1 ms, saj vsebuje v povezavi s sistemom NEO 2000 tudi uro svetovnega časa. Vse naprave je možno nastavljati prek čelne plošče, ki jo lahko vidimo na sliki 6, ali prek zunanje grafične uporabniške enote s posebnim programom na osebнем računalniku.



Slika 6: Zaščitni rele FPC 525  
(Lastni vir)

Osnovna shema vezave shunt odklopnika in nadzorno-krmilne enote je predstavljena na sliki 7.



Slika 7: Enopolna shema vezave shunt odklopnika in nadzorno-krmilne enote  
(Vir: Bizjak in Žunko 2002)



### 3.2.2 Pogoji za delovanje

Ob nastanku zemeljskega stika v SN-omrežju se napetost v okvarjeni fazi zniža, kar zazna zaščitni rele prek merilnih transformatorjev iz merilne ali transformatorske celice, ki so na istih zbiralkah kot shunt stikalo. Drugi pogoj za delovanje shunta je velikost okvarnega toka, ki ga merimo s tokovnim transformatorjem vgrajenim v nizkoohmskem uporu za ozemljitev SN-zvezdišča transformatorja. Ker električni oblok samodejno ugasne pri okvarnih tokovih manjših od 15 A, se shunt odklopnik aktivira samo takrat ko je tok zemeljskega stika večji od te vrednosti. Če sta oba pogoja izpolnjena: padec napetosti v fazi v okvari na 80 % nazivne vrednosti in tok skozi zvezdišče transformatorja, ki je večji od 15 A, nadzorno-krmilna enota vključi samo tisti pol odklopnika, kjer je prišlo do okvare. Ker na mestu okvare ni več napetosti, ki bi vzdrževala oblok, le-ta ugasne, shunt pa razzemlji fazo. (Bizjak in Žunko, 2002)

Na sliki 8 vidimo notranjost nizkoohmskega upora z uporovnimi elementi in zaščitnima tokovnima transformatorjema.



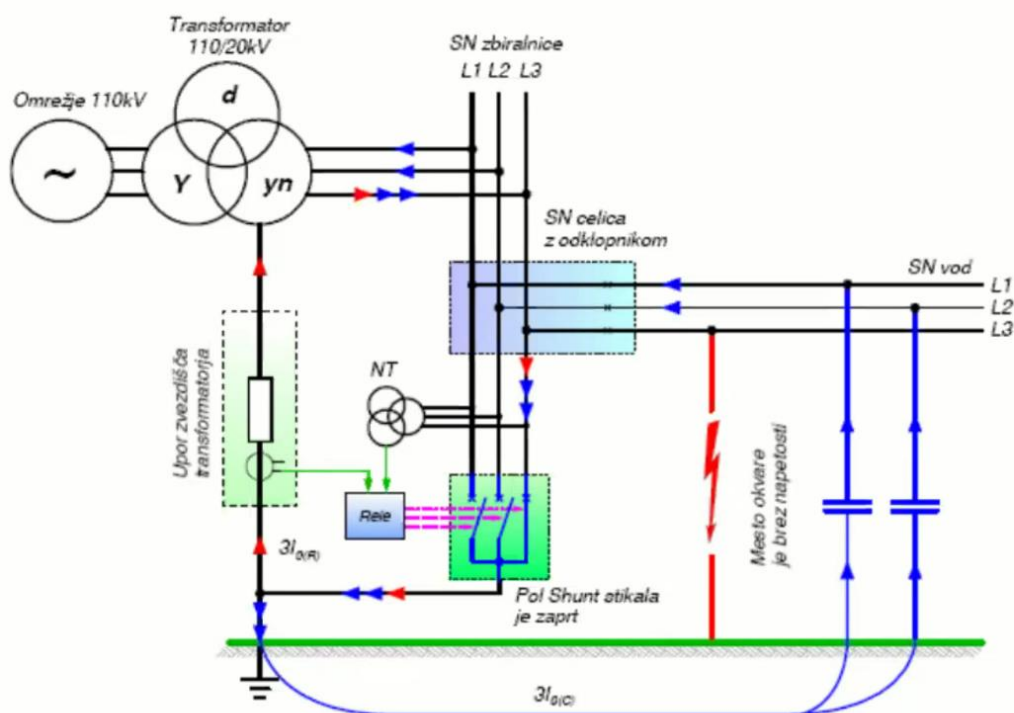
Slika 8: Nizkoohmski upor  
(Lastni vir)

## 3.3 VPLIV DELOVANJA SHUNT ODKLOPNIKA NA OZEMLJITVENI UPOR IN ZAŠČITO IZVODOV

Za nemoteno delovanje shunt odklopnika je bistvenega pomena uskladitev njegovega delovanja z delovanjem zemeljskostične zaščite izvodov. Krmilnik mora odkriti fazo v zemeljskem stiku in dati ukaz shunt stikalu za vklop ustreznega pola odklopnika ter obenem blokirati rele APV. (Vižintin in Lovrenčič, 2001)

V primeru enopolnega zemeljskega stika shunt stikalo ugotovi, v kateri fazi je zemeljski stik. To fazo po preteku 0,2 s ozemlji. Tok napake, ki je tekel prek loka na mestu okvare, se zaključi prek shunt odklopnika in upora in oblok ugasne, ker na mestu zemeljskega stika ni več napetosti, ki bi vzdrževala električni oblok. Po preteku časa 0,2 s shunt odklopnik razzemlji fazo, ki je bila v zemeljskem stiku. Če napaka še traja, zemeljskostična zaščita izklopi okvarjen vod, medtem ko shunt stikalo ostane blokirano za čas 65 s. (Vižintin in Lovrenčič, 2001)

Na sliki 9, ki prikazuje tokove ob vključenem shunt odklopniku, vidimo, da se okvarni tok zaključi znotraj stikališča (rdeče oznake), medtem ko se po zdravih fazah iz omrežja vračajo kapacitivni tokovi (modre oznake).



Slika 9: Tokovi pri delovanju shunt odklopnika

(Vir: Majcen 2020)

Iz tega lahko razberemo, da je čas tokovne obremenitve ozemljitvenega upora 0,4 s, mesta okvare 0,2 s in shunt stikala 0,2 s.

V primeru, da v času ozemljitve ene od faz s shunt odklopnikom pride do poškodbe izolacije druge zdrave faze, se pojavi dvopolni zemeljski kratki stik in ga izklopi

kratkostična zaščita izvoda z okvaro. Avtomatika shunt odklopnika je izvedena tako, da se za določen čas blokira v primeru delovanja enega od polov. S tem je omogočeno, da v primeru trajne okvare obstoječa zaščita, ki je bila vgrajena že pred shunt odklopnikom, izloči izvod z okvaro. V tem času je tudi blokiran rele za delovanje HAPV v vseh celicah, ki so vezane na transformator z vgrajenim shunt odklopnikom. Po vgradnji shunt odklopnika nastavitve obstoječe zaščite izvodov v RTP-ju ni treba spreminjati. Ob vklopu shunt odklopnika je namreč potencial faze z okvaro na potencialu zemlje. Na mestu okvare ni več napetosti in zaradi tega ne teče v vod tok napake. Tokovni zemeljskostični rele nima več pogojev za delovanje in popusti. Smerni zemeljskostični rele, ki je vezan v  $\cos\varphi$  stik, ima v času vklopljenega enega pola shunt odklopnika napetost, vendar nima toka in zaradi tega tudi popusti. (Medved, 1999)

Kot že zapisano, pretokovni rele na okvarjenem vodu zazna zemeljski stik in štartni člen po približno 60 ms sproži časovni člen za izklop svojega odklopnika. Ker shunt odklopnik ozemlji okvarjeno fazo, tok zemeljskega stika skozi pretokovni rele izvoda izgine in rele resetira svojo startno funkcijo delovanja zaščite. V RTP Ilirska Bistrica smo v zaščitnih relejih na izvodih dodali signal »START«, ki se sproži vsakič, ko se na izvodu pojavi tok zemeljskega stika. Signal nam omogoča, da ob uspešnem delovanju shunt odklopnika vemo, na katerem izvodu je prišlo do prehodnega zemeljskega stika in bi zaradi velikosti toka prišlo do delovanja zaščite, če shunt odklopnik ne bi deloval. V tabeli 4 je prikazano zaporedje dogodkov ob uspešnem delovanju shunta.

DATUM	URA	CELICA	OPIS	STATUS
3. 2. 2021	0:24:15	JB10 DV MATULJI	START ZEMELJSKO- STIČNE ZAŠČITE	START
3. 2. 2021	0:24:15	JB12 SHUNT IZ- VOD	START ZEMELJSKO- STIČNE ZAŠČITE	START
3. 2. 2021	0:24:15	JE01 SHUNT	DELOVANJE SHUNTA L3	DELOVANJE
3. 2. 2021	0:24:16	JE01 SHUNT	ODKLOPNIK Q0/L3	VKLOPLJEN
3. 2. 2021	0:24:18	JE01 SHUNT	ODKLOPNIK Q0/L3	IZKLOPLJEN

*Tabela 4: Izpis dogodkov SCADA  
(Lastni vir)*

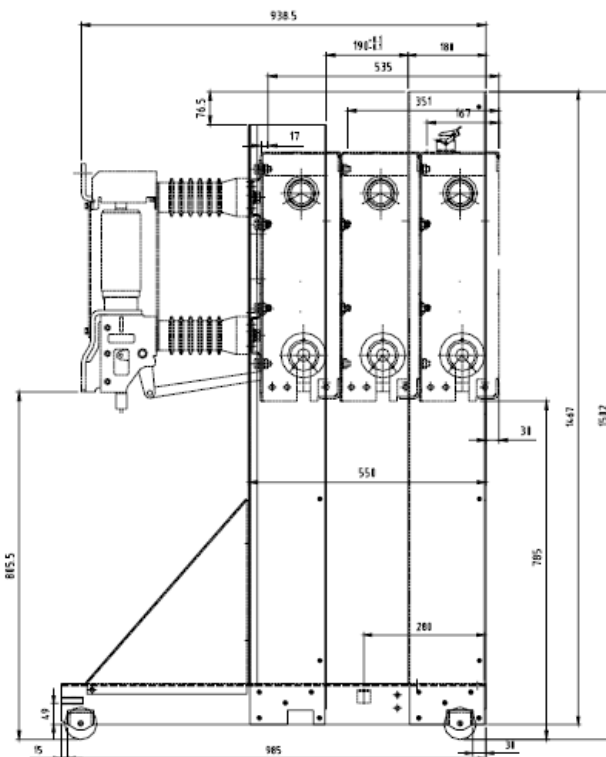
### 3.4 ZGRADBA SHUNT ODKLOPNIKA

Shunt odklopnik je odklopnik s tremi enofaznimi vakuumskimi odklopniki, ki so medsebojno blokirani tako, da ne more istočasno vklopiti več polov. Stikalni poli so vakuumski, pogoni, ki jih napenjajo elektromotorji, so vzmeteni, prožijo jih magnetni sprožilniki. Odklopnik je postavljen na izvlekljiv voziček kovinsko pregrajene (angl. Metal-clad) stikalne celice CR5V 24, ki je atestirana v mednarodnem preizkuševališču IPH Berlin in je zaradi svoje konstrukcije, uporabe samo kovinskih pregrad in vgrajenih zapahov zelo zanesljiva in varna v obratovanju. V NN-omarici je vgrajen zaščitni krmilni rele z vstavljenim programom logike delovanja. (TSN, b.l.(a))

Na sliki 10 vidimo shunt odklopnik na izvlekljivem vozičku, medtem ko so na sliki 11 prikazane njegove dimenzije.



Slika 10: Shunt odklopnik na izvlekljivem vozičku  
(Vir: TSN 2005)



Slika 11: Merska skica shunt odklopnika  
(Vir: TSN 2005)

Iz kataloga TSN (b.l.(b)) lahko razberemo, da je tovrstna celica kovinsko oklopljena z zračno izolacijo in s pregrajenim predelkom enojnih zbiralnic. Zaradi združitve stikalnega in kablskega prostora je možna velika opremljenost, kljub majhnim dimenzijam celice (npr. ozemljilno stikalo, tokovni merilni transformatorji, prenapetostni odvodniki in napetostni merilni transformatorji). Na kapacitivni delilnik v ozemljilnem ločilniku je priključen elektronski indikator visoke napetosti, ki ima vgrajen sistem za preverjanje delovanja in signalni kontakt za daljinski prenos napetostnega stanja. Omogočen je priključek tako klasičnih oljnih kot tudi plastičnih kablov s konvencionalnimi kablenskimi končniki ali kovinsko oklopljenimi kablenskimi vtičnimi sistemi. Sistem modulov omogoča želeno izbiro stikalnih polj po dani enopolni shemi in naknadno povečanje pripadajočih polj (etapna gradnja). Celica vsebuje minimalni delež trdo izoliranih materialov iz samougasnih duroplastičnih mas. Vse potrebne stikalne manipulacije je mogoče opraviti pri zaprtih vratih. Napačne manipulacije so izključene zaradi vgrajenih mehanskih in po potrebi tudi električnih blokad. Mehanske blokade so izvedene tako, da jih ni mogoče prisiliti in deformirati, saj ustrezne zapore onemogočajo natikanje ročice in s tem uporabe prevelikih vrtilnih momentov. Zaradi trajno vgrajene pregrade zbiralničnega prostora ni potrebna dodatna zaščitna izolirna plošča. Zaradi tesno zaprtega zbiralničnega prostora je varno delo na kabljih in merilnih transformatorjih tudi pri normalnem delovanju zbiralnic in sosednjih stikalnih polj. Tudi pri maksimalni opremljenosti je omogočen dober pristop h kablškemu

priključku in posameznim aparatom ter lahkotno spajanje energetskih kablov in izvajanje rutinskih preizkusov opreme. Prostorna omarica za sekundarno opremo omogoča pregledno namestitvev le-te in dobro dostopnost pri testiranju opreme.

### 3.5 TEHNIČNI PODATKI SHUNT ODKLOPNIKA

V tabeli 5 so osnovni tehnični podatki shunt odklopnika, ki jih je določil proizvajalec.

Nazivna napetost	24	kV
Nazivna vzdržna izmenična napetost omrežne frekvence	50	kV
Nazivna vzdržna atmosferska udarna napetost	125	kV
Nazivna frekvenca	50	Hz
Nazivni tok	630	A
Kratkotrajni zdržni tok	25	kA
Nazivni temenski zdržni tok	63	kA
Kratkostična izklopna zmogljivost	25	kA
Čas trajanja kratkega stika	3	s
Polovna razdalja	275	mm
Vklopni čas (vključno s časom reakcije sprožilnika)	45 ± 10 %	ms
Izklopni čas (vključno s časom reakcije sprožilnika)	45 ± 10 %	ms
Čas hoda glavnih kontaktov pri vklopu	15 ± 5 %	ms
Čas hoda glavnih kontaktov pri izklopu	15 ± 5 %	ms
Odboj glavnih kontaktov pri vklopu	< 1	ms
Obločni čas	6–14	ms
Čas mirovanja	150	ms
Stikalno zaporedje	C–0,15 s – O	
Najkrajši prožilni impulz sprožilnikov	20	ms
Napenjalni čas mehanizma pri električnem pogonu	< 5	s
Mehanska življenjska doba M2	10000	stik. ciklov/pol
Električna življenjska doba pri:		
- nazivnem toku	30000	stik.
- nazivni izklopni zmogljivosti	50	ciklov/pol
Moč sprožilnikov	160	W (VA)
Moč motorja	265	W (VA)
Napetost sprožilnikov in motorja	110	V (DC)
Varistor	275/350 V AC/DC, 12 kA	

Tabela 5: Tehnični podatki shunt odklopnika  
(Vir: TSN, 2005)

## 4 ANALIZA DELOVANJA SHUNT ODKLOPNIKA V RTP ILIRSKA BISTRICA

RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica se napaja po enosistemskem daljnovodu 110 kV Divača–Pivka–Ilirska Bistrica, medtem ko kot rezervno napajanje služi daljnovod 110 kV Ilirska Bistrica–Matulji (Hrvaška). Stikališče 110 kV je GIS-izvedbe, z dvosistemskimi zbiralnicami in sedmimi polji. Ostale podatke lahko razberemo iz enopolne sheme stikališča 110 kV, ki je v prilogi 1. Stikališče 20 kV obsega tri nize oklopljenih izvlekljivih celic z enojnimi zbiralnicami in shunt celico.

ELEKTRO PRIMORSKA d. d., nadzorništvo Ilirska Bistrica		
Leto		2020
Število končnih odjemalcev	VN	0
	SN	1
	NN	6166
	Skupaj	6167
Dolžina [km]	VN	0
	SN	196,4
	NN	224,9
	Skupaj	421,3
Lastnosti obratovanja omrežja	Direktna ali neposredna ozemljitev [%]	0
	Upor (ozemljitev prek maloohmskega upora) [%]	100
	Resonančna ozemljitev (Petersenova dušilka) [%]	0
	Izolirano oziroma neozemljeno zvezdišče [%]	0
	Skupaj [100 %]	100
	Delež kablanskega podzemnega omrežja [%]	14
	Delež kablanskega oplaščenega nadzemnega omrežja [%]	1
	Delež kablanskega omrežja z golimi oziroma polizoliranimi vodniki [%]	85
Skupaj [100 %]	100	
Meteorološki podatki	Povprečna gostota strel [udarov/km <sup>2</sup> /leto]	4,8

*Tabela 6: Splošni podatki  
(Lastni vir)*

V RTP-ju sta dva distribucijska transformatorja prestave 110/20 kV moči 31,5 MVA (TR 1 in TR 2). Vezava transformatorjev je Yy6 (D5), zvezdišče primarnega navitja je neposredno ozemljeno, medtem ko je zvezdišče sekundarnega navitja ozemljeno prek upora  $80 \Omega$ , 150 A. V normalnem obratovalnem stanju sta priklopljena oba transformatorja, ki obratujeta ločeno na zbiralnicah 20 kV, in sicer tako, da TR 1 napaja zbiralnice nizov A in C, ki z izjemo enega daljnovoda napaja samo kablovode, medtem ko TR 2 napaja zbiralnice niza B, kjer so izvodi samo daljnovodi.

Kot je razvidno iz enopolne sheme stikališča 20 kV, ki je v prilogi 2, je na zbiralke B-niza prek izvodne celice JB12 – Shunt izvod priključen tudi Shunt v celici JE01. Ozemljitvena točka shunt stikala je neposredno povezana z ozemljitveno točko ozemljitvenega upora z enožilnim kablom tipa XHP 48 A 150 mm<sup>2</sup>.

Shunt odklopnik je vgrajen z namenom zmanjšanja izpadov zaradi prehodnih zemeljskih stikov v omrežju 20 kV. V RTP Ilirska Bistrica je obratovanje s shunt odklopnikom, priklopljenim na B-niz, smiselno, ker je velik del mreže prostozračne in se zaradi tega pojavlja večje število prehodnih zemeljskih stikov kot na nizih A in C, kjer so izvodi večinoma kablovodi. Poleg tega je zvezdišče transformatorja TR2, ki napaja B-niz, ozemljeno prek nizkoohmskega upora in je na niz priključeno veliko število odjemalcev, kar zahteva še toliko večjo pozornost pri zagotavljanju zanesljive oskrbe z električno energijo.

V tabelah 7, 8 in 9 so podane dolžine posameznih izvodov in število priključenih odjemalcev.

<b>NIZ A</b>		
<b>IZVOD</b>	<b>DOLŽINA</b> [km]	<b>ODJEMALCI</b> [št.]
JA06 DV PLAMA	11,5	95
JA07 KB MESTO 2	12,6	788
JA08 KB MESTO 4	3,1	987
<b>SKUPAJ</b>	<b>27,2</b>	<b>1870</b>

*Tabela 7: Izvodi niza A*  
(Lastni vir)



<b>NIZ B</b>		
<b>IZVOD</b>	<b>DOLŽINA</b> [km]	<b>ODJEMALCI</b> [št.]
JB04 DV PREM	15,7	416
JB05 DV RUPA	22,2	478
JB06 DV PODGRAD	41,5	991
JB07 DV PREGARJE	25,9	507
JB08 DV ZABIČE	19,3	882
JB09 DV PIVKA	13,2	0
JB10 DV MATULJI	35,7	346
<b>SKUPAJ</b>	<b>173,5</b>	<b>3620</b>

*Tabela 8: Izvodi niza B*  
(Lastni vir)

<b>NIZ C</b>		
<b>IZVOD</b>	<b>DOLŽINA</b> [km]	<b>ODJEMALCI</b> [št.]
JC04 KB LESONIT 1	1,4	1
JC07 KB MESTO 1	3,4	331
JC08KB MESTO 3	4,1	339
JC10 KB LR ELES	0,085	1
<b>SKUPAJ</b>	<b>8,885</b>	<b>672</b>

*Tabela 9: Izvodi niza C*  
(Lastni vir)

#### 4.1 ČASOVNI POTEK DELOVANJA SHUNT ODKLOPNIKA

Zaščitni rele FPC 525 za vsako zabeleženo okvaro posname časovni diagram naslednjih veličin:

- faznih napetosti zbiralk 20 kV ( $U_{L1}$ ,  $U_{L2}$ ,  $U_{L3}$ ),
- faznih tokov na izvodih 20 kV ( $I_{L1}$ ,  $I_{L2}$ ,  $I_{L3}$ ),
- nične napetosti zbiral ( $U_0$ ) in
- tok skozi ozemljilni upor ( $I_0$ ).

Na sliki 12 je prikazan primer časovnega diagrama uspešnega delovanja shunt odklopnika na izvodu JB04 DV 20 kV Prem.

### **Normalno obratovalno stanje**

V normalnem obratovalnem stanju so fazne napetosti simetrične, tokovi predstavljajo trenutno porabo na izvodu, medtem ko sta nična napetost zbiralk in tok skozi ozemljilni upor zanemarljiva.

### **Okvara**

Ob nastanku enopolnega zemeljskega stika v fazi L3 se mora, glede na nastavitve zaščitnega releja<sup>1</sup>, napetost v okvarjeni fazi znižati za najmanj 5 %, medtem ko se v obeh zdravih fazah L1 in L2 napetost poveča za najmanj 5 % in obenem razlika vrednosti napetosti med obema zdravima fazama ne sme odstopati za več kot 10 % v trenutku okvare. Zaščitni rele zazna prisotnost toka  $I_0$ , ki teče prek upora in mesta okvare, ter izda komando vklopa shunt odklopniku v fazi L3, v kateri je bil izmerjen zemeljski stik.

### **Vklop shunt odklopnika**

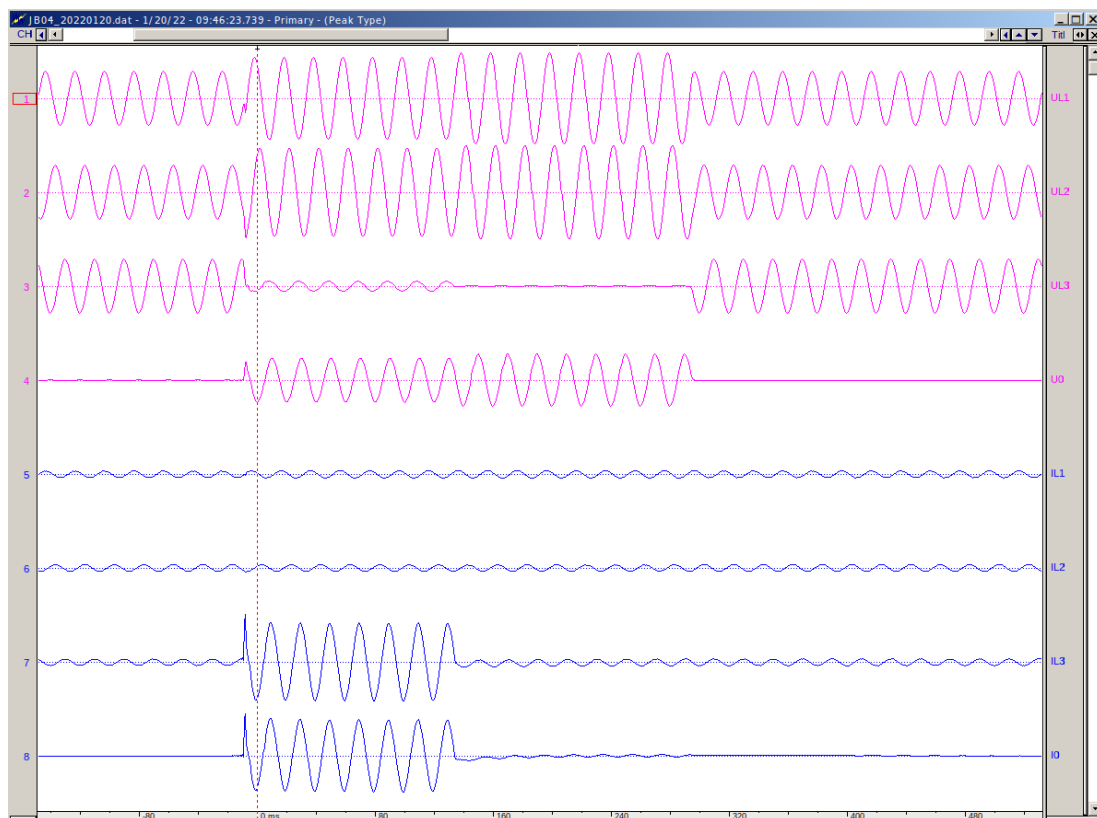
Shunt odklopnik okvarjeno fazo ozemlji za 150 ms. V tem času pade napetost L3 na nič, medtem ko se napetost v fazah L1 in L2 dvigne na medfazno napetost. Tok enofaznega zemeljskega stika, ki je prej tekel prek loka na mestu okvare, se sedaj zaključi prek shunt odklopnika, kar lahko razberemo s slike 13. Po preteku časovne zakasnitve zaščitni rele izda izklopno komando in razzemlji okvarjeno fazo.

### **Konec dogodka**

V času, ko je faza v okvari ozemljena, oblok na mestu zemeljskega stika ugasne, fazne napetosti in tokovi so ponovno v simetriji in sistem normalno deluje dalje, ne da bi odjemalci občutili okvaro na omrežju.

---

*1 Vsi pogoji za delovanje shunt odklopnika v RTP 110/20 kV II. Bistrica, vključno z vrednostmi preizkusa zaščit, so v prilogi 3: Zapisnik o preizkušanju tokovne zaščitne celice JE01 shunt.*

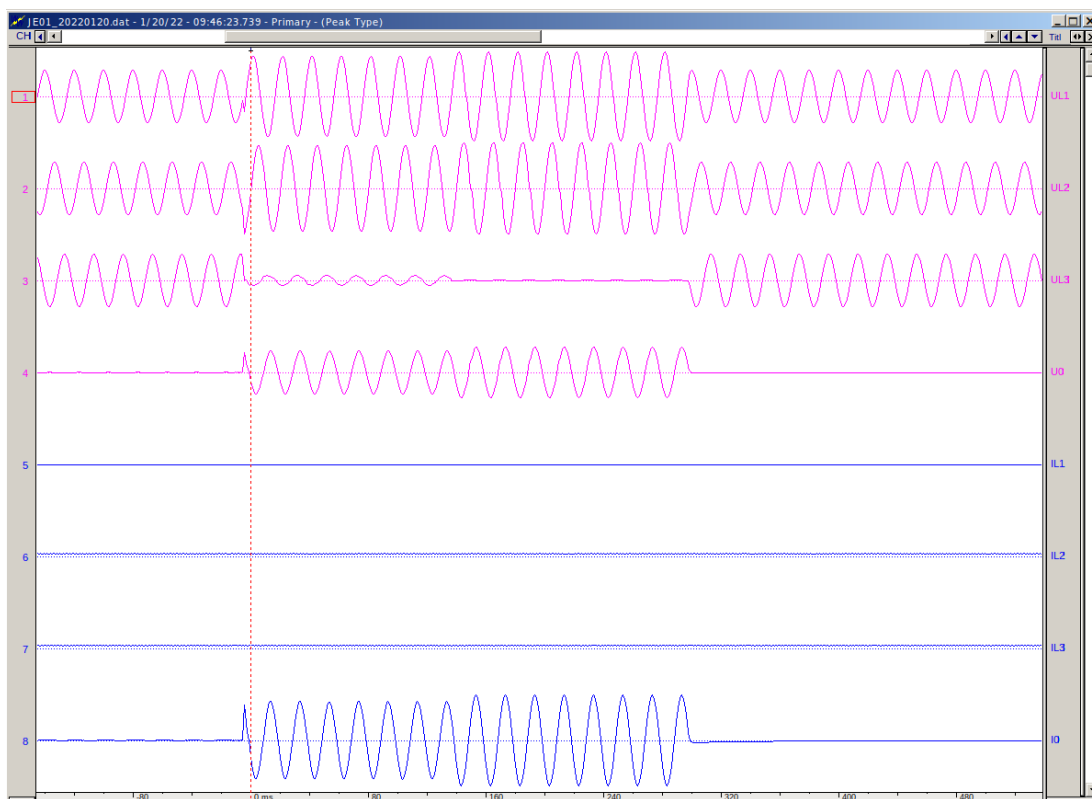


Slika 12: Oscilogram izvoda DV Prem  
(Lastni vir)

	Norm. obr. stanje	Okvara	Vklop shunt L3	Konec
t [ms]	--> 0	0–150	150–300	300 -->
$U_{L1}$ [kV]	11,88	18,14	20,11	11,83
$U_{L2}$ [kV]	11,86	19,49	20,66	11,85
$U_{L3}$ [kV]	11,83	2,21	0,22	11,83
$U_0$ [kV]	0,01	9,54	11,32	0,03
$I_{L1}$ [A]	12,85	14,16	14,33	13,32
$I_{L2}$ [A]	12,56	12,67	12,07	13,41
$I_{L3}$ [A]	12,92	148,68	14,246	13,35
$I_0$ [A]	0,08	137,663	4,82	0,06

Tabela 10: Potek RMS-faznih napetosti in tokov ob aktiviranju shunta – celica JB04  
(Lastni vir)

Na sliki 13 je prikazan časovni diagram delovanja shunta v celici JE01 Shunt.



Slika 13: Oscilogram shunta  
(Lastni vir)

	Norm. obr. stanje	Okvara	Vklop shunt L3	Konec
t [ms]	--> 0	0–150	150–300	300 -->
U <sub>L1</sub> [kV]	11,84	18,13	20,11	11,83
U <sub>L2</sub> [kV]	11,86	19,5	20,67	11,85
U <sub>L3</sub> [kV]	11,83	2,22	0,22	11,82
U <sub>0</sub> [kV]	0,01	9,54	11,32	0,03
I <sub>0</sub> [A]	0,07	132,83	157,19	0,23

Tabela 11: Potek RMS-faznih napetosti ob aktiviranju shunta – celica JE01  
(Lastni vir)

Z analizo dogodka delovanja shunt odklopnika smo potrdili, da je nizkoohmski ozemljitveni upor obremenjen z nazivnim tokom ves čas trajanja okvare in delovanja shunt odklopnika (300 ms). Napetost v zdravih fazah se dvigne približno na medfazno vrednost in je nižja od najvišje obratovalne napetosti, kar pomeni, da izolacija omrežja z uporabo shunt odklopnika ni ogrožena.

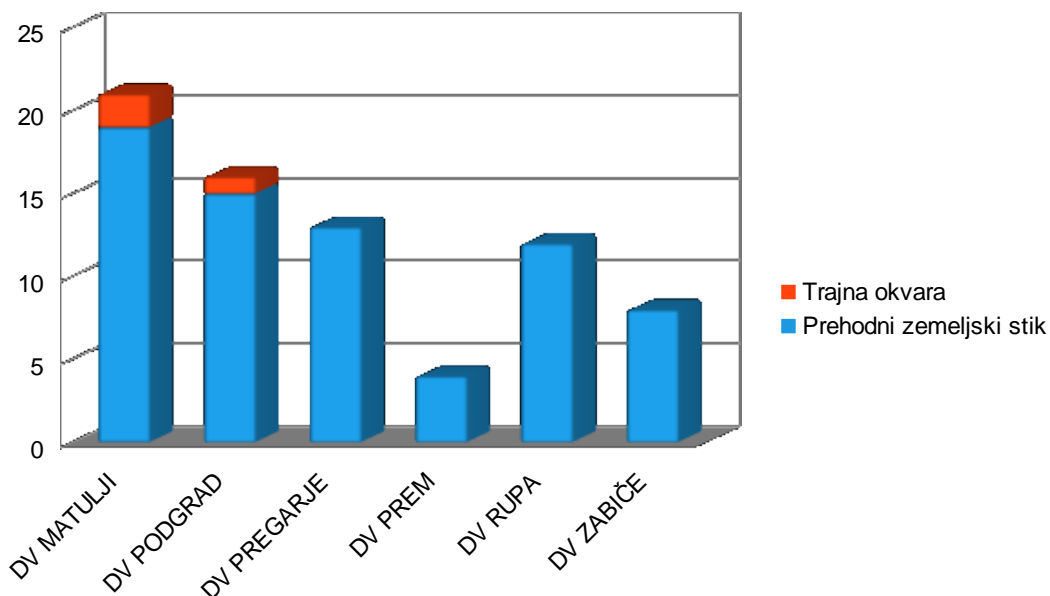
## 4.2 ANALIZA ZEMELJSKIH STIKOV

V obdobju od 1. 1. 2020 do 31. 12. 2020 je bilo na izvodih 20 kV, priključenih na TR 2, zaznanih 74 zemeljskih stikov, od tega jih je bilo 71 prehodnih, tri okvare so bile trajne. V tabeli 12 so prikazani prehodni in trajni zemeljski stiki po posameznih izvodih.

IZVOD	Prehodni zemeljski stik	Trajna okvara	Skupaj
DV MATULJI	19	2	21
DV PODGRAD	15	1	16
DV PREGARJE	13	0	13
DV PREM	4	0	4
DV RUPA	12	0	12
DV ZABIČE	8	0	8

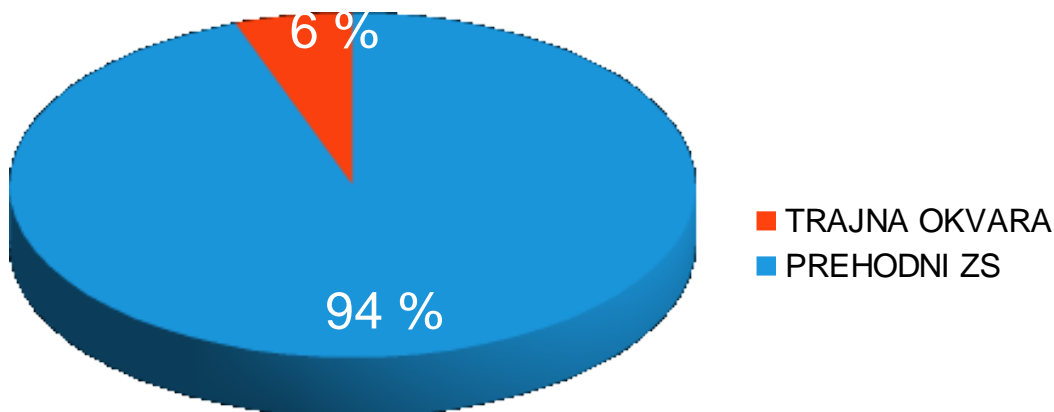
Tabela 12: Prehodni in trajni zemeljski stiki – niz B  
(Lastni vir)

Za lažjo primerjavo smo na sliki 14 prikazali število delovanj zemeljskostične zaščite po posameznih izvodih.



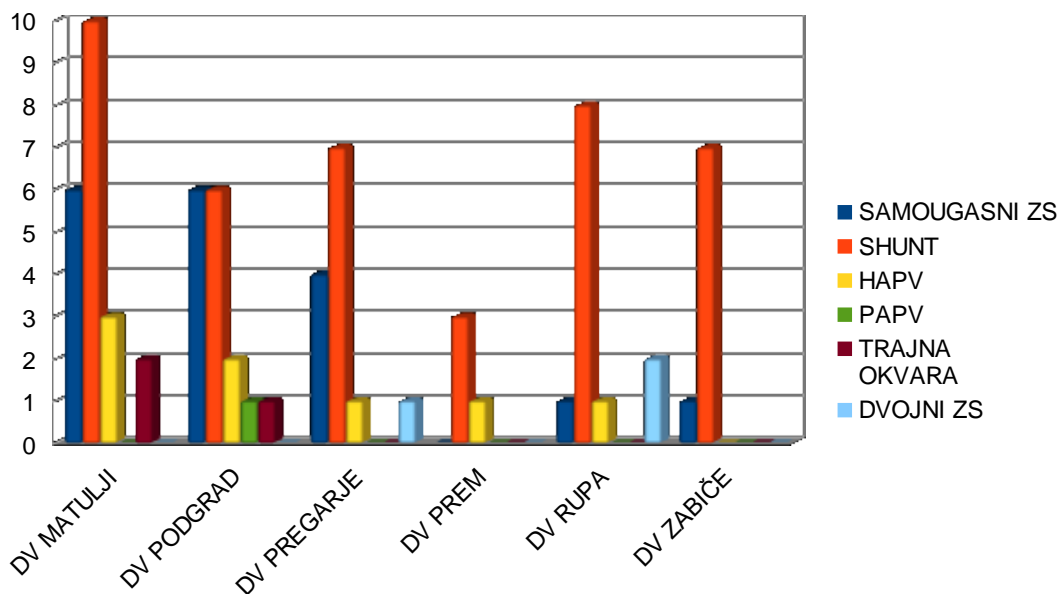
Slika 14: Zemeljski stiki po izvodih – niz B  
(Lastni vir)

Na sliki 15 je prikazano razmerje med trajnimi in prehodnimi zemeljskimi stiki vseh izvodov niza B, kjer vidimo, da je velika večina zemeljskih stikov prehodnega značaja.



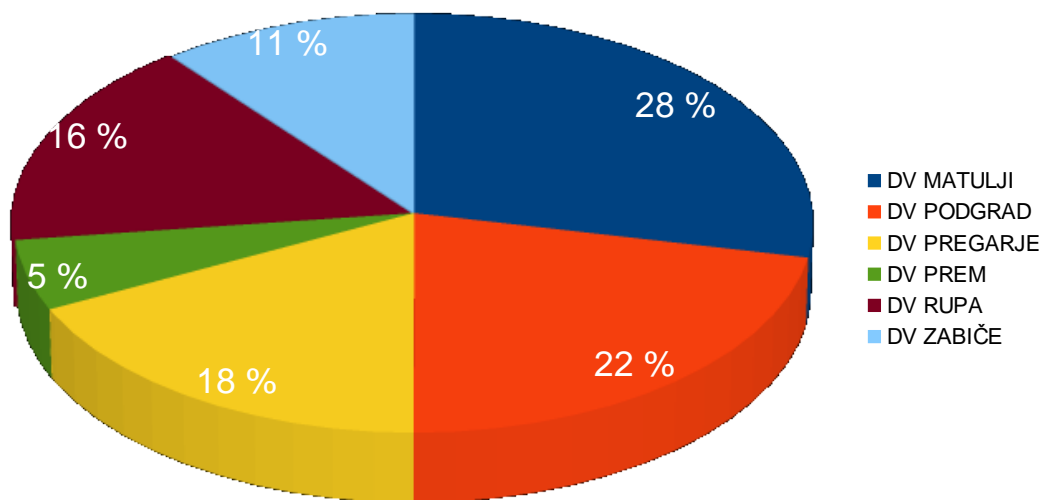
Slika 15: Razmerje med prehodnimi in trajnimi zemeljskimi stiki  
(Lastni vir)

V nadaljevanju smo analizirali prehodne zemeljske stike in jih razvrstili po izvodih glede na zaščito, ki je delovala. Najučinkovitejši je bil shunt odklopnik, ki je uspešno odpravil 41 zemeljskih stikov, hitri avtomatski ponovni vklop jih je odpravil osem, počasni avtomatski ponovni vklop je bil uspešen enkrat, v dveh primerih je ob delovanju shunt odklopnika zemeljski stik prešel v dvojni zemeljski stik (do takšnega zaključka smo prišli na temelju zaporedja dogodkov ob dvojnih zemeljskih stikih) in se je aktivirala kratkostična zaščita. V osemnajstih primerih je prišlo do zemeljskega stika, ki ga je zaščita sicer zaznala, vendar je prišlo do samougasnitve pred aktiviranjem odklopnika. Na sliki 16 so prikazani vsi zemeljski stiki, ki so se v obravnavanem obdobju zgodili na posameznih izvodih.



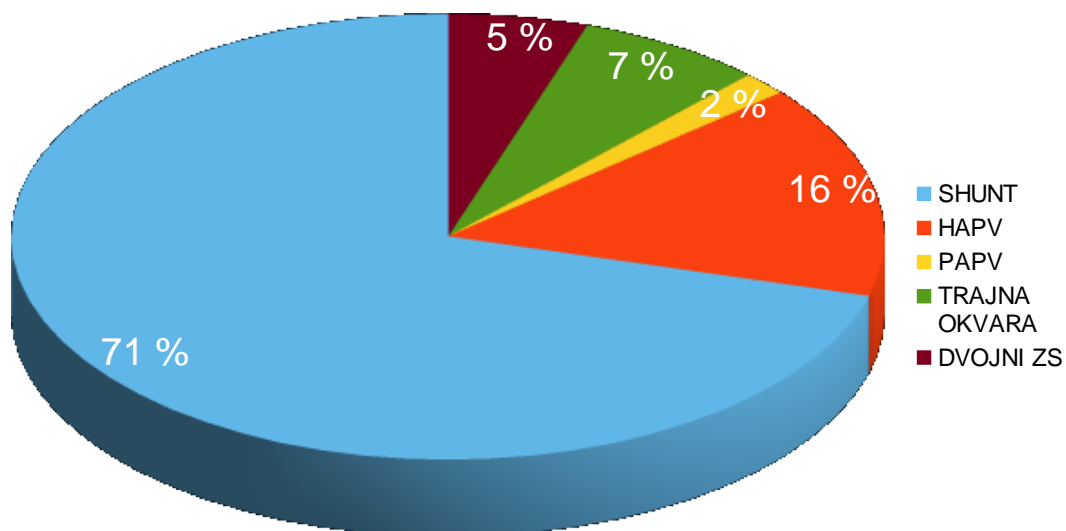
Slika 16: Število zemeljskih stikov po izvodih (Lastni vir)

Na sliki 17 je prikazan vpliv posameznih izvodov na skupno število zemeljskih stikov. Izstopata predvsem izvoda DV Matulji in DV Podgrad, na katerih se je zgodilo 50 % vseh zemeljskih stikov.



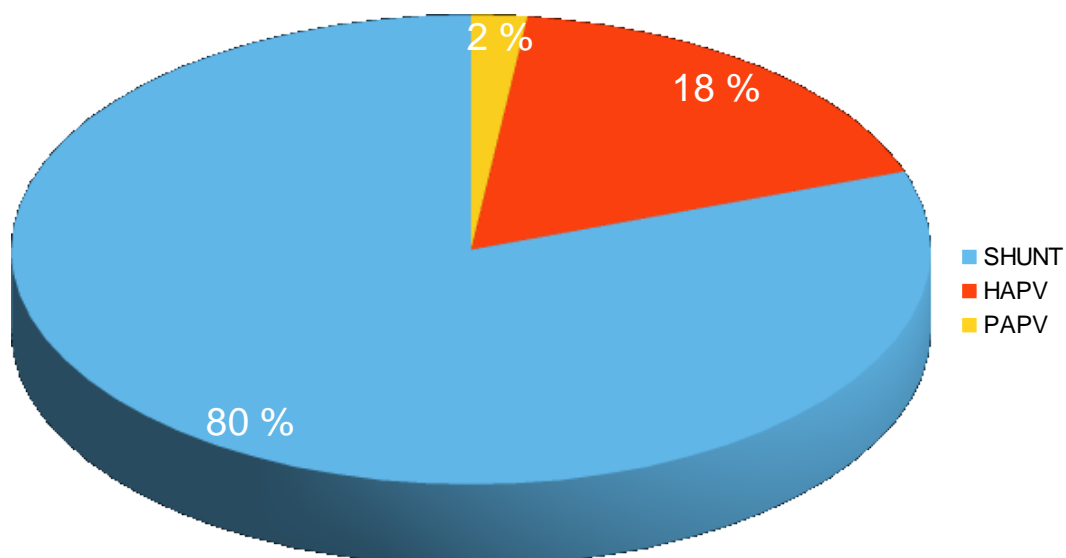
Slika 17: Delež zemeljskih stikov po izvodih (Lastni vir)

Za lažjo predstavo smo pripravili še sliko 18, na kateri je prikazano delovanje zaščit ob zemeljskih stikih na vseh izvodih.



Slika 18: Delovanje zaščit ob zemeljskih stikih  
(Lastni vir)

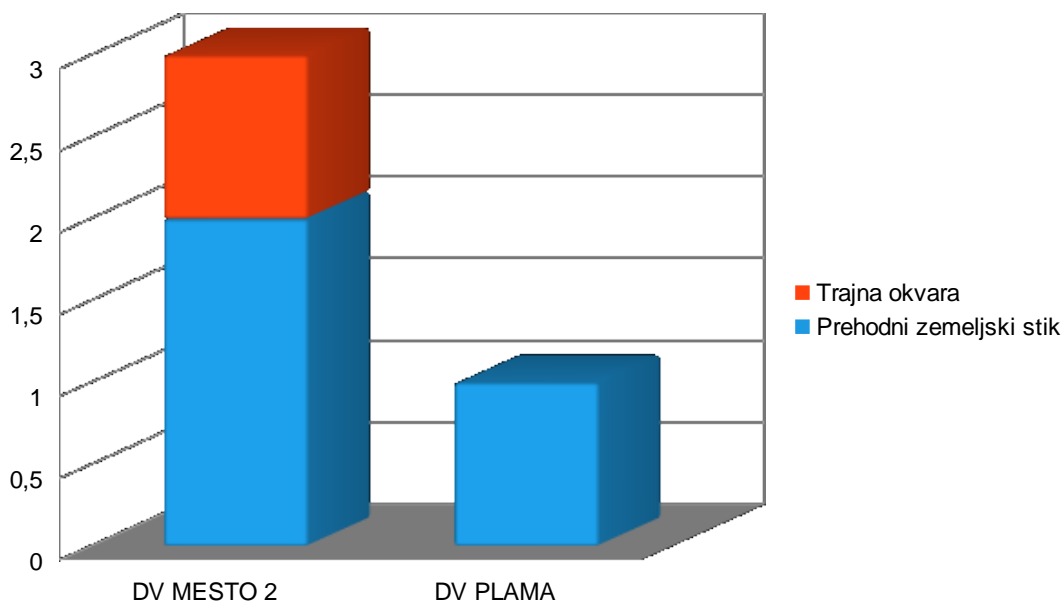
Na sliki 19 je prikazano še delovanje zaščit ob prehodnih zemeljskih stikih. Učinkovitost delovanja shunt odklopnika je 80-odstotna, kar je skladno s pričakovanji.



Slika 19: Uspešno odpravljeni prehodni zemeljski stiki v nizu B  
(Lastni vir)



Za potrditev smiselnosti priključitve shunt odklopnika na niz B smo analizirali zemeljske stike tudi na nizu A in C. Na sliki 20 so prikazani izvodi niza A, ki se napaja iz TR1, na katerih je delovala zemeljskostična zaščita v letu 2020. Skupno so bili takšni dogodki štirje, kar pomeni, da je konfiguracija omrežja 20 kV z vključitvijo shunt odklopnika na zbiralke B-niza ustrezna. Na izvodih, priključenih na niz C, v tem obdobju ni bilo nobenega zemeljskega stika.



Slika 20: Zemeljski stiki po izvodih – niz A  
(Lastni vir)

### 4.3 VPLIV SHUNT ODKLOPNIKA NA KAZALNIKE ZANESLJIVOSTI

V tabeli 13 so prikazane skupne vrednosti za vse tipe nenačrtovanih prekinitev (lastni, tuji in višja sila) glede na kazalnika SAIDI in SAIFI po izvodih. Vidimo, da vsi izvodi izpolnjujejo minimalne standarde kakovosti, ki določajo, da je lahko na podeželskem izvodu za 450 minut oziroma šest dolgotrajnih prekinitev in na mestnem za 150 minut oziroma štiri dolgotrajne prekinitve. Vsi podatki se nanašajo na leto 2020.

Izvod	Vrsta izvoda	Št. odjemalcev	Dolžina [km]	SAIFI [prekinitev/leto]	SAIDI [min/leto]
DV MATULJI	Podeželski	346	35,7	1,25	327,4
DV PLAMA	Podeželski	95	11,5	0,00	0,0
DV PODGRAD	Podeželski	991	41,5	0,99	65,9
DV PREGARJE	Podeželski	507	25,9	1,67	192,6
DV PREM	Podeželski	416	15,7	1,00	85,0
DV RUPA	Podeželski	478	22,2	1,63	208,3
DV ZABIČE	Podeželski	884	19,3	0,32	23,5
KB LESONIT1	Mestni	1	1,4	0,00	0,0
KB MESTO 1	Mestni	331	3,4	0,00	0,0
KB MESTO 2	Mestni	789	12,6	1,70	68,2
KB MESTO 3	Mestni	341	4,1	0,00	0,0
KB MESTO 4	Mestni	988	3,1	0,00	0,0

Tabela 13: Dolgotrajne prekinitev po izvodih  
(Lastni vir)

V tabeli 14 je prikazano število vseh kratkotrajnih prekinitev po izvodih. Trajanje teh prekinitev je krajše ali enako trem minutam. Skladno z minimalnimi standardi kakovosti je določeno, da ima lahko podeželski tip izvoda 28 tovrstnih prekinitev in mestni tip 10 kratkotrajnih prekinitev. Tudi tu se vsi podatki nanašajo na leto 2020. Vidimo, da vsi izvodi dosegajo minimalne standarde kakovosti, ki dovoljujejo 28 kratkotrajnih prekinitev na leto za podeželski tip izvodov in 10 za mestni tip.

Izvod	Vrsta izvoda	Št. odjemalcev	Dolžina [km]	Št. vseh kratkotrajnih prekinitev [prek./leto]	MAIFI
DV MATULJI	Podeželski	346	35,7	18	11,77
DV PLAMA	Podeželski	95	11,5	5	5,05
DV PODGRAD	Podeželski	991	41,5	16	8,24
DV PREGARJE	Podeželski	507	25,9	2	1,50
DV PREM	Podeželski	416	15,7	3	3,00
DV RUPA	Podeželski	478	22,2	14	12,20

<b>DV ZABIČE</b>	Podeželski	884	19,3	4	1,94
<b>KB LESONIT1</b>	Mestni	1	1,4	0	0,00
<b>KB MESTO 1</b>	Mestni	331	3,4	0	0,00
<b>KB MESTO 2</b>	Mestni	789	12,6	4	1,49
<b>KB MESTO 3</b>	Mestni	341	4,1	0	0,00
<b>KB MESTO 4</b>	Mestni	988	3,1	0	0,00

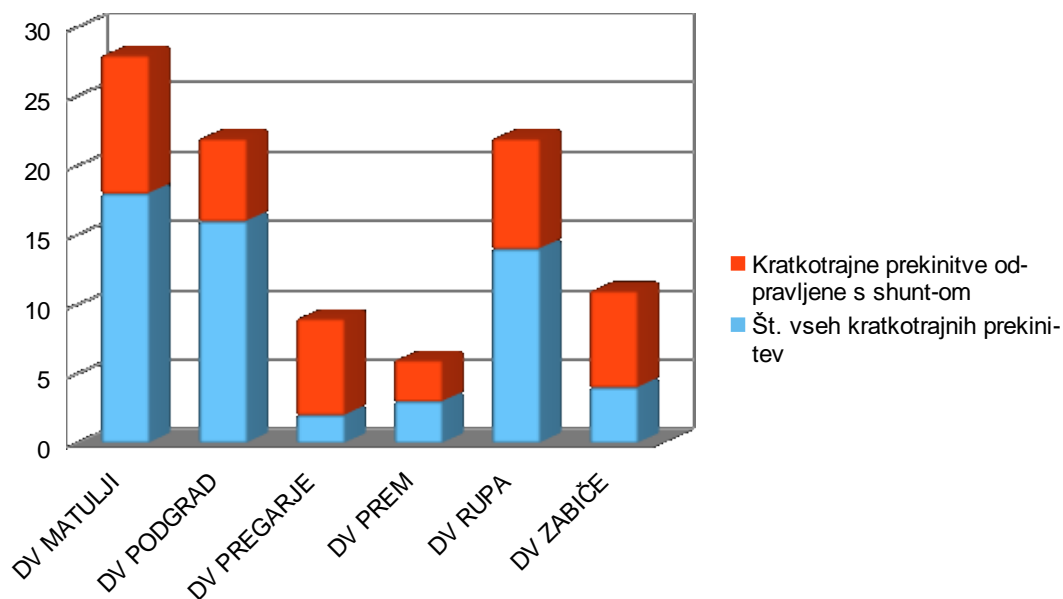
*Tabela 14: Kratkotrajne prekinitve po izvodih*  
(Lastni vir)

V tabeli 15 smo naredili simulacijo kazalnikov kratkotrajnih prekinitv na B-nizu, če ne bi bilo shunt odklopnika. Glede na to, da shunt deluje na samem začetku posameznega voda, smo predpostavili, da bi vsi odjemalci na posameznem vodu občutili kratkotrajno prekinitve napajanja, kar se odraža v povišanih vrednostih kazalnika MAIFI. Vidimo, da je izvod DV Matulji že na meji, ki zagotavlja minimalne standarde kakovosti.

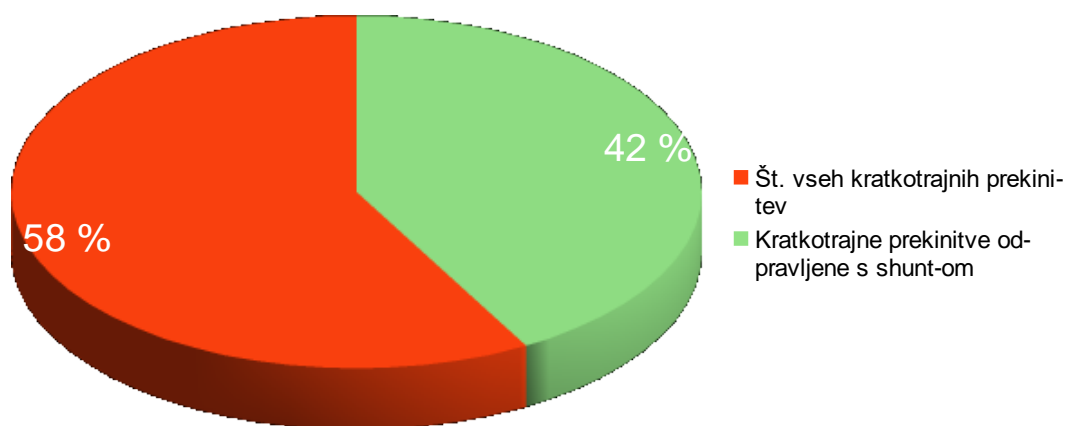
<b>Izvod</b>	<b>Vrsta izvoda</b>	<b>Št. odjemalcev</b>	<b>Dolžina [km]</b>	<b>Št. vseh kratkotrajnih prekinitv [prek./leto]</b>	<b>MAIFI</b>
<b>DV MATULJI</b>	Podeželski	346	35,7	28	21,77
<b>DV PODGRAD</b>	Podeželski	991	41,5	22	14,24
<b>DV PREGARJE</b>	Podeželski	507	25,9	9	8,50
<b>DV PREM</b>	Podeželski	416	15,7	6	6,00
<b>DV RUPA</b>	Podeželski	478	22,2	22	20,20
<b>DV ZABIČE</b>	Podeželski	884	19,3	11	8,94

*Tabela 15: Kratkotrajne prekinitve brez shunt odklopnika*  
(Lastni vir)

Za lažjo predstavo smo na slikah 21 in 22 prikazali, kakšen delež kratkotrajnih prekinitv je shunt odklopnik preprečil.



Slika 21: Primerjava prekinitiv in izločenih prekinitiv po izvodih (Lastni vir)



Slika 22: Kratkotrajne prekinitve in izločene prekinitve (Lastni vir)

## 5 ZAKLJUČEK

Zagotavljanje kakovostne in zanesljive oskrbe z električno energijo je večno poslanstvo elektrodistribucijskih podjetij. Z inovativnimi rešitvami in uvajanjem novih tehnologij se izpolnjujejo pričakovanja uporabnikov in zahteve regulatornega organa na področju oskrbe z električno energijo. Za doseganje zastavljenih ciljev se uporablja tudi shunt odklopnik za preprečevanje kratkotrajnih prekinitev pri prehodnih enopolnih zemeljskih stikih na nadzemnih SN-omrežjih.

Z analizo zemeljskih stikov smo dokazali, da na prvi pogled neobičajen način delovanja zaščite, ko namenoma ustvarimo zemeljski stik na zbiralkah v RTP-ju, učinkovito odpravlja prehodne enopolne zemeljske stike. V obravnavanem obdobju je shunt odklopnik v RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica odpravil 80 % prehodnih zemeljskih stikov, ki bi se sicer pokazali kot kratkotrajna prekinitev električne energije uporabnikom omrežja. S tem smo tudi izboljšali kazalnike neprekinjenosti in zadostili vsem standardom neprekinjenosti delovanja.

Prednost shunt odklopnika je v tem, da ima krmiljen vsak pol posebej, v primerjavi z drugimi SN-odklopniki, ki praviloma izklaplajo tripolno. Tako je napetost na zdravih fazah prisotna ves čas in uporabniki ne zaznajo okvare v omrežju kot pri posredovanju APV-ja, ko je za kratek čas prekinjena dobava električne energije. Vgradnja shunt odklopnika je možna tam, kjer lahko zagotovimo primerne pogoje za učinkovito delovanje, saj ga lahko vključimo samo v omrežje, kjer je zvezdišče transformatorja ozemljeno prek maloohmskega upora in napaja pretežno nadzemne vode.

Iz raziskave lahko razberemo tudi, na katerih izvodih imamo večje število prehodnih okvar, in takim izvodom namenimo več pozornosti pri rednem vzdrževanju. Priporočata se redno čiščenjem tras daljnovodov in namestitvev zaščit proti pticam, kjer je to potrebno. Iz analize časovnega diagrama prehodnega zemeljskega stika je tudi razvidno, da delovanje shunt odklopnika ne povzroča prenapetosti, ki so višje od najvišjih dovoljenih obratovalnih napetosti, in tako ne ogroža izolacije vgrajenih elementov v omrežju.

Ker se konfiguracija omrežja s časom spreminja in so zahteve po neprekinjenosti vedno strožje, je v prihodnje vredno razmisliti o uvedbi resonančnih ozemljitev nevtralne točke na transformatorjih, ki napajajo podeželske izvode.

## 6 LITERATURA IN VIRI

Agencija za energijo. Prenosno omrežje (2017). Pridobljeno 14.1.2022 z naslova <https://www.agen-rs.si/izvajalci/elektrika/prenosno-omrezje>

Agencija za energijo. Distribucijsko omrežje (2021). Pridobljeno 14.1.2022 z naslova <https://www.agen-rs.si/izvajalci/elektrika/distribucijsko-omrezje>

Bizjak, G. in Žunko, P. (2002). *Simulacijski model srednjenapetostnega shunt odklopnika*.

Blažič, B. (2013). *Obratovanje distribucijskega omrežja*.

Blažič, B. In Papič, I. (2019). *Modeliranje elementov elektroenergetskega omrežja*. Ljubljana: Založba FE.

Golob, U. (2020). *Analiza statističnih kazalnikov glede izpadov posameznih izvodov na območju Elektro Primorske za leto 2020*

Elektro Primorska d. d.. Distribucijsko omrežje (2021). Pridobljeno 4.1.2022 z naslova <https://elektro-primorska.si/wp-content/uploads/2021/11/2021-07-EP-zlozenka-SLO-WEB.pdf>

Elektro Primorska d. d.. O družbi (bl). Pridobljeno 4.1.2022 z naslova <https://elektro-primorska.si/o-druzbi/poslanstvo-in-vizija/>.

ELES d. o. o.. Slovensko prenosno omrežje (2016). Pridobljeno 14.1.2022 z naslova <https://www.eles.si/slovensko-prenosno-omrezje>

Hrobat, P. In Isakovič, R. (2008). *Primerjava izvedbe ozemljitvenega sistema v transformatorski postaji pri različnih načinih ozemljitve nevtralne točke transformatorja*.

Interno gradivo podjetja Elektro Primorska d. d. (2016). *Obratovalna navodila za RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica*

Majcen, A. (2020). *Shunt stikalo*. Ljubljana: ICES

Medved, A. (1999). *Vgradnja shunt odklopnika v RTP 110/20 kV Rogaška Slatina*

Razpet, A. (2001). *Elektroenergetski sistemi*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

SODO d. o. o. (2013). *Minimalni standardi kakovosti*. Pridobljeno 15.1.2022 z naslova  
<https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/5e0/1c3/400/5e01c34007b8f428164187.pdf>

TSN (b. l.(a)). *Shunt stikalo z vakuumskimi komorami – VOSH Navodila za obratovanje in vzdrževanje*

TSN (b.l.(b)). *Sredjenapetostna kovinsko oklopljena celica tip CR 2 V*

TSN, (2005). *Vakuumski odklopnik shunt - VOSH*

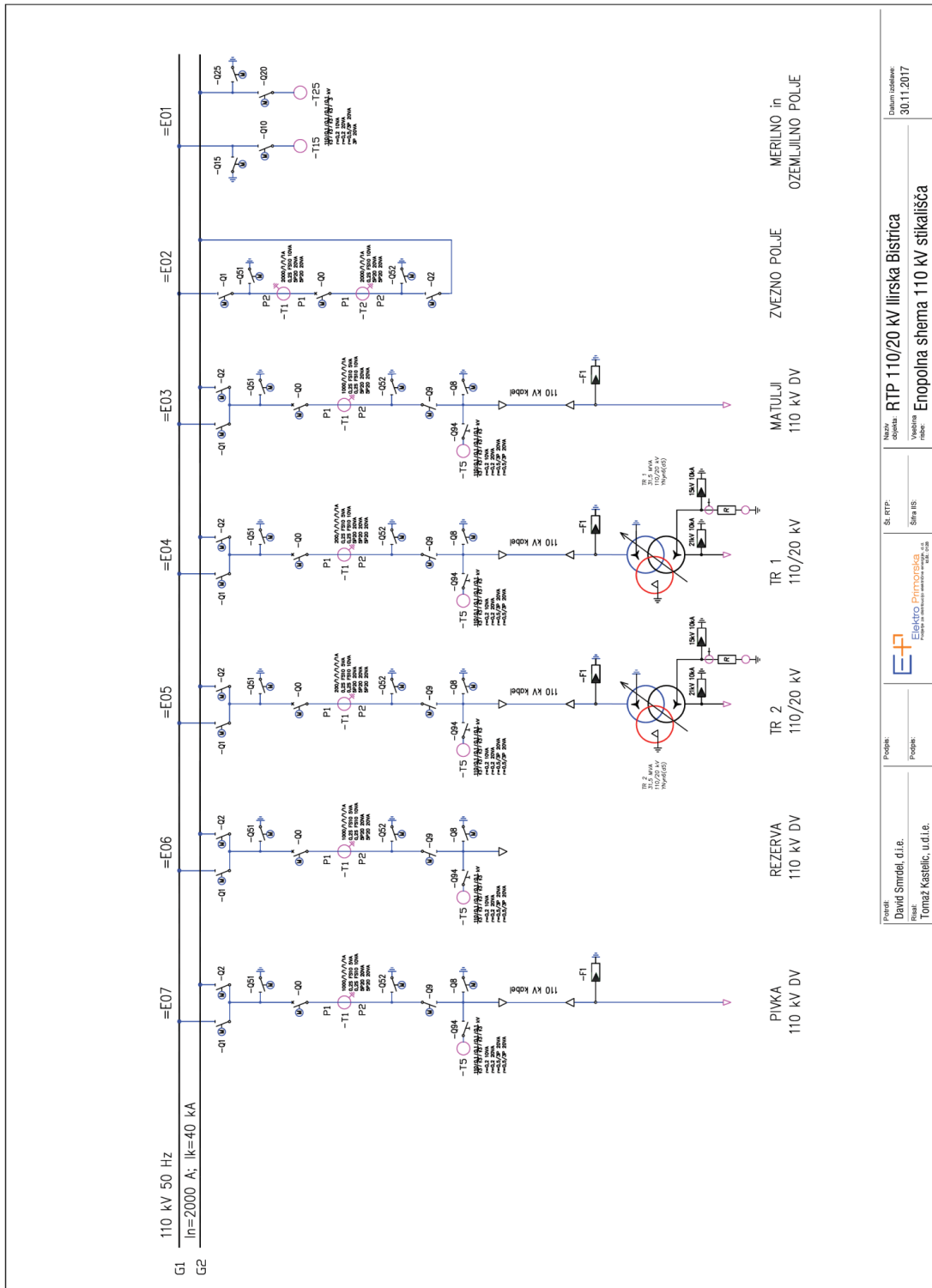
Vižintin, M. in Lovrenčič, V. (2001). *Izkušnje in statistika delovanja vgrajenega shunt stikala v RTP 110/20 kV Rogaška Slatina*

Žunko, P. et al. (2007). *Analiza ozemljitvenih razmer v razdelilnem omrežju Slovenije*.

## **PRILOGE**

- Priloga 1: Enopolna shema 110 kV stikališča RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica (Vir: Elektro Primorska, 2016)
- Priloga 2: Enopolna shema 20 kV stikališča RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica (Vir: Elektro Primorska, 2016)
- Priloga 3: Zapisnik o preizkušanju tokovne zaščite celice JE01 shunt v RTP 110/20 kV Ilirska Bistrica (Vir: Elektro Primorska, 2021)







ZAPISNIK							Datum:	02.06.2021					
ELEKTRO PRIMORSKA d.d.			O PREIZKUŠANJU TOKOVNE				Preizkusil:	Trpin Sandi, i.e.					
Nova Gorica, Erjavčeva 22			ZAŠČITE ŠT.		57/21-Se		Preizkusil:	Bobek Viko, u.d.i.e.					
							Prisoten:	Štemberger Aleš					
Stikališče			RTP IL. BISTRICA 110/20 kV				TRANSFORMATOR - GENERATOR						
Naprava:			Shunt odklopnik				Proizv.:	Tip :					
Celica št.		JE 01	Vrsta zaščite:		prim - sek.	sek.	Moč (kVA):		Stik :				
Odklopnik		Proiz. :	TSN		Tip : VOSH506/24-275		Tok ( A ) :		Uk (%) :				
2035/08		N.tok (A):	630		Odkl.kratk.tok: 20 kA		Napetost ( kV ) :		cos fi :				
Tokovni transf.		Proizv. :	RS ISILSEC		Tip : CB 232-A		DALJNOVOD - KABLOVOD						
		Prest. (A):	150/5		Vezava : 150/5 A		Snov-presek:						
		Pretok. št.:	5P20		TT vmesni :		I term. ( A ) :		Ik ( A ) :				
ZEMELJSKOST.	ČLEN	Proizv. :	ISKRA SYSEN		Tip : FPC 525		Št.komb. :		1251 U		In ( A ) :	5	
		Obm.nast.:	0,1 - 1,2		Up ( V ) :		Časovni člen						
		Tip in št. faznega člena		R	S	T	Tip :	FPC 525		Št. :		1251 U	
								Območje nastavitve ( s ) :		0 - 20			
ZEMELJSKOST.	ČLEN	Proizv. :			Tip :		Št.komb. :						
		Tip in št. faznega člena		R	S	T	Tip :	In ( A ) :					
								Območje nastavitve ( A ) :					
ZEMELJSKOST.	ČLEN	Proizv. :			Tip :		Št.komb. :		In ( A ) :				
		Obm.nast.:			Up ( V ) :		Časovni člen						
		Tip in št. faznega člena		R	S	T	Tip :	Št. :					
								Območje nastavitve ( s ) :					
PREIZKUS													
Člen	Faza	Nast. releja x In oz.(A)	Pritegnilni tok ( A )	Popustilni tok ( A )	Faktor popust.	Nast.čas. ( s )	Kontr. čas. pri toku (A)	Čas delovanja ( s )					
								t 1	t 2	t 3	t sred.		
ZEMELJSK.	R	0,10 x In	15	14	1,07	0	17	0,11	0,11	0,10	0,11		
	S	0,10 x In	15	14	1,07	0	17	0,11	0,11	0,10	0,11		
	T	0,10 x In	15	14	1,07	0	17	0,13	0,10	0,10	0,11		
Pogoji delovanja SHUNT odklopnika:													
1. Zemeljskostični tok > 15 A.						5. Vključeno stikalo JB12 Shunt izvod							
2. Padec napetosti v okvarjeni fazi > 5%													
3. Razlika napetosti v ostalih fazah < 10 %													
4. Časovna blokada med dvema dogodkoma 40 s.													
Izklopni impulz releja deloval na:						vklop posameznega pola: da							
svetl. tablo:			zv. signal:			sign.polož. odklopnika : da			daljinska sign. :				
Postajni računalnik - tok:			Bu-signal:			KT-signal :							
LDU - tok:			Bu-izklop:			KT-izklop :							
OPOMBA: Zaščita deluje pravilno. Meritve opravljene z instrumentom OMICRON tip CMC 353, ser. št. DL482W.													