



ICES  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

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

**OBNOVA OBSTOJEČEGA DV 20 KV V  
DISTRIBUCIJSKEM PODJETJU ELEKTRO  
MARIBOR, D. D.**

Mentor: mag. Georgi Zlatarev

Kandidat: Dejan Kolednik

Lektorica: Petra Letonja, mag. prof. slov. jez. in knj. in mag. prof. ped.

Meje, junij 2022

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju, mag. Georgiju Zlatarevu, univ. dipl. inž. el., za strokovno pomoč, usmerjanje in zavzetost.

Prav tako se zahvaljujem mentorju v podjetju, Damjanu Berghausu Majniku, univ. dipl. inž. el., za nasvete, sodelovanje in pomoč pri pridobivanju podatkov.

Zahvaljujem se tudi lektorici, Petri Letonja, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebno se zahvaljujem partnerki Poloni in moji družini za vso podporo, pomoč, potrpežljivost in spodbudo v času mojega študija. Hvala vam iz srca.

## IZJAVA

Študent Dejan Kolednik izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Georgija Zlatareva, 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 diplomskem delu je obravnavan SN nadzemni 20 kV izvod, ki se napaja iz RTP Ptuj, z namenom povečanja zanesljivosti napajanja odjemalcev v normalnem in rezervnem obratovalnem stanju, ob tem pa je potrebno zadostiti predpisom. Slednji je zaradi svoje konfiguracije in dolžine izpostavljen različnim dejavnikom, ki so razlog za izpade daljnovoda, saj precejšen del daljnovoda poteka ob in med gozdovi, ti pa so ob neurjih in sneženju najpogostejši dejavnik za okvaro ter posledično izpad daljnovoda.

Opisali smo sestavo omenjenega daljnovoda in samo zaščito, ki se vrši v RTP Ptuj na izvodu Dornava. Zaradi potrebe po povečanju obratovalne zanesljivosti in povečanju prenosne zmogljivosti se v čim večji meri poslužujemo kritične odseke 20 kV daljnovodov nadomestiti z gradnjo kablovodov, kjer nam teren to dopušča, ali pa se izvede rekonstrukcija obstoječega daljnovoda in se obstoječi goli vodniki nadomestijo z montažo SN univerzalnega kabla.

Cilj diplomske naloge je predstaviti primer rekonstrukcije srednjenapetostnega daljnovoda in s tem prikazati izboljšave samih faktorjev kakovosti oskrbe odjemalcev z električno energijo.

## **KLJUČNE BESEDE:**

- srednja napetost (SN)
- daljnovod (DV)
- nosilni drog
- obratovalna zanesljivost

## **ABSTRACT**

The thesis deals with an overhead 20 kV MV substation fed from RTP Ptuj in order to increase the reliability of the power supply to the customers in normal and standby operating conditions, while complying with the regulations. Due to its configuration and length, the latter is exposed to various factors that cause line failures, as a significant part of the line runs along and between forests, which are the most frequent factor for line failure during storms and snowfalls, and consequently for line outages.

The structure of the line and its protection carried out in RTP Ptuj and the Dornava substation is described. Due to the need to increase operational reliability and transmission capacity, critical sections of 20 kV transmission lines are replaced as much as possible by the construction of cable ducts, where the terrain allows, or by the reconstruction of existing transmission lines and the replacement of existing bare conductors by the installation of MV (medium voltage) universal cable.

The aim of the thesis is to present an example of a medium-voltage transmission line reconstruction and thus to show the improvements in the quality factors of the electricity supply to the customers.

### **KEYWORDS:**

- medium voltage (MV)
- transmission line (TL)
- transmission pole
- operational reliability

## 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	SN IZVOD DORNAVA.....	3
2.1	Splošno o SN izvodu Dornava .....	3
2.2	RTP Ptuj.....	3
2.2.1	Transformator 110/20 kV.....	4
2.2.2	SN stikališče in izvodna celica.....	4
2.2.3	Tokovni in napetostni transformatorji .....	5
2.2.4	Zaščita SN vodov .....	6
2.3	Obratovalno stanje izvoda.....	6
2.4	Ločilna mesta DV Dornava .....	8
3	SREDNJENAPETOSTNI DALJNOVOD .....	9
3.1	Splošno .....	9
3.2	Transformatorji SN/NN .....	9
3.3	Zankasti tip omrežja .....	9
3.4	Radialni tip omrežja.....	10
3.5	Oprema na SN vodu .....	11
3.5.1	Oporišča.....	11
3.5.2	Izolatorji.....	12
3.5.3	Vodniki.....	12
3.6	Izvedbe srednjenapetostnih daljnovodov .....	12
3.7	Klasični nadzemni daljnovodi .....	14
3.8	Varnostne višine in oddaljenosti.....	15
3.9	Energetski srednjenapetostni kabli .....	15
3.9.1	Označevanje kablov.....	15

4	ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI .....	17
4.1	Kazalci kakovosti .....	17
4.1.1	SAIDI .....	17
4.1.2	SAIFI.....	17
4.2	Minimalni standardi kakovosti.....	18
5	TEHNOLOŠKA ANALIZA.....	19
5.1	Primerjava kablov in nadzemnih vodov .....	19
5.1.1	Ohmska upornost .....	21
5.1.2	Induktivnost .....	22
5.1.3	Kapacitivnost.....	22
5.2	Polnilni toki .....	23
5.3	Obremenljivost nadzemnih vodov in kablov .....	24
5.3.1	Hlajenje nadzemnih vodov .....	25
5.3.2	Življenjska doba .....	25
5.3.3	Drevesenje .....	25
6	AVTOMATIZACIJA SN VODOV .....	28
6.1	Daljinsko vodena ločilna mesta.....	28
6.2	Indikatorji okvarnih tokov.....	29
7	IZBOLJŠANJE OBSTOJEČEGA STANJA NA REALNEM PRIMERU .....	30
7.1	Obstoječe stanje.....	30
7.2	Nadomestitev klasičnega nadzemnega daljnovoda z univerzalnim kablom AXCES 3 × 70/16 12/24 kV .....	31
7.3	Izračuni za načrtovanje novega dovodnega SN daljnovoda.....	32
7.3.1	Izračun kratkostičnih razmer na SN strani.....	32
8	SPLOŠNI OPIS IN LOKACIJA .....	36
9	FAKTORJI ZANESLJIVOSTI.....	47
10	MERITEV TOKA NA ODCEPU DV SLAVŠINA 1.....	49
11	ZAKLJUČEK.....	52
12	LITERATURA IN VIRI.....	53
	PRILOGA.....	55

## KAZALO SLIK

Slika 1: Enopolna shema izvoda DV Dornava .....	5
Slika 2: Shema prenapajanja SNO Dornava.....	7
Slika 3: Prikaz ločilnih mest (LM in DVLM) v poenostavljeni obliki na celotnem DV Dornava .....	8
Slika 4: Zankasto omrežje.....	10
Slika 5: Radialno omrežje .....	11
Slika 6: Lesena izvedba daljnovoda s horizontalno razporeditvijo vodnikov .....	13
Slika 7: Lesena izvedba daljnovoda s faznimi vodniki na treh različnih višinah (tip jelka) z električno in mehansko ojačitvijo.....	13
Slika 8: Lesena izvedba daljnovoda s faznimi vodniki na treh različnih višinah (tip jelka) samo z mehansko ojačitvijo .....	14
Slika 9: Betonska izvedba daljnovoda s horizontalno razporeditvijo vodnikov .....	14
Slika 10: Konstrukcija enožilnega energetskega SN kabla iz umetnih mas NA2XS(F)2Y.....	16
Slika 11: Kapacitivnost pri nadzemnih vodih.....	22
Slika 12: Kapacitivnost pri trižilnih in enožilnih ekraniziranih kablil .....	23
Slika 13: Nadomestni model nadzemnih vodov in kablov.....	23
Slika 14: Vodna drevesa v kabelski izolaciji.....	26
Slika 15: Preboj izolacij kot posledica vodnega in električnega drevesa.....	27
Slika 16:Prikaz poškodbe zaradi snegoloma .....	31
Slika 17: Topološka shema SN 20 kV voda z novim napajalnim SN 20 kV daljnovodom .....	33
Slika 18: Situacija obravnavane rekonstrukcije .....	36
Slika 19: Oporišče 21 (montirane zatezne spirale na univerzalnem kablil) .....	42
Slika 20: Lokacija namestitve LOK 30-GSM .....	49
Slika 21: Izračun napetosti s programom GREDOS.....	50
Slika 22: Izračun pretokov s programom GREDOS.....	51



## KAZALO TABEL

Tabela 1: Označevanje kablov .....	16
Tabela 2: Minimalni standardi kakovosti za nenačrtovane dolgotrajne prekinitve v enem letu .....	18
Tabela 3: Primerjava električnih parametrov izbranega tipa kabla in nadzemnega voda nazivne napetosti 20 kV in izračun (za X in C) .....	20
Tabela 4: Polnilni toki nadzemnega voda in kabla pri nazivni napetosti 20 kV .....	24
Tabela 5: Tabela obremenljivosti kabla in nadzemnega voda pri temperaturi okolice 20 °C.....	24
Tabela 6: Podatki ohmske upornosti in induktivnosti za nazivni presek daljnovidne vrvi in kablov ter rezultati impedanc .....	33
Tabela 7: Povesna tabela za AXCES 3 × 70/16 24 kV .....	42
Tabela 8: Prenosna zmogljivost SN univerzalnega kabla AXCES 3 × 70/16 12/20(24) kV .....	43
Tabela 9: Faktorji nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvev .....	47

## KAZALO GRAFOV

Graf 1: Napetost na koncu 10 kilometrov dolgega daljnovoda (Al/Fe) in kabla (NA2XS2Y) pri obremenitvah od 0 do 5 MVA pri $\cos\varphi = 0,9$ .....	21
Graf 2: Prikaz nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitev .....	48
Graf 3: Meritev toka na DV Slavšina 1 .....	50

## KRATICE IN AKRONIMI

DV:	daljnovod
KB:	kablovod
RTP:	razdelilna transformatorska postaja
TP:	transformatorska postaja
LM:	ločilno mesto
DVLM:	daljinsko vodeno ločilno mesto
NN:	nizka napetost
SN:	srednja napetost
VN:	visoka napetost
SM:	stojno mesto
SAIDI:	system average interruption duration index (indeks povprečnega trajanja prekinitev v sistemu)
SAIFI:	system average interruption frequency index (indeks povprečnega števila prekinitev napajanja odjemalcev)

# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

Trase SN prosto zračnega 20 kV distribucijskega omrežja so pogosto umeščene po gozdovih, dolinah, strminah ter po vetrovno izpostavljenih legah. Prosto zračna distribucijska omrežja so v veliki meri izpostavljena atmosferskim vplivom in njihovim posledicam: vetru, žledu, snegu, dežju, atmosferskim razelektritvam. Pogosto zaradi tega prihaja do različnih okvar na omrežju, kot so kratki stiki, pretrgani vodniki ali celo porušeni drogovi, ki pa so v veliki meri na zelo težko dostopnih mestih za vzdrževanje s strojno mehanizacijo. V družbi Elektro Maribor, d. d., se zavedamo, kako pomembna je kvalitetna in neprekinjena dobava električne energije. S hitrim tehničnim razvojem v vseh vejah gospodarstva je vse več odjemalcev električne energije, kateri pa slednjo želijo brez prekinitev. Zaradi spremljanja kazalnikov neprekinjenosti napajanja smo primorani k še obsežnejšim obnovam in novogradnjam na področju nizkonapetostnega ter SN omrežja.

Iz zgoraj omenjenih razlogov ter širjenja ali rekonstrukcij 20 kV elektrodistribucijskih omrežij na težko dostopnih mestih se vse bolj odločamo o uporabi kablovodov (polaganje v zemljo ali v nadzemni obliki), saj le-ti v veliki meri povečajo zanesljivost obratovanja in napetosti, za kateri se zahteva, da naj bosta čim večji, pri čemer pa se srečujemo z novimi izzivi, saj so se nam v SN omrežju povečali kapacitivni tokovi.

## 1.2 Cilji naloge

Cilji naloge so, da:

- predstavimo zgradbo obravnavanega 20 kV daljnovoda Dornava,
- prikažemo problematiko, s katero se srečujemo,
- predstavimo primer obnove obstoječega odseka na 20 kV izvodu Dornava,
- prikažemo izboljšave po rekonstrukciji odseka D-156 Slavšina.
- V diplomski nalogi bomo opisali DV Dornava in podrobneje rekonstrukcijo obstoječega 20 kV daljnovoda Slavšina.

## 1.3 Predstavitev okolja

Rekonstrukcija obstoječega 20 kV daljnovoda se je izvajala v podjetju Elektro Maribor, d. d., katero je drugo največje distribucijsko podjetje v Sloveniji, in sicer na območju OE (območna enota) Ptuj, na nadzorništvu Gorišnica, kjer sem tudi zaposlen. SN omrežje na območju OE Ptuj obratuje na 20 kV napetosti in se napaja iz treh RTP 110/20 kV: Ormož, Breg in Ptuj, ki oskrbujejo odjemalce na širšem območju Ptuj in Ormoža (Dravsko polje, Ptujsko polje, Haloze, Slovenske gorice in del Prlekije).

## 1.4 Predpostavke in omejitve

V diplomskem delu bomo prikazali sestavne dele 20 kV daljnovoda in njegove glavne sestavne elemente za normalno obratovanje ter vse možne variante prenapajanja v primeru okvare daljnovoda.

Rekonstrukcija obstoječega daljnovoda je zelo zahtevna naloga, zato predpostavljamo, da potrebujemo veliko teoretičnega znanja že pri pripravi tehničnega poročila.

Obratovanje in vzdrževanje elektroenergetskega omrežja v lasti distribucijskih podjetij je naloga distribucijskih podjetij in se vršita v skladu z zakonodajo.

## 1.5 Metode dela

Pri izdelavi diplomske naloge smo uporabili dve metodi, in sicer:

- v teoretičnem delu bomo uporabili metodo povzemanja, saj bomo povzeli literaturo,
- v praktičnem delu bomo uporabili opisno metodo, saj bomo podrobneje opisali in predstavili rekonstrukcijo obstoječega daljnovoda in prikazali izboljšave, katere smo dosegli.

## 2 SN IZVOD DORNAVA

### 2.1 Splošno o SN izvodu Dornava

Daljnovid Dornava je bil zgrajen leta 1947. V začetku je napajal devet transformatorskih postaj na napetostnem nivoju 10/0,04 kV. Te postaje so bile stolpne zidane. Krajevno gledano je napajal isto površino kot danes, vendar je bilo mnogo manj porabnikov. Bil je eden od petih izvodov iz starega 35/10 kV RTP Ptuj - Breg. Drogovi so bili leseni, deloma tudi impregnirani. Oprema je bila iz t. i. UNRA paketa. Vodniki so bili sprva bakreni s presekom 25 mm<sup>2</sup>. Defekti na daljnovodu so se odpravljali brez kakršnih koli pripomočkov (UKV zveze, mobilni telefoni, avtomobili ipd.). Po opravljenem obhodu se je našla okvara, se sanirala in šele takrat se je daljnovid priklopil. Vse, kar je bilo omembe vredno, je bilo nekaj navadnih progovnih stikal. Pomagali so si tudi z ločevanjem tokovnih lokov. Takšna odprava napak je bila dolgotrajna (ob večjih vremenskih neprilikah tudi po več dni) in je zahtevala veliko delovne sile. Daljnovid se je tudi takrat nenehno posodabljal in je s predhodnim vgrajevanjem opreme leta 1982 prišel na 20 kV napetostni nivo. Prvi odklopni ločilnik FLA se je na daljnovodu Dornava vgradil leta 1984. To ločilno mesto je sedaj nadomeščeno z DV-LM (ločilno mesto 13).

Danes srednjenapetostna mreža Dornava napaja z električno energijo porabnike severovzhodnega dela Ptujkega polja in tudi del Slovenskih goric. Je zelo obsežen izvod srednjenapetostne mreže iz RTP Ptuj.

Daljnovid Dornava napaja 74 transformatorskih postaj na napetostnem nivoju 20/0,04 kV oziroma 3658 odjemalcev na nizkonapetostni strani. Dolžina mreže z vsemi pripadajočimi odcepi znaša 75.097 metrov. Na SN daljnovodu Dornava je v obratovanju na kritičnih odsekih daljnovoda do sedaj vključeno v skupni dolžini 7.495 metrov SN univerzalnega kabla.

### 2.2 RTP Ptuj

Razdelilna transformatorska postaja (RTP) Ptuj obratuje s transformacijo 110/20 kV. RTP 110/20 kV Ptuj je daljinsko nadzorovana in vodena iz distribucijskega centra vodenja (DCV) Elektro Maribor. Za vzdrževanje in odpravo okvar skrbi območna enota (OE) Ptuj. Omogočeno je izvajanje lokalnih in daljinskih manipulacij s 110 kV odklopniki in ločilniki ter z 20 kV odklopniki. RTP je v grobem sestavljen:

- 110 kV stikališča v obliki H (2 × DV polje, prečno polje in 2 × TR polje),
- 110/20 kV transformatorskega polja,
- SN stikališče.
- Opremo delimo na primarno (ta služi za prenos energije) in sekundarno (zaščita, daljinsko vodenje in lastna raba).

### 2.2.1 Transformator 110/20 kV

V RTP 110/20 kV Ptuj sta nameščena dva transformatorja 110/20 kV; YNyn6d5; 40 MVA. V normalnem obratovalnem stanju obratujeta oba, in sicer je TR I 110/20 kV priključen na 20 kV zbiralniški sistem S I in napaja pretežno kabelsko SN omrežje mesta Ptuj. TR II 110/20 kV je priključen na 20 kV zbiralniški sistem S II in napaja pretežno daljnovodno SN omrežje širšega področja OE Ptuj. Zbiralniška sistema sta 20 kV S I in S II sta razdeljena na sektorja A in B, ki sta ločena z vzdolžnimi ločilniki 20 kV. Kratkotrajno je mogoče TR obremeniti do  $1,2 \times S_n = 48$  MVA. Paralelno obratovanje obeh TR-jev je dovoljeno samo kratek čas ob preklopitvah. Normalno obratujeta TR-ja z avtomatsko regulacijo napetosti.

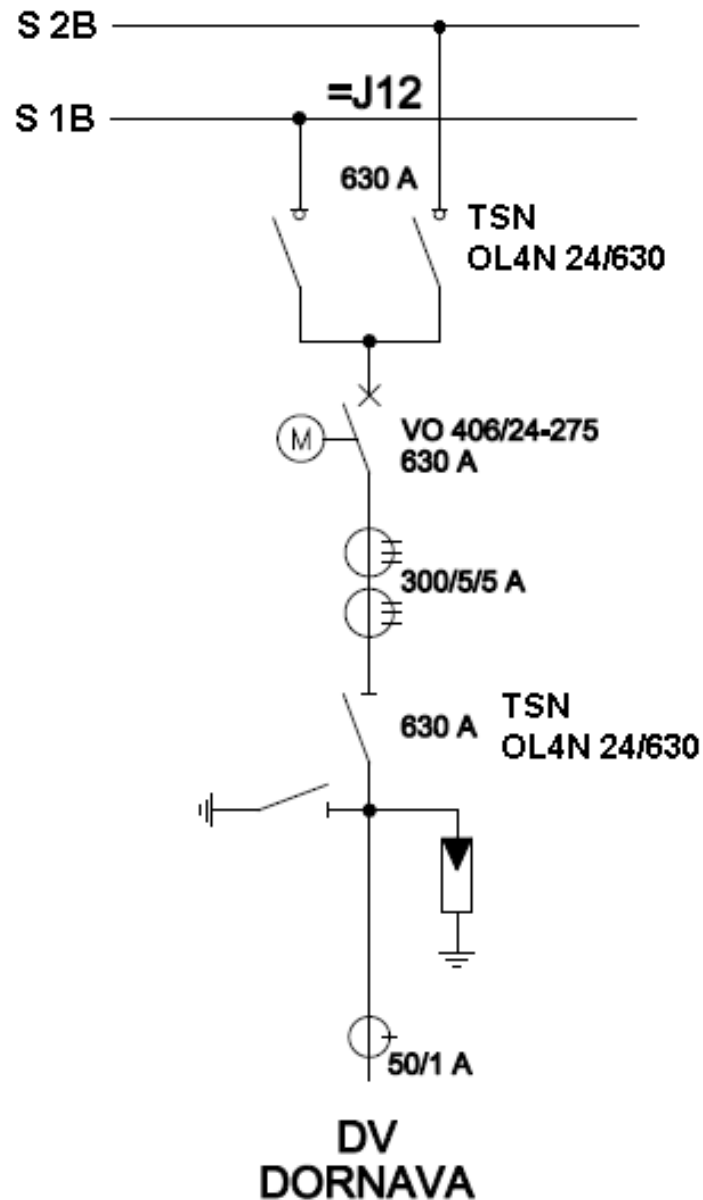
Zvezdišče sekundarja obeh transformatorjev je ozemljeno preko nizkoohmskega upora ( $R = 80 \Omega$ ), ki v glavnem služi za omejevanje tokov zemeljskega stika. Ključne prednosti omrežja z indirektno ozemljeno nevtralno točko so bistveno nižje obratovalne prenapetosti (posledično bistveno zmanjšanje števila okvar in števila sekundarnih okvar ter zmanjšanje intenzivnosti staranja naprav in opreme) in lažja ter bolj zanesljiva detekcija okvare.

Vzporedno z uporom je priključena fiksna dušilka za omejevanje kapacitivnih tokov. V RTP Ptuj še ni vgrajena petersenova oziroma resonančna dušilka (vgradnja petersenove dušilke je predvidena ob naslednji rekonstrukciji RTP, trenutno pa je v RTP na 20 kV nivoju na sistemu S II vgrajeno SHUNT stikalo).

### 2.2.2 SN stikališče in izvodna celica

V RTP Ptuj je SN stikališče starejše izvedbe in je izvedeno z dvojnimi SN zbiralnicami. Posamezna SN izvodna celica je tako opremljena z dvema zbiralniškima ločilnikoma, odklopnikom, izvodnim ločilnikom in ozemljitvenim stikalom. Imamo še merilni in transformatorski celici ter celico lastne rabe.

Izvodno celico iz RTP Ptuj kaže Slika 1 .



Slika 1: Enopolna shema izvoda DV Dornava  
(Vir: Elektro Maribor d. d., 2005)

### 2.2.3 Tokovni in napetostni transformatorji

Ločimo merilne in zaščitne tokovne transformatorje. Tokovni transformatorji so preciznejši in jih uporabljamo za razne meritve. Zaščitni transformatorji služijo za zaščito in so običajno sestavni del zaščite, ki je del odklopnika.

#### **2.2.4 Zaščita SN vodov**

Ščiti SN izvodov v RTP:

- pretokovna zaščita ščiti daljnovod pred preobremenitvami,
- zemljostična zaščita ščiti daljnovod v primerih zemeljskih stikov,
- kratkostična zaščita ščiti daljnovod v primerih kratkega stika,
- podfrekvenčna zaščita služi za razbremenjevanje EE sistema in ima pet stopenj.

#### **2.3 Obratovalno stanje izvoda**

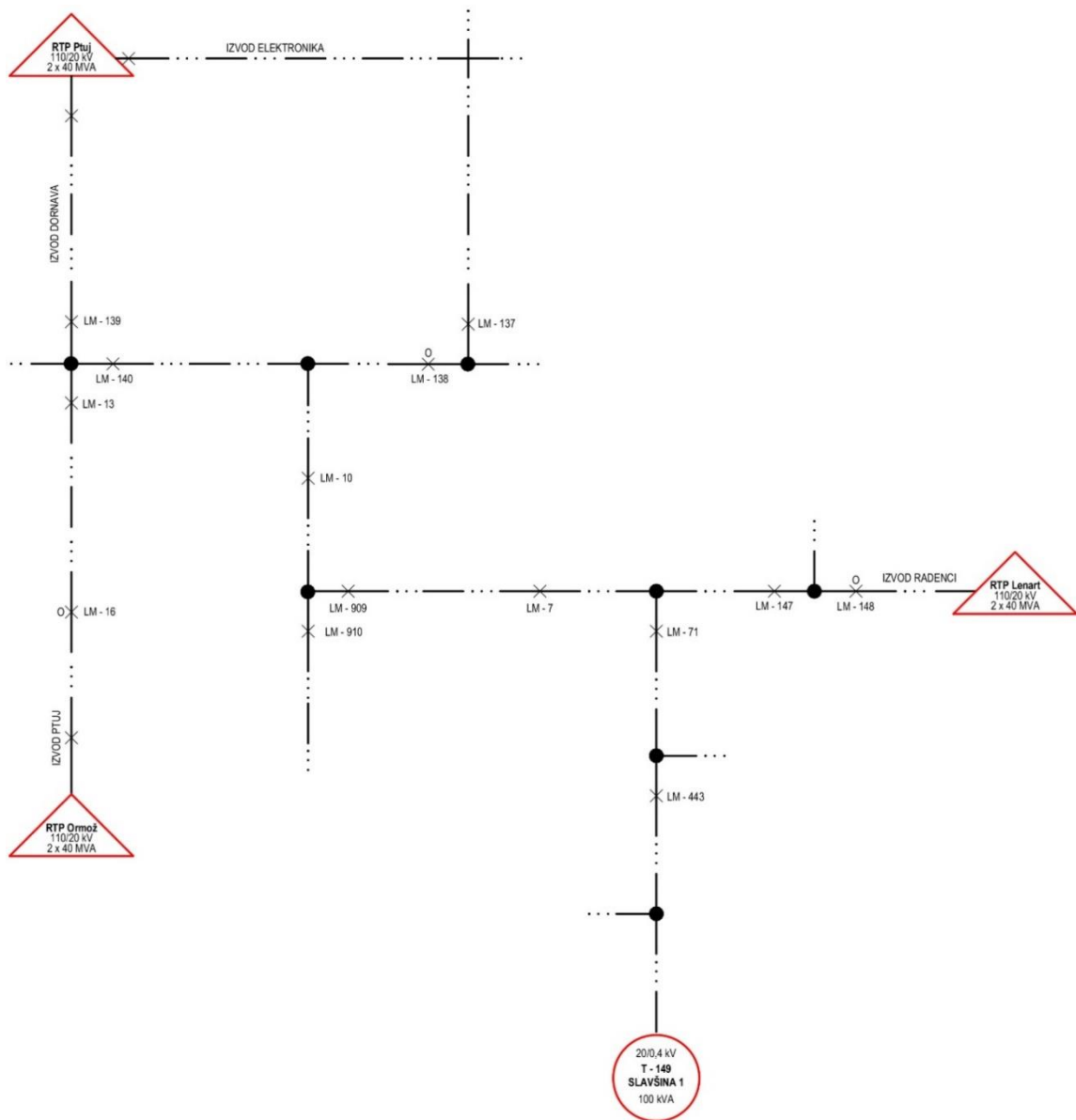
Po strukturi je SNO Dornava odprta zanka, saj imamo možnost prenapajanja še iz dveh RTP-jev:

1. v Bresnici, ločilno mesto številka 16 (v nadaljevanju LM-16) preko RTP Ormož,
2. v Župetincih, LM-148 preko RTP Lenart in

možnosti prenapajanja še iz sosednjih SN izvodov istega RTP:

1. v Desencih z DVLM, LM-138 preko 20 kV DV Elektronika D-404,
2. DV Ormož.





Slika 2: Shema prenapajanja SNO Dornava  
(Lastni vir)



## **3 SREDNJENAPETOSTNI DALJNOVOD**

### **3.1 Splošno**

Srednjenapetostni 20 kV daljnovodi so tako rekoč najbolj razširjeni daljnovodi, ki zagotavljajo nemoteno oskrbo z električno energijo.

Pri prenosu in razdeljevanju električne energije se je uveljavila doktrina, ki se glede na funkcijo deli na slednjo konfiguracijo mreže.

V SN omrežju imamo na izvodu vgrajene odklopnike (običajno z zaščito), ločilna stikala in ločilnike. Ločilno stikalo omogoča stikalne manipulacije pod obremenitvami (ima dograjene gasilne komore za električni oblok), medtem ko lahko z ločilnikom izvajamo stikalne manipulacije v neobremenjenih stanjih in služijo zgolj za vidno ločitev. Ločilna stikala uporabljamo za preklope sektorjev pri planskih ali neplanskih delih.

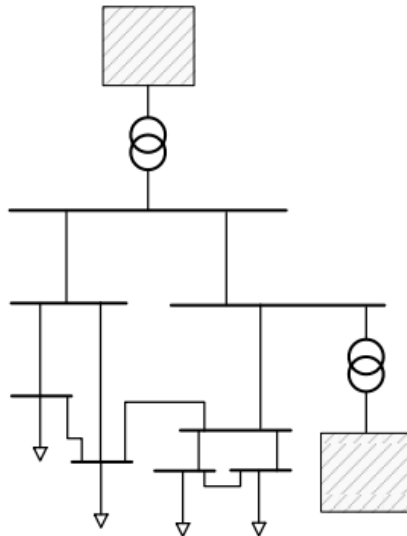
### **3.2 Transformatorji SN/NN**

Na 20 kV daljnovodu Dornava so nameščeni transformatorji 20/0,4 kV moči 35 kVA do 1.000 kVA različnih proizvajalcev. Transformatorji so nameščeni v transformatorskih postajah različnih izvedb, kot so stolpne, jamborske, na betonskih drogovih ali montažne izvedbe.

### **3.3 Zankasti tip omrežja**

Zazankana omrežja so v veljavi pri prenosnih elektroenergetskih omrežjih na visoki (VN) in v distribuciji na srednji napetosti (SN). Ta oblika omrežja omogoča preklope oziroma stikalne manipulacije brez prekinitve napajanja. So zahtevnejša za obratovanje, imeti morajo ustrezno zaščito in so tudi dražja. S tem tipom omrežja zagotovimo večjo obratovalno varnost.

Na območju Elektra Maribor ni trajno sklenjenih zank v SN omrežju. Sklenitev zank uporabljamo le kratek čas, med preklopitvami, da ne motimo odjemalcev. Drugače pa so primeri v Sloveniji in v svetu, da se za napajanje zahtevnejših uporabnikov uporablja tudi dvostransko napajanje oziroma trajno obratovanje v zanki.

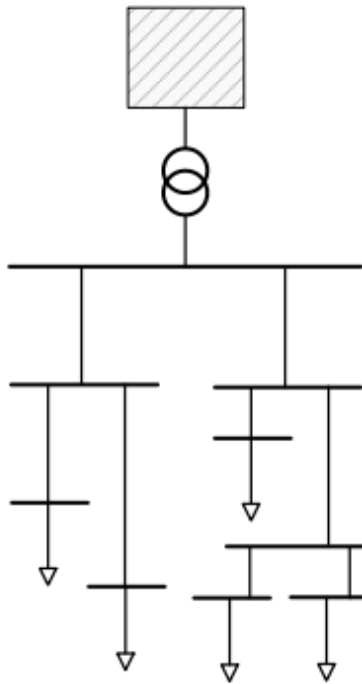


*Slika 4: Zankasto omrežje*  
(Vir: Blažič in Papič, 2019)

### 3.4 Radialni tip omrežja

Radialna oblika omrežja obratuje na sredjenapetostnem 20 kV nivoju kot napajalno omrežje za distribucijske transformatorske postaje.

Radialna omrežja (Slika 5) uporabljamo tako v NN in SN omrežjih, kjer imamo en sam izvor napetosti, ki ga tvorijo žarkasti vodi. Kot prednosti lahko omenimo enostavnost in preglednost, slabost pa je v velikih padcih napetosti in majhni obratovalni varnosti, kajti ob izpadu napajalne točke ostanejo vsi porabniki brez električne energije.



Slika 5: Radialno omrežje  
(Vir: Blažič in Papič, 2019)

## 3.5 Oprema na SN vodu

### 3.5.1 Oporišča

Najpogostejša oblika daljnovodnih stebrov so leseni drogovi. Nadomeščati so jih začeli armiranobetonski drogovi, vendar ne v tako obsežnem številu. V uporabi so tudi železni jambori, ki se pa že nekaj časa ne vgrajujejo.

#### Lesena oporišča:

- kostanj,
- impregnirani zeleni bor ali smreka.

#### Poznamo več vrst lesenih oporišč po namenu:

- nosilni drog,
- A-drog,
- kotni A-drog,
- odcepni A-drog,
- razbremenilni A-drog,
- končni A-drog.

**Drogovniki:**

Zaradi preprečitve trohnenja drogov na prehodu v zemljo se drogovni lahko vpnejo v armiranobetonske drogovnike ali armiranobetonske klešče različnih dopustnih upogibnih momentov. Leseni drogovni so ob uporabi le-teh fizično ločeni od zemlje, s tem pa se izdatno podaljša življenjska doba nosilnih drogov.

**Betonski drogovni:**

Poznamo različne vrste betonskih drogov:

- nosilni betonski drog,
- kotni betonski drog,
- zatezni betonski drog,
- zatezni betonski drog za TP.
- Vsi tipi drogov se uporabljajo v različnih dolžinah, predvsem pa se razlikujejo po sili, ki jo prenesejo oziroma za katero so dimenzionirani na vrhu droga.

**3.5.2 Izolatorji**

Poznamo več tipov izolatorjev:

- keramične,
- steklene,
- kompozitne.

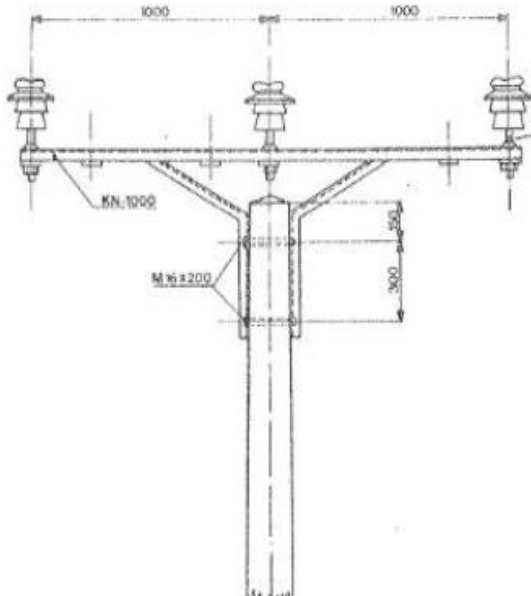
**3.5.3 Vodniki**

V preteklosti so se v nadzemno prostozračno srednjenapetostno mrežo vgrajevali bakreni vodniki prereza 25 mm<sup>2</sup>, 35 mm<sup>2</sup>, 50 mm<sup>2</sup> in zelo redko 70 mm<sup>2</sup>. Danes je v slovenskih distribucijskih podjetjih standardiziran vodnik (vrv) za srednjenapetostne nadzemne vode Al/Fe vrv, preseka 35/6 mm<sup>2</sup> in 70/12 mm<sup>2</sup>. Pri uporabi univerzalnih SN nadzemnih kablov pa so v največjem številu v uporabi EXCEL 3 × 10/10 mm<sup>2</sup> 24 kV ter AXCES 3 × 70/16 ali 3 × 95/25 12/24 kV.

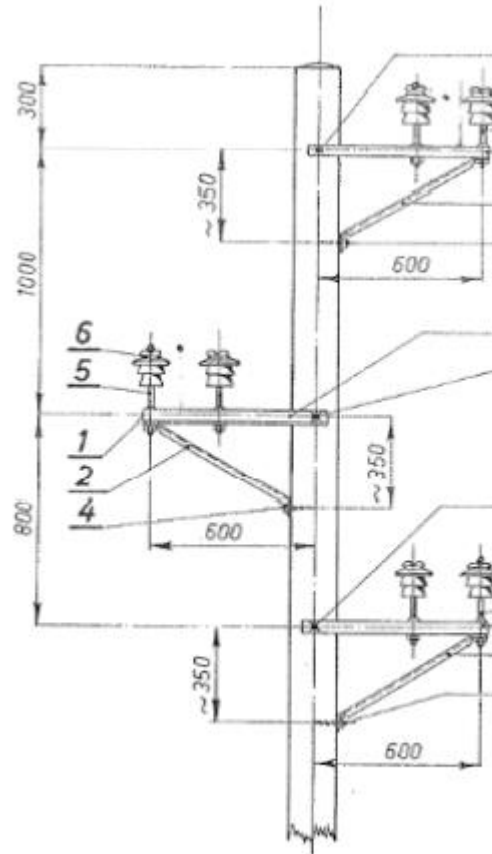
**3.6 Izvedbe srednjenapetostnih daljnovodov**

Različna elektrodistribucijska podjetja uporabljajo različne izvedbe srednjenapetostnih 20 kV daljnovodov. Na področju, katerega pokriva Elektro Maribor, d. d., prav tako najdemo veliko različnih izvedb daljnovodov, ki so se gradili v različnih obdobjih. Vpliv na izbrano opremo je tako pred desetletji kot danes izključno ekonomske narave ter razpoložljivost na trgu.

Na naslednjih slikah (Slika 9, Slika 10, Slika 11 in Slika 12) vidimo najpogostejše izvedbe daljnovodov, ki se uporabljajo na distribucijskem območju Elektra Maribor, d. d.

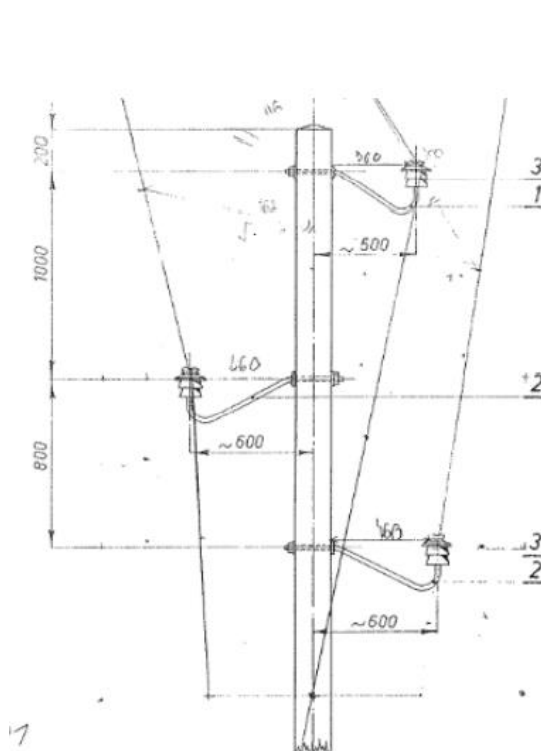


Slika 6: Lesena izvedba daljnovoda s horizontalno razporeditvijo vodnikov  
(Vir: Poslovno združenje podjetij za distribucijo električne energije v Sloveniji, 1965)

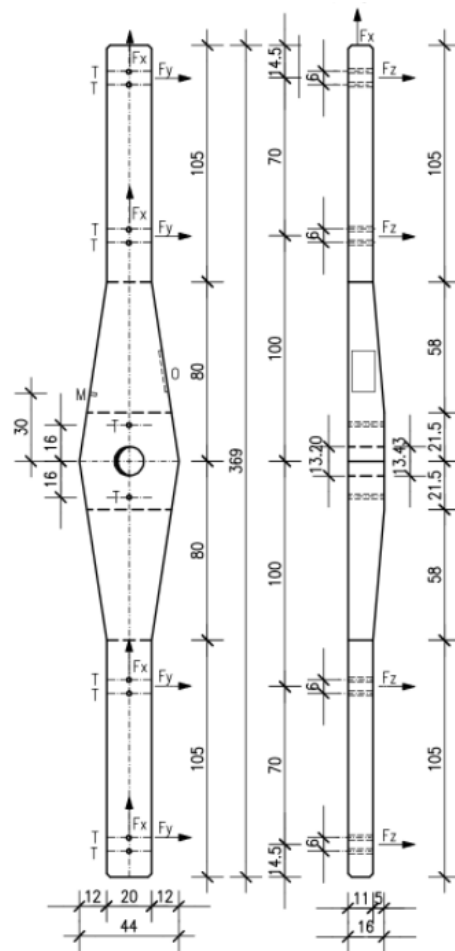


Slika 7: Lesena izvedba daljnovoda s faznimi vodniki na treh različnih višinah (tip jelka) z električno in mehansko ojačitvijo

(Vir: Poslovno združenje podjetij za distribucijo električne energije v Sloveniji, 1965)



Slika 8: Lesena izvedba daljnovoda s faznimi vodniki na treh različnih višinah (tip jelka) samo z mehansko ojačitvijo (Vir: Poslovno združenje podjetij za distribucijo električne energije v Sloveniji, 1965)



Slika 9: Betonska izvedba daljnovoda s horizontalno razporeditvijo vodnikov (Vir: Elektro Maribor d.d., 2005)

### 3.7 Klasični nadzemni daljnovodi

Med klasične nadzemne daljnovode uvrščamo tiste, ki za prenos energije uporabljajo neizolirane, gole vodnike, kjer za izolacijo okrog vodnika poskrbi zrak. Pogosteje se ga uporablja z izrazom prostozračni. Tovrstni daljnovodi so ob uporabi golih vodnikov in oporišč iz lesenih drogov investicijsko najprijaznejši do investitorja tako pri rekonstrukciji in uvajanju novih daljnovodnih tras.



### 3.8 Varnostne višine in oddaljenosti

Srednjenapetostni 20 kV daljnovodi so umeščeni po različnih terenih in se pojavljajo skoraj povsod, tako da mora projektant v naprej določiti varnostno višino oziroma oddaljenost, kar je podrobno določeno s pravilnikom.

### 3.9 Energetski srednjenapetostni kabli

Za gradnjo 20 kV omrežja se najpogosteje uporabljajo enožilni kabli, tip NA2XS(F)2Y ali NA2XS(FL)2Y. Preseki kablovodov so običajno  $1 \times 70/16RM \text{ mm}^2$  (v opuščanju),  $1 \times 150/25RM \text{ mm}^2$  in  $1 \times 240/25RM \text{ mm}^2$ .

#### 3.9.1 Označevanje kablov

Konstrukcijo kabla označujemo s črkami in številkami. Označevanje kablov izhaja iz SIST standardov. Številke in črke na kablju pomenijo, kakšno konstrukcijo ima kabel (GIZ, 2013).

N	A	2X	S	(FL)2Y	1 × 150 / 25	RM	12/20(24)kV
*1*	*2*	**3**	**4**	**5**	**6** ***7***	**8**	***9***

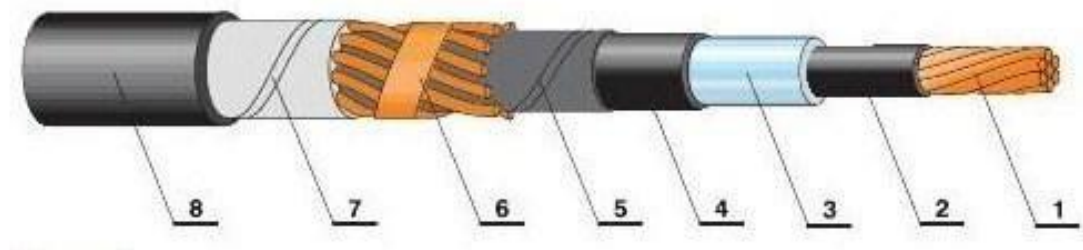
1.	<b>Identifikator označevanja po standardu</b> N	oznaka za kabel po SIST HD standardu
2.	<b>Vodnik</b> A -	vodnik iz aluminija bakreni vodnik (brez označbe)
3.	<b>Izolacija</b> 2 ×	omrežni polietilen (XLPE)
4.	<b>Zaslon</b> S SE H (F)	ekran iz Cu žic ekran okrog vsake žile posebej prevodni sloji vzdolžno vodotesen
5.	<b>Plašč</b> Y 2Y (F)2Y (FL)2Y (FB)2Y	PVC termoplastični polietilen (PE) vzdolžno vodotesen s PE plaščem vzdolžno in prečno vodotesen z Al/PE plaščem vzdolžno in prečno vodotesen s Cu/PE plaščem
6.	<b>Število žil</b>	

7.	<b>Nazivni prerez vodnika/prerez ekrana v mm<sup>2</sup></b>		
8.	<b>Oblika vodnika</b>		
	R	okrogel	E polni
	S	sektorski	M večžični
9.	<b>Nazivna napetost (Uo/U)</b>		

*Tabela 1: Označevanje kablov*  
(Vir: GIZ, 2013)

V današnjem času predstavljajo optimalno izbiro kabli z izolacijo iz umetnih mas, to so XLPE kabli.

Sodobna konstrukcija kablov iz umetnih mas pomeni, da je kabel izdelan po novitehnologiji, pri kateri so vsi trije izolacijski sloji ekstrudirani istočasno, da ima vzdolžno in radialno zaščito pred prodiranjem vode. Vzdolžna zaščita je izvedena v obliki posebnih trakov, ki ob stiku z vodo nabreknejo v želeju podobno snov, radialna zaščita pa v obliki aluminijaste folije. Zunanji plašč iz polietilena predstavlja izboljšano zaščito pred mehanskimi poškodbami in ultravijoličnimi žarki (Janša, 2003, str. 16). Kabli iz umetnih mas so konstrukcijsko najpogosteje sestavljeni iz osmih oziroma devetih elementov.



*Slika 10: Konstrukcija enožilnega energetskega SN kabla iz umetnih mas  
NA2XS(F)2Y*  
(Vir: Elka.hr, b.l.)

1. Vodnik: baker ali aluminij
2. Polprevodni sloj na žili
3. Izolacija XLPE
4. Polprevodni sloj na izolaciji
5. Vzdolžna zapora, torej separator ali ekspanzirani trak
6. Električna zaščita ali zaslon bakrene žice s Cu trakom
7. Prečna vodna zapora pri FI, to je trak iz Al-folije
8. Zunanji plašč PE

(Vir: GIZ, 2013).

## 4 ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

Splošni pogoji za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskih omrežij (objavljeno v Uradnem listu) določajo zanesljivost dobave električne energije. S splošnimi pogoji je opredeljeno, kateri kazalci zanesljivosti napajanja morajo distribucijska podjetja voditi, ki seveda morajo biti znotraj predpisanih mej, saj če niso, so distribucijska podjetja lahko sankcionirana.

Kazalci zanesljivosti napajanja se računajo ločeno za napovedane in nenapovedane prekinitve. Nenapovedane prekinitve se delijo po vzroku nastanka:

- Tuji vzrok: izpadi, nastali zaradi delovanja tuje osebe (nekdo je podrl drevo na DV, bager je pretrgal kabel ali vodnike, živali itd.).
- Višja sila: izpadi zaradi delovanja dejavnikov narave (posledica vetra, neurja itd.)
- Lastni vzroki: vse, kar ni zajeto v prejšnjih dveh vzrokih.

### 4.1 Kazalci kakovosti

#### 4.1.1 SAIDI

*SAIDI* (System Average Interruption Duration Index) je indeks povprečnega stanja prekinitev v sistemu, ki je razmerje vsote trajanja prekinitev odjemalcev in celotnega števila oskrbovanih odjemalcev iz dane točke. Ta indeks pove, kako dolgo v povprečju odjemalec ni bil oskrbovan z električno energijo. Faktor SAIDI je enak indikatorju CML (Consumer Minute Lost). Za računanje tega indeksa uporabljamo enačbo:

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

kjer je:

- $t_{ij}$  trajanje  $i$ -te prekinitve  $j$ -temu odjemalcu,  
 $N_S$  celotno število odjemalcev na opazovanem območju,  
 $T$  časovni interval.

#### 4.1.2 SAIFI

*SAIFI* (System Average Interruption Frequency Index) je indeks povprečnega števila prekinitev napajanja odjemalcev in celotnega števila napajalnih odjemalcev iz dane točke. Ta indeks pove, kolikokrat v povprečju odjemalec ni bil oskrbovan z električno energijo. Za računanje tega indeksa uporabljamo enačbo:

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

Indeks SAIFI se izračuna na sledeč način: odjemalcu  $j$  je oskrba za električno energijo prekinjena  $n_j$ -krat, kjer je:

$NS$  celotno število odjemalcev na opazovanem območju,  
 $T$  časovni interval.

(Vir: Akt o posredovanju podatkov o kakovosti oskrbe z električno energijo, 2012)

## 4.2 Minimalni standardi kakovosti

Sistemeski operater distribucijskega omrežja z električno energijo določa minimalne standarde kakovosti za nenačrtovane dolgotrajne prekinitve v enem koledarskem letu, ki so posledica lastnih vzrokov. Podjetja za distribucijo električne energije morajo slediti tem standardom.

Za DV Dornava po kriterijih velja, da spada v podeželski tip izvoda. Tako velja, da skupno trajanje nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvev (> 3 minute), brez višje sile in tujih vzrokov, ne sme biti daljše od 450 minut na leto. Prav tako skupno število nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvev (> 3 minute), brez višje sile in tujih vzrokov, ne sme presegati šest prekinitvev na leto. Število vseh kratkotrajnih prekinitvev ne sme presegati 28 prekinitvev na leto. Zahtevani standardi so navedeni v Tabeli 5.

napetostni nivo	vrsta izvoda RTP/RP na SN omrežju	priključitev odjemalca na SN izvodRTP	skupno trajanje nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvev (daljših od treh minut), brez višje sile in tujih vzrokov [minute/leto]	skupno število nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvev (daljših od treh minut), brez višje sile in tujih vzrokov [prekinitvev/leto]	število vseh kratkotrajnih prekinitvev [prekinitvev/leto]
SN	podeželski	neposredno	450	6	28

*Tabela 2: Minimalni standardi kakovosti za nenačrtovane dolgotrajne prekinitve v enem letu*

(Vir: SODO, 2015)

## 5 TEHNOLOŠKA ANALIZA

### 5.1 Primerjava kablov in nadzemnih vodov

V tem poglavju bomo prikazali delovanje kablov in nadzemnih vodov, ki so priključeni na omrežje. Pokazali bomo, kakšen učinek imajo pri obratovanju glede na njihove lastnosti. Na enostavnem modelu bomo prikazali izračune pretokov moči po vodu in kablu, primerjali prenosne zmogljivosti, izgube, zemljostične tokove, hlajenje obeh oblik ter prikazali vpliv ozemljevanja za oba primera.

Prikazali bomo dva tipa kablov in en tip vodnika za nadzemne prostozračne vode. En tip kabla bo imel enak presek prevodnega aluminija kot vodnik za prostozračne vode, drugi tip kabla pa bo po preseku prevodnega aluminija večji in je najpogosteje uporabljen ob zamenjavi prostozračnega voda s kabelskim vodom. Slednja bomo primerjali in prikazali njune električne vrednosti. Osredotočili se bomo na obremenljivost, ter tako določili primerne preseke kablov napram uporabljenim za prostozračni vod. Odvisnost od postavitve kablovodov v zemlji in vodnikov na prostozračnih nadzemnih vodih se kaže v spreminjajočih električnih parametrih. Vrednost kapacitivnosti in induktivnosti se spreminja glede na medsebojno oddaljenost vodnikov. Spreminjajoča medsebojna lega vodnikov se lahko izkaže kot sprememba električnih parametrov, ki pa vpliva na napetostni profil, jalove ter delovne izgube na vodu. V primeru, da bi izbrali drug tip postavitve vodnikov na oporiščih in drugačne izolacijske plasti na kabljih, bi se rezultati primerjave razlikovali.

Navadni kabli se za razliko od oplaščenih vodnikov ponašajo s podobnimi parametri, razen drugačnih vrednosti induktivnosti in kapacitivnosti, kar pa je posledica vpliva v medsebojni legi, ki je odvisna od oddaljenosti položaja faznih vodnikov drug od drugega. Univerzalni SN kabli imajo podobne lastnosti kot XLPE trižilni kabli. Veliko večjo dozemno kapacitivnost povzroča ozemljen zaslon, katerega pa pri oplaščenih vodnikih ni (Stromar.si, 2012).

V distribucijskem 20 kV omrežju je uporabljenih več oblik drogov oziroma oporišč, prav tako je več možnih tipov razporeditve vodnikov na drogu, saj se med seboj razlikujejo glede na funkcionalnost in namen. Ob različnih izvedbah postavitve vodnikov na oporiščih se vrednosti o induktivnosti in kapacitivnosti nekoliko spremenijo. V spodnji tabeli (Tabela 3) je prikazana primerjava osnovnih električnih parametrov izbranega tipa kabla in nadzemnega voda z jelka razporeditvijo, za primerjavo pa smo dodali še vrednosti SN univerzalnega trižilnega kabla. V nadaljevanju bomo način montaže nadzemnega voda uporabljali v jelka tip izvedbi.

	Vrv Al/Fe ACSR	Kabel NA2XS2Y (enožilni)		Univerzalni (trižilni)	
$S_{Al}$ (mm <sup>2</sup> )	70/12	70	150	3 × 70/16	3 × 95/25
$R_{=20^{\circ}C}$ (Ω/km)	0,41	0,44	0,21	0,443	0,320
$X'$ (Ω/km)	0,35	0,132 0,220	0,116 0,198	0,094	0,097
$C'$ (μF/km)	0,009	0,20	0,24	0,290	0,250
$R_0$ (Ω/km)	0,56	1,30	0,85	1,348	1,307
$X_0$ (Ω/km)	1,22	0,55	0,30	(ni podatka)	(ni podatka)
$C_0$ (μF/km)	0,004	0,20	0,24	(ni podatka)	(ni podatka)
$R/X'$	1,18	3,3 2,0	1,8 1,1	4,71	3,30

Tabela 3: Primerjava električnih parametrov izbranega tipa kabla in nadzemnega voda nazivne napetosti 20 kV in izračun (za X in C)

(Vir: Stromar.si, 2012)

Pri rekonstrukcijah in nadomestitvi prostozračnega daljnovoda s kablovodom nas predvsem zanimajo naslednji tehnično-tehnološki parametri:

- zmožna obremenljivost,
- padec napetosti,
- polnilni toki,
- hlajenje,
- življenjska doba.

Ko po vodu steče tok, nastopi padec napetosti. Višina padca napetosti je odvisna od velikosti jalovega in delovnega toka ter električnih parametrov voda: kapacitivnosti, induktivnosti in ohmske upornosti.

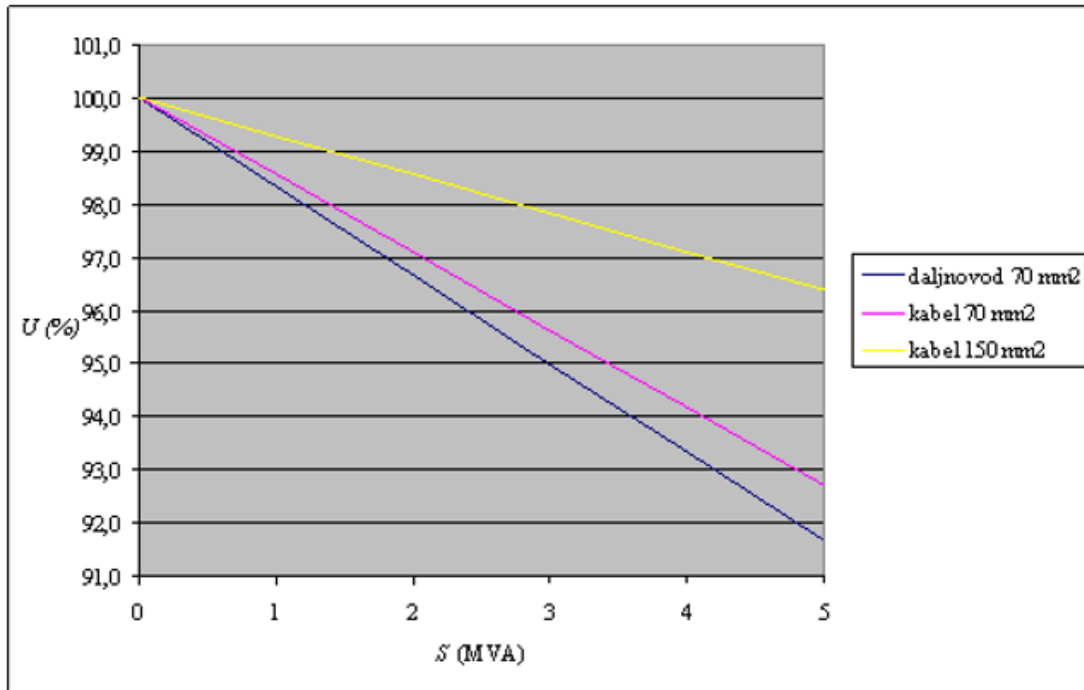
Padec napetosti na vodu, po katerem teče moč  $\underline{S} = P + j Q$ , lahko približno zapišemo kot:

$$\Delta \underline{U} = \frac{PR' + QX'}{|U_n|} \cdot I + j \frac{PX' + QR'}{|U_n|} \cdot I,$$

kjer pa nismo upoštevali kapacitivnosti daljnovodov. Dvig napetosti povzroči kapacitivnost. Sklepamo lahko, da bi se glede na rezultate iz Grafa 1 razlika v padcih napetosti med kabli in nadzemnimi vodi še povečala na račun manjšega padca na kablovodih. Graf 1 nam prikazuje primerjavo padca napetosti na daljnovodu in kablovodu enakega preseka ter na kablovodu z večjim presekom. V praksi se običajno kabel preseka 150 mm<sup>2</sup> uporablja kot nadomestek za nadzemni vod s presekom 70 mm<sup>2</sup>, tako da so zaradi manjše upornosti padci napetosti še manjši (Stromar.si, 2012).

Za prikazano smo uporabili tipe nadzemnega voda in kabla, ki so najpogosteje uporabljeni v 20 kV distribucijskem omrežju. Prikazana je primerjava padcev napetosti

na daljnovodu z vodom tipa ACSR (Al/Fe) 70/12 – 70 mm<sup>2</sup> in kablovodu s kablom NA2XS2Y preseka 70 mm<sup>2</sup> in 150 mm<sup>2</sup>, ki je vkopan v zemljo (v skladu s standardom SIST HD 620 S2:2010) na koncu 10 kilometrov dolgega voda, kar vidimo na Grafu 1.



Graf 1: Napetost na koncu 10 kilometrov dolgega daljnovoda (Al/Fe) in kabla (NA2XS2Y) pri obremenitvah od 0 do 5 MVA pri  $\cos\varphi = 0,9$   
(Vir: Stromar.si, 2012)

Zaradi izoliranih kabelskih vodnikov lahko le-te postavljamo enega poleg drugega, ne da nas bi pri tem skrbela nevarnost stika faz kot pri neizoliranih nadzemnih vodih. V splošnem si želimo, da bi bile impedance vodnikov čim manjše, tako upornost  $R$  kot induktivnost  $L$ . S tem se zmanjšajo izgube in padci napetosti na vodu, t. j. prečni in vzdolžni padec, zmanjša se tudi problem prenosa jalove moči na večje razdalje (Stromar.si, 2012).

### 5.1.1 Ohmska upornost

Ohmsko upornost določa presek prevodnega materiala v vodniku (Al ali Cu) in sama temperatura obratovanja. S hlajenjem vodnikov lahko vplivamo na njo. Hlajenje daljnovodov je odvisno od direktnega sevanja sonca, temperature ozračja, vetra in snega pozimi. Maksimalna dovoljena temperatura obratovanja je 90 °C. Pri tej temperaturi prevodni material še obdrži svoje mehanske in električne lastnosti. Upornost aluminija se pri 90 °C poveča za približno 28 % glede na upornost pri 20 °C. (Stromar.si, 2012).

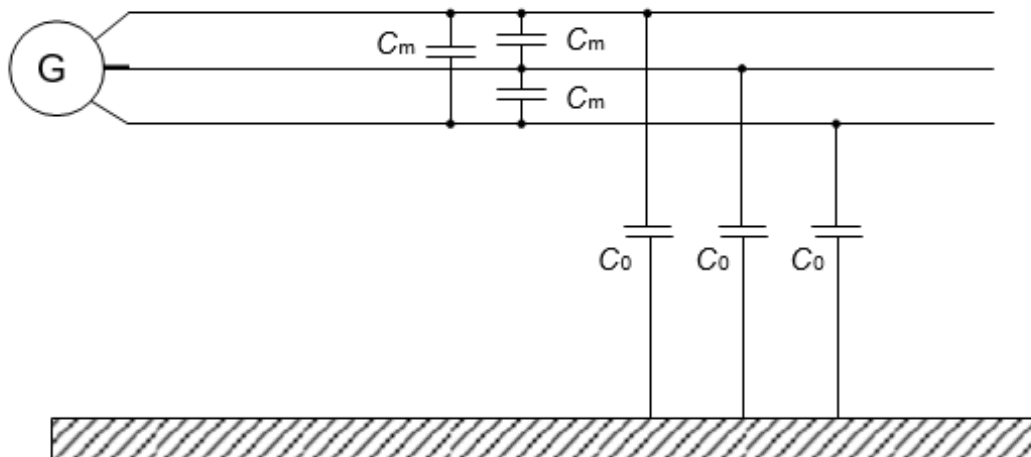
### 5.1.2 Induktivnost

Lastna in medsebojna induktivnost prav tako vpliva na padec napetosti na vodu. Pri obremenitvah z večjim  $\cos\varphi$  vpliva induktivnost predvsem na prečni padec napetosti. Na absolutno vrednost napetosti na koncu voda ima to manjši vpliv, vsekakor pa se poveča razlika faznih kotov napetosti na začetku in koncu voda (Stromar.si, 2012).

### 5.1.3 Kapacitivnost

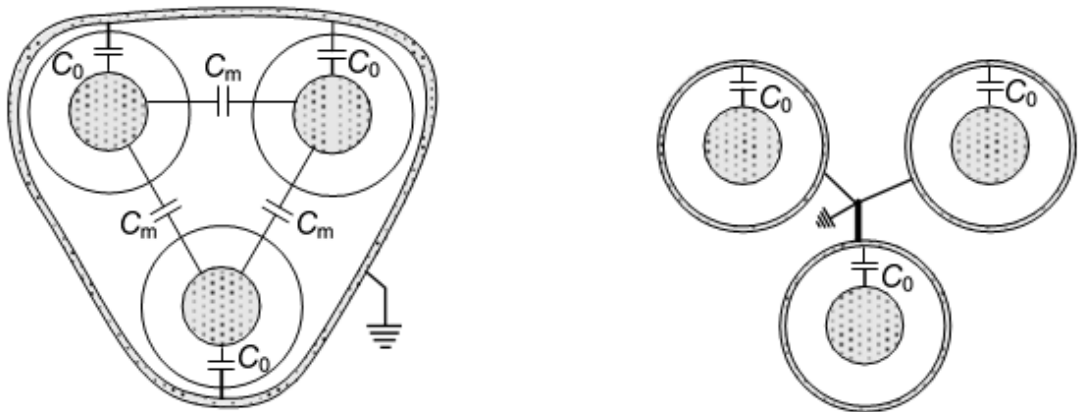
Kapacitivnost voda je snovno-geometrijska lastnost vsakega prevodnika. Velikost nadomestnih kapacitivnosti je odvisna od položaja prevodnih teles v prostoru. Pri električnih vodnikih trifaznega sistema se pojavljajo kapacitivnosti med faznimi vodniki in med vodniki ter zemljo (Slika 11). Kapacitivnost vodov deluje kot kapacitivno breme, ki v primeru induktivnih bremen kompenzira jalovo moč tako, da je obremenjenost transformatorja ali generatorja zaradi zmanjšane jalove moči manjša.

Pri kabelskih vodih so fazni vodniki praviloma znotraj ozemljenega plašča ali pa so obdani z ozemljenimi vodniki, zato je dozemna kapacitivnost mnogo večja (Slika 12). V primeru, ko so kabli ekranizirani in imajo ozemljeno kovinsko zaščito, kapacitivnost med faznimi vodniki ni izrazita oziroma je ni. Večja dozemna kapacitivnost lahko na kompenzacijo jalove moči deluje pozitivno, ima pa druge slabše lastnosti, ki se pokažejo predvsem ob nastopu zemeljskih stikov, oblaka in ob okvarah (Stromar.si, 2012).



Slika 11: Kapacitivnost pri nadzemnih vodih  
(Vir: Stromar.si, 2012)



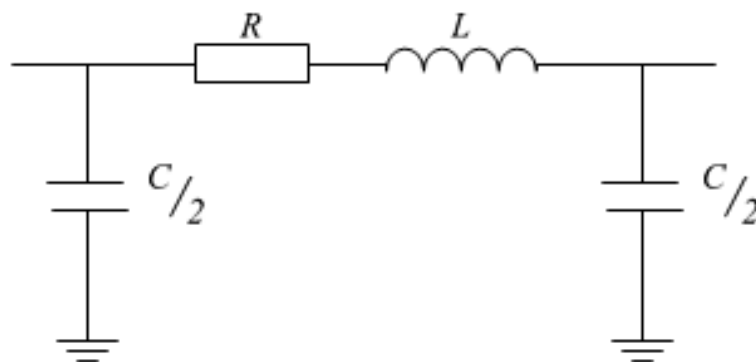


Slika 12: Kapacitivnost pri trižilnih in enožilnih ekraniziranih kabljih  
(Vir: Stromar.si, 2012)

## 5.2 Polnilni toki

Do pojava polnilnih tokov pride pri obeh tipih vodnikov. Zaradi spreminjanja napetosti na vodih teče skozi navidezne kondenzatorje med zemljo in vodniki kapacitivni izmenični tok (Slika 13). Če primerjamo ta tok pri nadzemnih vodih in kabljih, lahko rečemo, da je zaradi večje kapacitivnosti tok v kabljih 20- do 30-krat večji (Tabela 4).

Izgube nastajajo tudi na navidezni upornosti in induktivnosti, ker teče kapacitivni tok tudi skozi prevodni del vodnika. Če so polnilni toki do 30-krat večji, se bodo izgube praznega teka povečale za približno kvadrat tega faktorja, torej 900-krat (Stromar.si, 2012).



Slika 13: Nadomestni model nadzemnih vodov in kablov  
(Vir: Stromar.si, 2012)

	Vrv Al/Fe	Kabel NA2XS2Y	
S (mm <sup>2</sup> )	70	70	150
I <sub>p</sub> (A/km)	0,033	0,770	0,903

Tabela 4: Polnilni toki nadzemnega voda in kabla pri nazivni napetosti 20 kV  
(Vir: Stromar.si, 2012)

### 5.3 Obremenljivost nadzemnih vodov in kablov

Ob izbiri med nadzemnimi vodniki in kabli nas posebej zanima, kakšne so njihove prenosne zmogljivosti. Moč, katero lahko prenašamo, je odvisna od toka in napetosti. Višina napetosti vpliva na minimalne varnostne razdalje med posameznimi vodniki, velikost izolacijskih podpornikov, debelino izolacije, višino stebrov, tok pa je omejen z dopustno mejo segrevanja vodnikov ter izolacije pri kablilih. Pri prevajanju toka se sprošča toplota. Ta nastaja kot vsota jouskih izgub v prevodnem vodniku, izgub v plašču in ekranu. Segrevanje materialov nad dopustno mejo ni priporočljivo, saj se ob tem izgubljajo mehanske in električne lastnosti. Mehanska trdnost je pri nadzemnih vodih najpomembnejša, saj zagotavlja majhne povese vodov. Večji povese so posledica večjih temperatur, posledično pa večji povese lahko ogrožajo varno in zanesljivo obratovanje. Za klasične ACSR (ang. Aluminium Conductor Steel Reinforced) nadzemne vode je določeno, da se lahko v stalnem obratovanju segrejejo do temperature 90 °C, v kratkem stiku pa celo do 180 °C. Določeno je, da ob takšnih obremenitvah vodnik še vedno ohrani svojo natezno trdnost in poves. Ob izvedbi kabelskega daljnovoda pa natezna trdnost ni tako pomembna iz vidika povesov, saj so zakopani v zemljo ali položeni v cevno kabelsko kanalizacijo. Pri kablilih so dopustne obratovalne termične meje odvisne od izolacijskega materiala. V novejši kabelski tehniki uporabljamo predvsem omreženi polietilen XLPE, ki lahko ima dopustno temperaturo obratovanja 90 °C. V spodnji tabeli (Tabela 5) lahko vidimo primerjalne vrednosti obremenljivosti nadzemnih vodov in kablov pri temperaturi okolice 20 °C (Stromar.si, 2012).

		Nadzemni vod Al/Fe					Kabel NA2XS2Y (enožilni)				
		35/6	70/12	95/15	120/20	150/25	70	95	120	150	240
S (mm <sup>2</sup> )	T	I <sub>max</sub> (A)									
v zraku	35 °C	170	290	350	410	470	245	305	350	395	520
v zemlji	20 °C						215	260	295	325	420

Tabela 5: Tabela obremenljivosti kabla in nadzemnega voda pri temperaturi okolice 20 °C

(Vir: Stromar.si, 2012)

Iz tabele št. 5 je razvidno, da zmore nadzemni vodnik z enakim presekom prevajati za do 25 % večje tokove kot izbrani kabel, ki je izveden v zraku, vendar pa včasih dosežemo večje dopustne tokove prav v zemlji, vendar je to odvisno od sestave tal, konstrukcije kabla, površine, izolacije in načina polaganja kabla. V praksi pa se nadzemni vod Al/Fe 35 mm<sup>2</sup> najpogosteje zamenja s kablom preseka 70 mm<sup>2</sup>, ki ima 126 % obremenljivosti glede na nadzemni vod in nadzemni vod Al/Fe 70 mm<sup>2</sup> s kablom, preseka 150 mm<sup>2</sup>, ki ima 191 % obremenljivosti glede na nadzemni vod (Stromar.si, 2012).

### 5.3.1 Hlajenje nadzemnih vodov

Hlajenje nadzemnih prostozračnih vodov, ki jih ves čas obkroža zrak, ki pa ni dober prevodnik toplote, omogoča predvsem konvekcija, katero pospešuje še prisotnost vetra. Kablovodi so zaradi debelih izolacijskih plasti slabše hlajeni, saj se hladijo na isti način kot nadzemni prostozračni vodi. Kabli so lahko vkopani v zemljo ali v obliki univerzalnega SN kabla v zraku. Hlajenje vkopanih kablov je odvisno od medsebojne bližine kablov, vlažnosti zemlje in temperature. Prenosna zmogljivost prostozračnih vodov se ob nižjih temperaturah poveča za razliko od vkopanih kablov, ki pa imajo večjo prenosno zmogljivost v času višjih temperatur zaradi nižje temperature v zemlji od nadzemnih prostozračnih vodov (Stromar.si, 2012).

### 5.3.2 Življenjska doba

Življenjska doba vodov je eden pomembnejših faktorjev pri projektiranju novih in rekonstrukciji obstoječih vodov. Na življenjsko dobo vplivajo tako leta obratovanja, način obratovanja, obremenitve, atmosferske razmere kot tudi vzdrževanje. V največji meri pa je dejavnik, ki vpliva na življenjsko dobo vodov, temperatura, o kateri pa smo nekaj že zapisali pri obremenljivosti vodov. Pri primerjanju življenjske dobe nadzemnih vodov in kablov pričakujemo, da vodi obratujejo v okviru predpisanih normativov za normalna obratovalna stanja. Povprečna življenjska doba za nadzemne vode z vodom tipa ACSR (Al/Fe) se ocenjuje na približno 40 do 50 let, za kable s PE izolacijo pa prav tako okoli 40 let, saj so ti kabli izpostavljeni močnim vplivom drevesenja (ang. treeing). Kabli z najnovejšimi XLPE izolacijami so na pojave drevesenja veliko manj občutljivi kot ostali (Stromar.si, 2012).

### 5.3.3 Drevesenje

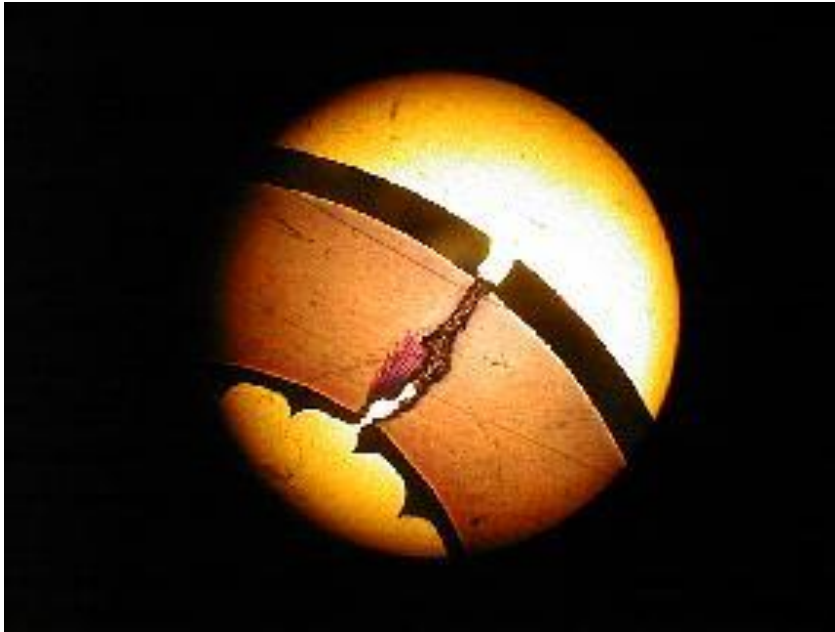
Pojav drevesenja je tesno povezan z življenjsko dobo kablov in je pojav, ki sčasoma privede do odpovedi trdne dielektrične izolacije in posledično do odpovedi kabla. Najpogostejše so okvare zaradi vodnih dreves, ki nastanejo kot posledica prisotnosti

vlage v izolaciji. Drugi razlog za odpoved kablov pa so električna drevesa, ki nastanejo zaradi preobremenitev.



*Slika 14: Vodna drevesa v kabelski izolaciji  
(Vir: CabLab Pty. Ltd., b.l.)*

Pojave drevesenja zasledimo predvsem v tako imenovanih starejših »rdečih« kablích s PVC in PE izolacijo. Pri obnovah obstoječih in gradnji novih kablovodov pa se uporabljajo kabli iz čistega polietilena oziroma XLPE kabli, ki imajo veliko boljše tehnične lastnosti in se pojavi drevesenja pojavijo predvsem zaradi nepravilne montaže, polaganja, nepazljivostih pri izkopavanjih, odrvih zemlje in napak pri sami izdelavi kablov (predvsem čistost XLPE izolacije).



*Slika 15: Preboj izolacij kot posledica vodnega in električnega drevesa  
(Vir: Powertech, b. l.)*

Kljub temu pa se na elektroenergetskih distribucijskih vodih v večjem številu pojavljajo okvare na nadzemnih vodih, saj so izpostavljeni raznim atmosferskim vplivom ter vplivom vegetacije na in ob trasah prostožračnih nadzemnih vodov, tako da so rekonstrukcije obstoječih ter novogradnje SN vodov s kablovodi z XLPE kabli ter SN univerzalnimi kabli praktično edina alternativa, da na kritičnih odsekih zamenjamo nadzemni vod s kablovodom ali univerzalnim kablom in tako povečamo obratovalno zanesljivost voda na celotni trasi.

## 6 AVTOMATIZACIJA SN VODOV

V začetnem obdobju so bili v SN omrežju vgrajeni le odklopniki z zaščito v RTP, na omrežju pa navadna ločilna stikala, s katerimi se je ročno manipuliralo. Sčasoma se je uvedla signalizacija ob izpadu odklopnika v RTP in kasneje še daljinsko posluževanje (prvo daljinsko voden RTP na območju Elektro Maribor je bil leta 1992 RTP Ljutomer). Kasneje so se v omrežju predelovale transformatorske postaje v težiščne (TP z daljinskim vodenjem) in začela so se vgrajevati daljinsko vodena ločilna mesta (DVLM) in lokatorji okvar.

### 6.1 Daljinsko vodena ločilna mesta

Funkcija daljinsko vodenih ločilnih mest, nameščenih na oporiščih daljnovodov SN je, da se čim prej opravi ločitev ali spojitev dveh sektorjev v omrežju SN oziroma da izloči iz obratovanja sektor, v katerem je prišlo do napake.

Stojno mesto DVLM je opremljeno:

- s stikalom s pogonom (ločilno stikalo ali odklopnik),
- s komandno omarico z opremo (komunikacijska naprava, akumulatorji, krmilna naprava s procesorjem ali zaščitni rele),
- z napetostnikom za napajanje.
- Zadnje čase v omrežje Elektro Maribor vgrajujemo DVLM z odklopniki z zaščito, ki so postali cenovno zelo dostopni. V samem ohišju stikala so običajno dograjeni tokovniki in napetostni senzorji.
- Daljinsko vodeno ločilno mesto (DVLM) je ločilno mesto, opremljeno s takšno stikalno napravo, ki omogoča izvajanje stikalnih manipulacij na daljavo iz distribucijskega centra vodenja (DCV) preko izbrane vrste komunikacije. Dispečer tako lahko na daljavo preko njih opravlja preklope oziroma ima nadzor nad omrežjem. V DCV je speljano:
  - komanda za vklop/izklop stikala,
  - komanda za vklop/izklop zaščit,
  - signali:
    - meritve (napetost pred in za stikalom, tok),
    - podatki zaščit,
    - podatek o stanju odklopnika,
    - podatek o komunikaciji,
    - signal za vstop.

## 6.2 Indikatorji okvarnih tokov

V SN omrežju imamo vgrajene indikatorje okvarnih tokov, ki so lahko enostavni in nam ob pregledu DV signalizirajo, da so zaznali tok okvare, lahko pa so naprednejši, ki nam preko GSM omrežja sporočijo, kje je prišlo do okvare.

Indikatorji okvarnih tokov večinoma ugotavljajo prisotnost električnega polja in sprememb magnetnega polja. Ob okvari pride do hitre spremembe magnetnega polja zaradi pojava sofazne komponente toka (zemeljski stik) ali zaradi iznenadnega povečanja toka (kratek stik). Temu pojavu sledi izklop voda v RTP in breznapetostno stanje. Lokator zazna te pojave kot okvaro v smeri od indikatorja k porabnikom, zaradi tega se aktivira.

## 7 IZBOLJŠANJE OBSTOJEČEGA STANJA NA REALNEM PRIMERU

### 7.1 Obstoječe stanje

SN omrežje oziroma del omrežja, katerega bomo obravnavali, je napajan iz RTP 110/20 kV Ptuj (izvod J 12 DV Dornava). Predmet obravnave je devet razpetin prostozračnega SN omrežja, odcep Slavšina D-156 med SM 15 do TP 20/0.4 kV Slavšina (T-149) Oporišča sestavljajo kostonjevi drogovi, ki so vkopani direktno v tla, vod pa je tipa ACSR (Al/Fe) 25/4 mm<sup>2</sup>, goli, aluminijasti vodnik z jeklenim jedrom, ki je pritrjen v jelka tipu razporeditve na drogu oziroma oporišču. Trasa obravnavanega SN prostozračnega voda poteka v dolžini 590 metrov in od tega 350 metrov po močno pogozdeni trasi. Prostozračno distribucijsko omrežje, ki ga obravnavamo, je izpostavljeno predvsem v času močnih snežnih padavin, zaradi katerih ob veliki teži snega prihaja do loma drevja oziroma vejevja, upogibanja krošenj, vej ali porušitve celih dreves. Zaradi tega prihaja do različnih okvar na omrežju, kot so kratki stiki, pretrgani vodniki ali celo porušitev daljnovoda. Ob nastanku okvar na obravnavanem delu omrežja imamo za posledico prekinitev napajanja voda v dolžini 14.558 metrov in 17 transformatorskih postaj, in sicer od DV-LM 909 do DV-LM 148 (Slika 3). Po lociranju okvar na obravnavanem območju s klasično metodo postopnih vklopov in izklopov progovnih stikal ter daljinsko vodenih stikal, katera so vgrajena v prostozračno mrežo daljnovoda, v normalno obratovalno stanje uspemo priklopiti velik del izpadlega daljnovoda. Do LM 071 v kraju Novinci tako zagotovimo napetost, vendar imamo še vedno 1.945 metrov nenapajanega SN voda in štiri transformatorske postaje.





Slika 16: Prikaz poškodbe zaradi snegoloma  
(Lastni vir)

## 7.2 Nadomestitev klasičnega nadzemnega daljnovoda z univerzalnim kablom AXCES 3 × 70/16 12/24 kV

Zaradi povečanja obratovalne zanesljivosti, dotrajanih oporišč, poteka trase po gozdu ali ob robu gozda in povečanja prenosne zmogljivosti (trenutno je 24-AL1/4-ST1A (3 × Al/Fe 25/4 mm<sup>2</sup>), je potrebna uporaba univerzalnega kabla AXCES 3 × 70/16 12/20(24), katerega prenosna zmogljivost je  $I_{\max} = 160$  A.

SN daljnovodi so izpostavljeni različnim dejavnikom, ki vplivajo na življenjsko dobo. Na staranje vplivajo napetostne in tokovne obremenitve, obratovalna leta, način obratovanja (v presledkih, konstantno), temperatura, vremenske razmere, način vzdrževanja ter ostali dejavniki. Življenjska doba daljnovodov je lahko do 50 let, čeprav so v normalnih pogojih obratovanja ter ustreznih vremenskih razmerah zmožni delovati še mnogo dlje, ampak se jih obnavlja iz preventivnih razlogov.

Življenjska doba kablovodov se nekoliko razlikuje od prostožračnih daljnovodov, saj je njihova šibka točka izolacija, ki z leti razpada in izgublja svojo izolacijsko sposobnost. Pri kablovodih je ocenjeno, da obstaja možnost kratkih stikov in drugih okvar, ko kablovod doseže 40 let obratovanja. Za razliko od prostožračnih

daljnovidov se kablovodi starajo ne glede na to, ali obratujejo ali ne, saj se zaradi zunanjih dejavnikov izolacija kablov slabša (Stromar.si, 2012).

### 7.3 Izračuni za načrtovanje novega dovodnega SN daljnovidov

V nadaljevanju bomo predstavili izračune kratkostičnih razmer na SN strani, izračun za SN 20 kV daljnovidov.

#### 7.3.1 Izračun kratkostičnih razmer na SN strani

Obstoječa TP Slavšina bo priključena na obnovljen SN 20 kV vod, odcep Slavšina, ki se bo priključil na obstoječ DV Slavšina 20 kV. DV 20 kV Slavšina se v normalnem obratovalnem stanju napaja iz RTP Ptuj, izvod J 12 DV Dornava. Po podatkih Elektra Maribor znaša kratkostična moč na 20 kV zbiralkah v RTP Ptuj  $S_k'' = 270,1 \text{ MVA}$ , čas kratkega stika pa znaša  $t = 0,3 \text{ s}$ .

- **Izračun kratkostične impedance SN 20 kV voda v RTP Ptuj**

$$Z_Q = c \cdot \frac{U_n^2}{S_k} = 1,1 \cdot \frac{(20 \cdot 10^3)^2}{350 \cdot 10^6} = 1,629 \Omega$$

$$Z_Q = \sqrt{R_Q^2 + X_Q^2} = 1,005 \cdot X_Q \Rightarrow X_Q = Z_Q \cdot 0,995 = 1,620 \Omega$$

$$R_Q = 0,1 \cdot X_Q = 0,1 \cdot 1,251 = 0,162 \Omega$$

$$\underline{Z}_Q = R_Q + jX_Q = (0,162 + j1,620) \Omega$$

Pomen oznak:

$c$  konstanta za distribucijske vode je 1,1,

$Z_Q$  kratkostična impedanca voda v RTP PTUJ,

$U_n$  primarna nazivna napetost 20 Kv,

$S_k''$  kratkostična moč tripolnega kratkega stika na 20 kV zbiralkah v RTP Ptuj, ki znaša 270.1 MVA.

- **Izračun kratkostične impedance SN 20 kV voda od RTP Ptuj do TP Slavšina z odcepnim daljnovodom**



*Slika 17: Topološka shema SN 20 kV voda z novim napajalnim SN 20 kV daljnovodom  
(Lastni vir)*

Po topološki shemi na Sliki 17 bomo izračunali kratkostične razmere na SN strani. SN izvod Dornava je izveden s tipi vodnikov, ki so navedeni v Tabeli 6. Pod 8. točko v tabeli spodaj se upošteva novi del daljnovoda, ki je nadomeščen z univerzalnim kablom AXCES 3 × 70/16 12/24 kV.

	NAZIVNI PRESEK VODNIKA IN TIP VODA	l (km)	r (Ω/km)	x (Ω/km)	R <sub>v</sub> (Ω)	X <sub>v</sub> (Ω)
1.	NA2X(F)2Y 3 × 1 × 150/26 mm <sup>2</sup>	0,579	0,2590	0,1916	0,1500	0,1109
2.	Al-Fe 3 × 70 mm <sup>2</sup>	3,258	0,4130	0,3200	1,3456	1,0426
3.	NA2X(F)2Y 3 × 1 × 150/26 mm <sup>2</sup>	0,173	0,2590	0,1916	0,0448	0,0331
4.	Al-Fe 3 × 70 mm <sup>2</sup>	10,176	0,4130	0,3200	4,2027	3,2563
5.	AXCES 3 × 70/16 mm <sup>2</sup>	2,236	0,4400	0,1036	0,9838	0,2316
6.	Al-Fe 3 × 70 mm <sup>2</sup>	3,329	0,4130	0,3200	1,3749	1,0653
7.	Al-Fe 3 × 35 mm <sup>2</sup>	1,023	0,8350	0,3410	0,8542	0,3488
8.	AXCES 3 × 70/16 mm <sup>2</sup> (nadomesti Al-Fe) 3 × 25 mm <sup>2</sup>	0,590	0,4400	0,1036	0,2596	0,0611
		L = 21,364			R <sub>v</sub> = 9,2155	X <sub>v</sub> = 6,1499

*Tabela 6: Podatki ohmske upornosti in induktivnosti za nazivni presek daljnovodne vrvi in kablov ter rezultati impedanc  
(Lastni vir)*

$$R_v = \frac{r \cdot l}{1000}$$

$$X = \frac{r \cdot l}{1000}$$

$$Z_V = R_V + jX_V = (9,2155 + j6,1499) \Omega$$

$$Z_V = \sqrt{R_V^2 + X_V^2} = \sqrt{9,2155^2 + 6,1499^2} = 11,079 \Omega$$

Pomen oznak:

$Z_V$  impedanca omrežja (celotnega izvoda),  
 $r$  ( $\Omega/\text{km}$ ) ohmska upornost vodnika na kilometer,  
 $x$  ( $\Omega/\text{km}$ ) induktivna upornost vodnika na kilometer.

- **Izračun skupne kratkostične impedanace SN 20 kV voda do TP Slavšina**

$$Z_{20} = Z_Q + Z_V = (0,162 + j1,620) + (9,2155 + j6,1499)$$

$$Z_{20} = (Z_Q + Z_V) \Omega$$

$$Z_{20} = (9,3775 + j7,7699) \Omega$$

$$Z_{20} = \sqrt{(R_{20} + X_{20})} = \sqrt{(9,3775^2 + 7,7699^2)} = 12,178 \Omega,$$

kjer pomeni:

$Z_{20}$  skupna kratkostična impedanca.

- **Izračun začetnega simetričnega toka kratkega stika**

$$I_k'' = c \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{20}} = 1,1 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12,178} = 1,04 \text{ Ka}$$

kjer pomeni:

$I_k''$  začetni simetrični tok kratkega stika,  
 $c$  konstanta, za distribucijska omrežja je 1,1.

- **Izračun udarnega toka kratkega stika**

$$i_u = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,046 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,04 \cdot 10^3 = 1,538 \text{ kA}$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_{20}}{X_{20}}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{9,3775}{7,7699}} = 1,046,$$

kjer pomeni:

$i_u$  udarni tok kratkega stika,  
 $\kappa$  faktor, odvisen od razmerja R/X.

- **Izračun trajnega kratkostičnega toka**

Ker bo kratek stik daleč od generatorja, velja za trifazni kratki stik sledeče:

$$I_k = I_k'' \Rightarrow I_k = 1,04 \text{ kA v } 20 \text{ kV omrežju,}$$

kjer pomeni:

$I_k$  trajni tok kratkega stika.

- **Izračun temperaturno ekvivalentnega kratkotrajnega toka**

$$I_{the} = I_k'' \cdot \sqrt{(m + n)} = 1,04 \cdot 10^3 \sqrt{(0,1 + 1)} = 1,09 \text{ kA,}$$

kjer pomeni:

$I_{the}$  temperaturno ekvivalenten kratkotrajni tok,

$m, n$  faktorja vplivanja enosmerne (faktor  $m = 0,1$ ) in izmenične komponente (faktor  $n = 1$ ) udarnega toka kratkega stika.



## Osnovni podatki

Naziv objekta:	DV 20 kV Slavšina 1 (D-156)
Nazivna napetost:	20 kV
Trasna dolžina (zamenjave vodnikov):	600 m
Tokovodniki obstoječi (demontaža):	24-AL1/4-ST1A (3 × Al/Fe 25/4 mm <sup>2</sup> )
Tokovodniki predvideni:	AXCES 3 × 70/16 12/24 kV 590 m)
Največja natezna napetost:	AXCES 3 × 70/16: $\sigma_{\max} = 46 \text{ N/mm}^2$
Število novih betonskih drogov:	1 × K12
Število novih lesenih impregniranih drogov:	6 × N10, 1 × KA10

Predvidena obesna oprema za SN univerzalni kabel AXCES:

- 6 kpl nosilno varnostno obešanje (impregnirani N-drog),
- 1 kpl zatezno obešanje (obstoječi betonski K12-drog),
- 1 kpl razbremenilno obešanje (predviden betonski K12-drog),
- 1 kpl končno zatezno obešanje (vključitev univerzalnega kabla v obstoječo TP Slavšina (T-149) tip TJ 250R),
- ločilno stikalo: eno vertikalno ločilno stikalo 24 kV/630 A.

## Argumentacija za predvidena dela

Zaradi povečanja obratovalne zanesljivosti, dotrajanih oporišč, poteka trase po gozdu ali ob robu gozda in povečanja prenosne zmogljivosti (trenutno je 24-AL1/4-ST1A (3 × Al/Fe 25/4 mm<sup>2</sup>) je potrebna uporaba univerzalnega kabla AXCES 3 × 70/16 12/20(24), katerega prenosna zmogljivost je  $I_{\max} = 160 \text{ A}$ .

Dela se bodo vršila v skladu z Uredbo o vzdrževalnih delih v javno korist na področju energetike (Ur. l. RS št. 37/2018).

## Pri izdelavi projektne dokumentacije je bilo upoštevano:

- Standard SIST EN 50341-1:2013 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV - 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila,
- Standard SIST EN 50423-3-21:2009 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV in do vključno 45 kV – 3 – 21. del: Nacionalna normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50423-1:2005),
- Standard SIST EN 50423-1:2005 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV in do vključno 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila,
- Standard SIST EN 50182:2002/AC:2013 Vodniki za nadzemne vode – pletene vrvi iz koncentrično ležeče okrogle žice,
- Tipizacija daljnovodov 10 in 20 kV (leseni drogovci – vodniki, razporejeni v trikotu) (januar 1965, zvezek 15),

- Tipizacija daljnovodov 20 kV na betonskih drogovih (ravne betonske konzole z visečimi izolatorskimi verigami) (januar 1989, zvezek 10),
- Tabele povosov, nateznih sil in nateznih napetosti za vodnike (Al/Fe) nadzemnih omrežij, Elektro Maribor, d. d. (1999),
- Tabele povosov, nateznih sil in nateznih napetosti za univerzalne kable Ericsson, MR, d. o. o. (2014),
- Smernice pri gradnji in zamenjavi dotrajanih lesenih drogov distribucijskega nadzemnega omrežja EMB (junij 2015),
- GIZ TS-1 Enožilni energetski kabli, tehnična smernica za material in dobavo (september 2013),
- GIZ TS-6 Tehnični podatki distribucijskega EEO (junij 2014),
- GIZ TS-7 Smernice za gradnjo nadzemnih vodov, tehnična smernica za gradnjo (junij 2014),
- GIZ TS-10 SN univerzalni energetski kabli, tehnična smernica za material in dobavo (februar 2015),
- Navodilo za uporabo tipov in prerezov vodnikov v SN omrežju Elektro Maribor, d. d. (april 2016).

### **Predvidena glavna dela**

- dobava in priprava lesenih drogov in drogovnikov,
- zamenjava dotrajanih lesenih N-drogov in KA-droga,
- montaža opreme na obstoječi K12-drog in montaža vertikalnega ločilnega stikala,
- montaža novega K12-droga z opremo,
- dobava in montaža obešanj univerzalnega kabla AXCES,
- montaža univerzalnega kabla AXCES  $3 \times 70/16$  12/20(24) kV,
- demontaža obstoječih golih vodnikov in obstoječe obesne opreme.

### **Oporišča DV 20 kV**

Uporabljeni bodo leseni impregnirani drogovni (bor) z dimenzijami  $d = 18$  cm in  $D = 25$  cm. Vsi novi leseni drogovni bodo vpeti v betonske drogovnike.

### **Izračun prelomnega momenta oporišč**

Izračun je narejen za razpetino med oporiščem številka 9 in oporiščem številka 10. V skladu s standardom SIST EN 50423-3-21:2009 je potrebno izdelati izračun za različne primere obtežb. Prikazan je le izračun za primer obtežbe A (stalna obtežba in obtežba v smeri X), ki se je izkazal za najmanj ugodnega.



**Podatki, ki so bili upoštevani pri izračunih:**

- Tip droga: impregniran drog, vpet v drogovnika
- Višina droga  $h$ : 10 m
- Tip vodnika: AXCES 3 x 70/16 12/20(24) kV
- Specifična teža vodnika  $\rho_v$ : 1,75 kg/m
- Število kablov  $n$ : 1
- Premer kabla  $d_v$ : 0,045 m
- Višina vpetja kabla  $h_{L1}$ : 9,8 m
- Razpetina OP 17–OP 18  $L1$ : 80 m
- Razpetina OP 18–OP 19  $L2$ : 80 m
- Največji povos (temperatura + 40 °C): 1,70 m
- Dinamični tlak vetra  $q$ : 500 N/m<sup>2</sup>
- Maksimalna natezna napetost kabla  $\sigma$ : 46 N/mm<sup>2</sup>

**Sila vetra****Sile vetra na vodnike:**

$$Q_{wc} = q * G_c * C_c * d_v * L * \cos^2 = 2,03 \text{ kN},$$

kjer je:

$G_c$  faktor razpetine,

$C_c$  faktor zračnega upora za vodnika,

$$L = (L1 + L2)/2.$$

**Sila vetra na drog:**

$$Q_{wpol} = 1,1 * q * C_x * A_{pol} = 0,88 \text{ kN},$$

kjer je:

$A_{pol}$  projekcija vetru izpostavljene površine droga,

$C_x$  faktor zračnega upora za drogo.

**Potrebno je izračunati redukcijo sile na vrhu droga:**

$$Q_{wpol\_red} = 1,1 * \frac{1}{3} * \frac{2*d+D}{d+D} * \frac{1}{h} = 0,42 \text{ kN},$$

kjer je:

$l$  dolžina droga,

$d$  premer droga na vrhu,

$D$  premer droga na dnu.

## Obtežba žleda

**Obtežba žleda:**  $qn = f * 1,8 * \sqrt{dv} = 0,61 \text{ N/m}$ ,

kjer je:

$f$  faktor, odvisen od cone žleda.

## Kontrola drogovnika

- **Moment sile vetra na vodnike:**  $M_{wc} = Q_c * hL1 = 19,9 \text{ kNm}$ .
- **Moment sile vetra na drog:**  $M_{wpol} = Q_{wpol\_red} * hL1 = 4,1 \text{ kNm}$ .
- **Skupni moment na drogovnik:**  $M_{sk} = \gamma_w * (M_{wc} + M_{wpol\_red}) = 32,4 \text{ kNm}$ .

## Pomen oznak:

$\gamma_w$  delni varnostni faktor za obtežbe vetra.

$$M_{drogovnik} > M_{sk} \quad 40 \text{ kNm} > 32,4 \text{ kNm}$$

## Navodilo za montažo vodnikov na nosilne drogove

Pri napenjanju tokovodnikov je potrebno upoštevati navedeno maksimalno dovoljeno natezno napetost. Potrebno je paziti, da se z nepravilnim napenjanjem ne prekorači projektirana vrednost. Zaradi tega je potrebno zatezne drogove začasno zasidrati in s tem zavarovati konstrukcijo droga proti nenormalnim navpičnim in vodoravnim obtežbam. Sidranje drogov z vrvjo naj bo izvedeno tako, da kot sidranja ne bo večji od  $60^\circ$ . Tudi pri prekinitvah montaže vrvi je potrebno obesišče na drogu zasidrati, da ne obremenimo konstrukcije na nepredvidene obtežbe. Pri tem se je potrebno posebno izogibati torzijskim obtežbam. Začasno sidranje droga ima zraven statičnih zahtev še varnostno zaščitne ukrepe.

## Temeljenje armiranobetonskega droga

Ocenjena nosilnost tal znaša  $0,15 \text{ MPa}$ . Pri izkopu je potrebno upoštevati dejansko nosilnost tal. Temeljenje betonskega droga tip K 12 bo izvedeno po tipizaciji EGS, snopič 10, risba 08, tip BK1.

## Obesna oprema

Na nove drogove bo montirana nova obesna oprema za predviden univerzalni kabel AXCES  $3 \times 70/16 \text{ 12/20(24) kV}$ . Uporabljena bo naslednja obesna oprema:

- 6 kpl nosilno varnostno obešanje (impregnirani N-drog),
- 1 kpl zatezno obešanje (obstoječi betonski K12-drog),

- 1 kpl razbremenilno obešanje (predvideni betonski K12-drog),
- 1 kpl končno zatezno obešanje (TP tip TJ 250R).

### **Tokovodniki**

Uporabljeni bodo tokovodniki:

- tokovodniki tipa 24-AL1/4-ST1A,
- univerzalni kabel tipa AXCES 3 × 70/16 12/20 kV.

Tokovodniki tipa 24-AL1/4-ST1A bodo pritrjeni na kompozitne podporne izolatorje, tipa PKI NM oziroma tipa PKI LM in na kompozitne izolatorske verige. Predvidene kompozitne izolatorske verige bodo s petimi rebri, tip NKI L/UU, proizvajalca Izoelektro.

Najmanjša dopustna razdalja med faznimi vodniki sme skladno s standardom SIST EN 50423-1:2005 znašati  $D_{pp} = 0,25$  m. Razdalje med vodniki ustrezajo zahtevi najmanjše dopustne razdalje med vodniki.

### **Univerzalni kabel tipa acexs 3 × 70/16 12/20 KV**

Na odseku od oporišča 15 (D-156) do TP Slavšina (T-149) bodo obstoječi goli vodniki tipa 24-AL1/4-ST1A (Al/Fe 3 × 25/4 mm<sup>2</sup>) demontirani. Uporabljeni bodo novi tokovodniki, to so SN univerzalni kabel AXCES 3 × 70/16 12/20(24) kV.

Za lažjo montažo kabla mora biti del kabla brez plašča, žile pa morajo biti od 15 do 20 centimetrov prirezane za namestitev nogavice. Pri vlečenju in montaži kabla je potrebno paziti, da ne poškodujemo zunanjšega plašča.

Po navodilih proizvajalca polmer krivljenja kabla ne sme biti manjši od 350 milimetrov, sila vlečenja kabla pa ne sme preseči 27 kN (AXCES).

Na koncih bo kabel zaključen s kabelskimi glavami za zunanjo montažo za trižilne univerzalne kable. Ekran SN univerzalnega kabla bo na obeh koncih ozemljen.

SN univerzalni kabel bo izveden kot nadzemni vod in bo z ustrezno obesno opremo pritrjen na obstoječa oporišča. Po podatkih proizvajalca lahko maksimalna natezna napetost univerzalnega kabla znaša  $\sigma_{max} = 4,6$  daN/mm<sup>2</sup>.

Univerzalni kabel se z uporabo dinamometra napenja z napenjalnimi silami, navedenimi v povestni tabeli za kabel AXCES 3 × 70/16 mm<sup>2</sup> 12/24 kV po podatkih proizvajalca:

Temperatura v času montaže [°C]	Natezna sila [kN]	Poves [m] pri različni dolžini razpetin [m]					
		60	80	90	100	110	120
20	9,1	0,87	1,55	1,96	2,4	2,9	3,5
10	9,6	0,83	1,47	1,86	2,3	2,8	3,3
0	10,1	0,78	1,39	1,75	2,15	2,6	3,1
- 10	10,8	0,73	1,3	1,65	2,0	2,4	2,9
- 20	11,5	0,68	1,21	1,54	1,9	2,3	2,7

Tabela 7: Povesna tabela za AXCES 3 × 70/16 24 kV  
(Vir: Ericsson, 2002)

### Montaža zatezne spirale

Zatezno spiralo lahko montiramo na kabel na drogu ali na tleh, vendar se montaže na samem drogu izogibamo. Postopek je nekoliko otežen, ker lahko vlečna vrv med samim napenjanjem in vlečno sponko zelo ovira samo nameščanje spirale na kabel. V primeru, da montiramo spiralo na drogu, se uporabi avtodvigalo s košaro ali gradbeni oder, saj je dolžina spirale prevelika za nameščanje neposredno iz droga. Tako se vedno priporoča namestitvev spirale in končnika na zemlji, kjer je le-to možno. Z žičnim nategom in vlečno sponko namestimo spiralo z napenjalnim vijakom na predvideno sidrišče na drogu. Ob koncu montaže univerzalnega kabla na drog lahko drobne nastavitve izvedemo z napenjalnim vijakom, ki je montiran med sidriščem na drogu in zatezno spiralo (Ericsson, 2002).



Slika 19: Oporišče 21 (montirane zatezne spirale na univerzalnem kablu)  
(Lastni vir)

## Obratovalne in kratkostične razmere

Po podatkih proizvajalca NKT cables je lahko SN univerzalni kabel AXCES 3 × 70/16 12/20(24) kV (v skladu z IEC 60502-2) obremenjen s tokom:

	V zraku 25 °C	V zemlji 15 °C
AXCES 3 × 70/16 12/20(24) kV	160 A	190 A

*Tabela 8: Prenosna zmogljivost SN univerzalnega kabla AXCES 3 × 70/16 12/20(24) kV  
(Vir: Ericsson, 2002)*

Po zgornji tabeli lahko v našem primeru prenašamo:

$$S = \sqrt{3} \times U \times I_{dop} = \sqrt{3} \times 20 \times 160 = 5,54 \text{ MVA (AXCES)},$$

kjer pomenijo:

$S$  prenosna zmogljivost kabla (MVA),

$U$  obratovalna napetost (20 kV),

$I_{dop}$  dopustni tok kabla (A).

Dopustni maksimalni tok kratkega stika za SN kabel AXCES 3 × 70/16 12/20(24) kV znaša 8 kA (1 s) pri temperaturi vodnika 250 °C .

## Zaščita

Obstoječi 20 kV DV Slavšina 1 (D-156) je zaščiten skupaj z obstoječimi daljnovodi s kratkostično, pretokovno, pretokovno zemljostično, smerno zemljostično ter VON (visokoohmska napaka) zaščito daljnovoda v RTP 110/20 kV Ptuj (izvod J 12 DV 20 Dornava).

## Izolacija

Daljnovod je zgrajen za izolacijski nivo 24 Si 50/125. Novi izolatorji se vgrajuje tako, kot določajo pravilniki ter tehnični predpisi, in sicer v novogradnjo, rekonstrukcije in pri rednem vzdrževanju. Novi izolatorji morajo vzdržati napetosti, kot jih določa standard SIST EN 61936-1.

## Opozorilne tablice in oštevilčenje drogov

Vsi drogovi morajo biti opremljeni z opozorilnimi napisi »Nevarnost električnega toka« in z zaporedno številko oporišča.

## Ozemljitev prenapetostnih odvodnikov in ločilnika

Za pravilno delovanje odvodnikov prenapetosti, ki bodo montirani na oporišču številka 15 in številka 21 (D-156), se upošteva ozemljitvena upornost  $R_{\text{dop}} \leq 5 \Omega$ . Po podatkih OE Ptuj (ocena) znaša specifična upornost tal  $\rho = 140 \Omega\text{m}$ .

Za doseg priporočene ozemljitvene upornosti (do  $5 \Omega$  prenapetostnih odvodnikov bo potrebno položiti pocinkani valjanec (Fe-Zn  $25 \times 4 \text{ mm}$ )) najmanj dolžine:

$$l_5 = \frac{2 \times \rho}{R} = \frac{2 \times 140}{5} = 56 \text{ m} \approx 60 \text{ m},$$

kjer pomenijo:

- $\rho$  specifično upornost zemlje,
- $R$  ozemljilna upornost,
- $K$  faktor, odvisen od dolžine  $l$ , širine pocinkanega valjanca in globine vkopa in
- $L$  dolžina položenega ozemljila.

Za ozemljilo bo uporabljen pocinkani valjanec (Fe-Zn  $25 \times 4 \text{ mm}$ ). Vsi spoji v zemlji bodo izvedeni z ustreznimi sponkami in premazi z bitumensko smolo. Na potencialno ozemljilo droga, na katerega bodo montirani prenapetostni odvodniki in ločilnik, bo na globini 0,6 metra v zemlji položeno ozemljilo zgoraj izračunanih dolžin v obliki treh krakov, med katerimi kot križanja ne sme biti manjši od  $60^\circ$ . Ekran univerzalnega kabla AXCES 20 kV na drogu, odvodniki prenapetosti in vsi kovinski deli novo nameščene opreme, ki normalno niso pod napetostjo, pri okvarah pa lahko pridejo pod napetost neposredno ali preko električnega oblaka, morajo biti ozemljeni.

**Opomba:** Po izvedbi je potrebno prekontrolirati vrednost ozemljitvene upornosti in po potrebi dopolniti ozemljila.

## Izvedba ozemljitve

Ozemljitev nosilca odvodnikov prenapetosti se izvede s Fe/Zn  $20 \times 4 \text{ mm}$  ali vrvjo Al  $35 \text{ mm}^2$ , ki se pritrdi na nosilec z vijakom M12 in na valjanec, kjer se pritrdi s križno sponko (JUS N.B4.936) ter premaže z bitumensko smolo.

Po izvedbi ozemljitve se izmeri ozemljitvena upornost položenega valjanca. V primeru izmerjene vrednosti, večje od  $5 \Omega$ , je potrebna ustrezna dopolnitev ozemljitve.

Meritev ozemljitvene upornosti se kontrolira ponovno v suhem vremenu. S strani Službe obratovanja morajo biti zagotovljeni redni pregledi 20 kV DV izvedenega z univerzalnim kablom.

Dodatno se morajo izvajati izredni pregledi DV ob vsakih večjih neugodnih vremenskih razmerah (žled, snegolom, neurja itd.).

## **Preizkus kablov po izvedbi del**

Za v nalogi obravnavani primer (in na splošno za vse na novo zgrajene) je potrebno izvesti preizkus kablov po polaganju. Namen preizkusa SN univerzalnih kablov po izvedbi del je, da se ugotovijo obratovalne sposobnosti le-tega. Zaradi tega je pri izvajanju del potrebno z njimi ravnati previdno in se držati vseh navodil proizvajalca, da ne bi prišlo do poškodb izolacije ali do vdora vlage v kabel. V ta namen bo opravljen preizkus kvalitete izolacije in ekrana obratovalnega kabla. Preizkus kabla se opravi takoj, po opravljenih delih, v smislu veljavnih predpisov.

## **Varstvo okolja in ravnanje z odpadki**

Pri izvedbi predvidenih del mora izvajalec del, njegovi podizvajalci, kooperanti in drugi zunanji sodelavci upoštevati določila Zakona o varstvu okolja (ZVO-1-UPB1; Ur. l. RS 39/06, ZVO-1B; Ur. l. RS 70/08), Uredbe o odpadkih (Ur. l. RS 37/15), Uredbe o ravnanju z odpadki, ki nastanejo pri gradbenih delih (Ur. l. RS 34/20) in internih navodil za ravnanje z odpadki družbe Elektro Maribor, januar 2006.

Za ravnanje z odpadki na gradbišču je v celoti odgovoren investitor. Vsi odpadki in demontirana oprema so last in breme investitorja, ki pa lahko pooblasti izvajalca del, da v njegovem imenu preda nastale odpadke zbiralcu ali predelovalcu odpadkov. Ne glede na to, kdo preda odpadke, mora investitor ob predaji vsake pošiljke odpadkov pridobiti od prevzemnika odpadkov izpolnjen evidenčni list in voditi evidenco o vrstah in količinah nastalih gradbenih odpadkov na posameznem objektu (Interno gradivo Elektro Maribor d.d., 2018).

### **Glede ravnanja z odpadki in varstva okolja velja:**

- Izvajalec del sme na gradbišču začasno skladiščiti nastale odpadke ločeno po vrstah iz klasifikacijskega seznama odpadkov. Skladiščenje je treba organizirati tako, da je onemogočeno onesnaženje okolja v smislu izlita ali razsutja določene vrste odpadkov in preprečiti medsebojno mešanje posameznih vrst odpadkov. Če na gradbišču ni mogoče zagotoviti varnega začasnega skladiščenja odpadkov, je potrebno organizirati odlaganje v zabojnike, ki so nameščeni na gradbišču ali ob njem in so prirejeni za odvoz brez kasnejšega prekladanja.
- Pri delih na objektih Elektro Maribor je lastnik demontirane opreme OE, na območju katere se izvajajo gradbena dela. Investitor se lahko z izvajalcem del dogovori za odvoz odpadkov na lokacijo OE, zbirnega centra Radvanje ali k pooblaščenemu zbiralcu ali predelovalcu, kjer jih le-ta preda v njegovem imenu. V evidenčnem listu, ki spremlja vsako pošiljko odpadkov, mora biti kot imetnik odpadkov vpisan investitor.
- Prevzem nevarnih odpadkov izvajajo specializirani prevzemniki tudi neposredno na gradbišču. Elektro Maribor ima za predajo nevarnih odpadkov sklenjeno pogodbo z izbranim izvajalcem.

- V primeru razlitja, razsutja ali izpusta nevarnih snovi v okolje je treba takoj omejiti nadaljnje širjenje onesnaženja, obvestiti odgovorne osebe na gradbišču in sanirati nastalo onesnaženje okolja. V primeru velike okoljske nesreče je treba obvestiti Center za obveščanje (telefonska številka 112) in odgovorne osebe v družbi.

Ravnanje z nastalimi odpadki mora potekati v skladu z veljavno okoljsko zakonodajo, politiko ravnanja z okoljem družbe Elektro Maribor in zahtevami standarda ISO 14001:2005 (Elektro Maribor d.d., 2018).

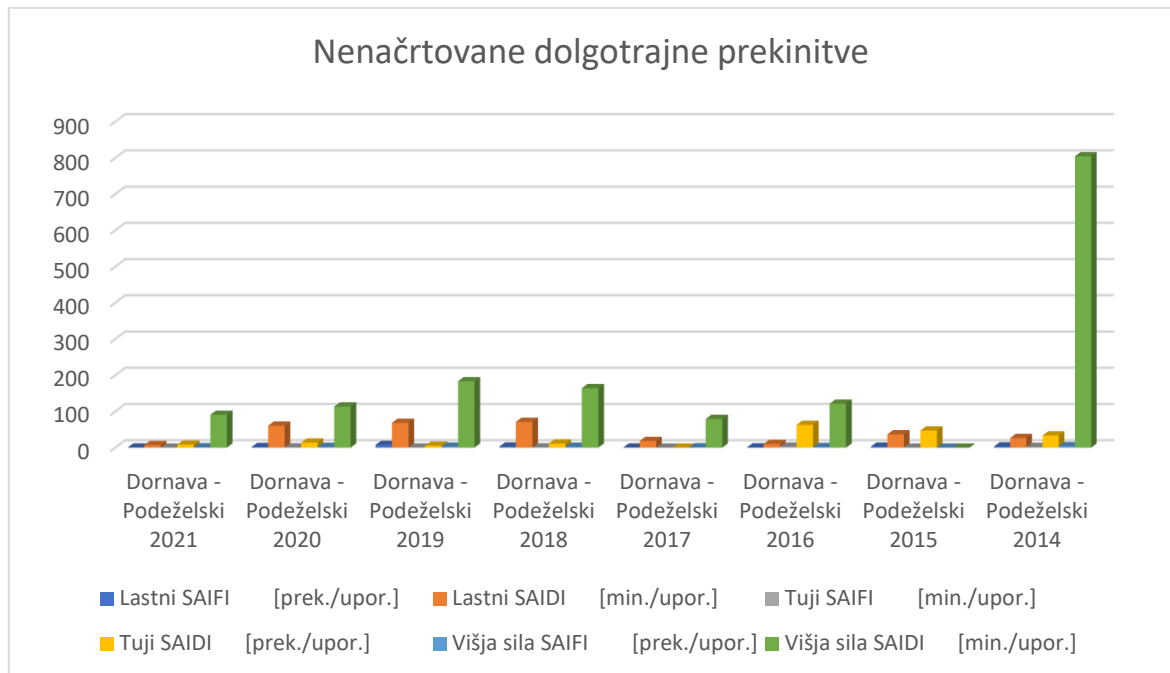


## 9 FAKTORJI ZANESLJIVOSTI

V spodaj prikazani tabeli (Tabela 9) smo prikazali podatke za pretekla leta, navezali smo se na nenačrtovane dolgotrajne prekinitve na izvodu Dornava. Prikazati želimo izboljšanje kazalnikov zanesljivosti na omenjenem SN izvodu Dornava, na katerem se je od leta 2018 izvajalo obsežno število rekonstrukcij kritičnih odsekov SN prostozračnega omrežja z namenom zagotoviti neprekinjeno napajanje odjemalcev in s tem večjo obratovalno zanesljivost.

	Nivo izračuna	Izvod					
	Vzrok prekinitve	Lastni		Tuji		Višja sila	
	RTP/Izvod	SAIFI [prek./upor.]	SAIDI [min./upor.]	SAIFI [min./upor.]	SAIDI [prek./upor.]	SAIFI [prek./upor.]	SAIDI [min./upor.]
D	Dornava - Podeželski 2021	0,512	6,976	0,120	8,369	0,988	90,772
	Dornava - Podeželski 2020	1,865	60,619	0,582	13,920	1,962	113,409
	Dornava - Podeželski 2019	7,422	68,368	0,401	5,247	2,831	183,313
	Dornava - Podeželski 2018	3,095	71,149	0,679	11,279	2,235	164,123
	Dornava - Podeželski 2017	0,497	18,315	0	0	1,045	79,286
	Dornava - Podeželski 2016	0,690	9,901	2,732	62,782	1,805	121,147
	Dornava - Podeželski 2015	2,814	36,783	0,187	47,013	0	0
	Dornava - Podeželski 2014	3,255	26,488	1,927	33,639	4,154	804,157

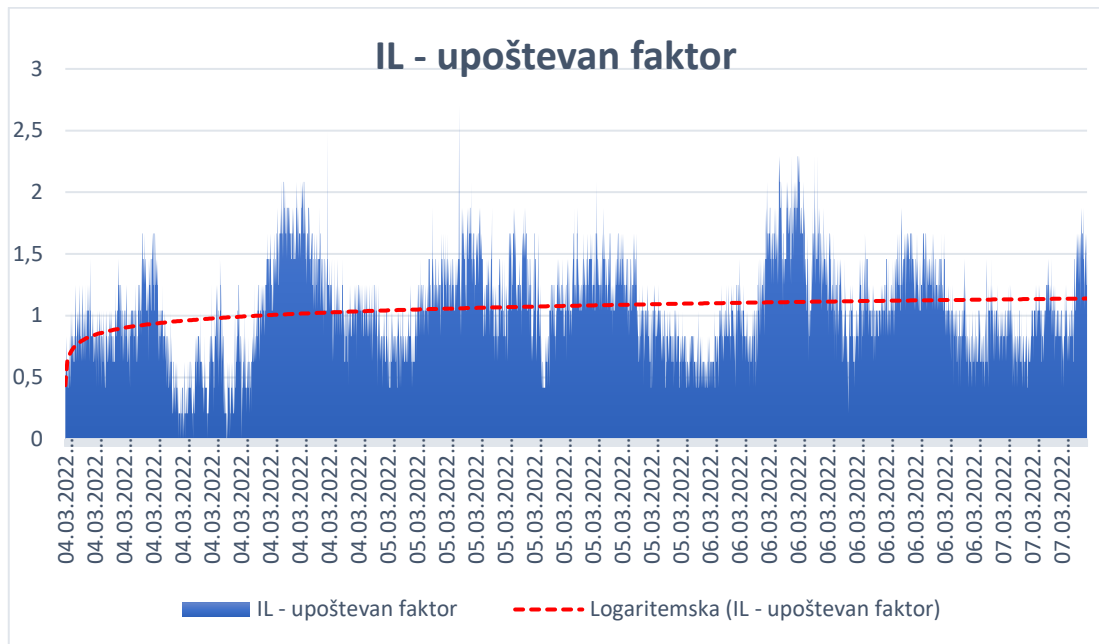
Tabela 9: Faktorji nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitev  
(Lastni vir)



**Graf 2: Prikaz nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvev**  
(Lastni vir)

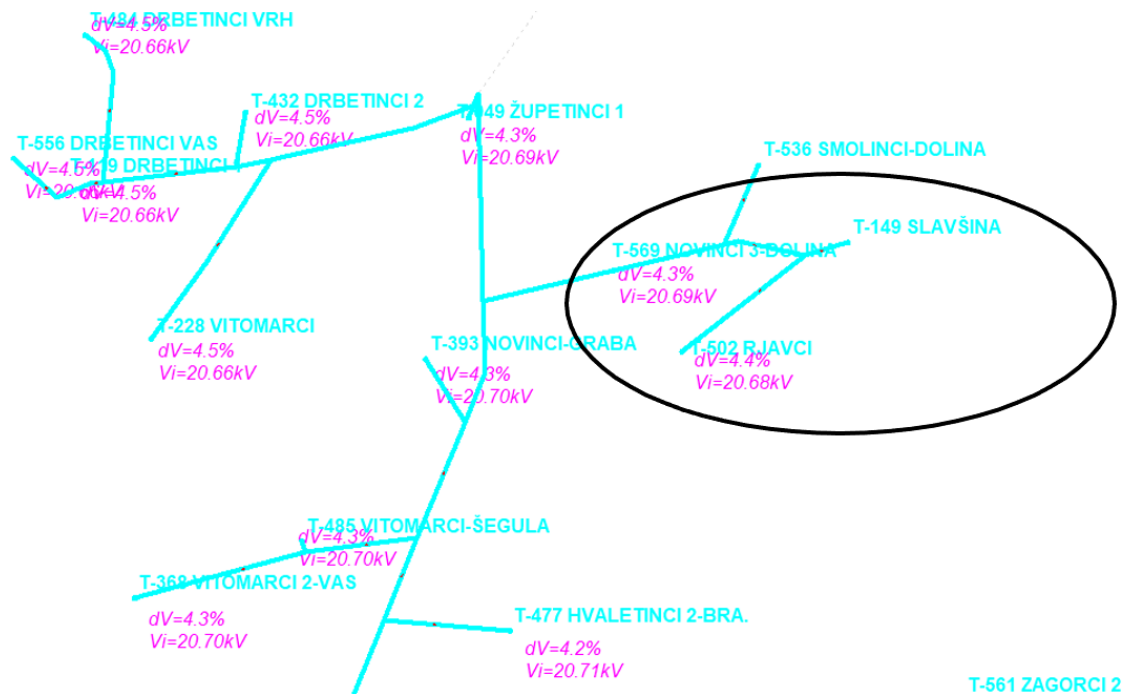
Iz zgoraj prikazanega grafa (Graf 2) lahko razberemo, da so se sami kazalniki zanesljivosti pri nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvah po letu 2019 pričeli izboljševati. Bistveni dodatek k tem izboljšavam moramo pripisati, kot smo v diplomski nalogi prikazali enega od primerov zamenjave golih vodnikov skozi kritična mesta, kjer so največje možnosti okvar, s SN 20 kV univerzalnim kablom. Zelo izstopajoče je leto 2014, za katero pa je znano, da je bilo v začetku leta območje Slovenije ujeta v primež ledu, v pozni jeseni pa so še sledile posledice izjemno močnega vetra, ki je podiral drogove in drevesa na vodnike na območju Ptuja, okolice Maribora in Pomurja.



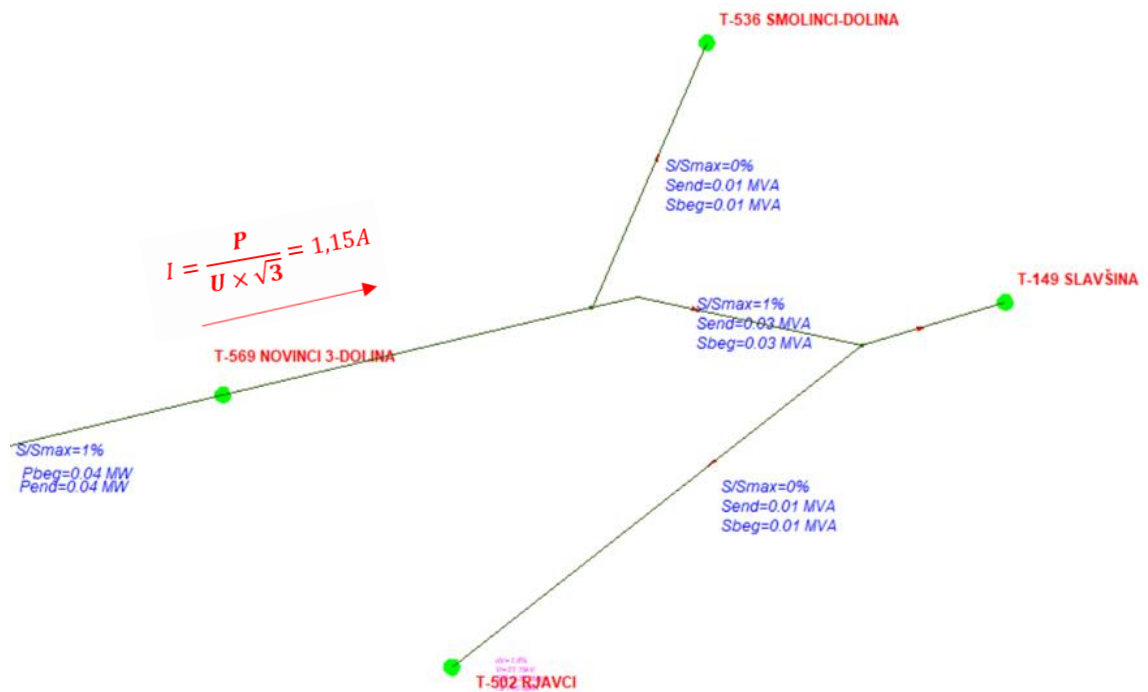


Graf 3: Meritev toka na DV Slavšina 1  
(Lastni vir)

**Prikaz izračuna napetosti in pretokov s programom GREDOS**



Slika 21: Izračun napetosti s programom GREDOS  
(Lastni vir)



Slika 22: Izračun pretokov s programom GREDOS  
(Lastni vir)

## 11 ZAKLJUČEK

V podjetju Elektro Maribor, d. d., stremimo k zagotavljanju nemotene ter kvalitetne električne energije. Posledično je v porasti obseg investicij na področju vlaganj v naprave tako v nizkonapetostno kot sredjenapetostno omrežje. Za rekonstrukcijo in nadgradnjo SN daljnovoda je potrebno veliko znanja ter nenehno spremljanje novih zakonov, predpisov in smernic.

Cilj diplomske naloge je bil skozi projektno dokumentacijo prikazati in opisati rekonstrukcijo SN daljnovod Slavšina 1 (D-156). Rekonstrukcija je bila potrebna zaradi dotrajanosti oporišč ter številnih okvar na tem odseku daljnovoda, ki so botrovali k višanju kazalnikov zanesljivosti oskrbe z električno energijo. Trasa daljnovoda je umeščena skozi gozd, ki pa je bil ob vremenskih neprilikah v veliki meri vzrok za nastale izpade daljnovoda. Kljub rednim ter preventivnim izvajanjem posekov ob trasi daljnovoda ni bilo možno zadostiti zadostne varnostne razdalje dreves do vodnikov, katera ob poružitvi ne bi prišla v stik z vodniki.

Ob kombinaciji ustrezne obesne opreme ter SN 20 kV univerzalnega kabla je mogoče zgraditi daljnovod tako robusten, da kljub padcem dreves ne pride do izpada daljnovoda ali pa se ta škoda bistveno zmanjša.

S podanimi izračuni v nalogi smo potrdili, da bo novi SN univerzalni kabel ustrezal zahtevam. Problematika na področju SN daljnovodov, kot je bila predstavljena v tej nalogi, ni osamljen primer, saj je obsežnost SN daljnovodov, kateri so umeščeni na težko dostopna mesta ter odseke, ki potekajo čez gozdove, zelo velika. Naše mnenje je, da bi bilo potrebno takšne odseke prostozračnih SN daljnovodov na enak način, kot je v nalogi opisano, izvajati prioriteto in v še večji meri.

Zaradi vse večjega naraščanja porabe električne energije ter občutljivosti samih odjemalcev na izpade električne energije stremimo k večjim vlaganjem v avtomatizacijo SN vodov, kateri so v kombinaciji z izoliranimi SN vodi, daljinsko vodenimi ločilnimi mesti ter lokatorji okvarnih tokov velik doprinos pri zagotavljanju neprekinjenega napajanja ter hitrejših in zanesljivejših odpravah okvar. Z uporabo prej naštetih tehničnih rešitev dosegamo večjo prepoznavnost samega omrežja oziroma kakšne obremenitve, napetosti, tokovi so v posamezni točki v omrežju, kateri bodo vedno bolj pomembni, na primer, zaradi regulacije napetosti. V SN omrežje tako uvajamo sodobne tehnologije, ki se kažejo kot upravičene, eno od teh smo prikazali v tej diplomski nalogi, saj so se sami kazalniki zanesljivosti pri nenačrtovanih dolgotrajnih prekinitvah po letu 2019 pričeli izboljševati. Spremljanje kazalcev zanesljivosti kaže na precejšnjo izboljšanje razmer na obravnavanem vodu po rekonstrukciji.

## 12 LITERATURA IN VIRI

Akt o posredovanju podatkov o kakovosti oskrbe z električno energijo. Uradni list RS, 73/2012. Pridobljeno 9. marca 2022 z naslova <https://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?sop=2012-01-2798>.

Blažič, B. in Papič, I. (2019). *Modeliranje elementov elektroenergetskega omrežja*. Pridobljeno 10. januarja 2022 z naslova [http://leon.fe.uni-lj.si/media/gradiva/EEO\\_Ucb.pdf](http://leon.fe.uni-lj.si/media/gradiva/EEO_Ucb.pdf).

CabLab Pty. Ltd. *Water treeing in Middle Voltage cables*. b.l. Pridobljeno 14. marca 2022 z naslova <https://www.cablab.com.au/technical/water-treeing-in-middle-voltage-cables/>.

Elektro Maribor d. d. (2005) Interno gradivo. *Obratovalna navodila*.

Elektro Maribor d.d. (2018). Interno gradivo. *PZI projekt št. 433/18-PT. DV 20 kV Slavšina 1 (d-156). Rekonstrukcija daljnovoda (montaža univerzalnega kabla AXCES)*.

Elka.hr. (b.l.). *N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y*. Pridobljeno 22. novembra 2021 z naslova <https://elka.hr/n2xsf2y-na2xsf2y/>.

*Energetski srednjenaponski kabeli za napone do 36 kV*. (b.l.). Pridobljeno 15. januarja 2022 z naslova <https://elka.hr/category/proizvodi/energetski-srednjenaponski-kabeli-za-napone-do-36-kv/>.

Ericsson. (2002). *Priročnik univerzalnih kablov*. Pridobljeno 22. marca 2022 z naslova <https://mr-ei.si/wp-content/uploads/2019/03/PRIROCNIK-UNI-KABLOV.pdf>.

GIZ. (2013). *TS-1 Enožilni energetske kabli 12/20/24 kV, Tehnična smernica za material in dobavo*. Pridobljeno 12. novembra 2021 z naslova <https://www.giz-dee.si/Portals/0/Tipizacija/GIZ-TS-1-Enozilni-energetski-kabli-12-20-24-kV.pdf>.

Janša, M. (2003). *Uporaba visokonapetnostnih kablov z izolacijo iz umetnih mas*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

SODO. (2015). *Minimalni standardi kakovosti oskrbe za neprekinjenost*. Pridobljeno 12. februarja 2022 z naslova <https://www.sodo.si/storage/app/uploads/public/5e0/1c2/ffd/5e01c2ffd87ff359544824.pdf>.

Poslovno združenje podjetij za distribucijo električne energije v Sloveniji. (1965). *Tipizacija daljnovodov 10 in 20 kV*. Strokovne publikacije – zvezek št. 15.

Powertech. (b. l.). *Cable condition Assessment – Insulation Condition*. Pridobljeno 12. februarja 2022 z naslova <https://powertechlabs.com/cable-condition-assessment/>.

Stromar.si. (2012). *Primerjava kablov in nadzemnih vodov*. Pridobljeno 7. decembra 2021 z naslova <http://stromar.si/assets/Uploads/4/primerjava-kabli-vodi-jan2012.pdf>.

Zlatarev, G. (2019). Zapiski predavanj: *Vodenje obratovanja elektroenergetskih sistemov*.



## **PRILOGA**

Situacija obravnavane rekonstrukcije M 1 : 2000