Visokonaponski električni kabeli

Harhaj, Josipa

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:668084

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

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

VISOKONAPONSKI ELEKTRIČNI KABELI

Diplomski rad

Josipa Harhaj

Osijek, 2016.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. ZADATAK DIPLOMSKOG RADA 2

2. OPĆENITO O KABELU 3

3. ENERGETSKI VISOKONAPONSKI KABELI 4

3.1. ENERGETSKI KABELI 2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y 7

3.2. ENERGETSKI KABELI 2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y 9

3.3. STRUJNA OPTEREĆENJA VISOKONAPONSKIH KABELA 6

4. NADZOR, UPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE DV KB 110 kV OSIJEK 3 – OSIJEK 4 12

4.1. SPAJANJE 110 kV KABELA 13

4.1.1. ODREĐIVANJE DUBINE POLAGANJA KABELA 14

4.2. RAD NA KABELIMA 15

4.3. POGONSKI MANEVRI KOD SMETNJI I KVAROVA 16

5. POGONSKI MANEVRI NA ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA 400, 220 I 110 kV 24

5.1. METODE MJERENJA KVAROVA 25

6. TERMIČKA OPTERETIVOST KABELA 110 KV 27

6.1. OPIS KABELA 110 KV 29

6.2. RASPODJELA TEMPERATURE U OKOLINI VODIČA 33

6.3. TERMIČKE PRILIKE I PREOPTEREČENJA KABELA 36

7. PARAMETRI VISOKONAPONSKIH KABELA 42

8. TOPLINSKI PRORAČUN VN KABELA 45

9. PRORAČUN ZA ODREĐIVANJE PRESJEKA XLPE KABELA 53

9.1. TERMIČKE PRILIKE I PREOPTEREČENJA KABELA 53

10. POJAVA KORONE 55

10.1. OPIS POZITIVNE KORONE 56

10.2. OPIS NEGATIVNE KORONE 57

10.3. POJAVA KORONE U PODRUČJIMA S RAZLIČITIM STUPNJEVIMA NEJEDNOLIKOSTI 58

10.4. RAZLIKE IZMEĐU KAMERA ZA SNIMANJE POJAVA KORONE 60

10.5. PRIMJERI NASTANKA KORONE 64

11. NORME ZA VISOKONAPONSKE KABELE 68

12. LITERATURA: 72

13. POPIS KORIŠTENIH SIMBOLA I OZNAKA 74

14. ZAKLJUČAK: 75

1. UVOD

Elektroenergetska instalacija je skup pripadajućih uređaja koji služe za proizvodnju, prijenos, distribuciju i potrošnju električne energije u sustavima elektroenergetskih mreža koje mogu biti niskog i visokog napona. Zahtjev elektroenergetskih mreža niskog napona je da napon na mjestu potrošnje, između bilo koje faze i zemlje, ne smije biti veći od 250 V te im je nazivni napon ≤1,8/3 kV. Visokonaponske elektroenergetske mreže se mogu podijeliti na:

- mreže srednjeg napona: od 3,6/6 kV do 36/66 kV,
- mreže visokog napona: od 64/110 kV do 87/150 kV,
- mreže vrlo visokog napona: od 127/220 kV do 430/750 kV.

Mreže se ovisno o svrsi mogu razlikovati kao prijenosne i distribucijske gdje visokonaponske i vrlo-visokonaponske spadaju u prijenosne mreže a niskonaponske i srednjenaponske u distributivne mreže.

Kao bitni povezujući dio elektroenergetske mreže na svim naponskim nivoima je električni kabel koji s obzirom na primjenu i izvedbu može biti:

- kabel za izgradnju unutarnjeg električnog razvoda u stambenim, industrijskim, trgovačkim, poslovnim i javnim objektima – nazivnog napona od 300/300 V do 0,6/1 kV,
- kabel za prijenos i distribuciju električne energije nazivnog napona od 0,6/1 kV do 430/750 kV (podzemni, nadzemni i podvodni),
- kabel za posebne namjene nazivnog napona od 300/300 V do 20,8/36 kV.

Različita primjena kabela određuje posebne zahtjeve za konstrukciju u pogledu električnih, mehaničkih i prijenosnih karakteristika pri čemu se zahtjevi utvrđuju posebnim propisima, normama ili standardima za pojedina područja primjene [1].

Ukoliko dođe do uvođenja novih konstrukcijskih rješenja i novih materijala u izradi kabela, mijenjaju se svojstva i način primjene kabela na način da se izrade novi ili izmjene postojeći propisi u skladu sa praktičnom primjenom.

1.1. ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

U diplomskom radu potrebno je opisati građu, vrste i primjene visokonaponskih električnih kabela. Izložiti ekvivalentne sheme kojima se modelira električno i toplinsko vladanje visokonaponskih električnih kabela. Izložiti i komentirati pojave u radu električnih kabela. Izložiti odabrane dijelove domaćih i međunarodnih normi vezanih uz visokonaponske električne kabele. Izlaganje usmjeriti na konkretni primjer ili više njih te ih poduprijeti izračunima, grafičkim prikazima i slikama. U dogovoru s mentorom odabrati primjer za toplinski i električni proračun.

2. OPĆENITO O KABELU

Električni kabel je električni vod koji sadrži dva ili više vodiča povezanih ili isprepletenih zajedno čineći jedan sklop. Vodiči su od dobro vodljivog materijala električni izolirani te smješteni u zajednički vanjski omotač za zaštitu od vanjskih utjecaja. Krajevi koji mogu spojiti dva uređaja omogućuju prijenos električnih signala s jednog uređaja na drugi. Kabeli se mogu koristiti u različite svrhe te svaki od njih mora biti prilagođen toj svrsi npr. koriste se u elektroničkim uređajima za napajanje i u signalnim krugovima, podmorski kabeli se koriste za odvijanje komunikacije između udaljenih područja, energetski kabeli se koriste za prijenos izmjenične i istosmjerne struje, električni kabeli se intenzivno koriste u izgradnji ožičenja za rasvjetu te u strujnim i upravljačkim krugovima koji su trajno instalirani u zgradama itd. [2]. Kabeli se mogu koristiti u mehanici gdje služe za dizanje, izvlačenje ili prenošenje jake sile prilikom velikih napetosti i u elektrotehnici gdje se koriste za prijenos električne struje.

Kao što je već navedeno električni se kabel sastoji od jednog ili više vodiča s vlastitom izolacijom te dodatnim slojevima za zaštitu vodiča i izolacije te od pribora i materijala za postavljanje, spajanje, završavanje odnosno od mehaničke i električne zaštite. Vodiči u kablovima su najčešće bakrene ili aluminijske žice odnosno užad. Kablovi se polažu u zemlju, vodu ili u posebne kablovske kanale nakon čega su teško dostupni i zbog toga moraju biti dobro zaštićeni od kemijskih i mehaničkih utjecaja te utjecaja vlage [3]. Osnovna struktura svakog kabela posebno je izvedena s obzirom na područje primjene rada. Glavne poveznice svih kabela su vodiči i izolacije dok kod većine i plašt ima vodeću ulogu.

3. ENERGETSKI VISOKONAPONSKI KABELI

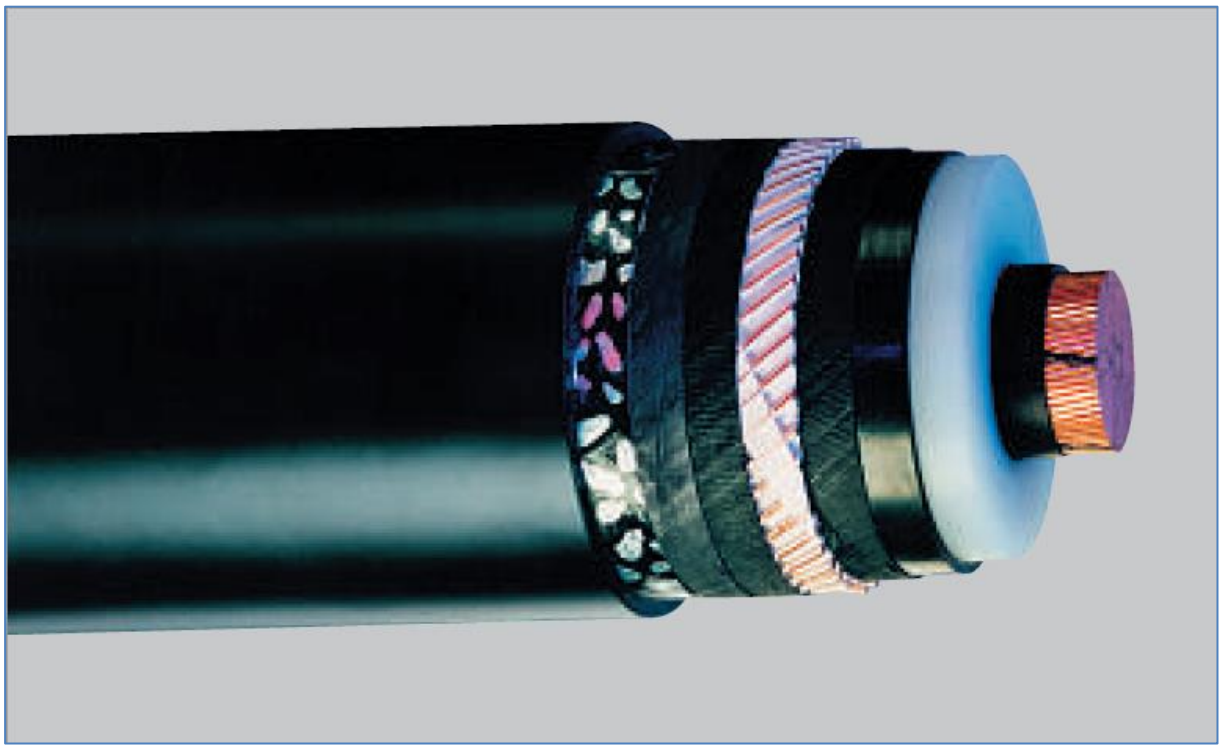
U Republici Hrvatskoj kao i u cijelome svijetu sve se više koriste energetski visokonaponski kabeli naročito u prijenosu električne energije kroz gusto naseljena područja. Postoji više razloga zašto se sve češće u prijenosu odlučujemo koristiti kablove, npr: širina kabelske trase je uska i nije vidljiva tako da se zemljište može koristiti i za druge namjene, ne postoji štetni utjecaj magnetskog i električnog polja kao kod dalekovoda, kabelski sustavi znatno su sigurniji za ljude koji održavaju ih održavaju kao i za javnost, pouzdanost opskrbe preko kabelskih sustava znatno je manja jer su izloženi manjim oštećenjima a i također su jeftiniji za održavanje. Kabelski sustavi imaju puno manje gubitke u prijenosu uz što imaju i velik životni vijek. Na slici 3.1. [4] vidljiv je 400 kV kabelski tunel ispod centra Berlina.

Slika 3.1. 400 kV kabelski sustav u tunelu duljine 6.3 km ispod centra Berlina

Žile kabela obložene su sa tri sloja XLPE, poluvodljivi sloj na vodiču, izolacija i zatim poluvodljivi sloj na izolaciji. Navedeni slojevi su međusobno čvrsto zalijepljeni pri čemu prostor između njih niti u jednom trenutku tijekom proizvodnje nije izložen u smislu onečišćenja.

Električna zaštita, odnosno ekran ili zaslon, izvodi se helikoidalno omotanim bakrenim žicama sa kontra spiralom od bakrene trake. Kako bi se postigla uzdužna vodonepropusnost, ispod i iznad žica omataju se trake sa materijalom bubrivim u vodi ili se u tu svrhu koriste drugi materijali.

Poprečna vodonepropusnost postiže se polaganjem aluminijske trake sa slojem kopolimera koja se zalijepi za plašt. U području ekrana također se mogu ugraditi svjetlovodne niti za prijenos podataka ili mjerenje temperature u kabelu tijekom rada. Na slici 3.2. [4] može se vidjeti 400 kV XLPE kabel sa segmentiranim užetom.



Slika 3.2. 400 kV XLPE kabel sa segmentiranim užetom

Plašt se uglavnom izrađuje od polietilena, no mogu se koristiti i drugi materijali tako da kabel može biti i bezhalogen i vatrootporan. Debljina plašta određuje se obzirom na promjer jezgre kabela, a može biti pojačana ovisno o uvjetima primjene kabela. Plašt može biti obložen i tankim slojem poluvodljivog materijala koji omogućuje daljnja ispitivanja u pogonu ili odmah nakon polaganja. Kabeli se označuju prema slijedećim oznakama vidljivim u tablici 3.1. [5]:

Tablica 3.1. Oznake visokonaponskih kabela proizvođača kabela ELKA:

A	Aluminijski vodič
-	Bakreni vodič (bez oznake)
2X	XLPE izolacija vodiča
S	Bakreni ekran
Y	Plašt od PVC-a
2Y	Plašt od PE
(F)2Y	Uzdužna vodonepropusnost sa PE plaštem
(FL)2Y	Uzdužna i poprečna vodonepropusnost sa AL/PE plaštem

Primjeri označavanja visokonaponskih kabela:

a) **A2XS(F)2Y 1x1000/95 mm^2 64/110 kV** [5]:
Jednožilni kabel s aluminijskim vodičem presjeka 1000 mm^2, izolacijom od umreženog polietilena s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, s električnom zaštitom od bakra presjeka 95 mm^2, uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite, s PE plaštem, za nazivni napon $U_0 / U = 64/110$ kV i najviši napon mreže $U_m = 123$ kV.

b) **2XS(FL)2Y 1x500/95 mm^2 64/110kV** [5]:
Jednožilni kabel s bakrenim vodičem presjeka 500 mm^2, izolacijom od umreženog polietilena s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije, s električnom zaštitom od bakra presjeka 95 mm^2, uzdužno i poprečno vodonepropustan, s PE plaštem, za nazivni napon $U_0 / U = 64/110$ kV i najviši napon mreže $U_m = 123$ kV.

Tipovi kabela [5]:

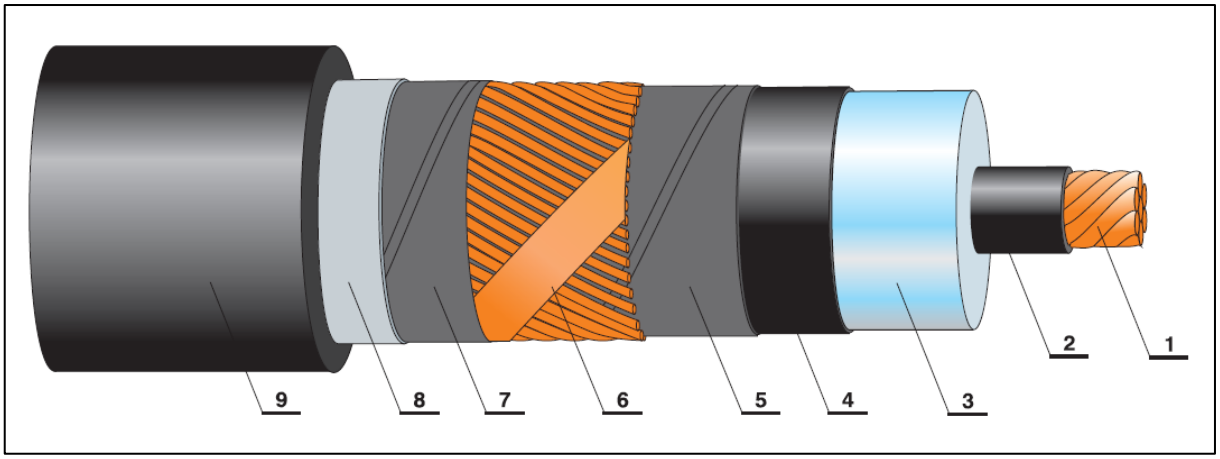
1. **2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y**
Energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite.

2. **2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y**
Energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite.

3.1. ENERGETSKI KABELI 2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y

Energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom i poprečnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite namijenjeni su za polaganje u zemlju osobito u vlažne terene, kanale, na konzole gdje se ne očekuju mehanička oštećenja i gdje kabel nije izložen vlačnim naprezanjima. Na slici 3.3. [5] prikazani su energetski kabeli 2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y.

Kabel je konstruiran za nazivne napone $U_0 / U = 64/110\ \text{kV}$ i najviše napone mreže $U_m = 123\ \text{kV}$. U tablici 3.2. [5] vidljivi su osnovni električni podaci za kabel 2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y.



Slika 3.3. Energetski kabeli 2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y

1. Vodič – bakreno ili aluminijsko kompaktirano ili segmentirano uže klase 2,
2. Ekran vodiča – poluvodljivi umreženi polietilen (XLPE),
3. Izolacija – umreženi polietilen,
4. Ekran izolacije – poluvodljivi umreženi polietilen (XLPE),
5. Separator – bubriva poluvodljiva traka,
6. Metalni ekran – bakrene žice i kontraspirala od bakrene trake,
7. Separator – bubriva poluvodljiva traka,
8. Laminirani plašt – aluminijska ili bakrena traka s kopolimerom,
9. Vanjski plašt – crni PE-HD.

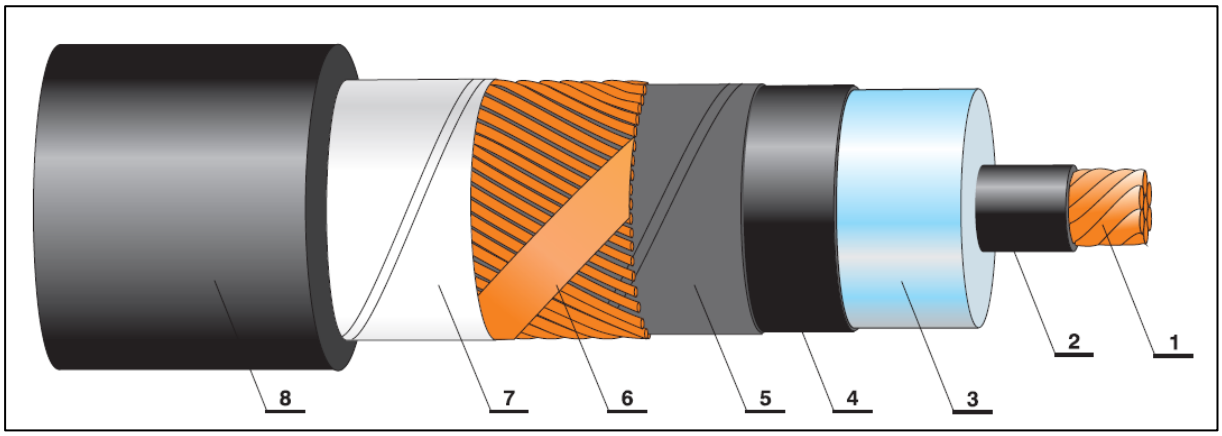
Tablica 3.2. Osnovni električni podaci za kabel 2XS(FL)2Y, A2XS(FL)2Y

Presjek vodiča i ekrana	Otpor vodiča		Otpor ekrana	Maksimalni iznos električnog polja	Kapacitet	Induktivitet trokut – linija razmak 2D	Maksimalna struja kratkog spoja		
							Vodič		Ekran
	DC 20 °C	AC 20 °C	DC 20 °C				65 °C	90 °C	
mm²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	kV/mm	µF/km	mH/km	kA/1s	kA/1s	kA/1s
1x150/95	0,206	0,2644	0,215	6,4	0,11	0,50 - 0,68	15,5	13,9	15
1x185/95	0,164	0,2105	0,215	6,5	0,12	0,48 - 0,67	19,2	17,1	15
1x240/95	0,125	0,1607	0,215	6,5	0,14	0,47 - 0,65	24,8	22,2	15
1x300/95	0,100	0,1289	0,215	6,5	0,15	0,44 - 0,62	31,1	27,8	15
1x400/95	0,0778	0,1010	0,215	6,3	0,17	0,42 - 0,61	41,4	37,0	15
1x500/95	0,0605	0,0794	0,215	6,1	0,18	0,40 - 0,58	51,8	46,2	15
1x630/95	0,0469	0,0624	0,215	5,9	0,20	0,39 - 0,57	65,2	58,3	15
1x800/95	0,0367	0,0501	0,215	5,7	0,21	0,38 - 0,56	82,8	72,0	15
1x1000/95	0,0291	0,0412	0,215	5,6	0,24	0,36 – 0,55	104,0	94,5	15
1x1200/95	0,0247	0,0362	0,215	5,4	0,26	0,35 – 0,54	124,0	113,0	15

3.2. ENERGETSKI KABELI 2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y

Energetski kabeli s XLPE izolacijom i PE plaštom s uzdužnom vodonepropusnom izvedbom električne zaštite također je namijenjen za postavljanje u zemlju, vlažne terene, kanale te na konzole, gdje se ne očekuju mehanička oštećenja i gdje kabel nije izložen vlačnim naprezanjima. Slika 3.4. [5] prikazuje energetski kabeli 2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y.

Nazivni naponi i najviši naponi isti kao i kod prethodnika odnosno iznose $U_0 / U = 64/110\ \text{kV}$; $U_m = 123\ \text{kV}$.



Slika 3.4. Energetski kabeli 2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y

1. Vodič – bakreno ili aluminijsko kompaktirano ili segmentno uže klase 2
2. Ekran vodiča – poluvodljivi umreženi polietilen (XLPE)
3. Izolacija – umreženi polietilen
4. Ekran izolacije – poluvodljivi umreženi polietilen (XLPE)
5. Separator – bubriva poluvodljiva traka
6. Metalni ekran – bakrene žice i kontraspirala od bakrene trake
7. Separator – bubriva poluvodljiva traka
8. Plašt – crni PE-HD

U tablici 3.3. prikazani su osnovni električni podaci za kabel 2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y [5]: presjek vodiča i ekrana, otpor vodiča, otpor ekrana, maksimalni iznos električnog polja, kapacitet, induktivitet trokut – linija razmak 2D te maksimalna struja kratkog spoja.

Tablica 3.3. Osnovni električni podaci za kabel 2XS(F)2Y, A2XS(F)2Y:

Presjek vodiča i ekrana	Otpor vodiča		Otpor ekrana	Maksimalni iznos električnog polja	Kapacitet	Induktivitet trokut – linija razmak 2D	Maksimalna struja kratkog spoja		
							Vodič		Ekran
	DC 20 °C	AC 20 °C	DC 20 °C				65 °C	90 °C	
mm²	Ω/km	Ω/km	Ω/km	kV/mm	µF/km	mH/km	kA/1s	kA/1s	kA/1s
1x150/95	0,124	0,1586	0,215	6,4	0,11	0,50 - 0,68	23,5	21,5	15
1x185/95	0,0991	0,1272	0,215	6,5	0,12	0,48 - 0,67	29,0	26,5	15
1x240/95	0,0754	0,0972	0,215	6,5	0,14	0,47 - 0,65	37,6	34,3	15
1x300/95	0,0601	0,0780	0,215	6,5	0,15	0,44 - 0,62	47,0	42,9	15
1x400/95	0,0470	0,0618	0,215	6,3	0,17	0,42 - 0,61	62,7	57,2	15
1x500/95	0,0366	0,0492	0,215	6,1	0,18	0,40 - 0,58	78,4	71,5	15
1x630/95	0,0283	0,0393	0,215	5,9	0,2	0,39 - 0,57	98,7	90,1	15
1x800/95	0,0221	0,0323	0,215	5,7	0,22	0,38 - 0,56	125,0	114,5	15

3.3. STRUJNA OPTEREĆENJA VISOKONAPONSKIH KABELA

Iznos električne struje u kabelu potrebno je ograničiti zbog topline koja pri prolasku struje kroz kabel oslobađa. Pri strujnim opterećenjima većim od nazivnih dolazi do pregrijavanja kabela, što uzrokuje smanjenje životnog vijeka kabela. U tablici 5.3 [5] nalaze se dopuštene vrijednosti jakosti struja izračunate za maksimalnu temperaturu vodiča 90 °C i ostale parametre polaganja: temperatura zemlje $T = 20\ °\mathrm{C}$, specifični otpor zemlje $\theta = 1{,}0\ (\mathrm{K \cdot m})/\mathrm{W}$, temperatura zraka $T = 30\ °\mathrm{C}$, dubina polaganja $l = 1\ \mathrm{m}$ i razmak kabela $a = 70\ \mathrm{mm} + \mathrm{D}$ (vanjski promjer kabela).

Ukoliko su neki od ovih parametara u praksi drugačiji, koriste se korekcijski faktori kako bi se dobila stvarna dozvoljena struja opterećenja.

Tablica 3.4. Strujna opterećenja 110 kV kabela:

Vrsta vodiča	Bakreni vodič								Aluminijski vodič							
Mjesto polaganja	Zemlja				Zrak				Zemlja				Zrak			
Način polaganja	linija		trokut		linija		trokut		linija		trokut		linija		trokut	
Način uzemljenja	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓	↓	↓↓
Presjek vodiča	Strujno opterećenje															
mm^2	A															
150	435	406	410	406	551	515	478	473	335	325	320	320	431	415	373	373
185	490	448	465	453	630	574	546	538	380	363	360	358	494	465	425	423
240	570	505	540	519	740	659	645	628	445	416	420	416	583	541	504	499
300	640	535	610	580	805	685	710	685	495	445	475	460	625	565	550	540
400	720	595	690	650	915	775	820	785	565	500	540	525	715	640	640	625
500	825	650	785	730	1060	860	945	895	645	555	620	595	835	725	745	720
630	940	705	890	810	1235	950	1085	1010	740	610	710	670	975	820	865	830
800	1055	755	1000	885	1415	1040	1235	1130	845	665	805	745	1130	910	995	940
1000									950	720	900	820	1295	1005	1135	1055
1200									1025	755	970	870	1420	1070	1235	1140

↓ preplitanje uzemljenja

↓↓ oba kraja uzemljenja

4. NADZOR, UPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE DV KB 110 kV OSIJEK 3 – OSIJEK 4

Trafostanice Osijek 3 – Osijek 4 povezane su dalekovodnim jednožilnim energetskim kabelima koji se sastoje od vodiča načinjenih od aluminija s izolacijom od umreženog polietilena i električnom zaštitom od bakrene žice. Između aluminijskih žica nalazi se masa koja sprječava prodor vode uzduž vodiča te se iznad njega nalazi poluvodljivi plašt debljine 1 mm.

Izolacija kabela načinjena je od umreženog polietilena XLPE minimalne debljine 15 mm iznad koje je poluvodljivi plašt debljine 1 mm. Ekran od bakrenih žica je 1,1 mm nazivnog presjeka 95 mm^2 . Vanjsku zaštitu čini plašt od polietilena koji je debljine 3,7 mm. Presjek kabela je odabran na način da može bez oštećenja podnijeti kratkotrajna termička naprezanja na mjestu ugradnje. Kabel ne predstavlja izvor opasnosti od požara jer navedeni izolacijski materijali ne podržavaju gorenje [6].

Druga vrsta kabela koja je smještena između transformatorskih stanica Osijek 3 i Osijek 4 je svjetlosni kabel. Položen je paralelno s trasom energetskih 110 kV kabela u PEHD cijevi promjera 50 mm sistemom uspuhivanja, te služi za komunikaciju između sustava zaštite, za daljinsko upravljanje te za potrebe komunikacije drugih uređaja. Uz signalni kabel položen je i zaštitno – signalni kabel koji služi za sprječavanje mehaničkog oštećenja 110 kV kabela signalizacijom. Ova vrsta kabela, EP00 8 × 2,5 mm^2, omogućava upućivanje na moguće mehaničko oštećenje kabela 110 kV na način da, ukoliko se vrše radovi u blizini energetskih kabela, prekidom zaštitno – signalnog kabela proradi signalizacija u transformatorskim stanicama i u Mrežnom centru. Samim uvidom u moguća mehanička oštećenja energetskih kabela, može se spriječiti dolazak do nesretnih slučajeva. Ovakav sustav zaštite napaja se istosmjernim naponom 220 V istosmjerno iz obje trafostanice.

Kako je u svakom postrojenju uzemljenje ključna stavka, tako se i u ovom slučaju koristi bakreno uže za uzemljenje koje je položeno paralelno u rov neposredno uz 110 kV kabel, te nazivnog presjeka 185 mm^2. Uže za uzemljenje služi kao pomoćni uzemljivač ekrana kabela na mjestima gdje se nalaze spojnice i spaja uzemljenja transformatorskih stanica Osijek 3 i Osijek 4.

4.1. SPAJANJE 110 kV KABELA

Spajanje 110 kV kabela 3×1×1000/95 mm^2 Al na 110 kV postrojenje izvršeno je kabelskim glavama za vanjsku montažu u transformatorskim stanicama TS 110/10 kV Osijek 3 i TS 110/10(20) Osijek 4. Vodno polje u navedenim trafostanicama konvencionalne je izvedbe tako da je spajanje kabela na postrojenje izvedeno kabelskom glavom za vanjsku montažu na najviši napon 123 kV. Kabelska glava na vanjsku montažu je s porculanskim izolatorom [6].

Vodno polje 110 kV Osijek 4 u TS 110/10 kV Osijek 3 opremljeno je sa [6]:

- sabirničkim rastavljačima nazivne struje 800 A,
- prekidačima nazivne struje 2 000 A,
- strujnim transformatorima 2×300/1/1/1/1 A,
- naponskim transformatorima 110/$\sqrt{3}$/0,1/ $\sqrt{3}$/0,1/ $\sqrt{3}$ kV,
    - 1. namot 30 VA, klase 0,2,
    - 2. namot 100 VA, klase 1/3P,
- izlaznim rastavljačima s pripadajućim noževima za uzemljenje nazivne struje 800 A,
- odvodnicima prenapona nazivnog napona 96 kV,
- kabelskim glavama.

Vodno polje 110 kV Osijek 3 u TS 110/10 (20) kV Osijek 4 opremljeno je sa [6]:

- sabirničkim rastavljačima nazivne struje 1250 A,
- prekidačima nazivne struje 2 000 A,
- strujnim transformatorima 2×300/1/1/1/1 A,
- naponskim transformatorima 110/$\sqrt{3}$/0,1/ $\sqrt{3}$/0,1/ $\sqrt{3}$ kV,
    - 1. namot 0 – 10 VA, klase 0,2,
    - 2. namot 15 VA, klase 0,5,
    - 3. namot 50 VA, klase 3P,
- izlaznim rastavljačima s pripadajućim noževima za uzemljenje nazivne struje 1250 A,
- odvodnicima prenapona nazivnog napona 96 kV,
- kabelskim glavama.

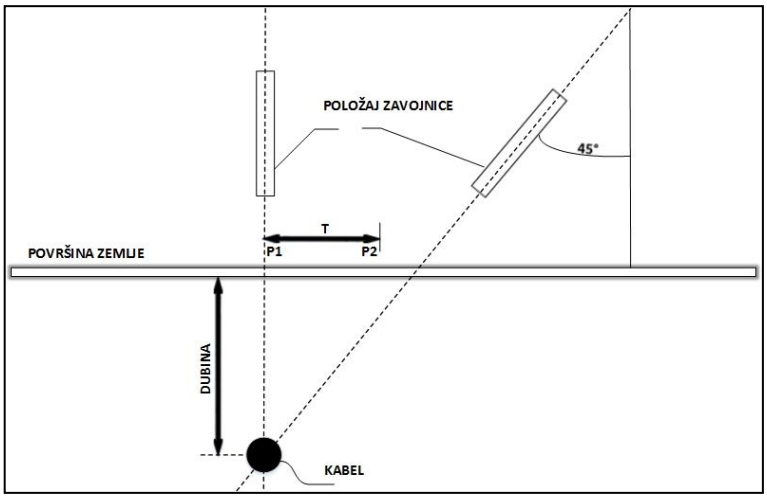
U tablici 4.1. [6] prikazani su svi tehnički podaci DV KB 110 kV Osijek 3 – Osijek 4 koji su korišteni na danom primjeru.

Tablica 4.1. tehnički podaci DV KB 110 kV Osijek 3 – Osijek 4:

OPIS	IZNOS/JEDINICA
Nazivni napon mreže	110 kV
Vodiči	AXLJ 3x1x1000 mm^2 (XLPE)
Duljina dalekovoda	5,86 km
Dopuštena trajna struja	798 A
Kapacitet po fazi	1,465 μF
Direktna impedancija	0,408+j0,636 Ω/fazi
Nulta impedancija	1,018+j0,505 Ω/fazi

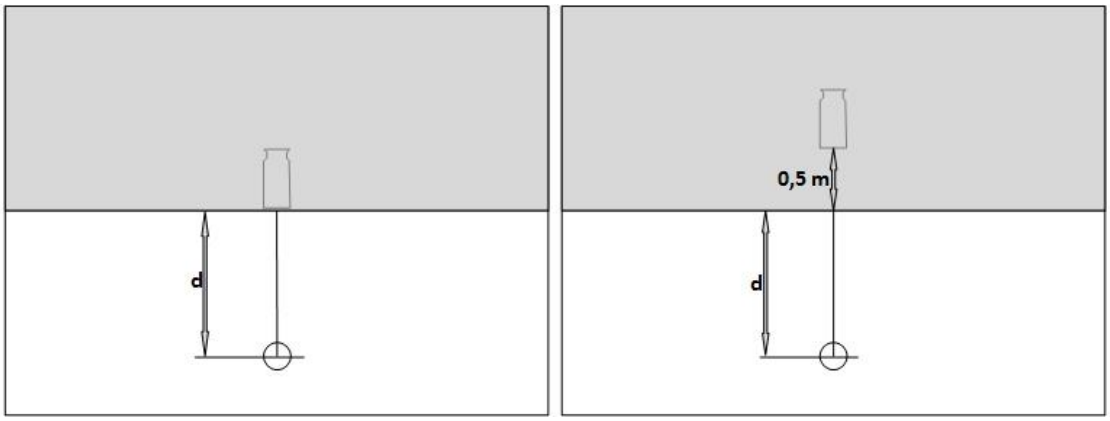
4.1.1. ODREĐIVANJE DUBINE POLAGANJA KABELA

Kablovi se također mogu postavljati ispod površine zemlje ali na određenu dubinu. Nakon što je određeni položaj kabela, na površini iznad kabela se postavlja oznaka. Zatim se zavojnica prijamnika, koji ima mogućnost postavljanja u dva položaja, pod kutom 45° ili 90°, postavlja pod kut 45° i uz vertikalni položaj prijemnika pomiče se bočno od označenog mjesta sve dok se ponovo ne dobije minimum prijamnog tona poslije dva maksimuma. U tom trenutku je dubina polaganja jednaka udaljenosti između točaka P1 i P2 kao što je prikazano na slici 4.1. [7,13] u ovisnosti o dubini polaganja, registrirani ton će biti slabiji ili jači. Ukoliko je prijamni signal vrlo slab, a šumovi jaki, preporučuje se rad u režimu impulsnog tona [7].



Slika 4.1. Princip određivanja dubine polaganja kabela

Kako bi se što točnije odredila dubina polaganja, prijamnik se postavlja direktno iznad traženog kabela i očita prijamna razina. Zatim podizanjem prijamnika za oko 50 cm rezultira smanjenje razine signala što je pravi pokazatelj da se prijamnik nalazi točno iznad traženog kabela kao što je vidljivo na slici 4.2. [7,13]. Ukoliko ne dođe do opadanja razine signala, znači da se prijamnik nalazi iznad pogrešnog objekta. Prijamnik sadržava odgovarajući software koji točno izračunava i prikazuje dubinu polaganja kabela.



Slika 4.2. Položaj prijamnika kod određivanja dubine polaganja

4.2. RAD NA KABELIMA

U radu na kabelima vrlo je važno prvobitno osigurati mjesto rada na visokonaponskim kabelima što se utvrđuje prije početka radova, a nakon točnog određivanja trase kabela i mjesta kvara. Takvi radovi obavljaju se radi popravka ili ispitivanja istih. Rad pod naponom na visokonaponskim kabelima strogo je zabranjen! Za radove obavezno se izdaje nalog za rad te ih moraju obavljati najmanje dva radnika. Mjesto rada smatra se osiguranim tek nakon što se primjeni pet pravila sigurnosti:

1. iskapčanjem odvojiti od napona,
2. mjesto rada osigurati od mogućnosti slučajnog ukapčanja,
3. provjeriti beznaponsko stanje,
4. uzemljiti i kratko spojiti,
5. ograditi od dijelova postrojenja.

Provjera beznaponskog stanja može se izostaviti samo ako na mjestu rada postoji samo jedan kabel na čijim krajevima je utvrđeno beznaponsko stanje, ili je identifikacija provedena na neki drugi pouzdani način.

Visokonaponski kabeli s metalnim plaštem na kojima se radi moraju biti uzemljeni na svim mjestima odvajanja od napona i na mjestu rada, a od uzemljenja se može odustati samo ako to nije moguće provesti. Ukoliko kabel nema metalni plašt s ekranom, kabel smije biti uzemljen i kratko spojen samo na jednoj strani, a na drugoj strani se samo kratko spaja. Ukoliko se treba kratkotrajno uzemljiti kabel na mjestu rada, mora se za to vrijeme skinuti uzemljenje s kraja kabela, što znači da ne smije postojati zatvorena petlja između kabela i zemlje.

Kako bi se radnici osigurali od zaostalog naboja na kabelu ili pojave potencijala potrebno je zaštitnim mjerama i sredstvima spriječiti premošćivanje opasnih razlika potencijala na mjestu rada. Također potrebno je obavezno pražnjenje kabela te provjetravanje kabelskih tunela i otvora, kao i po potrebi ispitivanje sadržaja otrovnih plinova u zraku. Vađenje vode i prljavštine iz kabelske kanalizacije i otvora također može umanjiti nesreće i oštećenja.

Ukoliko se polaganje kabela vrši na mostu na nosačima bez ograde ili izvan ograde, radnici su dužni biti povezani sigurnosnim pojasom. Isto ako kod rada na kabelsko glavi na stupu ne smiju se dizati prepunjene i teške posude. Radnici pri dizanju zagrijane kabelske mase ili ulja moraju koristiti zaštitnu odjeću i zaštitne rukavice, pri čemu ne smiju biti pokraj metalnih postolja. U svim spojnicama i kabelima vrlo je bitna boja žila kabela te se također posebna pozornost treba posvetiti ispitivanju faza žila. Također krajevi energetskih kabela u električnom postrojenju trebaju biti označeni s obje strane s točnim nazivom odvoda, dovoda i nazivnim naponom.

U mnogim situacijama radnici obavljaju i rad pod naponom koji je predstavlja poseban slučaj. Rad pod naponom smatra se svaki rad pri kojemu se dijelovi postrojenja, koji su pod naponom, dodiruju prema određenom propisanom postupku. Postoji više načina na koje radnik može uspostaviti kontakt s dijelovima pod naponom. Jedan od načina je izravno, tako da je na potencijalu vodiča i izoliran od zemlje što je najčešći slučaj kod visokih napona. Drugi način je da radnik dodiruje dio pod naponom izolacijskim alatom, a izoliran je od vodiča (ovakav slučaj je češći kod niskog napona). Treći način je dodirivanje dijela pod naponom izolacijskim alatom ali na razmaku, tako da tijelo ne prodire u zonu opasnosti.

4.3. POGONSKI MANEVRI KOD SMETNJI I KVAROVA

Tijekom rada TS Osijek 3 – Osijek 4, ukoliko dođe do prorade zaštite koja upućuje na trajan kvar, kabel 110 kV se više ne uključuje i potrebno ga je uzemljiti kako bi se pristupilo pregledu ili ispitivanju. Ukoliko dođe do pojave „SIGNAL PREKID“ voditelj MC treba hitno izvijestiti Rukovoditelja Odjela za dalekovode ili Rukovoditelja službe za primarnu opremu i Rukovoditelja odjela za relejnu zaštitu ili Rukovoditelja službe za sekundarne sustave (za vrijeme radnog vremena) ili dežurnu osobu Prijenosnog područja Osijek (van radnog vremena) [6].

Rukovoditelj Odjela za dalekovode će zadužiti radnika koji će jednom dnevno obići trasu podzemnog kabela. Zaduženi radnik na mjestu rada mora sva svoja zapažanja unositi u knjigu pregleda za određenu trasu za koju je zadužen. Također njegova zadaća je da upozori izvoditelje građevinskih radova o opasnosti te ako je moguće privremeno obustavi radove. Svi planirani radovi moraju se provoditi u skladu s Uputama za vođenje pogona. Nakon odrađenih radova potrebno je ispisati izvješće o svim poremećajima, zastojima i kvarovima. U tablicama 4.2. (a, b, c) i 4.3. (a, b, c) [6] prikazani su primjeri popisa signala i mjerenja za TS Osijek 4 – VP Osijek 3 te TS Osijek 3 – VP Osijek 4. tablice se sastoje od 4 stupca u kojoj prvi stupac predstavlja naziv polja, drugi element koji se proučava, treći stanje 00 a četvrti stanje 01. U skladu s danim tablicama rukovoditelji mogu reagirati u svakom trenutku i pri svakom kvaru.

Tablica 4.2.a TS Osijek 4 110/20 (10) kV – Jednostruka signalizacija:

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01
110OS3	GRUP ALARM A2	PRESTANAK	UPOZOR
110OS3	GRUP ALARM A1	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	TERM ZAŠ2	PRESTANAK	KVAR KOM
110OS3	TERM POLJA	PRESTANAK	KVAR KOM
110OS3	TERM ZAŠ1	PRESTANAK	KVAR KOM
110OS3	TERM SIG	PRESTANAK	KVAR KOM
110OS3	UPRAVLJANJE	SA BLOK	BEZ BLOK
110OS3	NAPON VODA	POVRATAK	NESTANAK
110OS3	100VAC BROJI	POVRATAK	ISPAD
110OS3	230VAS RAN OR	POVRATAK	ISPAD
110OS3	PREK UPRAVLJ	PRESTANAK	BLOKIRANO
110OS3	PREK GUBI SF6	PRESTANAK	UPOZOR

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01
110OS3	PREK GUBI SF6	PRESTANAK	BLOK RADA
110OS3	PREK NESPREM	PRESTANAK	KVAR
110OS3	PREK MOTOR	PRESTANAK	KVAR
110OS3	RAST GS EMP	PRESTANAK	KVAR
110OS3	VOD RAST EMP	PRESTANAK	KVAR
110OS3	NOŽ UZEM EMP	PRESTANAK	KVAR
110OS3	100VAS MJER	POVRATAK	ISPAD
110OS3	KRUG ISK SV1	PRESTANAK	KVAR
110OS3	KRUG ISK SV2	PRESTANAK	KVAR
110OS3	KRUG ISK SV3	PRESTANAK	KVAR
110OS3	TERM ZAŠ2	PRESTANAK	KVAR
110OS3	TERM POLJA	PRESTANAK	KVAR
110OS3	TERM ZAŠ1	PRESTANAK	KVAR
110OS3	220VDC RAZVOD	POVRATAK	ISPAD
110OS3	230VAC RAZVOD	POVRATAK	ISPAD
110OS3	SIGNAL KABEL	POVRATAK	PREKID
110OS3	TERM SIG	PRESTANAK	KVAR
110OS3	ZAŠ1 DIF L1	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 DIF L2	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 UK NA KV	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 DIS TK S	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ1 DIS TK P	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ1 KRATKOSP	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 TERMIČKA	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 TERMIČKA	PRESTANAK	UPOZOR
110OS3	ZAŠ1 DIF L3	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 NJIH SNA	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ1 DIST 1ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 DIST 2ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 DIST 3ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 DIST L1	PRESTANAK	POBUDA

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01
110OS3	ZAŠ1 DIST L3	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ1 ZEM TREN	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 ZEM TK S	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ1 NADS 1ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 NADS 2ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 NADS 3ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 NADS 4ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 >U 1ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 >U 2ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 ZEM TK P	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ1 NAP GRAN	PRESTANAK	KVAR
110OS3	100VAC ZAŠ1	POVRATAK	ISPAD
110OS3	ZAŠ1 NEST NAP	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 ZEM 1ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 ZEM 2ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 ZEM 3ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 ZEM 4ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 <U 1ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ1 <U 2ST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 ZOP TK P	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 NAP GRAN	PRESTANAK	KVAR
110OS3	ZAŠ2 ZOP	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 ZOP TK S	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 DIS TK P	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ2 ZEM TK P	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ2 DIST	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 DISK TK S	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ2 NADSTR	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 ZEM USMJ	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS3	ZAŠ2 ZEM TK S	PRESTANAK	POBUDA
110OS3	ZAŠ2 ZEM NEUS	PRESTANAK	ISKLJUČ

Tablica 4.2.b TS Osijek 4 110/20 (10) kV – Dvostruka signalizacija

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01	STANJE 10	STANJE 11
110OS3	Q0 PREKIDAČ	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS3	Q1 RAST GS	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS3	Q9 VOD RAST	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS3	Q8 NOŽ UZEM	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS3	PREKLOPKA UPR	MEĐUPOL	LOKALNO	DAKJINSKI	KVAR SIG

Tablica 4.2.c TS Osijek 4 110/20 (10) kV – Analogna mjerenja

NAZIV POLJA	ELEMENT	MJERNA JEDINICA
110OS3	RADNA SNAGA	MW
110OS3	JALOVA SNAGA	Mvar
110OS3	NAPON	kV
110OS3	STRUJA	A
110OS3	UDALJ KVARA	km

Tablica 4.3.a TS Osijek 3 110/10 kV – Jednostruka signalizacija

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01
110OS4	ZAŠ DIST L1		POBUDA
110OS4	ZAŠ DIST L2		POBUDA
110OS4	ZAŠ DIST L3		PBUDA
110OS4	ZAŠ DIST ZEM		POBUDA
110OS4	ZAŠ DIST 2ST		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ DIST 3ST		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ DIST		ISKLJUČ

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01
110OS4	ZAŠ NADSTR		ISKLJUČ
110OS4	REZERVA		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ NESKL POL		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ UKLJ NA		KVAR
110OS4	TERM ZAŠ	PRESTANAK	KVAR
110OS4	PREK TLAK SF6	PRESTANAK	BLOK RADA
110OS4	PREK GUBI SF6	PRESTANAK	UPOZOR
110OS4	PREK GRIJANJE	PRESTANAK	KVAR
110OS4	220AC POG RAS	PRESTANAK	ISPAD
110OS4	100VAC MJER	PRESTANAK	ISPAD
110OS4	220P1N1 NA KP	PRESTANAK	ISPAD
110OS4	ZAŠ DIFERENC		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ TK PRIJ		POBUDA
110OS4	100VAC ZAŠ	POVRATAK	ISPAD
110OS4	KRUG ISK	PRESTANAK	KVAR
110OS4	PREK GUBI DUŠ	PRESTANAK	UPOZOR
110OS4	PREK BLOK APU	PRESTANAK	UPOZOR
110OS4	PREK TLA ULJA	PRESTANAK	BLOK UKL
110OS4	PREK TLA ULJA	PRESTANAK	BLOK RADA
110OS4	ZAŠ ZEMLJOSP		ISKLJUČ
110OS4	220P2N2 NA KP	POVRATAK	ISPAD
110OS4	TERM ZAŠ	PRESTANAK	KVAR KOM
110OS4	ZAŠ PRENAPON		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ PRENAPON		ISKLJUČ
110OS4	ZAŠ ZOP TK P		ISKLJUČ
110OS4	NAP GRANE	PRESTANAK	KVAR
110OS4	GRUP ALARM A1	PRESTANAK	ISKLJUČ
110OS4	GRUP ALARM A2	PRESTANAK	UPOZOR
110OS4	PREKLOPKA UPR	DALJINSKI	LOKALNO

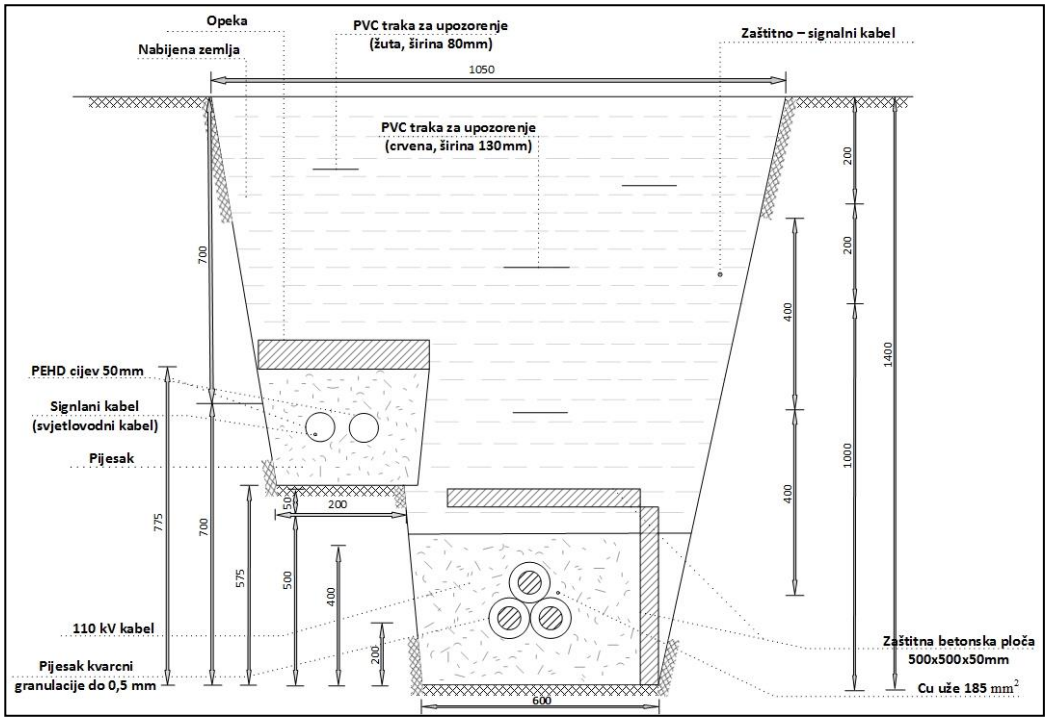
Tablica 4.3.b TS Osijek 3 110/10 kV – Dvostruka signalizacija

NAZIV POLJA	ELEMENT	STANJE 00	STANJE 01	STANJE 10	STANJE 11
110OS4	VOD RAST	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS4	NOŽ UZEM	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS4	RAST SAB	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG
110OS4	PREKIDAČ	MEĐUPOL	UKLJUČEN	ISKLJUČEN	KVAR SIG

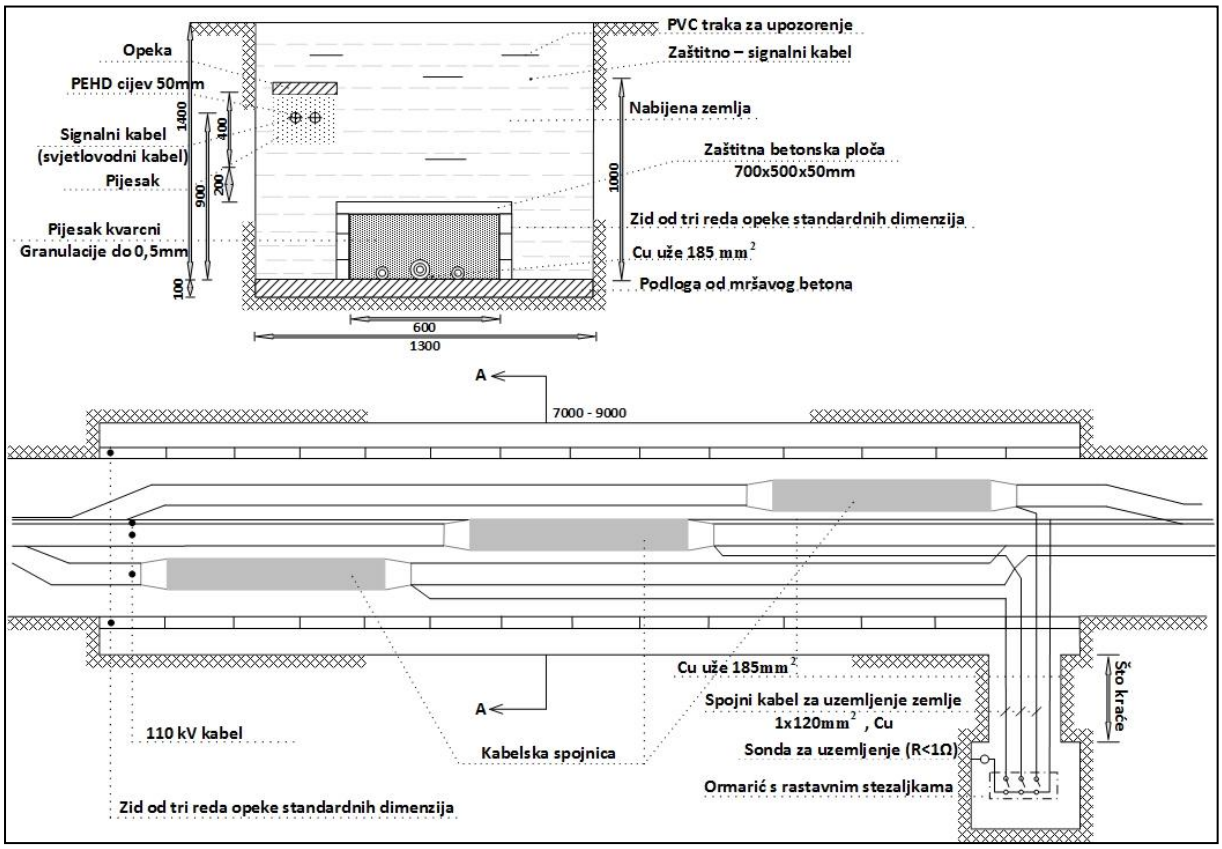
Tablica 4.3.c TS Osijek 3 110/10 kV – Analogna mjerenja

NAZIV POLJA	ELEMENT	MJERNA JEDINICA
110OS4	STRUJA	A
110OS4	RADNA SNAGA	MW
110OS4	JALOVA SNAGA	Mvar

Na slikama 4.3. i 4.4. [6,13] prikazane su skice presjeka i mjesta spajanja kabela 110 kV u zemlji.



Slika 4.3. Presjek kabelskog rova za polaganje 110 kV kabela u zemlju



Slika 4.4. Skica mjesta spajanja 110 kV kabela s uzemljenjem

5. POGONSKI MANEVRI NA ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA 400, 220 I 110 kV

Voditelj sustava nadzire i upravlja, odnosno izdaje naloge, upute i odobrenja za sve proizvodne objekte, sva prijenosna postrojenja 400 kV i 220 kV te za 110 kV postrojenja od sustavnog značaja i jedinice za kompenzaciju sustavnog značaja. Voditelji MC-a u Osijeku i drugim gradovima prate rad proizvodnih postrojenja na svom području te u slučaju primijećenih poremećaja u radu izvješćuju voditelja sustava. Na osnovu naloga, uputa i odobrenja primljenih od strane voditelja sustava, voditelji MC-oca izdaju naloge za sklopne i druge operacije na proizvodnim objektima i elektroenergetskim postrojenjima 400 kV, 220 kV i na postrojenjima 110 kV [8].

Voditelji MC-a prosljeđuju nadležnim distribucijskim područjima ODS-a razne naloge, upute i odobrenja kao što su suglasnost za isključenje i uključenje postrojenja, izdavanje naloga za manevre, izdavanje dozvola za rad na vodovima, zahtjevi za prestanak rada na postrojenjima i slično. Isto tako operator u MC-u obavlja pogonske manevre u daljinski upravljanim trafostanicama na temelju naloga voditelja. Njegov posao je upućivanje interventnog uklopničara u daljinski upravljane trafostanice radi provjere signalizacije i provjere stanja postrojenja nakon djelovanja zaštitnih uređaja. Također izdaje manevre interventnom uklopničaru te obavještava voditelja MC-a o početku i završetku radova u postrojenju kao i o spremnosti postrojenja za pogon. U slučaju ugroženosti ljudskih života ili većih šteta na postrojenju, operator ima pravo i dužnost isključiti to isto postrojenje ili dio postrojenja.

Kao način komunikacije između ovlaštenog radnika koji podnosi zahtjev za isključenje i voditelja MC-a, koriste se brzojav, oblikovana obavijest i fonogram. Brzojav se koristi za dobivanje i izdavanje suglasnosti za isključivanje dijelova postrojenja i za važna priopćenja u svezi s radom tih postrojenja. Oblikovana obavijest je obavijest, zahtjev ili nalog koji se izdaje na posebnom obrascu za određenu namjenu. Fonogram je usmena obavijest ili nalog kratkog sadržaja, koji se predaje posredstvom pouzdanih telekomunikacijskih sredstava, a obavezno se upisuje u Pogonski dnevnik u Mrežnom centru i u Dnevni izvještaj uklopnice u postrojenju [8].

Kod ispada voda 400, 220 ili 110 kV operater u MC-u dužan je odmah nakon ispada utvrditi proradu vrstu zaštite koja je proradila te o tome obavijestiti svog voditelja. Kod takvih ispada vrlo je važno razlikovati događaj ispada nadzemnog voda, mješovitog voda ili kabela. Isto tako kod kvarova operator mora zaključiti radi li se o prolaznom kvaru ili kvaru trajnog karaktera te po mogućnosti odrediti mjesto kvara. Ukoliko nastane više kvarova na vodovima odnosno kabelima, voditelj MC-a mora odrediti prioritet u osposobljavanju vodova i kablova.

Kod ispada podzemnog ili podmorskog kabela, kabel se više ne smije uključiti i potrebno ga je uzemljiti kako bi se pristupilo pregledu odnosno ispitivanju.

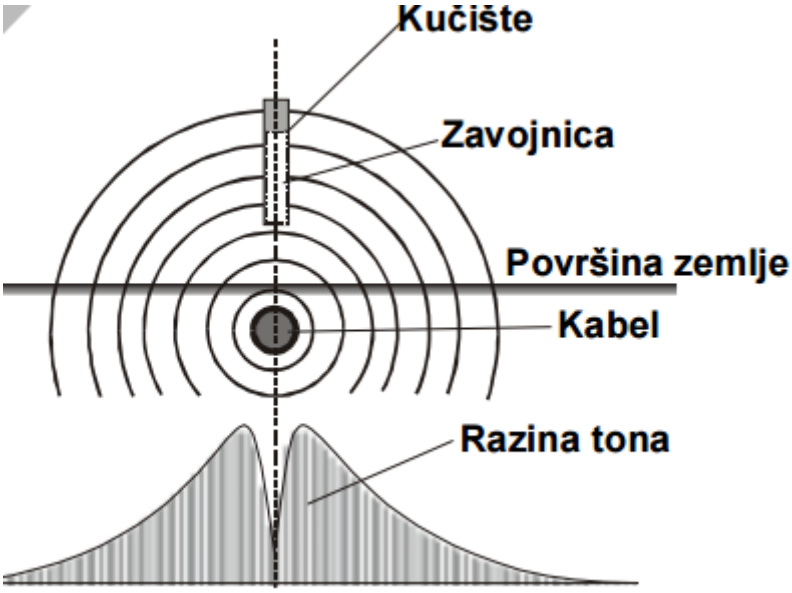
5.1. METODE MJERENJA KVAROVA

Za određivanje trasa podzemnih energetskih i telekomunikacijskih kabela s metalnim vodičima i u novije vrijeme svjetlovodnim telekomunikacijskim kabelima s metalnim plaštem, kao i dubine na kojoj su takvi kabeli položeni, koriste se instrumenti koji se nazivaju tragači kabela [7]. Ti instrumenti služe također za određivanje položaja spojnica i pojedine vrste kvarova kao što su kratki spoj, prekid vodiča, dotok vodiča i rasparenja.

Tragači se sastoje od dvije osnovne jedinice a to su predajnik i prijamnik. Na predajnik se priključuje zavojnica, a na prijamnik slušalice ili indikatorski instrument. Prije nego se pristupi mjerenju, potrebno je obaviti izbor radne frekvencije predajnika. Najpogodnija frekvencija za obavljanje mjerenja iznosi 10 kHz. Izbor radne frekvencije ovisi o više čimbenika kao npr. je li se kabel nalazi u području koje je pod utjecajem viših harmonika izmjeničnih struja, ili pod utjecajem struja tonfrekvvencijski upravljanih signalnih uređaja.

Način pronalaženja trase kabela ili drugih podzemnih objekata temelji se na poznatom principu, da svaki vodič kroz koji teče izmjenična struja proizvodi oko sebe koncentrično promjenjivo magnetsko polje. Ako se u ovo polje unese zavojnica, u njoj će se, u ovisnosti o položaju njenih namotaja, inducirati manji ili veći napon. U slučaju okomitog prolaza linije polja kroz ravninu zavojnice, inducirani napon postiže svoj maksimum. U praksi ovo znači da će, pri horizontalnom položaju zavojnice tragača kablova, maksimum induciranog napona biti ako se zavojnica nalazi točno iznad kabela [7].

Primjer prikaza položaja indukcijske zavojnice kod određivanja trase kabela i drugih podzemnih objekata metodom minimuma prikazana je na slici 5.1. [7] inducirani napon u namotajima zavojnice prijamnika je minimalan kada je ravnina namotaja tangencijalna na linije magnetskog polja, a to je pri vertikalnom položaju osi zavojnice.



Slika 5.1. Pronalaženje trase kabela

Primjena tragača kabela za pronalaženje mjesta kvara je široka. Određivanje mjesta prekida vodiča može se vršiti pomoću kapacitivne sonde. Kod te metode oštećena parica se priključuje na predajnik, a na prijamnik se priključuje kapacitivna sonda pomoću koje se obavlja mjerenje principom nastajanja napona na površini zemlje iznad položenog kabela. Otpor na mjestu prekida mora biti veći od 1 GΩ. Također postoji metoda dozemnog spoja plašta kabela gdje se u slučaju kvara obavlja mjerenje direktnim spajanjem predajnika na plašt kabela s kojeg se odspoji uzemljenje na bližem kraju. Prijamnik u ovom slučaju može točno odrediti mjesto gdje je došlo do kvara jer će se na tom mjestu promijeniti smjer prijamnog signala. Zadnja metoda koja se još može primijeniti je metoda koraka upredanja parice. Ova metoda koristi se za određivanje mjesta kratkog spoja kada je kabel u zemlji.

6. TERMIČKA OPTERETIVOST KABELA 110 KV

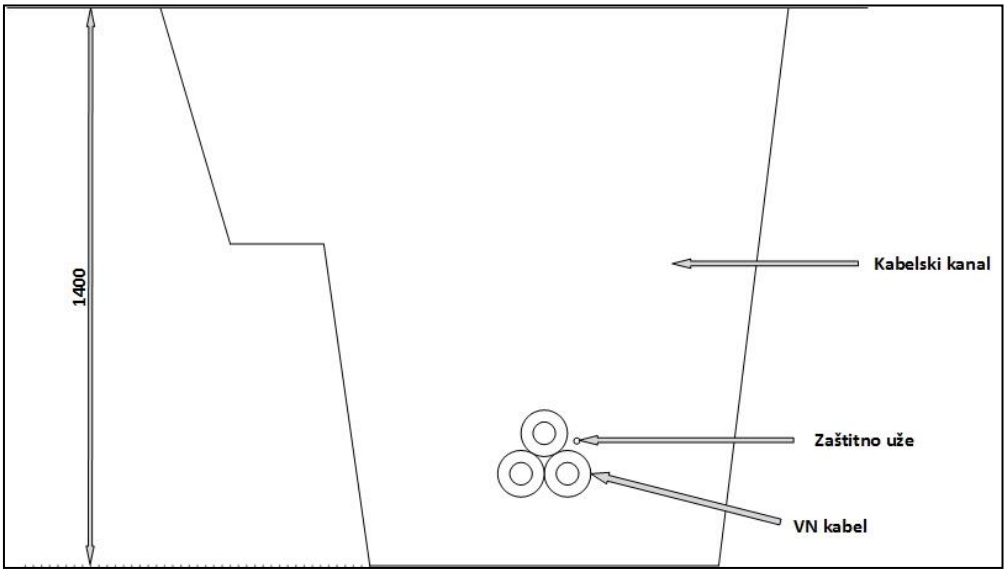
Termičko opterećenje kabela prikazano je na primjeru kabela Osijek 3 – Osijek 4 čime su definirana dozvoljena strujna opterećenja kabela za različite pogonske uvjete. Proračun termičkih svojstava kabela temeljeni su na konstantnim vrijednostima vodljivosti tla i rješenju jednadžbe prijenosa topline [9]. Najjednostavniji slučaj koji predviđa HRN IEC 60287 je opterećenje kabela neprekidnom strujom konstantne vrijednosti, koja je definirana kao maksimalna dozvoljena trajna struja od strane proizvođača [9].

Struja koja protječe kroz vodič uz Jouleove gubitke prouzrokuje porast temperature koji dovodi do promijene električnog otpora vodiča. Promjenom temperature mijenjaju se električni otpor vodiča te termički otpor tla u okolini kabela. Navedene promjene opisane su s dvije diferencijalne jednadžbe [9]:

$$\frac{\partial^2 Az}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Az}{\partial y^2} + \mu_0 \kappa \frac{\partial Az}{\partial t} = \mu_0 J_{0z} \tag{6-1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\kappa_{ter} \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\kappa_{ter} \frac{\partial T}{\partial y}) = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} - w_J \tag{6-2}$$

Jednadžbe (6-1) i (6-2) predstavljaju savez dviju parcijalnih diferencijalnih jednadžbi koje opisuju svezani elektromagnetsko – termički problem. Takav sustav se rješava numeričkim postupkom pomoću metode konačnih elemenata (MKE). U formulama J_{0z} predstavlja gustoću struje, κ_{ter} termičku vodljivost, ρ gustoću materijala, c specifični toplinski koeficijent.

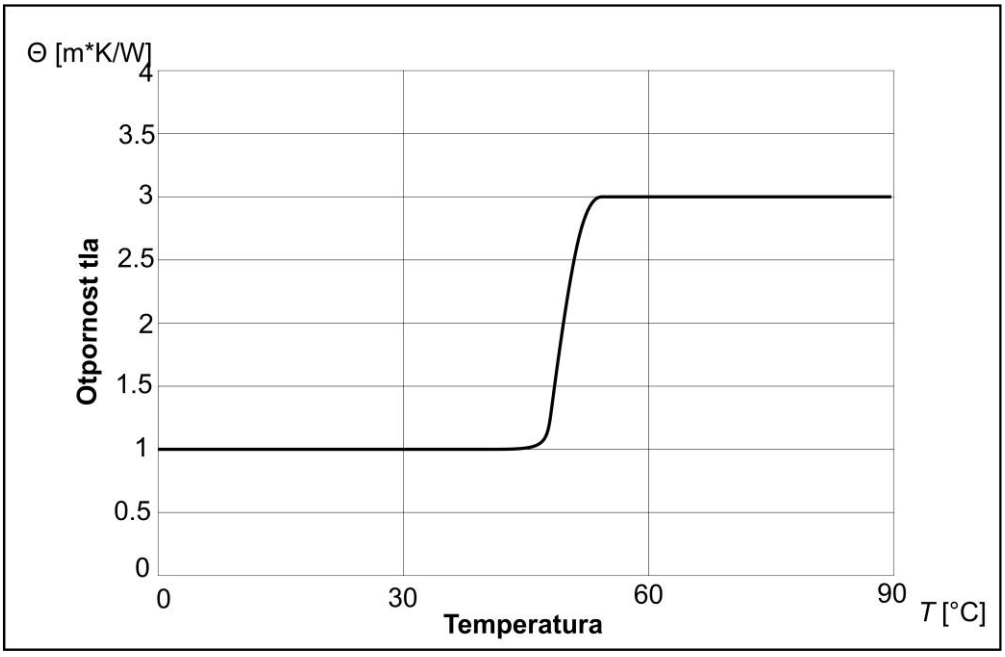


Slika 6.1. Presjek kabelskog kanala

Na slici 6.1. [9,13] prikazan je kabelski rov Osijek 3 – Osijek 4 kojeg čine tri najvažnija izvora topline a to su tri energetska kabela 110 kV složena u trolist uz zaštitno uže. Uz zagrijavanje kabela zbog povišene temperature dolazi do isušivanja tla u zoni uz kabel. Zbog isušivanja tla smanjuje se i sama toplinska vodljivost tla što utječe na pojačano zagrijavanje kabela. Kako se kabel zagrijava povećava mu se unutarnji otpor koji uzrokuje povećanu disipaciju topline.

Budući da se zona isušivanja oko kabela postepeno širi u svim smjerovima, tlo je potrebno modelirati s dvije razine. Za temperature tla niže od kritične izoterme, toplinska vodljivost se uzima s vrijednostima za vlažno tlo. Za temperature tla više od kritične izoterme, toplinska vodljivost se uzima s vrijednostima za suho tlo [9].

Prema literaturi [10] i [11], u područjima na temperaturama nižim od kritične izoterme tipični su iznosi otpornosti tla 1 – 1,5 ((m · K)/W), dok za područja s vrijednostima temperature višim od kritične izoterme, termička otpornost tla može dosezati i više od 3 ((m · K)/W) u ovisnosti o tipu tla. Na slici 6.2. [9,13] prikazana je ovisnost funkcije otpornosti tla o temperaturi.



Slika 6.2. Ovisnost otpornosti tla o temperaturi

6.1. OPIS KABELA 110 KV

Kabel 110 kV koji se koristi za ispitivanje termičke opteretivosti je proizvodnje ABB prikazan na slici 6.3. [9] sa karakteristikama prikazanim u tablici 6.1. [9]

Slika 6.3. Prikaz kabela 110 kV, ABB

Tablica 6.1. Karakteristike kabela 110 kV, ABB:

OZNAKA	AXLJ 1x1000 mm^2
NAPON	110 kV
MAKSIMALNI NAPON	123 kV
RAZINA IMUPLSA	550 kV
TIP VODIČA	Aluminij
POPREČNI PRESJEK VODIČA	1000 mm^2
TIP IZOLACIJE	Troslojni
MATERIJAL IZOLACIJE	XLPE
DEBLJINA IZOLACIJE	15 mm
VRSTA EKRANA	Koncentrične žice
MATERIJAL EKRANA	Bakar
POPREČNI PRESJEK EKRANA	95 mm^2
VANJSKI PLAŠT (IZOLACIJA)	HDPE
DEBLJINA PLAŠT (IZOLACIJA)	3,7 mm
VODLJIVI DIO PLAŠTA	0,2 mm
CJELOKUPNI KABEL - PROMJER	84 mm
CJELOKUPNI KABEL - TEŽINA	8 kg/m

Tehničke specifikacije za podzemni energetski kabel 110 kV dane su u tablici 6.2. [9] gdje su navedeni tipovi materijala, presjeci, naponi, otpori, kapaciteti, struje kratkog spoja te gubici.

Tablica 6.2. Tehničke specifikacije za podzemni energetski kabel 110 kV:

OPIS	**JEDINICA**	**DETALJI**
Standard kojem kabel odgovara	IEC 60 840	
Tip kabela	AXLJ 1x1000 mm^2	
Nazivni napon	kV	110
Materijal vodiča	Aluminij	
Površina presjeka vodiča	mm^2	1000
Vanjski promjer vodiča	mm	37,9
Nazivna debljina poluvodljivog ekrana vodiča	mm	1,0
Nazivna debljina XLPE izolacije	mm	15,0

OPIS	JEDINICA	DETALJI
Nazivna debljina izolacijskog ekrana	mm	1,0
Nazivna debljina metalnog ekrana	mm	1,11
Presjek metalnog ekrana	mm^2	95
Materijal metalnog ekrana	bakar	
Uzdužno zapiranje prodiranja vode	Bubreća traka	
Poprečno zapiranje prodiranja vode	Aluminijski laminat	
Materijal vanjskog plašta	HDPE	
Nazivna debljina vanjskog plašta	mm	2,7
Vanjski promjer kabela	mm	84,0
Najmanji radijus savijanje prilikom polaganja	mm	1260
Ispitni napon (30 minuta)	kV	160
Najviši radni napon	kV	123
Udarni napon (peak)	kV	550
Frekvencija mreže	Hz	50
Otpor vodiča pri istosmjernoj struji i kod 20°C	Ω/km	0,0291
Otpor vodiča pri istosmjernoj struji i kod 90°C	Ω/km	0,0410
Induktivitet po fazi za slučaj polaganja u trolist	Ω/km	0,109
Induktivitet po fazi za slučaj horizontalnog rasporeda	Ω/km	0,168
Kapacitet po fazi za slučaj polaganja u trolist	μF/km	0,25
Kapacitet po fazi za slučaj horizontalnog rasporeda	μF/km	0,25
Struja nabijanja po fazi	A/km	5,6
Najveći faktor gubitaka kod 20°C i 50 Hz	$2 \cdot 10^4$	
Najveća dopuštena struja kratkog spoja za trajanje od 0,3 s	kA	173
Najveća dopuštena struja kratkog spoja za trajanje od 1,0 s	kA	95
Najveća dopuštena struja kratkog spoja za trajanje od 3,0 s	kA	55
Najveća dopuštena trajna temperatura vodiča	°C	90
Trajna nazivna struja za raspored u trolist u zemlji	A	798
Trajna nazivna struja za horizontalni raspored u zraku	A	897

OPIS	JEDINICA	DETALJI
Trajna nazivna struja za raspored u nepravilni trolist u kabelskom kanalu	A	670
Temperatura zemlje prema IEC 60287/82	20°C	20
Dubina polaganja prema IEC 60287/82	1,2 m	1,2
Toplinski specifični otpor tla prema IEC 60287/82	1,0 Km/W	1,0
Faktor opterećenja prema IEC 60287/82	85%	100%
Ekran uzemljen s oba kraja prema IEC 60287/82	da	
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u trolist – gubici u vodiču	W/m	15,1
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u trolist – gubici u izolaciji	W/m	0,4
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u trolist – gubici u plaštu i armaturi	W/m	5,7
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u trolist – ukupni gubici u kabelu	W/m	21,2
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u horizontali – gubici u vodiču	W/m	15,3
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u horizontali – gubici u izolaciji	W/m	0,4
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u horizontali – gubici u plaštu i armaturi	W/m	12,3
Gubici snage pri trajnoj struji i nazivnom naponu (110 kv); Raspored u horizontali – ukupni gubici u kabelu	W/m	28,0

6.2. RASPODJELA TEMPERATURE U OKOLINI VODIČA

Termička svojstva ekrana, koji je načinjen od bakrenih žica između kojih je ispuna od XLPE, preračunata su iz vrijednosti termičkih svojstava za bakar i XLPE prema udjelu materijala u površini presjeka ekrana. Uzemljenje ekrana kabela i uzemljenje zaštitnog užeta (bakar, presjeka 185 mm^2) izvedeno je na dva kraja preko otpora od 20 mΩ [8]. U tablici 6.3. [9] prikazana su termička svojstva materijala koja su preuzeta iz literature [12].

Tablica 6.3. termička svojstva materijala

	Gustoća [kg/m^3]	**Toplinska vodljivost** [W/m·K]	**Toplinski kapacitet** [J/kg·K]
Aluminij	2707	204	896
Bakar	8954	386	383
XLPE	924	0,3	2200
HDPE	924	0,3	2200

Određivanje trajno dopuštene struje kabela predviđa se prema HRN IEC 60287 kao opterećenje kabela neprekidnom strujom konstantne vrijednosti. Iznos te struje je In=798 A što je dobiveno izrazom (3) čiji se proračun provodi prema slici 6.4.

$$In = \sqrt{\frac{\Delta\theta - W_d\left[0,5T_1 + n\left(T_2 + T_3 + T_4\right)\right]}{RT_1 + nR\left(1+\lambda_1\right)T_2 + nR\left(1+\lambda_1+\lambda_2\right)\left(T_3+T_4\right)}} = 798\ \text{A} \qquad (3)$$

$\Delta\theta$ - porast temperature vodiča iznad temperature okoline,

R – električni otpor vodiča,

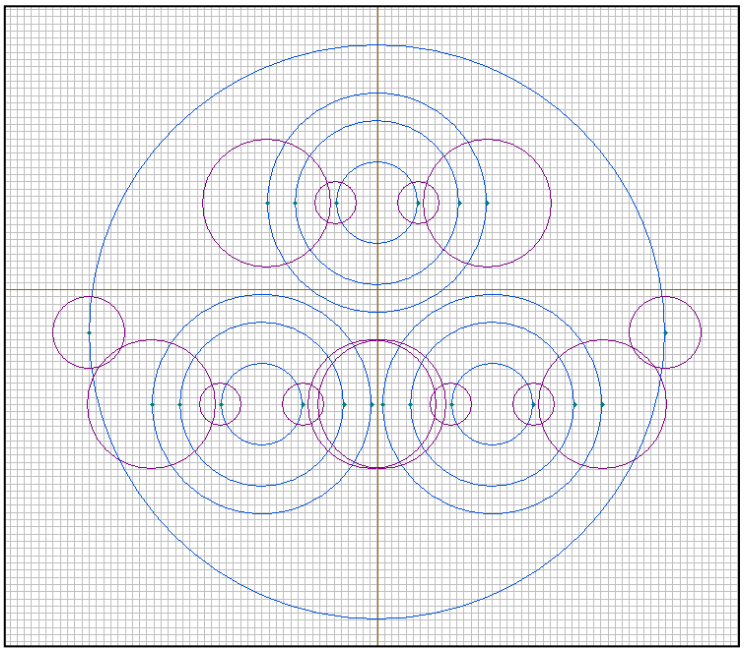
T_1, T_2 i T_3 – termički otpori slojeva vodiča po jedinici duljine,

T_4 – termički otpor površine kabela prema okolini po jedinici duljine,

W_d – dielektrični gubici po jedinici duljine,

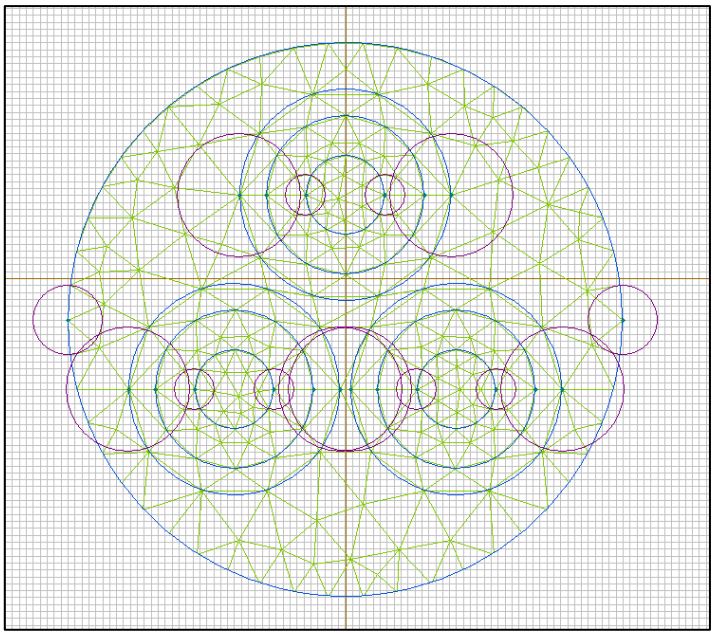
n – broj vodiča protjecanih strujom u jednom kabelu [9].

Na slici 6.4. [13] prikazan je model koji je korišten za proračun temperature vodiča – tri kabela položena u trolist uz uzemljivač.



Slika 6.4. Model korišten za proračun temperature vodiča

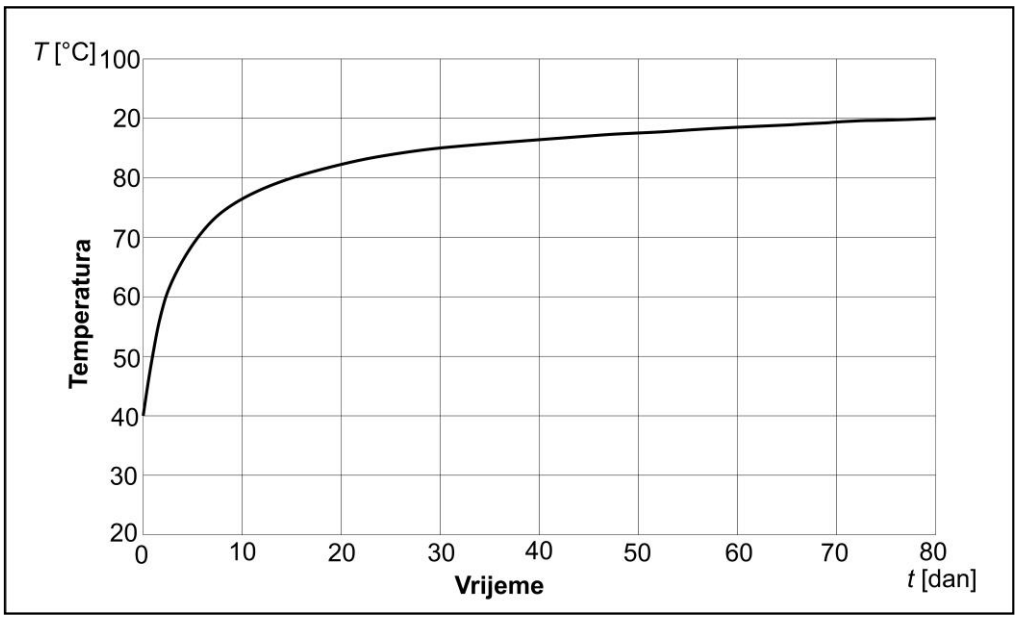
Na slikama 6.4., 6.5. i 6.6. [13] prikazani su modeli i rezultati proračuna temperature vodiča koji je proveden za struju $I\text{n} = 798\ \text{A}$. Za otpor vodiča korišteni su iznosi $R_{20} = 0{,}0291\ \Omega/\text{km}$ tj. $R_{90} = 0{,}041\ \Omega/\text{km}$. Ovisnost otpora vodiča o temperaturi približena je linearnom funkcijom definiranom s te dvije vrijednosti [9].



Slika 6.5. Prikaz mreže korištenjem metode konačnih elemenata

Slika 6.6. Raspodjela temperature u okolini vodiča

Budući da se opterećenje prijenosnih vodova mijenja odnosno varira tijekom dana i smanjuje se tijekom noći, dolazi do promjene struje kabela koje dovode do promjene temperatura u njegovoj okolini. Ta pojava utječe na promjenu vodljivosti tla koje kabel okružuje. Na slici 6.7. [13] može se vidjeti vremenska promjena temperature vodiča; pa tako za $t = 20$ dana temperatura iznosi približno 80 % konačne temperature, dok za $t = 40$ dana temperatura iznosi približno 85 % od ukupne.

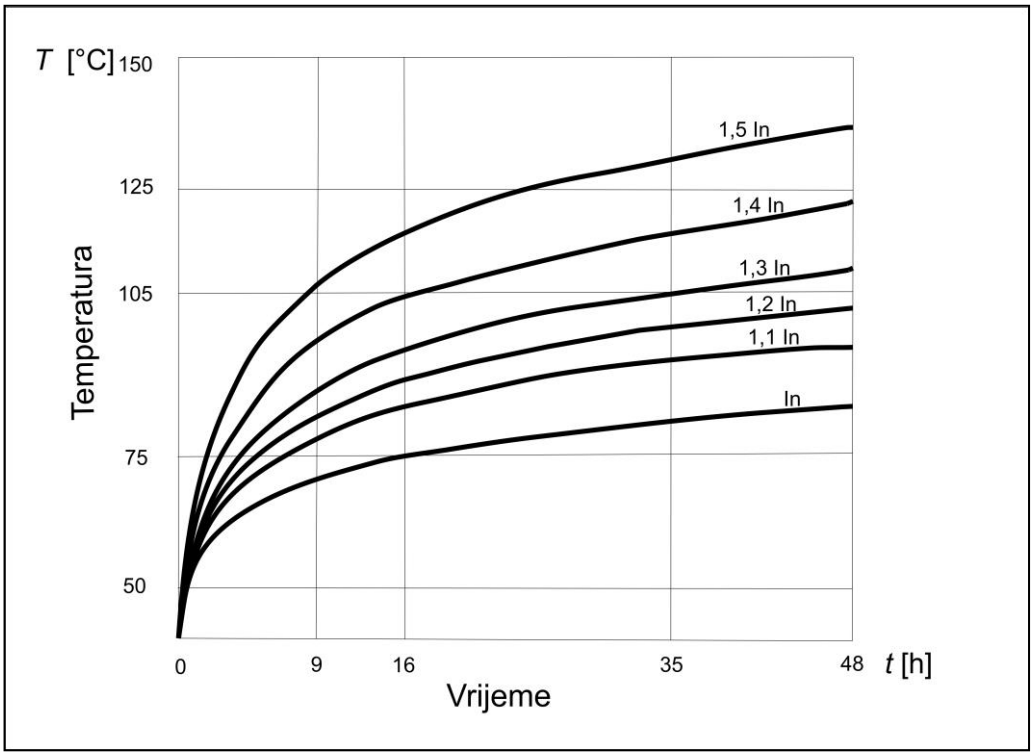


Slika 6.7. Vremenska promjena temperature vodiča

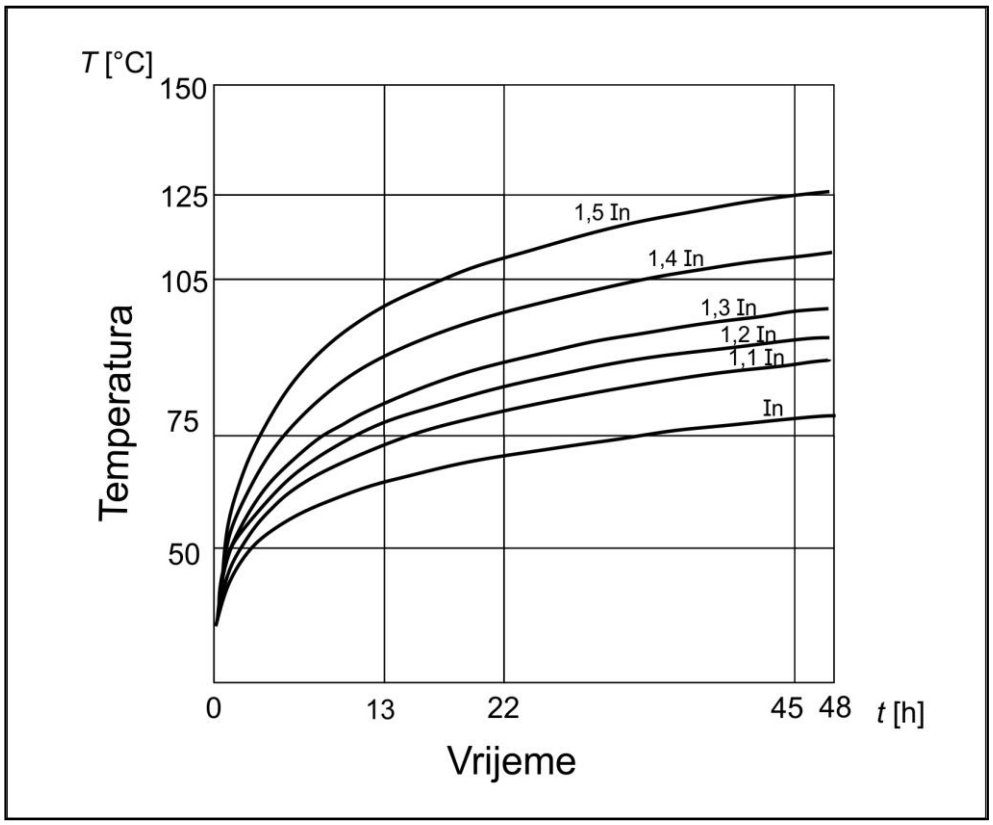
6.3. TERMIČKE PRILIKE I PREOPTEREČENJA KABELA

Na primjeru prikazane su termičke prilike kratkotrajno opterećenih kabela. Za proračune odnosno dijagrame koristila se nazivna struja $I_n = 798\ \mathrm{A}$. Proračun temperature kratkotrajnog preopterećenja kabela provodila se za unaprijed definirane vrijednosti struje preopterećenja uz poznato prethodno opterećenje kabela. Prethodna opterećenja kabela bila su 20 % I_n, 40 % I_n, 60 % I_n i 80 % I_n, dok su unaprijed definirane struje opterećenja kabela 1,1 I_n, 1,2 I_n, 1,25 I_n, 1,3 I_n, 1,4 I_n i 1,5 I_n. Na slikama koje slijede prikazane su ovisnosti temperatura o vremenu pri prethodnom opterećenju za dva slučaja. Prvi slučaj prikazuje termičke prilike kratkotrajno preopterećenog kabela uz konstantan iznos termičkog otpora zemlje, dok drugi slučaj prikazuje

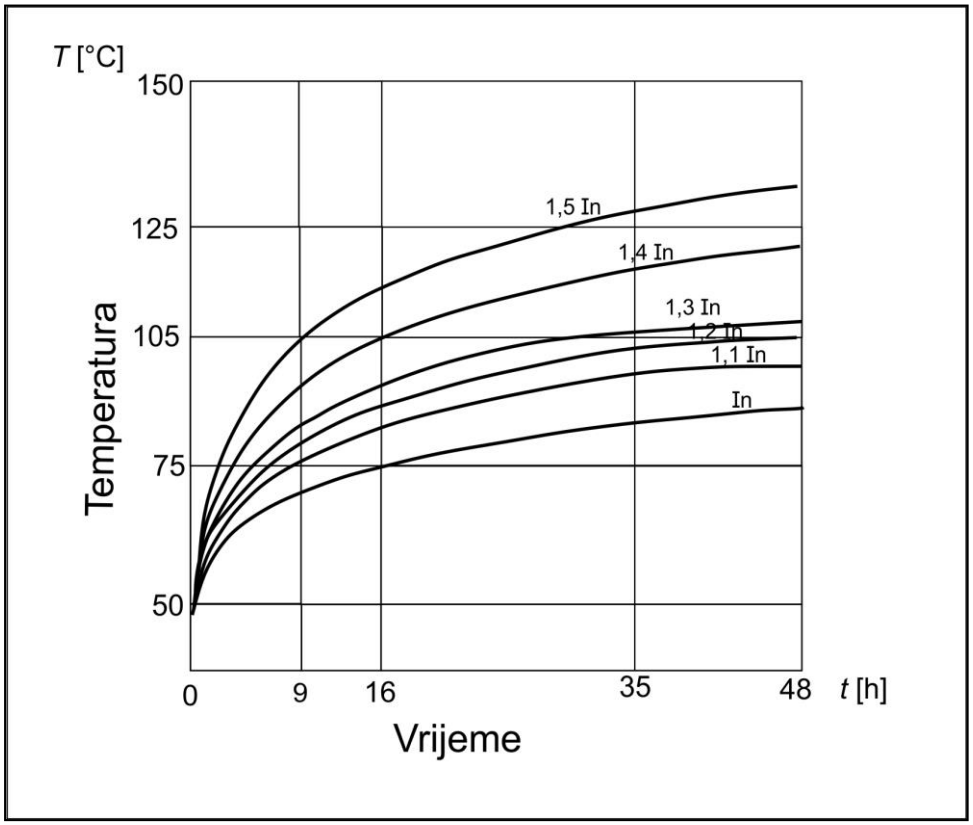
termičke prilike kratkotrajno preopterećenog kabela uz promjenjivu vrijednost termičke otpornosti zemlje. Na slikama 6.8., 6.9., 6.10 i 6.11 [13] prikazani su dijagrami s objašnjenima u opisu slika.



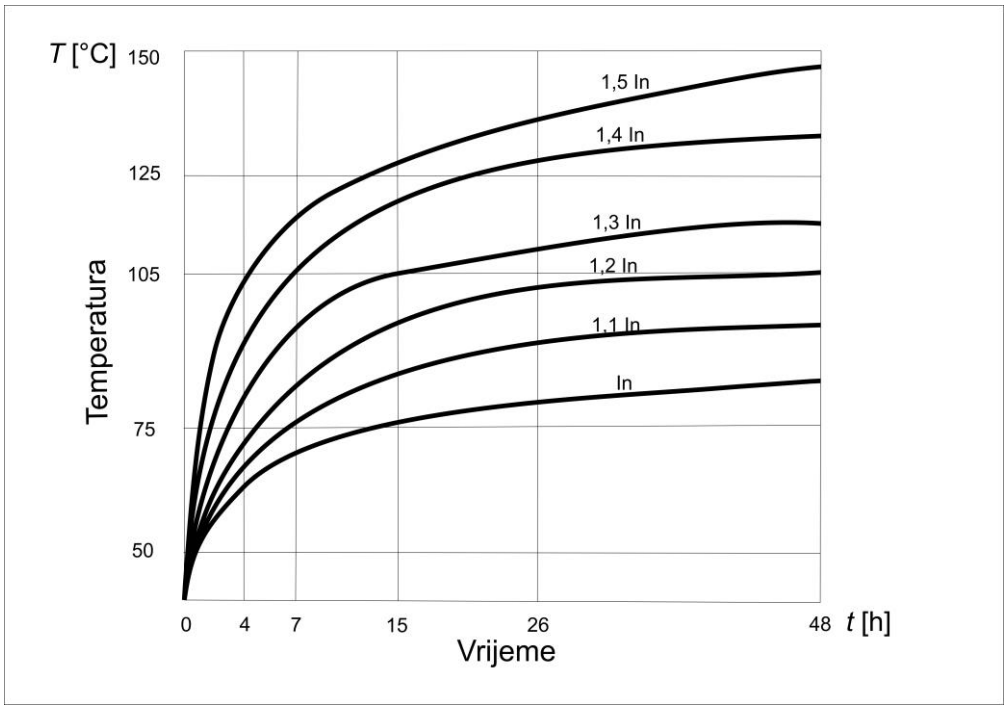
Slika 6.8. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 20 % In



Slika 6.9. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 40 % In



Slika 6.10. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 60 % In



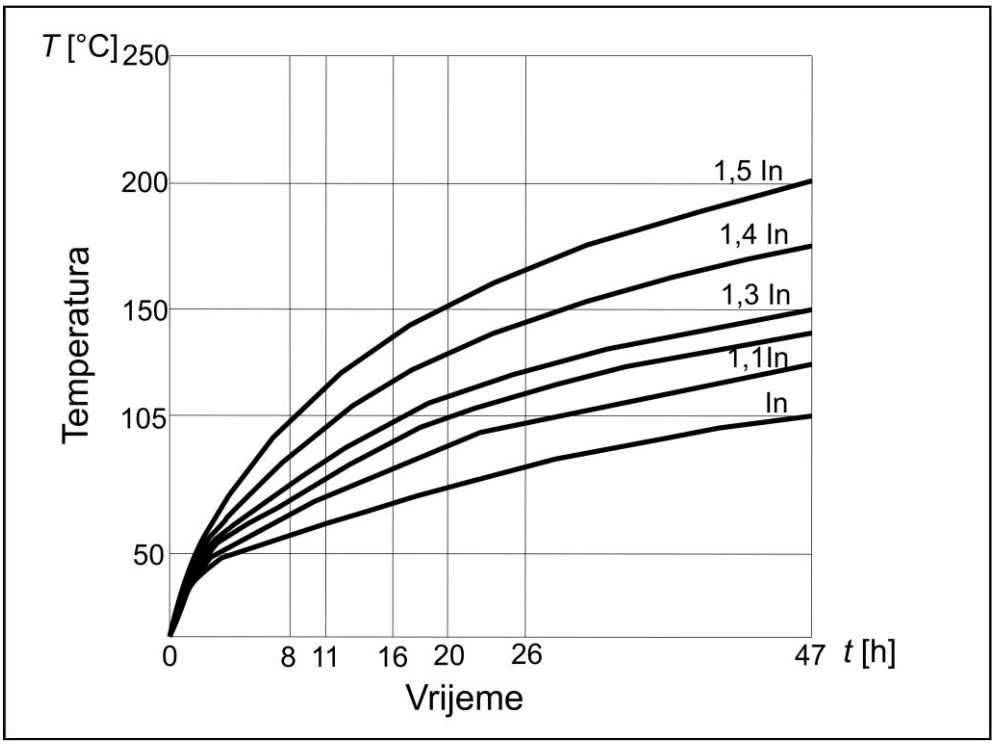
Slika 6.11. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 80 % In

U tablici 6.4. [9] prikazane su vrijednosti prethodnog opterećenja u postocima te vrijeme u satima koje je potrebno da temperatura vodiča dosegne 105 °C, što je maksimalna dozvoljena temperatura koja se tolerira u iznimnim slučajevima.

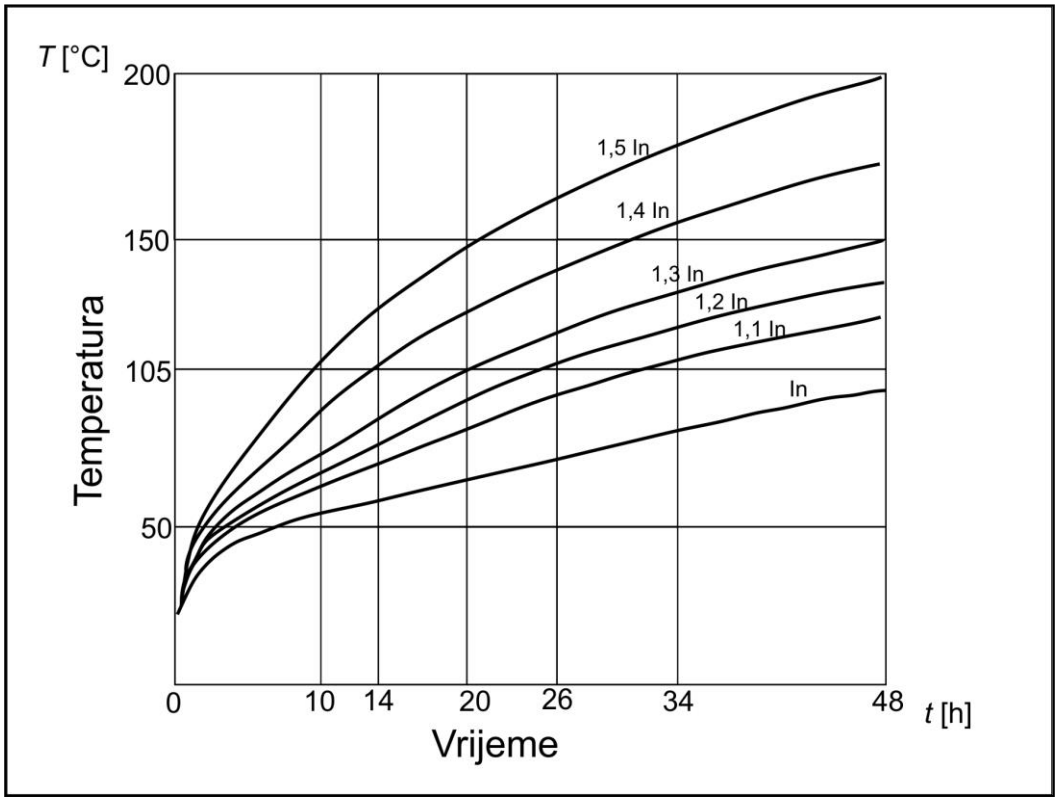
Tablica 6.4. Vrijeme u satima potrebno da se temperatura vodiča povisi na 105 °C

Prethodno opterećenje	**Preopterećenje [% *I*n]**					
	110	**120**	**125**	**130**	**140**	**150**
20% *I*n	>48 h	>48 h	>48 h	>48 h	28 h	16 h
40% *I*n	>48 h	>48 h	>48 h	45 h	22 h	13 h
60% *I*n	>48 h	>48 h	>48 h	35 h	16 h	9 h
80% *I*n	>48 h	>48 h	26 h	15 h	7 h	4 h

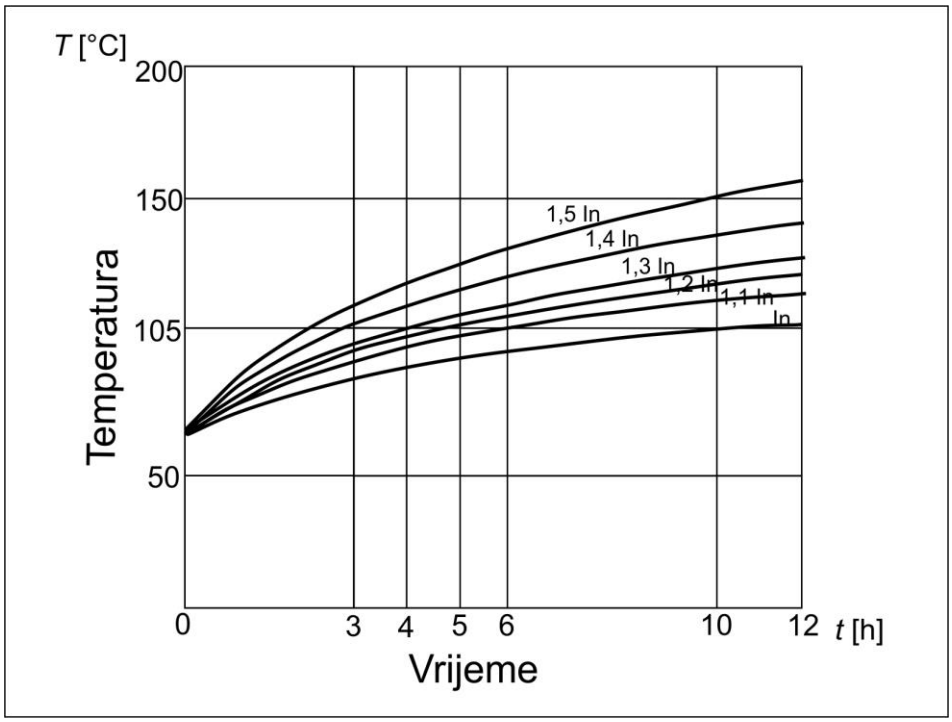
Na slikama 6.12., 6.13., 6.14 i 6.15 [13] prikazani su dijagrami s objašnjenima u opisu slika.



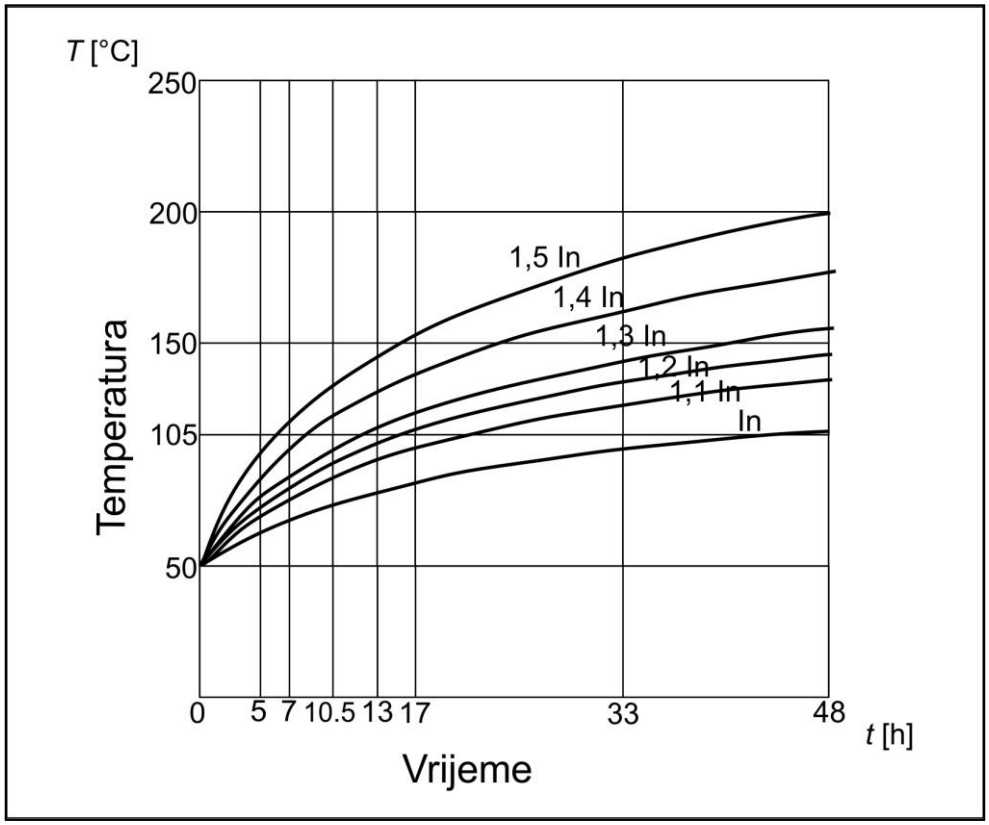
Slika 6.12. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 20 % In i promjenjivoj termičkoj otpornosti tla



Slika 6.13. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 40 % In i promjenjivoj termičkoj otpornosti tla



Slika 6.14. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 60 % In i promjenjivoj termičkoj otpornosti tla



Slika 6.15. Temperatura vodiča pri prethodnom opterećenju 80 % In i promjenjivoj termičkoj otpornosti tla

Tablica 6.5. Vrijeme u satima potrebno da se temperatura vodiča povisi na 105 °C uz promjenjiv termički otpor tla [9]

Prethodno opterećenje	**Preopterećenje [% In]**					
	110	**120**	**125**	**130**	**140**	**150**
20% In	>48 h	34 h	26 h	20 h	14 h	10 h
40% In	47 h	26 h	20 h	16 h	11 h	8 h
60% In	33 h	17 h	13 h	10,5 h	7 h	5 h
80% In	10 h	6 h	5 h	4 h	3 h	2,5 h

7. PARAMETRI VISOKONAPONSKIH KABELA

Parametri prijenosa kabela dijele se na primarne i sekundarne parametre. Primarni parametri su otpor, induktivitet, kapacitet i vodljivost, a sekundarni su karakteristična impedancija, konstanta prigušenja, fazna konstanta i brzina prijenosa. U tablicama 7.1. i 7.2. prikazani su opisi pojedinih parametara [14].

Tablica 7.1. Primarni parametri prijenosa

A. PRIMARNI PARAMETRI	
OTPOR	Za vodiče u telekomunikacijskim kabelima pretežno se upotrebljava elektrolitski čist bakar. Ponekad se za vodiče upotrebljava aluminij, ali tada promjeri vodiča moraju biti 30% veći, tj. površina poprečnog presjeka 68% veći u odnosu na bakrene vodiče, da bi im otpor ostao isti. Otpor je najbitniji parametar za prijenos istosmjerne struje.
INDUKTIVITET	Vodiči u kabelu su od obojenih metala i nalaze se jedan blizu drugoga, uslijed čega je induktivitet relativno malen i beznačajan, naročito za kratke dužine kabela.
KAPACITET	Budući da su vodiči u kabelu jedan blizu drugoga kapacitet je relativno velik. Vodiči većeg presjeka imaju po pravilu veći kapacitet, ali on ovisi i o vrsti i debljini izolacije.
VODLJIVOST IZOLACIJE	Vodiči u kabelu dobro su izolirani jedan prema drugom i prema plaštu, pa je odvod neznatan, naročito kod niskih frekvencija i može se zanemariti, međutim kod visokih frekvencija postaje značajan.

Tablica 7.2. Sekundarni parametri prijenosa

B. SEKUNDARNI PARAMETRI	
KARAKTERISTIČNA IMPEDANCIJA	Ovisi o odnosu induktiviteta i kapaciteta kabela, te o frekvenciji struj koja se prenosi. Kod običnih niskofrekventnih kabela proporcionalna je otporu, dok je kod visokofrekventnih kabela određena isključivo konstrukcijom kabela, tj. njegovim induktivitetom i kapacitetom.
KONSTANTA PRIGUŠENJA	Otporno prigušenje nastoji se umanjiti smanjivanjem otpora vodiča ili povećanjem induktiviteta. Kod visokih frekvencija oba su dijela izraza: $\alpha = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}\left[\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{km}}\right]$ za prigušenje podjednako važna. Kod frekvencije 1 MHz prvi dio izraza iznosi 50 % do 40 %, a drugi 50 % do 60 % ukupnog prigušenja.
FAZNA KONSTANTA	Fazno izobličenje prenošenog signala po kabelu veće je nego kod zračnog voda, ali postaje značajno tek za veće dužine kabla.
BRZINA PRIJENOSA	Brzina prijenosa signala ovisi o frekvenciji signala koji prenosi i fazne konstante voda. Kod niskofrekventnih kabela je brzina prijenosa relativno mala, dok se kod visokofrekventnih približava brzini svjetlosti $c = 300.000\ \mathrm{km/s}$.

Jedan od najvažnijih parametara kod dimenzioniranja kabela je jakost struje koju trajno može podnijeti. Dana je izrazom (3) te se uz pomoć nje na terenu mogu brzinski odrediti presjeci kabela te njegove zaštite odnosno osigurači. Struja se najčešće računa iz snage koja je dana u formuli pod izrazom (3) [15].

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \tag{7-3}$$

8. TOPLINSKI PRORAČUN VN KABELA

Prije određivanja samog toplinskog proračuna visokonaponskih kabela, potrebno je poznavati teoriju koja omogućuje lakše računanje. Za početak važno je objasniti pojave kondukcije i konvekcije topline. Kondukcija topline je pojava prijenosa topline tako da se dio tijela zagrijava izravnim dodirom s izvorom topline, a susjedni se dijelovi redom dalje zagrijavaju. Na primjer, ako se jedan kraj metalnog štapa stavi u peć, toplina se po štapu širi vođenjem [16]. Kada je temperaturna razlika između dva tijela veća, raste i brzina prenošenja topline koja također ovisi i o samoj tvari, odnosno o geometriji tvari, debljini, materijalu i o temperaturnoj razlici duž same tvari.

Kondukcija se još naziva i vođenje topline, a može se definirati kao prijenos topline koji se ostvaruje između dva tijela ili između dijelova tijela na različitim temperaturama. Taj prijenos ostvaruje se međusobnim djelovanjem susjednih molekula različitih brzina titranja oko ravnotežnog položaja. Što je temperatura tvari viša, to je veća kinetička energija molekula, pa je vođenje prenošenje kinetičke energije od jedne molekule na drugu [16].

Širenje topline je različito za sva tri agregatna stanja pa je tako u krutim tijelima vođenje jedini način širenja topline kroz tijelo, dok su kod plinova i tekućina prisutne konvekcija i toplinsko zračenje. Konvekcijom i toplinskim zračenjem prenosi se puno više topline nego vođenjem, kao i putem dobrih vodiča poput metala. Postoje također i loši vodiči topline poput izolatora i tekućina koji puno sporije provode toplinu od dobrih vodiča.

Koeficijent toplinske vodljivosti λ toplinska je karakteristika određenog materijala a ovisi o temperaturi i o tlaku. Može se zaključiti da materijali sa visokim λ vrijednostima dobro provode toplinu i smatraju se toplinskim vodičima (npr. metali). Suprotno tome materijali sa malim λ vrijednostima smatraju se toplinskim izolatorima. Posebno dobri toplinski izolatori su oni sa šupljikavom strukturom (poroznom), kao što je staklena vuna ili poliuretanska pjena [17]. Koeficijent toplinske vodljivosti koristi se u proračunu Fourierova zakona vođenja topline koji iskazuje da je vremenska učestalost (to jest brzina) prijenosa topline kroz materijal, razmjerna negativnom gradijentu temperature te površini pod pravim kutovima, na taj gradijent, kroz koju toplina protječe [16]:

$$Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S \qquad (8 - 1)$$

Gdje je:

λ - koeficijent toplinske vodljivosti materijala,

$\Delta T = T_2 - T_1$ - razlika temperatura na krajevima sloja,

S - površina kroz koju prolazi toplina,

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$ - temperaturni gradijent.

Vrijednosti λ za neke osnovne materijale prikazane su u tablici 8.1. [17]:

Tablica 8.1. Toplinske vodljivosti nekih metala, nemetala, krutina, tekućina i plinova

Materijal	Toplinska vodljivost pri 300 K [W/(mK)]
Srebro	420
Bakar	385
Aluminij	205
Željezo	60
Beton	1,3
Staklo	0,8
Žbuka	0,8
Cigla	0,7
Zemlja	0,5
Voda	0,6
Azbestni cement	0,5
Drvo	0,13
Guma	0,15
Papir	0,13
Polistiren	0,01
Staklena vuna	0,035
Poliuretanska pjena	0,03
Zrak	0,025

Konvekcija je usmjereno gibanje odnosno strujanje fluida (kapljevina i plinova), topliji fluid se giba prema hladnijem i predaje toplinu okolini [18]. Ovaj način prijenosa topline je jedan od glavnih načina prijenosa. U fluidima se promjena topline odvija kroz difuziju - nasumično Brownovo gibanje pojedinačnih čestica u fluidu, te kroz koherentno gibanje zraka – prijenos topline u kojem se fluid ili toplina prenosi u većim strujama.

Postoje dvije glavne vrste konvekcije [18]:

1. Toplina se prenosi pasivno, gibanjem fluida koje bi se dogodilo i bez procesa grijanja. Ovaj slučaj konvekcije se najčešće naziva **prisilna konvekcija**.

2. Toplina sama izaziva kretanje fluida (putem širenja i sile uzgona), dok se u isto vrijeme izaziva prijenos topline ovakvim skupnim gibanjem fluida. Ovaj proces se naziva **prirodna konvekcija**.

Ukoliko se obje konvekcije odvijaju istodobno takva vrsta konvekcije naziva se mješovita. Konvekcija je mehanizam prijenosa topline koji nastaje zbog masovnog kretanja fluida što može biti prikazano sa vodljivim prijenosom topline koje je prijenos energije vibracijama na molekularnoj razini kroz fluide i čvrsta tijela te prijenos energije elektromagnetskim valovima.

Prijenos topline može se računati pomoću Newtonova zakona hlađenja [17]:

$$q = h_c \left(T_p - T_f \right), \tag{8 - 2}$$

gdje je T_p temperatura čvrste plohe uz koju struji fluid, T_f temperatura fluida dalje od granične plohe, a h_c koeficijent konvekcije koji se izražava u $\mathrm{W\,K^{-1}m^{-2}}$ i za jednostavnije slučajeve može se izračunati pomoću empirijskih relacija. U Tablici 8.2. prikazani su koeficijenti konvekcije za osnovne fluide i vrste konvekcije [17].

Tablica 8.2. Red veličine koeficijenta konvekcije h_c

Fluid	Vrsta konvekcije	Koeficijent konvekcije [W/(m²·K)]
Zrak	slobodna	5 - 30
Pregrijana para	prisilna	30 -300
Ulje	prisilna	60 - 1800
Voda	prisilna	300 - 18000
Voda, vrenje	prisilna	3000 - 60000
Voda, kondenzacija	prisilna	6000 - 120000

Koeficijent konvekcije određuje se pomoću ranih empirijskih izraza no budući da u većini slučajeva koeficijent konvekcije može biti aproksimiran zbog manjih odstupanja i zbog toga što ne utječe u velikim iznosima na ukupan rezultat, može se računati pomoću znatno jednostavnijeg izraza:

$$h_c = 2{,}541 \cdot C \cdot \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^n, \tag{8 – 3}$$

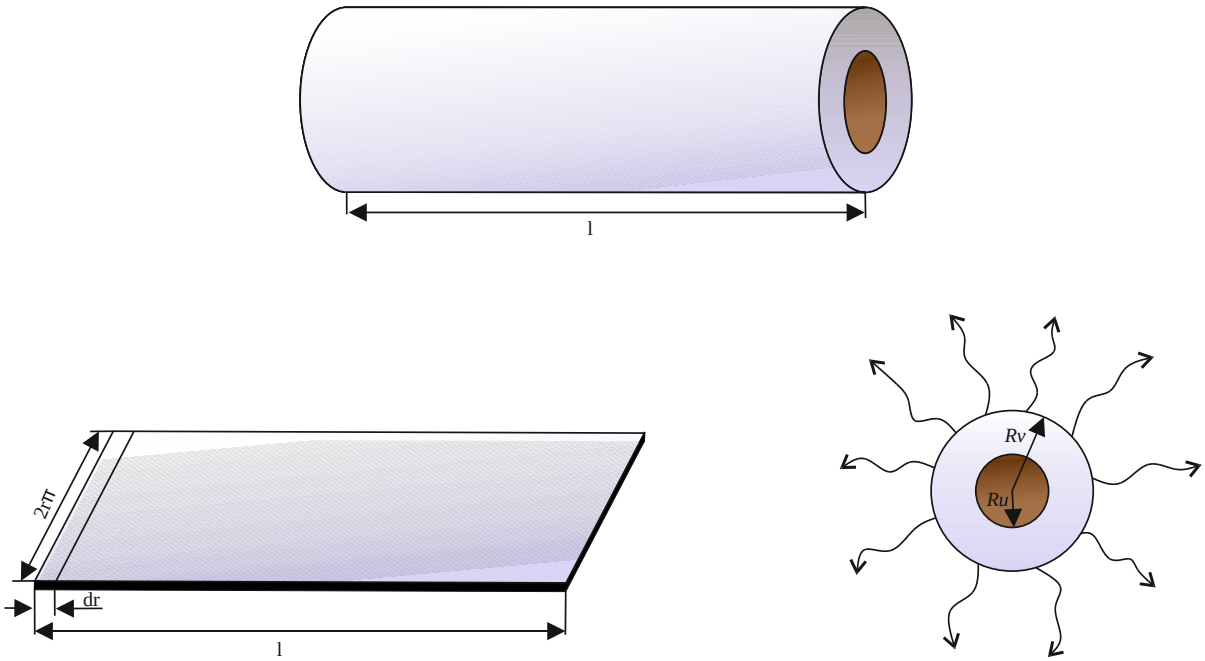
gdje n iznosi $n = 0{,}25$ kada je $10^3 < Ra < 10^9$ odnosno $n = 0{,}33$ kada je $Ra > 10^9$;
Ra - Rayleightov broj

Toplinski proračun XLPE kabela koji je prikazan na slikama 8.1. i 8.2. [13,19] prati slijedeće:

XLPE kabel 1 × 185 mm^2 Promjer vanjski Rv = 63,3 mm,

Promjer vodiča Ru = 15,8 mm

Otpor vodiča pri 20 °C – 0,0991 Ω/km



Slika 8.1. Prikaz XLPE kabela 1 x 185 mm^2

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \ [\Omega] \qquad (8-4)$$

$$A = l \cdot 2r\pi \qquad (8-5)$$

$$l \rightarrow \mathrm{d}r$$

Uvrštavanjem izraza (8 – 5) u relaciju (8 – 4) i njegovim deriviranjem dobije se:

$$\mathrm{d}R = \rho \cdot \frac{\mathrm{d}r}{l \cdot 2r\pi} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} \cdot \frac{\mathrm{d}r}{r} \qquad (8-6)$$

I nakon toga integriranjem izraza (8 – 6) dobije se:

$$R = \int_{R_U}^{R_V} \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} \cdot \frac{\mathrm{d}r}{r} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} \int_{R_U}^{R_V} \frac{\mathrm{d}r}{r} =$$

$$R = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} \cdot \ln r \Big/_{R_U}^{R_V} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} (\ln R_V - \ln R_U) = \qquad (8-7)$$

$$R = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} \cdot \ln \frac{R_V}{R_U}$$

Presjek bakrenog vodiča iznosi $S = 185\ \mathrm{mm}^2$, a nominalna vrijednost struje za taj presjek iznosi $I = 525\ \mathrm{A}$ pri radnoj temperaturi XLPE izolacije $T = 65\ °\mathrm{C}$ što je preračunato jednako $T = 338{,}15\ \mathrm{K}$. Temperatura okoline iznosi $T = 30\ °\mathrm{C}$, odnosno $T = 303{,}15\ \mathrm{K}$. Vrijednost toplinske vodljivosti XLPE izolacije je $\lambda = 0{,}3\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$, a koeficijent prijenosa je aproksimiran na vrijednost $h_c = 5\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$. Koeficijent h_c oscilira zbog puno faktora koji utječu na njega a računa se prema relaciji:

$$h_c = 2{,}541 \cdot C \cdot \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^n =$$

$$h_c = 2{,}541 \cdot 0.53 \cdot \left(\frac{90 - 30}{63{,}3} \right)^{0{,}25} = \qquad (8-8)$$

$$h_c = 7{,}402\ \mathrm{m^{-2} \cdot K^{-1}}$$

Polumjer kabela je $r_V = 31{,}65\ \mathrm{mm}$, duljina $l = 1\ \mathrm{m}$, dok je polumjer samog bakrenog $r = 7{,}9\ \mathrm{mm}$. Prema izrazu (8 – 7) računa se toplinski otpor uslijed kondukcije XLPE izolacije kabela:

$$R_{\mathrm{cond}} = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{1}{2\pi l} \cdot \ln \frac{R_V}{R_U} =$$

$$R_{\mathrm{cond}} = \frac{1}{0{,}3} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \ln \frac{31{,}65 \cdot 10^{-3}}{7{,}9 \cdot 10^{-3}} = \qquad (8-9)$$

$$R_{\mathrm{cond}} = 0{,}7363\ \mathrm{K/W}$$

Toplinski otpor uslijed konvekcije računa se prema izrazu:

$$R_{\mathrm{Conv}} = \frac{1}{h_C \cdot S_{\mathrm{Plašta}}} = \frac{1}{h_C \cdot 2 r_V \pi \cdot l} \qquad (8-10)$$

$$R_{\mathrm{Conv}} = \frac{1}{5} \cdot 2 \cdot 31{,}65 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot 1 =$$

$$R_{\mathrm{Conv}} = 0{,}0398\ \mathrm{K/W}$$

Zbrajanjem toplinskog otpora kondukcije i toplinskog otpora konvekcije dobije se ukupni toplinski otpor i iznosi:

$$R_{\text{th}} = R_{\text{Cond}} + R_{\text{Conv}} = 0,7363 + 0,0398 =$$

$$R_{\text{th}} = 0,7761 \text{ K/W}$$

Na temelju ekvivalentne Kirchhoffove toplinske sheme dobije se slijedeći izraz:

$$0 + T_{\text{okoline}} + P_{\text{gubitaka}} \cdot R_{\text{Conv}} + P_{\text{gubitaka}} \cdot R_{\text{th,plašta}} = T_{\text{Cu}} \qquad (8-11)$$

u kojemu vrijede slijedeće analogije:

$$P_{\text{Toplinsko}} \hat{=} I$$

$$P \cdot R_{\text{th,plašta}} \hat{=} \Delta U$$

$$T \hat{=} U$$

Kao što je već spomenuto, za potrebe proračuna odabran je kabel presjeka $S = 185 \text{ mm}^2$ i dozvoljene struje opterećenja $I = 525 \text{ A}$. Jouleov-i gubici za zadanu struju i otpor vodiča duljine $l = 1 \text{ m}$ iznose:

$$P_{\text{gubitaka}} = I^2 \cdot R_{\text{vodiča}} \qquad (8-12)$$

$$P_{\text{gubitaka}} = 525^2 \cdot \frac{0,0991}{1000} =$$

$$P_{\text{gubitaka}} = 27,31 \text{ W}$$

Uvrštavanjem zadanih i izračunatih vrijednosti u izraz (8 – 11) dobije se:

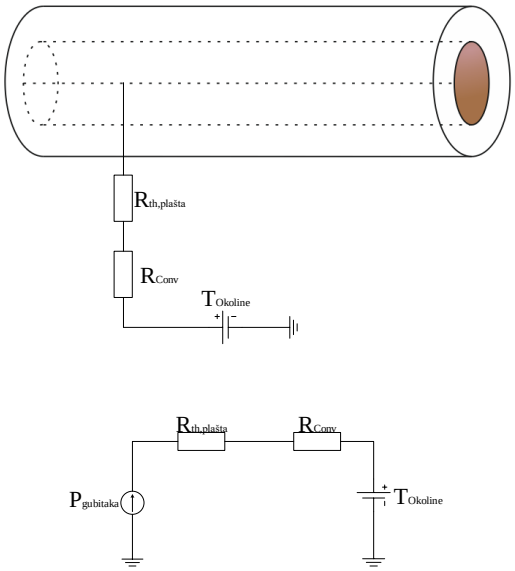
$$T_{\text{Cu}} = T_{\text{okoline}} + P_{\text{gubitaka}} \cdot R_{\text{Conv}} + P_{\text{gubitaka}} \cdot R_{\text{th,plašta}} =$$

$$T_{\text{Cu}} = T_{\text{okoline}} + P_{\text{gubitaka}} \cdot R_{\text{th}} =$$

$$T_{\text{Cu}} = 303,15 + 27,31 \cdot 0,7761 = \qquad (8-13)$$

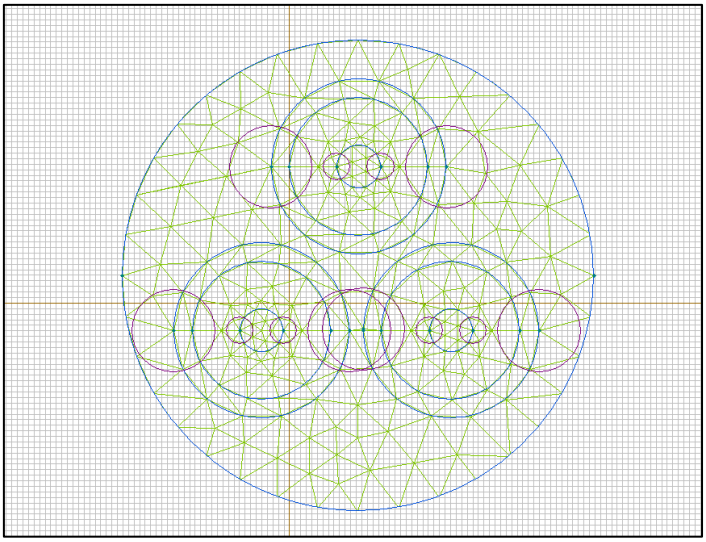
$$T_{\text{Cu}} = 324,34 \text{ K}$$

Na temelju vrijednosti dobivenih proračunom, može se zaključiti kako bi bakreni vodič protjecan strujom jakosti $I = 525\ \mathrm{A}$, presjeka $S = 185\ \mathrm{mm}^2$, u okolini temperature $T = 303{,}15\ \mathrm{K}$, imao temperaturu $T = 324{,}34\ \mathrm{K}$, odnosno $T = 51{,}19\ °\mathrm{C}$.

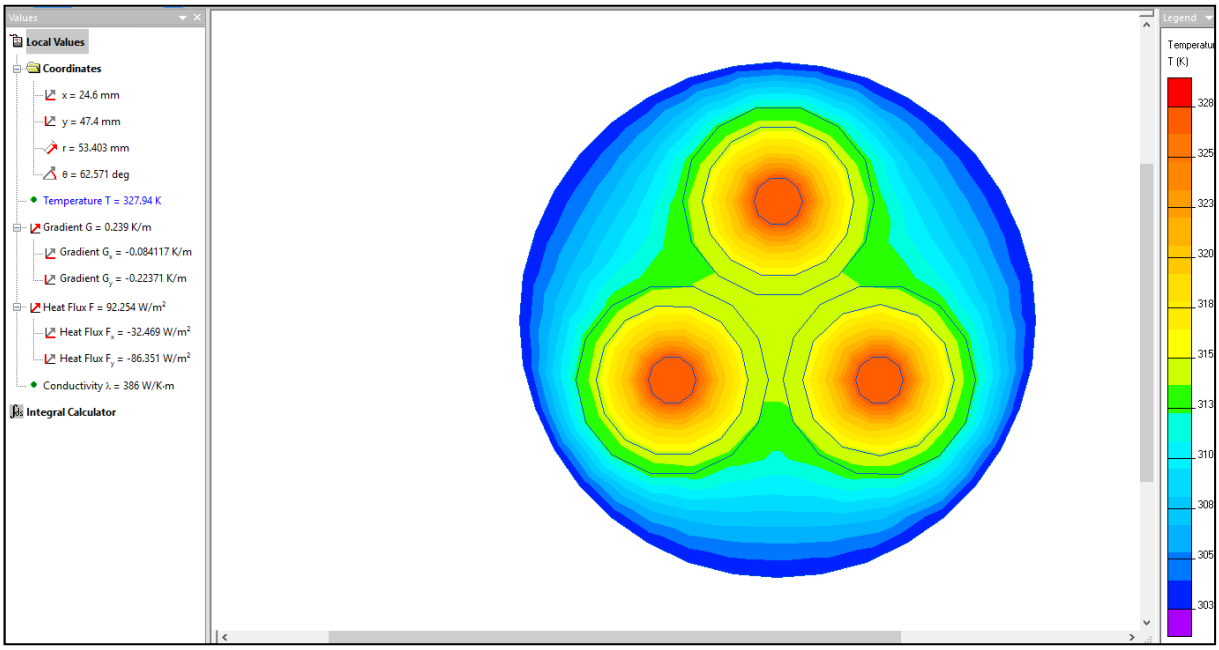


Slika 8.2. Strujni krug za zadani proračun

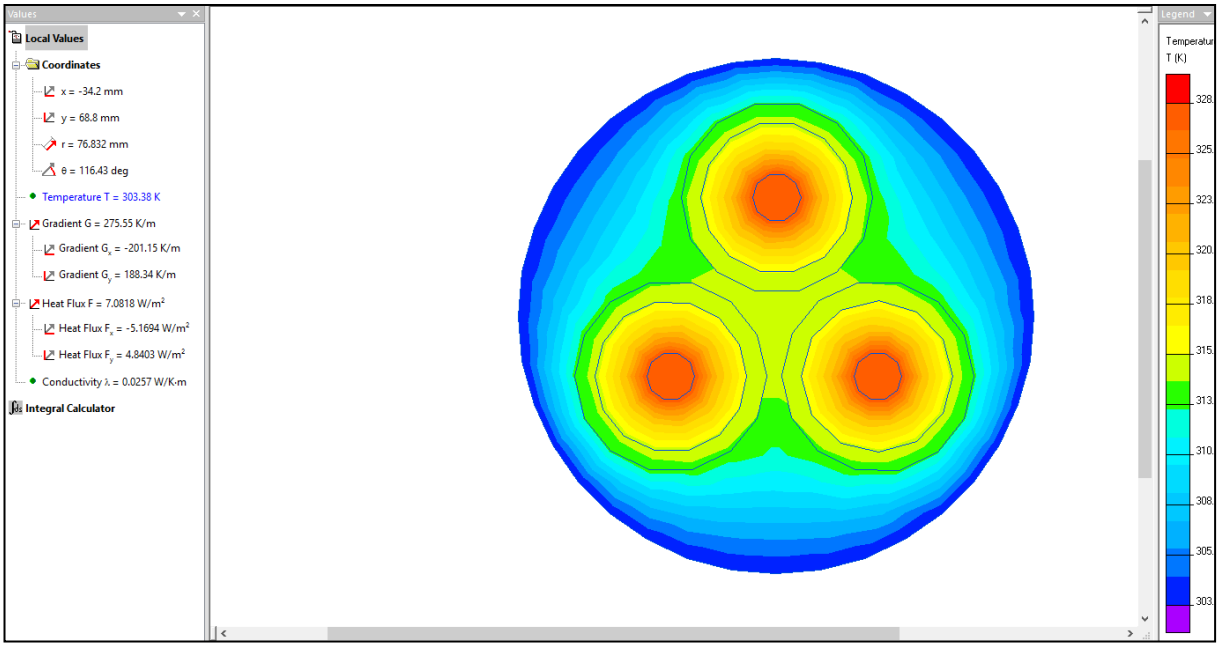
Na slikama 8.3., 8.4. i 8.5. može se vidjeti simulacija kabela XLPE 1 × 185 mm^2 na kojima je vidljivo širenje topline i sama temperatura vodiča od $T_{\mathrm{Cu}} = 327{,}94\ \mathrm{K}$ i okoline od $T_{\mathrm{Okoline}} = 303{,}38\ \mathrm{K}$, čije vrijednosti se neznatno razlikuju od izračunatih vrijednosti temperature, zbog aproksimacije vrijednosti kod proračuna te promjenjivog koeficijenta konvekcije.



Slika 8.3. Prikaz mreže korištenjem metode konačnih elemenata



Slika 8.4. Prikaz temperature vodiča u simulaciji



Slika 8.5. Prikaz temperature okoline u simulaciji

9. PRORAČUN ZA ODREĐIVANJE PRESJEKA XLPE KABELA

9.1. TERMIČKE PRILIKE I PREOPTEREČENJA KABELA

Određivanje presjeka kabela izolacije od umreženog polietilena (XLPE) napona $U = 35\,\text{kV}$, dužine $l = 8\,\text{km}$, ako prenosi snagu $P_2 = 6\,\text{MW}$ uz $\cos\varphi_2 = 0{,}8$. Maksimalni dozvoljeni pad napona je $\Delta u_{\%} = 1{,}5\,\%$, a gubitak snage $\Delta p_{\%} = 1{,}5\,\%$. Srednja termička struja kratkog spoja je $I_{\text{Kt}} = 15\,\text{kA}$, a vrijeme isklopa KS je $t_{\text{i}} = 0{,}6\,\text{s}$. Uvjeti na mjestu ukapanja kabela zahtijevaju da kabel bude jednožilni s bakrenim vodičima položenim u trolist (vodiči se dodiruju). Pretpostavlja se da će prosječna temperatura vodiča kabela biti $T = 60\,°\text{C}$. Svojstva na mjestu polaganja kabela: u zemlju toplinskog otpora $\theta = 1{,}5\,(\text{K}\cdot\text{m})/\text{W}$, dubina polaganja kabela je 1 m i prosječna temperatura zemlje je $T = 15\,°\text{C}$ [19].

$U_{\text{n}} = 35\,\text{kV}$
$l = 8\,\text{km}$
$P_2 = 6\,\text{MW}$
$\cos\varphi = 0{,}8$
$\Delta u_{\%} = \Delta P_{\%} = 1{,}5\,\%$
$I_{\text{th}} = 15\,\text{kA}$, ti = 0,6 s
$d = 1\,\text{m}$, $T_{\text{z}} = 15\,°\text{C}$
$\theta = 1{,}5\,\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ - toplinski otpor
Cu, $T_{\text{p}} = 60\,°\text{C}$

1° Trajna pogonska struja

$$I_{\text{p}} = \frac{P_2}{\sqrt{3}\cdot U_{\text{n}}\cdot\cos\varphi} = \frac{6\cdot 10^6}{\sqrt{3}\cdot 35\cdot 10^3\cdot 0{,}8} = 123{,}72\ \text{A} \qquad (9 - 1)$$

na temelju struje bira se presjek kabela $\left(6.1.3.\ \textit{tablica}\ -\ \textit{katalog ELKA za napone do}\ 36\ \textit{kV}\right)$

$A = 35\,\text{mm}^2$, $I_{\text{n}} = 195\,\text{A} > 123{,}72\,\text{A}$
$C_T = 1{,}04$ (15°C)
$C_d = 0{,}98$ (1 m)
$C_\theta = 0{,}86$
$C_p = 1$ (broj kabela u sustavu)

$C = 1{,}04\cdot 0{,}98\cdot 0{,}86\cdot 1 = 0{,}876$
$I_{\text{nd}} = C\cdot I_{\text{n}} = 0{,}876\cdot 195 = 170{,}9\,\text{A} > 123{,}72 \rightarrow 35\,\text{mm}^2$

2° Struja kratkog spoja

A = 35 mm^2 $\rightarrow$ I_{k1} = 5,1 kA

$$I_{k0,6} = \frac{I_{k1}}{\sqrt{0,6}} = \frac{5,1}{\sqrt{0,6}} = 6,58 \text{ kA} < 15 \text{ kA} \rightarrow 35 \text{ mm}^2 \text{ ne zadovoljava} \qquad (9 - 2)$$

A = 95 mm^2 $\rightarrow$ I_{k1} = 13,7 kA

$$I_{k0,6} = \frac{I_{k1}}{\sqrt{0,6}} = \frac{13,7}{\sqrt{0,6}} = 17,7 \text{ kA} > 15 \text{ kA} \rightarrow 95 \text{ mm}^2 \text{ zadovoljava}$$

3° Pad napona

$\Delta u_{\%d}$ = 1,5%, T_p = 60 °C

A = 95 mm^2

$$\Delta u_{\%d} = \frac{100 \cdot P \cdot l \cdot \rho_\vartheta}{U_n^2 \cdot A} \cdot k \qquad (9 - 3)$$

$$k = 1 + \frac{X_1}{R_1} \cdot \text{tg}\varphi_2$$

$$\rho_{\vartheta,Cu} = 0,017241 + 0,68 \cdot 10^{-4} \cdot (60° - 20°) = 0,019961 \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}\right]$$

$\rightarrow 0,017241$ (20 °C) $\neq T_p$ = 60 °C $\rightarrow$ mora se korigirati

Tablica 7.1. - određivanje električnog otpora vodiča:

R_1 = 0,193 Ω/km $\rightarrow$ 20 °C

$R_{1,60°} = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot [\vartheta - 20°])$ = 0,193 · (1+3,93·10^{-3} · 40) = 0,223 Ω/km,

α - temperaturni koeficijent za bakar koji iznosi 3,93·10^{-3}

A = 95 mm^2 $\rightarrow$ tablica 7.3. $\rightarrow$ L_1 = 0,45·10^{-3} Ω/km

$X_1 = \omega L_1$ = 0,141 Ω/km

$$k = 1 + \frac{0,141}{0,223} \cdot \text{tg}36° = 1,47 \approx 1,5$$

$$\Delta u_{\%d} = \frac{100 \cdot P \cdot l \cdot \rho_\vartheta}{U_n^2 \cdot A} \cdot k = \frac{100 \cdot 6 \cdot 10^6 \cdot 8000 \text{ m} \cdot 0,019961 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}}{(35 \cdot 10^3)^2 \cdot 95 \text{ mm}^2} \cdot 1,47 =$$

=1,21% < 1,5% $\rightarrow$ A = 95 mm^2 odgovara

4° Snaga

$$\Delta P_{\%} = \frac{100 \cdot P_2 \cdot l \cdot \rho_\vartheta}{U_n^2 \cdot (\cos\varphi_2)^2 \cdot A} = \frac{100 \cdot 6 \cdot 10^6 \cdot 8000 \cdot 0,019961}{(35 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,8^2 \cdot 95} = \qquad (9 - 4)$$

$= 1,29\% < 1,5\%$ $\rightarrow$ A = 95 mm^2 odgovara

10. POJAVA KORONE

Kao primjer, može se promatrati izbijanje korone u zraku koja može služiti za senzibiliziranje površine fotokonduktora. Korona predstavlja relativno stabilno izbijanje u zraku, za razliku od parcijalnih izbijanja koja se pojavljuju povremeno i u nepravilnim vremenskim razmacima. Izboji korone su električni izboji do kojih dolazi ionizacijom tekućine koja okružuje vodič koji je nabijen. Korona se prirodno nalazi u postrojenjima visokog napona, osim ako se ograniči jakost električnog polja. Također, javlja se ukoliko je jakost električnog polja (gradijent električnog potencijala) oko vodiča dovoljno visoka, što formira vodljivo područje, ali ne dovoljno visoko da uzrokuje električni proboj ili iskrenje na obližnje objekte.

Korona se često može doživjeti kao plavkasti sjaj, ili druge boje, u zraku koja se stvara na šiljastim metalnim vodičima koji su pod visokim naponom. Korona uzrokuje ionizaciju zraka koji postaje kemijski aktivan. U zraku, ionizacijom primarno nastaju plinovi kao što su ozon (O_3) i dušikov oksid (NO), te sekundarno dušikov dioksid (NO_2) i dušična kiselina (HNO_3) ukoliko je vodena para prisutna. Izboj korone je proces kojim struja teče od elektrode s visokim potencijalom u neutralnu tekućinu, najčešće zrak, ioniziranjem tog fluida kako bi se stvorila regija plazme oko elektrode. Ioni generiraju naboj kod obližnjih područja nižeg potencijala ili ih kombiniraju da stvaraju neutralne molekule plina. Kada je jakost električnog polja dovoljno visoka, fluid se ionizira i postaje električno vodljiv. Jakost električnog polja je viša što je radijus zakrivljenosti objekta manja, odnosno oštriji, tj. ako ima rubove i bridove [21].

Pojava korone obično se nalazi kod malih radijusa zakrivljenosti vodiča, na krajevima elektroda, oštrim vrhovima, rubovima mentalnih površina ili žicama manjih promjera. Mali radijus zakrivljenosti uzrokuje visok gradijent električnog potencijala na tim mjestima, odnosno kako je električno polje proporcionalno gradijentu potencijala, velike su jakosti električnog polja, te se zrak razgrađuje (molekule koje ga tvore se raspadaju pod djelovanjem električnog polja) te nastaje plazma.

Kako bi se suzbilo formiranje korone, terminali na visokonaponskoj opremi su često dizajnirani s glatkim zaobljenim oblicima velikih promjera (radijusa zakrivljenosti). Pojavu može uzrokovati pozitivan ili negativan polaritet napona (potencijala) na elektrodama malih radijusa zakrivljenosti.

Ukoliko je zakrivljena elektroda na pozitivnom potencijalu, tada je i korona pozitivna, ako je elektroda na negativnom potencijalu, i korona je negativna. Pozitivna i negativna korona imaju različite manifestacije, asimetrija nastaje zbog velike razlike u masi između elektrona i pozitivno nabijenih iona, gdje elektron ima sposobnost da prođe kroz značajan stupanj ionizirajućeg neelastičnog sudara pri uobičajenim temperaturama i tlakovima. Negativna korona izaziva stvaranje mnogo više ozona od pozitivne.

10.1.OPIS POZITIVNE KORONE

Pozitivna korona se manifestira kao jedinstvena plazma preko duljine vodiča. Najčešće je vidljiva kao sjaj plave ili bijele boje iako su mnoge emisije ultraljubičaste boje. Uniformnost plazme uzrokuje homogeni izvor sekundarnih elektrona. Iako ima istu geometriju i napon, ipak se pojavljuje u malo manjem izdanju od negativne korone zbog nedostatka neionizirajućih plazma regija između unutrašnjih i vanjskih dijelova. S druge strane, pozitivna korona ima znatno nižu gustoću slobodnih elektrona u odnosu na negativnu koronu.

Elektroni u pozitivnoj koroni su koncentrirani u neposrednoj blizini površine malih radijusa zakrivljenosti vodiča u području visokog gradijenta električnog potencijala, dok su elektroni u negativnoj koroni u vanjskim i nižim područjima. Isto tako pozitivna korona stvara mnogo manje ozona od odgovarajuće negativne korone, pa su s time i reakcije koje proizvodi ozon relativno niske energije [21].

U pozitivnoj koroni, sekundarni elektroni, nastaju uglavnom u istoj tekućini, odnosno fluidu, u području izvan plazmi. Stvaraju se ionizacijom koju uzrokuju fotoni emitirani iz te plazme u raznim procesima, tj. toplinska energija koja je oslobođena u procesima stvara fotone koji se emitiraju u plin. Elektroni koji proizlaze iz ionizacije neutralnih molekula plina, se električno privlače prema elektrodama manjeg radijusa zakrivljenosti. Može se reći kako je pozitivna korona podijeljena u dva područja – unutarnje i vanjsko. Unutarnje područje sadrži ionizirajuće elektrone i pozitivne ione, djelujući kao plazma. Vanjsko područje sastoji se od isključivo migriranih, masivnih, pozitivnih iona koji se kreću prema nezakrivljenim elektrodama, blizu sučelja ovog područja sekundarnih elektrona. Unutarnje područje poznato je kao područje plazme, a vanjsko kao unipolarno područje [21].

10.2. OPIS NEGATIVNE KORONE

Negativna korona se manifestira u nejednoliku koronu krećući se prema površinskim značajkama i nepravilnostima zakrivljenih vodiča. Često se pojavljuje kao „pramen“ korone na oštrim rubovima, čiji se broj mijenja sa snagom područja. Oblik negativne korone je rezultat izvora sekundarnih elektrona. Ukupan broj elektrona kao i gustoća elektrona mnogo su veću u odnosu na pozitivnu koronu. Međutim, pretežito su niže energije zbog toga što se nalaze u području nižeg potencijala. Može se reći kako će za mnoge reakcije povećana gustoća elektrona povećati i brzinu te reakcije, dok što je niža energija elektrona, reakcije koje zahtijevaju više elektronske energije, mogu se odvijati po nižoj stopi [21].

Negativne korone su složenije od pozitivnih, ali započinju jednakom reakcijom kao i pozitivne. U ovom slučaju dolazi do dominantnog procesa generiranja sekundarnih elektrona koji se naziva fotoelektrični efekt. Energija koja je potrebna da se elektron oslobodi s površine je znatno niža od energije ionizacije zraka pri uobičajenim temperaturama i tlakovima. Razlika između pozitivne i negativne korone je zapravo u stvaranju sekundarnih elektrona, tj. kod pozitivne korone elektroni su generirani od strane plina koji okružuje područje plazme (novi sekundarni elektroni putuju prema unutar), dok su elektroni kod negativne korone generirani zakrivljenim elektrodama (novi sekundarni elektroni putuju prema van).

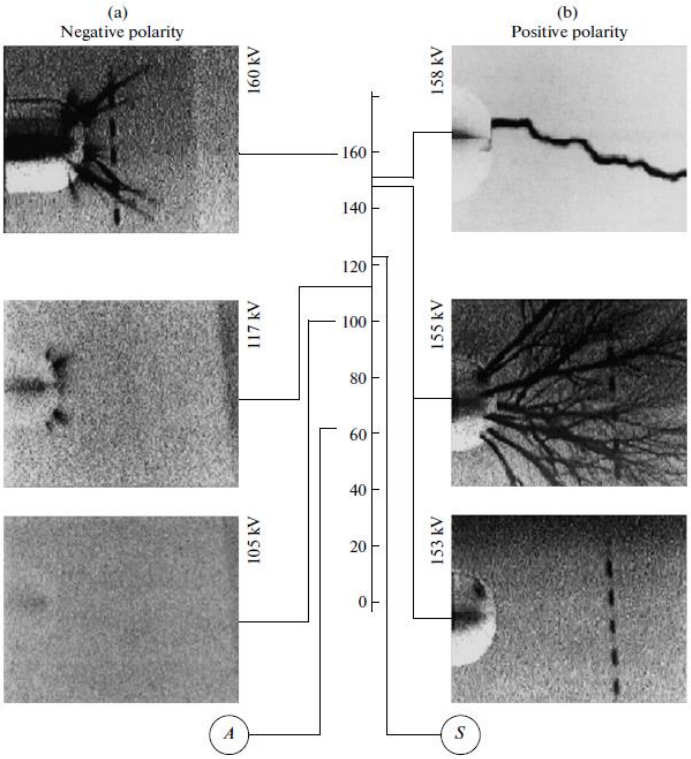
Može se podijeliti u tri radijalna područja oko oštrih elektroda. u unutarnjem prostoru, visokoenergetski elektroni sudaraju se s neutralnim atomima izazivajući „lavine“, dok vanjski elektroni u kombinaciji s neutralnim atomima proizvode negativne ione. U srednjem području, elektroni se kombiniraju u obliku negativnih iona, ali obično nemaju dovoljno energije kako bi se uzrokovala lavinska ionizacija. U vanjskom području, nalazi se samo protok negativnih iona i, u manjem radijalno-smanjenom opsegu, slobodni elektroni kreću se prema pozitivnoj elektrodi. Unutarnja dva područja poznata su kao korona plazmi. Unutarnje područje poznato je kao ionizirajuća plazma, srednje kao neionizirajuća plazma, a vanjsko kao unipolarno područje [21].

Kada je uključen električni dalekovod, zrak koji okružuje vodiče je podvrgnut dielektričnom pritisku. Pri niskim naponima ništa se ne događa jer je pritisak prenizak da bi se ionizirao zrak izvana. Ukoliko je napon oko vodiča veći od neke granične vrijednosti, a zrak oko njega „reagira“ na pritisak dovoljno jako da je disociran u ione, stvara se atmosfera koja provodi.

Ova pojava stvara blijedi luminiscentni sjaj uz zvuk koji je popraćen oslobađanjem ozona, kojeg se lako može identificirati po karakterističnom mirisu. Ukoliko se napon sve više povećava, sjaj postaje još više intenzivniji uz jaču buku, čime se smanjuje vrlo visok gubitak snage u sustavu.

10.3. POJAVA KORONE U PODRUČJIMA S RAZLIČITIM STUPNJEVIMA NEJEDNOLIKOSTI

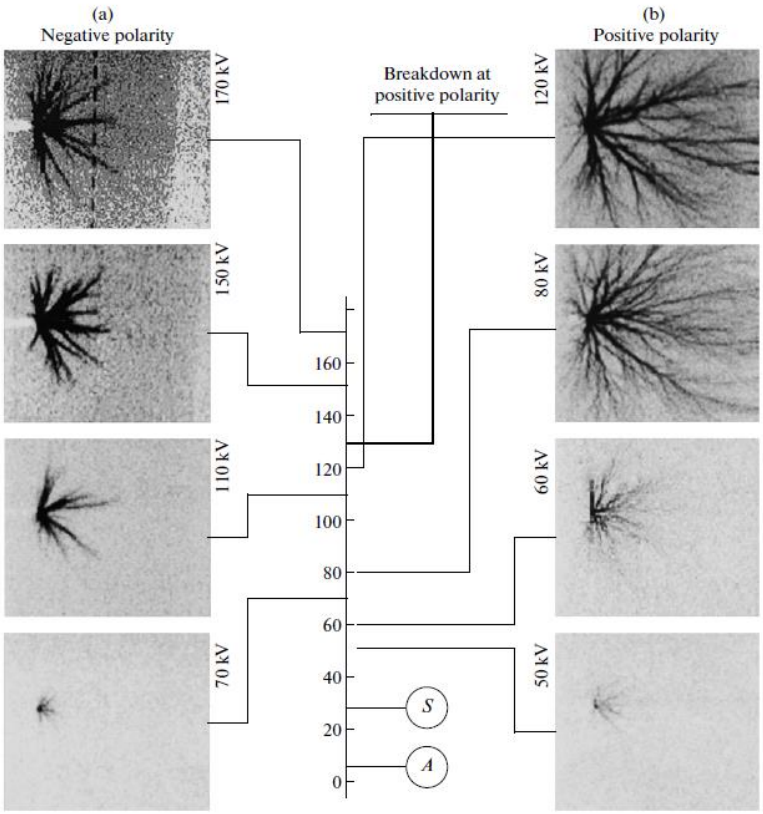
Oluje i nevremena često mogu izazvati razne kvarove i pojave na dalekovodima i kabelima. Na slici 8.1. [22] prikazane su video snimke procesa parcijalnih izbijanja u širokom rasponu napona pod djelovanjem oluje na slabo nejednakom području. Cilindar na kojemu se odvija reakcija predstavlja ravni sustav elektroda polumjera ruba cilindra od 25 mm, ukupnog polumjera cilindra 35 mm, te razmaka između elektrodi od 200 mm. Kada bi se proučavali rezultati eksperimenta elektrode s negativnim polaritetom, prag za pokretanje aktivnosti mikroizbijanja (pražnjenja) na nivou od 2,45 kV/mm, za navedeni sustav iznosio bi 66 kV. Zbog negativnosti polariteta, na video snimkama može se vidjeti svjetleća formacija uz širenje difuznog kraja koje započinje pri 105 kV. Ta formacija započinje od pojedinih točaka u blizini površine negativne elektrode te se propagira u radijalnom smjeru, čija duljina ne prelazi 1 mm [22].



Slika 8.1. Video prikaz parcijalnih izbijanja

Broj lavina, za vrijeme djelovanja procesa naponskog pulsa, raste u prosjeku sa pulsom amplitude; oko 10 lavina može se promatrati na 120 kV. Pri negativnom polaritetu i naponu od 125 kV, video snimke mogu prikazati oko 10 proširenih, slabo sjajećih, kanala s oštrim granicama, što započinje na površini sferne elektrode. Debljina tih kanala koji se pojavljuju se najprije povećava, a zatim smanjuje. Kanali se pretežno šire duž silnica polja te su neznatno razgranati, što omogućuje identifikaciju svjetlećih kanala oblikovanih poput traka, čija je duljina oko nekoliko centimetara. Većina ih nestane prije nego dođu do elektrode. Nakon povećavanja napona, broj i duljina traka raste, a neke od njih i dostignu elektrode pri određenom naponu. Međutim, ova reakcija ne dovodi uvijek do iskrenja između elektroda. Pri naponu od 175 kV i više, dolazi do stabilne iskre u trajanju od milisekunde.

Postoji više razlika i sličnosti u pojavama korone pri konstantnim i pulsirajućim naponima. Iako su oblici korone kod oba napona podjednaki i sjaj se primjećuje u blizini aktivnih elektroda, kod pulsirajućeg napona korona ima „trakasti“ oblik, dok kod konstantnog napona i negativnog polariteta aktivne elektrode, korona ima savršeniji oblik. Omjer napona proboja i napona koji odgovara na inicijaciju korone ovisi o stupnju nejednolikosti električnog polja. Ova pravilnost uočava se kod pulsirajućeg kao i konstantnog napona [22].



Slika 8.2. Prikaz pojave korone pri negativnom i pozitivnom polaritetu

Na slici 8.2.a [22] može se vidjeti izboj korone na sfernoj elektrodi pozitivnog polariteta dok je na slici 8.2.b. [22] prikazana korona na sfernoj elektrodi negativnog polariteta. Radijus sfere iznosi r = 2,5 mm, razmak između elektroda je h = 150 mm, a stupanj električnog polja je 60. Također na slikama su jasno naznačeni iznosi napona pri kojem dolazi do proboja u oba slučaja. Slovima S i A označeni su pragovi pri kojima dolazi do prvog vizualnog izboja na oba polariteta. Može se zaključiti kako je izboj na negativnom polaritetu gušći i savršenijeg oblika, dok je pri pozitivnom polaritetu šireg opsega i u obliku duguljastih trakica.

10.4. RAZLIKE IZMEĐU KAMERA ZA SNIMANJE POJAVA KORONE

U tablici 8.1. [23] prikazane su bitne razlike između kamera koje služe za snimanje korone i infracrvenih kamera.

Tablica 8.1. Razlike između kamera za snimanje korone i infracrvenih kamera

KAMERA ZA SNIMANJE KORONE PRI DNEVNOM SVJETLU	INFRACRVENA KAMERA
Detektira fotone svjetla koji su u rasponu od 260 – 300 nm, uz uvjet da dolazi do odraza kapljica vode u zraku	Električna – dugovalna od 8 do 12 mikrona (8,000 – 12.000 nm), detektira toplinu koju zrače predmeti, svjetlucave površine i rupe
Ultraljubičasti fotoni prikazani su u vidljivim bojama u stvarnom vremenu	Infracrvena slika
Detektor za koronu je pričvršćen za vidljivu kameru na kojoj je dio korone vidljiv kroz opseg „zoom-a“	Ne koriste „zoom“ opciju, usredotočuju se na „vidno polje“, nakon čega se može podesiti fokus na drugoj udaljenosti s istim „vidnim poljem“
„Zadano vidno polje“ je 100 mm, sa opcijom „zoom-a“ od toga pa nadalje	„Zadano vidno polje“ je obično od 35 do 50 mm, a promjenom objektiva ono se može povećati ili smanjiti. Takva promjena može koštati desetke tisuća kuna.

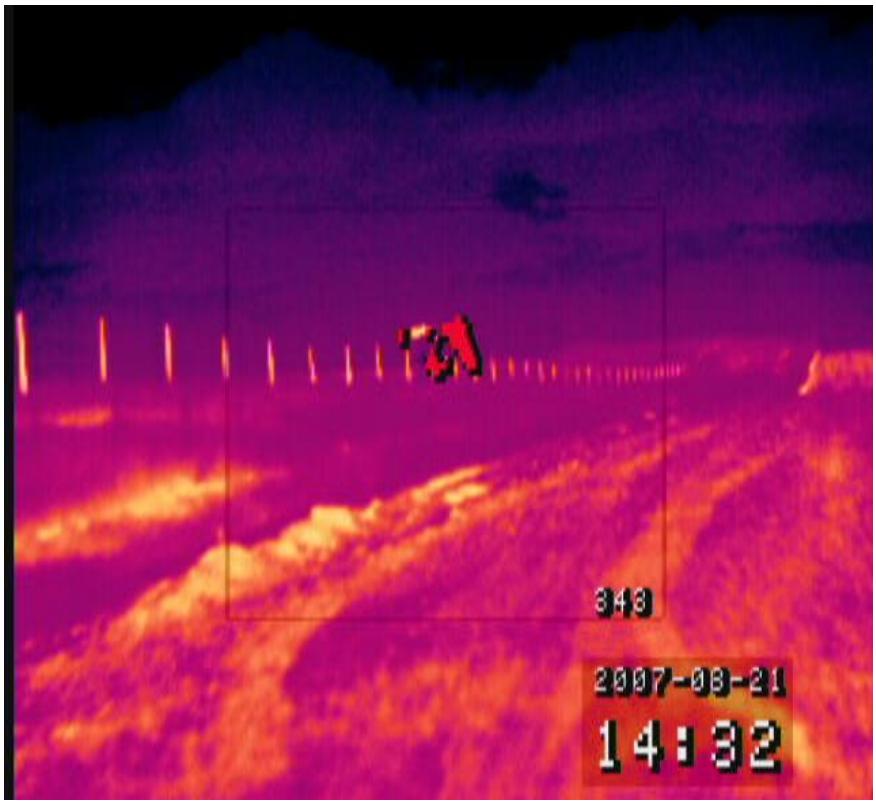
Senzor kamere koja snima koronu mnogo je osjetljiviji od infracrvenih kamera. Budući da svi objekti imaju temperaturu, moguće je promjene vidjeti infracrvenim kamerama, a ukoliko se želi dobiti spektar više boja koristi se kamera za snimanje korone koja to omogućuje. Kamera za snimanje korone daje slike koje prikazuju ultraljubičasto svjetlo koje je emitirano tijekom promjene stanja dušika u zraku zbog intenziteta električnog polja.

Napon pri kojem nastaje korona ovisi o obliku objekta, blizini primarnog objekta prema sekundarnim, njihovim oblicima, nadmorskoj visini, brzini vjetra, temperaturi zraka, vlažnosti te primijenjenom naponu i polaritetu. Infracrvena kamera detektira i prikazuje temperature objekata koji se snimaju isto kao i kamera za koronu, ali prikazuje u crvenoj boji. Električni tok struje mijenja temperaturu električne opreme i elektroničkih uređaja. Kada temperatura električne opreme prelazi od 20 do 50 Fahrenheit-a iznad temperature okoline, poželjno opterećenje je 40 % kapaciteta vodiča ili više. Dakle, može se reći da infracrvena kamera prikazuje temperaturu objekta s obzirom na trenutni protok struje u istom. Pomoću izbora tipki na kameri može se odrediti hoće li se slika prikazati u vidljivim bojama ili u infracrvenim, što se može vidjeti na slikama 8.4., 8.5., 8.6. i 8.7. [23]

Slika 8.4. Prikaz dalekovoda UV kamerom u vidljivim bojama

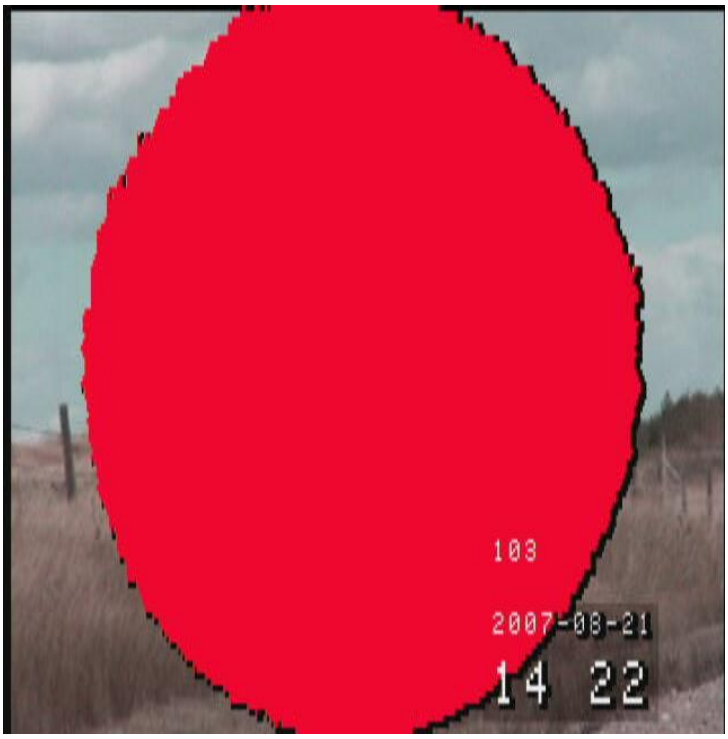
Slika 8.5. Prikaz dalekovoda infracrvenom kamerom u infracrvenim bojama

Slika 8.6. Prikaz korone na slici UV kamerom

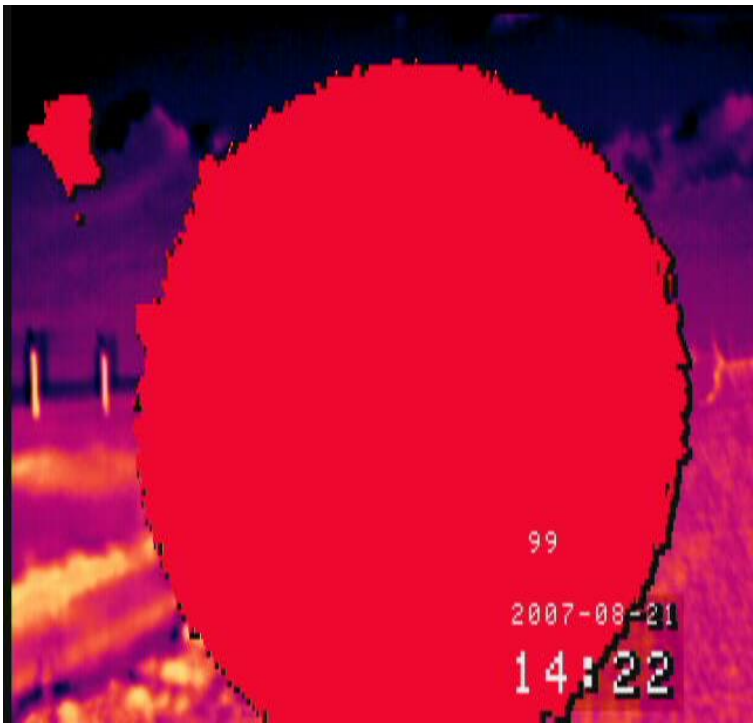


Slika 8.7. Prikaz korone na slici u infracrvenom dijelu spektra

Na slikama 8.8. i 8.9. [23] prikazana je korona pri maksimalnom pojačanju koje se postavlja na samoj kameri.



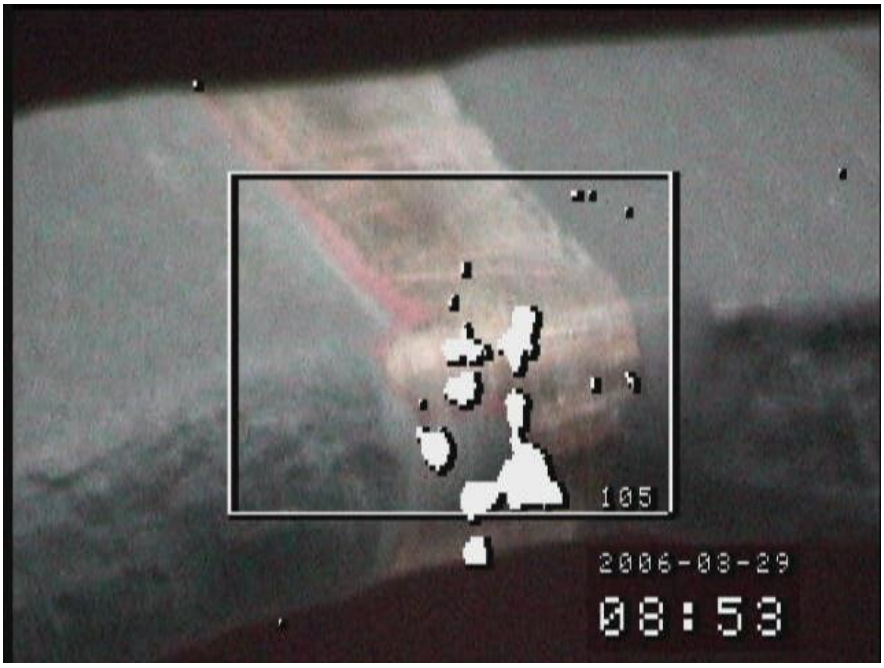
Slika 8.8. Prikaz korone na slici s vidljivim prirodnim bojama pri maksimalnom pojačanju



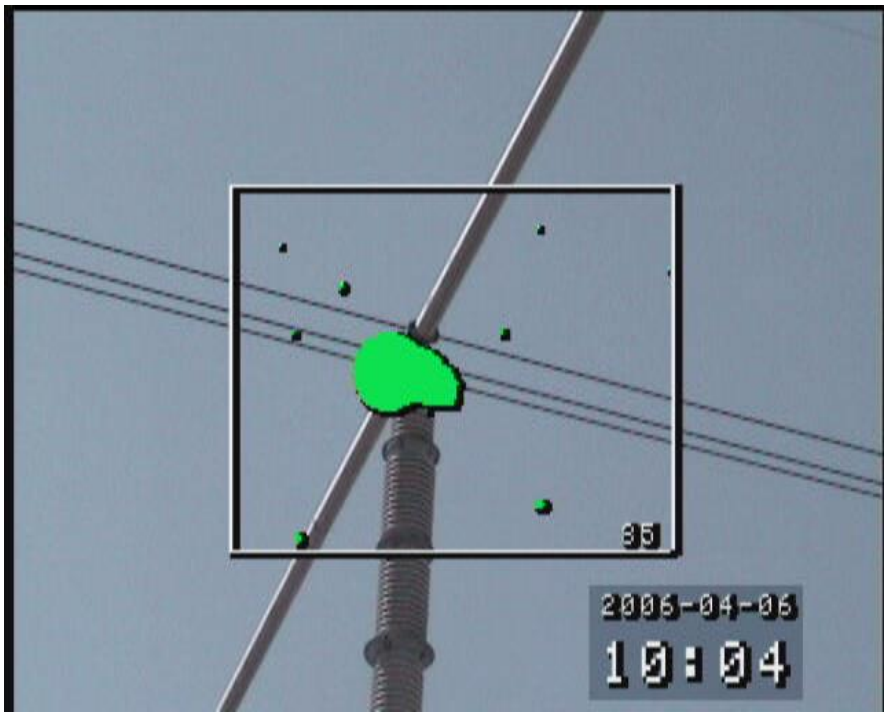
Slika 8.9. Prikaz korone na slici s infracrvenim bojama pri maksimalnom pojačanju

10.5.PRIMJERI NASTANKA KORONE

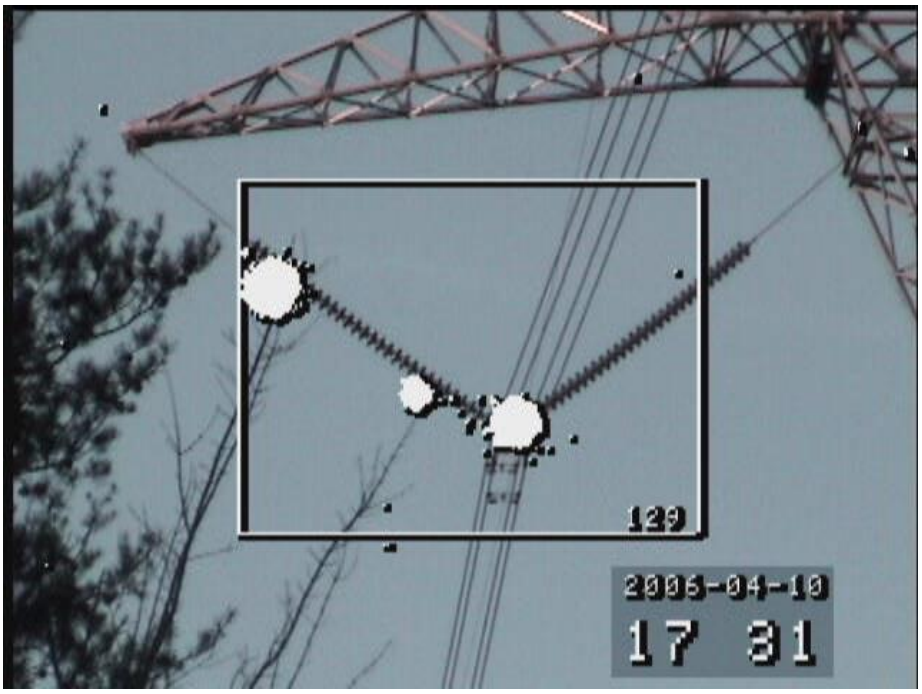
Na slikama koje slijede [23] prikazana je pojava korone na raznim objektima koja nastaje pod raznim naponima i drugačijim uvjetima.



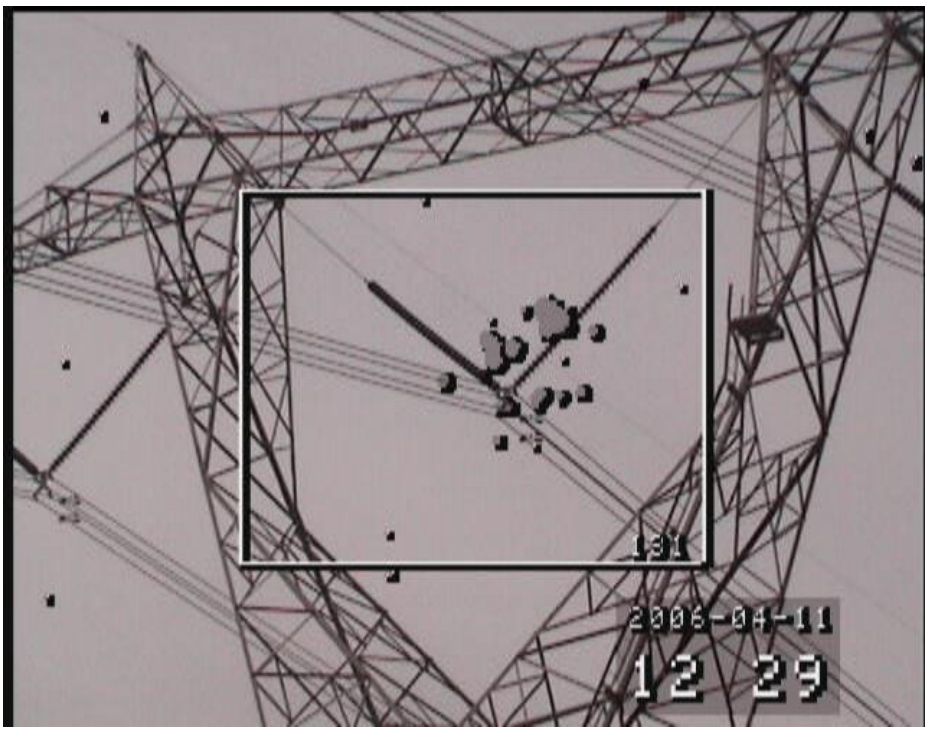
Slika 8.10. Pojava korone na sabirnicama generatora



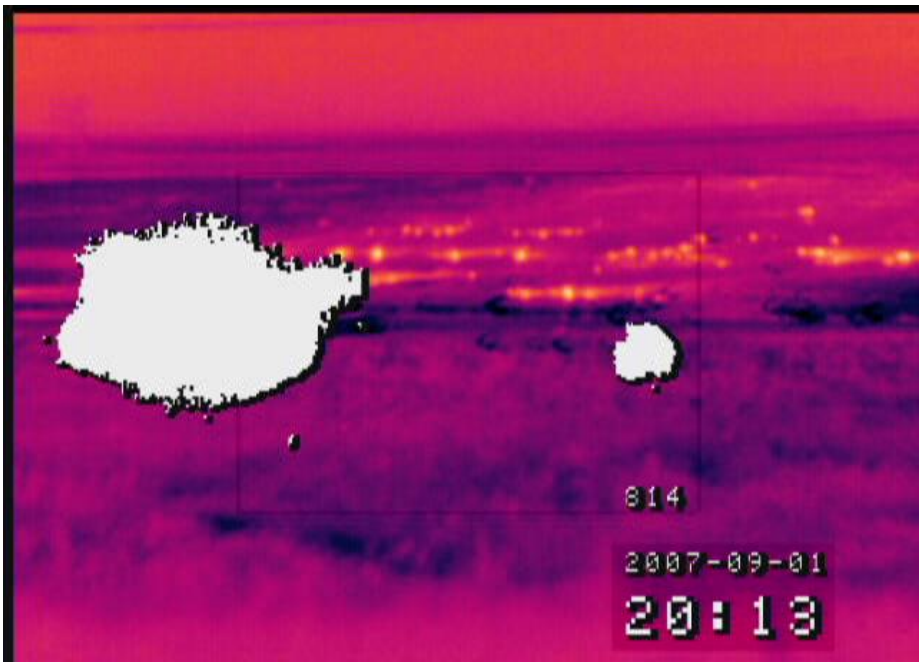
Slika 8.11. Pojava korone na izolatorskom lancu



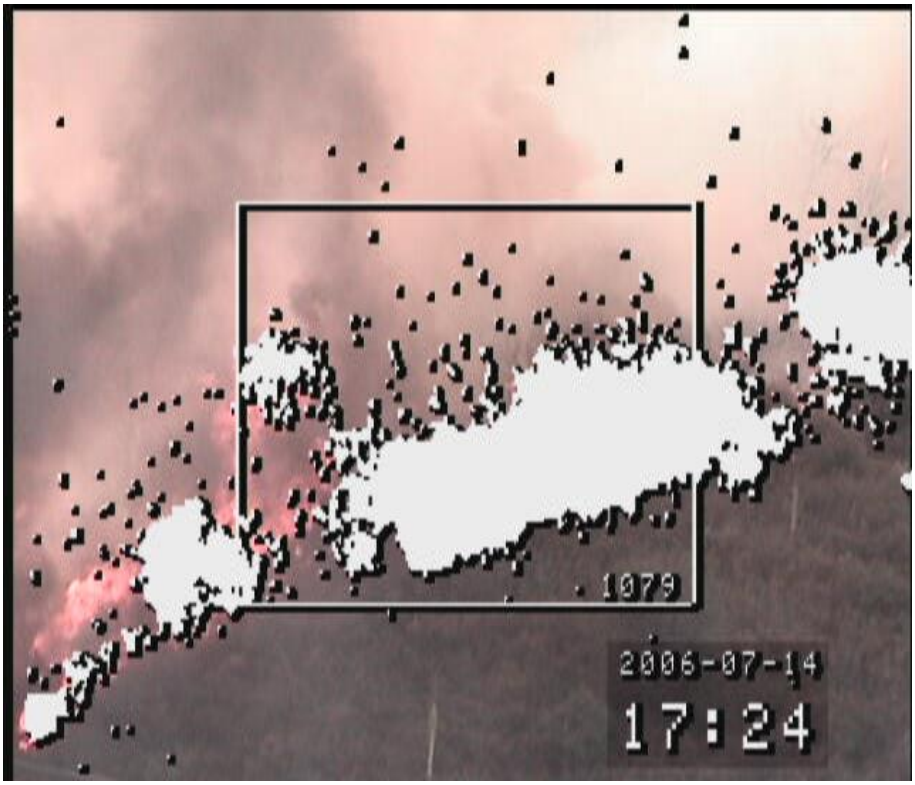
Slika 8.12. Pojava korone na nekeramičkom izolatoru



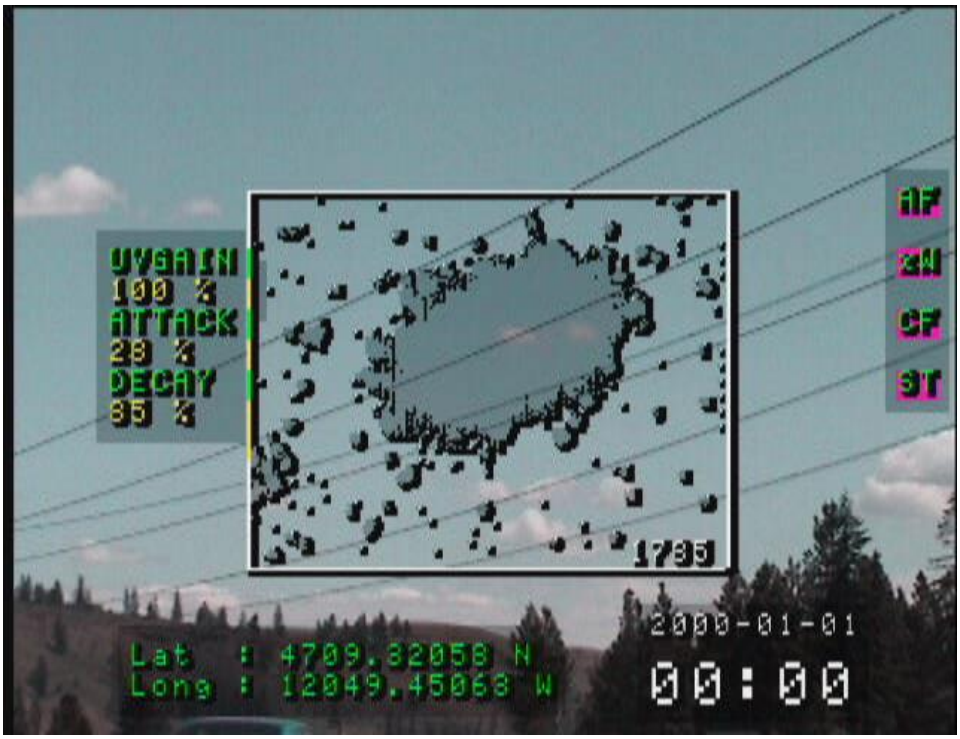
Slika 8.13. Pojava korone na nekeramičkom izolatoru



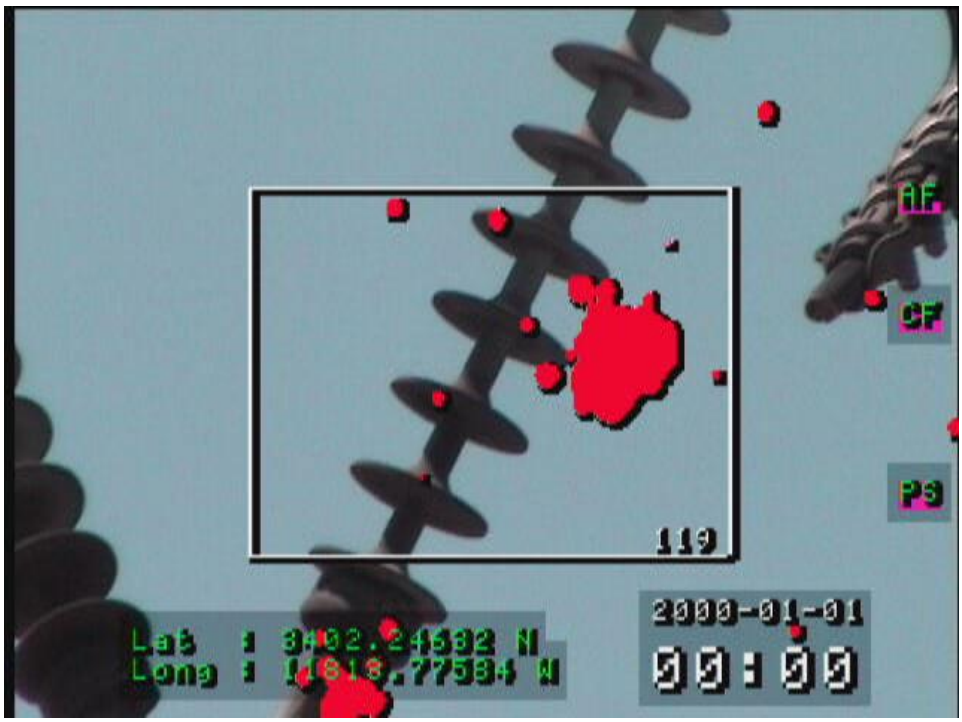
Slika 8.13. Prikaz toplijih točaka u požaru u infracrvenom spektru



Slika 8.14. Prikaz širenja vatre pomoću „Korona kamere“



Slika 8.15. Prikaz korone između vodiča pomoću „Korona kamere“



Slika 8.15. Prikaz korone na izolatorskom lancu pomoću „Korona kamere“

11. NORME ZA VISOKONAPONSKE KABELE

Pravilnikom o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV propisuju se tehnički i drugi zahtjevi u svrhu osiguranja sigurnosti i kvalitete opskrbe i korištenja električne energije i njihovog pravilnog rada za predviđenu namjenu. Pri projektiranju, izvođenju radova, uporabi odnosno pogonu i održavanju elektroenergetskog postrojenja moraju se osim ispunjavanja zahtjeva pravilnika ispunjavati i zahtjevi propisani posebnim propisima u području prostornog uređenja i gradnje, proizvodnje, prijenosa, distribucije, opskrbe odnosno korištenja električne energije, sigurnosti i zdravlja pri radu, zaštite od požara te zahtjevi propisani drugim posebnim propisima [24].

Pri izvođenju radova na elektroenergetskom postrojenju, sa elektroenergetskim postrojenjem i u blizini elektroenergetskog postrojenja moraju se osim ispunjavanja zahtjeva pravilnika ispunjavati i zahtjevi propisani važećim propisom o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom. Pojedini zahtjevi za elektroenergetska postrojenja mogu se za određenu vrstu elektroenergetskog postrojenja odnosno građevine s posebnim propisom urediti drugačije u odnosu na zahtjeve pravilnika, ako je to potrebno s obzirom na njihove posebnosti. U takvom slučaju se zahtjevi pravilnika primjenjuju samo za one zahtjeve koji nisu uređeni s takvim posebnim propisom [24].

Opći zahtjevi pravilnika su:

- Elektroenergetska postrojenja i električna oprema moraju moći podnositi električne, toplinske, mehaničke i klimatske utjecaje, te utjecaje okoliša koji se očekuju na mjestu njihove ugradnje
- Pri projektiranju, građenju odnosno izvođenju radova, uporabi, pogonu i održavanju treba se uzeti u obzir svrha energetskog postrojenja, zahtjevi za sigurnost i kvalitetu opskrbe i korištenja električne energije, pouzdanost, raspoloživost i sposobnost elektroenergetskog postrojenja da izdrži prijelazna stanja, sigurnost rukovatelja i sl.

Norme propisane za energetske kabele [24]:

- HRN IEC 60287-1-2:2001 – Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti – 1. dio: Jednadžbe za izračun struje (100 – faktor opterećenja) i proračun gubitaka – 2. odjeljak:

- Faktor gubitaka zbog vrtložnih struja plašta za dva kruga u ravnini (IEC 60287-1-2:1993)
- HRN IEC 60287-1-3:2008 – Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti – Dio 1-3: Jednadžbe za izračun struja (100 – faktor opterećenja) i proračun gubitaka – Raspodjela struja između paralelnih jednožilnih kabela i izračun gubitaka uslijed kružnih struja (IEC 60287-1-3:2002)
- HRN IEC 60287-2-1:2001 – Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti – 2. dio: Toplinski otpor – 1. odjeljak: Proračun toplinskog otpora (IEC 60287-2-1:1994)
- HRN IEC 60287-2-2:2001 – Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti – 2. dio: Toplinski otpor – 2. odjeljak: Metode za proračun redukcijskog faktora grupe kabela u zraku, zaštićena od sunčevog zračenja (IEC 60287-2-2:1995)
- HRN IEC 60287-3-1:2001 – Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti – 3. dio: Radni uvjeti – 1. odjeljak: Referentni radni uvjeti i odabir tipa kabela (IEC 60287-3-1:1995+A1:1999)
- HRN IEC 60287-3-2:2001 – Električni kabeli – Proračun strujne opteretivosti – 3. dio:Radni uvjeti – 2. odjeljak: Ekonomska optimizacija energetskog kabela (IEC 60287-3- 2:1995+A1:1996)
- HRN EN 60332-1-1:2007 – Ispitivanja električnih i svjetlovodnih kabela pod djelovanjem vatre – Dio 1-1: Ispitivanje na okomito širenje plamena za jednožilne izolirane vodove ili kabele – Uređaji (IEC 60332-1-1:2004; EN 60332-1-1:2004)
- HRN EN 60332-1-2:2007 – Ispitivanje električnih i svjetlovodnih kabela pod djelovanjem vatre – Dio 1-2: Ispitivanje na okomito širenje plamena za jednožilne izolirane vodove ili kabele – Postupak za pripremu kisika i gorivog plina za snagu plamena od 1kW (IEC 60332-1-2:2004; EN 60332-1-2:2004)
- HRN EN 60332-1-3:2007 – Ispitivanje električnih i svjetlovodnih kabela pod djelovanjem vatre – Dio 1-3: Ispitivanje na okomito širenje plamena za jednožilne izolirane vodove ili kabele – Postupak za određivanje gorivih kapljica/čestica (IEC 60332-1-3:2004; EN 60332- 1-3:2004)
- HRN EN 60332-2-1:2007 – Ispitivanje električnih i svjetlovodnih kabela pod djelovanjem vatre – Dio 2-1: Ispitivanje na okomito širenje plamena za jednožilne izolirane vodove ili kabele malih promjera – Uređaji (IEC 60332-2-1:2004; EN 60332 2-1:2004)

- HRN EN 60332-2-2:2007 – Ispitivanje električnih i svjetlovodnih kabela pod djelovanjem vatre – Dio 2-2: Ispitivanje na okomito širenje plamena za jednožilne izolirane vodove ili kabele malih promjera – Postupak za širenje plamena (IEC 60332-2-2:2004; EN 60332-2- 2:2004)
- HRN IEC 60754-1:2008 – Ispitivanje plinova razvijenih pri izgaranju kabelskog materijala 1. dio: Određivanje količine plina halogene kiseline (IEC 60754-1:1994)
- HRN IEC 60840:2001 – Energetski kabeli s brizganom izolacijom i njihov pribor za nazivne napone iznad 30 kV (Um=36 kV) do 150 kV (Um=170 kV) – Ispitne metode i zahtjevi (IEC 60840:1999)
- HRN IEC 60853-1:2001 – Proračun cikličke vrijednosti struje kabela i struje preopterećenja 1. dio: Faktor cikličke opteretivosti za kabele do 18/30(36) kV (IEC 60853- 1:1985+A1:1994)
- HRN IEC 60853-2:2001 – Proračun cikličke vrijednosti struje kabela i struje preopterećenja – 2. dio: Ciklička opteretivost kabela viših od 18/30(36) kV i veličine preopterećenja za kabele svih napona (IEC 60853-2:1989)
- HRN IEC 60949:2001 – Proračun termički dopustivih struja kratkog spoja, uzimajući u obzir učinke neadiabatskog zagrijavanja (IEC 60949:1988)
- HRN IEC 60986:2001 – Upute za granične vrijednosti temperatura kratkog spoja kabelanazivnog napona od 1,8/3 (3,6) kV do 18/30 (36) kV (IEC 60986:1989+A1:1993)
- HRN EN 61034-1:2007 – Ispitivanje gustoće dima kod kabela pod definiranim uvjetima – 1. dio: Ispitni uređaji (IEC 61034-1:2005; EN 61034-1:2005)
- HRN EN 61034-2:2007 – Ispitivanje gustoće dima kod kabela pod definiranim uvjetima – 2. dio: Ispitni postupci i zahtjevi (IEC 61034-2:2005; EN 61034-2:2005)
- HRN IEC 61138:2001 – Kabeli za prenosivu opremu za uzemljivanje i kratko spajanje (IEC 61138:1994+A1:1995)
- HRN EN 61138:2007 – Kabeli za prenosiva uzemljenja i kratkospojnu opremu (IEC 61138:1994+A1:1995, mod.; EN 61138:1997+A11:2003)
- HRN EN 61138:2008 – Kabeli za prenosivu opremu za uzemljivanje i kratko spajanje (IEC 61138:2007, MOD; EN 61138:2007)
- HRN IEC 61238-1:2001 – Tlačne i vijčane spojne čahure za energetske kabele s bakrenim ili aluminijskim vodičima – 1. dio: Ispitne metode i zahtjevi (IEC 61238-1:1993)

- HRN EN 61238-1:2007 – Tlačne i vijčane spojne čahure za energetske kabele nazivnog napona do 36 kV (Um = 42 kV) – 1. dio: Ispitne metode i zahtjevi (IEC 61238-1:2003, modified; EN 61238-1:2003)
- HRN IEC 61442:2001 – Električni kabeli – Metode ispitivanja pribora za energetske kabele nazivnog napona od 6 kV (Um=7,2 kV) do 30 kV (Um=36 kV) (IEC 61442:1997)
- HRN EN 61442:2007 – Ispitne metode za pribor za energetske kabele nazivnog napona od 6 kV (Um = 7,2 kV) do 36 kV (Um = 42 kV) (IEC 61442:2005, modified; EN 61442:2005)
- HRN EN 61442:2007 – Ispitne metode za pribor za energetske kabele nazivnog napona od 6 kV (Um = 7,2 kV) do 36 kV (Um = 42 kV) (IEC 61442:2005, modified; EN 61442:2005)
- HRN IEC 61443:2001 – Granične temperature kod kratkog spoja na električnim kabelima nazivnog napona iznad 30 kV (Um=36 kV) (IEC 61443:1999)
- HRI CLC/TR 62125:2008 – Izvještaj zaštite okoliša za TO 20 – Električni kabeli (IEC/TR 62125:2007; CLC/TR 62125:2008)
- HRN EN 62230:2008 – Električni kabeli – Metoda suhog prolaznog naponskog ispitivanja (IEC 62230:2006; EN 62230:2007)

12. LITERATURA:

[1] Kabeli za elektroenergetske instalacije, Zagreb 2015.

[2] Kabel općenito: https://en.wikipedia.org/wiki/Cable

[3] Električne mreže, dipl. inž. R. Misita, prof. 1969. Sarajevo

[4] ABB: HV XLPERFOMANCE cable technology

[5] Elka katalog: Energetski visokonaponski kabeli

[6] HEP – Operator prijenosnog sustava d.o.o; prijenosno područje Osijek: Pogonske upute za nadzor, upravljanje i održavanje DV KB 110 kV Osijek 3 – Osijek 4, kolovoz 2008.godine

[7] Podaci o metodama mjerenja kvarova i postavljanju kablova u zemlju: http://www.fpz.unizg.hr/ztos/mje/tragac1.pdf

[8] HEP – Operator prijenosnog sustava d.o.o; prijenosno područje Osijek: Upute o pogonskim manevrima na elektroenergetskim objektima 400, 220 i 110 kV

[9] Fakultet elektrotehnike i računarstva sveučilišta u Zagrebu; Zavod za osnove elektrotehnike i električna mjerenja: Termička opteretivost KDV 110 kV Osijek 3 – Osijek 4, Zijad Haznadar, Željko Štih, Zagreb, lipanj 2006.

[10] Calos Garrido, Antonio F. Otero, Jose Cindras: „Theoretical Model to Calculate Steady-State and Transient Ampacity and Temperature in Buried Cables“, July 2003.

[11] Daniel S. Freitas, Aloisio J. De Lima: „Thermal Performance of Underground Power Cables with Constant and Cyclic Currents in Presence of Moisture Migration in Sorrounding Soil“, July 1996.

[12] John H. Leinhard IV, John H. Leinhard V: „A Heat Transfer Handbook“, Cambridge, Massachusets, 2003.

[13] Vlastoručni crteži: MS Visio, CorelDRAW ili Quick field programu

[14] Podaci o svojstvima i parametrima kabela: http://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Telkabeli.pdf

[15] Presjek kabela: http://www.elteh.net/el-instalacije/presjek-kabela.html

[16] Opis kondukcije topline: https://hr.wikipedia.org/wiki/Kondukcija_topline

[17] Matija knjiga

[18] Opis konvekcije topline: https://hr.wikipedia.org/wiki/Konvekcija

[19] Vlastoručni proračun kabela

[20] Charging of moving surfaces by corona discharges sustained in air, Journal of applied Physics, 2014.

[21] Corona discharge informations: https://en.wikipedia.org/wiki/Corona_discharge

[22] Experimental Study Pulsed Corona Discharge in Air, Yu. K. Stishkov*, A. V. Samusenko, A. S. Subbotskii, and A. N. Kovalev, Science and Education Center Electrophysics, Physics Department, St. Petersburg State University, Staryi Peterhof, Universitetskii pr. 28, St. Petersburg, Received February 10, 2010.

[23] Corona Technology Course Instructor & Co-Developer Level II Infrared Technician Electrical Power Engineering Tech over 45 years of high voltage experience, over 20 years of IR-UV-Visible camera experience, Copyright 2013 Ox Creek Energy Associates Inc

[24] Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV:

http://zuznr.hr/wp-content/uploads/2016/03/Pravilnik-o-tehnickim-zahtjevima-za-elektromagnetska-postrojenja-.pdf

13. POPIS KORIŠTENIH SIMBOLA I OZNAKA

Oznaka ili simbol	Naziv	Mjerna jedinica
A	površina	m^2
ρ	Gustoća materijala	Kgm^{-3}
J_{0z}	Gustoća struje	Am^{-2}
c	specifični toplinski kapacitet	K
$\Delta\theta$	Porast temperature	J/dT
n	Broj vodiča	-
T	Temperatura	°C
R	Otpor	Ω
λ	Koeficijent toplinske vodljivosti materijala	$W/(m \cdot K)$
q	Toplina prenesena u jedinici vremena	W
h_c	Koeficijent konvekcije procesa	$W/(m^2 \cdot K)$
dT	Temperaturna razlika između površine i fluida	K
L	Dijametar	m
R_{cond}	Otpor kondukcije	Ω
R_{Conv}	Otpor konvekcije	Ω
U_n	Nazivni napon	V
I_n	Nazivna struja	A
l	duljina	m
P	Radna snaga	MW
$\Delta u_{\%d}$	Pad napona	%
t	vrijeme	s
θ	Topliinski otpor	$(K \cdot m)/W$

14. ZAKLJUČAK:

Prijenos, jednako kao i distribucija, razvija sve veću potrebu za korištenjem kabela kao sredstvo za prijenos električne energije do krajnjeg korisnika. Stoga je pred proizvodni proces energetskih i signalnih kabela velika odgovornost kako bi proizveli kabele koji mogu zadovoljiti potrebe distribucije i prijenosa u sve nepovoljnijim uvjetima.

S obzirom da je elektroenergetski sustav podijeljen na dva, odnosno tri dijela, NN; SN; VN, na isti način podijeljeni su i kablovi. U svakoj skupini kabela postoji više vrsta kabela koji se razlikuju po svojoj fizikalnoj strukturi ali i električnim i magnetskim parametrima te mehaničkim svojstvima. Isto tako vrlo je važno pridržavati se određenih, tvorničkih, uvjeta kao npr: mjesto polaganja, način polaganja, dubina polaganja, vrsta tla i sl., kako bi se zadali unaprijed definirani tehnički podaci. Ukoliko dođe do odstupanja zadanih uvjeta potrebno je koristiti korekcijske faktore u matematičkom proračunu kako bi se dobili novi, smanjeni ili povećani, dozvoljeni parametri u pogonu.

Pojava korone također može djelovati na kabele. Korona predstavlja relativno stabilno izbijanje u zraku, za razliku od parcijalnih izbijanja koja se pojavljuju povremeno i u nepravilnim vremenskim razmacima. Izboji korone su električni izboji do kojih dolazi ionizacijom tekućine koja okružuje vodič koji je nabijen. Korona se prirodno nalazi u postrojenjima visokog napona, osim ako se ograniči jakost električnog polja. Također, javlja se ukoliko je jakost električnog polja (gradijent električnog potencijala) oko vodiča dovoljno visoka, što formira vodljivo područje, ali ne dovoljno visoko da uzrokuje električni proboj ili iskrenje na obližnje objekte.

U svijetu postoji više proizvođača kabela od kojih se ABB ltd. i ELKA d.o.o. najviše koriste u elektroenergetskim sustavima; isto tako ovaj seminarski rad temeljen je na oba, iako je većinski obrađen na temelju ELKA d.o.o. kataloga.

15. SAŽETAK:

U diplomskom radu prvobitno je opisana podjela i opći opis kabela uz odgovarajuće literature. Nakon kraćeg opisa, kreće tehnički opis izgleda visokonaponskih kabela što je popraćeno sa odgovarajućim slikama i shemama gdje je detaljno obrađen izgled i svrha pojedinih dijelova. Također u radu su opisane i termičke karakteristike kabela kao i svi manevri koji se poduzimaju kod kvarova, spajanje kabela te dubine polaganja. Nakon detaljne razrade nadzora, upravljanja i održavanja, dani su toplinski proračun i proračun za određivanje presjeka XLPE kabela popraćeni odgovarajućim shemama i simulacijama. Na samom kraju rada opisuje se pojava korone. Prvobitno je opisan sam pojam korone nakon čega slijede opisi i primjeri njenog nastanka i izbijanja.

Ključne riječi: kabel, korona, dalekovodi, visoki napon, zagrijavanje, izboj, pozitivni polaritet, negativni polaritet, nadzor, upravljanje, vodič, korona kamera, kvarovi, opterećenje, temperatura

16. ABSTRACT

The thesis begins by describing the division and general description of the cable with the aid of the corresponding references. After the short description, technical description of the appearance of high-voltage cable is described accompanied by corresponding pictures and diagrams which show their detailed appearance and how particular parts operate. Futhermore, the thermal characteristics of the cable, as well as all the maneuvers that are undertaken at damage, the cable connection and the laying depth are elaborated too. After elaborating the conttrol, managment and maintenance, there is math example of thermal estimate and example of determination section of XLPE cable. At the end of thesis, the phenomenon of corona is described. Initialy it begins with informations about corona which is after followed by descriptions and examples of its occurrence and discharges.

Key words: cable, corona, power lines, high voltage, heating, discharge, positive polarity, negative polarity, control, managment, guide, corona cameras, damages, load, temperature

17. ŽIVOTOPIS:

Josipa Harhaj rođena je 13.12.1992. godine u Osijeku. Godine 2007. s izvrsnim uspjehom završava osnovnu školu „Ivana Filipovića“ u Osijeku. Iste godine upisuje četverogodišnju Drugu gimnaziju u Osijeku koju završava s odličnim uspjehom 2011. godine. Na preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku se upisuje 20011. godine te se kasnije odlučuje za smjer elektroenergetika, u kojoj je grani i tema diplomskog rada. Nakon završetka preddiplomskog studija, 2014. godine upisuje diplomski studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, te po završetku studija želi raditi u struci. Tijekom studiranja odrađuje studentsku praksu u Siemens Convergence-u Osijek gdje radi na razvijanju Sharepoint aplikacije.

Osim znanja stečenog na faksu, samostalno se obrazuje i uči osnove baza podataka s položenim MTA: Database Administration Fundamentals certifikatom 2015. godine. Od projekata sudjelovala je na Pyxie Dust Projectu u Osijeku i u Zadru kao mentorica na radionicama. Cilj projekta je poticanje mladih djevojaka na upis fakulteta u STEM području. U svibnju 2016. godine prijavljuje se i sudjeluje u Case Study natjecanju sa svojim timom s prijavljenim projektom za Hrvatski Telekom. Natjecanje završava s dobivenim certifikatom o sudjelovanju.

U Osijeku, 29.06.2016. Josipa Harhaj

Potpis: Josipa Harhaj