

Kazalo

1	PRIMERJAVA KABLOV IN NADZEMNIH VODOV	2
1.1	IZBRANI TIP KABLA IN VODA	2
1.2	PADCI NAPETOSTI.....	4
1.3	POLNILNI TOKI	6
1.4	OBREMENLJIVOST NADZEMNIH VODOV IN KABLOV.....	7
1.4.1	<i>Primerjava obremenljivosti nadzemnih vodov in ekvivalentnih kablov</i>	<i>9</i>
1.5	HLAJENJE KABLOV IN NADZEMNIH VODOV.....	10
1.6	ŽIVLJENJSKA DOBA KABLOV IN NADZEMNIH VODOV.....	11
1.6.1	<i>Mehanizmi staranja polimerov</i>	<i>12</i>
1.6.2	<i>Električno staranje polimerov.....</i>	<i>12</i>

1 Primerjava kablov in nadzemnih vodov

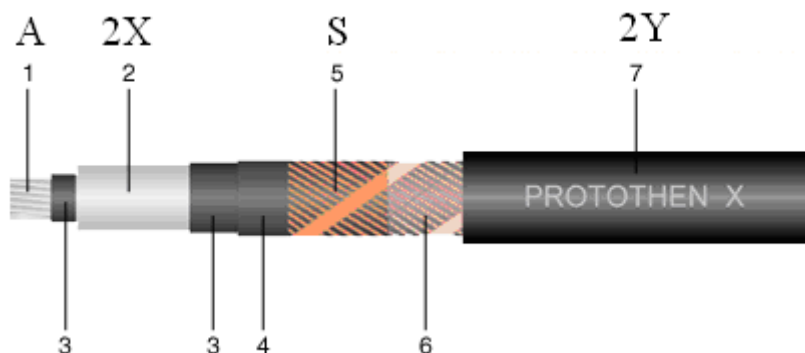
V tem poglavju bomo primerjali delovanje kablov in nadzemnih vodov, ko so priključeni na omrežje. Uporabili bomo njihove lastnosti in pokazali, kakšen učinek imajo pri obratovanju. Primerjali bomo direktne in nične impedance, opredelili njihov vpliv pri različnih obratovalnih stanjih, ki nastopijo kot posledica vpliva zunanjih ali notranjih okvar. Izračunali bomo pretoke moči po vodu in kablu na enostavnem modelu, primerjali izgube, zemeljskostične tokove, primerjali prenosne kapacitete, hlajenje in vpliv ozemljevanja v obeh primerih.

Za primerjavo bomo uporabili en tip nadzemnega voda in dva tipa kablov. Prvi bo imel enak presek prevodnega aluminija kot nadzemni vod, drug pa bo tak, s katerim najpogosteje zamenjujejo omenjeni nadzemni vod (to bo kabel z večjim presekom). Določili bomo njune električne parametre in ju med seboj primerjali. Najpomembnejši podatek nam bo predstavljala obremenljivost, na podlagi katere bomo določili realne ekvivalentne kable določenim tipom nadzemnih vodov. Električni parametri so močno odvisni od postavitve kablov v zemlji ali nadzemnih vodov na stebrih. Medsebojna oddaljenost vodnikov vpliva predvsem na kapacitivnost in induktivnost vodnikov. Sprememba medsebojne lege vodnikov lahko povzroča večje spremembe električnih parametrov, kar vpliva na napetostni profil, jalove in delovne izgube na vodu idr.. Zavedati se moramo, da se bi rezultati teh primerjav razlikovali v primerih, ko bi uporabili vod z drugačno postavitvijo na stebrih ali kabel z drugačnimi izolacijskimi plastmi.

Oplaščeni vodniki imajo podobne parametre kot navadni kabli, le da imajo lahko različno induktivnost in kapacitivnost, predvsem zaradi različnega medsebojnega vpliva, ki ga določa tudi oddaljenost in položaj faznih vodnikov med sabo. Univerzalni kabli se ponašajo s podobnimi parametri, kot navadni XLPE trižilni kabli. Ozemljeni zaslon, ki ga pri oplaščenih vodnikih ni, povzroča veliko večjo dozemno kapacitivnost, katere posledica bo predstavljena v kasnejših poglavjih.

1.1 Izbrani tip kabla in voda

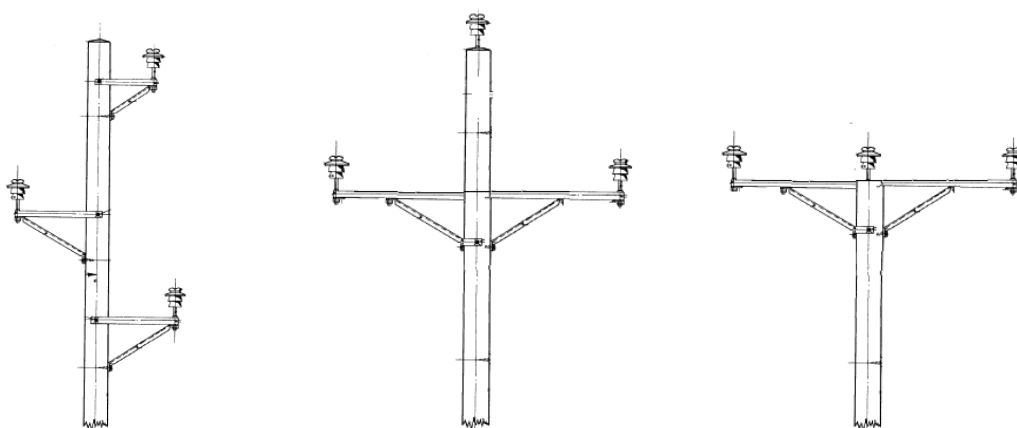
Za bolj nazorno prikazovanje podatkov, rešitev simulacij ali praktičnih izračunov smo si izbrali tipe nadzemnega voda in kabla, ki se najpogosteje pojavljajo v 20 kV distribucijskem omrežju. Izbrani kabel je enožilni NA2XS2Y preseka 70 mm^2 in 150 mm^2 (slika 1.1), ki je vkopan v zemljo (v skladu z standardom SIST HD 620 S1:1998), nadzemni vod pa je tipa ACSR (Al/Fe) 70/12, izveden brez ničnega vodnika (slika 1.2).



Slika 1.1 : Zgradba kabla NA2XS2Y

Plasti uporabljene v kablu so:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| 1. Al prevodnik, | 2. XLPE izolacija (2X), |
| 3. prevodnik in izolacijski zaslon, | 4. polprevodniški trak, |
| 5. bakreni zaslon, | 6. ločilna plast, |
| 7. zunanja PE plast. | |



Slika 1.2: Najpogostejši tipi razporeditve nadzemnih vodnikov na stebri (jelka, trikot-delta, vodoravna razporeditev)

V distribucijskem omrežju je težko govoriti o najpogosteje uporabljenem tipu podpornega stebra ali razporeditve vodnikov na drogu, saj je teh variant veliko in se med sabo razlikujejo glede na namen. Za vsako varianto se podatki o induktivnosti in kapacitivnosti nekoliko spremenijo. V tabeli 1.1 lahko primerjamo osnovne električne parametre izbranega tipa kabla in nadzemnega voda z jelka razporeditvijo, za primerjavo pa smo dodali še parametre univerzalnega trižilnega kabla. Jelka tip nadzemnega voda bomo uporabljali tudi v nadaljevanju študije.

	Vrv Al/Fe ACSR	Kabel NA2XS2Y (enožilni)		Univerzalni (trižilni)	
S_{Al} (mm ²)	70/12	70	150	3 x 70/16	3 x 95/25
$R'_{=20^{\circ}C}$ (Ω/km)	0,41	0,44	0,21	0,443	0,320
X' (Ω/km)	0,35	○○○0,132 ○○ 0,220	○○○ 0,116 ○○ 0,198	0,094	0,097
C' (μF/km)	0,009	0,20	0,24	0,290	0,250
R'_0 (Ω/km)	0,56	1,30	0,85	1,348	1,307
X'_0 (Ω/km)	1,22	0,55	0,30	(ni podatka)	(ni podatka)
C'_0 (μF/km)	0,004	0,20	0,24	(ni podatka)	(ni podatka)
R'/X'	1,18	○○○ 3,3 ○○ 2,0	○○○ 1,8 ○○ 1,1	4,71	3,30

Tabela 1.1: Primerjava električnih parametrov izbranega tipa kabla in nadzemnega voda nazivne napetosti 20 kV in izračun (za X in C)

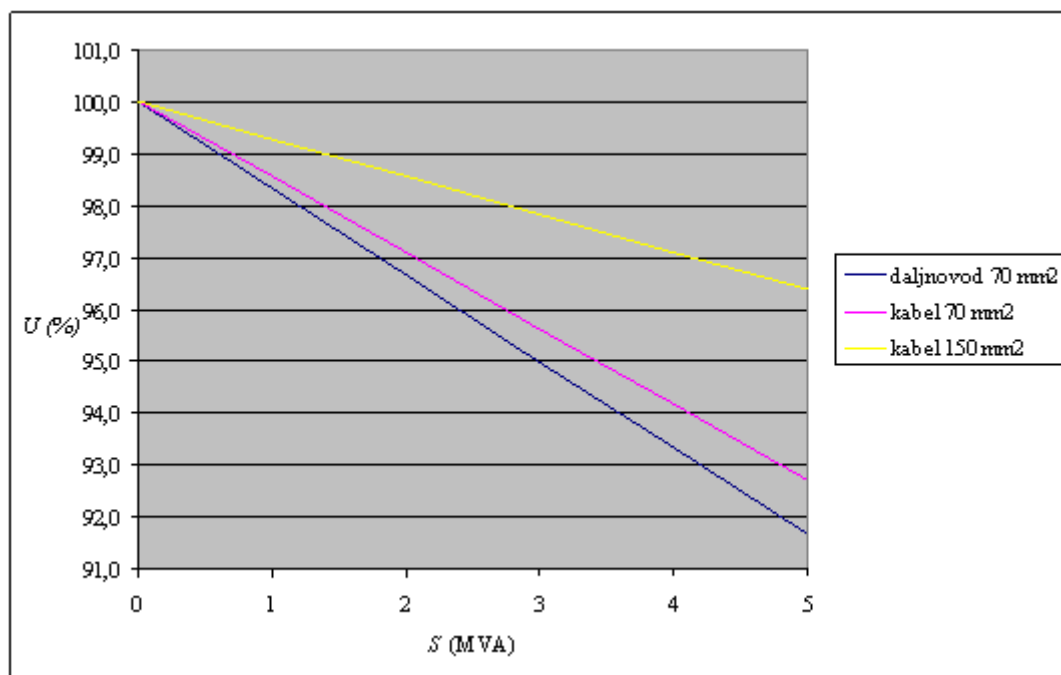
1.2 Padci napetosti

Ko po vodu steče tok, ta povzroči padec napetosti, ki je odvisen od električnih parametrov voda in od velikosti jalovega in delovnega toka.

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

$$\Delta \underline{U} = \frac{PR' + QX'}{|U_n|} \cdot l + j \frac{PX' - QR'}{|U_n|} \cdot l, \quad 1.1$$

kjer pa nismo upoštevali kapacitivnosti vodov. Ker kapacitivnost povzroči dvig napetosti, lahko sklepamo, da bi se glede na rezultate iz slike 1.3 razlika v padcih napetosti med kabli in nadzemnimi vodi še povečala na račun manjšega padca na kablovodih. Na grafu lahko primerjamo padce napetosti na daljnovodu in kablju enakega preseka ter na kablju z večjim presekom. V praksi se kabel preseka 150 mm² uporablja kot nadomestek za nadzemni vod s presekom 70 mm², tako da so zaradi manjše upornosti padci napetosti še manjši.



Slika 1.3: Napetost na koncu 10 km dolgega daljnovoda (Al/Fe) in kabla (NA2XS2Y) pri obremenitvah od 0 do 5 MVA pri $\cos\varphi=0,9$

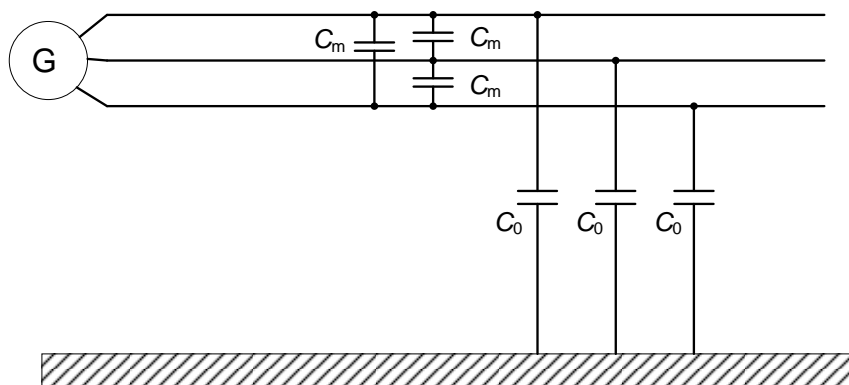
Zaradi izoliranih kabelskih vodnikov lahko le-te postavljamo tik enega ob drugega, ne da nas bi pri tem skrbela nevarnost stika faz, kot pri neizoliranih nadzemnih vodih. V splošnem si želimo, da bi impedance vodnikov bile čim manjše, tako upornost R kot induktivnost L . S tem se zmanjšajo izgube in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

Ohmsko upornost v splošnem določa presek prevodnega materiala v vodniku (Al ali Cu) in temperatura obratovanja. Na njo lahko vplivamo s hlajenjem vodnikov. Pri daljnovodih je hlajenje odvisno od temperature ozračja, direktnega sevanja sonca, vetra in snega pozimi. Ponavadi je maksimalna dovoljena temperatura obratovanja 90°C . To je temperatura, pri kateri prevodni material še obdrži svoje mehanske in električne lastnosti. Takrat se upornost aluminija glede na upornost pri 20°C poveča za približno 28%.

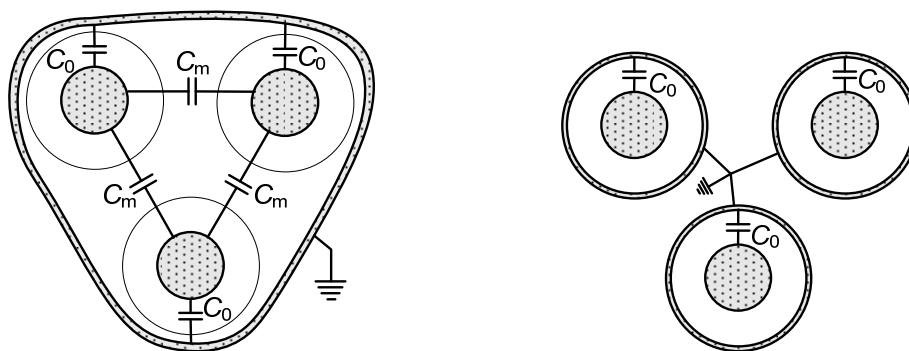
Induktivnost (lastna in medsebojna) prav tako vpliva na padec napetosti na vodu. Pri obremenitvah z večjim $\cos\varphi$ (ko je $Q \ll P$) vpliva induktivnost predvsem na prečni padec napetosti. Na absolutno vrednost napetosti na koncu voda ima to manjši vpliv, vsekakor pa se poveča razlika faznih kotov napetosti na začetku in koncu voda.

Kapacitivnost voda je snovno-geometrijska lastnost vsakega prevodnika. Velikost nadomestnih kapacitivnosti je odvisna od položaja prevodnih teles v prostoru. Pri električnih vodnikih trifaznega sistema se pojavljajo kapacitivnosti med faznimi vodniki in med vodniki ter zemljo (slika 1.4). Kapacitivnost vodov deluje kot kapacitivno breme, ki v primeru induktivnih bremen kompenzira jalovo moč, tako da je obremenjenost transformatorja ali generatorja zaradi zmanjšane jalove moči manjša.

Pri kabljih so fazni vodniki praviloma znotraj ozemljenega plašča ali pa so obdani z ozemljenimi vodniki, zato je dozemna kapacitivnost mnogo večja (slika 1.5). V primeru, ko so kabli ekranizirani in imajo ozemljeno kovinsko zaščito, kapacitivnost med faznimi vodniki ni izrazita oziroma je ni. Večja dozemna kapacitivnost lahko na kompenzacijo jalove moči deluje pozitivno, ima pa druge slabše lastnosti, ki se pokažejo predvsem ob nastopu zemeljskih stikov, obloka in ob okvarah.



Slika 1.4 : Kapacitivnosti pri nadzemnih vodih

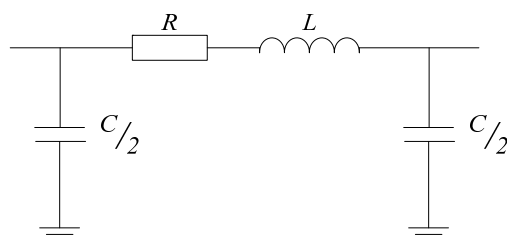


Slika 1.5: Kapacitivnosti pri trižilnih in enožilnih ekraniziranih kabljih

1.3 Polnilni toki

Polnilni toki se pojavijo pri obeh tipih vodnikov. Zaradi spreminjanja napetosti na vodih teče skozi navidezne kondenzatorje med zemljo in vodniki kapacitivni izmenični tok (slika 1.6). Če primerjamo ta tok pri nadzemnih vodih in kabljih, ugotovimo, da je zaradi večje kapacitivnosti tok v kabljih 20 do 30 krat večji (tabela 1.2).

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



Slika 1.6: Nadomestni model nadzemnih vodov in kablov

$$I_p = \omega C \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad 1.2$$

	Vrv Al/Fe	Kabel NA2XS2Y	
$S \text{ (mm}^2\text{)}$	70	70	150
$I_p \text{ (A/km)}$	0,033	0,770	0,903

Tabela 1.2: Polnilni toki kabla in nadzemnega voda pri nazivni napetosti 20 kV

1.4 Obremenljivost nadzemnih vodov in kablov

Pri odločanju o izbiri med kabli in nadzemnimi vodniki nas še posebej zanima, kakšne so njihove prenosne zmogljivosti. V splošnem je moč, ki jo lahko prenašamo, odvisna od napetosti in toka. Napetost bo določala minimalne varnostne razdalje med posameznimi vodniki, debelino izolacije, velikost izolacijskih podpornikov, stebrov, tok pa je omejen z dopustno mejo segrevanja vodnika in izolacije pri kabljih.

Pri prevajanju toka se sprošča toplota. Ta nastaja kot vsota joulskih izgub v prevodnem vodniku, izgub v plašču in ekranu idr.. Materiali se zaradi ohranjanja mehanskih in električnih lastnosti ne smejo segreti nad dopustno mejo. Pri nadzemnih vodih je najpomembnejši vidik mehanska trdnost, ki zagotavlja majhne povesi vodov. Pri višjih temperaturah se ti povesi povečajo in lahko ogrožajo varno in zanesljivo obratovanje. Za klasične ACSR (ang.: Aluminium Conductor Steel Reinforced) nadzemne vode je določeno, da se lahko v stalnem obratovanju segrejejo do temperature 90°C, v kratkem stiku pa celo do 180°C. Te obremenitve so določene tako, da vodnik kljub vsem še vedno ohrani svojo natezno trdnost in poves. Obremenljivost nadzemnih vodov je odvisna predvsem od izvedbe in materiala vodnika. Novi materiali omogočajo višjo dovoljeno temperaturo obratovanja (tabela 1.3).

Material	Dopustna temperatura obratovanja (°C)	Dovoljena temperatura v KS (°C)
ACSR (klasična izvedba)	90	180
TACSR	150	260
ZTACIR	210	280
XTACIR	230	360

Tabela 1.3: Dovoljene temperature obratovanja in kratkega stika »vročih« vodnikov TACSR in vodnikov z jedrom iz invar žic z nizkim toplotnim razteznostnim koeficientom tipa ZTACIR in XTACIR v primerjavi s klasično izvedbo ACSR

V tabeli omenjamo »vroče« vodnike TACSR (Thermal ACSR), ZTACIR in XTACIR. Značilnosti teh materialov so, da so sestavljeni iz različnih tipov aluminija (TAL, ZTAL in XTAL), jedra teh treh tipov vodnikov pa so iz galvaniziranega jekla, galvaniziranega invarja in invarja obloženega z Al. Za razliko od klasične izvedbe ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced) so vroči vodniki zaradi posebnih zlitin, ki pri višjih temperaturah bistveno boljše ohranjajo mehanske lastnosti, odporni na bistveno višje temperature.

Poleg »vročih« vodnikov zanimive lastnosti prinašajo tudi »črni« vodniki. Na temperaturo vodnika vpliva poleg zunanje temperature okolice in hitrosti vetra še koeficient emisivnosti in absorpcije, ki sta odvisna od stopnje »počrnelosti« ali »svetlosti« vodnikove površine. Umetno počrnjevanje se pri »črnih« vodnikih dosega s posebnim nanosom in tako se dvigne termična obremenljivost vodnika in celotnega daljnovoda.

Tako »vroči« kot »črni« vodniki lahko prenašajo večje tokove, kot navadni ACSR vodniki, vendar je med njima bistvena razlika. »Vroči« vodniki se smejo segrevati do višjih temperatur, ne da bi se mehanska trdnost porušila. Dodatno segrevanje vpliva med drugim tudi na raztezanje vodnika, zaradi česa se povesi povečajo. »Črni« vodniki izkoriščajo izboljšano hlajenje za doseganje višjih tokov znotraj temperaturnih mej, ki so nižje kot pri »vročih« vodnikih, zato so tudi povesi manjši, kar je iz vidika zanesljivosti obratovanja zelo pomembno.

Pri kablilih nas zaradi njihove lege (položeni na prostem ali vkopani v zemljo) natezna trdnost ne zanima več tako, kot pri obešenih nadzemnih vodih. Segrevanje prevodnika nad mejo trdnosti ne povečuje povsov, saj jih pri kablilih nimamo, s tem pa tudi ne zmanjšujemo varnosti in zanesljivosti obratovanja. Nekoliko drugače je pri univerzalnih kablilih v nadzemni izvedbi. Ker le-ti nimajo jeklenega jedra, ki nosi pomembno vlogo pri preprečevanju raztezanja vodov, so povesi pri takšnih kablilih večji kot pri ACSR (Al/Fe) vodih pri enaki natezni napetosti in temperaturi. Pri kablilih so dopustne obratovalne termične meje odvisne od tipa izolacijskega materiala (tabela 1.4). Omreženi polietilen XLPE se, odkar je izrinil papirno izolacijo, zelo pogosto uporablja v kabelski tehniki. Zaradi visoke dopustne temperature obratovanja 90°C, lahko prevaja večje tokove in predstavlja veliko konkurenco stari papirni izolaciji. Na zmogljivosti kablov pa vpliva tudi staranje, ki se izkazuje predvsem na kabelski izolaciji. Na staranje vpliva predvsem temperatura, zato obratovanje na termični meji ni priporočljivo. Izolacija izgublja svoje lastnosti, izolacijska upornost se manjša, vse to pa vpliva na zmanjšanje zanesljivosti celotnega sistema.

Izolacijski material	Dovoljena temperatura obratovanja (°C)	Dovoljena kratkostična temperatura (°C)
PE	70	150
XLPE EPR	90	250
PVC		
-do 300 mm ²	70	160
-do 400 mm ²	70	140
Impregnirana papirna izolacija:		
-Pasasti kabel 6/10 kV	65	170
-eno- in trižilni izolirani kabli		
6/10 kV	70	170
12/20 kV	65	170
18/30 kV	60	150

Tabela 1.4: Dovoljene temperature obratovanja in kratkega stika kablov z različnimi izolacijskimi materiali

1.4.1 Primerjava obremenljivosti nadzemnih vodov in ekvivalentnih kablov

V primeru bomo primerjali obremenljivosti nadzemnih vodov ACSR (Al/Fe) 35/6 in 70/12 ter ju primerjali z obremenljivostmi kablov NA2XS2Y enakih in večjih presekov (oznaka po JUS standardih je za ta kabel XHE-A 49). Obremenljivosti kablov so podane za dva načina postavitve, v enem je kabel postavljen na prostem v zraku, v drugem primeru pa je zakopan v zemljo. Za posamezni nadzemni vod smo predlagali ekvivalenten kabel, ki bi imel približno enake prenosne zmogljivosti.

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

Tabela 1.5: Obremenljivosti kabla (brez upoštevanja korekcijskih faktorjev) in nadzemnega voda pri temperaturi okolice 20°C (z enako barvo so označeni vodniki, ki jih v praksi uporabljajo kot ekvivalente)

Iz tabele 1.5 lahko opazimo, da sme nadzemni vodnik z enakim presekom prevajati za do 25% večje tokove kot izbrani kabel, ki je izveden v zraku. Za izbrani kabel velja, da je njegova obremenljivost v zemlji manjša kot v zraku. Razlog za to so različni način hlajenja pri obeh postavitvah. Ni pravilo, da se kabli na zraku hitreje ohlajajo kot tisti vkopani v zemljo. V večini primerov prav v zemlji dosežemo največje dopustne tokove, kar pomeni boljše odvajanje toplote, ki je odvisno od konstrukcije kabla, površine, izolacije idr.. Za trižilne kabelske izvedbe velja, da je njihova

obremenljivost nekoliko manjša od enožilnih, saj so vodniki bližje eden drugem in zato je odvajanje toplote nekoliko oteženo.

Pri upoštevanju obremenljivosti kablovodov je pomembno upoštevati korekcijske faktorje, s pomočjo katerih izračunamo obremenljivosti kablov v različnih situacijah. Najpogosteje se uporabljajo korekcijski faktorji, ki upoštevajo:

- globino polaganja kabla,
- temperaturo zemlje, zraka,
- toplotno upornost zemlje,
- razmik med kabli pri polaganju,
- razmik med grupami kablov,
- način polaganja (v skupne, ločene cevi).

Obremenljivosti iz tabele 1.5 so v praksi pogosto zmanjšane zaradi ohranjanja kakovosti izolacijskega materiala. Tabelarične vrednosti podajajo obremenljivosti pri temperaturi vodnika 90°C, kar je mejna vrednost. Z namenom omejiti obremenitve pod mejne vrednosti, zmanjšati izgube in se izogniti morebitnim toplotni nestabilnosti zaradi izsuševanja tal, se pogosto uporabljajo takšni maksimalni dopustni tokovi, ki zagotavljajo delovno temperaturo kabla do 65 °C. Tako se obremenljivosti iz tabele 1.5 lahko očitno zmanjšajo (okoli 18% za kable v zemlji in 27% za kable na zraku).

Ekvivalentni kabli

V tabeli 1.5 smo z barvami označili kable, katere distribucijska podjetja najpogosteje uporabljajo kot ustrezne zamenjave za dotrajane nadzemne vode. Nadomestek za nadzemni vod Al/Fe 35/6 najpogosteje predstavljata aluminijasta kabla s presekom 70 ali 150 mm², ki imata 126% in 191% obremenljivosti glede na nadzemni vod. Vod Al/Fe 70/12 pa zamenjujejo s kablom preseka 150 mm², ki ima 112% obremenljivost glede na daljnovod Al/Fe 70/12, pa tudi s kablom preseka 240 mm², ki še posebej na bolj obremenjenih odsekih bistveno zmanjša izgube energije.

Pri zamenjavi nadzemnih vodov s kabli je smotno povečati prenosne zmogljivosti vodnikov, če poraba v odseku kaže trend naraščanja.

1.5 Hlajenje kablov in nadzemnih vodov

Glede na do sedaj omenjeno, lahko ugotovimo, da imata uporabljen kabel in nadzemni vod enakih presekov (70 mm²) enaki največji dovoljeni temperaturi stalnega obratovanja, 90°C, hkrati pa smo ugotovili, da je obremenljivost tega kabla za 30% manjša od obremenljivosti nadzemnega voda. Od kod torej takšna razlika? Odgovor je v različnem načinu in hitrosti hlajenja posameznega tipa vodnika.

Nadzemni vodi so ves čas v stiku z zrakom, ki ni preveč dober prevodnik toplote, vendar omogoča dobro ohlajanje vodov zaradi konvekcije, ki jo pospešuje še prisotnost vetra. Goli vodniki se ohlajajo tudi s pomočjo sevanja, ki se povečuje s četrto potenco temperature.

Pri kabljih je hlajenje zaradi debelih izolacijskih plasti oteženo. Izolirani vodniki, ki so v zraku, se hladijo na enak način kot nadzemni vodi, le da je sevanje nekoliko manjše, medtem ko je hlajenje

zakopanih kablov v zemlji odvisno od mnogih okoliščin, kot so vlažnosti zemlje, temperatura, medsebojna bližina kablov idr.. Hlajenje v zemlji poteka večinoma le s prevajanjem toplote. Če je zemlja vlažna je prevajanje večje, saj je voda veliko boljši prevodnik toplote kot zrak. Pri segrevanju kablov se bližnja prst suši, prevodnost pa se tako manjša. Če so kabli blizu en drugemu, se sušenje prsti še pospeši.

Na globini, kjer so kabli vkopani, med letnimi časi ni več tako velikih temperaturnih razlik, kot so na površju, v zraku, zato je vpliv tega faktorja zmanjšan. Tabela 1.6 prikazuje povprečne temperature okolice na zraku ali v zemlji na globini 1m.

Podnebje	Temperatura okolice			
	Zrak		Zemlja	
	Min. (°C)	Max. (°C)	Min. (°C)	Max. (°C)
Tropsko	25	55	25	40
Subtropsko	10	40	15	30
Zmerno	0	25	10	20

Tabela 1.6: Povprečne minimalne in maksimalne temperature okolice za različna podnebja

Iz tabele je razvidno, da so v zraku večje povprečne razlike v temperaturi ($\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$) kot v zemlji ($\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$) v zmernem podnebj. V času nižjih temperatur so nadzemni vodi izpostavljeni nižjim temperaturam kot kabli, zato se njihova prenosna kapaciteta poveča, v času višjih temperatur, pa so vkopani kabli na nižji temperaturi in imajo zato relativno večjo obremenljivost kot nadzemni vodi.

1.6 Življenjska doba kablov in nadzemnih vodov

Določanje življenjske dobe elektroenergetskim elementom je zahtevno. Na starost ne vplivajo samo leta obratovanja, temveč tudi način obratovanja (konstantno, v presledkih), obremenitve (tokovne, napetostne), okoljske razmere (vreme, temperatura okolice, delci v zraku...), vzdrževanje in še mnogi drugi faktorji.

Ko primerjamo pričakovane življenjske dobe nadzemnih vodov in kablov, predvidevamo, da le-ti obratujejo v okviru vseh omejitev, ki so predpisane za normalna obratovalna stanja. Največji dejavnik, ki vpliva na staranje vodnikov je njihova temperatura. Dovoljene temperature obratovanja se razlikujejo glede na kvaliteto izdelave posameznih vodov oziroma kablov.

Povprečno se življenjska doba daljnovodov ocenjuje na okoli 40 do 50 let. Velikokrat nadzemni vodi zdržijo še mnogo dlje, do 80 let, vendar jih zaradi preventivnih razlogov obnavljajo.

Kabli imajo veliko krajšo življenjsko dobo. Najbolj kritični faktor je njihova izolacija, ki s časom razpada in izgublja svoje lastnosti. V preteklosti se je uporabljala predvsem papirna izolacija in izolacija iz PE (polietilen) materialov, ti pa so bili izpostavljeni močnim vplivom drevesenja (glej poglavje 1.6.2). Pri teh kablilih je bilo jasno, da ko je dosegel starost 40 let, je kabel odslužil, saj je predstavljal potencialno nevarnost kratkih stikov in drugih okvar, ki povzročajo prekinitve. Kabli z najnovejšimi XLPE (omrežni polietilen) izolacijami so na pojave drevesenja veliko manj občutljivi kot ostali. Zanimivo je, da se kabli starajo, tudi če niso v obratovanju ali pa so priključeni le pod

napetost. Vzrok za to so procesi, ki se dogajajo v izolacijskih plasteh zaradi zunanjih vplivov, električnih polj idr..

1.6.1 Mehanizmi staranja polimerov

V skladišču ali obratovanju, v vsakem trenutku so energetske kabli izpostavljeni negativnim vplivom zaradi zunanjih sil, kemikalij, sevanja ali temperature. Eden od vzrokov za staranje materialov je toplota, ki nastaja tekom obremenitve kabla. Staranje je definirano kot skupek vseh nereverzibilnih kemičnih in fizičnih procesov v določenem časovnem obdobju in so v tesni povezavi s spremembami lastnosti materialov.

Naključne poškodbe, zarez v izolatorju ali druge mehanske poškodbe, ki nastanejo na kablu v času skladiščenja, polaganja in delovanja energetskega kabla niso obravnavane kot vzrok staranja, čeprav je delovna doba prizadetega kabla zmanjšana.

1.6.2 Električno staranje polimerov

Pojem “električno staranje” se nanaša na nereverzibilne procese v kabelski izolaciji, ki za razliko od “neelektričnega staranja” nastanejo le zaradi prisotnosti električnega polja. Neelektrični parametri imajo prav tako vlogo pri električnem staranju oziroma so nujno potrebni za pojav tega staranja. Takšni parametri so npr. povečana temperatura, spremembe temperature in prisotnost vode v izolaciji. Zaradi povečane pomembnosti uporabe sintetičnih materialov v izolaciji kablov, se bomo v nadaljevanju osredotočili predvsem na polimerične izolacijske materiale, kot je omrežen polietilen XLPE.

Električno staranje izolacije, ki ga povzroča povečevanje trajanja obratovanja v okvarjenem stanju, ima za posledico postopno zmanjševanje prebojne vzdržnosti. Na podlagi empiričnih preizkusov v laboratoriju, je določena krivulja staranja, ki je določena z naslednjim pravilom:

$$E_N \cdot t = konst. \quad 1.3$$

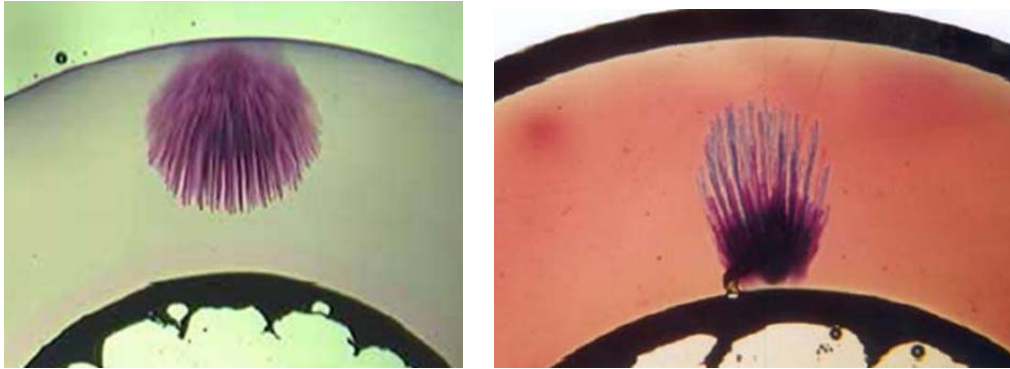
Enačba 1.3 opisuje relacijo med električno poljsko jakostjo E , ki deluje tekom okvare, in časom okvare t .

Razlogi za električno staranje

Glede na dosedanje dokaj kratke izkušnje z uporabo visoko in srednjenapetostnih energetskih kablov s PE ali XLPE izolacijo lahko razloge za okvare delimo v dve skupini. Najpogostejša okvara je okvara zaradi vodnih dreves. Te nastajajo postopoma v daljših obdobjih in pospešujejo odpoved trdne dielektrične izolacije in so bile vzrok že mnogim odpovedim kablov. Drugi razlog za staranje pa so električna drevesa.

- Električna drevesa: Zaradi velikih električnih poljskih jakosti pri preobremenitvah prihaja v izolaciji kabla do parcialnih razelektritev, ki odžirajo material. Ko se proces enkrat začne, se lahko zelo hitro nadaljuje, s tem se drevesenje v dielektriku poveča in povzroči odpoved kabla v času nekaj ur ali dni.

- Vodna drevesa: Vodna drevesa so male diskretne vrzeli, ločene z izolacijo. Razširjajo se postopoma v obdobju mesecev ali let. Za njihovo nastajanje je potrebna le majhna električna poljska jakost in prisotnost vlage. Voda, ki vstopi v dielektrik se zbira v posebnih predelih in povzroča lokalna drevesa. Torej na hitrost rasti vodnih dreves vplivajo vrzeli, temperatura, poljska obremenitev in nečistosti v materialu.



Slika 1.7 : Vodna drevesa v kabelski izolaciji