

Dijagnostika elektroenergetskih vodova

Zdrilić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:607610>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

DIJAGNOSTIKA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA

Rijeka, srpanj 2022.

Filip Zdrilić

0069081315

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

DIJAGNOSTIKA ELEKTROENERGETSKIH VODOVA

Mentor: mr. sc. Marijana Živić Đurović

Rijeka, srpanj 2022.

Filip Zdrilić

0069081315

SVEUČILISTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 15. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Elementi elektroenergetskih postrojenja**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Filip Zdrilić (0069081315)**
Studij: **Preddiplomski stručni studij elektrotehnike**

Zadatak: **Dijagnostika elektroenergetskih vodova / Power line diagnostics**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati nadzemne i kabelaške elektroenergetske vodove. Opisati dijagnostiku nadzemnih vodova. Opisati dijagnostiku kabelaških vodova: mjerenje faktora dielektričnih gubitaka, metoda obnovljivog napona, metoda parcijalnih izbijanja, niskofrekvencijska ispitivanja.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Filip Zdrilić

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

M. Živić

Mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

S. Vlahinić

Prof. dr. sc. Saša Vlahinić

IZJAVA

Sukladno članku 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci od siječnja 2020. izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku za završni rad koji mi je uručen 15. ožujka 2021.

Rijeka, srpanj 2022.

Filip Zdrilić

Filip Zdrilić

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici **mr. sc. Marijani Živić Đurović**, v. pred. na stručnom vođenju i pomoći pri odabiru i izradi ovog Završnog rada.

Ovim putem bi se također želio zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima koji su mi pružili bezuvjetnu pomoć i podršku.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. OSNOVNA PODJELA VODOVA	3
2.1. Nadzemni vodovi.....	3
2.1.1. Vodiči	4
2.1.2. Izolatori	6
2.1.3. Zaštitna užad i uzemljenje.....	9
2.1.4. Stupovi	10
2.1.5. Temelji	13
2.1.6. Pribor.....	15
2.2. Kabelski vodovi.....	16
2.2.1. Konstrukcija elektroenergetskih kabela	16
2.2.2. Kriteriji pri izboru i dimenzioniranju kabela.....	19
2.2.3. Kabeli za niske i srednje napone	20
2.2.4. Kabeli za visoke napone.....	23
2.2.5. Kriokabeli.....	26
2.2.6. Podmorski kabeli.....	27
3. DIJAGNOSTIKA NADZEMNIH VODOVA	29
3.1. Video pregled	30
3.2. Korona pregled	30
3.2.1. Korona kamere	32
3.3. Laserski pregled.....	32
3.4. Termografski pregled	33
3.4.1. Infracrvene kamere.....	34
3.4.2. Metode termografskih pregleda nadzemnih vodova	34
3.5. Otponsko polje.....	36
4. DIJAGNOSTIKA KABELSKIH VODOVA	37
4.1. Faktor dielektričnih gubitaka.....	38
4.2. Metoda obnovljenog napona	39
4.3. Metoda parcijalnih izbivanja	40
4.4. Niskofrekvencijska izbivanja	41
5. TERMOVIZIJA	42
5.1. Postupci pravilnog termovizijskog ispitivanja	42
5.2. Termografske kamere	44
6. ZAKLJUČAK	45

7. LITERATURA	46
8. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLISKOM JEZIKU.....	47
9. POPIS SLIKA I TABLICA	49

1. UVOD

Elektroenergetska mreža se sastoji od mnogobrojnih komponenti i uređaja koji osiguravaju svojim kupcima električne energije sigurnu, pouzdanu i kvalitetnu opskrbu električnom energijom. Pri projektiranju električne mreže radi se opširno istraživanje i prikupljanje podataka o svim električkim i mehaničkim zahtjevima koji definiraju budući izgled i komponente koje čine istu tu mrežu. U svrhu pouzdane isporuke kvalitetne električne energije, također je potrebno definirati postupke i protokole održavanja elektroenergetske mreže.

Elektroenergetska mreža se može dijeliti na više zasebnih karakteristika među kojima je najbitnija, definirajuća naponska razina. Razlikujemo visokonaponske, sredjenaponske i niskonaponske mreže. Svaka od navedenih definira korištenje pripadajuće opreme koja može podnositi naponska, strujna i ostala opterećenja pod kojim se nalaze. Osim cjenovnih i konstrukcijskih razlika postoje i razlike u primjeni navedenih vrsta mreža. Prijenosne mreže koriste naponske razine od 110 kV prema višim, dok distribucijske mreže koriste naponske razine od 0,4 kV do zaključno 35 kV. Način na koji su navedene mreže izgrađene definiramo podjelu na nadzemne i kabelske električne mreže.

Nadzemne električne mreže se sastoje od aktivnih električkih elemenata i pasivnih odnosno mehaničkih. Karakteristika nadzemnih električnih mreža je postavljanje električnih vodova iznad površine zemlje na stupove. Ovakve mreže ne zahtijevaju izolirane vodiče već su izolirani od konstrukcije stupa koji je dodatno uzemljen.

Kabelske električne mreže su karakteristične mreže koje se preferiraju u urbanim sredinama. Štede prostor jer električni vodovi su u ovom slučaju izolirani i ukopavaju se u zemlju. Postoje razne izvedbe kabela s odgovarajućom izolacijom koju određuje naponska razina.

Dijagnostika nadzemnih i kabelskih mreža provodi se u sklopu strategije energetske tvrtke u svrhu održavanja pogona u normalnom radnom stanju. Primjenom pravilne strategije održavanja elektroenergetskog sustava omogućuje se i predviđanje budućih kvarova zbog predviđenog životnog vijeka potrošnog materijala i komponenti. Takav pristup održavanju značajno smanjuje troškove koji su izravna posljedica kvarova u pogonima. Dijagnostička ispitivanja se provode u laboratorijima i na terenu. Idealni uvjeti rada koji se mogu simulirati u laboratoriju služe za definiranje referentnih vrijednosti koje definiraju stanje opreme na terenu.

Dijagnostičke metode se razlikuju u načinu provedbe, ali i u prikazu rezultata ispitivanja. Metode dijagnostike možemo podijeliti na standardni opseg koji se primjenjuje na svu opremu, prošireni

opseg i specijalističke metode dijagnostike koje se koriste prilikom puštanja u pogon ili pri analizi kvarova. Zbog ekonomičnosti i učinkovitosti češće se provodi standardni opseg dijagnostičkih metoda u odnosu na specijalistički i prošireni opseg. Dijagnostičke metode pri ispitivanju koriste znanje i fizikalne zakone kemijskog inženjerstva i naponskih ispitnih tehnika.

Vizualni pregled spada u najstariji vid dijagnostičkih metoda. Ovom metodom se uglavnom uspijevaju detektirati mehanička oštećenja i određuje se točna lokacija kvara.

Termodijagnostičke metode temelje svoj rad na praćenju temperature komponenti elektroenergetskog sustava. Ova metoda je pronašla široku primjenu u dijagnostici kvarova. Može biti kontaktna, beskontaktna ili indikatorska. Korištenjem specijaliziranih kamera brzo i efikasno se dobivaju slike koje precizno prikazuju kvarove, oštećenja i nečistoće određenih komponenti.

Metode parcijalnih izbijanja mogu u praksi poslužiti za dijagnostiku svih elemenata elektroenergetske mreže. Ovom metodom uočavaju se nehomogenosti u izolacijskom materijalu i onečišćenja. Nehomogenost i onečišćenja stvaraju električke proboje izolacije visokog ili niskog intenziteta koji uzrokuju probleme u opskrbi električnom energijom i opasnosti po život u neposrednoj blizini.

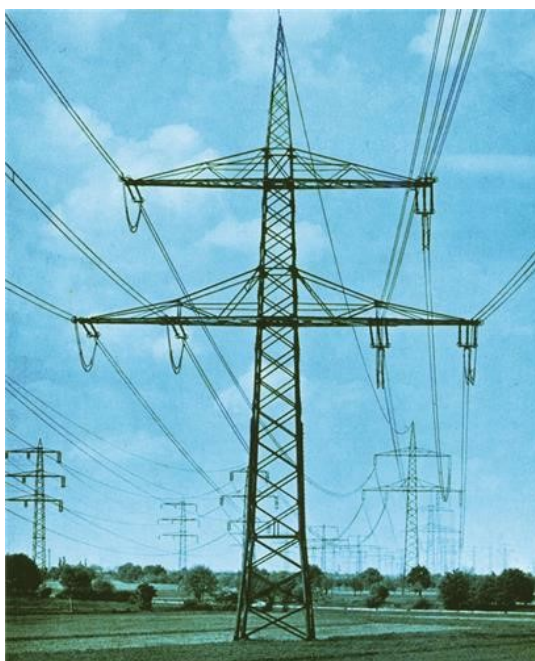
U ostatku ovog rada поближе su opisani elementi nadzemnih i kablskih električnih mreža kao i njihove pripadajuće dijagnostičke metode.

2. OSNOVNA PODJELA VODOVA

Osnovna podjela vodova vrši se prema načinu polaganja vodova. Razlikujemo kableske električne vodove i nadzemne električne vodove. Kabeli su izolirani električni vodiči koji se postavljaju u kanale određene dubine na željenim lokacijama poput gradskih (urbanih) sredina, dok se nadzemni električni vodovi postavljaju, kao što sama riječ kaže, nadzemno preko izolatora te su učvršćeni na stupove. Nadzemni električni vodovi se najčešće postavljaju van urbanih sredina, kroz manje gusto naseljena područja gdje ovisno o potrebama prijenosa električne energije formiraju dalekovodne mreže, distribucijskog ili prijenosnog karaktera ovisno o nazivnom naponu.

2.1. Nadzemni vodovi

Nadzemni vodovi su dio elektroenergetskog sustava koji služi za prijenos električne energije od mjesta proizvodnje do potrošača. Njihova konstrukcija se sastoji od više međusobno povezanih komponenti koje omogućuju siguran i pouzdan prijenos električne energije. Osnovni elementi trase voda su: vodiči, izolatori, stupovi, spojni, ovjesni i zaštitni pribor, zaštitni vodiči (zaštitna užad), uzemljenje, temelji.



Slika 2.1. Nadzemni vod s pripadajućim elementima

2.1.1. Vodiči

Električni vodiči su dio konstrukcije nadzemnog voda, te su nužni za povezivanje dvaju stupova i prijenos električne energije. Nadzemni vodovi su jedini aktivni dio nadzemnog voda i uglavnom nisu izolirani. Opterećeni su termički i vlačno. Postoje određeni zahtjevi na vodiče koje oni moraju ispuniti:

- dobra električna vodljivost,
- velika mehanička čvrstoća,
- dobra mogućnost obrade,
- otpornost na oštećenja, koroziju i starenje,
- prihvatljiva cijena.

Za ispunjenje ovih zahtjeva, pri izradi električnih vodiča nadzemnog voda, koriste se razni materijali, najčešće u kombinacijama radi lakšeg postizanja željenih zahtjeva. To su metali dobrih električnih i mehaničkih svojstava.

Bakar (Cu) ima najbolja električka svojstva među ekonomski prihvatljivim materijalima. Kada se bakar koristi kao vodič on se proizvodi u obliku tvrdo vučenog elektrolitičkog bakra. Od svih materijala koji se koriste za izradu električnih vodova bakar ima najmanji specifični otpor. Ipak bakar se rijetko koristi kao materijal za nadzemne vodove uglavnom zbog relativno visoke cijene.

Aluminij (Al) se, kao materijal za izradu nadzemnih električnih vodiča, koristi u većini slučajeva. Iako svojim električkim svojstvima zaostaje za bakrom, to nije slučaj kada je riječ o masi aluminijskog vodiča. Uzima se da za svaki kilogram bakrenog vodiča, aluminijski vodič bude približno upola lakši. Cjenovno, to se vidi u omjeru 1:2 ili 1:2,5 u korist aluminija što je primarni razlog zašto je aluminij postao najvažniji materijal u izradi nadzemnih električnih vodiča. U nedostatke aluminija ubrajamo osjetljivost na mehanička oštećenja i podložnost korodiranju.

Čelik u odnosu na bakar i aluminij ima najgora električna svojstva, ali kompenzira izvrsnim mehaničkim svojstvima. Zbog toga se čelik uglavnom koristi u kombinacijama s drugim vodičima. Čelik kao samostalan materijal za vodiče ima nedostatke vezane uz magnetsku permeabilnost (skin-efekt) i magnetsko zasićenje, nelinearan otpor koji naglo raste povećanjem strujnog opterećenja. Koristi se u kombinaciji s aluminijem za izradu faznih vodiča gdje se od korozije štiti pocinčavanjem. Koristi se isključivo kao materijal za zaštitnu užad gdje materijali bolje električne vodljivosti imaju prednost.

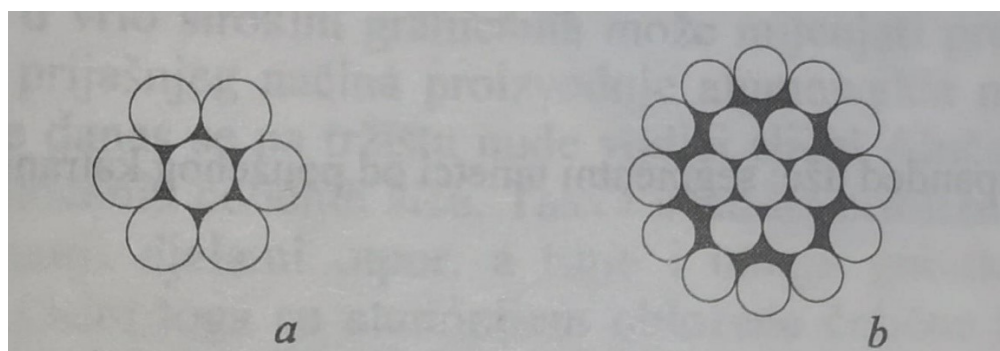
Slitine koje se koriste za izradu vodiča su bronca i aldrej. Bronca je kombinacija bakra, kositra, silicija i željeza čime se poboljšavaju mehanička svojstva bakra. Aldrej je kombinacija mangana, silicija i željeza čime se također poboljšavaju mehanička svojstva. U Hrvatskoj se aldrej uglavnom ne koristi.

Kombinirani vodiči su vodiči koji se sastoje od konstrukcijski vezanih žica različitih materijala. Najupotrebljiviji primjer koji se koristi u Hrvatskoj je alučel oznake Al/Č. To je vodič čija je jezgra sačinjena od čelika koji preuzima mehaničko opterećenje te aluminijska koja se nalazi periferno na vodiču i preuzima električna opterećenja. Standardni omjer koji se koristi je 6:1 Al/Č.

Za vodiče je također bitno napomenuti na koji su način konstruirani gdje razlikujemo:

- pune žice,
- sukane vodiče,
- specijalne izvedbe,
- snopove,
- izolirane vodiče,
- učinkovite vodiče.

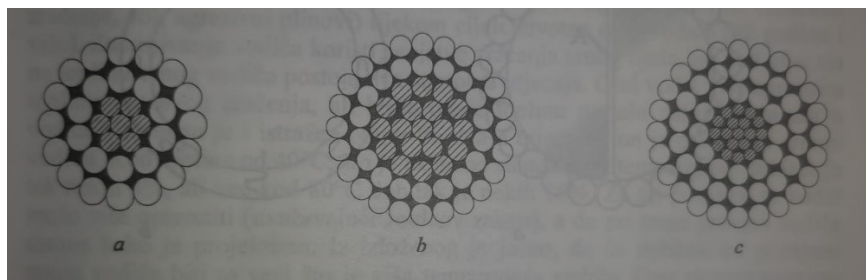
Pune žice koriste se na dva načina homogeno ili nehomogeno. Homogeno se koristi za niskonaponske (NN) vodove, 0,4 kV malih raspona i presjeka, dok se nehomogena izvedba koristi tako da žica od dva ili više materijala formiraju jedinstvenu jezgru s plaštom.



Slika 2.2. Homogeno užje : a) sa 7 žica i b) s 19 žica [1]

Sukani vodiči ili užeta imaju prednost pred punim žicama jer imaju veću gipkost i prekidnu čvrstoću te su manje osjetljivi na udare vjetra. Razlikujemo homogene i nehomogene sukane vodiče. Homogeni sukani vodiči su građeni tako da se oko jedne jezgrene žice suču žice u više slojeva. Kombinirani, nehomogeni sukani vodiči imaju jednu jezgrenu žicu oko koje se suču žice

jezgre potom žice drugog materijala. Oni se ujedno i najviše koriste kod nadzemnih vodova pri standardnom obliku alučel, u standardnom omjeru Al/Č 6:1.



Slika 2.3. Alučel uža [1]

Specijalne izvedbe se javljaju zbog sprječavanja pojave korone, sprječavanja zamora materijala zbog oscilacija i vibracija. Primjeri specijalnih izvedbi su šuplji, antivibracijski, ekspanzirani. Specijalne izvedbe se uglavnom ne koriste često.

Snopovi se koriste umjesto specijalnih izvedbi radi povećanja prijenosne moći voda i sprječavanja korone. To se postiže uz pomoć odstoynika koji drže fazne vodiče u snopu čime se prividno povećava presjek vodiča. U snopu se nalaze kombinacije 2, 3 ili 4 vodiča.

Izolirani vodiči su užad od aluminijskih legura presvučenih izolacijom. Dva su specifična područja u kojem se koriste, a to su izolirani srednjenaponski vodovi 10(20)kV, i samonosivi kabelski snopovi niskog napona.

Učinkoviti vodiči su vodiči nove generacije, TAL-vrući vodiči, crni vodiči, GAP-kompaktni vodiči i OPGW-vodiči sa svjetlosnim nitima. [1]

2.1.2. Izolatori

Primarnu izolaciju nadzemnih električnih vodova čini zrak. Međutim, svaki električni vod je na određenom mjestu pričvršćen za stup. Da bi se izbjegli kvarovi i nesreće, nužno je vodič povezati za stup uz pomoć izolatora. Izolatori osiguravaju električnu čvrstoću voda i električki odvajaju stup i uzemljene dijelove od faznih vodiča. Izolatori, također, imaju ulogu u mehaničkom smislu pri čemu oni težinu voda i dodatnog tereta, poput leda i vjetrova, prenose na stup. Osim navedenog, izolatori su još i termički opterećeni. Postoje određeni zahtjevi koje izolatori moraju ispuniti:

- električna čvrstoća na preskok i proboje,
- mehanička čvrstoća,
- otpornost na atmosferske utjecaje i promjene temperature,
- sigurnost od prekida,
- trajnost, ekonomičnost i lako održavanje.

Osnovna građa izolatora se sastoji od izolacijskog tijela i metalnih dijelova kao što su kapa i podnožje. Za izradu izolacijskog tijela koriste se razni materijali među kojima su porculan, steatit, kaljeno staklo i umjetne mase (npr. silikonske gume, epoksidne smole, umjetne gume itd.). Za nadzemne vodove, ovisno o obliku i načinu na koji povezuju vodiče za stup, razlikujemo više vrsta izolatora kao što su: potporni izolatori, ovjesni, kapasti ovjesni, masivni, štapni i kompozitni polimerni izolatori.

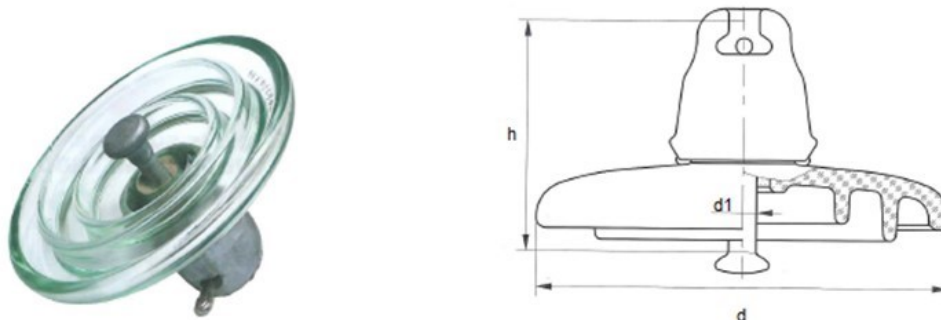
Potporni izolatori se javljaju u niskonaponskim (NN) i srednjenaponskim (SN) mrežama u granicama od 0,4kV-35kV. Izvedbe stupova s potpornim izolatorima su niže nego s ovjesnim izolatorima. Potporni izolatori kruto učvršćuju vodiče pa se sile s vodiča izravno prenose na stup. U porculanskom dijelu izolatora javljaju se naprezanja na savijanje, a kod izvedbi s većom probojnom čvrstoćom porculanski dio izolatora također je napregnut na savijanje.



Slika 2.4. Keramički VHD potporni izolator

Ovjesni izolatori se razlikuju od potpornih jer zglobno učvršćuju nadzemne električne vodiče. Građeni su od članaka pomoću kojih se slažu lanci izolatora. Kako bi se osigurala električna čvrstoća, potrebno je nizati dovoljan broj članaka na tijelu izolatora, dok se mehanička čvrstoća osigurava paralelnim slaganjem izolatorskih lanaca.

Kapasti ovjesni izolatori su građeni od takozvanih kapa. Porculan je napregnut na pritisak jer je na njemu zacementirana kapa, a odozdo se nalazi čelični batić na kojeg se veže sljedeći članak. Kako je porculan napregnut na pritisak, to dovodi do smanjenja probojne čvrstoće zbog čega se uvodi termin elektromehanička čvrstoća.



Slika 2.5. Stakleni kapasti izolator

Masivni i štapni izolatori su opterećeni vlačno. Masivni izolatori su otporniji na proboj od kapastih izolatora, ali zato se za njihovu izradu koriste porculan i skuplji steatit. U normalnoj izvedbi sastoje se od dvije kape te se danas isključivo mogu vidjeti na starim dalekovodima. Električnu čvrstoću postižu odgovarajućim brojem članaka, a mehanički paralelnim brojem lanaca. Štapni izolatori su nešto kraći od masivnih i kapastih izolatora, pa zahtijevaju niže stupove. Masivni i štapni izolatori su također karakteristični po tome što imaju veliku duljinu proboja u odnosu na kapaste članke.

Kompozitni polimerni izolatori su u principu štapni izolatori koji koriste napredne materijale. Imaju metalne kape kojima se vješaju o stup, jezgru od poliestera ojačanu staklenim vlaknima, i kliznu stazu koja je građena od silikonske ili teflonske gume. Izborom ovakvih materijala dobiva se izolator koji ima veliku mehaničku čvrstoću, otpornost na lomove, malenu masu, elastičnost, otpornost na onečišćenje i jednostavnost održavanja. [1]



Slika 2.6. Kompozitni izolator

2.1.3. Zaštitna užad i uzemljenje

Zaštitna užad imaju vrlo važnu ulogu u zaštiti nadzemnih električnih vodiča koje štiti na razne načine. Zaštitna užad koristi se u mrežama počevši s naponom od 35 kV, pa prema višim naponskim razinama. Materijali koji se koriste za izradu zaštitne užadi su čelik, međutim više se preferiraju materijali bolje električne vodljivosti poput aluminija ili alumowelda. Na nadzemne vodove stavlja se jedno do dva zaštitna užeta po stupu gdje moraju biti galvanski povezani s uzemljivačem. Galvanska veza se ostvaruje preko samog stupa kod čeličnorešetkastih i armiranobetonskih stupova, dok kod drvenih stupova uz pomoć dozemnog voda.

Zaštitno uže se koristi za zaštitu faznih vodiča od direktnog udara munje čime se povećava pogonska sigurnost voda. Druga uloga zaštitne užadi je osiguranje dovoljno niske nulte impedancije Z_0 radi zaštite od jednopolnih kvarova, što doprinosi pouzdanom radu relejne zaštite. Treća uloga vezana je uz cjelokupno poboljšanje sustava uzemljenja jer zaštitna užad galvanski povezuju uzemljivače svih stupova.

Danas, u zaštitnu užad se ugrađuju i optički kabeli koji služe za prijenos informacija. Optički kabeli otporni su na elektromagnetske smetnje, stoga se u njih ulažu velika sredstva te se preko njih također ostvaruju i telekomunikacijske veze.

Uzemljenje ima zadatak pružanja sigurnosti i pouzdanosti pri prijenosu električne energije kroz nadzemne vodove kao i sigurnost ljudi koji dolaze u neposrednu blizinu stupova. Djelotvorno uzemljenje se ostvaruje uz pomoć zaštitne užadi, uzemljivača i galvanski spojenih metalnih

dijelova koji nisu pod naponom. Uzemljivači moraju imati dobru električnu vodljivost, stoga je vrlo bitno da su otporni na koroziju. Od korozije se štite uz pomoć pogodnih metoda zaštite poput pocinčavanja ili izborom materijala koji je otporan na koroziju. Postoji više vrsta uzemljivača koji su u upotrebi.

Cijevni uzemljivači su primjer uzemljivača kojem su cijevi duge nekoliko metara vertikalno zabijene u zemlju. Pločasti uzemljivači koriste vertikalno ukopane ploče za uzemljenje. Trakasti uzemljivači su vrsta uzemljivača koji se danas najviše upotrebljavaju. Za uzemljenje koriste žice, užad ili trake koje su ukopane u zemlju, pri čemu se one na određenim dubinama postavljaju prstenasto, zrakasto ili kombinirano prstenasto-zrakasto.

Uzemljivači se dimenzioniraju prema dva kriterija. Prvi kriterij uzemljenja je zaštita ljudi od djelovanja opasnih napona dodira pri zemljospoju. Ono se primjenjuje kod stupova koji su pristupačni ljudima, gdje dimenzioniranje uzemljivača ovisi o uzemljenju neutralne točke voda. U pravilu se koriste prstenasti uzemljivači koji se postavljaju oko temelja stupova. Drugi kriterij prema kojem se dimenzioniraju uzemljivači je kriterij zaštite voda od direktnog udara munje. Povratni preskok na vodiče prilikom udara munje u zaštitnu užad ili stupove nije vjerojatan ako vrijedi uvjet:

$$R_U \leq \frac{U_I}{I_U} \quad (2.1)$$

Gdje je:

U_I [kV] podnosivi napon izolacije stupa

I_U [kA] tjemena vrijednost udarne struje groma

Kada se iz navedenog uvjeta izračuna otpor uzemljivača tada se dimenzionira uzemljivač stupa.
[1]

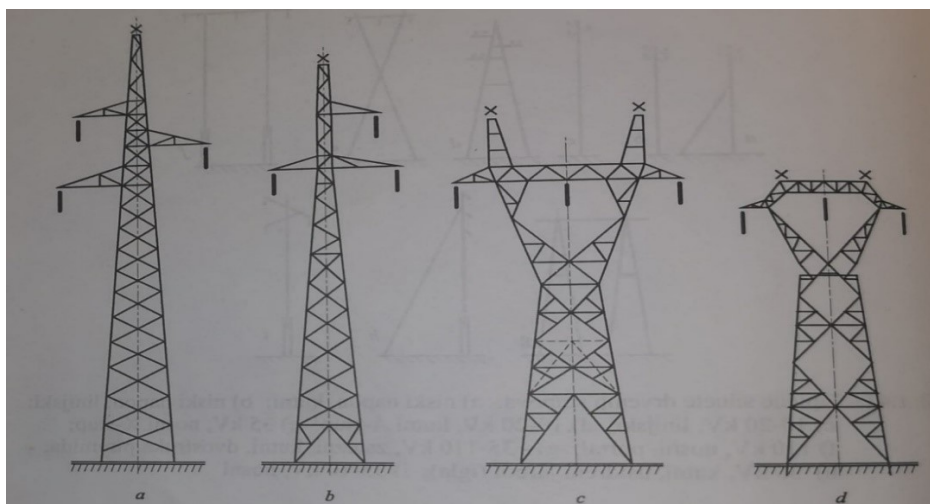
2.1.4. Stupovi

Stupovi su komponenta nadzemnih dalekovoda po čijoj ulozi su nadzemne mreže i dobile ime. To su konstrukcije napravljene od različitih materijala koje nose električne vodove, izolatore i zaštitnu užad. Stupovi osiguravaju odgovarajuću sigurnosnu visinu voda iznad tla zbog čega su mehanički opterećeni. Stupovi nadzemnih mreža rade se od različitih materijala od kojih su najistaknutiji drvo, čelik, beton, aluminij i polimeri.

Drvo kao materijal za izradu stupa se koristi sve do visokonaponskih razina, primjerice 220 kV, ali uglavnom se koristi za niskonaponske mreže. U Hrvatskoj, drvo se koristi za 10 kV vodove, a rijetko za 20 ili 35 kV. Prednosti drva su mala težina, brza montaža i niska cijena. U nedostatke ubraja se mala trajnost te su skupi u pogonu. Konstrukcija stupa mora biti prilagođena njegovoj visini, a visinu stupa određuju tehnički propisi navedeni za određenu naponsku razinu. Glava stupa kod drvenih stupova je gornji dio stupa na kojem se nalaze fazni vodiči, izolatori i zaštitno uže. Oblik glave drvenog stupa definira broj i presjek faznih vodiča, broj zaštitnih užeta, način vješanja vodiča i raspored vodiča.

Čelični stupovi se koriste za srednjenaponske razine 35 kV i više. Za niže napone stupovi su cijevi, a za više napone koristi se rešetkasta konstrukcija. Cjevaste konstrukcije na SN i NN naponskim razinama imaju uglavnom manu što su podložni koroziji, stoga se ulaže u njihovu zaštitu pocinčavanjem ili antikorozivnim premazivanjem dok se u iznimnim situacijama koriste skupi, legirani nehrđajući čelici. Oblik glave stupa kod čeličnih stupova definiran je brojem faznih vodiča zbog čega postoje jednostruki i dvostruki čeličnorešetkasti stupovi. U jednostruke ubrajamo:

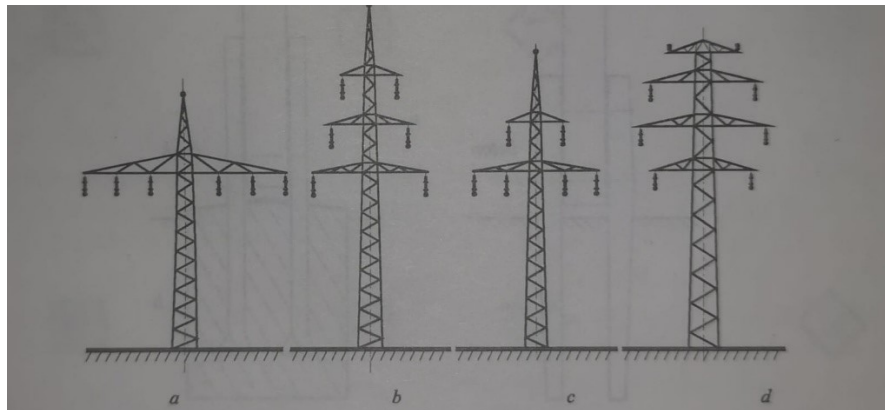
- oblik jela,
- modificiranu jelu,
- y-stup,
- mačku,
- sidreni (finski tip).



Slika 2.7. Čeličnorešetkasti stupovi: a) jela b) modificirana jela c) Y-stup d) mačka [1]

U dvostruke ubrajamo:

- stup s horizontalnim rasporedom vodiča,
- dvostruka jela,
- tip Dunav,
- tip bačva.



Slika 2.8. Dvostruki čeličnorešetkasti stupovi: a) horizontalni raspored vodiča b) dvostruka jela c) tip Dunav d) tip bačva [1]

Armirani beton kao materijal za nadzemne stupove preferira se zbog velike trajnosti bez potrebe za detaljnim održavanjem. Betonski stupovi se posebno grade za određenu naponsku razinu. Za mreže do 20 kV koriste se centrifugirani betonski stupovi koji se proizvode posebnim tvorničkim postupkom. Osim centrifugiranih u upotrebi mogu biti i četvrtasti betonski stupovi koji su također tvornički proizvedeni za nazivne napone do 20 kV. Za naponske razine 35 i 110 kV koriste se četvrtasti betonski stupovi lijevani na mjestu ugradnje. Postoje armirano-betonske rešetkaste izvedbe nadzemnih stupova koje se lijevaju na mjestu ugradnje. Vrste armirano-betonskih stupova su primjerice:

- niski napon,
- 10-20 kV,
- 35-110 kV, jela,
- 110 kV, portal,
- 35-110 kV, bačva,
- 35-110 kV, dvostruka jela.

Aluminij i aluminijske legure rijetko su u upotrebi. Karakterizira ih bolja otpornost na koroziju i komercijalno puno veća cijena od čelika. U izvedbi stupova koriste se slična rješenja kao i kod čelika.

Polimerni materijali su u prednosti u odnosu na ostale materijale jer su vrlo lagani. Poliesterski stupovi imaju područje primjene u NN i SN mrežama, javnoj rasvjeti i područjima gdje su prisutna velika onečišćenja.

Posebna podjela stupova vrši se prema više kriterija. Prva podjela je položaj stupa u trasi dalekovoda, pri čemu razlikujemo linijske i kutne stupove. Linijski stupovi se nalaze na ravnom dijelu vertikalne projekcije dalekovoda, a kutni se nalaze na mjestu loma dviju vertikalnih projekcija. Nosni i zatezni stupovi predstavljaju podjelu stupova ovisno o načinu na koji se vodiči vješaju o stup. Rasteretni stupovi su stupovi kod kojih se traže najstroži uvjeti izgradnje jer moraju izdržati jednostrani prekid svih vodiča u poremećenom stanju. Osim navedenih podjela postoje i stupovi s posebnim funkcijama, primjerice krajnji stup, preponski stup, međustup, križišni stup, prepleteni stup.

Krajnji stup je početni i zadnji stup na obje strane trase dalekovoda prije spajanja na rasklopno postrojenje. Prema načinu na koji podnosi teret uglavnom je rasteretni.

Preponski stup se koristi kada vod sječe prometne pravce poput autocesta, željeznica, plovnih rijeka itd. Preponski stup nije jednako nategnut s obje strane čime se omogućuje upravljanje sigurnosnom visinom vodiča da ne bi došlo do nedozvoljenog kontakta sa spomenutim prometnim pravcima, odnosno vozilima koji se njima kreću. Preponski stupovi su također rasteretni.

Međustup je stup koji se postavlja u preponsko otponsko polje pri čemu se dobiva potrebna sigurnosna visina na mnogo ekonomičniji način.

Križišni stup se koristi kada je neizbježno križanje s nekom drugom trasom voda.

Prepleteni stupovi su stupovi koji se koriste radi preplitanja vodiča. Preplitanje se vrši u slučaju kada je potrebno postići električnu simetriju voda. [1]

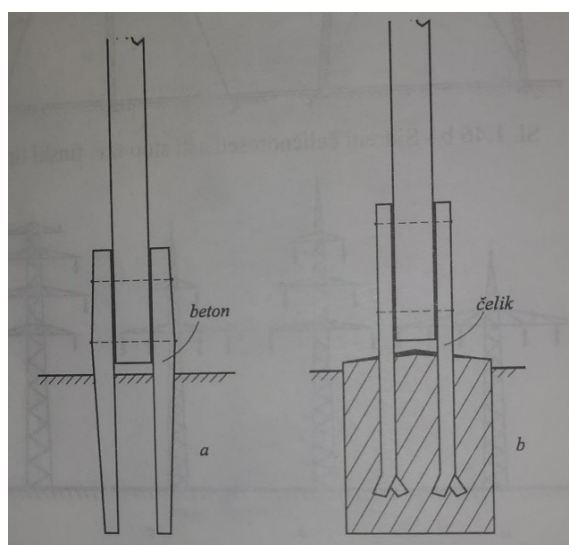
2.1.5. Temelji

Temelji su dio nadzemnih vodova čija je uloga stabilizacija stupova i prijenos sila sa stupa na tlo.

Sile koje se javljaju na stup mogu biti različitog smjera i iznosa pa primjerice temelji mogu biti opterećeni na pritisak prema dolje te izvlačenje i prevrtanje. Postoje razne izvedbe temelja za čiju

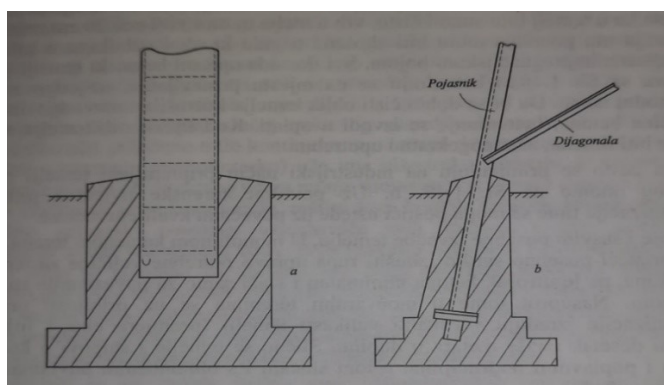
primjenu se treba uzeti u obzir koje su vrste naprezanja kojima su temelji opterećeni te koja su svojstva tla u koje se temelji ukopavaju. Bitno je voditi računa o podzemnim vodama koje mogu sjeći trasu dalekovoda jer njihova prisutnost dodatno otežava konstrukciju temelja.

Drveni stupovi i ostale lakše izvedbe se montiraju bez posebnih temelja. Kod ovih izvedbi, ukopani dio stupa daje potrebnu stabilnost. Kako bi se drvo zaštitilo od naglog propadanja, često se montiraju na betonske nogare ili temelje pri čemu su betonski dijelovi ukopani u tlo.



Slika 2.9. Temelji drvenog stupa: a) betonske nogare b) betonski temelj [1]

Kod betonskih i čeličnorešetkastih stupova najčešće se javljaju temelji od armiranog ili nearmiranog betona. Za ove tipove stupova javljaju se dvije izvedbe temelja, monolitni i raščlanjeni temelj. Monolitni temelji su građeni tako da stupovi, neovisno o broju nogu, imaju jedan temelj, dok kod raščlanjenih temelja za svaku nogu postoji jedan posebni temelj. Oblici od koji se tvore temelji mogu biti jednostavne pravokutne prizme ili krnje piramide, ali ovisno o tipu terena kojim trasa dalekovoda prolazi mogu biti i složene. [1]



Slika 2.10. Betonski temelji: a) armiranobetonski stup b) jedna noga čeličnog stupa [1]

2.1.6. Pribor

Glavna podjela pribora kao pomoćnog materijala u konstrukciji nadzemnih dalekovoda je na: spojni, ovjesni i zaštitni. Pribor često ima višestruku funkciju. Spojni pribor osigurava normalan tok električne energije, ovjesni materijal služi za mehaničko povezivanje aktivnih elemenata voda za stup i zaštitni pribor koji omogućuje nesmetan i siguran prijenos električne energije. Iako se funkcijske uloge mogu jasno razgraničiti, pribor poput spojnice i stezaljki ima višestruku ulogu. Ovisno o izvedbi koje mogu biti vijčane, zakovične, zarezne i kompresijske one se mogu koristiti za električnu, mehaničku ili kombiniranu funkciju.

Spojni pribor ima primarnu ulogu električnog povezivanja. NN bakreni vodiči, kojima su presjeci vodiča malih iznosa, uglavnom se povezuju vezivanjem bakrene žice. Kod VN dalekovoda uglavnom se koriste kompresijske stezaljke i spojnice koje se nakon montaže više ne mogu demontirati. Primjeri stezaljki i spojnice su:

- strujna stezaljka,
- zarezna spojnica,
- kompresijska otponska stezaljka,
- priključne kompresijske stezaljke,
- kompresijska spojnica,
- kompresijske stezaljke za popravak oštećenog alužel vodiča.

Zaštitna užad također koristi spojnice za ostvarivanje galvanske veze sa stupom.

Ovjesni pribor se koristi za mehaničko povezivanje kompletnih lanaca od izolatorskih članaka i ovjesnih elemenata. Izolatorski lanac se spaja ovjesnim priborom za stup, a s druge strane na nadzemni vodič. O dimenzioniranju i pravilnom izboru ovjesnog pribora se brine projektant nadzemnog voda, pritom poštujući određene kriterije: nazivni napon voda, dimenzioniranje izolacije u skladu s propisima, sile koje se s vodiča prenose na stup, povećani zahtjevi mehaničke sigurnosti u skladu s propisima, vrsti izolatorskih lanaca, dimenzije, materijal i izvedba vodiča. Najosjetljiviji dio izolatorskog lanca su otponska i nosna stezaljka u kojima dolazi do loma vodiča zbog izrazitog djelovanja savijanja i vibracija.

Zaštitni pribor ima funkciju zaštite nadzemnih električnih vodiča i izolatora od štetnih utjecaja pojave električnog luka, kao i zaštite od vibracija i pojave korone. U zaštitni ubrajaju se:

- rogovi - služe za otklanjanje električnog luka iz neposredne blizine izolatora,

- prstenovi – imaju istu funkciju kao i rogovi, međutim oblikuju i električno polje oko izolatora,
- prigušivači vibracija – mehanički štite, odnosno prigušuju vibracije koje uzrokuju zamor vodiča unutar stezaljki,
- odstojnici – osiguravaju međusobnu udaljenost faznih vodiča,
- utezi – opterećuju izolatorski lanac čime se smanjuje otklon uzrokovan bočnim djelovanjem vjetra. [1]

2.2. Kabelski vodovi

Kabeli su vodiči građeni od vodljivog materijala, primjerice bakra i aluminija te električke izolacije pri čemu su smješteni u vanjski omotač koji ih štiti od štetnih vanjskih utjecaja, atmosferskog ili mehaničkog karaktera. Detaljna podjela kabela vrši se prema različitim faktorima. Među važnijim su podjela prema visini napona, načinu polaganja i konstrukciji.

2.2.1. Konstrukcija elektroenergetskih kabela

Najjednostavnija podjela kabela je na savitljive i nesavitljive kabele. Ovisno o naponu koji se želi koristiti po određenoj dionici voda, biramo kabel s određenim brojem vodiča. Konstrukcije kabela prema naponskoj razini su:

- visoki napon – jednožilni, posebni slučajevi,
- srednji i visoki napon – trožilni,
- niski napon – četverožilni.

Materijali koji se koristi za izradu kabelskih vodiča su elektrolitni bakar i aluminij visoke čistoće. Kod malih presjeka vodiča koristi se okrugla, puna žica, dok postoji i mogućnost korištenja užeta koje se isprepliće od više pojedinačnih žica. Pri konstrukciji kabela nastoji se što bolje popuniti promjer aktivnog dijela vodiča, jer o njemu direktno ovisi koliki će biti promjer pasivnog dijela. Ovaj podatak služi da bi se direktno upozorilo na težinu i cijenu samog kabela. Kako bi se izbjeglo korištenje više materijala nego što je to potrebno, koriste se profilirane žice i sektorski vodiči. Bitno je za kabele čiji je aktivni dio građen od užeta da često ima izbočine na svojoj konstrukciji

koje deformiraju željeni oblik električnog polja oko kabela. Da bi se postigao željeni oblik električnog polja pri višim naponima, unutar izolacije kabela se postavlja plastika ili papir obloženi grafitom čime nastaje poluvodljivi sloj.

Izolacija je sloj, odnosno dio kabela koji služi za zaštitu aktivnog dijela kabela od štetnih vanjskih utjecaja. To su materijali koji su otporni na električke proboje. Zahtjevi na izolaciju kabela su mehaničke, električke i kemijske prirode. Materijali koji se koriste za izolaciju aktivnog dijela kabela su papir, elastomeri i plastomeri.

Papir kao materijal ima najdužu primjenu u izolaciji kablinskih vodiča. Papir koji se postavlja oko aktivnog dijela vodiča je traka, uglavnom debela oko 0,1 mm i široka 15-25 mm. Takva papirnata traka se posebno priprema za omatanje oko vodiča. Prvi korak pripreme se vrši tako da se u vakuumu izvlači sva vlaga iz papira, a zatim se papir impregnira uljem. Ovisno o tipu kabela, papirnata traka se omata oko vodiča u potrebnom broju slojeva. Od svih vrsta izolacija, papir ima najveću probojnu čvrstoću za udarni napon oko 120 kV/mm.

Sljedeća skupina izolacije su elastomeri. To su konstantno elastični materijali poput butila i etilen-propilena. Njihova električka svojstva znatno zaostaju za plastomerima. Plastomeri kao materijali za izolaciju imaju najpovoljnija mehanička i električka svojstva. To su materijali poput polietilena, skraćeno PE i polivinil-klorid, skraćeno PVC. Njihova udarna probojnost je niža od izolacije koja koristi uljno-impregnirani papir, ali ne zaostaje previše s 30 kV/mm za izmjenični napon i 100 kV/mm za udarni. Polietilen je lako zapaljiv, stoga se pomno izabire gdje će se kabel s takvom izolacijom postaviti. Primjerice izbjegava se njegovo postavljanje u tunelima i ostalim mjestima u kojima je svjež zrak teže dostupan. S druge strane, PVC teže postiže temperaturu zapaljenja, ali zato ispušta otrovne plinove kada gori. PVC se koristi kao kablenska izolacija za kabele niskonaponske i sredjenaponske razine, dok PE primjenu nalazi kod kabela za visoki napon, odnosno visokonaponske mreže. Važno je naglasiti da se navedene skupine materijala, elastomeri i plastomeri, također koriste zbog jednostavnije izvedbe kablinskih glava i nastavaka te lakoće korištenja.

Pored izolacije vodiča, točnije iznad nje, kod kabela za srednji napon i visoki napon, nalazi se i takozvani vodljivi zaslon. To je metalni plašt koji okružuje vodič ili vodiče unutar kabela, štiti ih električki te mu je potencijal jednak potencijalu zemlje.

Za kabele je karakteristično da njihov presjek bude oblika kružnice, međutim u praksi je potrebno osigurati takav oblik. Naime, poznato je da kod višezilnih kabela postoje šupljine između žila, a i njihov kolektivni presjek ne daje čisti presjek kružnice. Zbog toga se u šupljine između žila postavlja popun od izolacijskih materijala. Popun može biti papirnata, plastična ili gumena

izolacija. Od papirne izolacije to su upredeni papir ili juta, dok se plastična odnosi na PVC te gumena na ne vulkaniziranu gumu.

Nabrojani dijelovi kabela poput vodiča, izolacije i ostalog, smatraju se aktivnim dijelom kabela. Ostale zaštite i materijali koji se koriste za izradu kabela služe za zaštitu od štetnih vanjskih utjecaja i osiguravaju mehaničku stabilnost i čvrstoću.

Metalni plašt, primarno služi kao mjera rigorozne zaštite kablenskog vodiča od vlage, a sekundarno daje i mehaničku potporu kabele. On se dodaje iznad izolacije, uglavnom kod papirnih. Materijal za izradu metalnog plašta je uglavnom olovo zbog lake obradivosti, savitljivosti i visoke otpornosti na koroziju. Mane olova kao primarnog materijala za metalni plašt su sklonost starenju, velika masa i slaba mehanička čvrstoća. Olovo se često zamjenjuje aluminijem koji je znatno lakši i čvršći te ima bolja električka svojstva. Mana aluminija naspram olova je značajna osjetljivost na koroziju. Osim navedenih, za metalni plašt se još koriste čelik i bakar. Metalni plašt se, osim kod olova, izvodi tako da je metal valovito savijen uzdužno kako bi se osigurala potrebna savitljivost.

Važno je spomenuti kod energetskih kabela i zaštitni sloj, bandažu koja se postavlja kod nekih tipova kabela. Taj sloj se odnosi na potrebu da se kompenziraju unutarnji pritisci u kabele. Bandaža se realizira tako da se preklopljena metalna traka postavlja oko metalnog plašta. Za izradu bandaže koristi se čelik, ali često i slitinski bakar zbog feromagnetizma.

Armatura je dodatni zaštitni sloj koji se stavlja jednoslojno ili po potrebi i dvoslojno iznad bandaže. Koristi se kada možemo očekivati dodatna mehanička opterećenja kao kod podmorskih kabela. Izvedba armature je sačinjena od čeličnih žica pravokutnog, okruglog i spiralnog oblika omotanih oko kabela iznad bandaže. Kod jednožilnih kabela važno je armaturu napraviti od nemagnetskih materijala zbog sprječavanja pojava vrtložnih struja. Između plašta, bandaže i armature se postavljaju mekani nevodljivi materijali koji dodatno štite kabele od vlage i sprječavaju trenje metala navedenih slojeva.

Antikorozijski sloj je onaj sloj koji je oku vidljiv nakon završetka izgradnje kabela. Za zaštitu vanjskih metalnih slojeva u klasičnoj izvedbi koristi se juta natopljena katranom, asfaltom i bitumenom. U novija vremena kabele se uglavnom izoliraju plastomerima, točnije PE i PVC zaštitom.

Navedeni konstruktivni dijelovi kabela se odnose na savitljive kabele. Za razliku od savitljivih, nesavitljivi kabele ne sadrže puno zaštitnih materijala te se također razlikuju po načinu polaganja unutar kanala. Nesavitljivi kabele se postavljaju unutar čelične cijevi koja je ukopana u zemlju. Tako položen kabele sadrži samo aktivni dio kabela, a izolaciju predstavlja čelična cijev unutar koje

je uvučen. Čelična cijev unutar koje se kabel nalazi mora biti zaštićena od korozije, a unutar cijevi mora biti ulje ili plin poput sumporovog heksafluorida, SF₆. [1]

2.2.2. Kriteriji pri izboru i dimenzioniranju kabela

Pri izboru odgovarajućeg kabela za određenu konstrukciju potrebno je sagledati više čimbenika koji će dati najbolju opciju. Dva najbitnija kriterija su mehanički i električki. Često se u struci događa da postoji više mogućih izbora za isti projekt. U tom slučaju izbor se vrši prema ekonomskim kriterijima u koje se ubrajaju cijena kabela, troškovi polaganja, troškovi održavanja i gubitci.

U mehaničke kriterije ubrajaju se:

- opasnost od mehaničkih oštećenja,
- opasnost od korozije u korozivno-agresivnim sredinama poput mora,
- izloženost vibracijama (primjerice na mostovima),
- težnja prema što manjem broju spojnica kod dužih kabelskih trasa,
- savitljivost i otpornost na savijanje,
- mogućnost okomitog polaganja,
- mogućnost proširenja paralelnim kabelom.

U električke kriterije ubrajaju se samo dva najbitnija:

- nazivni napon i ostale naponske karakteristike poput maksimalnog pogonskog napona, izdržljivosti na kratkotrajni povećani izmjenični i istosmjerni napon, udarni napon,
- strujno opterećenje ovisno o materijalu i presjeku vodiča, konstrukciji i odvođenju topline.

Bitan je i kriterij zagrijavanja kablenskog vodiča. Ovaj kriterij izravno govori koji tip, odnosno presjek kabela je potrebno odabrati da bi se na dužim kablenskim mrežama pad napona održao u određenim granicama. Zato je potrebno poznavati djelatni otpor kabela.

U praksi se također provodi i tipizacija kabela. Odnosno, pri izgradnji kablenske mreže nastoji u svrhu lakšeg održavanja težiti što manjem broju različitih vrsta kabela unutar same mreže, a da se pri tome poštuju svi navedeni kriteriji. [1]

2.2.3. Kabeli za niske i srednje napone

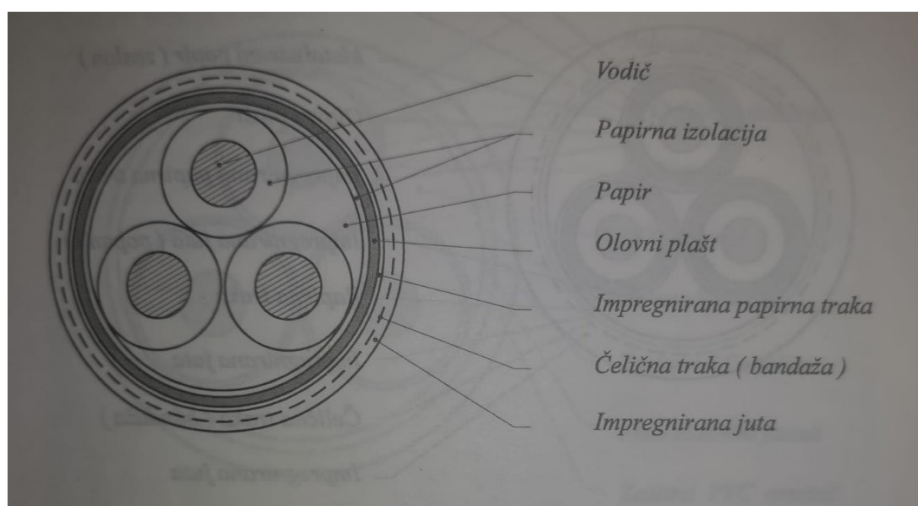
Kabeli za NN i SN mreže se razlikuju prema materijalu koji se koristi za izolaciju aktivnog dijela.

Izolirani vodiči su vodiči koji se koriste u zatvorenim prostorima, koriste se za instalacije i ne smiju se postavljati izravno u zemlju. Za izolaciju se koriste materijali poput gume i PVC-a, a može biti i kombinacija tih dvaju materijala. PVC je uglavnom istisnuo iz upotrebe gumenu izolaciju. Zbog nedostataka mehaničkih karakteristika PVC-a, došlo je do šire primjene materijala novije generacije poput teflona, silikonske gume ili polietilena.

Pri prijenosu većih snaga koristi se papirna (impregnirana) izolacija, umjetne tvari i guma. Takvi kabeli mogu koristiti i aluminijske plašteve kao povratne vodiče što im značajno smanjuje cijenu.

Nadzemne niskonaponske mreže u svojoj konstrukciji koriste samonosive kabele. Takvi kabeli koriste aluminij za fazne vodiče radi postizanja niže cijene te povratni vodič od aluminijskih slitina koji ujedno ima i funkciju nosivosti. Izolacija ovakvih vodiča je uglavnom polietilen ili sintetska izolacija.

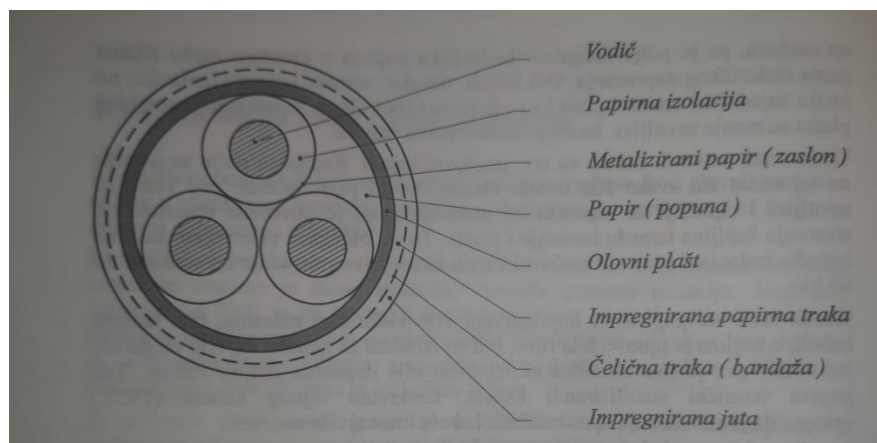
Maseni kabeli imaju razne izvedbe kojima je zajednička karakteristika izolacija od papira impregnirana s kablskom masom. Pojasni kabel je tip masenog kabela u kojem svaki vodič ima vlastitu izolaciju koja je potom okružena zajedničkom pojasnom izolacijom. Iznad pojasa nalazi se metalni plašt. Ovaj tip kabela se izrađuje za napone ne veće od 15 kV.



Slika 2.11. Pojasni kabel [1]

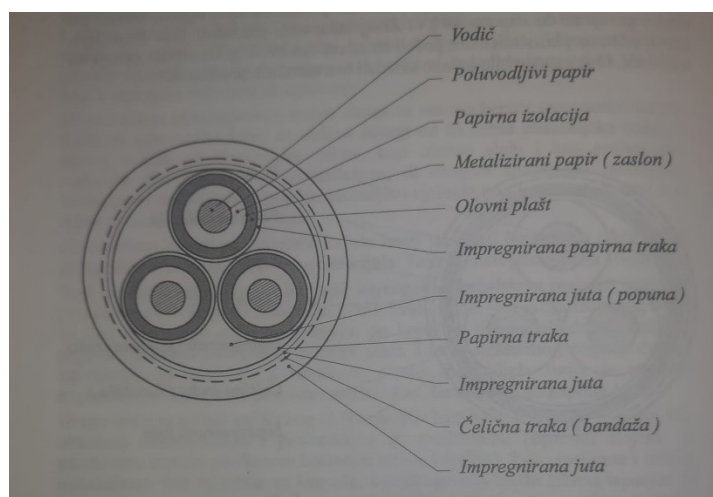
Druga vrsta masenih kabela su H-tip ili zaštićeni, u kojem je svaki vodič dodatno zaštićen. Takva dodatna zaštita se manifestira oblaganjem vodiča metaliziranim ili grafitnim papirnim slojem. U

vidu takve zaštite koristi se i pamučna traka protkana bakrenim žicama. Ovakvi kabeli imaju impregniranu popunu u šupljem prostoru između vodiča, imaju zajednički metalni plašt iznad metaliziranog sloja i pojasni kabel zbog kojeg su manje savitljivi. Ovakav tip kabela je predviđen za srednje napone.



Slika 2.12. H-kabel [1]

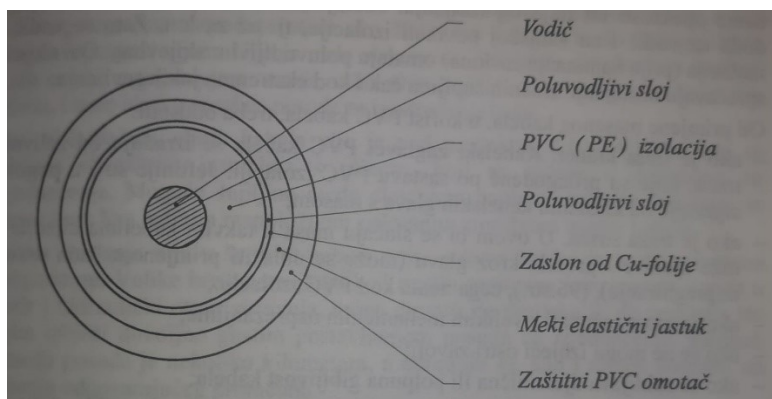
Troolovni kabeli također spadaju u masene kabele, međutim kod ovakvih kabela svaki vodič ima olovni plašt. Olovo zbog svojih mehaničkih svojstava omogućuje veću savitljivost u odnosu na H-tip kabela. Ovaj tip masenih kabela se izrađuje za srednje napone do 60 kV.



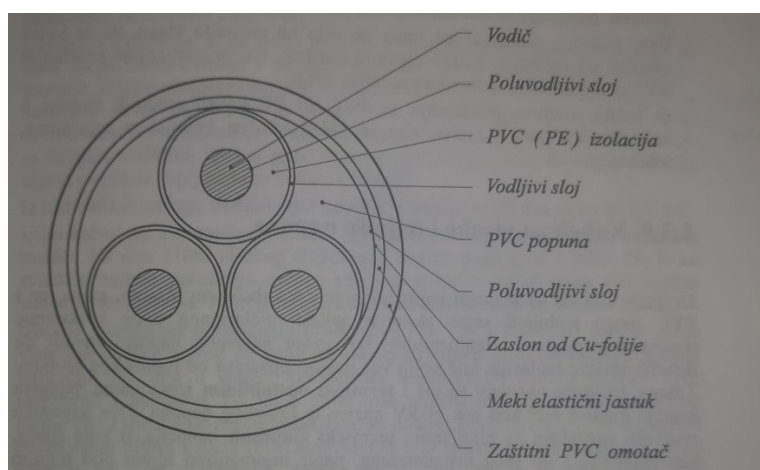
Slika 2.13. Troolovni kabel [1]

PVC kabeli se također koriste kao kabeli za niske i srednje napone gdje uglavnom istiskuju iz upotrebe masene kabele zbog svojih mehaničkih svojstava. Pri savijanju u njima ne nastaju zračne

šupljine, a imaju i značajno nižu masu od masenih kabela. Ukoliko se ovakav tip kabela postavlja pod morem dodatno se armira. Cjenovno PVC kabeli su skuplji od masenih, ali zato su jeftiniji od gumene izolacije. Postoji niz protokola i praktičnih rješenja u kojima značajnu prednost i primjenu ostvaruju PVC kabeli u odnosu na masene. PVC kabeli će se uvijek koristiti prije nego maseni u slučaju da je trasa na kojoj se polaže kabel kratka ili strma. Ukoliko je trasa zahtjevna i očekuje se velik broj oštih zavoja i velika mehanička opterećenja na kabel koristi se, isključivo, PVC kabel. U industrijskim postrojenjima također se koriste PVC ili PE kabeli zbog potreba da kabeli budu lagani, i prednosti termoplastične izolacije, gdje je ona sama po sebi otporna na vlagu, kemijske utjecaje, vibracije. Normalno područje rada PVC kabela je do 20 kV, međutim oni se izrađuju sve do 60 kV. [1]



Slika 2.14. Jednožilni PVC ili PE kabel [1]



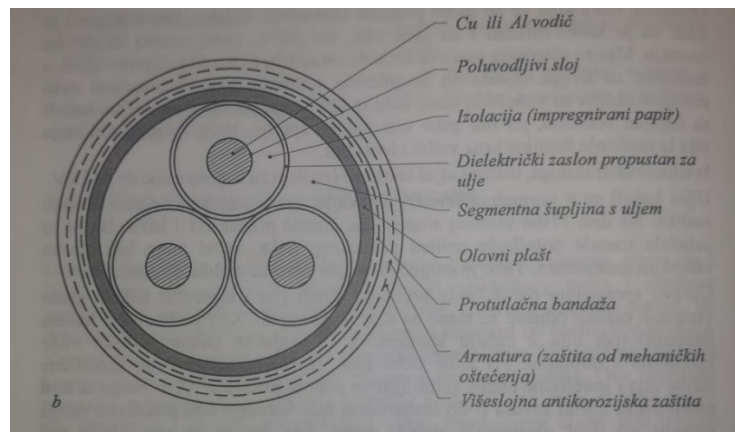
Slika 2.15. Trožilni PVC ili PE kabel [1]

2.2.4. Kabeli za visoke napone

Dosad navedeni materijali poput termoplastičnih masa, impregniranog papira i gume svojim kemijskim i električkim svojstvima uvjetuju korištenje na niskim i srednjim naponima. Podnose male jakosti električnog polja i imaju nisku maksimalnu pogonsku temperaturu. Da bi se navedeni nedostaci uklonili, kompenzira se debljim slojevima izolacije koji potom dovode do mogućeg termičkog proboja. Naziv za takve izolacije je termički nestabilne izolacije i one su idealne za napone do 60 kV. Kod kabela za visoke napone javljaju se prijeko potrebne termički stabilne izolacije. U kabele za visoke napone spadaju uljni, tlačni i plinski.

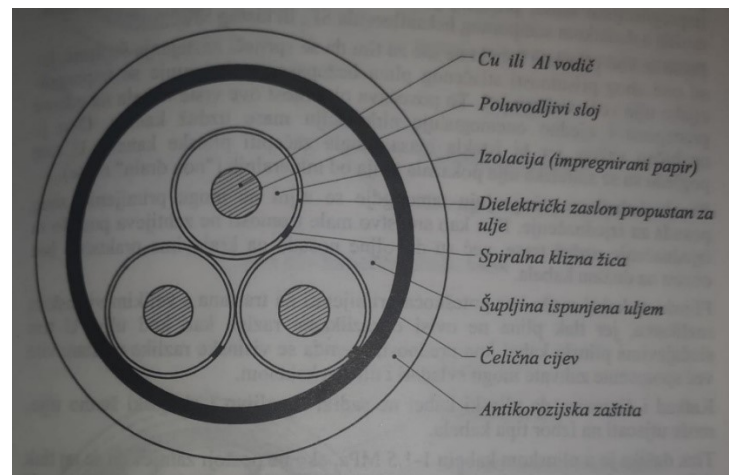
Uljni kabel je najstariji tip visokonaponskih kabela. Nastali su još 1927. god i od tada izvedba i konstrukcija im se nije previše mijenjala. Specifičnost uljnih kabela leži u načinu na koji se ulje dodaje u sam kabel. Ulje koje se dodaje kao izolacija, je niske viskoznosti i ispunjava kabel po cijeloj dužini. Kod jednožilnih kabela ulje se nalazi u samom središtu kabela dok je vodič omotan oko samog ulja. U slučaju višežilnih kabela ulje ispunjava međuprostor između žila i olovnog plašta. Razlikujemo niskotlačne i visokotlačne kabele. Kod oba tipa, unutar samog kabela, ulje se postavlja pod točno određenim tlakom kojeg nazivamo predtlak. Tijekom rada u pogonu temperatura ulja se mijenja što uzročno-posljedično dovodi do širenja volumena ulja i povećanja tlaka unutar kabela. Zato se unutar postrojenja i uz vod po trasi postavljaju posude za izjednačenje tlaka.

Niskotlačni uljni kabeli se izrađuju s predtlakom od 0.03- 0.6 MPa. Šupljine u izolaciji koje se u praksi pojavljuju ispunjavaju se uljem. Posude za izjednačenje tlaka se prema proračunu postavljaju dovoljno gusto da bi se izbjegle komplikacije zbog podtlaka ili predtlaka koji se javljaju zbog temperaturnih promjena unutar kabela. Posude za izjednačenje tlaka se postavljaju u pristupačnim kućicama ili u podzemne šahtove. Specifičnost uljnog kabela je mogućnost normalnog električkog rada uslijed gubitka ulja zbog oštećenja konstrukcije kabela. Uljni kabeli moraju obavezno biti ojačani bandažama. U uvjetima strmog polaganja kabela unutarnji predtlak raste iznad normalnih granica zbog čega je nužno ojačati kabel bandažom kako ne bi došlo do oštećenja izolacije. Jedan od načina na koji se sprječavaju komplikacije zbog visinskih razlika je podjela samog kabela na sektore uz pomoć zapornih spojki koje ne propuštaju ulje.



Slika 2.16. Niskotlačni trožilni uljni kabel s armaturom [1]

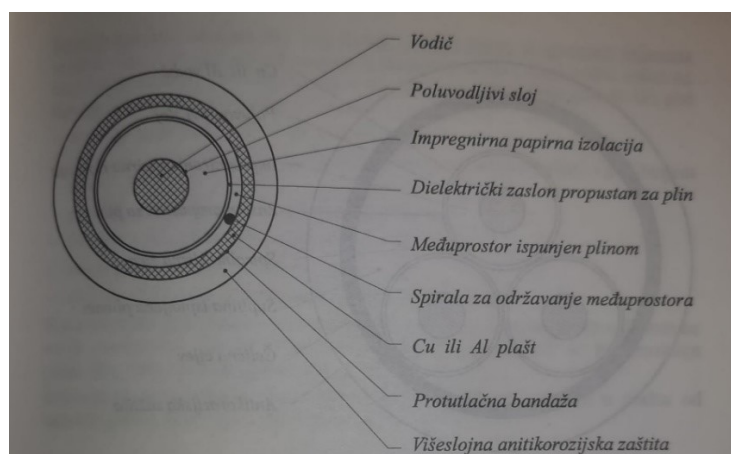
Visokotlačni uljni kabeli imaju gotovo istu konstrukcijsku izvedbu kao i niskotlačni, međutim njihova bandaža je građena za puno veće tlakove od oko 1 do 2,5 MPa. Često se visokotlačni uljni kabeli izvode i kao trožilni kabeli s čeličnom cijevi umjesto bandaže s tlakom do 1,5 MPa. Tlak kod visokotlačnih kabela se regulira kao i kod niskotlačnih kabela uz pomoć posuda za izjednačenje tlaka koje su značajno veće zapremnine ili automatski kontroliranih pumpi.



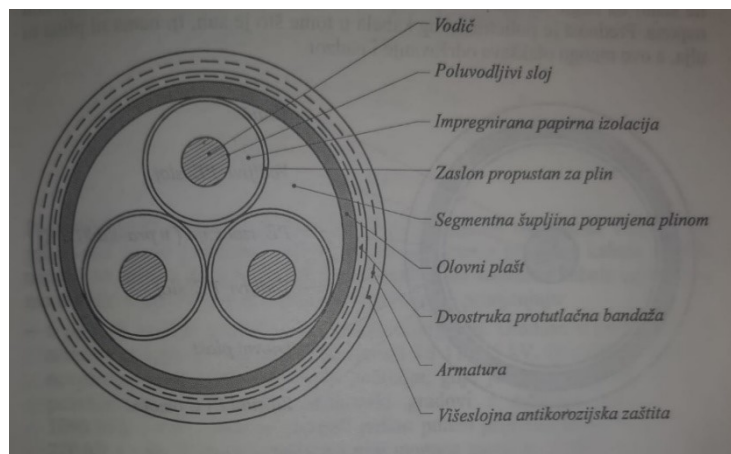
Slika 2.17. Cijevna izvedba visokotlačnog trožilnog uljnog kabela [1]

Tlačni kabeli su po konstrukciji zapravo maseni kabeli koji su radi upotrebe na visokim naponima ispunjeni masom koja djeluje kao i ulje kod uljnih kabela. Dok je kabel topao, masa izlazi iz kabela što ga čini termički stabilnim. Po hlađenju samog kabela, istisnuta masa se prisilno vraća u kablasku izolaciju. Tlačni kabeli se često izvode u obliku cijevnih kabela. Pri visokim naponima, što je uglavnom mana tlačnih odnosno masenih kabela, volumen izolacije značajno raste. Zbog navedene mane ovaj tip kabela se uglavnom ne koristi za izgradnju VN kablaskih mreža.

Plinski kabeli, kao što samo ime kaže, koriste kao izolacijsko sredstvo plin, u ovom slučaju SF₆ ili dušik. Osim plina za izolaciju se koristi i ulje visoke viskoznosti. Plin kao izolacijsko sredstvo se koristi jer zrak ima vrlo nisku električnu probojnost i ne sprječava tinjavo izbijanje. Plinovi poput dušika i SF₆ pri normalnom tlaku imaju veću električnu probojnost, a porastom tlaka proporcionalno raste i njihova probojna čvrstoća. Ulje visoke viskoznosti pomaže u izolaciji na način da štiti vodiče od udarnog prenapona i onemogućuje masi da cirkulira duž kabela. Tlak dušika u plinskim kabelima je oko 1 do 1,5MPa, a kod podmorskih kabela i viši. Regulacija tlaka plina je jednostavnija od regulacije tlaka nisko viskoznog ulja. Plin nije trom kao i ulje pa se posude za izjednačavanje tlaka postavljaju na krajevima kabelskih dionica neovisno o tome koliko su duge. U slučaju oštećenja ovog tipa kabela, plin (neovisno o vrsti), će puno brže otjecati nego ulje visoke viskoznosti, stoga je nužno osigurati rigoroznu zaštitu od mehaničkih oštećenja. Izvedbe plinskih kabela se dijele na savitljive i nesavitljive kabele te jednožilne i trožilne.



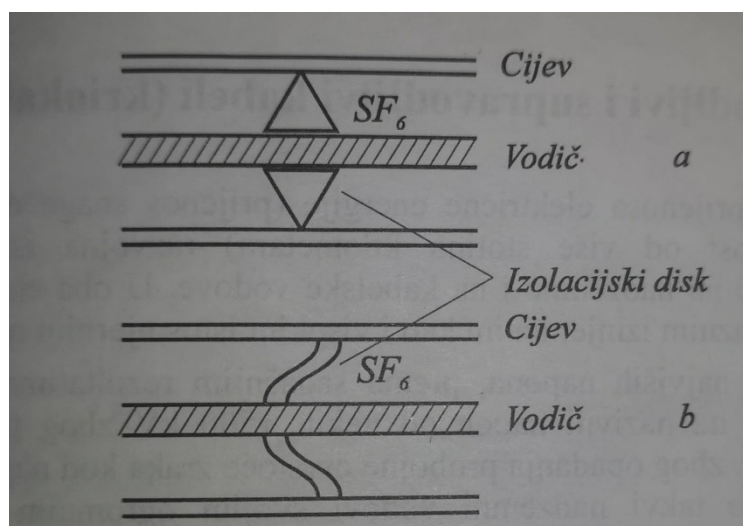
Slika 2.18. Jednožilni plinski kabel [1]



Slika 2.19. Trožilni plinski kabel s plaštom [1]

Savitljivi plinski kabeli koriste aluminijske plašteve koji po potrebi mogu biti ojačani jer ekonomski oni zamjenjuju skupe bandaže i ujedno daju potrebnu čvrstoću vodiču. Jednožilni kabeli mogu plinsku izolaciju imati u šupljini vodiča ili između plašta i zaslona. Kod trožilnih kabela plin se klasično stavlja u međuprostor između žila.

Kabeli čiju plinsku izolaciju čini plin SF₆ koriste se za prijenos velikih snaga. Oni su građeni na način da se goli vodič postavlja u čeličnu cijev. Između čelične cijevi i vodiča nalaze se izolacijski diskovi i SF₆ pod tlakom. Prednosti ovakvih kabela leže u mogućnosti svladavanja vrlo visokog napona povećanjem promjera cijevi i povišenjem tlaka, izbor promjera može biti vrlo velik, plin SF₆ je stabilan pri visokim temperaturama i dobro odvodi toplinu, mali pogonski kapacitet i zanemarivi dielektrični gubitci. Mana plina SF₆ je da pri visokim tlakom i niskim temperaturama može doći do kondenzacije. [1]



Slika 2.20. Shema izolacije SF₆ kabela [1]

2.2.5. Kriokabeli

Kriokabeli spadaju u vodiče novije generacije čija je uloga korištenjem fizikalnih i kemijskih svojstava nekih elemenata, da bi se uz niske gubitke prijenosa mogle prenositi velike snage. Korištenjem kabela punjenog s plinom SF₆ i ostalih klasičnih izvedbi koje su prisilno hladene omogućuju se prijenosi od oko 2000 MW. Zbog sve većih potreba za električnom energijom razvili su se vodiči koji prenose snage i veće od navedenih. Nazivaju se hipervodljivim i supravodljivim kabelima.

Hipervodljivi kabeli koriste fizikalna svojstva aluminijske visoke čistoće i tekućeg dušika kao rashladnog sredstva. U pogonu temperatura vodiča tokom električne energije nakon nekog vremena poraste što izravno djeluje na povećanje radnog otpora. Pojednostavljeno, smanjivanjem temperature proporcionalno se smanjuje djelatni otpor, a samim time i gubitak u prijenosu. Kod hipervodljivih kabela koristi se tekući dušik koji pogonsku temperaturu smanjuje sve do iznosa od 70K što je razlika oko 220°C od temperature okoline. Iako ovakav način hlađenja vodiča smanjuje gubitke pogona, potrebno je osigurati posebnu konstrukciju kablenskog vodiča koji je sposoban nositi se s ekstremnim uvjetima hlađenja. Za izolaciju kabela se koristi polietilen PE i tekući dušik koji prisilno cirkulira zbog čega je potrebna povratna cijev radi odvođenja topline. Cijeli kabel je postavljen u dodatnu cijev. U međuprostoru je vakuum zbog potreba za rigoroznom toplinskom izolacijom.

Supravodljivi kabeli koriste kemijska svojstva materijala, čijim iskorištavanjem se potom pri niskim temperaturama omogućuje potpuni gubitak djelatnog otpora. Osim gubitka djelatnog otpora potrebno je zadovoljiti i ostale električke zahtjeve poput gustoće struje i jakosti magnetskog polja. Materijali za vodiče su niobij koji čini glavni dio vodljivog sloja te bakar i aluminij koji se koriste kako bi stabilizirali glavni vodljivi sloj i preuzeli, po potrebi, struje opterećenja. Rashladna sredstva koja se koriste za ovakav tip kablenskih vodiča su helij, vakuum u međuprostoru i tekući dušik u jednom sloju. Još jedna specifičnost ovakvih kabela je mogućnost vođenja vrlo visokih pogonskih struja zbog čega se ne izrađuju za vrlo visoke napone već do maksimalnih 220 kV. Ovaj tip kabela, iako skup u izgradnji i ugradnji, dugoročno je isplativ ako se u obzir uzmu izbjegnuti gubitci pogona pri normalnom radu. [1]

2.2.6. Podmorski kabeli

Podmorski kabeli spadaju u skupinu posebnih kabela jer svojom konstrukcijom omogućavaju povezivanje otoka s kontinentalnim dijelom elektroenergetske mreže. Takvi kabeli pružaju sigurnu i kvalitetnu opskrbu električnom energijom svim stanovnicima otoka. Pri izgradnji podmorske kablenske mreže potrebno je naglasiti da je mrežu potrebno izgraditi u dogovoru s pomorskim vlastima i uz ekološki prihvatljive načine. Podmorski kabeli su u izvedbi specifični jer zahtijevaju posebno jaku armaturu i obavezan olovni plašt koji kao mjera rigorozne zaštite od vlage omogućuje neometan rad vodiča na morskome dnu. Prva podjela podmorskih kabela je vezana uz broj žica vodiča unutar kabela. Podmorski kabeli mogu biti jednožilni ili trožilni. U slučaju korištenja jednožilnih kabela, armatura kabela je od bronce koja poništava smetnje poput vrtložnih

struja i smanjuje gubitke prijenosa. Kod trožilnih kabela armatura se radi od pocinčanog čelika. Armatura kod podmorskih kabela ima dvije vrlo važne funkcije. Kada se kabel polaže, armatura služi na način da na sebe preuzima vlačne sile koje se javljaju zbog visinske razlike. Druga funkcija armature se aktivira nakon polaganja kabela na tlo pri čemu ona štiti kabel od mehaničkih oštećenja. Po potrebi armatura može biti i dvoslojna pri čemu su čelične žice namotane u suprotnom smjeru jedna od druge. Dvoslojna armatura se postavlja na mjestima gdje se predviđaju mogućnosti oštećenja zbog sidrenja ili ribolova kočama. Dodatna antikorozijska zaštita se gradi uglavnom od jute.

Prema naponskoj razini podmorske kabele dijelimo na srednjenaponske i visokonaponske kabele. Srednji naponi za koje se kabeli projektiraju su 10, 20 i 35 kV. Visoki naponi za koje se projektiraju kabeli su od 110 kV pa nadalje. Kod ovakve podjele podmorski kabeli se razlikuju u načinu na koji se izoliraju.

Izolacija srednjenaponskih kabela se gradi od impregniranog papira pa svojim izgledom ovakvi kabeli podsjećaju na masene kabele. Za ovakav tip kabela važno je da impregnirani papir bude izrađen tehnikom "non-drain", da pri polaganju ne dođe do strujanja unutar kabela. Osim impregniranog papira mogu se koristiti i materijali poput umreženog i neumreženog polietilena, EPR (etilen-propilen rubber) ili kaolina.

Visokonaponski podmorski kabeli su uglavnom u izvedbi uljni kabeli. Ispunjeni su nisko viskoznom uljem koje, ovisno o izvedbi, struji po središnjem kanalu šupljeg vodiča kod jednožilnih kabela ili po segmentima između žila u slučaju trožilne izvedbe. Uljni kabeli u ovom slučaju zahtijevaju protutlačnu bandažu.

U pogonskom stanju, ovisno o opterećenju, u kabelu varira temperatura koja uzrokuje hidrodinamičke pojave u ulju koje izolira vodič. Pri porastu temperature ulje ekspandira pa se višak ulja skladišti u uljne posude koje se nalaze na krajevima kabela. Osim navedenih uljnih posuda pod niskim tlakom, na krajeve kabela se postavljaju i uljne posude s povišenim tlakom koje po potrebi nadoknađuju normalne pogonske manjke ulja.

Podmorski kabeli mogu biti istosmjerni i izmjenični. Istosmjerni kabeli se mogu graditi na način da su im vanjski metalni slojevi od magnetskih materijala jer istosmjerni napon ne stvara vrtložne struje. Važno je naglasiti da se istosmjerni podmorski kabeli uvijek izrađuju u jednožilnoj izvedbi.[1]

3. DIJAGNOSTIKA NADZEMNIH VODOVA

U dijagnostici nadzemnih vodova, odnosno dalekovoda bitno je shvatiti da prijenosne i distribucijske mreže obuhvaćaju velike udaljenosti što uvelike definira način na koji se nepravilnosti, oštećenja i kvarovi opreme pronalaze i definiraju. Pri pregledu stanja opreme specifičnim uređajima se pregledavaju svi funkcionalni dijelovi dalekovoda, primjerice električni vodiči (cijevi i užad), zaštitna užad, izolatori i stanje stupova na kojima se vodiči nalaze. Zbog velikih udaljenosti koje pokrivaju dalekovodi (primjerice u Njemačkoj pokrivaju 1% ukupne površine čitave zemlje) [5], provodi se više dijagnostičkih postupaka istovremeno. Valja napomenuti, da se ujedno dalekovodi često nalaze na reljefno teže pristupačnim mjestima poput planina ili prolaze kroz šumska područja. Snimanjem iz zraka, helikopterom, znatno se ubrzava pregled i detektira nepravilnost opreme ili kvar. Preletom se vrši video pregled, korona pregled, termografski pregled i lasersko skeniranje. Za navedene preglede, dijagnostiku i skeniranja, koristi se precizna oprema poput digitalne kamere s visokom rezolucijom, video kamera te GPS prijemnik kojim se omogućuje lokalizacija oštećenja na dalekovodu.

Vrlo je bitno napomenuti da svi podaci koji su prikupljeni tijekom pregleda se spremaju i obrađuju čime se potiče sustavna analiza kvarova što u konačnici rezultira boljim predviđanjem budućih ispada i efikasnim sustavom održavanja dalekovodne trase. Navedenim predmetnim pregledima i ispitivanjima možemo ustanoviti u kakvom su stvarnom stanju trase dalekovoda, čime se stvara detaljan prikaz parametara koji odstupaju od izvorne projektne dokumentacije. Takav pristup olakšava zamjenu oštećene opreme poput vodiča, užeta i izolatora. Pri lokalizaciji kvara pomažu i otponska (zatezna) polja, zbog određene duljine i broja raspona od kojih se sastoje.

Osim navedenih pregleda i ispitivanja, u novije vrijeme se javljaju moderne tehnologije poput sustava za prikupljanje podataka o atmosferskim pražnjenjima čime se istovremeno olakšava i ubrzava pronalazak mjesta kvara. Također, koriste se i uvelike olakšavaju, podatci meteoroloških stanica koje omogućuju lokalizaciju kvarova vezanih uz meteorološke nepogode poput prekida zbog jakih vjetrova, stvaranja leda, galopiranja vodiča itd.

Od novijih tehnologija bitno je spomenuti i termovizijska snimanja (ispitivanja). Ona detektiraju kvarove i nepravilnosti mehaničke i električke prirode. Termovizijom utvrđujemo pojavu prevelikog zagrijavanja električne opreme kao i mehanička oštećenja izolacijskih vodiča, električnih vodiča koji mogu biti u dodiru s okolnim raslinjem i mehanički oštećene stupove. [2]

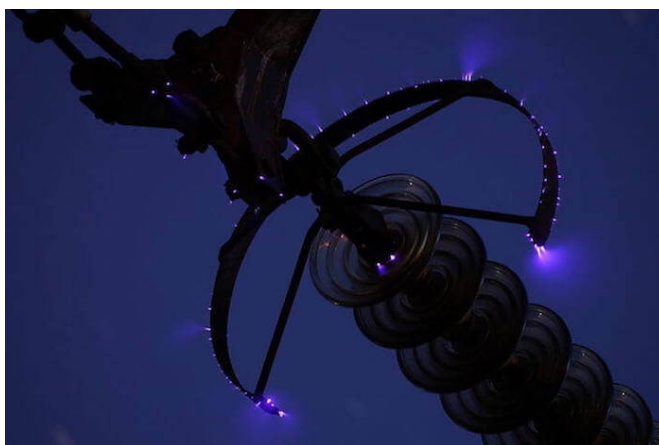
3.1. Video pregled

Video pregled nadzemnih vodova služi za detekciju oku vidljivih greški koje su se pojavile na nadzemnim vodovima. To su uglavnom oštećenja mehaničkog karaktera, a rjeđe su električkog. Video pregledom se uglavnom detektiraju oštećenja nadzemnih vodiča ili oštećenja izolatorske i spojne opreme te stupova u slučaju prekida, puknuća ili izgaranja određene komponente. Video pregled se vrši pregledom i snimanjem sa zemlje što se uzima kao sporiji način pregleda kojim se relativno pregleda maleni dio nadzemnog voda. Helikopterom se vrši pregled iz zraka, iako skuplji, ovim načinom se omogućuje pregled dugačkih i teže pristupačnih dionica voda.

Svaki video pregled se vrši uz pomoć kamera visokih rezolucija pri čemu se svaka snimka pregleda sprema u baze podataka koje pomažu u analizi kvarova, točnije omogućuju predviđanje budućih ispada pod utjecajem određenih anomalija. Video pregled se nikad ne vrši isključivo sam, već se po izlasku na teren vozilima ili helikopterom primjenjuju i druge dijagnostičke metode. [2]

3.2. Korona pregled

Kada govorimo o štetnim utjecajima protoka električne energije kroz vodič tada govorimo o pojavi korone. U trenutku kada jakost električnog polja u neposrednoj blizini vodiča prekorači električnu čvrstoću zraka, to rezultira pojavom električkog izbijanja i gubitka energije zbog povećanja odvoda. Takvu pojavu nazivamo korona. Pri pojavi korone vidljivo se javlja izbijanje (tinjavo) oko vodiča plavkaste (modre) boje, čuje se pucketanje i osjeti se miris plina ozona. Pri tlaku od 0.1Mpa i temperaturi iznosa 25°C korona se javlja pri jakosti električnog polja $E_Z = 30 \text{ Kv/cm}$.



Slika 3.1. Korona efekt

U slučaju dalekovoda, kritični napon je pogonski napon pri kojem je jakost električnog polja oko vodiča jednaka električnoj čvrstoći zraka. Jakost električnog polja vodiča se kontrolira na njegovoj površini gdje je ujedno jakost polja najveća. Da bi se pojednostavio izračun za kritični napon vodiča uzima se da je vodič beskonačno dug, cilindričan, glatke površine koji je ravnomjerno nabijen. Pri proračunu se ne uključuju ostali utjecaji na vodič. Gustoća električnog polja se računa po sljedećem izrazu:

$$D = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot E \quad (3.1)$$

pri čemu su ε_0 dielektrična konstanta vakuuma, ε_r relativna dielektričnost materijala i E jakost električnog polja. Za gustoću električnog polja vodiča dobijemo:

$$D = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3.2)$$

$$E = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r} \cdot 36 \cdot \pi \cdot 10^9 = 18 \cdot 10^9 \frac{Q}{r} = 18 \cdot 10^9 \frac{VC}{r} \quad (3.3)$$

gdje je:

Q naboj vodiča,

V pogonski napon vodiča,

C kapacitet vodiča.

U izraz zatim uvrštavamo linijski kritični napon te ga izjednačavamo s 30 kV/cm koji se odnosi na vršnu vrijednost faznog napona. Kritičnu jakost električnog polja potom je potrebno pretvoriti u efektivnu vrijednost dijeljenjem s $\sqrt{2}$, a potom u linijsku vrijednost množeći s $\sqrt{3}$.

$$\sqrt{3} \frac{30}{\sqrt{2}} = 18 \cdot 10^9 \frac{U_{KR} \cdot C}{r} \quad (3.4)$$

$$U_{KR} = \frac{\sqrt{3} \cdot 21,1 \cdot r}{18 \cdot 10^9 C} = \frac{36,5 \cdot r}{18 \cdot 10^9 C} [kV] \quad (3.5)$$

gdje je:

U_{KR} kritični napon vodiča.

U realnim okolnostima nikad ne možemo očekivati da je vodič idealan odnosno gladak, niti idealne uvjete temperature i tlaka, stoga izraz za kritični napon treba nadopuniti s faktorima ρ (relativna gustoća zraka) i $m \leq 1$ (faktor hrapavosti vodiča). Konačni izraz za formulu kritičnog napona glasi[3]:

$$U_{KR} = \frac{36,5 \cdot r}{18 \cdot 10^9} \rho m [kV] \quad (3.6)$$

3.2.1. Korona kamere

Pojavom korone javljaju se aktivnosti pražnjenja koje se manifestiraju zračenjem energije u obliku svjetlosti. To je uglavnom ultraljubičasto svjetlo koje je ljudskom oku nevidljivo. Mala količina energije vidljiva je noću i pojavljuje se kao "plavičasti plamen" na oštrim rubovima visokonaponske opreme. Ukoliko se pojavi pražnjenje uzrokovano koronom ono će se u potpunosti apsorbirati sunčevom energijom. Stoga, promatranje korone tijekom dana nije moguće golim okom. Korona kamere omogućuju dnevno opažanje korone. Razvijen je sustav promatranja i snimanja dnevne svjetlosti korone koji koristi tri jedinstvene tehnologije. Prvi sustav koristi UV optimizirani detektor s odgovarajućim filtrima, drugi sustav kontrolira otvor objektiva, a posljednji poboljšava dobivene slike.[4]

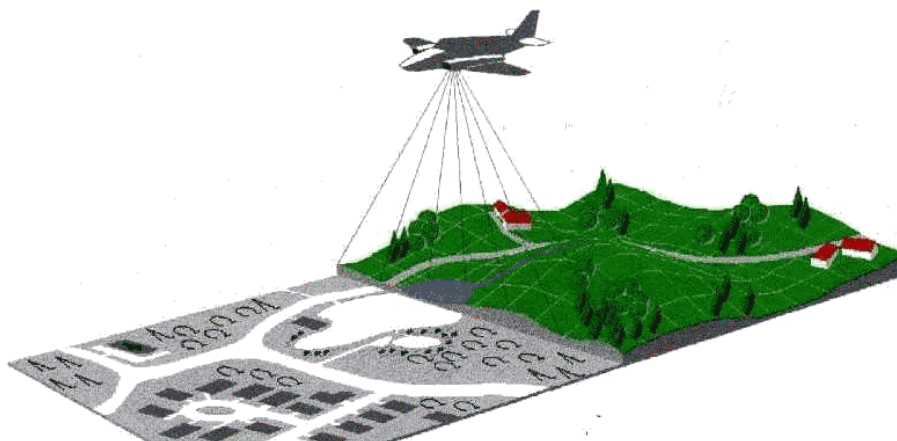
3.3. Laserski pregled

Laserski pregled se vrši uz pomoć LIDAR tehnologije. Rad ove tehnologije se temelji na laserskim zrakama visoke frekvencije koje padaju na površinu snimanog objekta koje se zatim reflektiraju natrag do leća uređaja kojim se snima. Položaj laserskih senzora u ovom slučaju se određuju uz pomoć GPS-a čime se određuje i točna geografska točka na kojoj se snimanja vrše.

Pri laserskom skeniranju potrebna su dva seta mjerenja kako bi se odredile točke snimanog objekta pri čemu pravac iz kojeg se snima mora biti poznat za svaku točku. Gustoća točaka je veća za objekte koji se nalaze bliže laserskom uređaju. Drugi set mjerenja se odnosi na mjerenje udaljenosti. Udaljenosti točaka mjerenog objekta mogu se mjeriti po faznom ili vremenskom principu. Kao što je već navedeno, rad tehnologije se temelji na reflektiranom valu kojem je potrebno neko vrijeme da se vrati natrag do mjernog uređaja kojeg se u slučaju vremenskog principa jako lako mjeri i može se koristiti za velike udaljenosti. Fazni princip se temelji na slanju visokofrekventnog vala nazivnog oblika do snimanog objekta gdje se nakon refleksije faza takvog vala pomiče za određeni iznos, na temelju kojeg se nakon obrade signala može dobiti točna udaljenost točke od laserskog uređaja. Za bolje rezultate snimanja potrebno je više preleta. Ovisno o snazi laserskih uređaja, radi sigurnosnih razloga, snimanja se vrše u "high-range" i "low-range" pristupu.

Laserska skeniranja se vrše iz zraka ili sa zemlje. Komponente takvih pristupa laserskom pregledu se razlikuju. Komponente koje se koriste pri zračnom snimanju su platforma, laserski skener i sistem potreban za pravilno pozicioniranje i orijentaciju. U slučaju laserskog skeniranja s površine

zemlje za provođenje pravilnog postupka laserskog skeniranja nužne su GPS stanice i mjerni uređaji s posebnom programskom podrškom za sinkronizaciju i registraciju podataka.



Slika 3.2. ALS-LIDAR lasersko skeniranje [11]

Programska podrška za LIDAR sustave čini najbitniji aspekt ovom pristupu dijagnostike jer uz pomoć programa poput MicroStation, TerraScan i PLS CADD, dobiva se 3D prikaz stanja dalekovodne mreže.

Prednost ove metode leži u ekonomičnosti i sigurnosti po ljude. Laserski skeneri se mogu postavljati i na bespilotne letjelice čime se omogućuje pristup terenima za koje su inače potrebne velike količine novca i ulaganja u sigurnost. Ovom metodom se saznaje točan položaj žica i stupova, okolne vegetacije i općenito daje pregled stanja cjelokupne dionice voda koju promatramo.[6]

3.4. Termografski pregled

Termografski pregled se provodi za ispitivanje stanja nadzemnih dalekovoda jer pruža jedan od najtočnijih i najbržih načina za pregled stanja. Temeljna tehnologija kojom se koristi termografija su infracrvene kamere. Ovom tehnologijom se brzo pronalaze vruće točke kojima se dobiva povratna informacija o stanju sustava, točnije koji element voda je potrebno zamijeniti ili popraviti. Ovime se zaključuje da u dijagnostici nadzemnih vodova termografska se ispitivanja provode u svrhu prevencije pojave katastrofalnih kvarova koji rezultiraju dugoročnim prekidima opskrbe kupaca električnom energijom.[2]

3.4.1. Infracrvene kamere

Infracrvene kamere su uređaji koji prikazuju temperaturu određenog objekta i njegovih komponenti u obliku termograma. Infracrvene kamere se sastoje od optičkih objektiv koji su propusni za infracrveno zračenje. Infracrveno zračenje koje se emitira iz objekta kojeg snimamo, nakon prolaska kroz objektiv se fokusira na senzor koji je osjetljiv na takvu vrstu zračenja. Uz pomoć određene odgovarajuće elektronike formira se termogram promatranog objekta koji se sprema u memoriju radi daljnje obrade izmjerenih podataka. Tako dobiveni termogram se manifestira na zaslonu infracrvenih kamera u obliku dvodimenzionalne slike koja sadrži prikaz snimanog objekta u različitim bojama. Svaka boja odgovara nekoj različitoj temperaturi, primjerice crvena i bijela boja se često koriste za prikaz visokih temperatura, dok se plava, zelena i crna koriste za područja objekata koji su hladni.

Primjer vrhunskih infracrvenih kamera koje daju visoko-kvalitetne termograme, a idealne su za korištenje pri pregledu nadzemnih vodova su infracrvene kamere FLIR serije T600. Ovakve kamere su poznate po izvrsnoj kvaliteti slike (640x480 piksela razlučivosti), fleksibilnosti, odličnim komunikacijskim sposobnostima i mogućnosti ugradnje na pokretna vozila.[8]



Slika 3.3. Infracrvena kamera FLIR

3.4.2. Metode termografskih pregleda nadzemnih vodova

Metode termografskih pregleda nadzemnih vodova definiraju se prema načinu na koji se fizički pristupa samom vodu. Osim navedenog u obzir se treba uzeti duljina voda kojeg se pregledava, područje u kojem se pregled vrši (ruralno i urbano) i reljefne prepreke.

Termografski pregled nadzemnih vodova s tla vrši se kada je površina ispitivanog objekta jasno vidljiva s tla. Za ovakvu metodu osoblje, koje provodi ispitivanja, mora biti visoko kvalificirano jer ovakav način ispitivanja uvelike ovisi o okolini i prostoru u kojem se nalazi objekt nad kojim se vrši pregled. Ova metoda se isključivo provodi u urbanim i lakše pristupačnim ruralnim područjima te daje pouzdana i sigurna rješenja. Svi prikupljeni podaci nakon mjerenja se obrađuju u računalnim stanicama gdje se na osnovu istih provode daljnji postupci održavanja.

Termografski pregled nadzemnih vodova pomoću helikoptera se provodi za snimanja konstrukcija dalekovoda koje se nalaze na velikoj udaljenosti ili za potrebe snimanja konstrukcije voda gdje se helikopter nalazi vertikalno iznad same konstrukcije. Ova metoda je izrazito skupa pa se od visoko kvalificiranog osoblja očekuju uspješna i točna mjerenja nakon prvog preleta. Od odgovarajuće opreme koja se koristi, osim infracrvenih kamera potrebno je tijekom preleta koristiti GPS koji je povezan sa sustavom VED (video enkoder-dekoder). GPS služi za preciznu navigaciju pri čemu VED koristi podatke GPS-a poput nadmorske visine, geografske širine i dužine, visine, datuma i brzine da kontinuirano pohranjuje podatke koje prikazuje putem video signala. Prikupljeni podaci se također obrađuju u sličnim radnim stanicama kao i kod metode pregleda s tla. Prednost ovog pristupa leži u brzom i točnom otkrivanju i lokalizaciji kvara na VN mrežama. Međutim, teško je i gotovo nemoguće na termogramu dobiti točan iznos temperature za promatrani objekt.

Termografski pregled nadzemnih vodova pomoću bespilotnih letjelica se koristi za širok raspon aktivnosti koje su vezane za praćenje stanja i održavanja nadzemnih vodova. Ova metoda se uvodi zbog smanjenih troškova u odnosu na prelet helikopterom uz bolju točnost i veću brzinu ispitivanja u odnosu na metodu s tla. U ovom slučaju bespilotna letjelica mora biti opremljena s infracrvenom kamerom i video kamerom. Bespilotna letjelica mora biti upravljiva ručno, leti pomoću GPS-a prema fiksnom mjestu i uz pomoć GPS navigacije. Evidencija prikupljenih podataka se vrši u stvarnom vremenu. Podatci se prikupljaju u kontrolnoj stanici GCS (eng. "Ground Control Station"). GCS je grafičko sučelje kojim se upravlja bespilotnom letjelicom. Prednosti ove metode su učinkovitost, ekonomičnost u odnosu na prelet helikoptera, sigurnost i lakše manevriranje bespilotne letjelice. Mane ove metode su ograničenost bespilotne letjelice prema iznosu nosivosti.[8]

3.5. Otponsko polje

Dijagnostika nadzemnih vodova uobičajeno koristi visoko specijalizirane uređaje koji precizno i točno određuju pojedine parametre koje mjere na promatranom objektu. Međutim dijagnostika može biti i praktična.

Otponsko (zatezno) polje je dio dalekovoda koji se nalazi između dva rasteretna stupa. U uvjetima kada nema reljefnih prepreka nastoji se imati što duže otponsko polje zbog ekonomičnosti jer su rasteretni stupovi, točnije njihova izvedba, skuplja od nosnih stupova. Obično se nastoji da otponska polja budu duža od tri, ali ne više od osam kilometara. Međutim, u praksi je bolje imati kraća otponska polja. Konstrukcija rasteretnih stupova je predviđena da izdrži jednostrani prekid svih vodiča, pa u slučaju težih mehaničkih oštećenja poput rušenja nosnih stupova šteta se neće prenijeti na sljedeće otponsko polje. Na taj način mogu se lokalizirati kvarovi mehaničke prirode.

4. DIJAGNOSTIKA KABELSKIH VODOVA

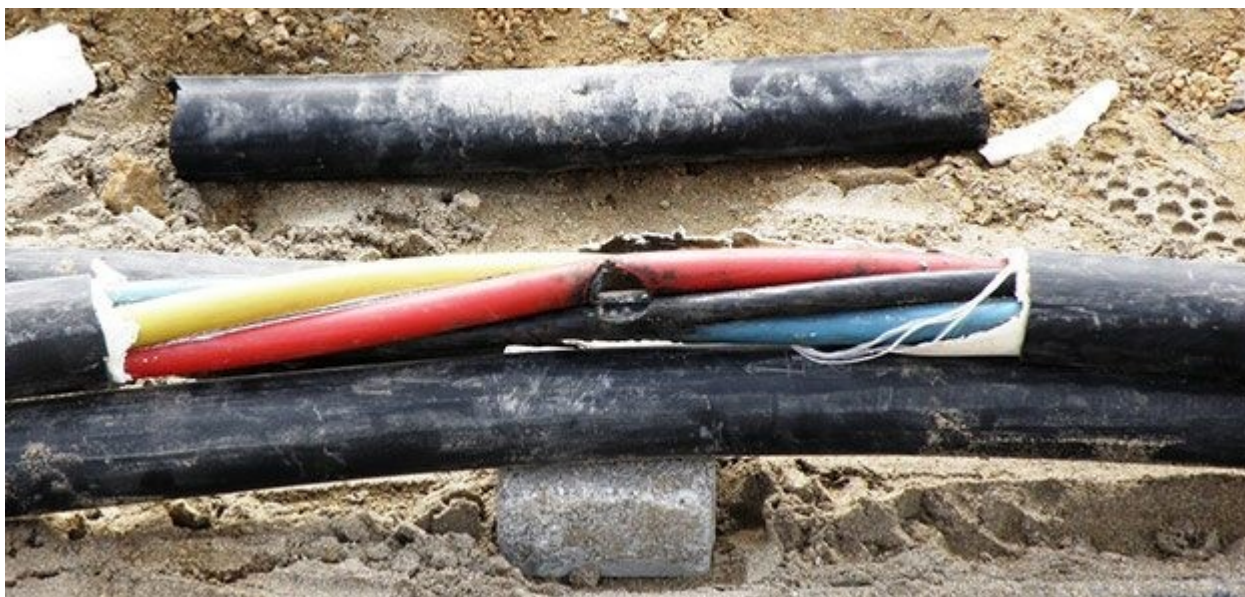
Dijagnostika kvarova električne kableske mreže je značajno zahtjevnija od dijagnostike nadzemnih vodova. Prednosti kableske mreže leže isključivo u mogućnosti postavljanja kableskog vodiča pod zemlju, što onemogućuje direktan vizualni i fizički pristup kableskoj mreži. Za dijagnostiku elektroenergetskih kableskih mreža potrebno je znanje o posebnim mjernim metodama kao i znanje potrebno za pravilnu upotrebu dijagnostičkih mjernih uređaja. Uz pomoć dobro odabranih metoda i korištenjem potrebitih mjernih uređaja, današnja dijagnostika nastoji uz što manje troškove precizno odrediti mjesto kvara na kableskoj dionici.

Kvarovi koji se javljaju na samim elektroenergetskim kabelima su uglavnom vezani uz proboje izolacije. Pri ispitivanju novopoloženih kabela koristi se ispitivanje istosmjernim naponom čime se provjeravaju moguće greške nastale prilikom izrade spojnica na završecima kabela ili se otkrivaju proboji u izolaciji koji su mogli nastati zbog mehaničkih oštećenja koja se najčešće javljaju prilikom polaganja kabela u zemlju.

Kod takozvanih starih kabela dijagnostika je podređena uglavnom mehaničkim probojima zbog koje vlaga prodire od vanjskih prema unutarnjim, osnovnim dijelovima izolacije. Erozijom vanjskih slojeva izolacije, točnije plašta, voda prodire kroz bandažu, armaturu i ostale zaštitne slojeve kabela na način da stvara vodene grane koje se šire radijalno dužinom kabela. Takve vodene grane, debljine nekoliko mikrometara, nastaju zbog nekoliko čimbenika poput električnog polja, količine vode u šupljinama, ulaznoj točki na kabeu i vremenu. Voda kao električki vodljiv fluid uzrokuje značajna i pogubna oštećenja kableske izolacije jer pod utjecajem električnog polja kableskog vodiča stvara efekt gromobrana. Pod utjecajem efekta gromobrana električno polje na krajevima vodenih grana je iznosom značajno veće od pogonskog, što uzrokuje daljnje širenje vodenih grana, a u konačnici i električki proboj izolacije elektroenergetskog kabela. Proboj se rijetko javlja u normalnom pogonu, ali pri pojavi atmosferskih prenapona ili zemljospoja se javlja gotovo uvijek.

Pouzdanost kabela značajno opada što je veći broj vodenih grana unutar njegove izolacije. Dijagnostika elektroenergetskih kabela upravo koristi vodene grane i proboje izolacije da bi se detektirali kvarovi i kvarovi u nastanku. Ispitivanje istosmjernim naponom se ne koristi u svrhu stvaranja električnog proboja zbog stvaranja opasnih prostornih naboja. Električki proboj se kod visokih istosmjernih napona ne ostvaruje osim kod teških mehaničkih oštećenja kabela i ako vodene grane ostvare proboj izolacije do samog vodiča. Da bi se točno odredila mjesta u kabeu na kojima su se pojavile vodene grane bez cjelokupnog proboja kableske izolacije, koriste se

mjerne metode poput metode mjerenja obnovljenog napona, mjerenje faktora dielektričnih gubitaka, niskofrekvencijska izbijanja, detekcija parcijalnih izbijanja. [2]



Slika 4.1. Proboj električne izolacije vodiča

4.1. Faktor dielektričnih gubitaka

Metoda mjerenja faktora dielektričnih gubitaka koristi se kada se kabel promatra poput savršenog kondenzatora. Može se reći da ova metoda nije standardna metoda ispitivanja elektroenergetskih kabela i provodi se u specifičnim slučajevima. Ovu metodu se koristi isključivo u slučaju kabela koji su izolirani uljno-impregniranim papirom jer ovom metodom su gubici uzrokovani vlagom jasno vidljivi. Važno je naglasiti da se ova metoda također koristi u slučaju starih kabela s kompromitiranom zaštitom. Razlog tome je što se ova metoda koristi kao zamjena za metodu ispitivanja udarnim naponom koji dodatno stvara naprezanja na izolaciju kabela.

Mane ove metode leže u tome što vrijednosti izmjerene ovim tipom ispitivanja daju srednje vrijednosti. Iznos kapaciteta, otpor izolacije i faktor dielektričnih gubitaka $\tan\delta$ uvelike ovise o temperaturi koja se mijenja cijelom dužinom kabela, stoga je potrebno mjerenja vršiti pri srednjoj vrijednosti temperature kabela. Za dobivanje točnih podataka o stanju kabela potrebna je vršiti više mjerenja na temelju kojih možemo procijeniti preostali životni vijek kabela. Ispitivanja ovom metodom potrebno je vršiti i u dužem vremenskom periodu pri čemu se dobiva trend faktora dielektričnih gubitaka. Osim temperature koja mijenja rezultate ispitivanja, na

neispravan rezultat može utjecati i pojava korone na kabelskim spojnica. Da bi se ispitivanja ovom metodom olakšala, postoje i mjerni uređaji različitih proizvođača.

Metoda mjerenja faktora dielektričnih gubitaka može se provoditi istosmjernim ili izmjeničnim naponom pri čemu se dobivaju srednje vrijednosti izolacijskog otpora, faktor dielektričnih gubitaka i kapacitet.[7]

4.2. Metoda obnovljenog napona

Metoda obnovljenog napona koristi se za dobivanje apsolutnih vrijednosti stanja izolacije na temelju jednog mjerenja. Ova metoda se koristi za impregnirane papirne izolacije i neumrežene polietilenske ili umrežene polietilenske izolacije.

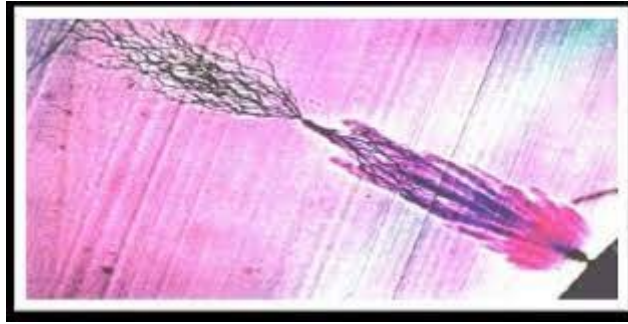
Kada se govori o metodi obnovljenog napona ustanovljeno je da kod elektroenergetskih kabela maksimalni povratni napon ovisi o razini napona kojom je kabel prethodno nabijan, sadržaju i količini nečistoća u izolaciji kabela poput vodenih grana. U slučaju novopoloženih kabela omjer povratnog napona kod istog kabela za dvije naponske razine, primjerice 2,5 i 10kV, bit će jednak 2, točnije kod kabela nabijenim naponom 2,5kV povratni napon iznosi 5V, a u slučaju nabijanja naponom od 10kV povratni napon iznosi 10V. Kod polietilenskih kabela, ovaj slučaj vrijedi kod novih kabela dok kod starih izolacija omjer povratnog napona značajno raste. Ovim omjerom dobiva se apsolutna mjera o stanju izolacije koja opisuje nekakvo srednje stanje izolacije mnogo manje osjetljivo na temperaturu.

Metoda obnovljenog napona se vrši prema točno određena tri koraka. U prvom koraku potrebno je nabiti kabel istosmjernim naponom u vrijednostima od polovice nazivnog faznog napona vodiča do dvostruko većeg faznog napona od nazivne vrijednosti. Nakon nabijanja kabela istosmjernim naponom potrebno je u potpunosti isprazniti cjelokupni kapacitet kabela, pri čemu se stanje povratnog napona prati uz pomoć priključenih voltmetara. Proces povratne depolarizacije se javlja zbog prisutnih nečistoća, točnije vodenih grana čije su molekule pod utjecajem nabijanja istosmjernim naponom postale polarizirane. Nakon što se kabel prestane nabijati povratnim naponom, depolarizacijom molekula vodenih grana inducira se povratni napon u vodljivim dijelovima električnih vodiča. Prema količini vodenih grana unutar izolacije određuje se vremenska konstanta brzine pražnjenja vodiča $T = R_p/C_p$. Na osnovu omjera $U_{\max}(2*U_0)/U_{\max}(U_0)$ određuje se dijagnostički faktor koji govori o stanju izolacije.

Ova metoda, kao i metoda dielektričkih gubitaka ne pomažu u lokalizaciji kvara. Ova metoda daje pouzdanije podatke uz manji broj ispitivanja. Spojna oprema kablskih vodiča ne utječe na rezultate mjerenja, već se ukoliko postoje nekakve smetnje, one mogu detektirati uz pomoć dijagrama povratnih napona u obliku nestandardnih vrijednosti.[2]

4.3. Metoda parcijalnih izbijanja

Parcijalna izbijanja su električka pražnjenja koja se javljaju u krutim, tekućim i plinovitim izolacijama. Parcijalna izbijanja se javljaju zbog nehomogenosti materijala, točnije u slučaju elektroenergetskih kabela zbog pojave vodenih grana unutar kablanske izolacije. Princip metode parcijalnih izbijanja se temelji na vremenskoj razlici dvaju valova koji su formirani probojima na izolaciji kabela i na temelju očitanih vrijednosti se može odrediti točna lokacija na kojoj je pražnjenje nastalo. Ispitivanje parcijalnih proboja se vrši naponom nazivne vrijednosti ili blizu nazivne vrijednosti. Time se namjerno izaziva proboj na slabim točkama izolacije. Nakon nabijanja kabela s visokim istosmjernim naponom, kabel se prazni preko serijski spojene prigušnice, pri čemu dolazi do rezonancije frekvencije prigušnice i kapaciteta kabela. Frekvencija koja potom nastaje, ovisno o vrsti i konstrukciji kabela, može biti u iznosu od 50 do 1000Hz i može trajati u periodu od nekoliko stotina milisekundi. U tom periodu u kojem traje rezonancija dolazi do pojačanja električnog polja na slabim mjestima u izolaciji i konačno do izbijanja. Dio vala koji nastaje kao posljedica proboja putuje u smjeru mjerne opreme, a drugi dio putuje prema slobodnom kraju kabela. Dio vala koji putuje prema slobodnom kraju kabela kasni za prvim jer mora prijeći put od mjesta nastanka do slobodnog kraja i natrag. Zbog dužeg vremena putovanja drugi val gubi vlastitu energiju te su mu impulsi širi i niži od vala koji putuje direktno u mjernu opremu. Određivanjem vremenske razlike na temelju vremena putovanja dvaju valova, može se uz više uzastopnih mjerenja odrediti točna lokacija kvarova uz određenu točnost (ovisno o mjernoj opremi i njezinim karakteristikama, mjesto kvara se otkriva s pogreškom i do 2 metra od stvarne udaljenosti). Mjerna oprema i oprema za obradu podataka koja se koristi za detekciju parcijalnih izbijanja je reflektometri, impulсни generator, digitalni osciloskop, spektralni analizatori, senzori parcijalnih pražnjenja, kapacitivne spojnice, antene, razni induktivni pribor itd. Uz metodu obnovljenog napona ova metoda može dati točnu sliku stanja izolacije kabela i lokalizirati kvar.[9]



Slika 4.2. Parcijalno izbijanje [7]

4.4. Niskofrekvencijska izbijanja

Niskofrekvencijska ispitivanja, kao što i samo ime kaže, koriste niske frekvencije napona izmjeničnog karaktera u rasponu od 0.01 do 1Hz . Korištenjem niskofrekvencijskih napona iznosa $3 \cdot U_n$ u periodu od jednog sata moguće je otkriti opasne i velike kvarove. Ispitivanja se vrše uglavnom pri frekvenciji od 0,1Hz jer niže frekvencije mogu prouzročiti kvarove na kabelima.

Prednosti ove metode leže u tome što ne uzrokuju nastanak štetnih prostornih naboja, zbog učestale promjene polariteta u periodu od 5 sekundi. Pri svakoj promjeni polariteta događaju se erozijski procesi na kabelskoj izolaciji. Međutim, ova metoda ne utječe na stvaranje plinskog tlaka unutar kabela pa je pogodna jer ne razara kabel. Kanali koji nastaju korištenjem ove metode rastu radijalno te se brže postiže električki proboj.[2]

VLF metode dijagnostike kabelskih mreža koriste se za ispitivanje i mjerenje:

- faktora gubitaka $tg\delta$,
- diferencijalnog faktora gubitaka,
- dielektrične spektroskopije,
- harmonika struje gubitaka,
- puzajuće struje,
- detekcija parcijalnih izbijanja.

5. TERMOVIZIJA

Primjenom novih tehnologija u svrhu dijagnostike javljaju se termovizijska ispitivanja. Termovizija se razvila iz vojne tehnologije čiji je razvoj započeo krajem 50-ih godina 20. stoljeća. Termovizijska ispitivanja svoj rad temelje na principu beskontaktnog mjerenja temperature na površini promatranog tijela. Svako tijelo čija je temperatura veća od temperature apsolutne nule ili 0K emitira toplinu u okolinu u obliku toplinskog zračenja koje je vidljivo u infracrvenom spektru valnog područja većeg od 0,7 mikrometara. Povećanjem temperature tijela raste i toplinsko zračenje koje se u termovizijskim kamerama pretvara u oblik električnog signala koji se potom računalno obrađuje da bi se dobio točan podatak o izmjerenoj temperaturi promatranog objekta. Na monitoru termovizijskog računala formira se slika objekta u infracrvenom spektru s podacima o temperaturi pojedinih dijelova promatranog objekta. Takvu sliku nazivamo termogram. Termovizijska ispitivanja mogu biti aktivna i pasivna. Aktivna ispitivanja se vrše kod elemenata postrojenja kojima se temperatura ne razlikuje od temperature okoline te ih je potrebno zgrijati, dok se pasivna ispitivanja provode za elemente postrojenja koji imaju različitu temperaturu od temperature okoline. [2]

5.1. Postupci pravilnog termovizijskog ispitivanja

Pri termovizijskom ispitivanju vrlo je bitno paziti na uvjete u kojima se ispitivanje vrši. Cilj ovog ispitivanja je utvrditi temperaturu tijela, točnije temperaturu površine koja je vidljiva iz smjera u kojem je postavljena termovizijska kamera. Da bi se točno odredila temperatura promatrane površine, potrebno je osigurati minimalno opterećenje pri 40% nazivne struje postrojenja. Ostale čimbenike koje je potrebno napomenuti su vanjski čimbenici. U vanjske čimbenike se ubrajaju primjerice vjetar koji može hladiti potencijalna mjesta kvara, vlaga zraka i moguće zagađenje u obliku u kojem se apsorbira dio infracrvenog zračenja. Ukoliko je sunčano vrijeme ova metoda temperaturnog ispitivanja se ne preporučuje jer se vrlo često dolazi do greški pod utjecajem odbljeska. Termovizijsko ispitivanje se vrši nekoliko puta pod različitim kutevima snimanja jer odsjaj zagrijanih elemenata može navesti na krivo mjesto kvara.

Metoda koja je princip rada termovizijskog ispitivanja se zove metoda uspoređivanja. Ova metoda kaže da je promatrane elemente potrebno usporediti s elementima drugih faza pri čemu im je opterećenje jednoliko. Također, potrebno je odrediti za svaki promatrani element referentnu temperaturu koja kaže kolika je normalna temperatura te grupe elemenata u normalnom pogonu.

Ukoliko neki od elemenata u određenoj fazi odstupa od normalne referentne temperature to ukazuje na njegovu neispravnost. Prekoračenja temperature se računaju kao razlika temperature mjesta povišenja i referentne temperature. [10]

Prednosti termovizijskog ispitivanja leže u:

- mogućnosti obavljanja ispitivanja tijekom rada u normalnom pogonu,
- neispravnost opreme se detektira u fazi prije nastanka velikih kvarova,
- izbjegavaju se učestala i nepotrebna servisiranja,
- smanjuje se ukupno vrijeme remonta,
- povećava se ekonomičnost cjelokupnog postrojenja i poboljšava se održavanje sustava,
- direktno se utječe na pouzdanost pogona, smanjuje se broj ispada pogona.

Pri ispitivanju potrebno je bilježiti trenutno opterećenje ispitivanog objekta, ali ako postoji temperaturno prekoračenje potrebno je odrediti stupanj hitnosti intervencije uz pomoć temperaturnog prekoračenja pri nazivnom opterećenju po izrazu:

$$\Delta T_{100} = \left(\frac{I_{100}}{I}\right)^2 \Delta T \quad (5.1)$$

gdje je ΔT_{100} jednak temperaturnom prekoračenju pri nazivnom opterećenju, ΔT temperatura prekoračenja trenutnog opterećenja, a I struja trenutnog opterećenja.

$$\Delta T_{100} = 4\Delta T \quad (5.2)$$

Na temelju ovih izraza dobivaju se indikativne vrijednosti.

Tablica 5.1. Stanja pogona uvjetovana temperaturnim prekoračenjima

Temperatura prekoračenja	Stanje sustava
$\Delta T < 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	Uredno stanje.
$5\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	Potreban popravak.
$10\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 35\text{ }^{\circ}\text{C}$	Moguća odgoda popravka u periodu od maksimalnih 6 mjeseci.
$35\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	Potrebna intervencija, što je prije moguća.
$\Delta T > 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	Kritično stanje, hitan popravak.

5.2. Termografske kamere

Termografske kamere su kamere specijalizirane za stvaranje slika – termograma, korištenjem infracrvenog zračenja. Za razliku od običnih kamera, termografske kamere koriste niz tehnologija kojim omogućuju korisniku uvid u temperaturno opterećenje promatranih tijela. Osnovni dijelovi termografske kamere su infracrvena optika, analizatori, infracrveni senzori, hladnjaci, procesor i monitor. Uz odgovarajuću programsku podršku i korištenjem računala obrađuju se podaci termograma. Primjer modela termografske kamere koja se koristi unutar HEP-ODS-a je kamera Agema 470 PRO.



Slika 5.1. Agema 470 PRO s pripadajućom opremom

Termovizijska ispitivanja mogu biti izravna i neizravna. Kamere koje se koriste pri izravnim ispitivanjima su skupe i osjetljive. Osim cijene i performanse, kamere za izravna ispitivanja mogu očitavati temperaturu za razliku od kamera za neizravno ispitivanje. [10]

6. ZAKLJUČAK

Nadzemni vodovi dio su elektroenergetskog sustava koji služe za prijenos električne energije od proizvodnih jedinica do potrošača. Kao i svaki dio elektroenergetskog sustava, građeni su od specifičnih jedinica koje im omogućuju siguran i pouzdan rad te uvjetuju isporuku kvalitetne električne energije kupcu. Nadzemni vodovi su građeni od stupova, vodiča, izolatora, spojne opreme, temelja, zaštitnih vodiča i uzemljenja. Zbog potreba održavanja elektroenergetskog sustava, razvile su se razne dijagnostičke metode kojima se omogućuje ekonomičnost i pouzdanost rada elektroenergetskog sustava. Dijagnostika nadzemnih vodova detektira kvarove i neispravnost opreme mehaničke i električke prirode. Pojedine metode dijagnostike omogućuju zamjenu određenih dijelova postrojenja prije pojave samog kvara ili kritičnog stanja. U dijagnostičke metode nadzemnih vodova ubrajaju se korona pregled, video pregled, lasersko ispitivanje, termoviziju i termografske preglede. Navedena ispitivanja koriste zasebne tehnologije koje uz pomoć programske podrške daju informacije o stanju sustava s visokom točnošću i pouzdanosti. Kabelske mreže čine kabeli različitih tipova i koriste se uglavnom na specifičnim područjima poput urbanih područja koja zahtijevaju izmještanje nadzemne mreže vodova. Kabelski materijal se dijeli na aktivni i pasivni materijal, pri čemu aktivni materijal služi za prijenos električne energije, dok pasivni materijali služe za izolaciju aktivnog dijela. Aktivni dio kabela čine vodiči koji su uglavnom proizvedeni od bakra i aluminijska. Izolaciju kabelskih vodiča čine materijali poput ulja, papira, jute, olova, PE, PVC itd. Kabeli se prema svojim dimenzijama, konstrukciji i obliku dijele na niskonaponske, srednjenaponske, visokonaponske, kriokabele i podmorske kabele. Dijagnostika kabelskih vodova koristi metode čiji princip rada se temelji na izazivanju namjernih preskoka i proboja izolacije i svrhu otkrivanja mjesta kvara i njegove točne lokacije. Metode poput faktora dielektričnih gubitaka i metoda obnovljenog napona daju srednje slike stanja kabelske izolacije bez mogućnosti davanja informacije o točnom mjestu kvara. S druge strane, metoda parcijalnih izbijanja i metode niskofrekvencijskih ispitivanja daju visoku točnost o stanju izolacije kabelskog vodiča i točnom mjestu kvara. Pri dijagnostici kabelskih vodiča mogu se uzajamno kombinirati i koristiti više metoda istovremeno u cilju postizanja boljih rezultata ispitivanja. Termovizija je vrsta beskontaktnog ispitivanja temperature tijela ili elementa postrojenja koja se razvila iz vojne tehnologije čiji je razvoj započeo krajem 50-ih godina 20. stoljeća. Korištenjem termovizijske kamere, pripadajuće opreme i programske podrške dobiva se visoko pouzdana informacija o temperaturi tijela koje ispitujemo. Na temelju uvjeta temperaturnih prekoračenja, može se utvrditi u kojem je stanju pogon odnosno neki od njegovih elemenata.

7. LITERATURA

- [1] Ožegović, Marija; Ožegović, Karlo: „Električne energetske mreže I“, FESB Split, OPAL COMPUTING d.o.o. Split 1996.
- [2] Kuzle, I.: „Dijagnostika u održavanju elemenata elektroenergetskog sustava“, s interneta: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Dijagnostika_elementa_EES-a.pdf, 23.03.2021.
- [3] Delimar, Marko: „Prijenos i razdjela električne energije“, zapisi s predavanja, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2017. , s interneta: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/PRIJENOS_I_RAZDJELA_ELEKTRICNE_ENERGIJE.pdf, 27.4.2021.
- [4] Amperis, Corona Effect Cameras, dostupno na: <https://www.amperis.com/en/products/corona-cameras/>, s interneta: 01.06.2022.
- [5] Kalea, Marijan: „Prijenos električne energije, što je to?“, Kigen d.o.o. Zagreb 2006.
- [6] Radović, Jovana: „Primjena laserskog skeniranja u premjeru elektroenergetske infrastrukture“, s interneta: https://www.academia.edu/30214275/Primjena_laserskog_skeniranja_u_premjeru_elektroenergetske_infrastrukture, 14.04.2021.
- [7] Simić, Ninoslav; Mrvić, Jovan; Jasika, Ranko: „Procena stanja izolacije kablovskog voda 20 kV tip NPHO 13 nakon oštećenja izazvanog atmosferskim pražnjenjem“, s interneta: <http://www.zbornik-eint.org/wp-content/uploads/2019/12/4-23862-Simic-1.pdf>, 20.08.2021.
- [8] Rojnić, Michele: „Termografska ispitivanja nadzemnih vodova“, s interneta: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/riteh:1150>, 27.04.2021.
- [9] Marković, Vlado: „Detekcija parcijalnih izbijanja“, s interneta: <https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/ossst%3A612>, 20.08.2021:
- [10] Tomas, Luka: „Primjena termovizije u održavanju elektromotornih pogona“, s interneta: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:809> 20.08.2021.
- [11] Vandrie, Rudy: „ANUGA:-the FREE Ocean Impact model“,s interneta: https://www.researchgate.net/publication/309683426_ANUGA-the_FREE_Ocean_Impact_model, 21.08.2021.

8. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLLESKOM JEZIKU

U ovom završnom radu opisani su nadzemni i kabelski vodovi te pripadajuće dijagnostičke metode. U prvoj polovici ovog rada je opisan funkcionalni i pogonski dio nadzemnih i kabelskih mreža.

Prvo poglavlje opisuje strukturu i sastav nadzemnih vodova sa svim pripadajućim elementima. Drugo poglavlje je posvećeno kabelima, njihovoj konstrukciji i materijalima od kojih su izrađeni. Osim konstruktivnog dijela kabelskih vodiča, detaljnije su opisani i kabeli za niskonaponske, srednjenaponske i visokonaponske mreže. Navedeni su i moderni tipovi kabela u potpoglavlju o kriokabelima kao i specifičnost podmorskih kabela.

U drugoj polovici rada su opisane dijagnostičke metode za nadzemne i kabelske vodove. U trećem poglavlju pobliže su opisane metode kojima se dijagnosticiraju kvarovi i nepravilnosti nadzemnih vodova. Opisane metode su termografska i laserska ispitivanja, korona i video pregled. Četvrto poglavlje pobliže opisuje metode kabelske dijagnostike i pripadajuće postupke ispitivanja.

Zadnje poglavlje se bavi novijom vrstom dijagnostike temeljenoj na temperaturnoj razlici, točnije termovizijom.

Ključne riječi: nadzemni vodovi, kabelski vodovi, dijagnostika, ispitivanja, termovizija

SUMMARY

This final paper describes overhead and cable lines and the associated diagnostic methods. In the first half of this paper, the functional and operational part of overhead and cable networks are described.

The first chapter describes the structure and composition of overhead power lines with all associated elements. The second chapter is dedicated to cables, their construction, and the materials from which they are made. In addition to the constructive part of cable conductors, cables for low-voltage, medium-voltage and high-voltage networks are also described in more detail. The modern types of cables are also listed in the subchapter on cryocables as well as the specificity of submarine cables.

In the second half of the paper, diagnostic methods for overhead and cable lines are described. The third chapter describes in more detail the methods by which failures and irregularities of overhead lines are diagnosed. The described methods are thermographic and laser tests, corona, and video

examination. The fourth chapter describes cable diagnostic methods and related test procedures in more detail.

The last chapter deals with a newer type of diagnostics based on temperature difference, more precisely thermovision.

Key words: overhead power line, cable lines, diagnostic, examination, thermography

9. POPIS SLIKA I TABLICA

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Nadzemni vod s pripadajućim elementima.....	3
Slika 2.2. Homogeno uže : a) sa 7 žica i b) s 19 žica [1]	5
Slika 2.3. Alučel uže [1].....	6
Slika 2.4. Keramički VHD potporni izolator	7
Slika 2.5. Stakleni kapasti izolator	8
Slika 2.6. Kompozitni izolator	9
Slika 2.7. Čeličnoretkastupi: a) jela b) modificirana jela c) Y-stup d) mačka [1]	11
Slika 2.8. Dvostruki čeličnoretkastupi: a) horizontalni raspored vodiča b) dvostruka jela c) tip Dunav d) tip bačva [1]	12
Slika 2.9. Temelji drvenog stupa: a) betonske nogare b) betonski temelj [1].....	14
Slika 2.10. Betonski temelji: a) armiranobetonski stup b) jedna noga čeličnog stupa [1].....	14
Slika 2.11. Pojasni kabel [1].....	20
Slika 2.12. H-kabel [1]	21
Slika 2.13. Troolovni kabel [1]	21
Slika 2.14. Jednožilni PVC ili PE kabel [1]	22
Slika 2.15. Trožilni PVC ili PE kabel [1].....	22
Slika 2.16. Niskotlačni trožilni uljni kabel s armaturom [1].....	24
Slika 2.17. Cijevna izvedba visokotlačnog trožilnog uljnog kabela [1].....	24
Slika 2.18. Jednožilni plinski kabel [1]	25
Slika 2.19. Trožilni plinski kabel s plaštom [1]	25
Slika 2.20. Shema izolacije SF6 kabela [1].....	26
Slika 3.1. Korona efekt.....	30
Slika 3.2. ALS-LIDAR lasersko skeniranje [11]	33
Slika 3.3. Infracrvena kamera FLIR.....	34
Slika 4.1. Proboj električne izolacije vodiča	38
Slika 4.2. Parcijalno izbijanje [7]	41
Slika 5.1. Agema 470 PRO s pripadajućom opremom	44

POPIS TABLICA

Tablica 5.1. Stanja pogona uvjetovana temperaturnim prekoračenjima	43
--	----