

11. METODE MERENJA KVAROVA POMOĆU TRAGAČA KABELA

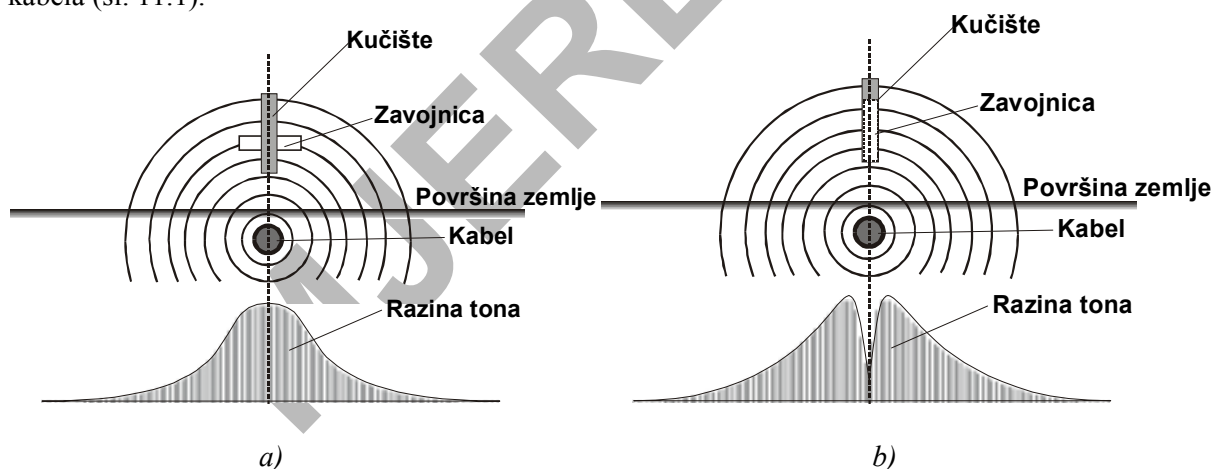
Za određivanje trasa podzemnih energetskih i telekomunikacijskih kabela s metalnim vodičima i u novije vrijeme svjetlovodnim telekomunikacijskim kabelima s metalnim plaštem, kao i dubine na kojoj su takvi kabeli položeni, koriste se instrumenti koje nazivamo tragači kabela. Uz to, ovim instrumentima mogu se odrediti položaj spojnika i pojedine vrste kvarova, kao što su kratki spoj, prekid vodiča, dotik vodiča i rasparenja. Primjena ovog instrumenta nije ograničena samo na kabele, već se može koristiti za određivanje položaja podzemnih metalnih objekata kao što su vodovodne i plinske cijevi, željezne konstrukcije u betonskim temeljima i dr.

Tragači kabela u principu imaju dvije osnovne jedinice: predajnik i prijammnik. Na predajnik se priključuje zavojnica ("antena"), a na prijammnik slušalice ili indikatorski instrument (ili oboje istovremeno). Prijammnik obično ima veliki i mali indukcionni svitak, čije će funkcije biti objašnjene u okviru opisa mjernih metoda.

Izbor frekvencija predajnika - Prije nego što se pristupi mjerenju, potrebno je obaviti izbor radne frekvencije predajnika. Odlučujući čimbenici za izbor radne frekvencije su: je li se kabel nalazi u području koje je pod uticajem viših harmonika izmjeničnih struja, naročito viših harmonika trofaznih ispravljača, ili pod uticajem struja tonfrekvencijski upravljanih signalnih uređaja. Praksa je pokazala da je u ovakvim uvjetima najpogodnije obaviti mjerenje uporabom frekvencija od 10 kHz, koja je izvan opsega uticaja spomenutih harmonika. U ostalim slučajevima, kada se ne očekuju spomenute smetnje, pogodno je mjeriti nižim frekvencijama.

11.1. PRONALAŽENJE TRASE KABELA I DRUGIH PODZEMNIH OBJEKATA

Način pronalaženja trase kabela ili drugih podzemnih objekata temelji se na poznatom principu, da svaki vodič kroz koji teče izmjenična struja proizvodi oko sebe koncentrično promjenljivo magnetsko polje. Ako se u ovo polje unese zavojnica, u njoj će se, u ovisnosti o položaju njenih namotaja, inducirati manji ili veći napon. U slučaju okomitog prolaza linije polja kroz ravninu zavojnice, inducirani napon postiže svoj maksimum. U praksi ovo znači da će, pri horizontalnom položaju zavojnice tragača kablova, maksimum inducirano napona biti ako se zavojnica nalazi točno iznad kabela (sl. 11.1).



Sl. 11.1 - Prikaz položaja indukcijske zavojnice kod određivanja trase kabela i drugih podzemnih objekata metodom a) maksimuma i b) minimuma

Inducirani napon u namotajima zavojnice prijammnika je minimalan kada je ravnina namotaja tangencijalna na linije magnetskog polja, a to je pri vertikalnom položaju osi zavojnice (sl. 11.1b). I u ovom ekstremnom slučaju položaj zavojnice je točno iznad traženog podzemnog objekta, te se ova metoda naziva - metoda minimuma.

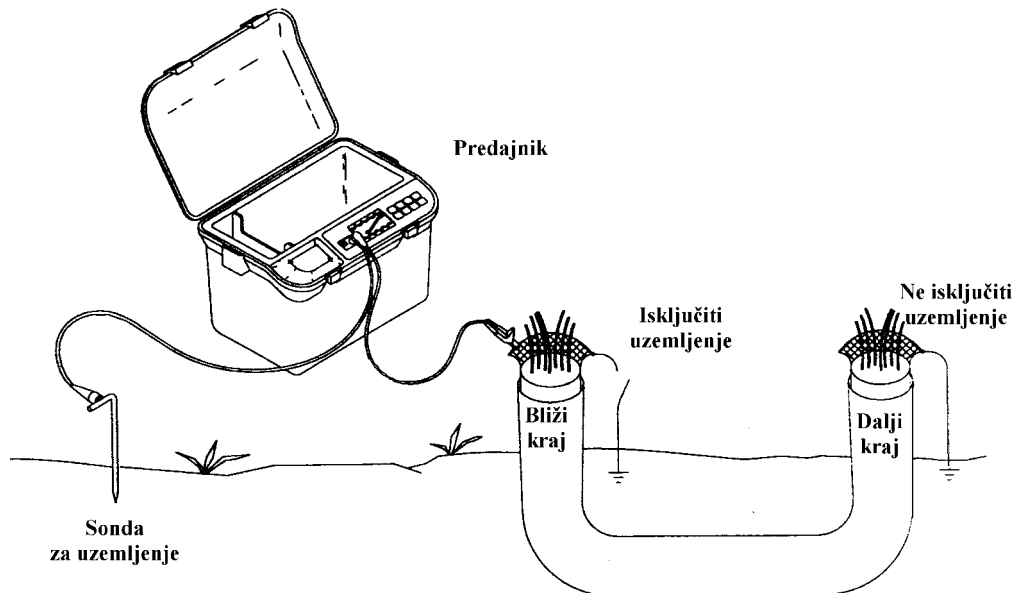
11.2. NAČIN POVEZIVANJA PREDAJNIKA S MJERENIM OBJEKTIMA

11.2.1. Električno povezivanje predajnika s kablom

Poštujući mjere sugurnosti u svezi odgavarajućih propisa zaštite na radu, obavezno je isključenje cijelog energetskog kabela ili mjerene parice telekomunikacijskog kabela na oba kraja. Ostale parice žičnih telekomunikacijskih kabela mogu ostati aktivne. Prije mjerenja obavezno izmjeriti strane napone, i na plaštu i vodičima jezgre kabela. U slučaju visokog napona - prekinuti mjerenje. Otkloniti

kvar. Modreni instrumenti za traženje kabela imaju ugrađen voltmetar, pa tu opciju mjerenja treba iskoristiti.

Plast kabela ili jedan ili više vodiča priključuju se jednim krajem na predajnik, a na drugom kraju se uzemljuju (sl. 11.2). Također treba voditi računa da struja predajnika ne teče neposredno uzduž plašta kabela, jer bi se u tom slučaju formirala koaksijalna parica izvan koje nema magnetnog polja. Izuzetak su višezilni energetska kabela, gdje postoji rezultujuće magnetsko polje. Ovo polje je doduše slabo, ali u većini slučajeva može se registrirati, jer ispitivani vodič ne zauzima centralni položaj u kablju.



Sl. 11.2 - Prikaz povezivanja predajnika sa mjerenim objektom

U slučaju predloženog uzemljivanja predajnika i kabljskih vodiča na daljem kraju, povratna struja teče delimično kroz plaštevne susjednih kabela u zemlji, tako što se formira široka strujna petlja. Da bi se u ovakvim slučajevima poboljšali uvjeti za nesmetano mjerenje, obično se koristi udaljeniji kabel ili pomoćni vodič kao povratni vod.

Također se mogu koristiti vodovodne i toplovodne cijevi koje su u spoju sa zemljom - kao spomenuti povratni vod. Ove varijante treba isprobavati od slučaja do slučaja - kako bi se utvrdilo koja od njih daje najbolji rezultat. Iskustvo je pokazalo da korištenje uzemljenja kabljskog razvodnog ormara u većini slučajeva nije dovoljno. Ukoliko nije na raspolaganju nijedna od predloženih mogućnosti uzemljenja, potrebno je koristiti sondu za uzemljenje koja se zabada u zemlju što dalje od krajeva kabela (oko 10 m), kao što je to pokazano na sl. 11.3.

Da bi se potpuno iskoristila izlazna snaga predajnika, potrebno je obaviti odgovarajuće prilagođenje prema ulaznoj impedanciji kabela. Odgovarajuće prilagođenje se obavlja prema uputama proizvođača instrumenta.

U ovisnosti o tome je li se pri mjerenju javljaju šumovi zbog vanjskih uticaja, na predajniku se obavlja izbor trajnog ili impulsnog tona.

11.2.2. Električno povezivanje s opterećenjem kapacitivne prirode

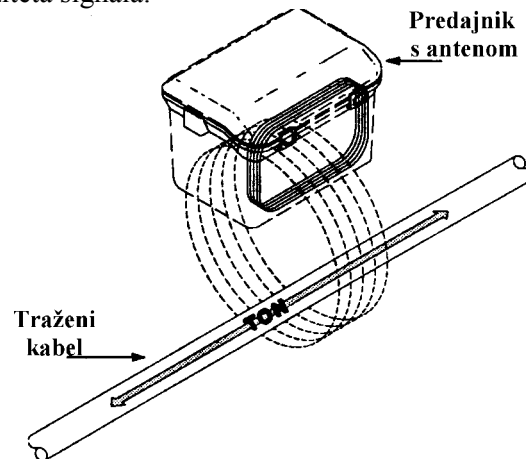
Kod energetska i signalnih kabela se ponekad dobivaju dobri rezultati mjerenja ako se međusobni kapaciteti dva ili više izoliranih vodiča iskoriste za stvaranje opterećenja kapacitivne prirode predajnika. Kod ovakve veze nastala »kapacitivna« struja je ovisna o priključenom »kapacitivnom opterećenju«, a time i dužini kabela. Da bi se dobila što je moguće veća struja, a time i jače magnetno polje, mjerenje se obavlja frekvencijom većom od 10 kHz.

U svrhu osiguranja optimalnih uvjeta mjerenja, i ovdje se mora isprobati hoće li se pojedinačni vodiči priključiti na izlaz predajnika, ili će se više vodiča priključiti paralelno, odnosno, ako je kabel veće dužine hoće li se koristiti jedan vodič i plašt kabela.

11.2.3. Induktivno povezivanje predajnika s kabelom

Ovaj način povezivanja predajnika s kabelom ili sličnim objektima uvijek se primjenjuje kada njihov početak i kraj nisu pristupačni. Ukoliko nije poznat položaj traženog podzemnog objekta (kabela ili cijevi itd.), postupa se na sljedeći način.

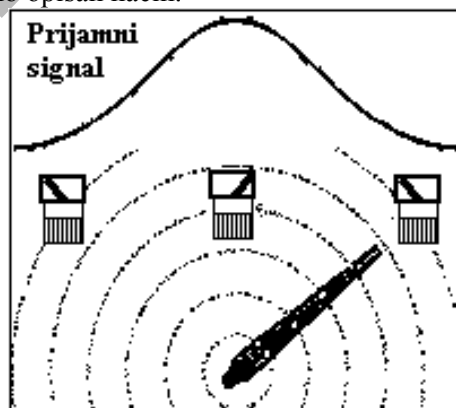
Predajnik s uključenom predajnom zavojnicom se postavlja na predvidive točke površine koju ispitujemo (slika 11.3.), a s prijammnikom na kome je fiksiran položaj zavojnice krećemo se u smjeru za koji se pretpostavlja da je okomit na položaj podzemnog objekta. Kada se na prijammniku dobije maksimum signala koji se registrira pomoću instrumenta ili slušalice (ukoliko je u okolišu gdje se obavlja mjerenje velika buka - kao indikator se preporučuje instrument), što znači da se prijammnik nalazi iznad traženog objekta. Zatim se i predajnik postavi iznad traženog objekta, što se registrira daljnjim povećanje intenziteta signala.



Sl. 11.3. Induktivna veza predajnika s kabelom

Preporučuje se ovim načinom više puta istražiti teren. Radi bolje preglednosti, ispitivani teren može se podijeliti u kvadrate površine (20 X 20 m), koji se poslije toga pojedinačno ispituju.

Kada je bar jedna tačka traženog kabela poznata, postupa se tako što se predajnik s antenom postavi u položaj za koji pretpostavljamo da je paralelan s kabelom. Uspostavljanjem dobre veze između antene i kabela postiže se veći doomet. Kako bi se ovo postiglo, prijammnik se postavlja na određenu udaljenost od predajnika (najmanje 10m), malo bočno od trase kabla, tako da se ton dobro prima. Zatim se mijenja položaj predajne antene ili predajnika sve dok inducirani napon u zavojnici prijammnika ne dostigne maksimum, što se registrira kao najjači ton u slušalicama ili najveći otklon kazaljke instrumenta (sl. 11.4.). Nakon što se odredi pravilan položaj antene predajnika, praćenje trase kabela ili cijevi obavlja se na prethodno opisan način.

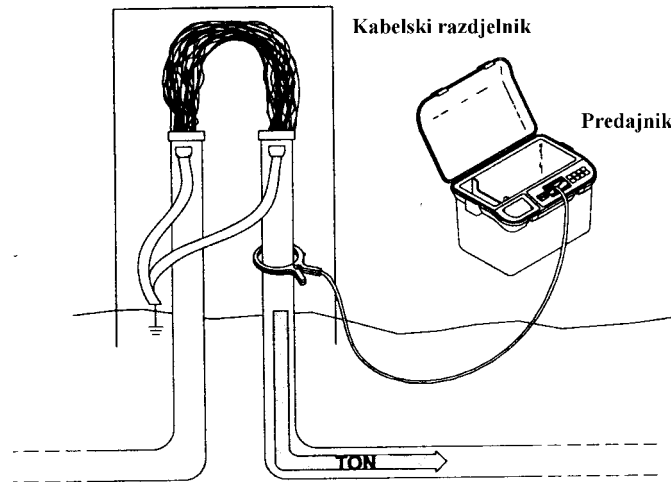


Sl. 11.4. - Prikaz induktivne veze predajnika s kabelom

U pripremnom mjerenju, zbog utvrđivanja položaja podzemnog objekta, u oba slučaja, tj. kada je položaj potpuno nepoznat i kada nam je položaj bar jedne njegove točke poznat - treba obratiti pažnju da prijammnik ne bude u području utjecaja predajnika. Ovo se konstatira na taj način što se u slušalici ne mijenja ton, a kazaljka indikatorskog instrumenta miruje kada se mijenja položaj prijammnika. Utjecaj predajnika se može očekivati ako se prijammnik nalazi u krugu promjera 5-10 m oko predajnika.

11.2.4. Spajanje predajnika spojnim kliještima

Kod traženja trasa pretplatničkih kabela u distributivnoj mreži s razdjelnim uličnim ormarićima naročito je pogodno povezivanje predajnika s kabelom pomoću spojnih kliješta kako je to prikazano slikom 11.5. Ovdje također treba paziti da prijamnik ne bude blizu predajnika, što se lako provjeri ako se prijamnik usmjeri direktno na predajnik, a tada ne smije biti značajnog prijamnog signala.



Sl. 11.5. Metoda spajanja spojnim kliještima

Pri nalaženju trasa podzemnih objekata, prije svega kabela, domet ne ovisi samo o snazi predajnika, već i o drugim okolnostima. Kako jačina elektromagnetskog polja opada u odnosu $1/r$ (r je razmak od kabela do mjerne točke na površini zemlje), očigledno je da i dubina polaganja ima značajan utjecaj na mjerenje. Domet u određivanju trase kabela biti će manji ako je dubina polaganja veća. Kod električne povezanosti, otpor kabela i otpor povratnog voda (to je najčešće zemljište), predstavljaju otpor opterećenja predajnika. Ovdje također bitan utjecaj ima geološki sastav zemljišta. Ako je zemljište pjeskovito i suho, njegov specifični otpor je jako velik, te je i otpor opterećenja predajnika također velik. Ovo ima za posljedicu manji domet, jer signal predajnika brzo slabi (sl. 11.6.). Iskustvo je pokazalo da je najpogodnije vlažno zemljište čiji je specifični otpor manji od $100 \Omega \cdot m$.

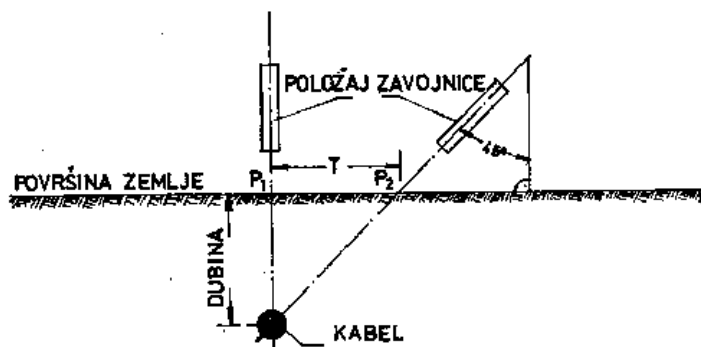


Sl. 11.6. Ovisnost dometa o vlažnosti zemljišta

Pri prosječnim karakteristikama zemljišta, optimalne dubine polaganja i većih presjeka vodiča kabela - najveći domet je nekoliko kilometara kada je predajnik električki vezan s kabelom. Kod induktivno povezivanja vodiča domet je oko 2 km.

11.2.5. Određivanje dubine polaganja kabela

Nakon što je određen položaj kabela, na površini iznad kabela se postavlja oznaka. Zatim se zavojnica prijamnika, koji ima mogućnost postavljanja u dva položaja a (pod kutem od 45° ili 90°), postavlja pod kut od 45° i uz vertikalni položaj prijamnika pomiče se bočno od označenog mjesta sve dok se ponovo ne dobije minimum prijamnog tona poslije dva maksimuma. U tom trenutku je dubina polaganja jednaka udaljenosti između točaka P1 i P2 (sl. 11.7.). U ovisnosti o dubini polaganja - registrirani ton će biti slabiji ili jači. Ukoliko je prijamni signal vrlo slab, a šumovi jaki, preporučuje se rad u režimu impulsnog tona.



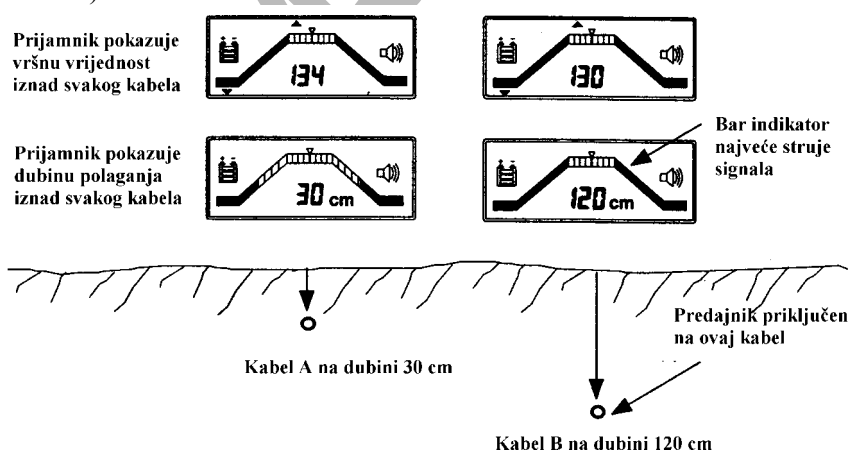
Sl. 11.7. - Princip određivanja dubine polaganja kabela

Novije izvedbe tragača kabela imaju mogućnost direktnog očitavanja dubine položenog kabela na pogodnom pokazivaču (displayu prijammika). Prijamnik se postavi točno iznad traženog kabela, očita maksimalna prijamna razina i tada će računalo u prijammiku direktno pokazati dubinu polaganja. Ovdje naročitu pažnju treba posvetiti mjerenju, ako se u neposrednoj blizini nalaze metalni objekti ili paralelno položeni ostali kabele. U svrhu točnijeg određivanja dubine polaganja, prijamnik se postavlja direktno iznad traženog kabela i očita prijamna razina. Podizanje prijammika za oko 50 cm rezultirati će smanjenjem razine signala. To je pravi pokazatelj da se prijamnik nalazi točno iznad traženog kabela (sl. 11.8.). Ukoliko takvim postupkom ne opada razina signala, nalazimo se iznad pogrešnog objekta. Računalo u prijammiku, koristeći odgovarajući software, izračunava i prikazuje dubinu polaganja kabela.



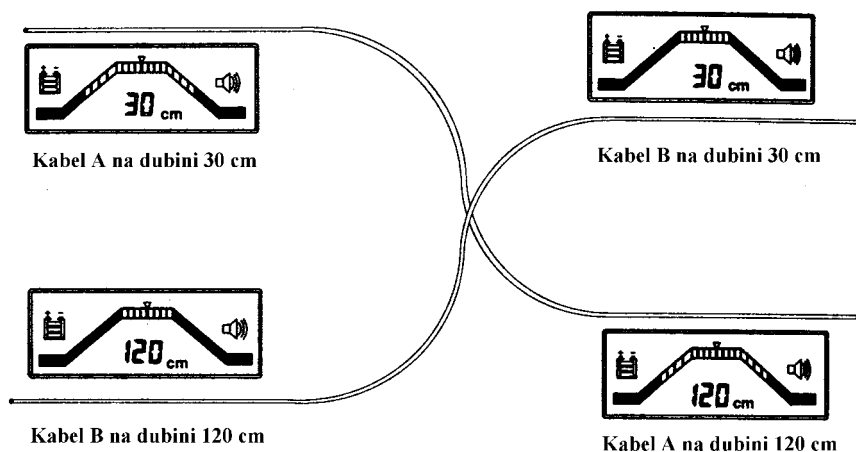
Sl. 11.8. Položaj prijammika kod određivanja dubine polaganja

Većina modernih tragača kabela istovremeno pokazuje dubinu polaganja kabela i razinu prijammog signala. To se iskorištava kod identificiranja i praćenja trasa blisko položenih kabela različitih dubina polaganja. Najprije se izmjere razine prijammog signala, te nakon toga će se pokazati dubine polaganja (sl. 11.9.).



Sl. 11.9. Prepoznavanje kabela uporabom mjerenja dubine polaganja

Prateći dva kabela na različitim dubinama, uz konstantnu razinu prijammog signala, moguće je mjerenjem dubine polaganja odrediti dubine polaganja i u slučaju da se ti kabele fizički križaju, odnosno imaju različitu dubinu polaganja nakon križanja (sl. 11.10.).



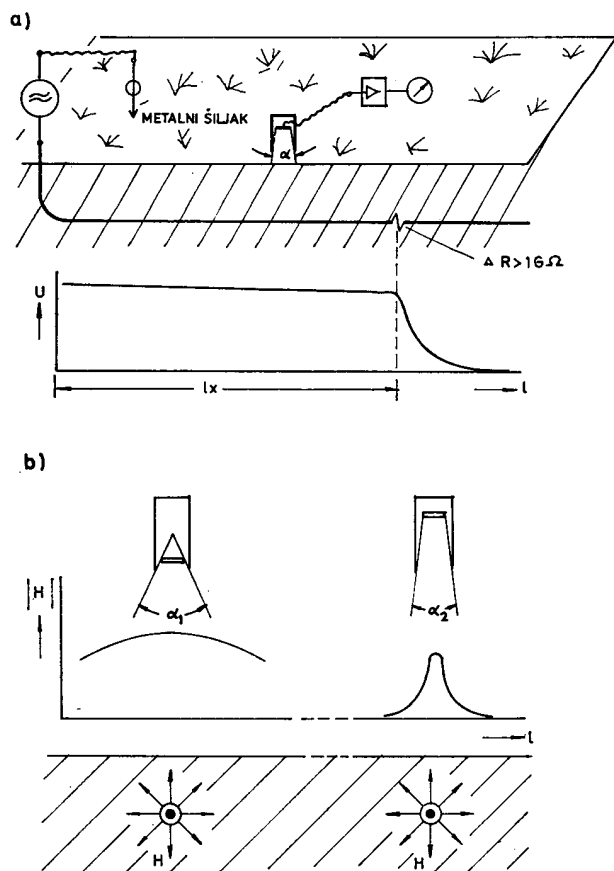
Sl. 11.10. Mjerenje promjene dubine polaganja

11.3. PRIMJENA TRAGAČA KABELA ZA PRONALAŽENJE MJESTA KVARA

Tragač kablova može uspješno koristiti za određivanje mjesta kvara i u slučajevima kada kabel nije ekraniziran i kada kabel nije jako duboko položen. Isto vrijedi i za određivanje položaja spojnice.

11.3.1. Određivanje mjesta prekida vodiča pomoću kapacitivne sonde

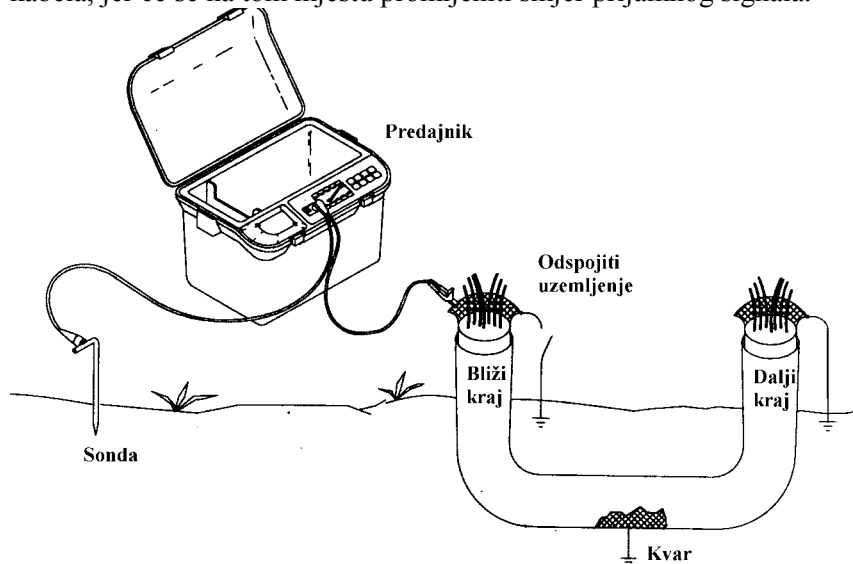
Kod ove mjerne metode oštećena parica se priključuje na predajnik, a na prijammik se priključuje kapacitivna sonda pomoću koje se obavlja mjerenje principom nastajanja napona na površini zemlje iznad polaženog kabela. Otpor na mjestu prekida mora biti veći od $1 \text{ G}\Omega$. Na sl. sl.11.11. je shematski prikazana primjena ove metode. Također je prikazana i karakteristika napona do mjesta prekida, kao i karakteristika kapacitivne sonde u ovisnosti o prijemnim kutovima α_1 i α_2 .



Sl. 11.11. - Princip mjerenja pomoću kapacitivne sonde. a - shema mjerenja, b - karakteristike napona do mjesta prekida i kapacitivne sonde

11.3.2. Metoda dozemnog spoja plašta kabela

U slučaju kvara kabela radi oštećenja plašta kabela, obavlja se mjerenje direktnim spajanjem predajnika na plašt kabela s kojeg se odspoji uzemljenje na bližem kraju (sl. 11.12). Kako većina modernih tragača ima mogućnost mjerenja otpora izolacije između plašta i žila ispunjene odnosno plašta i okoliša u kojem je kabel položen. Kabeli s plastičnom izolacijom imaju zaštitni sloj preko plašta. Prateći pomoću prijavnika trasu kabela može se odrediti točno mjesto gdje je došlo do povrede kabela, jer će se na tom mjestu promijeniti smjer prijavnog signala.



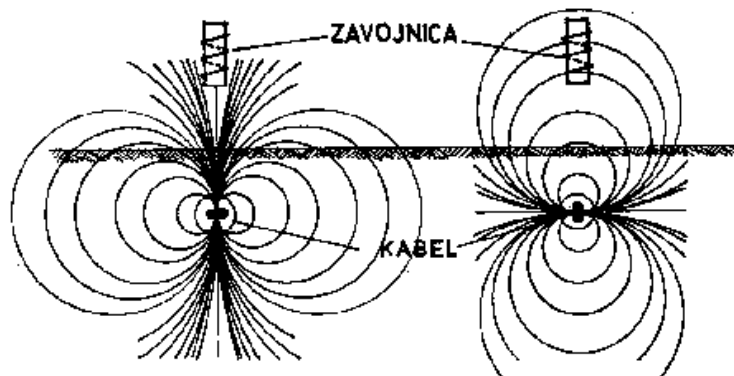
Sl. 11.12. Pronalaženje mjesta oštećenja plašta kabela.

11.3.3. Metoda koraka upredanja parice

Ova metoda se koristi za određivanje mjesta kratkog spoja ili dotika kada je kabel u zemlji. Predajnik se električki spaja s paricom čiji su vodiči u dotiku i optimalno se prilagođava ulaznom otporu. Oko parice formira se rezultujuće magnetsko polje, kao što je prikazano na sl. 11.13.

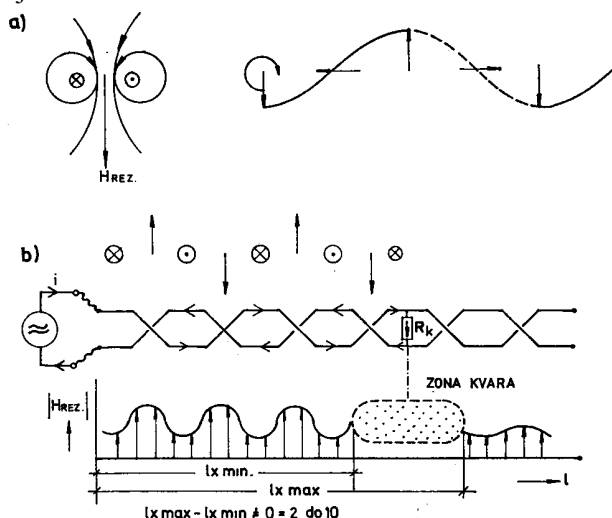
Usporedo sa upredanjem, vektor rezultujućeg elektromagnetskog polja rotirati će oko uzdužne osi parice. Pritom njegov vrh opisuje spiralu oko parice sl. 11.14a, a na sl. 11.14b je skicirana raspodjela rezultujućeg elektromagnetskog polja od početka kabela do mjesta kvara koje ima otpor R_k . Promjena smjera polažaja rezultujućeg vektora elektromagnetskog polja, usporedo s upredanjem, može se registrirati temeljem promjene intenziteta tona u slušalici - pod uvjetom da dubina palaženog kabela nije veća od dužine tri koraka upredanja.

U blizini zone kvara ton nagla opada, a na udaljenosti od 2 do 10 metara iz mjesta kvara više se ne može registrirati. Ako je prelazni otpor veći od 1Ω , ova metoda se često ne može primijeniti. Razlog za ovo je pad napona na prelaznom otporu, koja se ponaša kao novi vodič čiji je unutrašnji otpor jednak prelaznom otporu. Ovaj »predajnik« šalje struju u kabel tako što se iza mjesta kvara opet formira elektromagnetsko polje koje je već opisano.



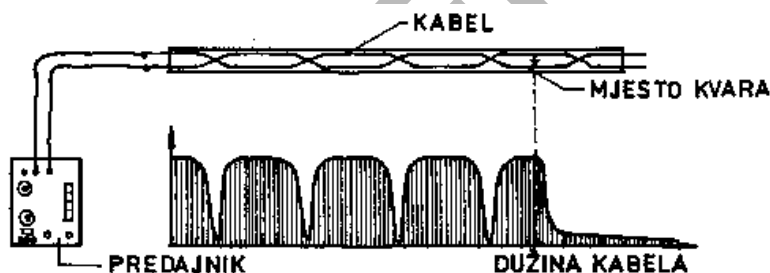
Sl. 11.13. - Izgled rezultujućeg magnetskog polja parice

U nekim slučajevima ova metoda može se koristiti i za određivanje položaja spojnice. Na sl. 11.15. je prikazan izgled polja prilikom određivanja položaja kvara, a na sl. 11.16 izgled polja prilikom pronalaza položaja spojnice.

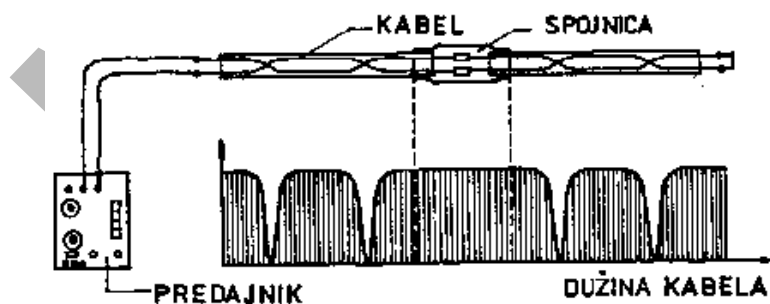


Sl. 11.14. - Metoda koraka upredanja parice. a - rotiranje vektora rezultujućeg magnetskog polja parice, b - raspodjela rezultujućeg magnetskog polja. parice do mjesta kvara

Ukoliko se na jednom mjestu nalaze zajedno telekomunikacijski i energetske kabele, ova metoda ponekad pomaže u razlučivanju telekomunikacijskog kabela na kojem mjerimo od energetskog kabela koji je pod naponom.



Sl. 11.15. - Izgled rezultujućeg elektromagnetskog polja na mjestu kvara



Sl. 11.16. - Izgled rezultujućeg elektromagnetskog polja na mjestu spojnice

Energetski kabele imaju veći korak upredanja, što se može konstatirati pomoću male zavojnice tragača kabela.

11.6. ZAKLJUČAK

Ovih nekoliko primjera pokazuju primjenu tragača kabela za određivanje mjesta kvara zbog rasporenja četvorki u kabele. Međutim, treba spomenuti da se prije primjene opisanih metoda za točno određivanje mjesta rasporenja preporučuje mjerenje pomoću mjernog mosta, instrumenta za mjerenje kapacitivne asimetrije ili impulsnog reflektometra (TDR).

Pri uporabi metode mjerenja na principu koraka upredanja treba očekivati pogrešku od nekoliko postotaka. Primjena metode vektorskog polja kod dodira, ili rezultujućeg polja kod određivanja mjesta rasporenja, pogreška je oko ± 4 cm za manje dužine, a na 1 km kabela ona je veća od $\pm 0,04$ %.

Na slijedećim slikama prikazan je jedan tip tragača kabela.



Slika 11.17. Tragač kabela u prikladnom kovčegu



Slika 11.18. Predajnik



Slika 11.19. Prijamnik