

Neven Krnjaja, dipl. ing.
ELKA kabeli d.o.o., Zagreb
neven.krnjaja@elka.hr

Dragutin Jordanić, dipl. ing.
ELKA kabeli d.o.o., Zagreb
dragutin.jordanic@elka.hr

KONSTRUKCIJSKA RJEŠENJA VISOKONAPONSKIH 64/110 kV KABELA

SAŽETAK

U posljednje vrijeme sve se više instaliraju i traže visokonaponski kabeli zbog svojih prednosti, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj. Zbog potreba, želja i posebnih zahtjeva kupaca i korisnika kabela postoje razna konstrukcijska rješenja visokonaponskih kabela, zato ćemo u ovom referatu opisati kakva se u Hrvatskoj koriste konstrukcijska rješenja visokonaponskih kabela opisana po slojevima, tako da je na kraju moguće imati na desetine različitih tipova visokonaponskih kabela.

Ključne riječi: visokonaponski kabel, vodič, izolacija, električni oklop, plašt

CONSTRUCTION SOLUTIONS OF THE HIGH VOLTAGE 64/110 kV CABLES

SUMMARY

Because of their prestigious features, the high-voltage cables are recently more and more installed and requested as in the world, so in Croatia too. Due to the needs, wishes and special requests of the cable buyers and users, there are different construction solutions of the high voltage cables. Consequently, in this paper we shall describe per layers the constructive solutions of the high voltage cables which are used in Croatia, so in the end, one can have dozens of different types of the high voltage cables.

Key words: high voltage cable, conductor, insulation, screen, sheath

1. UVOD

U današnje vrijeme se sve više se gleda na iskorištenost prostora, na ekologiju i utjecaj na kvalitetu života, a s druge strane raste potreba za sve većom energijom. Dominantni energetske izvori su, a vjerojatno će još bar nekoliko desetljeća ostati, nafta i njeni derivati uključujući i plin te električna energija – sve značajniji izvor budući da se smatra ekološki najprihvatljivijom, a i "alternativni izvori" obično bar u nekom od pretvorbenih koraka uključuju i struju. Svjetski razvoj ide u smislu sve značajnije uloge gradova i kao mjesto življenja sve većeg broja pučanstva i kao proizvođača (ili sudionika u proizvodnji) materijalnih dobara a posljedično, i sve većih potrošača svega – pa i energije. U gradu je prostor na najvećoj cijeni.

Korištenje električne energije uključuje i transport od proizvođača energije do njenog korisnika – tradicionalno kroz kabelske mreže. Nadzemne mreže u obilju prostora imaju ekonomsku prednost, ali u gradskoj situaciji podzemni razvod postaje skoro jedini moguć način. Isto tako, radi sve veće daljine prijenosa – gradovi rastu, i radi sve veće količine energetske prijenosa – gradovi naravno rastu, dolazimo do podzemne visokonaponske mreže. Visokonaponski kabeli u odnosu na visokonaponske nadzemne vodove su praktično nevidljivi budući su ukopani u zemlju (prostor oko trase se može iskorištavati u različite svrhe), gubici su manji tijekom prijenosa energije (konstrukcijskim rješenjima je

eliminirano elektromagnetsko polje) i položeni u zemlju visokonaponski kabeli predstavljaju veću sigurnost za ljude od visokonaponskih nadzemnih vodova postavljenih na stupovima.

Visokonaponski kabeli razvili su se direktno iz srednjenaponskih i to bez većih tehničko – tehnoloških promjena. Razvoj je bio u smjeru povećanja debljina kabelskih slojeva – prvenstveno izolacije, te povećanim stupnjem električne čistoće svih komponenti. Pod električnom čistoćom podrazumijeva se svaka čestica – uključujući prašinu (tj. strano tijelo) s drugačijom relativnom dielektričnom konstantom (ϵ_r) od osnovnog materijala. Jednako tako za materijale koji se ekstrudiraju pod nečistoćom se smatra i polimer s različitim stupnjem polimerizacije – radi mogućeg stvaranja šupljina pri izoliranju uslijed različite viskoznosti. Veličina takve čestice ja također ograničena, i principijelno ne smije prijeći promjer od 10 μm .

Tijekom zadnjih stotinjak godina, koliko su srednjenaponski kabeli u upotrebi, mijenjali su se po konstrukciji ali još više po materijalima za izolaciju te poluvodljive i druge slojeve – nemetalnim dijelovima konstrukcije. Razvojne ideje ostale su cijelo vrijeme iste, i to :

- a) povećati pouzdanost u što se ubraja i trajnost, ili smanjiti učestalost kvarova
- b) smanjiti troškove investicije i održavanja pri radu

Prve ideje izolacije – trafo ulje na papiru, pokazale su se vrlo dobre pa se danas i proizvode i instaliraju, iako sve manje kao nove kabelske trase.

Kruti dielektrici su se počeli primjenjivati prije polovice prošlog stoljeća i to najprije PVC-smjese za 10 kV kabele, pa kasnije polietilenske (PE-LD) i od 60-tih godina umreženi polietilen (PE-XL).

Kako je rastao naponski nivo, tako je granična površina između vodiča i izolacije odnosno između izolacije i zaštitnih slojeva, postajala sve kritičnija točka u smislu kvalitete. Ubrzo se došlo do rješenja kako uprosječiti električno polje oko vodiča i/ili izolacije, tj. do upotrebe zaslona u graničnim slojevima. Prvo se upotrebljavala čađa pa čađom impregnirane trake i na kraju polimerne mješavine sa visokim sadržajem poluvodljivih čađa. Osnovni zahtjev je da polimerni materijal bude kompatibilan sa izolacijom te da zadrži poluvodljiva svojstva i pri povišenim – radnim temperaturama kabela. Danas se najviše upotrebljavaju smjese na bazi umreženih polietilena ili češće njegovih kopolimera

Zaštitni slojevi su se možda najviše mijenjali obzirom da ih može nekoliko različitih biti primijenjeno ako se izolacija treba štiti od raznih štetnih utjecaja, npr. vlage, kemikalija, ulja, mehaničkih oštećenja, mikroba, glodavaca... Nakon brojnih pokušaja, zadnjih desetljeća se standardizirala upotreba vodenih barijera – protiv aksijalnog širenja vode, električna zaštita u kombinaciji sa mehaničkom ako je potrebno, te vanjski plašt kabela – standardno od polietilena visoke gustoće (PE-HD) ili od linearnog polietilena (PE-LLD).

2. PREGLED VISOKONAPONSKOG KABELA PO SLOJEVIMA

2.1. Vodiči kabela

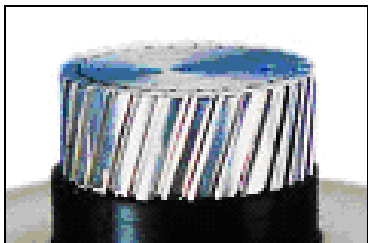
Za izbor vodiča kabela IEC 60840 propisuje da oni moraju zadovoljiti IEC 60228. To znači da mogu biti napravljeni od čistog bakra ili metalom presvučenog bakra (npr. pokositreni) te od aluminija ili aluminijske legure.

Iako standard IEC 60228 propisuje i fleksibilne vodiče (klasa 5 i klasa 6) za ugradnju u VN kabele se gotovo isključivo koriste vodiči klase 2 – zbijeni ili nezbijeni, ponekad se koriste Al vodiči klase 1 (solid).

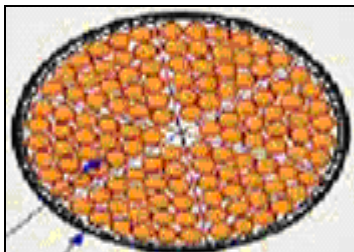
Za vodiče klase 2 IEC 60228 propisuje najmanji broj žica od kojih se sastoji vodič, maksimalni otpor na 20 °C u Ω/km te minimalni i maksimalni promjer.

Za vodiče presjeka 1200 mm^2 i većih se ne propisuje minimalni broj žica. Takvi se vodiči u pravilu izrađuju u segmentnoj izvedbi (Milliken). Sastoje se od 4, 5 ili 6 istih segmenata.

Na priloženim slikama 1. i 2. su prikazani vodiči uobičajenih konstrukcija.



Slika 1. Zbijeni Al vodič



Slika 2. Segmentni Cu vodič (Milliken)

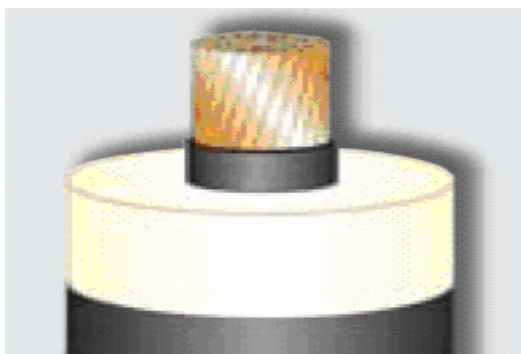


2.2. Izolacija kabela

Za ispravan i dugotrajan rad kabla kvaliteta izoliranja žile je ključna.

Prema IEC 60840 materijal za izolaciju žile kabla može biti polietilen-PE, polietilen visoke gustoće – HDPE, umreženi polietilen XLPE ili gumena mješavina na bazi etilen-propilena – EPR. Standard propisuje maksimalne radne temperature vodiča za svaki od ovih materijala i ostala svojstva koja svaki mora zadovoljiti. U praksi se uobičajeno proizvode kabele sa izolacijom od XLPE, naročite čistoće i svojstava.

Zbog postizanja homogenog električnog polja u izolaciji ona mora biti izvedena sa zaslonom vodiča i zaslonom izolacije koji su napravljeni od poluvodljivog materijala (PE-XL-PV). Sva tri sloja moraju biti brizgana i to odjednom – trostruka ekstruzija. Manipuliranje sa materijalom za brizganje mora biti takvo da se onemogući bilo kakvo onečišćenje materijala. Koriste se prostorije sa nadtlakom.



Slika 3. Žila VN kabla sa zaslonom vodiča, izolacijom i zaslonom izolacije

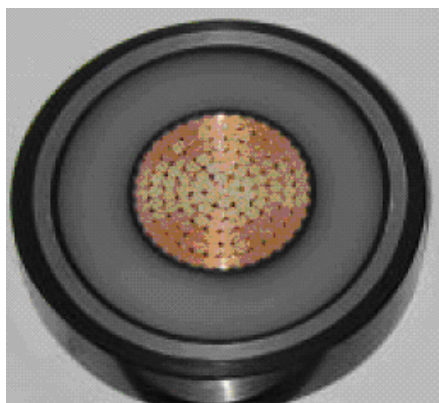
Umrežavanje PE se odvija u cijevi u koju žila ulazi odmah nakon brizganja. Za umrežavanje se koristi zagrijani dušik pod tlakom (tzv. suhi postupak). Hlađenje se odvija u drugom dijelu cijevi u koji žila kabla ulazi nakon umrežavanja. Također se koristi dušik. Dakle, žile kabla uopće ne dolaze u kontakt s vodom tako da je onemogućeno pojavljivanje elektrokemijskog treeing efekta.

Debljina izolacije i debljina zaslona nije propisana standardom. Određuje se prema zahtjevu kupca ili ju proizvođač sam određuje u skladu sa proizvodnom opremom, materijalom koji koristi, iskustvom...

Standard određuje samo minimalnu debljinu izolacije na jednom mjestu ($t_{\min} \geq 0,90 t_n$, gdje je t_n nazivna debljina izolacije) i ekscentričnost izolacije ($t_{\max}/t_{\min} / t_{\max} \leq 0,15$).

2.3. Električni oklop (ekran) kabla

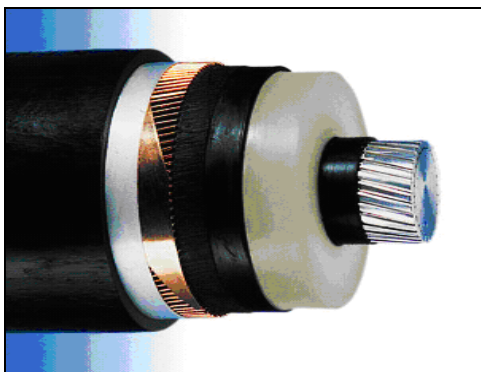
Električni oklop je kao kod SN kabla, u većini slučajeva izvedena sa helikoidalno omotanim bakrenim žicama i kontraspiralom od bakrene trake oko žile kabla. Uobičajeno se ispod i iznad tih žica ubacuju elementi za sprečavanje uzdužnog prodora vode (bubrive trake). U ekran mogu biti ugrađena i svjetlovodna vlakna (Slika 6.) koja se mogu koristiti za prijenos informacija ili mjerenje radne temperature duž kabla. Električni oklop može biti izveden i samo sa omotanim bakrenim trakama ili olovnim (Slika 4.) ili aluminijskim plaštem. Moguća je i kombinacija svega navedenoga.



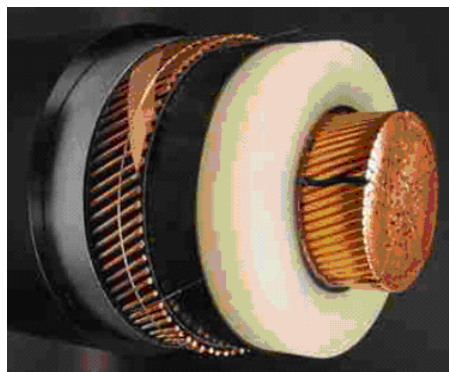
Slika 4. Kabel 2XS(F)K2Y sa olovnom zaštitom i HDPE plaštem

2.4. Plašt kabela

Vanjski plašt kabela obično je izrađen od polietilena visoke gustoće HDPE (ST₃ ili ST₇) Slika 5. s aluminijskim vodičom, Slika 6. S bakrenim vodičom. Može se koristiti i PVC (ST₁ ili ST₂). Također, može biti napravljen i u bezhalogenoj i vatrootpornoj izvedbi sa posebnim materijalima. Ispod plašta se u većini slučajeva uzdužno polože aluminijska ili bakrena traka za sprečavanje poprečnog prodora vode u kabel. Također, na plašt kabela može biti brizgan tanki sloj (skin) od slabovodljivog materijala (obično PE) koji omogućuje električno ispitivanje kvalitete plašta.



Slika 5. Kabel A2XS(F)2Y (XHE 49-A)



Slika 6. Kabel 2XS(FL)2Y (XH(A)E 49)



Slika 6. Kabel 2XS(FL)2Y (XH(A)E 49) sa ugrađenim svjetlovodnim vlaknima

3. ZAKLJUČAK

Kako je vidljivo iz referata postoje ipak neke specifičnosti u konstrukciji visokonaponskih kabela u odnosu na srednjenaponske kabele. Budući da se u Hrvatskoj gotovo isključivo upotrebljavaju 64/110 kV kabele prema standardu IEC 60840, u ovom referatu su razmotrena konstruktivna rješenja koja zadovoljavaju ovaj standard. Standard ne određuje konstrukciju kabela, već ispitivanja koja kabel mora zadovoljiti (Tests for power cables with extruded insulation for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV)). Zbog toga su i dozvoljena razna konstruktivna rješenja uz uvjet da zadovolje zahtjeve navedenog standarda.

LITERATURA

- [1] F.M. Clark, Insulating Materials for Design and Engineering Practice, John Wiley & Sons Inc., New York, 1962.
- [2] Standardna praksa u ELKA kabele d.o.o.
- [3] Norma IEC 60840 - Tests for power cables with extruded insulation for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV)