

**10. savjetovanje HRO CIGRÉ**  
**Cavtat, 6. - 10. studenoga 2011.**

Josip Bošnjak, dipl.ing.el.  
ENCRON d.o.o. Zagreb  
josip.bosnjak@encron.hr

**KABELSKI SPOJNI PRIBOR ZA VISOKONAPONSKE KABELE S  
EKSTRUDIRANOM IZOLACIJOM - TRENUTNI STATUS I PERSPEKTIVE RAZVOJA**

**SAŽETAK**

Zahvaljujući činjenici da se za izgradnju većine novih visokonaponskih kabela već duže vremena u pravilu koriste energetski kabele s ekstrudiranim izolacijom, težište tehnologije visokonaponskog kabela je također pomaknuto s tradicionalne izolacije „ulje/papir“ na nove „suhe“ izolacijske materijale.

Nadalje, razvoj kabela, a prije svega spojnica i različitih izvedbi završetaka, bilježi značajna unapređenja posljednjih nekoliko godina, tako da danas predstavljaju intenzivno razvijene i kompleksne proizvode.

Zbog važnosti kabela, kao jedne od vrlo bitnih poveznica cjelovitog elektroenergetskog sustava, svi današnji proizvođači kabela također pridaju veliku pažnju dizajnu i dimenzioniranju vitalnih dijelova kojima se ostvaruje raspodjela električnog polja u završecima i spojnica.

Pored gore navedenog, u referatu će biti prikazan i trenutni status te perspektive razvoja visokonaponskog kabela, spojnica i priključnih konektora te kutija za spajanje električne zaštite kabela. Na kraju referata daje se također pregled najvažnijih ispitnih metoda i zahtjeva za kabele i kabela pribor do 500 kV u svijetlu najnovijih izdanja međunarodnih normi.

**Ključne riječi:** visokonaponski energetski kabel, vodič, izolacija kabela, zaslon izolacije, kabela pribor, kabela završeci, spojnica, završeci za postrojenja i transformatore, stožac za oblikovanje električnog polja, spojne spojnice, električna zaštita kabela, preplet električne zaštite kabela, spojna kutija, tipska ispitivanja, norme

**CABLE ACCESSORIES FOR HIGH VOLTAGE EXTRUDED POWER CABLES -  
Actual status and prospects for development**

**SUMMARY**

Based on the fact that the majority of newly built cable circuits are using power cables with extruded insulation, the technology of the corresponding high voltage cable accessories has also moved from traditional oil/paper to new dry insulation materials.

Furthermore the development of the cable accessories, most of all joints and terminations, showed major improvement over the last years and represent today intensively developed and complex products.

Because of the importance of the cable accessories as one of the fundamental links of the complete energy power system, all today's producers of cable accessories are dedicated to improving design of the vital parts used for achieving the electrical field distribution in joints and terminations.

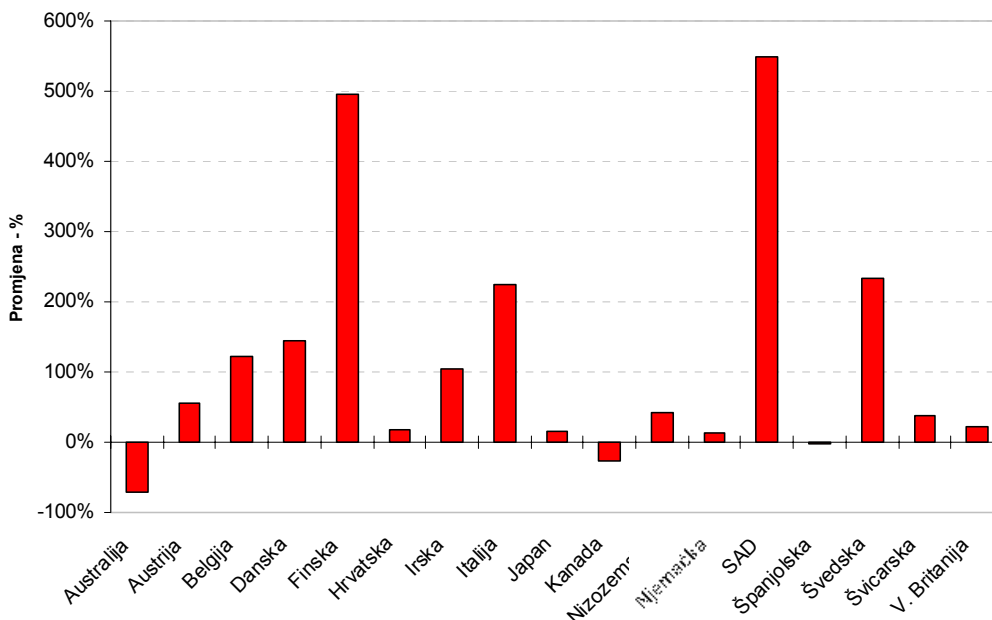
Beside the above mentioned, this article shows the current status of the technology and developing perspectives of high voltage cable accessories, connectors and link boxes for cable shield. At the end of the article is shown the overview of the most important test methods and requirements for cable and cable accessories up to 500 kV in the light of the newest issues of international standards.

**Key words:** high voltage power cable, conductor, cable insulation, insulation screen, cable accessories, terminations, joints, switchgear & transformer terminations, stress-cone, connectors, cable shield, cross-bonding, link box, type tests, standards

## 1. UVOD

Povijest razvoja visokonaponskih energetske kabela seže u daleku 1913. godinu, kada njemački inženjer Martin Höchstädter (1883. - 1973.), prvi patentira zaslon izolacije na uljnim kabelima u obliku metaliziranog papira i time omogućava početak proizvodnje uljnih kabela najprije za napone do 33 kV (1920. g u SAD a 1923. u Europi) a ubrzo zatim i za napone do 50 kV (krajem 1930. g. već se širom Europe u pogonu nalazi preko 600 km kabela za ovu naponsku razinu). U to doba (početkom 1920.-ih) za ostvarivanje kontrole električnog polja unutar kablenskog pribora (najprije završetaka a kasnije i spojnice) koristili su se impregnirani papiri različitih dimenzija i oblika, koji su se na licu mjesta motali oko kabela u obliku konusa. Na tako pripremljene izolacijske papire, dodavali su se metalizirani papiri koji su bili u kontaktu s vodljivim papirima iz zaslona izolacije kabela i na taj način ostvarivali jedan geometrijski konus potreban za raspodjelu električnog polja. Danas se ova tehnologija koristi sve rjeđe i to samo na uljnim kabelima koji se nalaze još uvijek u pogonu i nisu do sada zamijenjeni s novim XLPE kabelima. Općenito upotreba uljnih kabela i pripadajućeg kablenskog pribora je u opadanju i dobivati će sve manje važnosti u budućnosti.

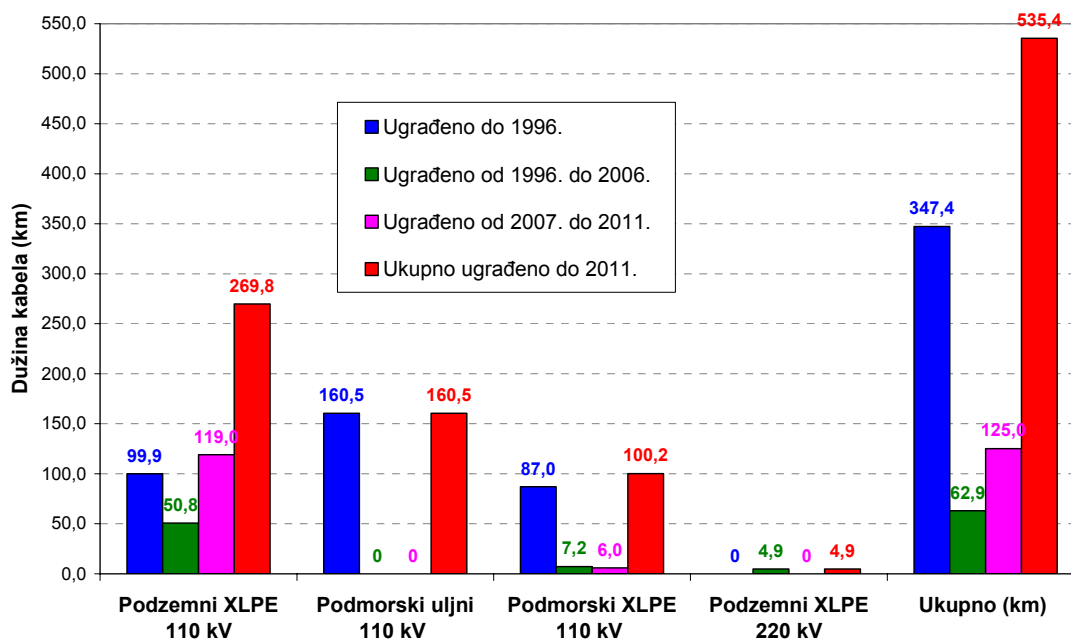
U današnje doba dominantan izolacijski materijal za energetske kabele je umreženi polietilen visoke čistoće (XLPE) za naponske razine do 550 kV. Na slici 1 prikazan je porast upotrebe XLPE kabela između 1996. god. i 2006. god. za nekoliko industrijski najrazvijenijih zemalja Europe i svijeta uključujući i Hrvatsku [1].



Slika 1: Usporedba ugradnje 110 kV i 220 kV kabela širom svijeta za period od 1996. do 2006. godine [1]

Istovremeno na slici 2 detaljnije su prikazani statistički podaci za VN kabele u Hrvatskoj, ovisno o vrsti kabela, vrsti izolacije, naponskom nivou te vremenskom periodu u kojem su podaci obrađivani kako bi bili usporedivi s podacima koje je objavila CIGRE radna grupa B1.07. Iz ovih podataka vidljivo je da je u Hrvatskoj intenzivniji trend ugradnje XLPE kabela započeo projektom "otočna veza 110 kV" kada je označen početak ugradnje i podmorskih XLPE kabela, obzirom da su do tada skoro svi položeni podmorski kabeli bili s uljnom izolacijom. Ovi kabeli još uvijek u Hrvatskoj čine dominantni udio u odnosu na XLPE podmorske kabele (cca. 63%) i ostati će vjerojatno u pogonu još samo kratko vrijeme, obzirom da im je očekivani životni vijek od 30 g. već istekao (najveći dio ovih kabela položen je u periodu 1970.-1980. god.). Zamjena uljnih s XLPE kabelima može biti i ubrzana zbog određenih razloga koji su evidentirani tijekom njihove eksploatacije (npr. potreba za većim strujnim kapacitetom, problemi s mehaničkim oštećenjima i ograničenjima u tehnologiji sanacije kvarova, održavanje uljnih stanica na krajevima kabela i sl.).

Što se tiče podzemnih VN kabela, ovdje se je trend početka ugradnje kabela s XLPE izolacijom poklopio s intenzivnom industrijalizacijom i razvojem turizma u Hrvatskoj, tako da bilježimo prvo značajnije polaganje podzemnog XLPE kabela još 1980 g. (DINA na o. Krku) a već 1983 g. i u Zagrebu (priključak TS Ksaver) [2]. Ovaj trend ugradnje XLPE je nastavljen i do danas, tako da oni čine skoro 100% udio u svim podzemnim 110 kV i 220 kV kabelima.



**Slika 2: Statistički podaci za VN kabele u Hrvatskoj**

Sukladno gore iznesenim statističkim podacima, izolacijski materijal za kabelski pribor se također izmijenio od „uljem impregniranog papira“ na „suhe materijale“.

Danas su većinom u upotrebi suhi materijali kao npr. EPR (Etilen - Propilenska guma) ili SIR (Silikonska guma) [3].

Ova tehnologija podrazumijeva određene prednosti u usporedbi sa starom tehnologijom na bazi "uljem impregniranih papira" i to:

- kvaliteta elementa za kontrolu električnog polja je neovisna o iskustvu montera
- svaki element može biti 100% prethodno električki ispitan
- geometrijski oblik je prethodno zadan (određen)
- jednostavna ugradnja

Na temelju gornjih činjenica ovaj referat će se fokusirati na VN kabelskom priboru samo za kabele s ekstrudiranom izolacijom.

## 2. DANAŠNJI DIZAJN VN KABELSKOG PRIBORA

U pravilu kabelski pribor možemo podijeliti u tri glavne grupe i to:

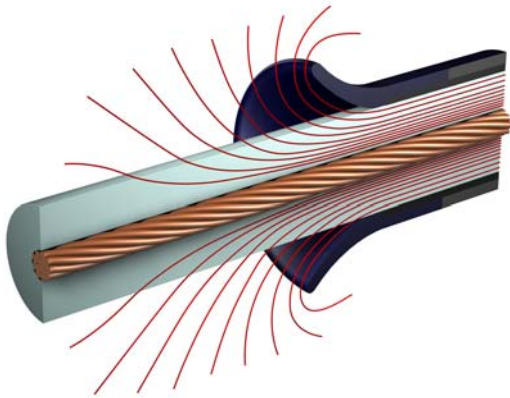
- završeci za vanjsku ugradnju (brtveni krajevi)
- završeci za postrojenja / transformatore (aparadni završeci)
- spojnice.

Završeci po svojoj funkciji omogućuju priključnu točku vodiča na kraju energetskog kabela i njegov spoj s drugim dijelom električne mreže(sustava). Ova priključna točka je u zraku, a može se nalaziti unutar građevine ili vani na mjestima izloženima izravnu sunčevu zračenju, atmosferilijama ili oboma. Sukladno tome, završetke dijelimo na unutarnje i vanjske [4].

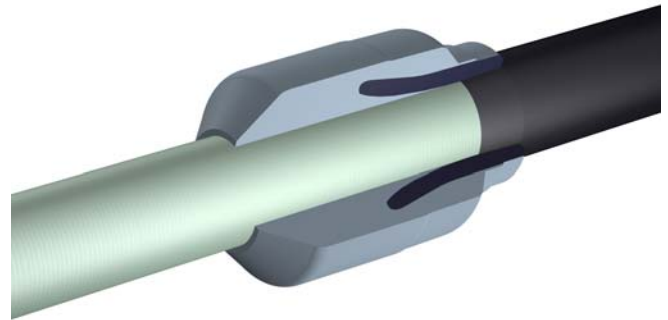
Spojnica ima suprotnu funkciju, ne da bude završetak nego da poveže dva energetska kabela međusobno jednog s drugim kako bi produžili ukupnu dužinu kabelskog voda i osigurali neprekinutost strujnog kruga.

Glavna komponenta svakog kabelskog pribora je element za kontrolu električnog polja. Za naponske razine iznad 72 kV, sve raspoložive tehnike su svedene samo na geometrijsku metodu raspodjele električnog polja koja je ujedno i najstarija od svih danas poznatih metoda [5]. Kontrolirana raspodjela električnog polja postiže se pomoću posebno oblikovanog deflektora (upravljačke elektrode) koji se postavlja na kraju zaslona izolacije i preko njega je galvanski spojen na potencijal zemlje. Zadatak deflektora je da svojim prisustvom nepovoljnu i nehomogenu raspodjelu električnog polja izmjeni tako da se maksimalna jakost električnog polja smanji na tehnički dozvoljenu vrijednost, a naročito da tangencijalnu komponentu električnog polja, između izolacije kabela i izolacijskog tijela deflektora, održi ispod najviše dozvoljene i unaprijed utvrđene vrijednosti.

Na slici 3 prikazan je princip geometrijskog postupka kontrolirane raspodjele električnog polja s ugrađenom upravljačkom elektrodom (deflektorom) u obliku lijevka dok je na slici 4 prikazan izgled jednog tvornički dogotovljenog deflektora (stošca) za kontroliranu raspodjelu električnog polja u visokonaponskom kabelskom priboru koji će biti objašnjen u nastavku.



Slika 3: Raspodjela ekvipotencijalnih linija na završetku zaslona izolacije s ugrađenom upravljačkom elektrodom u obliku lijevka



Slika 4: Izgled deflektora za kontrolu električnog polja u jednom kabelskom završetku (ugrađena elektroda u obliku lijevka)

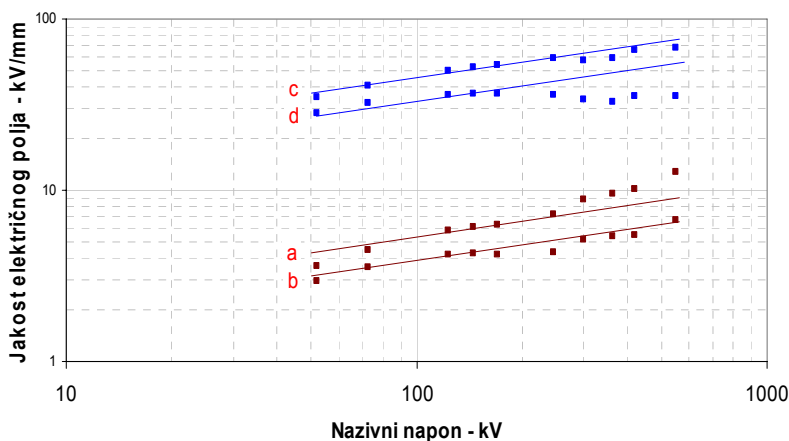
Osim što ovaj element za raspodjelu električnog polja unutar određenog pribora (završetka ili spojnice) mora kontrolirati da ono ne prijeđe određeni izolacijski limit materijala kako kod nazivnog pogonskog napona tako i u slučajevima nastanka kratkotrajnih impulsnih prenapona sa znatno višom amplitudom od nazivne vrijednosti napona. Tako je na slici 5. prikazan nivo jakosti električnog polja unutar izolacije energetskih kabela koje mora biti kontrolirano na kraju kabela pomoću odgovarajućeg kabelskog pribora, izračunato po formulama (1) i (2) objavljenih u [6].

Na ovoj slici crvene točke prikazuju nivo jakosti električnog polja kod nazivnog izmjeničnog pogonskog napona i to:

- a) na unutarnjem promjeru izolacije (iznad zaslona vodiča) - formula (1)
- b) na vanjskom promjeru izolacije (ispod zaslona izolacije) - formula (2)

dok plave točke prikazuju također nivo električnog polja ali kod nazivnog atmosferskog udarnog napona (1,2/50  $\mu$ s) i to:

- c) na unutarnjem promjeru izolacije (iznad zaslona vodiča) - formula (1)
- d) na vanjskom promjeru izolacije (ispod zaslona izolacije) - formula (2)



$$E_1 = \frac{2U_0}{d_{ii} \cdot \ln(D_{io} / d_{ii})} \quad (1)$$

$$E_o = \frac{2U_0}{D_{io} \cdot \ln(D_{io} / d_{ii})} \quad (2)$$

gdje je:

$$D_o = d_i + 2t_i$$

$d_i$  - deklarirani nazivni unutarnji promjer izolacije

$D_o$  - računom određeni nazivni vanjski promjer izolacije

$t_i$  - deklarirana nazivna debljina izolacije

$U_0$  - nazivni fazni napon kojim se određuje vrijednost za ispitne napone

Slika 5: Jakost električnog polja unutar VN energetskih kabela

Najkritičnija vrijednost za dizajniranje kablenskog pribora je električno polje na vanjskoj površini izolacije (električno polje koje je inače jače na manjem promjeru izolacije tj. na granici sa zaslonom vodiča se ne kontrolira u kablenskom priboru) i to kod atmosferskog udarnog napona oblika  $1,2/50 \mu s$  (pravac  $d$  na slici 5). Ova vrijednost električnog polja određuje svojstva elementa za kontrolu električnog polja (deflektora).

Aktualan trend u proizvodnji energetskih kabela pokazuje da će se debljina izolacije i dalje smanjivati. Posebno se ovo odnosi na energetske kabele s tzv. „električki prenapregnutom izolacijom“ i za nazivne napone od 123 kV do 170 kV a koji pokazuju vrlo visoki nivo električnih opterećenja kod udarnog napona koji se mogu već sada uspoređivati s nivoom električnih opterećenja kod 500 kV-tnih kabela. Ovaj porast električnog opterećenja mora se uzeti u obzir kod dizajniranja kablenskog pribora a za već postojeći kablenski pribor zahtjeva ponovno preispitivanje i potvrđivanje dizajna [6].

Dodatna zajednička zadaća koja se postavlja pred kablenski pribor je njegova prilagodljivost svim do sada dostupnim konstrukcijama i dizajnima energetskih kabela.

Međutim, dizajn energetskih kabela prilično je ovisan o zahtjevima korisnika, a pored osnovnih konstrukcijskih elemenata kao što su debljina izolacije ili tip električne zaštite kabela, mogu varirati i slijedeći elementi [7]:

- vodič
- poluvodljivi zaslon vodiča
- izolacijski materijal
- metalni plašt
- mehanička zaštita (armatura)
- vanjski plašt

Konkretna konstrukcija energetskih kabela za visoke napone (VN) i vrlo visoke napone (EVN) nije normirana (standardizirana) pa odatle proizlazi da kablenski pribor mora biti prilagođen za svaki dizajn kabela posebno. Ovo zahtjeva priličnu fleksibilnost dizajna i sustava kablenskog pribora.

Prospektivno, ovo svakog dana dolazi sve više do izražaja budući da sve više distribucijskih i prijenosnih poduzeća odvojeno nabavljaju kabel u odnosu na kablenski pribor.

## 2.1 Završeci za vanjsku ugradnju

Slijedom činjenice da je većina kablenskih završetaka ugrađena na otvorenom prostoru, uvjeti okoline imaju najveći utjecaj na njihove značajke. Zbog ovog razloga, vanjski izolator kablenskog završetka može biti različit obzirom na potrebnu duljinu klizne staze i dužinu izolatora.

Duljina klizne staze ovisi o stupnju onečišćenja okoline i oskudnosti padalina ili čišćenja [8]. Ova klasifikacija je izmijenjena 2008. god. i to tako da je klasa I-IV sada transformirana u klase a-e (vrlo lagana do vrlo teška) s različitim vrijednostima u usporedbi s prethodnim zahtjevima. Nadalje, nagib izolatora kod ugradnje može također imati bitnog utjecaja na definiranje potrebne duljine klizne staze.

Za usporedbu, duljina izolatora je odraz osnovnog izolacijskog nivoa (eng. *BIL-Basic Impulse Level*) za određenu energetska mrežu [9], kao i nadmorske visine na kojoj je završetak ugrađen [10].

Svi ovi faktori moraju se uzeti u razmatranje bez obzira na tip materijala od kojeg je izolator izveden: kompozit ili porculan.

Oba tipa ovih materijala su danas u upotrebi ali trend ide prema kompozitnim izolatorima zbog slijedećih nekoliko razloga:

- sigurnosti u slučajevima kritičnih događaja
- jednostavnije rukovanje
- kraći rokovi isporuke i jednostavnija nabava
- fleksibilniji dizajn



Slika 6: Slobodnostojeći vanjski završeci s kompozitnim izolatorom za vanjsko kućište

U slučaju dizajna "mokrih" slobodnostojećih vanjskih završetaka, njihova unutrašnjost je najčešće punjena tekućim silikonskim uljem, koje sprječava u jednu ruku unutarnja parcijalna pražnjenja uslijed jakog električnog polja, a u drugu ruku održava vlagu na vrlo niskom nivou. Posebno je potrebno naglasiti da u područjima gdje su velike promjene temperatura, napunjeno silikonsko ulje sprječava unutarnju kondenzaciju koja bi mogla rezultirati električnim probojem. Daljnja prednost je da silikonsko ulje ne treba na mjestu ugradnje grijati ili filtrirati, a njegova karakteristika i u slučaju manjeg ulaska vlage je bolja nego za originalna butilenska (butenska) ulja.

Drugi tip slobodnostojećeg vanjskog završetka ne zahtjeva nikakvu tekućinu ili gel kako bi osigurao istu funkciju. U ovom slučaju unutarnja izolacija je posebno oblikovan stožac za kontrolu el. polja koji je zbijen na unutarnje stjenke otvora na završetku. Unutarnji električni kontakt je osiguran opružnim sustavom koji povezuje utični dio s unutarnjim konusom na tijelu završetka. Materijal od kojeg su napravljene unutarnje komponente završetka je kompletno od araldita, što mu osigurava potrebnu čvrstoću. Utični sustav ovog završetka, funkcionalno je usporediv sa suhim utičnim završetkom za postrojenja i omogućava rad završetka pod bilo kojim kutom. Prednosti ove izvedbe završetka su u manjoj duljini kabela potrebnog za izradu završetka, pogodnosti za etapnu izgradnju objekata, gdje se utični dio završetka jednostavno preseli u GIS postrojenje ili transformator itd. Nedostatak ovog rješenja je cijena koja je viša u odnosu na standardnu "mokru" izvedbu završetka.

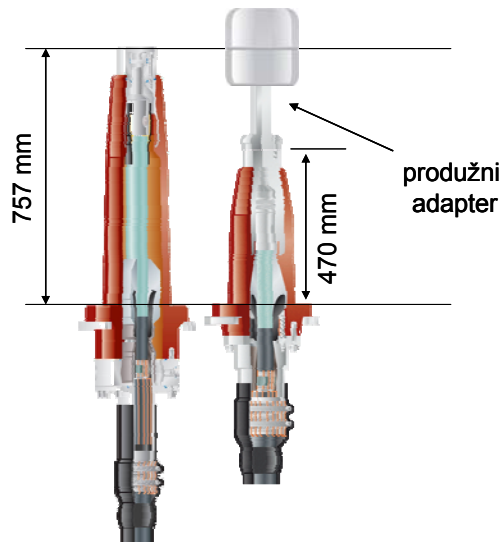
## 2.2 Završeci za postrojenja / transformatore

Ukoliko kabel ne završava vani u zraku, nego unutar aparata ili uređaja, potreban će biti jedan drugi tip brtvenog kraja (završetka). U usporedbi s vanjskim završetkom, glavne komponente i dalje postoje ali je šuplji izolator zamijenjen s izolatorom od araldita s različitom geometrijom. Ova geometrija je usklađena s odredbama norme [11], koja definira vanjski oblik ovog izolatora i garantira da će ovaj dio odgovarati bilo kojem standardiziranom kućištu SF<sub>6</sub> postrojenja ili transformatora. Isto kao i za vanjske završetke, postoje dva tipa završetaka za postrojenja i to: uljem punjena i suha izvedba.

Oba tipa pružaju istu glavnu funkciju ali suha izvedba posjeduje određene prednosti i to:

- ne sadrži nikakvu tekućinu
- rastavljivo priključivanje
- jednostavnija montaža
- moguće neovisno ispitivanje postrojenja i kabela

Ovo su razlozi zbog čega je broj završetaka punjen uljem u stalnom opadanju u odnosu na suhe završetke, čiji je broj u stalnom porastu. Za očekivati je da će uljem punjena verzija završetka u budućnosti igrati vrlo malu ulogu.



Slika 7: Mokra i suha izvedba završetka za postrojenja i transformatore

Dodatno, element za kontrolu električnog polja kod suhe izvedbe završetka, ima poseban oblik. Taj specijalni oblik prilagođen je kako bi u cijelosti odgovarao unutarnjoj geometriji aralditnog izolatora. U položaju kada je jednom ugrađen, ovaj element za kontrolu električnog polja je pritisnut prema stjenkama izolatora, tako da je njihova međusobna dodirna površina slobodna od bilo kakvih šupljina ili zazora ispunjenih zrakom, kako bi se spriječilo stvaranje parcijalnih pražnjenja. Za ove potrebe sustav opruga s potisnom pločom je dizajniran kako bi osigurao dovoljan pritisak za cijeli sustav i u očekivanom životnom vijeku od min. 30 godina. S druge strane, ovo pokazuje da izolator i element za kontrolu električnog polja odgovaraju samo jedan drugome tj. upotreba dva različita dobavljača za ova dva elementa nije moguća.

### 2.3 Spojnice

Slično kao i kod prethodnog pribora, i ovdje su danas prisutna dva različita dizajna spojnica i to: jednodijelni ili tzv. "dizajn jednog komada" i trodijelni ili tzv. "dizajn tri komada".

Jednodijelna spojnica (vidi sliku 7a) kao što joj i samo ime govori, sastoji se od samo jednog tijela. Kontrola električnog polja za oba kraja kabela kao i izolacija prema potencijalu zemlje, integrirana je u jednom komadu. Ovo smanjuje dodirne površine na koje monter mora obraćati pažnju za vrijeme ugradnje spojnice. Ali u usporedbi s trodijelnom spojnicom, sila koja se pojavljuje tijekom ugradnje je viša. Posljedično tome, za vrijeme ugradnje jednodijelne spojnice vjerojatno će biti potreban i specijalni alat za navlačenje.

Trodijelna spojnica (vidi sliku 7b) ima za svaki element kontrole električnog polja, zaseban adapter i jedno glavno izolacijsko tijelo. Kod ugradnje, sva ova tri djela se međusobno spajaju zajedno u jednu cjelinu. Do 145 kV ova ugradnja se obavlja bez bilo kakvog specijalnog alata.



Slika 8: Dizajn spojnice: a) od samo jednog komada, b) od tri komada

Kod naponskog nivoa 170 kV, tlačna sila za ispravnu dodirnu površinu postaje znatno viša, tako da će i za trodijelnu spojnicu upotreba alata za navlačenje biti neophodna. Postojanje odvojenih adaptera daje mogućnost prilagodbe prijelazima između kabela različitih presjeka npr. 300 mm<sup>2</sup> na 630 mm<sup>2</sup>. Dakle, koristit će se isto glavno tijelo spojnice dok će istovremeno na krajevima kabela biti postavljeni različiti adapteri. Daljnji pozitivni argument za trodijelni dizajn spojnice je izbjegavanje potrebe za prostorom potrebnim za privremeno postavljanje (parkiranje) komponenti na energetskom kabeu. U ovom slučaju svi dijelovi se instaliraju direktno na kabeu, a međukorak u obliku privremene zaštite "parkirnog mjesta" na kabeu jednostavno se skida nakon što je tijelo spojnice ugrađeno preko adaptera.

## 2.4 Spojne stezaljke (konektori) za VN kabelski pribor

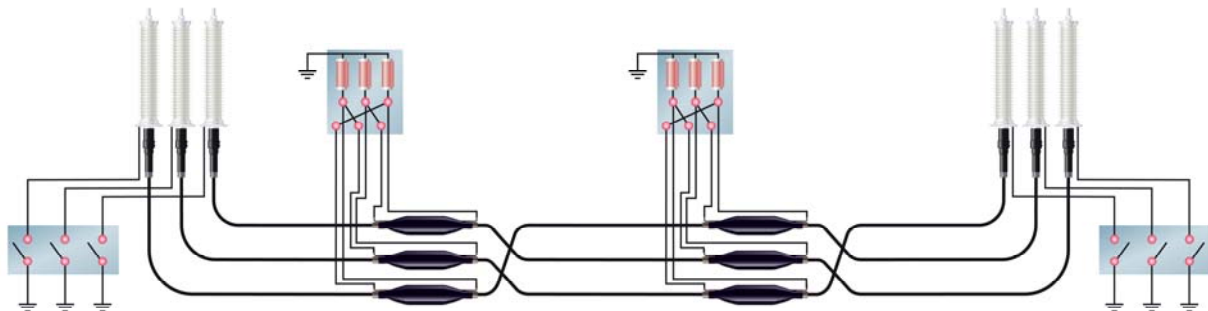
Kompletna paleta kabelskog pribora ima jedan zajednički element, a to je spojna stezaljka (eng. *connector*) [3]. Ovaj element osigurava funkciju spajanja dva kabela međusobno, ili čvrstu priključnu točku za drugu VN opremu kao npr. spoj između završetka i nadzemnog voda. Zbog činjenice da postoji puno različitih konstrukcija vodiča kabela, prisutno je više različitih tehnologija spajanja obzirom na način izvedbe spoja. Danas su najčešće korištene slijedeće tehnologije spajanja vodiča i to:

- prešanjem spojeva
- vijčanim spajanjem
- varenjem vodiča

Spojne stezaljke moraju osigurati potreban strujni kapacitet u slučaju redovnog pogona kao i u slučaju nastanka kratkog spoja, a moraju također biti prilagođene dizajnu kabelskog pribora. U oba slučaja, temperatura stezaljke treba biti ispod temperature vodiča kabela. Da bi se ovo postiglo, neophodan je vrlo niski otpor kontakta, površina stezaljke bez pojave puznih staza u njenoj okolini te visoki toplinski kapacitet stezaljke [12]. U današnje vrijeme za svaki vodič trebala bi postojati i različita spojna stezaljka, ali bi to činilo proizvodnju, skladištenje i ugradnju nepotrebno kompliciranim. Iz tog razloga svi proizvođači spojnih stezaljki streme prema jednoj stezaljci koja može funkcionirati na različitim vrstama materijala za vodič (npr. bakar ili aluminij), konstrukciji vodiča (npr. višezični, jednožični masivni ili Miliken vodič) i uz to treba pokrivati široki raspon presjeka. S tehničke strane gledišta, tehnologija vijčanim spajanjem je najviše obećavajuća, jer na većinu gornjih zahtjeva je dala odgovor. Dodatno, ovaj tip stezaljke ima čvrsti oblik koji ostaje nepromijenjen i nakon njene ugradnje. Stezaljka za prešanje mijenja npr. svoju dužinu i oblik za vrijeme ugradnje. Tehnologija varenja ne mijenja dužinu niti oblik spoja ali je postupak izvedbe spoja kompliciran i dugotrajan. Postoji kabelska spojnica koja se injektira na licu mjesta u kalupu na mjestu zavarenog vodiča i skoro ju nije moguće zamijetiti kasnije na kabeu (Japanska tehnologija izrade spojnice najčešće u tvornici za ostvarivanje većih dužina kabela u jednom komadu, npr. kod podmorskih kabela).

## 2.5 Kutije za spajanje električne zaštite kabela

Energetski kabeu koji se nalaze u pogonu su opterećeni cirkulacijskim strujama ili induciranim naponima, Ove struje u plaštu (el. zaštiti) kabela mogu prouzročiti (ovisno o načinu spajanja krajeva el. zaštite) protjecanje cirkulacijskih struja koje zatim reduciraju strujni kapacitet samog kabela i uzrokuje dodatno zagrijavanje uslijed nastalih gubitaka.



Slika 9: Prikaz karakterističnog kabelskog voda s uključenim spojnim kutijama



Nadalje, u neuzemljenom sustavu jednog kablenskog voda, nedozvoljeni inducirani naponi se moraju pojaviti u ekranu kabela. Za smanjenje bilo kojeg od ovih efekata postoje na raspolaganju različite metode (vidi Tablicu 1):

| Primijenjena metoda                          | Učinak | Zahtjevnost | Troškovi |
|--|--------|-------------|----------|
| Polaganje u ravninu                          | --     | ++          | ++       |
| Polaganje u trolist                          | -      | ++          | +        |
| Povećanje razmaka                            | 0      | ++          | +        |
| Uzemljivanje sustava                         | 0      | 0           | 0        |
| Uzemljivanje el. zaštite samo u jednoj točki | 0      | 0           | 0        |
| Uzemljivanje srednje točke                   | +      | 0           | -        |
| Križanje el. zaštite                         | +      | -           | -        |
| Križanje el. zaštite i preplet kabela        | ++     | --          | --       |

"+" pozitivno, "-" negativno, "0" bez utjecaja

Tablica 1: Mogućnosti za smanjenje gubitaka u električnoj zaštiti kabela

Najveći broj ovih metoda zahtjeva upotrebu spojne kutije (eng. *Link box*) [3] u kojoj se krajevi električne zaštite kabela mogu spojiti s uzemljivačem na taj način da se inducirani naponi i cirkulirajuće struje mogu eliminirati ili ograničiti na prihvatljivu vrijednost.

Kako bi se nosili s tranzijentnim prenaponima, moraju se ugraditi odvodnici prenapona odnosno tzv. "ograničivači napona u električnoj zaštiti kabela". Za ispravnu ugradnju, posebno u slučaju nastanka kratkog spoja, u obzir treba uzeti polaganje kabela, okolnu konfiguraciju i druge postojeće energetske kabele ili instalacije zbog činjenice što u ovom slučaju visoka struja u vodiču određuje max. inducirani napon u metalnoj zaštiti kabela [13]. Tipično takvi izračuni se rade pomoću software-a za simuliranje kao npr. ETP, Cymcap ili neki drugi program [14]. Pored toga, spojne kutije nisu prilagođene samo da udovolje zahtjevu za priključivanje električne zaštite kabela, nego također i uvjetima okoline na mjestu gdje se ugrađuju. Iz tog razloga, su vanjska ugradnja i podzemna ugradnja različiti. Svaki od slučajeva određuje različite zahtjeve na priključnu kutiju (npr. IP - zaštitna klasa, broj i presjek vodiča koji se uvode, način njihovog spajanja, karakteristike odvodnika prenapona i td.).

### 3. ISPITNE METODE I ZAHTJEVI

Za ispitne metode i zahtjeve na VN kabele i kablenski pribor primjenjuju se odredbe najnovijih izdanja dviju međunarodnih normi (eng. *International Electrotechnical Commission*) i to:

- IEC 60840 Ed. 4: Energetski kabele s ekstrudiranom izolacijom i njihov pribor za nazivne napone iznad 30 kV ( $U_m = 36$  kV) pa do 150 kV ( $U_m = 170$  kV), [6]
- IEC 62067 Ed.2: Energetski kabele s ekstrudiranom izolacijom i njihov pribor za nazivne napone iznad 150 kV ( $U_m = 170$  kV) pa do 500 kV ( $U_m = 550$  kV), [15]

Obje ove norme određuju načine i postupke ispitivanja te vrijednosti za električke i neelektričke ispitne vrijednosti, te se ne bave dizajnom i konstrukcijskim rješenjima koja su prepuštena proizvođačima kabela i kablenskog pribora.

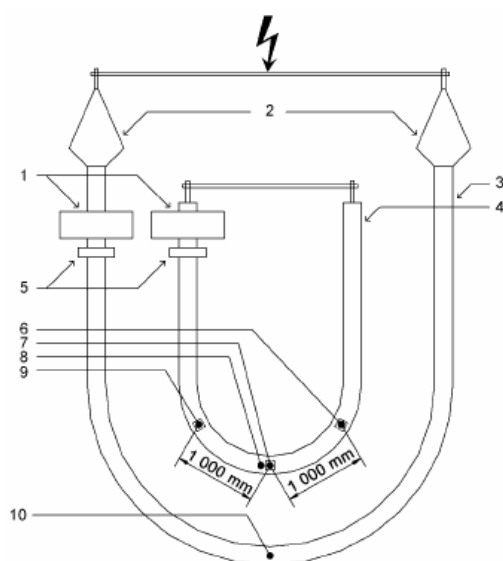
U odnosu na prethodna izdanja ovih dviju normi (Ed.3:2004 za [6]) i (Ed.1:2001 + A1:2006 za [15]) postoje značajne izmjene i dopune u najnovijim izdanjima koje se ukratko mogu sažeti u nekoliko najvažnijih točaka:

1. Pojedine klauzule koje definiraju zahtjeve za ispitivanjima usuglašene su između obje gore navedene norme i imaju iste brojeve i nazivlje radi jednostavnijeg korištenja.
2. Zahtijevani nivo osjetljivosti za kablenski pribor kod komadnog (eng. *routine test*) ispitivanja na parcijalna pražnjenja je s 10 pC smanjen na 5 pC za [15]
3. Ispitivanje samo atmosferskim udarnim naponom ( $1,2/50 \mu s$ ) kod ispitivanja uzoraka kabela (eng. *sample test*) za nazivna električna opterećenja na unutarnjem promjeru izolacije (zaslonu vodiča) > 8,0 kV/mm računata prema formuli (1).
4. Uvodi se novi pojam "Predkvalifikacijskog ispitivanja" (eng. *Prequalification test*) kao i "Proširenje predkvalifikacijskog ispitivanja" (eng. *Extension of the prequalification test*) za kablenski sustav

(kabel i kabelski pribor) za električna opterećenja na unutarnjem promjeru izolacije (zaslonu vodiča)  $> 8,0$  kV/mm odnosno na vanjskom promjeru izolacije (zaslonu izolacije)  $> 4,0$  kV/mm a koja vrijede sve dok električno ispitivanje u kabelu ne prijeđe nazivnu vrijednost uz koju je ispitivanje i obavljeno.

5. Tipiska ispitivanja koja su uspješno obavljena u skladu s prethodnim izdanjima normi [6] i [15] i dalje su važeća
6. Kada su tipiska ispitivanja jednom uspješno provedena na jednom ili više kabelskih sustava određenog presjeka vodiča i istog nazivnog napona i konstrukcije, ona se mogu smatrati važećim i za druge presjeke vodiča, nazivne napone i konstrukcije, samo uz uvjet da su ispunjeni slijedeći uvjeti:
  - a) naponska grupa (isti nazivni napon  $U$  i najviši napon opreme  $U_m$ ) nije veća on naponske grupe za koju je dotični kabelski sustav ispitan
  - b) presjek vodiča kabela nije veći od ispitanog kabela
  - c) kabel i kabelski pribor trebaju imati istu ili sličnu konstrukciju kao što ju ima ispitan kabelski sustav
  - d) proračunato nazivno električno opterećenje kao i nazivno opterećenje kod udarnog napona, koristeći nazivne dimenzije kabela kod zaslona vodiča (promjer preko zaslona), ne prelazi opterećenje u odnosu na ispitivani kabelski sustav za više od 10%.
  - e) proračunato nazivno električno opterećenje kao i nazivno opterećenje kod udarnog napona, koristeći nazivne dimenzije kabela, ne prelazi kod zaslona izolacije opterećenje u odnosu na ispitivani kabelski sustav.
  - f) proračunato nazivno električno opterećenje kao i nazivno opterećenje kod udarnog ispitnog napona, koristeći nazivne dimenzije između glavnog izolacijskog dijela kabelskog pribora (deflektora) kao i na dodirnoj površini između kabela i kabelskog pribora, ne prelazi opterećenje u odnosu na ispitivani kabelski sustav.

Primjer jedne ispitne petlje za tipsko ispitivanje kabela i kabelskog pribora koja se sastoj od unutarnje petlje za mjerenje referentne temperature, te vanjske ispitne petlje za naponsko ispitivanje, prikazan je na slici 9 [6] i [15]



Oznake:

- 1 strujni indukcijски transformatori
- 2 kabelski završeci
- 3 ispitivani kabel
- 4 referentni kabel ( $\geq 10$  m)
- 5 strujni mjerni transformatori
- 6 termosonda 3c (vodič)
- 7 termosonda 1c (vodič)
- 8 termosonda 1s (ekran)
- 9 termosonda 2c (vodič)
- 10 termosonda (ekran)

Slika 10: Primjer jedne ispitne petlje za tipsko ispitivanje kabela i kabelskog pribora prema [6] i [15]

#### 4. ZAKLJUČAK

Ugradnja kabela s krutom XLPE izolacijom danas je već uobičajena praksa koja će se nastaviti i u narednom razdoblju, prvenstveno u zemljama s visokom stopom industrijalizacije, a koju Hrvatska sa svojim potrebama i mogućnostima slijedi već duži vremenski period. Izlazak iz ekonomske krize, dinamičan razvoj urbanih sredina, potreba za dovođenjem veće snage u centre gradova ili industrijske zone, povećanje cijena zemljišta, usvajanje domaće proizvodnje VN kabela te očuvanje okoliša, ovaj će proces još više ubrzati tako da se u narednom desetljeću mogu očekivati zamjene većine postojećih uljnih kabela s novim XLPE kabelima.

Opterećenja izolacije električnim poljem u VN energetskim kabelima će kontinuirano i dalje rasti zbog ekonomskih i tehnoloških razloga. S jedne strane, VN kabelski pribor mora raditi pod tim povišenim opterećenjem, ali s druge strane, susrećemo se s problemom smanjenja kompetentnosti i vještina kod ugradnje kabelskog pribora. Ovdje treba uzeti u obzir i odabir konstrukcije kabela, polaganje kabela te vođenje kompletnog projekta pogotovo u današnje doba kada se 110 kV kabeli već počinju izvoditi kao distributivni kabeli.

Također, odredbe novih međunarodnih normi koje su upravo objavljene i koje će se početi primjenjivati u vrlo skorom periodu, još će više doprinijeti transparentnosti postupaka tipskih ispitivanja kako za "standardne" VN i EVN kabele i kabelski pribor, tako i za one s "električki prenapregnutom izolacijom". U tom procesu može se očekivati i znatniji angažman domaćih instituta, pogotovo uzimajući u obzir vrlo skori ulazak Hrvatske u članstvo EU.

## 5. LITERATURA

- [1] CIGRE-Working Group B1.07: Statistics of AC underground cables in power networks, prosinac 2007
- [2] Z. Pamić, J. Janeš, J. Bošnjak: Nova generacija kabelskih završetaka 110 kV s polimernim kućištem, HO CIGRE Cavtat, listopad 2005
- [3] J. Kindersberger: Silikonelastomere für Kabelgarnituren, Isolatoren und Überspannungsableitern – Profil einer Werkstofffamilie, ETG-Fachtagung „Silikonelastomere“, 2003, pp. 1–9.
- [4] HRN IEC 60050-461: Međunarodni elektrotehnički rječnik - 461. poglavlje: Električni kabeli, srpanj 2001
- [5] J. Bošnjak: Metode kontrolirane raspodjele električnog polja u kabelskom priboru, časopis ELEKTROENERGETIKA br. 4, prosinac 2008
- [6] IEC 60840 Ed. 4.0/CDV:2009 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV( $U_m=36$  kV) up to 150 kV( $U_m=170$  kV) - Test methods and requirements, srpanj 2011
- [7] J. Kaumanns, G. Schröder: Bedeutung von Grenzflächen bei Design, Entwicklung, Prüfung und Inbetriebnahme von Hochspannungs-Kabelgarnituren, ETG-Fachtagung „Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen“, pp. 201–206, 2005
- [8] IEC 60815-3, Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 3: Polymer insulators for a.c. systems, listopad 2008
- [9] IEC 61936-1 Ed. 2.0 b:2010 + Corr 1:2011: Power installations exceeding 1 kV a.c.- Part 1: Common rules, ožujak 2011
- [10] IEC 60071: Insulation co-ordination, prosinac 1996
- [11] IEC 62271-209, Ed. 1.0: High-voltage switchgear and controlgear- Part 209: Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltage above 52 kV-Fluid-filled and extruded insulation cables - Fluid filled and dry-type cable terminations, kolovoz 2007
- [12] IEC 61238-1: Compression and mechanical connectors for power cables for rated voltages up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV) - Part 1: Test methods and requirements, svibanj 2003
- [13] A. Mateljan, J. Bošnjak: Izbor i konstrukcija 110 kV kabela i kabelskog spojnog pribora, 9. savjetovanje HRO CIGRE Cavtat, studeni 2009
- [14] J.R. Riba Ruiz i X. A. Morera: Effects of the circulating sheath currents in the magnetic field generated by an underground power line, International conference on renewable energies and power quality, 2006, Palma de Mallorca
- [15] IEC 62067 Ed. 2.0/CDV: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150 kV( $U_m=170$  kV) up to 500 kV( $U_m=550$  kV) - Test methods and requirements, srpanj 2011
- [16] [www.tycoelectronics.com](http://www.tycoelectronics.com) Tehnički i kataloški podaci proizvođača VN kabelskog spojnog pribora