

Branko Paić, dipl.ing.
ELKA d.d., Tvornica električnih kabela
ZAGREB

R 5.02

OSNOVE STANDARDA ZA ENERGETSKE KABELE

SAŽETAK

Nepostojanje državnih propisa za energetske kabele napona 1 kV do 35 kV, kao i neažuriranje preuzetih JUS standarda za dato područje unosi stanovitu nedorečenost pri izboru konstrukcije i ispitivanja kabela odnosno uvođenju istih u primjenu.

U referatu se daju smjernice za izradu standarda/norme za energetske kabele uvažavajući suvremene međunarodne propise, sa osvrtom na izbor materijala konstrukcije, provedenu tipizaciju i područje primjene.

Daje se pregled mogućih i prijedlog potrebnih ispitivanja posebice u odnosu na provjeru životne dobi kabela, kao i smjernice za atestna ispitivanja i certifikacije.

SUMMARY

The shortage of the state regulations for the power cables of 1 kV to 35 kV voltage, same as not-updating of the taken over JUS standards for the given area, causes a certain dilemma in the selection of the construction and cable testing, i.e. the application introduction of the same.

The report contains the directions for the power cables standards/norms elaboration, considerring the up-to-date international regulations, paying attention to the selection of the construction material, the carried out standardization and the application area.

The survey of the possible and the proposal of the necessary examination is stated, specially considerring the testing of the cable lifetime, same as the directions for attestation examinations and certificates.

Ključne riječi

Energetski kabel, konstrukcija kabela, ispitivanja na kabelima, tipizacija, hrvatska norma.

Key words

Power cable, cable's construction, cable testing, standardization, Croatian standard.

1. UVOD

Stanje na području normizacije jedne zemlje ocrtava stupanj njenog gospodarskog razvitka, a povezanost s međunarodnim institucijama za standardizaciju/normizaciju, njenu uključenost u međunarodnoj gospodarskoj suradnji.

S tog razloga je donošenje zakona o standardizaciji (N.N.br. 53/91) osigurao kontinuitet u primjeni do tada važećih jugoslavenskih standarda, a osnivanje Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (N.N.br. 55/92) uvjete za uključivanje Hrvatske u međunarodnu normizaciju.

Preuzimanje JUS standarda kao hrvatskih državnih normi je na području elektroenergetike samo privremeno riješilo pitanje normizacije, što se praktično očituje u zatvorenosti unutar sebe, trenutačno bez organizacijske povezanosti s međunarodnim institucijama za standardizaciju (ISO) i normizaciju (IEC). Komisije/Tehnički odbori pri DZNM nisu uspostavljene u cijelosti za sva ISO i IEC područja što otežava rad na izradi i usvajanju hrvatskih normi.

Trenutačno stanje na području normizacije elektroenergetskih kabela napona 1 kV do 35 kV su četiri (4) JUS standarda i dvije (2) granske norme HEP, tj:

- JUS N.C5.220: Kabeli izolirani PVC-om
- JUS N.C5.230: Kabeli izolirani PE i XLPE
- JUS N.C5.240: Kabeli izolirani EPR-om
- JUS N.C5.350: Samonosivi kabelski snop
- HEP BILTEN br. 22/93: TU za kabele 1 kV do 35 kV
- HEP BILTEN br. 31/93: TU za samonosivi kabelski snop.

Standardi su praktički zastarjeli budući da od izlaženja (1983) nisu mijenjani u smislu IEC standarda i tehničkih novina prihvatljivih od drugih nacionalnih standarda (npr. DIN VDE). HEP granske norme djelomično obuhvaćaju normizaciju kabela i takove nisu prihvatljive kao nositelji normizacije energetskih kabela.

Nositelj Normizacije elektroenergetskih kabela mora biti DZNM, što treba osigurati osnivanjem odgovarajuće Komisije / Tehničkog odbora, to prije što su pretpostavke za to u potpunosti osigurane. Ovaj referat ima za svrhu omogućiti uvid u problematiku normizacije energetskih kabela te dati smjernice za izradu odgovarajućih normi.

S te strane obrađeno je područje energetskih kabela u pogledu mogućih konstruktivnih izvedbi, primjenjenih materijala, predviđenih postupaka ispitivanja, te prijedlog hrvatske norme za energetske kabele.

2. MEĐUNARODNA NORMIZACIJA NA PODRUČJU ENERGETSKIH KABELA

Osnovni standard za područje energetskih kabela je IEC 502 standard (L1), dok su ostali nacionalni standardi (L3, L4, L5) uglavnom u suglasnosti s IEC 502, a standardi (L8 i L9) većim dijelom su podudarni s IEC 502.

S druge strane određena istraživanja u okviru stručnih međunarodnih i nacionalnih institucija (L7, L10, L11) ukazuju na opravdanost uvođenja novih

3. PREGLED ZAHTJEVA NA KONSTRUKCIJU ENERGETSKIH KABELA

3.1 Materijali za izradu kabela

3.1.1. Vodiči

Većina standarda omogućuje primjenu bakrenih i aluminijskih vodiča, u pravilu kao jednožične do i 16 mm^2 , a višezične od 25 mm^2 na više; kao sektorske iznad 35 mm^2 za 1 kV i 10 kV kabele, a okrugle za 20 kV i 30(35 kV) kabele.

Izuzetno DIN VDE 0272 (L5) propisuje samo vodiče iz aluminija jednožične okrugle do 35 mm^2 a jednožične sektorske (solidni vodič) za veće presjeke.

U pravilu svi standardi u pogledu izvedbe vodiča su sukladni s IEC 226: Conductors of insulated cables.

3.1.2. Vrste izolacija

Može se reći da gotovo svi važniji polimeri imaju mjesta kao izolacije energetskih kabela. Ipak obzirom na naponski nivo primjene mogu se diferencirati pojedini polimeri kao osnovne kabelske izolacije:

PVC se u pravilu primjenjuje na naponskom nivou 1 kV, rjeđe na 6 kV a gotovo je istisnut sa područja 10 kV, s tim da se na nivou većem od 1 kV primjenjuje PVC više izolacijske klase (L1, L4). Umreživi polietilen (XLPE) je dominantan na naponskom području 10 kV i višem i tu izolacija odnosi na sebe domet

3.1.5. Materijali za električnu zaštitu/ekrane kabela

Distributivni energetska kabela s PVC izolacijom za napon 10 kV, te kabela s XLPE izolacijom za napon 6 kV i više imaju u svrhu radijalnog polja u izolaciji ugrađene nemetalne poluvodljive slojeve preko vodiča i preko izolacije, materijala istovrsnog vrsti izolacije, te metalni ekran preko izolacije odnosno preko pouzrenog jezgra kabela (samo za 6 i 10 kV kabele). Metalni ekran uobičajeno je u obliku obavijenih bakrenih žica ili bakrenih traka (L3, L4, L8, L1), ali je prihvatljiva i primjena aluminijskih žica i traka uz dodatnu zaštitu od korozije (L1).

3.2. Konstruktivne izvedbe energetskih kabela

Prema važećim međunarodnim i nacionalnim normama moguće su i najčešće su u primjeni slijedeće izvedbe energetskih kabela:

3.2.1. Kabela s izolacijom i plaštom od PVC, 1 kV

- nearmirani (L1, L4)
- armirani čeličnom poc.okruglom žicom (L1, L4)
- armirani čeličnom poc.plosnatom žicom (L1, L4)
- armirani s 2 čelične trake (L1)

Kabela mogu biti jednožilni, višezilni (2 do 5 žila) i mnogožilni (6 do 60 žila), prema Sl.1.

3.2.2. Kabela s izolacijom od XLPE i PVC plaštom, 1 kV

- nearmirani (L1, L5)
- armirani čeličnom pocinčanom okruglom žicom (L1)
- armirani čeličnom.poc.plosnatom žicom (L1, L5)
- armirani s 2 čelične trake (L1)

Kabela mogu biti jednožilni, višezilni i mnogožilni, prema Sl.1.

3.2.3. Kabela s izolacijom od PVC (XLPE) i plaštom od PVC (kera)

4. PROVJERA KVALITETE ENERGETSKIH KABELA

Dostignuti nivo kvalitete energetskog kabela te održavanje postojanosti dostignute kvalitete, za nesmetanu primjenu u projektiranim uvjetima eksploatacije kabela, je osnovni cilj svih kontrolnih postupaka predviđenih u ispitivanju kabela. U tom smislu vrši se provjera svih materijala, konstruktivnih karakteristika i pogonskih karakteristika kabela. U nastavku daje se pregled ispitivanja na kablama prema IEC 502 (L1) koja su razvrstana u tri grupe: rutinska ispitivanja, tipska ispitivanja i ispitivanja nakon polaganja.

4.1. Rutinska ispitivanja

Provode se na proizvodnim duljinama kabela i na uzorcima u svrhu provjere kvalitete kabela pripremljenih za isporuku a sadrže:

- a) mjerenje električnog otpora vodiča
- b) mjerenje parcijalnih pražnjenja na kablama napona $\geq 3,6/6$ kV
- c) visokonaponsko ispitivanje izmjeničnim ili istosmjernim naponom
- d) kontrolu izvedbe vodiča
- e) mjerenje debljina izolacije
- f) mjerenje debljine poluvodljivih slojeva
- g) mjerenje promjera i broj metalnih žica, debljine i širine metalnih traka
- h) mjerenje debljina plašta
- i) mjerenje vanjskog promjera kabela
- h) visokonaponsko ispitivanje kroz 4 sata na kablama napona $\geq 3,6/6$ kV.

Ispitivanja pod d) do h) nisu obvezna i provode se samo u dogovoru s kupcem.

Ova ispitivanja se provode na uzorcima kabela u svrhu provjere tipa kabela kod izmjena u konstrukciji ili u ugradbenom materijalu. Sastoje se od električkih i neelektričkih ispitivanja.

4.2.1. Tipska električka ispitivanja

- a) mjerenje parcijalnog pražnjenja
- b) provjera radijusa savijanja uz mjerenje parcijalnih pražnjenja
- c) mjerenje $\text{tg} \delta$ u ovisnosti o naponu
- d) mjerenje $\text{tg} \delta$ u ovisnosti o temperaturi
- e) mjerenje parcijalnih pražnjenja nakon cikličkog grijanja
- f) ispitivanje udarnim naponom
- g) visokonaponsko ispitivanje kroz 4 sata
- h) ispitivanje izolacijskog otpora na kablama napona $0,6/1$ kV.

U okviru tipskih ispitivanja DIN VDE 0273 A1/91 Entwurf predviđa: "Dugotrajno električno ispitivanje" kabela izmjeničnim naponom u 4 grupe ispitivanja ukupnog trajanja 1 godine. Ispitivanje se provodi na 10×10 m uzorku kabela nazivnog napona 20 kV presjeka 150 mm^2 u aluminiju s izolacijom od XLPE, u

R 5.02

standardnoj "vodopropustnoj" izvedbi. Temperatura vodiča ispunjenog vodom se održava na 50 - 65°C; voda je prisutna i na površini izolacije. U prvoj grupi ispitivanja ispituje se izmjeničnim naponom od početno 48 kV do 300 kV, pri čemu probojna čvrstoća kabela ima nazivnu vrijednost, po Weibullovoj raspodjeli, veću od 180 kV. U drugoj grupi ispitivanja vrši se dugotrajno

(veličina, gustoća i oblik).

Slično ispitivanje je propisano AEIC (L5) standardom na 15 kV kabelu presjeka 54 mm² na 6x5 m, temperatura vodiča je 90°C. Ukupno trajanje ispitivanja je 2 godine. Određuje se postojanost na ispitivanje naponom 26 kV nakon 120 dana te nivo i slika parcijalnih praznjenja nakon 2 godine.

4.2.2. Tipiska neelektrička ispitivanja

- a) ispitivanje mehaničkih karakteristika izolacije prije i nakon starenja
- b) ispitivanje mehaničkih karakteristika plašteva prije i nakon starenja
- c) ispitivanje starenjem na uzorku gotovog kabela
- d) gubitak mase na PVC plaštevima
- e) ispitivanje PVC izolacije na povišenim temperaturama
- f) ispitivanje PVC izolacije i plašta na niskim temperaturama
- g) ispitivanje PVC izolacije i plašta na toplotni udar
- h) ispitivanje XLPE izolacije na toplotnu deformaciju
- i) otpornost kabela na širenje plamena (po posebnom

(L3)

Isto tako potrebno je uvažiti sva praktična domaća iskustva u izboru i primjeni energetskih kabela. Obzirom na istovrstnost materijala za izradu kabela i ispitivanja u većem dijelu poželjno je da se jednom normom obuhvate sve izvedbe kabela za sva naponska područja od 1 kV do 35 kV.

Takodjer se predlaže usvajanje svih metoda i postupaka ispitivanja prema odgovarajućim važećim JUS propisima, naravno prenešenih u novu nomenklaturu prema budućim prijedlozima DZNM. Na taj način moguće je u relativno kratkom roku osigurati izradu i uvođenje novih hrvatskih normi za područje elektroenergetskih kabela.

5.1. Prijedlog konstrukcije energetskih kabela

5.1.1. Naponski nivo 0,6/1 kV

- Vodiči za energetske kabele bili bi uključivo iz aluminija u pravilu uže kl.2, okrugli do 35 mm² a sektorskog oblika od 50 mm² na više. Jednožilni vodiči ne bi bili prihvatljivi s razlog isključive nabavke takovih vodiča izvan zemlje, a da danas nemaju veću primjenu u mreži hrvatske distribucije.

- Izolacija kabela prvenstveno bi bio XLPE, s razloga više termičke klase (90°C) u odnosu na PVC (70°C) i praktički niže strujne cijene.

- Armatura (mehanička zaštita) kabela iznimno bi se primjenjivala u posebnim slučajevima, a izrađena bi bila od čelične okrugle pocinčane žice.

- Za vanjski zaštitni plašt kabela primjenio bi se PVC povišene stabilnosti.

Obzirom na iznešeno i dosadašnja praktična iskustva može se dati tipična konstrukcija kabela za naponski nivo 0,6/1 kV sa oznakom za:

- standardni tip: XP00-A

- posebni tip: XP44-A

Tipični presjeci vodiča kabela bili bi:

25 mm², 50 mm² i 150 mm²

5.1.2. Naponski nivo 6/10-12/20 i 20/35 kV

- Vodiči kabela bili bi isključivo iz aluminija osim u posebnim slučajevima polaganja (npr. kod podmorskih kabela) gdje se predlaže primjena bakrenih vodiča iz niza opravdanih razloga. Oblik vodiča je u svim izvedbama okruglo kompaktirano uže kl.2.

- Izolacija kabela je isključivo XLPE i tu nema druge zamjene. Izuzetak su posebni slučajevi polaganja u izrazito teškim uvjetima rada (vibracije i sl.) gdje se može primjeniti EPDM-etilen propilen.

- Izvedba energetske žile je isključivo H-tipa, dakle s poluvodljivim slojem ispod i iznad izolacije i električnom zaštitom od bakrenih žica ili bakrene trake.

- Preporučuje se vodonepropustna izvedba električne zaštite kabela u smislu značajnog povećanja otpornosti na nastajanje water-treeing u izolaciji kabela kod oštećenja vanjskog plašta.

- Kod trožilnih kabela preporučuje se nearmirani tip, a izuzetno se može

ugraditi armatura od pocinčane čelične okrugle žice.

- Vanjski plašt kabela bio bi kod trožilnih kabela toplinski stabilizirani PVC, a kod jednožilnih PE niske gustoće (LDPE).

Tipična oznaka kabela bila bi za:

- standardni tip: XHP 48-A za trožilne izvedbe

- XHE 49-A za jednožilne izvedbe
- posebni tip: XHP 84-A za trožilnu izvedbu.
Tipični presjek vodiča bio bi 185 mm^2 za sve naponske nivoe i izvedbe.

5.2. Prijedlog ispitivanja na energetskim kabelima

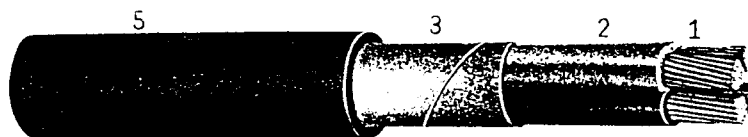
Sva ispitivanja na energetskim kabelima morala bi biti u suglasnosti s IEC 502. Predlaže se prihvaćanje ispitivanja na kabelima prema 4.1. a)

- kod 4.1.b): za ispitivanje parcijalnih pražnjenja uzeti kriterij: Ispitni napon $2 U_0$, nivo parcijalnih pražnjenja $\leq 5 \text{ pC}$.
- isto i kod 4.2.1. a) i 4.2.1. e)
- u tipskim ispitivanjima unijeti i ispitivanje na "dugotrajno električno ispitivanje" prema prijedlogu u DIN VDE 0273 A1
- u tipskim ispitivanjima unijeti i ispitivanje vodonepropusnosti kabela prema DIN VDE 0472 T 811 tip B
- ispitivanje plašta kabela nakon polaganja prema IEC 229.

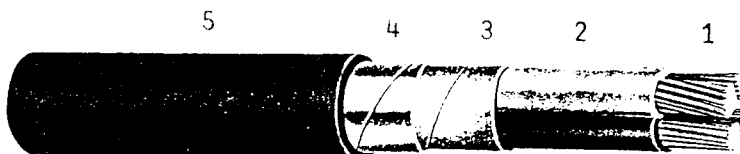
6. ZAKLJUČAK

Izradi hrvatskih normi za energetske kabele napona 1 kV do 35 kV mora se pristupiti čim prije u cilju osiguranja tehničkih zahtjeva za izbor, nabavku, promet i primjenu energetskih kabela na hrvatskom tržištu. U tom smislu potrebno je pokrenuti aktivnost pri DZNM za osnivanje odgovarajuće IEC Tehničke komisije.

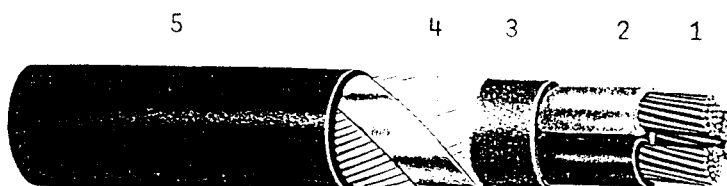
Hrvatske norme za energetske kabele treba usuglasiti s zahtjevima IEC 502 standarda uz odgovarajuće dopune u smislu osiguranja višeg kvaliteta.



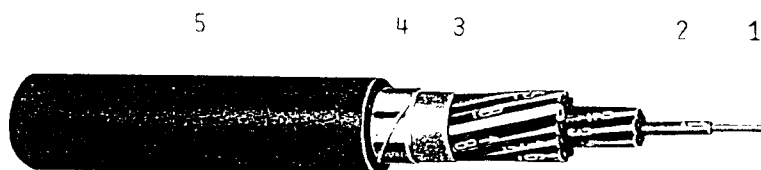
Sl.1.1.1. Kabel nearmirani



Sl.1.1.2. Kabel armiran s dvije čelične trake



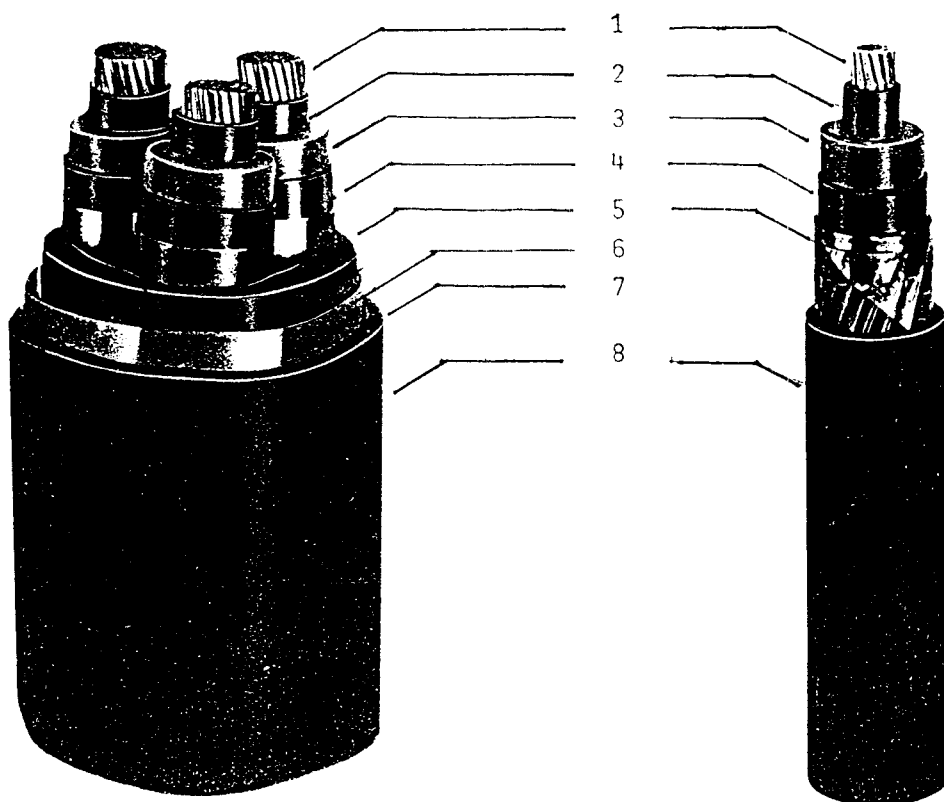
Sl.1.1.2.3. Kabel armiran čeličnom okruglom pocinčanom žicom



Sl.1.1.4. Kabel višežilni, armiran s dvije čelične trake

- 1 - vodič
- 2 - izolacija
- 3 - ispuna
- 4 - armatura
- 5 - plašt

Sl.1. Izvedbe energetskih kabela napona 0,6/1 kV



Sl.2.1. Kabel armiran s dvije
čelične trake

Sl.2.2. Kabel nearmiran

- 1 - vodič
- 2 - poluvodljivi sloj
- 3 - izolacija
- 4 - poluvodljivi sloj
- 5 - električna zaštita
- 6 - unutrašnji plašt
- 7 - armatura
- 8 - vanjski plašt

Sl.2. Izvedbe energetskih kabela za napone
6/10 - 12/20 i 20/35 kV

7. LITERATURA

11. IEC 502/93.: Extruded solid dielectric insulated power cables for rated voltages from 1 up to 30 kV
12. Bilten br. 22/93 - HEP: Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona 1 kV do 35 kV.
13. DIN VDE 0273/12.87 i Entwurf A1/2.91: Kabel mit Isolierung aus vernetztem Polyethylen Nennspannungen: U_0/U 6/10, 12/20
14. DIN VDE 0271/86: Kabel mit Isolierung und Mantel aus thermoplastischem PVC mit Nennspannungen bis 6/10 kV.
15. DIN VDE 0272/89: Kabel mit Isolierung aus vernetztem Polyethylen: Nennspannung: U_0/U 0,6/1 kV.
16. DIN VDE 0298/Teil 1 - Entwurf 1.90: Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen. Allgemeines für Kabel mit Nennspannungen U_0/U bis 18/30 kV.
17. Guidelines for tests on high voltage cables with extruded insulation and laminated protective coverings - WG 14 of SC 21, Conv. H.Furusawa, ELECTRA No.141, April 1992.
18. ICEA S 66-524/91: "Cross-Linked Thermosetting Polyethylene Insulated Wire and Cable for the Transmission and Distribution of Electrical Energy".
19. AEIC CS5-87: Specifications for thermoplastic and cross-linked polyethylene insulated Shielded power cables rated 5 through 35 kV (9th edition).
110. R.G.Schroth, W.Kalkner, D.Fredvich: Prüfverfahren für die Beurteilung des "water tree" - Alterungsverhaltens extrudierter Kabelisolierungen; CIGRÉ - Reports 15/21-01, 1990 Session.

