

Sandro Dubrović
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
sandro.dubrovic@hep.hr

Mladen Volarić
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
mladen.volaric@hep.hr

Davor Španjol
HEP ODS, Elektroprimorje Rijeka
davor.spanjol@hep.hr

POGONSKA ISKUSTVA NA ODRŽAVANJU EHP KABELA NAKON ISTEKA ŽIVOTNOG VIJEKA

SAŽETAK

Prvi jednožilni 20 kV kabeli sa izolacijom od termoplastičnog polietilena (EHP kabeli) počeli su se ugrađivati u SN mrežu Elektroprimorja Rijeka polovicom 70-ih godina prošloga stoljeća. Unaprjeđenjem izvedbe materijala izolacije (umreženi polietilen) i razvojem vodonepropusne zaštite u SN kabelima pojavili su se noviji kabeli na tržištu (tip kabela XHP, a nakon toga i XHE) koji su se masovno počeli ugrađivati sve do danas. Tijekom godina, u pogonu 10 kV mreže, a pogotovo nakon prelaska većeg dijela mreže na 20 kV, pojavljuju se sve češći ispadi i problemi u pogonu uzrokovani kvarovima na postojećim EHP kabelima. U referatu se opisuju pogonska iskustva na održavanju EHP kabela te je dan osvrt na teoretske i praktične razloge zbog kojih do kvarova dolazi, poglavito u domeni neadekvatne vodonepropusne zaštite.

Ključne riječi: SN kabel, EHP kabel, istek životnog vijeka, kvar

OPERATIONAL EXPERIENCE OF EHP CABLE MAINTENANCE AFTER LIFE CYCLE END

SUMMARY

The first 20 kV single-core thermoplastic polyethylene insulated cables (EHP cables) were installed in the MV network of Elektroprimorje Rijeka in the mid-70s of the last century. With the advancement of the insulation material (cross-linked polyethylene) and the development of waterproofing in MV cables, more advanced cable types have emerged (XHP cable, and subsequently XHE cable), and massive installation has begun that lasts until today. Over the years, 10 kV network operation has been experiencing more frequent outages and operational problems caused by failures on existing EHP cables, especially after the transition of most of the MV network to 20 kV. The paper describes the operational experience of EHP cable maintenance and gives an overview of the theoretical and practical reasons why the failures occur, especially due to inadequate waterproofing.

Key words: MV cable, EHP cable, life cycle end, failure

1. UVOD

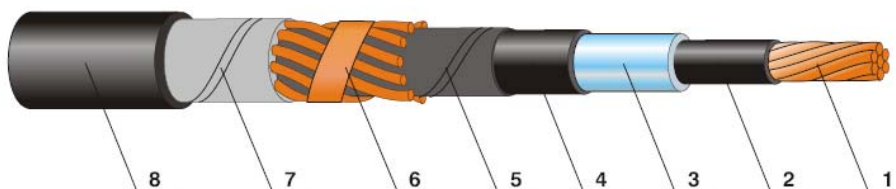
Prema uputama, katalogima i izjavama većine proizvođača deklarirani životni vijek 20 kV energetskih kabela sa izolacijom od ekstrudiranog sloja termoplastičnog polietilena (tip kabela EHP) je 40 godina. EHP kabeli u Elektroprimorju Rijeka polagani su polovicom 70-ih godina prošloga stoljeća, pa dolazimo do zaključka da su gotovo svi kabeli EHP tipa pri kraju ili su već prešli deklarirani životni vijek.

Postupno praćenje stanja, odnosno degradacije izolacije moglo bi se pratiti kontinuiranim motrenjem (uređaji za „monitoring“) ili usporedbom ranije izvršenih rezultata ispitivanja s novoostvarenim rezultatima. Kontinuirano motrenje („monitoring“) srednjenaponskih (u daljnjem tekstu: SN) kabela u Hrvatskoj je vrlo malo zastupljeno, a i periodička ispitivanja vrše se u specifičnim slučajevima. Ispitivanja se vrše nakon polaganja odnosno prije samog uključanja SN kabela u probni rad ili trajni pogon. Krenuvši od polazišta da su tvornička ispitivanja i ispitivanje prije prvoga puštanja u pogon dala pozitivne rezultate, dolazimo do zaključka da je analiza kvarova, odnosno uzroka nastanka kvarova pokazatelj koji daje najrealniju sliku o stanju EHP kabela, kao i kvalitete izrade i korištenja kabelskog pribora (spojnice i završetci).

2. KONSTRUKCIJA SN KABELA SA POLIETILENSKOM IZOLACIJOM

2.1 OPĆENITO

Novim konstruktivnim značajkama i razlikama u proizvodnji SN kabela sa polietilenskom izolacijom novije generacije (tip XHE) umnogome su se popravila električka i mehanička svojstva u odnosu na tip EHP pa dijelom i na njegova nasljednika tip XHP. Na slici 1. je prikazana konstrukcija SN kabela tipa XHE, a u tablici I. konstruktivne značajke tri najčešće polagana i korištena tipa SN kabela Hrvatskoj u posljednjih 50 godina (EHP, XHP i XHE).



Slika 1. Konstrukcija SN kabela tipa XHE 49-A

Tablica I. Konstruktivne razlike tri jednožilna tipa kabela [2]

Element konstrukcije kabela	Tip kabela		
	EHP 48-A	XHP 48-A	XHE 49-A
1. Vodič	Al uže, zbijeno klase 2	Al uže, zbijeno klase 2	Al uže, zbijeno klase 2
2. Zaslon vodiča	Vodljivi PE	Vodljivi XLPE	Vodljivi XLPE
3. Izolacija	PE	XLPE	XLPE
4. Zaslon izolacije	Grafit + vodljiva traka	Brizgani vodljivi XLPE	Brizgani vodljivi XLPE
5. Separator	/	/	Bubriva vrpca
6. Zaslon kabela	2 Cu trake	Cu žice + Cu traka	Cu žice + Cu traka
7. Separator	/	/	Bubriva vrpca
8. Vanjski zaštitni plašt	PVC	PVC	HD PE

2.2 POBOLJŠANJE ELEKTRIČNIH I MEHANIČKIH SVOJSTAVA

Tijekom godina eksploatacije SN kabela uočene su „slabe točke“ unutar svakoga elementa konstrukcije kabela, te su proizvođači kabela s vremenom usavršili nove tehnologije i prihvatili primjenu novih materijala u proizvodnji. U nastavku su navedene najznačajnije promjene u primjeni materijala i tehnologiji izrade pojedinih elemenata koje su dovele do poboljšanja u praktičnoj upotrebi novijih tipova kabela:

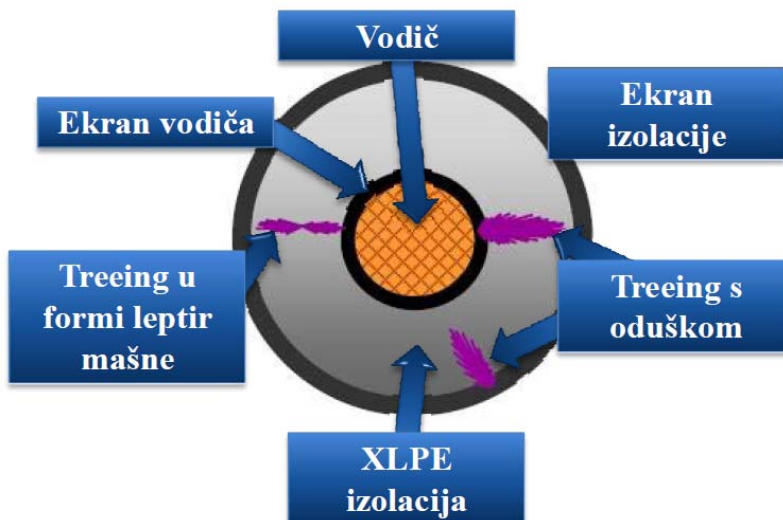
- Vodič kabela - za sva tri tipa kabela (EHP, XHP i XHE) koristi se zbijeno Al užje, klase 2; s obzirom da je došlo do promjene materijala u elementu izolacije, usporedo s time izmijenilo se dozvoljeno temperaturno naprezanje vodiča - za EHP kabele je 70 °C, dok je za kabele tipa XHP i XHE 90 °C,
- Materijal izolacije - Izolacija kod kabela tipa EHP izrađena je od ekstrudiranog sloja termoplastičnog polietilena (PE) dok je kod kabela tipa XHP i XHE izrađena od ekstrudiranog sloja umreženog polietilena (XLPE); promjena materijala izolacije, odnosno korištenje umreženog polietilena (pravilno izgrađeni lanci C-H veza) rezultiralo je s značajnim poboljšanjem temperaturnih svojstava, mehaničkih svojstava (prekidne čvrstoće), što ima za izravnu posljedicu poboljšanje dielektrične čvrstoće i električnog otpora; također, manja dielektrična konstanta ϵ_r u umreženom polietilenu ima za posljedicu manji kapacitet i manje gubitke kabela,
- Zaslona izolacije - U vrijeme kada su se počeli proizvoditi EHP kabele nije bila poznata tehnologija trostrukog ekstrudiranja (istovremeno ekstrudiranje zaslona vodiča, izolacije i zaslona izolacije) tj. zaslona izolacije rađen je naknadno na način da se grafitna prašina omotala vodljivom trakom; upravo takav način izrade doveo je do najvećih problema tijekom eksploatacije, nakon ulaska vode ispod vanjskog plašta postoji velika mogućnost da voda ispire grafitnu prašinu i dolazi izravno na izolaciju što dovodi do postupne pojave vodenih grančica („water treeing“), a time i do proboja kabela; primjenom trostrukog ekstrudiranja na proizvodnji XHP, a kasnije i na XHE kabele uveliko se smanjio problem ulaska vode, a izravno s time i problem pojave vodenih grančica i proboja,
- Separator (vodonepropusna zaštita) - EHP i XHP kabele nemaju ugrađenu vodonepropusnu zaštitu kabela što rezultira jakim i nekontroliranim prodorom vode duž zaslona izolacije ukoliko dođe do puknuća vanjskog plašta; razvojem i ugradnjom separacijskih vodobubrivih traka (tip kabela XHE) zaustavio se nekontrolirani prodor vode u slučaju puknuća vanjskog plašta, brzina bubrenja ovih traka je 10-15 mm/min i gotovo istodobno se stvara barijera od nastalog gela (miješanjem vode i bubrivih traka) koja sprečava daljnje uzdužno širenje kroz zaslona kabela,
- Vanjski zaštitni plašt - EHP i XHP kabele imaju vanjski zaštitni plašt izrađen od PVC-a, a XHE kabele od HD polietilena; HD polietilen se pokazao kao čvršći i otporniji na udarce i habanje, a osim navedenog HD polietilen ima svojstvo upijanja vode 25 puta manje od PVC-a.

3. NASTAJANJE KVAROVA U POLIETILENSKOJ IZOLACIJI SN KABELA

U potpoglavlju 2.2 opisani su razlozi zbog kojih dolazi do ulaska vode do izolacijskog sloja u SN kabele tipa EHP. Ulazak vode ima za posljedicu slabljenje izolacije, tj. stvaranja vodenih grančica („water treeing“).

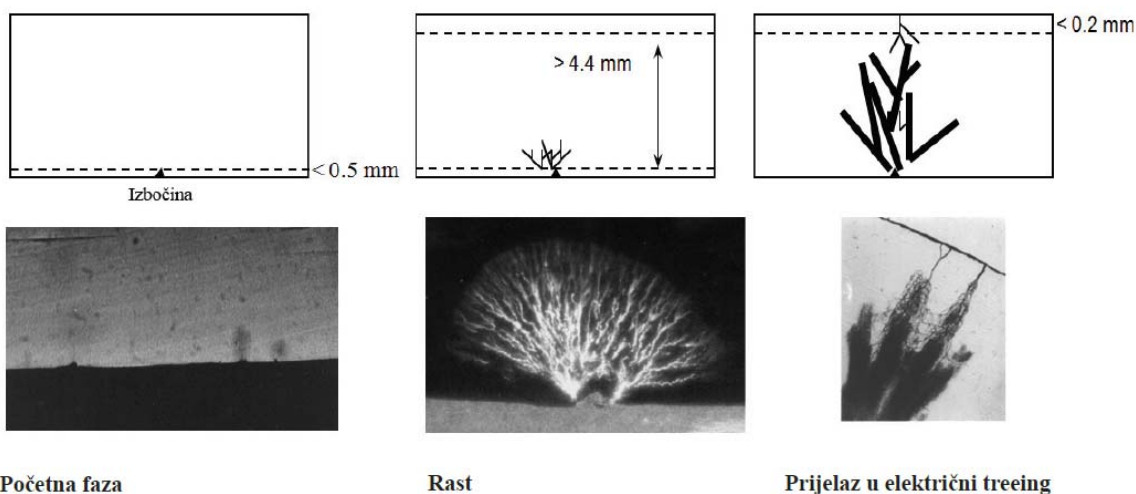
Postoje dvije vrste „treeinga“ koje se javljaju u polietilenskoj izolaciji – prikazano na slici 2.:

- „Water treeing“ (vodene grančice) s oduškom se širi u izolaciju sa zaslona vodiča ili zaslona izolacije; u početku je u svojoj naravi dielektričan, ali nakon što iznenadno „premosti“ dva zaslona postaje vodljiv i dovodi do brzog kvara; vodeni „treeing“ se obično začinje na neravninama prisutnim na sučelju zaslona/izolacija,
- „Water treeing“ (vodene grančice) koji ima formu leptir mašne odvija se u izolacijskom tijelu i začinje se na u njemu prisutnim mikrošuplinama i nečistoćama; ovaj „treeing“ je u svojoj naravi dielektričan i sam po sebi ne može dovesti do kvara kabela.



Slika 2. Vodena drvca („treeing“) u polimernoj izolaciji

U općem slučaju, vodeni „treeing“ ne predstavlja direktni uzrok kvara kabela, nego su to električni „treeinzi“ (lokalni samošireći proboji koji se javljaju na mjestima visokog električnog naprežanja bez prisustva vode) koji se javljaju na vrhovima vodenog „treeinga“ (slika 3.). Električni „treeing“ je jedan od najčešćih uzroka kvara u polimernoj izolaciji. Riječ je o fenomenu koji se javlja u slučaju ekstremno nehomogene raspodjele električnog polja, na mjestima koncentracije električnog naprežanja: šupljine, izbočine, primjese i vrhovi vodenog „treeinga“. Budući da imaju razgranatu strukturu koja se, duž linija električnog polja širi u formi drveta, fenomen se naziva električni „treeing“. Kad se jedanput začne, ne može se zaustaviti i kabel u konačnici doživljava kvar.

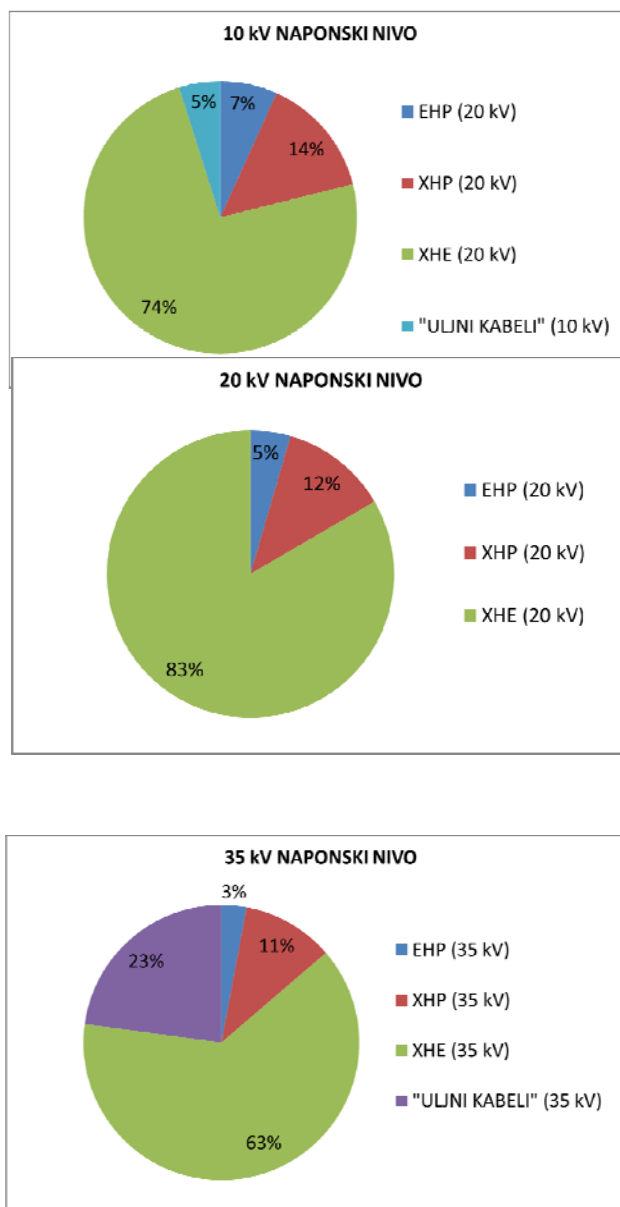


Slika 3. Prijelaz iz vodenog u električni „treeing“ [1]

4. ANALIZA KVAROVA NA PRAKTIČNIM PRIMJERIMA ELEKTROPRIMORJA RIJEKA

4.1 UDIO TIPOVA KABELA U 10 kV, 20 kV i 35 kV MREŽI

Na slici 4. prikazan je udio pojedinih tipova kabela (uključujući i tzv. „uljne“ kabele) u 10 kV, 20 kV i 35 kV mreži Elektroprimorja Rijeka. Veći dio mreže Elektroprimorja je pod naponom 20 kV i upravo je taj dio kableske mreže najzanimljiviji za analizu i promatranje s obzirom da je izolacija tih kabela pod dvostruko većim naprežanjem nego što je bila dugi niz godina prije prelaska na 20 kV.



Slika 4. Udio pojedinih tipova kabela u 10 kV, 20 kV i 35 kV mreži Elektroprimorja

Na 10 kV i 20 kV naponskoj razini udio EHP kabela je 5%, dok je na 35 kV naponskoj razini samo 3%. Indikativno je da je udio EHP kabela u mreži relativno mali, a broj kvarova upravo na toj vrsti kabela je najveći. Prema statistikama u posljednjih 5 godina broj kvarova na SN kabelskoj mreži je najveći na tipovima kabela EHP – preko 50% svih kvarova u 10 kV, 20 kV i 35 kV kabelskim mrežama je na kabelima ovoga tipa.

4.2 KARAKTERISTIČNI KVAROVI

Ako isključimo utjecaj vanjskih čimbenika (proboji kabela uzrokovani vanjskom silom – građevinski radovi i sl.), najmanji broj kvarova na EHP kabelima je na kabelskim završecima, slijede mjesta spajanja (spojnice), a najveći broj kvarova je na samom kabelu. Ovakva statistika ide u prilog prije

obrazloženim razlozima nastajanja kvarova detaljnije objašnjenim u poglavlju 3. (slabljenje izolacije uzrokovano nastajanjem vodenog „treeinga“).

Popravci kvarova na EHP kabelima su karakteristični zbog dva razloga:

- „nezdravo“ stanje zaslona izolacije (grafit + vodljiva traka) – nakon prve faze pripreme za popravak kabela odnosno izradu spojnice (skidanje vanjskog plašta), često je uočljivo loše stanje grafita i vodljive trake; grafit je nestao odnosno isprala ga je voda koja je tijekom eksploatacije ušla ispod vanjskog plašta kabela (slika 5.),
- „nezdravo“ stanje izolacije – nakon druge faze pripreme za popravak kabela odnosno izradu spojnice (skidanje zaslona izolacije) na izolaciji su često prisutne okom vidljive tamne mrlje; radi se o početnoj fazi prijelaza iz vodenog u električni „treeing“ i potencijalnim budućim mjestima kvarova (mikroskopski prikazano na slici 3., a u naravi okom vidljivo prikazano na slici 6.)



Slika 5. „Nezdravo“ stanje zaslona izolacije



Slika 6. „Nezdravo“ stanje izolacije

Popravak kvarova kabela u trasi se najčešće vrši izradom jedne spojnice. Ukoliko je stanje zaslona izolacije ili izolacije toliko loše da je nemoguće doći do „zdravog“ dijela kabela prilikom pripreme za jednu spojnicu, daljnjim rezanjem kabela pokušava se doći do dijela gdje je stanje zaslona izolacije i izolacije zadovoljavajuće. Vršiti se umetanje novoga komada kabela (tip XHE) i izrađuju se dvije spojnice. Često je pokušaj da se daljnjim rezanjem kabela dođe do zadovoljavajućeg stanja na određenom dijelu kabela uzaludan, tako da se ostavlja izgledom „nezdravi“ dio i vrši popravak, svjesno riskirajući potencijalni kvar na kabelu u dogledno vrijeme.

Česti su slučajevi u praksi da se na EHP kabelima ubrzo nakon prelaska SN mreže na 20 kV naponski nivo dogodi jedan ili više uzastopnih kvarova u nekoliko dana. Nakon toga se dogodi mirovanje (u praksi se koristi izraz „kabel se očistio od kvarova“), što naravno nije garancija da do sljedećeg kvara neće doći u dogledno vrijeme.

5. METODE DIJAGNOSTIČKIH ISPITIVANJA

Kada bi se vršila redovna ispitivanja EHP kabela i kada bi postojali raniji rezultati mjerenja mogao bi se dati generalni zaključak o stanju izolacije, odnosno još važnije – o brzini degradacije izolacije pojedinog kabela. Iskustva u korištenju dijagnostičkih metoda u pojedinim distribucijskim područjima su različita, a uglavnom su vezana uz ispitnu opremu kojom raspolažu. Uglavnom se mjeri stanje odziva pobuđene izolacije te govorimo o metodama odziva u frekventnoj i vremenskoj domeni. U frekventnoj domeni koristi se oprema za mjerenje tgđ pri 0,1 Hz ili 50 Hz. U vremenskoj domeni koristi se metoda polarizacijske i depolarizacijske struje, metoda mjerenja povratnog napona i mjerenje izotermalne relaksacijske struje. Mjerenje tgđ je najpopularnije jer ne utječe na opće stanje izolacijskog materijala (izvodi se malim naponom kratko vrijeme) [2]. Ovim ispitivanjem određuje se opće stanje izolacije, a ukoliko se želi točno locirati mjesto lošeg stanja izolacije metoda koju treba primijeniti je metoda reflektometrijske analize parcijalnih izboja. Za analizu dobivenih rezultata unutarnjih parcijalnih izboja u kabele, uz samu ispitnu opremu potreban je svakodnevan rad i praktično usavršavanje osoblja kako bi se rezultati tumačili na ispravan način.

6. ZAKLJUČAK

Postupna degradacija izolacije EHP kabela je ozbiljan problem koji nije rješiv jednostavnim popravkom kabela. Kada u praksi dođe do povećanja broja kvarova na određenoj kabelskoj dionici, posebno ako se ne radi o kvarovima u završecima i spojnicama, najčešće je nažalost već kasno i potrebno je planirati i zamijeniti kritičnu dionicu. Tumačenje mjerenja izvršenog dijagnostičkim metodama je puno lakše, učinkovitije i svrsishodnije kada postoje prethodni rezultati mjerenja. Dodatni problem u praksi predstavlja organizacija i isključenje pojedine važne kableske veze za potrebe periodičkih ispitivanja.

S obzirom na udio EHP kabela koji je još uvijek u pogonu te na iskustva sa predmetnim kabelima, za očekivati je da će se kroz naredno razdoblje i dalje pojavljivati ili čak intenzivirati problemi u eksploataciji ovakvih tipova kabela. Navedeno će posebno vrijediti na teritorijima distribucijskih područja koja će u procesu prijelaza na 20 kV naponski nivo dijelom isto ostvariti i s EHP kabelima. Jedino trajno rješenje je postupna revitalizacija (zamjena) najprije kritičnih, a nakon toga i svih dionica EHP kabela.

7. LITERATURA

- [1] K. Sokolija, M. Batalović: „Suvremeni trendovi u izboru materijala i dizajna srednjonaponskih ekstrudiranih kabela“, Univerzitet u Sarajevu, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, BiH
- [2] Z. Pamić: „Iskustva kod prijelaza rada kableske mreže s 10 kV na 20 kV“, HO CIRED 1. savjetovanje, Šibenik (18.-21.svibnja 2008.)
- [3] D. Živaković, N. Vrandečić: „Praćenje srednjonaponskih kabela tijekom eksploatacije“, HO CIGRE 8. savjetovanje, Cavtat (4.-8. studenoga 2007.)
- [4] L. Paulini: „Diagnostika energetskih kablov“, 10. Konferenca Slovenskih elektroenergetikov, Ljubljana 2011.
- [5] W. A. Thue: „Electrical Power Cable Engineering“, Marce Dekker, Inc., 1999.(book)
- [6] Katalozi različitih proizvođača SN kabela