

# SMANJENJE TROŠKOVA KABLIRANJA POVEĆANJEM MEHANIČKE OTPORNOSTI SREDNJONAPONSKOG XHE 49A KABELA

Mr. sc. Krešimir Škelj, Zagreb

UDK 621.315.21:338.52  
STRUČNI ČLANAK

U članku se razmatraju europski trendovi u razvoju plašta srednjonaponskog kabela te analizira kako nove konstrukcije kabela mogu biti pogodne za ukapanja kabela izravno u zemlju bez uporabe posteljice, te kako takav način polaganja smanjuje ukupne troškove polaganja.

Obrađuje se laboratorijsko mehaničko ispitivanje XHE 49A 1x150/25 mm<sup>2</sup> 12/20 kV kabela na udarce i stalni pritisak oštrim predmetom i tako simulira moguća naprezanja do kojih može doći prilikom polaganja kabela na terenu. Prikazuju se nove konstrukcije kabela koje mogu biti upotrijebljene za izravno polaganje kabela bez uporabe posteljice.

**Ključne riječi:** srednjonaponski kabel, mehanička opterećenja plašta, smanjenje troškova.

## Uvod

Razvoj novih materijala i pojeftinjenje postojećih omogućio je napredak u razvoju elektroenergetskih kabela. Pokazano je da se ekstrudiranjem nekih dodatnih materijala preko standardnog XHE 49 kabela mogu značajno poboljšati mehanička svojstva plašta.

Kompletno istraživanje izravnog ukapanja srednjonaponskih kabela s pojačanim plaštem u zemlju, bez uporabe posteljice, potakao je EDF (francuska elektroprivreda) i kao rezultat njegove suradnje s vodećim francuskim proizvođačima kabela, očekuje se do sredine 2004 izlazak revizije standada C 33-226 koji će točno opisati uvjete koje mora ispuniti takav kabel.

Do sada su u svijetu srednjonaponski kabeli s pojačanim plaštem postavljeni na nekoliko testnih linija u Francuskoj te na jednoj u Švicarskoj.

U nekim slučajevima moguće je energetske kabele koje se danas koriste (izrađene prema HRN HD 620) upotrijebiti za izravno ukapanje u zemlju. Za takav postupak bilo bi potrebno iskopani materijal fino usitniti i iskoristiti ga za ukapanje kabela. Ipak na dosta lokacija u Hrvatskoj (posebno na krškim predjelima) to nije moguće, pa je za izradu posteljice nužna uporaba dovezenog pijeska. Posteljica štiti kabel od vanjskih mehaničkih utjecaja te također pridonosi odvođenju topline.

Nažalost, uporaba pijeska najčešće je povezana s organizacijom kamiona za dovoz i privremenog odlagališta

što čini glavninu troškova kod "Organizacije polaganja" na slici 1 i 2. Uporaba pijeska također je povezana s fenomenom povećanog termičkog otpora zbog isušivanja pijeska.

Slike 1 i 2 prikazuju procjenu ukupnih troškova projektiranja i polaganja kabela prema [4].

Opis nekih stavki slike 1 i 2:

- "Oprema" – kabeli, spojnice i glave
- "Materijal" – materijal (pijesak, usitnjena zemlja), ojačanja (betonska, drvena ili cigle) potrebna za zatrpavanje kablenskog rova.

Uporabom kabela s pojačanim plaštom (slika 2) omogućuje se izravno ukapanje kabela u zemlju bez uporabe posteljice.

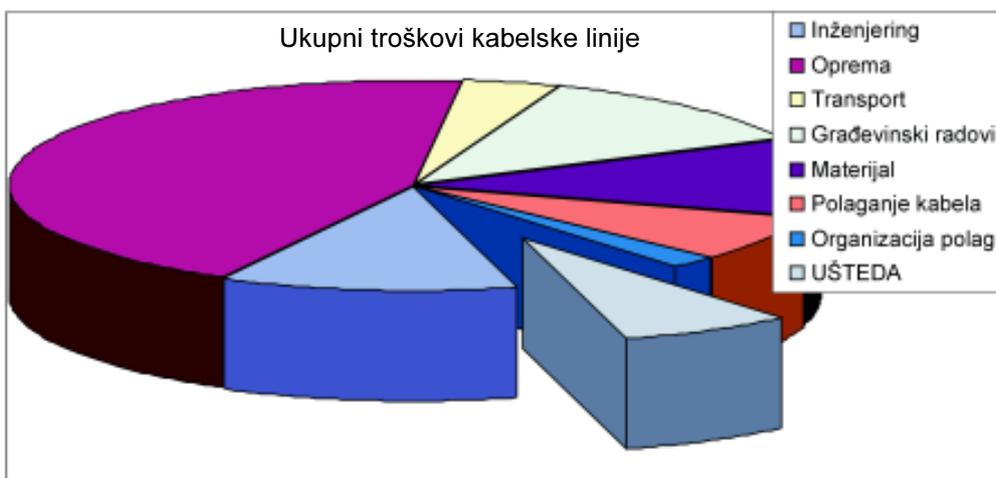
Ova promjena konstrukcije mijenja ukupnu strukturu troškova na sljedeći način:

- značajna ušteda na materijalu jer nema pijeska
- ušteda na organizaciji polaganja (nema organizacije dopreme i skladištenja pijeska)
- ušteda na građevinskim radovima jer je potreban plići rov
- poskupljenje kabela zbog pojačanja plašta (povećava se nešto cijena i težina po metru).

Ukupno gledajući, primjena novog koncepta donosi smanjenje ukupnih troškova.



Slika 1. Troškovi projektiranja i polaganja klasičnog srednjonaponskog kabela



Slika 2. Troškovi projektiranja i polaganja kabela s pojačanim plaštem

U nastavku rada prikazuju se neke izvedbe XHE 49 kabela s ojačanim plaštom koji bi se mogli upotrijebiti za izravno ukapanje u zemlju bez uporabe posteljice.

Također se ispituje kolika mehanička naprezanja i oštećenja može izdržati plašt konstruiran prema HRN HD 620 S1:2000 te kojim poboljšanjima se može povećati mehanička otpornost plašta. Ukoliko se prilikom polaganja srednjonaponskog kabela striktno ne poštuju mjere opisane granskom normom HEP distribucije d.o.o. N.033.01., može doći do oštećenja plašta kabela slično simulacijama razmatranim u nastavku rada (što je poslije najčešći uzrok neispravnosti kabela).

Razmatrana su tri uvjeta koja kabel mora zadovoljiti :

1. mehanička otpornost izolacije na udarce oštrim predmetima po plaštu
2. mehanička otpornost plašta na udarce oštrih predmeta
3. mehanička otpornost plašta na stalni pritisak oštrog predmeta.

U svim ispitivanjima korišten je kabel XHE 49A 1x150/25 mm<sup>2</sup> 12/20 kV koji se dalje u radu naziva samo XHE

49. Vanjski plašt od PE debeo je 2,5 mm te su dodatno na taj plašt ekstrudirana tri različita materijala (PE te M1 i M2) u debljini od 1,5 mm.

Iako IEC 60811-3-1 propisuje kako ispitati mehanička svojstva plašta, nema definirana ispitivanja koja će u radu biti prikazana.

### 1. MEHANIČKA OTPORNOST IZOLACIJE XHE 49A NA UDARCE OŠTRIM PREDMETIMA PO PLAŠTU

Ovim ispitivanjem se željelo razjasniti je li moguće vanjskim udarcima zanemarivo oštetiti plašt tako da on ostane u funkciji (i nema vizualna oštećenja), a da se pri tome unutarnji slojevi kabela oštete tako da kabel više ne zadovoljava uvjete propisane standardom.

#### Metoda ispitivanja

Za provedbu ovog ispitivanja upotrijebljena je sprava za udarce koja je na slici 3 prikazana u položaju prije i za vrijeme udarca.



Slika 3. Sprava za udaranje prije i nakon udara

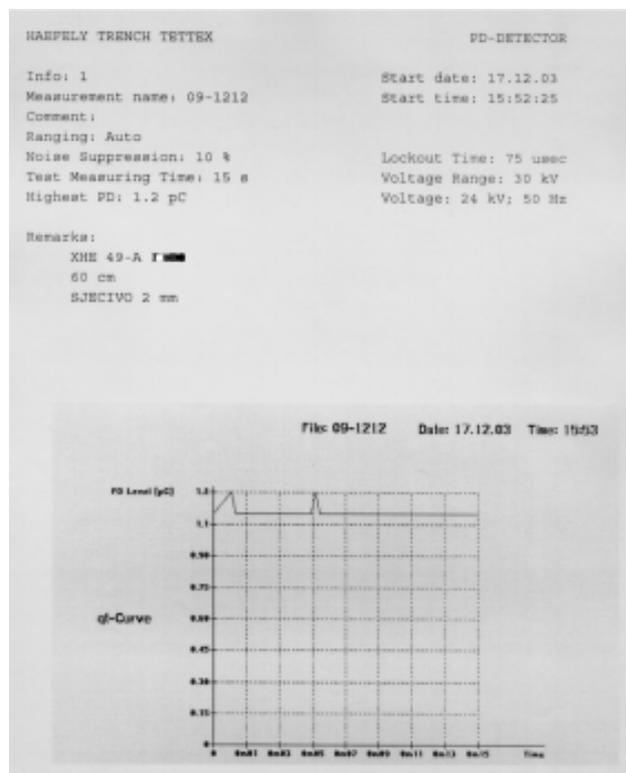
Energija udara povećavana je na način da je povećavana visina s koje je ispuštan 10,5 kg težak uteg sve dok nije došlo do pucanja plašta. Prodor vode kroz plašt dogodio se prilikom udara s visina od 0,5 m što znači da je pri tome plašt udaren energijom od 51,5 J na površinu od (oštrica 2x50 mm) 100 mm<sup>2</sup>.

Tada se pristupilo provjeri parcijalnih izboja.

Rezultati ispitivanja pokazali su da su parcijalni izboji manji od 2 pC što zadovoljava normu HEP distribucije d.o.o. N.033.01. Do povećanih parcijalnih izboja 10 pC i više dolazi tek pošto se energija udara povećala za

20-40% čime je došlo do presjecanja ekrana i poluvodljivog sloja.

Uvjeti opterećenja simulirani su metodom konačnih elemenata i dobiveni rezultati prikazani su na slici 5. Boje na slici prikazuju odnos između trenutnog opterećenja i opterećenja kada materijal počinje teći. Vidljivo je da kada radi mehaničkog opterećenja dolazi do oštećenja PE plašta, opterećenja izolacija i poluvodljivi slojevi se još nalaze u elastičnom području materijala.



Slika 4. Mjerenje parcijalnih izboja

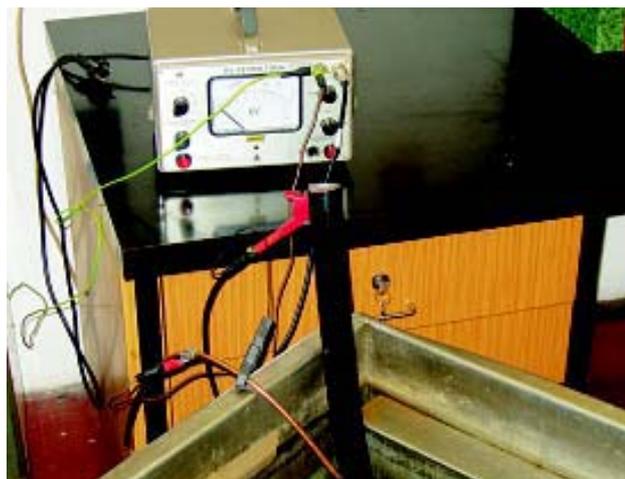


Energija udarca povećavana je na način da je povećavana visina s koje je više puta ispuštan 10,5 kg težak uteg sve dok nije došlo do pucanja vanjskoga plašta.

Pucanje vanjskog plašta određivano je pomoću dviju metoda:



a) Natapanjem plašta u obojenu tekućinu je ispitivano da li je voda došla do bubre trake



b) Ispitivanjem plašta s 5 kV u vodi nakon oštećenja

Slika 7.

Uvjet b) stroži od uvjeta a) pa su ispitivanja dovršena metodom b).

Tablica 1 prikazuje rezultate ispitivanja četiri različite konstrukcije kabela:

- standardan XHE 49
- XHE 49 s podebljanim PE plaštem
- XHE 49 presvučen materijalom 1
- XHE 49 presvučen materijalom 2.

Tablica 1. Otpornost plašta XHE 49 A kabela na udar. √ – plašt nije probijen; x – plašt probijen; svaka oznaka predstavlja 3 ispitivanja

Visina udara cm	Položaj udarača	Kabeli na izbočenju 3 mm x 150 mm Sastav plašta				Kabeli na ravnoj podlozi Sastav plašta			
		PE + PE	PE + M1	PE + M2	PE	PE+PE	PE + M1	PE + M2	PE
40	—				√	√			√
					√	√			√
	/				√	x			√
45	—	√			x	x			x
		√			√	√			√
	/	√			x				x
50	—	x					√		
		x			x	x	√		x
	/	x					x		
55	—		√				x		
			√				√		
	/		√						
60	—		x						
			√				x		
	/		x						
65	—								
			x						
	/								
70	—							√	
								√	
	/							x	
75	—			√				x	
				√				√	
	/			√					
80	—			x					
				x					x
	/			x					

Udaranje je izvedeno s tri različita položaja udarača:

- Paralelno s kablom (I)
- Okomito na kabl (I)
- Pod kutom od 45 stupnjeva u odnosu na kabl (/).

Prilikom ispitivanja udaranjem kabl je u prvom slučaju postavljen na oštru podlogu 3mmx150 mm te nakon toga i na ravnu podlogu. Ispitivanjem se željelo provjeriti ponašanje kabla ukoliko ispod njega ne postoji i postoji ravna podloga prilikom zatrpavanja. Rezultati su pokazali da su oštećenja na strani udarača manja ukoliko se kabl nalazi na neravnoj podlozi, tj. na izbočenju 3mmx150 mm. Razlog je tome što izbočenje s donje strane kabla napravi otisak na plaštu i pri tome se apsorbira dio energije udarača (ali kabl ostaje u funkciji). Kod ravne podloge nema apsorpcije udarača nego samo reakcija ravne površine pa je stoga i oštećenje plašta na strani udarača veće.

Rezultati u tablici 1 dobiveni su testiranjem na vodonepropusnost (metoda a). Isto ispitivanje ponovljeno s

naponom od 5 kV (metoda b) dalo je oko 10% niže visine udara.

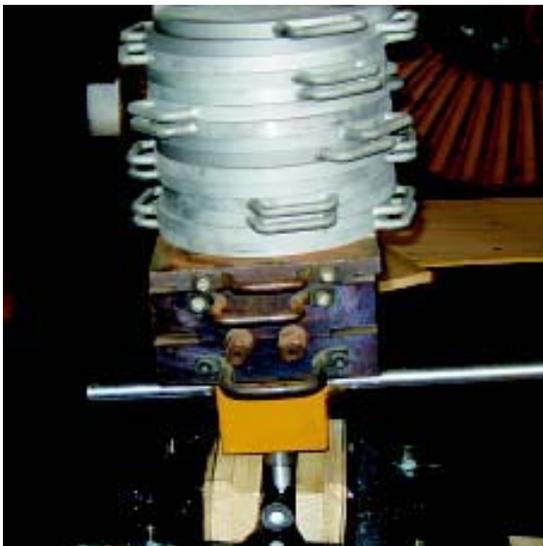
Vidljivo je da su položaji (–) i (/) napravili veća oštećenja nego kada je udarač bio okomit na kabl (I). Također je svako povećanje debljina PE plašta ili presvlačenje XHE 49 dodatnim materijalom poboljšalo rezultate.

### 3. MEHANIČKA OTPORNOST PLAŠTA NA STALNI PRITISAK OŠTRG PREDMETA

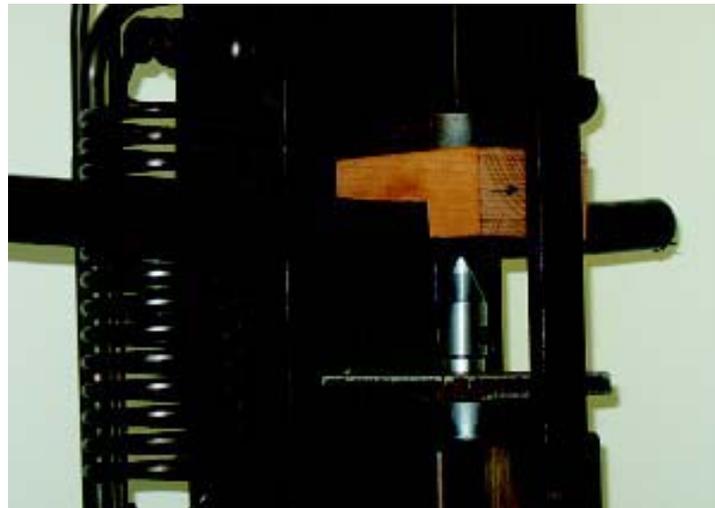
Ovim ispitivanjem se željelo simulirati oštećenja do kojih dolazi kada kamen ili drugi oštri predmet trajno pritišće plašt kabla nakon zatrpavanja kabla.

#### Metoda ispitivanja

Za provedbu ovog ispitivanja upotrijebljeni su:



a) Sprava kojom je nekoliko dana vršena stalna sila na kabl



b) Kidalica kojom je određen broj minuta održavana stalna sila na kabl

Slika 8.

Tablica 2. Proboj plašta u ovisnosti o vrsti dodatnog plašta ispitivanje 10 min metodom b)

Opterećenje plašta N	Položaj sjekača	Plašt							
		PE		PE + M1		PE + M2		PE + PE	
		oštrica 1mm							
		Broj uzoraka							
5000	—		√	1					
5500	—	√	2	Proboj	2				
6000	—	√	2	Proboj	4				
6500	—	Proboj	2			√	1	√	1
7000	—					√	2	√	2
7500	—					√	5	Proboj	2
8000	—					Proboj	3	Proboj	2

Za sva ispitivanja je korišten vrh udarača s dimenzijama 1x50 mm te su kabeli ispitivani samo u vodi na 5 kV.

Tablica 2 prikazuje pri kojim silama dolazi do proboja plašta u ovisnosti o položaju i poziciji kojima se udaračem pritišće plašt. Zanimljivo je primijetiti da povećanje debljine PE plašta i dodatno presvlačenje XHE 49 drugim materijalom ne dovodi uvijek do poboljšanja rezultata (materijal M1 je pogoršao rezultate običnog XHE 49A). Također ne nanose isti položaji udarača najveću štetu plaštu prilikom udara i stalnog pritiska.

Prilikom udara najvažnije je kako će kabel preuzeti energiju udara dok je kod pritiska najvažnija sila po jedinici kontaktne površine s udaračem.

2. Olakšano polaganje jer je kabel puno otporniji na habanje te ga je u nekim slučajevima dozvoljeno vući po zemlji
3. Briga o okolišu. Unošenje pijeska u ekosistem kojem pijesak nije prirodan pricinjava se šteta ekosistemu kroz koji prolazi kabel.

#### LITERATURA

- [1] HRN HD 620 S1 – Distribucijski kabeli s brizganom izolacijom za nazivne napone od 3,6/6(7,2)kV do 20,8/36(42) kV
- [2] IEC 60502-2 : 1997 – Energetski kabeli s brizganom izolacijom i njihov pribor za nazivne napone od 6kV do 30 kV.

Tablica 3. Oštećenja PE plašta u ovisnosti o položaju udarača

Položaj udarača	Metoda a)			Metoda b)		
	Opterećenje kg	Trajanje opterećenja sati	Ispitni napon 5 kV	Opterećenje N	Trajanje opterećenja min	Ispitni napon 5 kV
/	180	68	√	3 000	10	proboj
/	210	1	√	3 000	10	√
/	210	68	proboj	3 000	4	√
	160	17	√	2 500	10	proboj
	180	1	√	2 500	9	proboj
	210	1	proboj	2 500	4	√
—	370	70	√	6 000	10	proboj
—	400	70	proboj	6 500	2	√

Metoda b je izvršena na 3 – 5 uzoraka za svaku oznaku. Prilikom uporabe bilo koji od navedenih XHE 49 kabela s pojačanim plaštom može se koristiti isti standardni kabelski pribor (spojnice, glave, alati ...) kao za obični XHE 49 kabel.

Prije uvođenja u primjenu ove vrste kabela u Hrvatskoj potrebno je još simulirati termičke karakteristike kabela nakon polaganja te postaviti pokusni vod.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dodavanjem još jednog sloja na XHE 49 mogu se poboljšati mehanička svojstva plašta i učiniti ga pogodnim za izravno ukapanje u zemlju.

Postoje testne trase u Europi gdje je započelo korištenje srednjonaponskih kabela koji se u zemlju postavljaju izravno bez korištenja posteljice.

Koristi od nove konstrukcije:

1. Smanjenje troškova jer je dodatni plašt jeftiniji od polaganja s pijeskom

[3] J. M. DAVID, MOREAU, EDF R&D, France "New MV cables used in France and improvements in laying techniques"; Jicable 2003

[4] F. CHARLES, R. PETRUS, P. ARGAUT, "New approach for MV underground connection"; Jicable 2003

[5] Elka – interni propisi

[6] IEC 60811-3-1 :1985

#### COST REDUCTION OF CABLE LAYING BY INCREASING MECHANICAL STRENGTH OF MEDIUM VOLTAGE XHE 49-A CABLE

In the paper the European trends in the development of medium voltage cable coat are given and new construction of cables is analysed that could be suitable for cable burial directly into the soil without using backfill as well as how this way of construction decreases the costs of laying.

Worked out is a laboratory mechanical testing XHE 49-A 1x150/25 mm<sup>2</sup> 12/20 kV cable on strike and permanent pressure by sharp object and thus a possible straining that could occur in the case of cable laying. New

cable construction that could be used for direct laying without backfill is given.

**KOSTENMINDERUNG DER VERKABELUNG  
DURCH ERHÖHUNG MECHANISCHER  
FESTIGKEIT DER MITTELSPANNUNGSKABEL  
XHE 49A**

Im Artikel werden europäische Entwicklungstendenzen der Mäntel von Mittelspannungskabeln erörtert und nachgedacht wie sich die neuen Kabelbauarten für eine direkte Verlegung ins Erdreich, ohne Einbettunterlage, eignen und wie eine solche Verlegungsart die Gesamtkosten der Verlegung reduziert.

Dargelegt wird die Laboratoriumsprüfung mechanischer Eigenschaften im Bezug auf Schläge und Dauerdruck scharfer Gegenstände auf XHE 49-A 1w150/25 mm<sup>2</sup>

12/20 kV Kabel womit mögliche Beanspruchungen auf die Kabel bei der Verlegung direkt ins Erdreich ohne Einbettunterlage vorkommen können.

Dargestellt sind neue Kabellösungen welche sich für die Verlegung direkt ins Erdreich ohne Einbettung eignen.

Naslov pisca:

**Mr. sc. (MBA) Krešimir Škeljo, dipl. ing.**

**Elka kabeli d.o.o.**

**Žitnjak b.b.**

**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:

2004 – 06 – 01.