

Hrvoje Jelić, dipl.ing.
HEP ODS D.O.O.
hrvoje.jelic@hep.hr

Ivan Orišak, dipl.ing.
HEP ODS D.O.O.
ivan.orisak@hep.hr

ANALIZA OPRAVDANOSTI ULAGANJA U ALUMINIJSKE PODMORSKE KABELE

SAŽETAK

U ovom radu se analizira isplativost ulaganja u aluminijske podmorske kabele kao alternativa bakru. Kao što je poznato cijena bakra na svjetskom tržištu nezaustavljivo raste zadnjih 10 .g. Kako je pri energetsom povezivanju otoka cijena kabela 90 % investicije, opravdano je uzeti u obzir i podmorske aluminijske kabele koji su znatno povoljniji, ali tehnički kompleksniji.

Testovima je dokazano da su aluminijski kabeli dovoljni čvrsti za veliku većinu podmorskih aktivnosti.

Usporedbom aluminijskih i bakrenih kabela za istu prijenosnu moć pokazuje da su oba kabela slična u odnosu na veličinu, težinu i stabilnost na morskom dnu.

Ključne riječi: podmorski kabeli, aluminij, bakar, srednji napon, cijena kabela, napajanje otoka, težina kabela

SUBMARINE ALUMINIUM CABELS INVESTMENT ANALYSIS

SUMMARY

In this article we are doing investment analysis in aluminium submarine cables as copper alternative. As is known copper price on world market is constantly growing in last 10. years. The main cost in connecting islands is submarine cable price, so it is reasonable to consider about aluminium submarine cables which are less expensive but more technical demanding.

Some test proved that aluminium submarine cables are solid enough for most of submarine cables.

A comparison of aluminum and copper cables of equal transmission capacity is made showing that both alternatives are very similar with respect to size, weight and sea bottom stability.

Key words: submarine cables, aluminium, copper, middle voltage, cable price, islands power supply, cable weight

1. OSNOVNI UVJETI PRI IZBORU PODMORSKIH KABELA

1.1. Općenito

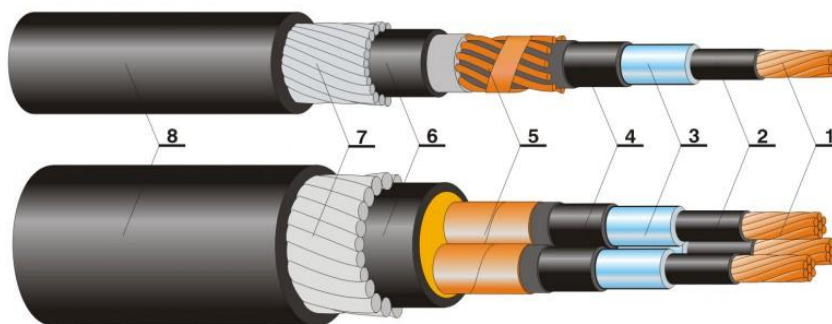
Podmorski kabele služe za energetska povezivanje, odnosno prijenos energije do udaljenih otoka s „čvrste“ točke koja je u pravilu na kopnu. Obzirom na razvedenost Republike Hrvatske podmorske veze prema našim otocima su česte. Gotovo svi nastanjeni jadranski otoci su elektrificirani prije 40 – 50 godina, dok je posljednji veliki program povezivanja otoka bio krajem 90-tih godina.

Distribucijski podmorski energetska kabele su naponske razine 35, 20 i 10 kV.

HEP ODS d.o.o. kao dio svoje imovine ima raznih tipova podmorskih kabela, od najstarijih uljno-papirnih tipova IPZO i NXHEKRA do novih kabela od umreženog polietilena kao što su XHE 49/24 i FXBTv. Kabele su uglavnom trožilni i svi su napravljeni od bakrenih vodiča.

Podmorska kabele uz karakteristike koje imaju standardni kopneni kabele imaju još nekoliko značajnih karakteristika koje treba uzeti u obzir pri projektiranju i izgradnji.

Glavne značajke podmorskih kabela osim prijenosne moći su: vodonepropusnost, mehanička čvrstoća i težina. Glavni problemi pri izgradnji podmorskih dionica su: transport kabela, spajanje kabela i manipulacija kablom pri polaganju.



1-vodič: Cu uže, zbijeno, vodonepropusno

2-ekran vodiča: poluvodljivi sloj na vodiču

3-izolacija: XLPE

4-ekran izolacije: poluvodljivi sloj na izolaciji

5-električna zaštita/ekran: od Cu žica (jednožilni) ili Cu trake (trožilni), uzdužno vodonepropusni (XHE 49/...) ili uzdužno i poprečno vodonepropusni (XHE 46/...)

6-unutarnji plašt: PE-HD

7-armatura: spec. Al okrugla (XHE 46/29) ili čelična okrugla žica (XHE

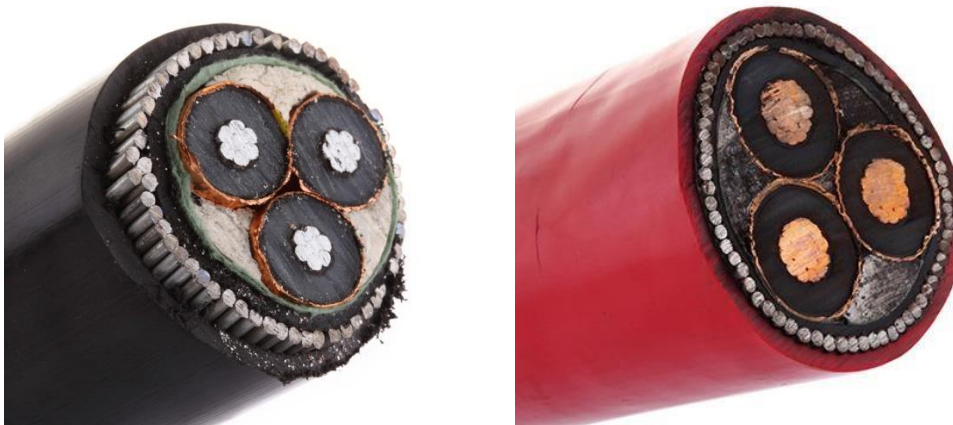
8-vanjski plašt: PE-HD

Slika 1. Bakreni podmorski kabel proizvođača Elka d.d.

1.2. Tip kabela

Moderni podmorska kabele izrađuju se s izolacijama od umreženog polietilena (XLPE) i etilen propilenske gume (EPR). Ove vrste izolacija pokazale su se izvrsnima izolacijskim materijalom za podmorske kabele. Glavni razlozi su njihova dobra električna i mehanička svojstva u usporedbi s podmorskim kablom koji imaju ispunu od ulja i papira.

XLPE i EPR su dobri dielektrici, nemaju potrebe za održavanjem, radijus savijanja im je bolji od prvih podmorskih kabela napravljenih s izolacijom od smole pa ih je lakše transportirati i polagati. Dobra dielektrična svojstva i čvrsta čelična armatura omogućava značajno bolju razinu izolacije od izolacije papirom i olovnom plaštem te su kabele mnogo manje osjetljivi na stres prilikom prijevoza, polaganja i rada. U nastavku su slike tipičnih podmorskih kabela (s bakrenim i aluminijskim vodičima).



Slika 2. Aluminijski i bakreni trožilni podmorski kabel

1.3. Trošak investicije

Podmorski kabeli su zbog složenosti izvedbe dosta skuplji od kabela koji se polažu u zemlju. Za sličan presjek i duljinu kabela (uspoređujući tri jednožilna bakrena) kabela, podmorski kabel po metru dužine će koštati i do 5 puta više. Proizvođači nerado daju podatke o udjelu pojedinih komponenata u ukupnoj cijeni kabela, ali analizom cijena koje je HEP d.d. plaćao u zadnjih 20-tak godina došli smo do zaključka da se cijena dobave metra kabela može podijeliti u dva segmetna i to: izrada kabela i transport.

U izradi podmorskih kabela najveći trošak čini materijal za izradu kabela, u pravilu bakar koji je više od 60 % troška samog kabela.

Transport zbog gabarita i velike težine (20 kV kabel po metru duljnom teži cca. 10 kg) nije zanemariva stavka pri izradi kalkulacije proizvođača. Jasno važna je i udaljenost tvornice od mjesta polaganja. Doprema kabela se za manje dionice vrši uglavnom kopnenim putem, dok se dulje dionice dovoze brodovima polagačima čiji je angažman iznimno skup te itekako utječe na ukupnu investiciju. Cijena polaganja brodom polagačem je vrlo viska, toliko da se proizvođači kabela na ovu varijantu odlučuju samo na podmorskim kabelima viskookog napona koji su u pravilu dosta dulji, većeg presjeka i znatno skuplji.

Dionice dopremljene kopnenim putem se u pravilu spajaju podmorskim spojnicama, osim u varijanti prijevoza vlakom što kod nas do sada nije bio slučaj. Trošak instalacijskih spojnica na način na koji ih izvođe radnici HEP-a nije značajniji trošak te ga ovdje nećemo uzimati u obzir.

1.3. Polaganje podmorskih kabela

Polaganje podmorskog kabela je zahtjevan posao koji uvelike ovisi o vremenskim prilikama na moru i o iskusnoj ekipi radnika koji taj posao izvođe. U pravilu je kabel namotan na brod polagač s kojega se spušta u more. Naravno, početak i kraj kabela treba provući kroz priobalne zaštite koje se u zadnje vrijeme izvođe bušenjem priobalja. Stroj s navođenjem svrdlom izbuši rupe dovoljne duljine (izlaz priobalne ide ispod točke na kojoj more ima značajniji utjecaj plime/oseke, te morskih valova) i obloži je s PEHD cijevi kroz koju se provlači kabel.

Kabel se kasnije spušta na morsko dno (na većim dubinama je pretežito mulj) gdje svojom težinom radi „seabed“ i tu ostaje trajno.

Glavne opasnosti položenom kabelu su sidra velikih brodova i brodovi koji kočare pri izlovu ribe.

2. MATERIJAL VODIČA KABELA

2.1. Bakar

Elementarni bakar je metal sjajnosvijetlo-crvene do crvenkasto-smeđe specifične „bakrene“ boje, kubično plošno centrirane kristalne rešetke. Jedan je od triju poznatih obojenih metala. Prelazan je i nije polimorfan. U čistom stanju relativno je mekan, ali vrlo žilav i rastezljiv. Lako je obradiv i kovak pa se kuje, valja (na hladno/vruće) i izvlači u vrlo tanke žice. Može se meko i tvrdo zavarivati. Nakon srebra najbolji je vodič električne struje. Otporan je na većinu organskih kemikalija.

2.2. Aluminij

Aluminij je metal koji je poslije kisika najrasprostranjeniji element u zemljinoj kori, gdje ga ima 8%. Danas se jedino čelik koristi više od aluminija. Dobiva se iz rude boksita, koja se prerađuje u glinicu Al_2O_3 , iz koje se izdvaja elektrolizom trošeći puno električne energije (16 kWh/kg Al).

Al i Al - legure se koriste kao valjani, prešani (ekstrudirani) i lijevani materijali, poluproizvodi i proizvodi. Koristi se za mnoge stvari, a u proizvodnji kabela je značajan udio dobio zadnjih 20-tak godina prvenstveno zbog svoje cijene koja je određena velikim količinama lako dostupne sirovine.

Dobar je vodič struje, ali brzo korodira u vlažnim uvjetima. U dodiru s vodom (H_2O) otpuša vodik.

2.3. Usporedba materijala u kabelima

Bakar i aluminij se razlikuju u više karakteristika. Osnovna razlika je gustoća aluminija koja je oko 1/3 gustoće bakra, pa je samim time aluminij za istu vodljivost skoro upola lakši. Obzirom na lošiju električnu vodljivost, presjek aluminija mora biti veći za 1.6 puta što uzrokuje trošak ostalog materijala pri izradi (izolacija, ispuna, armatura), ali je u konačnici aluminijski kabel opet jeftiniji za oko 30 %. Aluminijski podmorski kabeli i ekvivalentni bakreni podmorski kabeli se uspoređuju u odnosu na težinu, volumen, logistiku i cijenu. Kako se vidi iz Tablice 1. u nastavku, aluminijski kabeli su lakši, ali su veći u promjeru od ekvivalentnih bakrenih kabela. Tipična usporedba aluminijskih i bakrenih vodiča je predstavljena u Tablici.1. (referentna vrijednosta za bakar je 100)

Karakteristike materijala	Vrijednosti za usporedbu	
	Bakar (Cu)	Aluminij (Al)
Električni otpor	100	164
Gustoća	100	30
Težina	100	53
Promjer	100	129
Modul elastičnosti	100	55
Čvrstoća	100	44
Otpor istezanja	100	35
Točka taljenja	100	61
Točka zamora	100	62
Toplinski otpor	100	158
Toplinsko istezanje	100	135

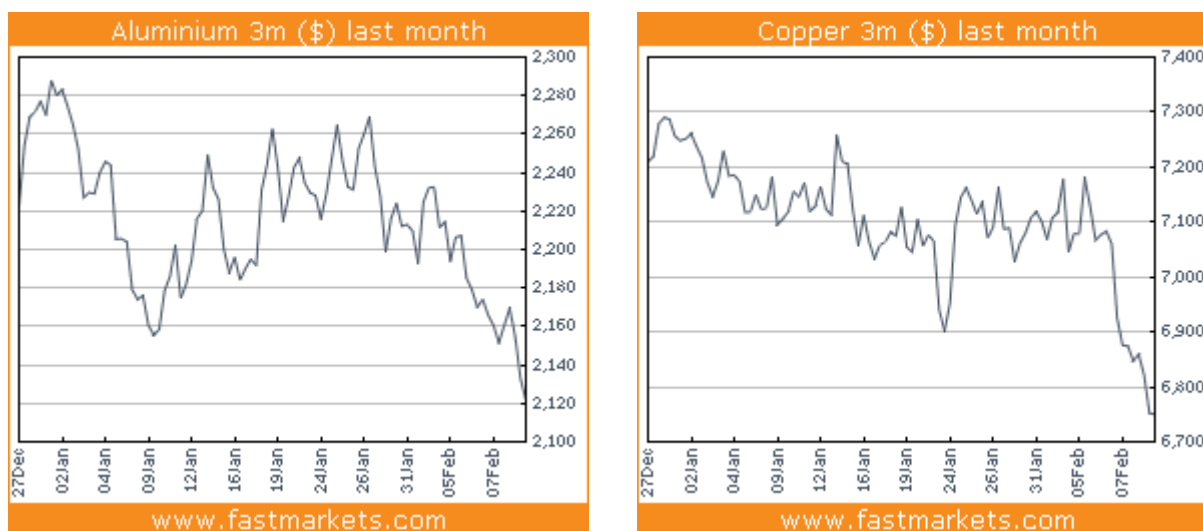
Tablica 1. Karakteristike aluminijskih i bakrenih vodiča

Bakreni kabel ima prednost pri skladištenju i prijevozu obzirom na razliku u presjeku jer ga se može izvesti dulje s manjim radijusom savijanja što je vrlo važan podatak pri izboru vodiča za podmorski kabel gdje je transport jedna od važnijih stavki.

Također, bakreni kabel ima prednost pri izboru za podmorske kabele zbog svoje težine (vodič je skoro dvostruko teži od aluminija) tj. stabilnosti na morskom dnu uslijed morskih struja, valova te plime i oseke.

2.4. Cijena bakra i aluminija

U nastavku su prikazani tromjesečni dijagrami cijena bakra i aluminija po toni. Vidljivo je da je za tonu bakra moguće kupiti više od tri tone aluminija.



Slika 3. Cijene aluminija i bakra na tržištu u USD (sa stranice fastmarket.com)

3. KVAROVI U POGONU VEZANI UZ MATERIJAL VODIČA

3.1. Općenito

Većina kvarova u pogonu događa se uslijed kvara izolacije podmorskih kabela. Kvar na samom vodiču je rijetkost iz razloga što su vodiči mahom većih presjeka ($\geq 70 \text{ mm}^2$). Kvarovi se znaju događati na mjestima spoja (spojnicama). Spojnice spajaju vodiče unutar kabela i to su osjetljiva mjesta u pogonu kabela, te su vrlo osjetljiva na vibracije, mehanički stres i toplinski utjecaj. Ovi utjecaji mogu dovesti do zamora vodiča i kvara u spojnici. Proboj vlage u spojnicu može uzrokovati koroziju i oksidaciju vodiča. Ovo može uzrokovati povećanje električnog otpora, a samim time i nepotrebno zagrijavanje i gubitke.

3.2. Kvarovi vezani uz aluminijske vodiče

Vezano uz aluminijske upletene vodiče dva su glavna problema koji mogu dovesti do kvara:

3.2.1. Kemijska reakcija između vode (mora) i aluminija

Ukoliko dođe do prodora vode u aluminijski vodič to rezultira kemijskom reakcijom u kojoj se oslobađa vodik na visokom tlaku i gotovo ga je nemoguće zadržati postojećim spojnicama. Ukoliko dođe do prodora mora u aluminijski vodič dolazi do brze korozije uzdužno po vodiču. Ovo je uz nedostatnu masu kabela najveći nedostatak aluminijskih podmorskih kabela.

3.2.2. Oksidiranje aluminija i korozija

Aluminij oksidira brzo kad je izložen kisiku i formira termodinamički i kemijski stabilnu situaciju. Izolacijski oksidni sloj je vrlo tanak (nanometrijski mjerljiv) i ukoliko se ne ukloni propisno prije

stavljanja konektora za spoj vodiča može se pojaviti dodatni otpor što uzrokuje zagrijavanje spoja pri prolasku struje, a samim time je i potencijalno mjesto kvara.

4. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir sve prethodno izneseno moramo zaključiti da je aluminij u odnosu na bakar nezahvalniji materijal za podmorske kabele. Kemijska reakcija s morem i zrakom, veći presjek za istu vodljivost i manja težina po metru za isti presjek samo su neki od nedostataka koji čine aluminij manje pogodnim materijalom pri izradu podmorskih kabela.

Izvedba podmorskog kabela s aluminijskim vodičem je jeftinija (i preko 30%), ali zbog ranije navedenih nepovoljnih strana aluminijskih podmorskih kabela za sada prednost ima izvedba podmorskog kabela s bakrenim vodičima.

Ukoliko cijena bakra i dalje nastavi rasti treba ozbiljno u razmatranje uzeti i aluminijske podmorske kabele, pogotovo za dulje dionice gdje će financijski efekt biti značajnije izražen.

5. LITERATURA

- [1] W. Bone, C. Sonderren: „Cooper in comparison with aluminium as common material in conductors of LV and MV cables“
- [2] T. Worzyk, S. Langstrom: „Use of aluminium conductors in submarine power cables“