

Ivan Perak,dipl.ing.
Antun Bobanović, dipl.ing.
HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA
ZAGREB, Av. Vukovar 37

R 1.02

PODMORSKI OPTIČKI KABEL ZA OTOČKU VEZU

SADRŽAJ

U referatu tretira se problematika konstrukcije i osiguranja kvalitete pri proizvodnji lakog podmorskog optičkog kabela QERE-R4.2 fabrike ABB Norsk-Kabel primijenjenog za otočku vezu.

In the article the authors treat the construction and quality assurance in the production of light subsea optical cable, QERE-R4.2 of ABB Norsk-Kabel factory applied for island connection.

1. UVOD

Izgradnjom otočke dalekovodne 110 kV veze osim energetskeg povezivanja izvršiti će se i telekomunikacijsko povezivanje južne Hrvatske sa sjevernom Hrvatskom. Telekomunikacijsko povezivanje u većem dijelu realizirati će se optičkim vodičima ugrađenim u zaštitno užo dalekovoda. Pošto je otočka 110 kV veza na određenim dijelovima riješena podmorskim energetskeim 110 kV kabelima to je bilo nužno predvidjeti na tim dionicama i podmorski optički kabe. Predviđene su tri podmorske dionice:

1. Podmorska dionica između otoka Raba i Paga u dužini 11,5 km gdje se optički kabel polaže na dubinu 110 m između dvije žile 110 kV energetskeg kabela koje se na ovoj dionici polažu na razmaku od 150 m.

2. Podmorska dionica između otoka Paga i kopna prema TS 110 kV Nin gdje se optički kabel polaže u dužini 2,5 km na dubinu od 17 m između dvije žile 110 kV energetskeg kabela koje se polažu na razmaku od 25 m.

3. Podmorska dionica između otoka Paga i kopna prema TS Karlobag, gdje se optički kabel polaže u dužini 2,5 km na dubini od 70 m između dvije žile energetskeg kabela koje se polažu na razmaku od 100 m.

Podmorske kableske dionice završavaju u kableskim kućicama gdje se nalaze spojne kutije za optičke vodiče kako bi se izvršio prijelaz na zračni vod to jest spoj između optičkih vodiča u podmorskom kabelu s optičkim vodičima u zaštitnom užetu dalekovoda.

U okviru izgradnje otočke veze nabavljen je podmorski optički kabel firme ABB Norsk Kabel tipa QERE - R4.2.

2. TEHNIČKI PROBLEMI KONSTRUKCIJE OPTIČKIH PODMORSKIH KABELA

Primjena optičkih vodiča u podmorskim kabelima osim očitih prednosti pri rješavanju telekomunikacijskih zadaća pred konstruktore, projektante i eksploataciju postavlja cijeli niz problema na rješavanju i osiguranju kvalitete kako optičkih vodiča, tako i podmorskih kabela u realnim uvjetima eksploatacije.

Ispod mora na većim i manjim dubinama gdje se polažu podmorski kabeli mogu djelovati razni, pa i ekstremni fizički i kemijski utjecaji na podmorske kabele kao i na same optičke vodiče.

Fizičke utjecaje na podmorske kabele možemo podijeliti na mehaničke, temperaturne i električne utjecaje dok se kemijski utjecaji svode na djelovanje korozije, prodora vode odnosno vlage u kabele te kao posebno značajan problem javlja se difuzija vodikovih molekula u kabele odnosno generiranje vodikovih molekula u samome kabeleu.

2.1 Mehanička naprezanja

Uz osnovni ideji polaganja kabela ispod mora, na većim dubinama, implicirano su određena

mehanička naprezanja kako pri polaganju kabela tako i pri njegovoj eksploataciji koja ne smiju imati nikakvih utjecaja na optičke vodiče u mehaničkom smislu. Osim nominalnih nateznih sila podmorski optički kabeli moraju izdržati i sva ostala dodatna mehanička naprezanja kao savijanje, torziju, gnječenje, udarac te hidrostatske pritiske vode u ovisnosti o dubini polaganja za koju su projektirani.

2.2 Temperaturni utjecaji

Uz osnovni ideji skladištenja i transporta na podmorski kabel neće djelovati poseban

Pokazuje se da je najvažniji izvor vodikovih molekula kod podmorskih kabela elektrokemijska korozija zaštitnog opleta (armature) od galvaniziranih čeličnih žica. Zbog kontaktnih potencijala raznih metala upotrebljenih za konstrukciju kabela u prisutnosti i najmanjih količina vode stvaraju se elektroliti i dolazi do elektrolitičkog nagrizanja materijala pri čemu nastaje vodik.

Zaštita optičkih vodiča od negativnog djelovanja vodika difundiranog kroz kabelsku konstrukciju ili nastalog unutar kabelske konstrukcije izvodi se na različite načina. Najčešći i najskupiji način zaštite jest primjena zaštitne barijere protiv difuzije vodika, a koja se sastoji od hermetički zavarene metalne tube od olova, bakra ili aluminijske oko jezgre kabela u kojoj se nalaze optički vodiči. Na ovome principu danas je moguće naći različite konstrukcije podmorskih optičkih kabela sa zaštitom jezgre kabela na bazi metalne tube u kombinaciji s potrebnom armaturom i plaštom od polietilena visoke gustoće.

Moguće su konstrukcije podmorskih optičkih kabela sa optičkim vodičima uložnim u cijevčice od plemenitog čelika koje efikasno štite od prodora vodika do optičkih vodiča. Takva slična tehnologija danas se koristi za ugradnju optičkih vodiča u zaštitnu užad dalekovoda. Danas se proizvode i energetske podmorske kabele sa armaturom u koju su već ugrađene cijevčice od plemenitog čelika s optičkim vodičima.

Jedan od novijih načina za zaštitu od prodora vodika do optičkih vodiča primijenjen od norveške tvornice "ABB Norsk kabel" jest primjena želatinoznog punila koje upija difundirane molekule vodika, kemijski ih vežući na sebe. No, apsorbirajuće želatinozno punilo ima ograničenu moć vezanja vodikovih molekula stoga se pri takvim konstrukcijama posvećuje posebna pažnja izvorima vodikovih molekula kako bi se emisije vodika što više smanjile. Pri tome je osnovno provesti efikasnu zaštitu od korozije armirajućeg sloja sastavljenog od galvaniziranih čeličnih žica kao glavnog izvora vodikovih molekula unutar kabela.

Upotreba asfalta kao tradicionalnog zaštitnog sredstva za podmorske kabele pokazuje se kao nedovoljna zaštita protiv korozijskih procesa koji u tome slučaju generiraju velike količine vodika i u takvim konstrukcijama nije moguće izbjeći metalnu tubu za zaštitu jezgre kabela.

Korozijska zaštita sa smanjenim generiranjem vodika postiže se armaturom od plemenitog čelika u plastičnome plaštu ali što evidentno podiže cijenu takvim konstrukcijama.

Jeftinija, atraktivnija i dokazano pouzdana je primjena armature od galvaniziranih čeličnih žica kompaudirana bitumenom u debelom plaštu od polietilena visoke gustoće. Posebna se pažnja posvećuje kompaudiranju da bi se izbjegle eventualne šupljine u kojima bi se mogla sakupljati vlaga. Pošto u naravi uvijek dolazi do korozijskog procesa pa makar i u ograničenim razmjerima to će uvijek biti određenog generiranja vodika. Praktična iskustva pokazuju da bez primjene apsorbirajućeg želatinoznog punila, ali sa primjenom opisane zaštite armature od korozije dolazi do povećanja gušenja optičkog vodiča, praktički zbog pri proizvodnji zaostale vlage u kabelu. Povećanje gušenja iznosi $< 0,03$ dB/km kod 1310 nm i $< 0,06$ dB/km kod 1550 nm. No i tako mali porast gušenja može biti neprihvatljiv za dugačke kabelske sisteme.

Praktična opažanja pokazuju da je glavni problem sa generiranjem vodika u takvim kabelima u vezi s početnom korozijom potaknutom s vlagom unesenom u kabel pri produkciji samog kabela.

Početna korozija nastupa bez obzira da li je kabel bio položen u more ili ne.

Pošto je u gore opisanom procesu dokazano da je količina vodika dobivena početnom korozijom limitirana, moguće je primjenom želatinoznog punila za apsorpiranje molekula vodika u potpunosti izbjeći početnu saturaciju kabela vodikom. Za opisane kabele procijenjeno je da se po metru dužnom generira ukupno 5 cm³ vodika pri procesu početne korozije.

Primijenjena želatina u mogućnosti je apsorbirati > 1,5 cm³ što je tri puta više od procijenjene potrebne vrijednosti. Mjerenje na gotovim kabelima pokazala su efikasnost ove metode. No najveći dobitak i pored relativno skupe želatine jest u tome da nije potrebno ništa mijenjati u samom procesu izrade kabela.

Govoreći o prodiranju vodikovih molekula u podmorski kabel potrebno je nešto reći i o primijenjenim polimernim materijalima za izradu plašta kabela. Poznato je da niti jedan polimerni materijal nije potpuna barijera za prodor vodikovih molekula odnosno OH - skupina. Najbolja svojstva u tome pogledu ima polietilen i polietilen visoke gustoće. Otpornost polimernog kabelskog plašta na difuziju vodikovih molekula ovisi o njegovoj debljini. S obzirom da debljina zaštitnog plašta podmorskih kabela nije kritična, to i životni vijek kabela iz tog razloga neće biti ograničen.

3. KABEL QERE - R4.2 PROIZVODNJE ABB - NORSK KABEL

U Norveškoj su podmorski optički kabele u širokoj upotrebi uzduž cijele obale gdje su dio magistralnih, regionalnih i lokalnih telekomunikacijskih mreža. Kabeli su položeni uzduž i poprijeko fjordova, od kopna prema otocima kao i između otoka uz upotrebu visoko precizne tehnike polaganja. Vrlo često se podmorski kabele koriste za polaganje na jezerima i uzduž rijeka. U posljednjih deset godina u Norveškoj je položeno preko 2500 km podmorskih optičkih kabela i to na dubinama od 20 do 1000 metara. Svi položeni podmorski optički kabele su otvorenih konstrukcija bez difuzijske barijere u obliku metalne tube.

Za podmorske dijelove otočke veze primijenjen je optički podmorski kabel tipa QERE - R4.2. (Sl. 1). Vanjski plašt kabela izraden je od polietilena visoke gustoće. Armatura je izradena kao što je već rečeno od galvaniziranih čeličnih žica kompaudiranih u bitumenu. Armatura je vrlo jaka i štiti kabel od nateznih sila pri polaganju i do dubine od 1000 metara, te sprečava uzlanje i stvaranje petlji na kabelu.

Jezgra kabela je u cijelosti punjena želatinom da bi se spriječio prodor vlage i vodikovih molekula. Optičke niti se nalaze u želatinom punjenim cijevčicama upredenim oko centralnog nosivog elementa. Svako vlakno i svaka cijevčica su označeni bojama radi lake identifikacije svake od njih.

3.1. Osnovni podaci za kabel su:

| | |
|--|----------------------|
| Maksimalna natezna sila za vrijeme polaganja | - 63000 N |
| Maksimalna natezna sila u pogonu | - 27000 N |
| pritisak | - 20000 N/10 cm |
| udarac | - 200 J |
| sukanje | - 1 okret/50 m |
| promjer savijanja | - 1500 mm |
| vodonepropusnost | < 3 m/24 sata |
| Temperaturni raspon | |
| u pogonu | - - 40 °C do + 60 °C |
| pri polaganju | - - 10 °C do + 60 °C |
| skladištenje | - - 40 °C do + 70 °C |

| | |
|---------------------------|------------------|
| broj optičkih vodiča | - 12 |
| tip | - monomodni |
| gušenje 1300 nm | - < 0.4 dB/km |
| 1550 nm | - < 0.3 dB/km |
| dispersija 1285 - 1330 nm | - < 3.5 ps/nm.km |
| 1550 nm | - < 20 ps/nm.km |

4. PLAN OSIGURANJA KVALITETE (QA) PRI PROIZVODNJI OPTIČKIH KABELA

Podobnost proizvođača za postizanje zahtjevane kvalitete općenito se ocjenjuje na osnovu njegovog programa za osiguranje kvalitete i neposrednog provjeravanja provođenja odluka u svim fazama izvođenja takovog programa. Reference za implementiranje programa osiguranja kvalitete su standardi serije ISO 9000 od kojih je standard ISO 9001 QUALITY SYSTEMS ključan za osiguranje kvalitete pri projektiranju, razvoju, proizvodnji, montaži i servisiranju opreme.

Fabrika ABB Norsk kabel posjeduje vlastiti program osiguranja kvalitete baziran na ISO 9001 standardu koji je shematski prikazan na slici 2., a koji se bazira na slijedećim dokumentima Norveškog sustava za osiguranje kvalitete.

| | |
|-----------|--|
| PIC - 027 | - ulazna kontrola i snimanje optičkih niti |
| KPC - 004 | - ispitivanje optičkog kabela tokom procesa |
| KPC - 005 | - ulazna kontrola i ispitivanje materijala |
| KPC - 006 | - optička završna kontrola i ispitivanje optičkog kabela |
| KPC - 009 | - fizički zahtjevi, natezna sila, istezanje |
| PP - 006 | - rukovanje, skladištenje, pakiranje isporuka. |

5. TVORNIČKA ISPITIVANJA PRI PROIZVODNJI OPTIČKIH KABELA

U ovom odlomku dati će se prikaz standarda i zahtjeva pri tvorničkim ispitivanjima optičkih kabela u tvornici ABB Norsk kabel bez opisa pojedinih postupaka ispitivanja, a prema sl. 2.

| VRSTA ISPITIVANJA | METODA TESTIRANJA | ZAHTJEVI |
|--------------------|--|---------------------|
| OPĆENITO | | |
| Školovanje radnika | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |
| Ulazna kontrola | tvornički QA sisem | tvornički QA sistem |
| | (QA - quality assurance, osiguranje kvalitete) | |

1. SEKUNDARNA ZAŠTITA OPTIČKIH NITI

| | |
|-----------------------|---------------------|
| 1.1. Kontrola procesa | |
| Zahtjevi procesa | tvornički QA sistem |
| Zahtjevi na proizvod | tvornički QA sistem |

R 1.02

| | | | |
|------|--|--|--|
| 1.2. | Optičko ispitivanje reflektometrom | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |
| 1.3. | Mehaničko ispitivanje dimenzije i debljine istezanje čvrstoća na tlak | IEC 811-1-1 IEC 811-1-1 IEC 811-1-1 | tvornički QA sistem tvornički QA sistem tvornički QA sistem |
| 2. | UPREDANJE | | |
| 2.1. | Kontrola procesa Zahtjevi procesa Zahtjevi na proizvod | tvornički QA sistem tvornički QA sistem | |
| 2.2. | Optičko ispitivanje reflektometrom | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |
| 2.3. | Mehanička ispitivanja lom ojevčice optičkog vlakna uslijed naprezanja prevelika duljina vlakna | tvornički QA sistem tvornički QA sistem | tvornički QA sistem tvornički QA sistem |
| 3. | UNUTARNJI PLAŠT | | |
| 3.1. | Kontrola procesa Zahtjevi procesa Zahtjevi na proizvod | tvornički QA sistem tvornički QA sistem | |
| 3.2. | Optičko ispitivanje reflektometrom | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |
| 3.3. | Mehanička ispitivanja dimenzije i debljina istezanje čvrstoća na vlak prevelika duljina vlakna | IEC 811-1-1 IEC 811-1-1 IEC 811-1-1 tvornički QA sistem | tvornički QA sistem tvornički QA sistem tvornički QA sistem tvornički QA sistem |

4. ARMATURA/PREPLETANJE

| | | | |
|------|--|--|---------------------|
| 4.1. | Kontrola procesa Zahtjevi procesa Zahtjevi na proizvod | tvornički QA sistem tvornički QA sistem | |
| 4.2. | Optičko ispitivanje reflektorom | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |
| 4.3. | Mehanička ispitivanja torzije kabela | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |

5. VANJSKI PLAŠT

| | | | |
|------|--------------------------------------|---------------------|--|
| 5.1. | Kontrola procesa Zahtjevi procesa | tvornički QA sistem | |
|------|--------------------------------------|---------------------|--|

| | | |
|----------------------|---------------------|--|
| Zahtjevi na proizvod | tvornički QA sistem | |
|----------------------|---------------------|--|

| | | | |
|------|---|--|--|
| 5.2. | Optičko ispitivanje (završno ispitivanje) | | |
|------|---|--|--|

| | | | |
|------|---|--|--|
| 5.3. | Mehaničko ispitivanje (završno ispitivanje) | | |
|------|---|--|--|

ZAVRŠNA ISPITIVANJA

ISPITIVANJA NA CIJELOJ KOLIČINI

| | | |
|----------------------|----------------------------------|----------------|
| Test reflektorom | tvornički QA sistem | zahtjevi kupca |
| Dimenzije i debljina | IEC 811-1-1 | zahtjevi kupca |
| Označavanje kabela | tvornički QA sistem | zahtjevi kupca |
| Označavanje vlakna | tvornički QA sistem | NT zahtjev |
| | (NT - Norveške telekomunikacije) | |

ISPITIVANJA NA UZORKU

| | | |
|-----------------------------|---------------------|------------------------|
| Vizuelna kontrola - boja | tvornički QA sistem | tvornički QA sistem |
| Istezanje | IEC 811-1-1 | IEC 304 IEC 708 - 1 |

TIPSKA ISPITIVANJA

| | | |
|----------------------|--------------|----------------------|
| Optičko vlakno | CCITTG.652 | CCITTG.652/NTA spec. |
| Ponavljano grijanje | IEC 794-1-F1 | NT zahtjevi |
| Prodor vode | IEC 794-1-F5 | NT zahtjevi |
| Slaganje komponenata | EIA 455-81A | NT zahtjevi |
| Čvrstoća | IEC 794-1-E1 | NT zahtjevi |
| Pritisak | IEC 794-1-E3 | NT zahtjevi |
| Udar | IEC 794-1-E4 | NT zahtjevi |
| Višestruko savijanje | IEC 794-1-E6 | NT zahtjevi |
| Torzija | IEC 794-1-E7 | NT zahtjevi |
| Torzija dugog kabla | NT zahtjevi | NT zahtjevi |

| | | |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Gibkost | IEC 794-1-E8 | NT zahtjevi |
| Uzlanje | IEC 794-1-E10 | NT zahtjevi |
| Savijanje na niskoj temperaturi | IEC 794-1-E11 | NT zahtjevi |
| Savijanje, 10 zavoja | NT zahtjevi | NT zahtjevi |
| Starenje kabla | NT zahtjevi | NT zahtjevi |
| Otpornost na gorenje | IEC 331 | zahtjevi kupca |
| Širenje vatre | IEC 332-3 | zahtjevi kupca |
| Vodik | NT zahtjevi | zahtjevi kupca |
| Kombinirano, torzija i savijanje | NT zahtjevi | NT zahtjevi |
| Hidrostatski tlak | NT zahtjevi | NT zahtjevi |
| Emisija dima | IEC TC 20 | NT zahtjevi |
| Emisija korozivnih i otrovnih plinova | IEC 754-1/ VDE 0472-813 | NT zahtjevi |

6. ISPITIVANJA PRI PREUZIMANJU U TVORNICI ISPORUČIOCA

Pri preuzimanju opreme u fabrici isporučioaca bitan element su standardi u odnosu na koje će se izvršiti ispitivanja. U slučaju kada ne postoje nacionalni standardi, a područje još nije u potpunosti pokriveno IEC standardima vrijedi pravilo da se za osiguranje kvalitete primjene standardi zemlje iz koje dolazi tehnologija izrade konkretnog proizvoda. U našem slučaju to je Norveška.

Na pripremljenoj količini optičkog kabla za isporuku potrebno je provjeriti:

- Osnovne fizičke karakteristike na početku i kraju kabla (dimenzije, težina i sl.)
- Svijetlovodne karakteristike vlakana
 - svjetlosno slabljenje (za svako vlakno)
 - jednakomjernost povratnog rasipanja
 - disperzija
 - određivanje granične valne dužine (po izboru)
- Po izboru i dogovoru s isporučiocem moguće je upriličiti i ponavljanje ponekog tipskog ispitivanja.

7. ZAKLJUČAK

ŽIVOTNI VIJEK OPTIČKOG PODMORSKOG KABELA QERE - R4.2.

Za kvalitetu odnosno životni vijek podmorskog kabela važan je izbor kvalitetnog materijala za izradu istog kao i odgovarajuća konstrukcija.

Više od 30 godina iskustva sa plastikom izoliranim telefonskim podmorskim kabelima, gdje su osnovne karakteristike materijala ostale nepromijenjene i preko 25 godina eksploatacije, daje konstruktorima mogućnost za dizajniranje ovakvog kabela.

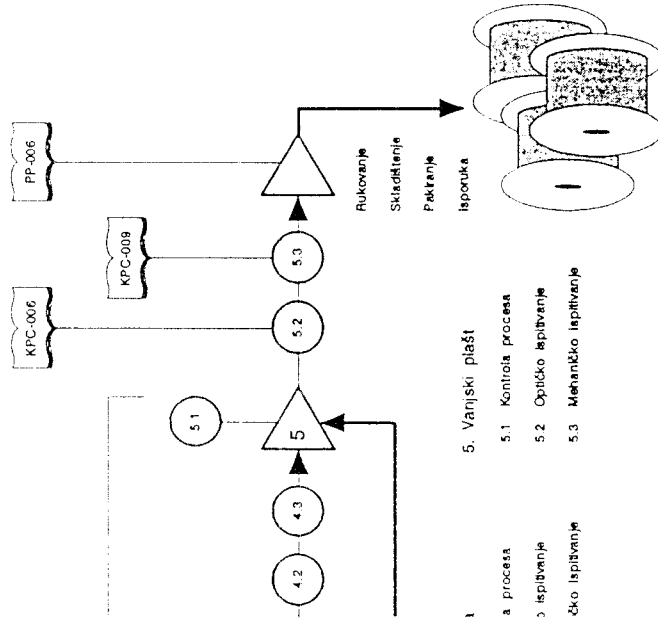
Posebna pažnja posvećena je generiranju vodika kroz koroziju što je već rečeno, a novost u konstrukciji jest primjena želatinoznog punila koje upija vodikove molekule te time omogućuje primjenu ovakve konstrukcije s životnim vijekom od najmanje 25 godina.

LITERATURA: TVORNIČKI ČLANCI

KONSTRUKCIJA PODMORSKOG OPTIČKOG KABELA QERE-R4.2



① OPTIČKI VODIČI U CIJEVČICI



—————GOTOVI KABEL—————