

Vođenje pogona i održavanje podmorskih kablskih vodova

Petrović, Luka

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:509409>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**VOĐENJE POGONA I ODRŽAVANJE PODMORSKIH
KABELSKIH VODOVA**

Rijeka, rujan 2023.

Luka Petrović

0069072858

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Diplomski sveučilišni studij elektrotehnike

Diplomski rad

**VOĐENJE POGONA I ODRŽAVANJE PODMORSKIH
KABELSKIH VODOVA**

Mentor: prof. dr. sc. Vitomir Komen

Rijeka, rujan 2023.

Luka Petrović

0069072858

Rijeka, 15. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Tehnika visokog napona**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnik: **Luka Petrović (0069072858)**
Studij: Sveučilišni diplomski studij elektrotehnike
Modul: Elektroenergetika

Zadatak: **VOĐENJE POGONA I ODRŽAVANJE PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA**

Opis zadatka:

Elementi i struktura podmorskih SN i VN kabelaških vodova.

Kriteriji za vođenje pogona podmorskih kabelaških vodova. Određivanje dopuštenog strujnog opterećenja podmorskih kabelaških vodova. Tehnički zahtjevi za održavanje i preventivno ispitivanje podmorskih kabelaških vodova.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Luka Petrović

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

Vitimir Komen

Prof. dr. sc. Vitimir Komen

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Dubravko Franković

Prof. dr. sc. Dubravko Franković

IZJAVA

Sukladno članku 8. stavku 1. Pravilnika o diplomskom radu, diplomskom ispitu i završetku diplomskih sveučilišnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, izjavljujem da sam ovaj diplomski rad „Vođenje pogona i održavanje podmorskih kablinskih vodova“, izradio samostalno uz konzultacije s mentorom prof. dr. sc. Vitomirom Komen.

Rijeka, rujan 2023.



Luka Petrović

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Vitomiru Komenu na mentorstvu i stručnoj pomoći pri izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se svim profesorima i kolegama, te obitelji i prijateljima tijekom studiranja na znanju, podršci i pomoći.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OSNOVNO O PODMORSKIM ELEKTROENERGETSKIM KABELIMA	2
2.1. Vrste konstrukcija podmorskih kabela	2
2.2. Elementi konstrukcije podmorskih kabela	3
2.3. Određivanje dopuštenog strujnog opterećenja podmorskih kablinskih vodova	5
3. PRIMJERI PODMORSKIH KABELA U HRVATSKOJ I SVIJETU.....	6
4. POLAGANJE PODMORSKIH KABELA.....	9
4.1. Osnovne faze polaganja kabela	9
4.2. Ujecaj podmorskih kabela na okoliš.....	12
5. ODRŽAVANJE PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA	14
5.1. Pristup održavanju podmorskih kablinskih vodova.....	14
5.2. Planirano (preventivno) održavanje podmorskih kablinskih vodova.....	15
5.2.1. Postupci planiranog održavanja podmorskih kabela.....	15
5.2.2. Pregled podmorskih kablinskih vodova	17
5.2.3. Pregled kopnenih dijelova (priobalnih zaštita).....	18
5.2.4. Pregled (inspekcija) kablinskog sustava na platformama.....	19
5.2.5. Mjerenje i praćenje podmorskih kabela pomoću optičkih vlakana.....	21
5.2.6. Aktivnosti održavanja na podmorskim mehaničkim zaštitama.....	21
5.2.7. Sanacijska zaštita podmorskih kabela	23
5.3. Neplanirano (korektivno) održavanje podmorskih kablinskih vodova	23
5.3.1. Razlozi neplaniranih održavanja podmorskih kabela.....	23
5.3.2. Mjere odmah nakon dojava kvara	23
5.3.3. Lociranje kvara.....	24
5.3.4. Priprema za popravljanje kvara.....	24
5.3.5. Mobilizacija resursa za radove na popravku	25

5.3.6.	Postupci popravka	26
5.3.7.	Radovi na popravku	29
5.3.8.	Uključivanje nakon održavanja koje zahtijeva isključenje	31
6.	PRIPREMA I ORGANIZACIJA HITNIH INTERVENCIJA NA PODMORSKIM KABELSKIM VODOVIMA	32
7.	MONITORING I DIJAGNOSTIKA PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA.....	34
7.1.	Naponski AC ili DC test	35
7.2.	Mjerenje parcijalnog izbijanja	36
7.3.	Mjerenje DC otpora izolacije	38
8.	NAPUŠTANJE I DEMONTAŽA PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA.....	39
8.1.	Povlačenje iz upotrebe.....	39
8.2.	Metode uklanjanja kabela	40
9.	TROŠKOVI ODRŽAVANJA PODMORSKIH KABELA	41
9.1.	Trošak rada kod preventivnog održavanja	41
9.2.	Troškovi monitoringa i dijagnostike	42
9.3.	Troškovi istraživanja na otvorenom moru	43
9.4.	Troškovi popravka.....	43
9.5.	Troškovi skladištenja i održavanja rezervnih dijelova u operativnim uvjetima	45
10.	ZAKLJUČAK	46
	LITERATURA.....	48
	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI.....	49
	ABSTRACT AND KEY WORDS	50
	POPIS SLIKA.....	51

1. UVOD

Podmorski kabelski vodovi su ključna komponenta globalnog suvremenog energetskeg sustava. Služe prijenosu električne energije između obalnih područja i otoka osiguravajući stabilno opskrbljivanje električnom energijom. Iako su neprimjetni u svakodnevnom životu, igraju ključnu ulogu u održavanju suvremenog života omogućavajući prijenos energije na velikim udaljenostima preko mora. Postoje dva tipa podmorskih kabela, za komunikaciju i za prijenos električne energije, a pretpostavlja se da postoji oko 1,4 milijuna kilometara kabela pod vodom. Komunikacijski kabeli služe da bi se cijeli svijet mogao umrežiti i povezati dok kabeli za prijenos električne energije služe da se energija sa kopna prenese na otoke, platforme, udaljena mjesta itd. U današnje vrijeme i električnu energiju proizvedenu u moru podmorskim kabelima prenosimo na kopno.

Polaganje podmorskih kabela u more je izazovan i tehnički zahtjevan proces, a time i jako skup. Podmorski kabeli su kratkog životnog vijeka zbog utjecaja mora i njihov popravak je vrlo zahtjevan posao pa ih je potrebno što kvalitetnije izrađivati kako bi se smanjila mogućnost kvara i postigla što veća dugoročnost što smanjuje ukupne troškove.

Dijelimo ih u dvije osnovne skupine ovisno o sustavu u kojem se koriste: na izmjenične (AC) i istosmjernu (DC) podmorske kabele. Istosmjerni podmorski kabeli se koriste u situacijama kada primjena izmjeničnih kabelskih vodova nije moguća, a ograničena primjena izmjeničnih podmorskih kabela je vezana za visoke kapacitivne struje, visoke struje kratkih spojeva, povezivanje dvaju elektroenergetskih sustava različitih frekvencija, visoke gubitke i slično.

Ovaj rad obrađuje tehničku i ekonomsku problematiku vođenja pogona i održavanja podmorskih elektroenergetskih kabela tijekom životnog vijeka.

2. OSNOVNO O PODMORSKIM ELEKTROENERGETSKIM KABELIMA

2.1. Vrste konstrukcija podmorskih kabela

Podmorski kabelski sustavi općenito se dijele na dvije glavne tehnologije konstrukcijske izvedbe:

- s ekstrudiranom izolacijom (XLPE ili EPR) ili
- s izolacijom impregniranom papirom (MI, SCFF i HPFF).

Za sustave izmjenične struje pokazalo se da su kabeli s ekstrudiranom izolacijom najčešći, a slijede SCFF (eng. Self-Contained, Fluid-Filled), HPFF (eng. High-Pressure, Fluid-Filled) i vrlo rijetko MI (eng. Mineral Insulated). Za sustave istosmjerne struje tehnologija MI je najčešća, a slijedi XLPE (eng. cross linked polyethylene) i vrlo rijetko SCFF. Sustavi kabela HPFF nisu dio HVDC (eng. High-Voltage Direct Current) tehnologije. Također, podmorske kabele dijelimo u tri osnovne skupine:

- jednožilni AC kabeli položeni na morskom dnu u razmacima otprilike 20 do 30m (moguće i drukčije udaljenosti),
- trožilni AC kabeli sa zajedničkom armaturom i
- DC visokonaponski kabeli (dvožilni ili jednožilni).

Izbor trožilnih ili jednožilnih AC kabela ovisi o različitim faktorima uključujući karakteristike trase na podmorskom dnu, duljinu kabela, mogućnosti instalacije i drugo. Trožilni kabelski vodovi često su poželjni kad je potrebno smanjiti zauzimanje podmorskog dna, što kod jednožilnih kabela može zahtijevati razmak od čak 20 do 30 metara između pojedinačnih žila. Iako je moguće polaganje i na manjim razmacima, to se obično ne primjenjuje zbog rizika od oštećenja više kabela istovremeno. S druge strane, polaganje trožilnih kabela zahtijeva više prostora zbog većih dimenzija (promjera). Trožilni kabeli s zajedničkom armaturom imaju prednost manjih gubitaka, posebno zbog simetričnog rasporeda faznih vodiča iako su obično značajno skuplji od jednožilnih kabela. Danas su dostupni jednožilni i dvožilni DC podmorski kabeli, pri čemu se najčešće koriste jednožilne izvedbe koje su opremljene dokazanom izolacijom od impregniranog papira i dostupne su za napone veće od 500 kV [1].



Slika 2.1. Presjek trožilnog podmorskog kabela

2.2. Elementi konstrukcije podmorskih kabela

Vodiči u podmorskim kabelima obično se izrađuju od bakra, iako se ponekad koristi i aluminij. Bakar je češće preferiran jer se može koristiti s manjim presjecima, što dovodi do većih ušteda u potrošnji materijala i pojednostavljenja procesa polaganja. S druge strane, aluminij se češće primjenjuje u dubljim dijelovima podvodnih ruta zbog nižih temperatura. Vodiči u podmorskim kabelima mogu biti izrađeni na različite načine, uključujući:

- jedan masivni vodič,
- veći broj međusobno zbijenih i upredenih žica (najčešća izvedba kod podmorskih kabela),
- vodiče sastavljene od segmentiranih polukružnih profila,
- vodiče u obliku šupljeg valjka sastavljene od segmentiranih polukružnih profila i
- Millikenove vodiče - segmentirani vodiči u kojem svaka pojedinačna žica mijenja poziciju u cilju smanjenja utjecaja gubitaka zbog efekta potiskivanja. Često mogu biti izvedeni s izolacijom između segmenta ili u obliku šupljeg valjka.

Izolacija u podmorskim kabelskim vodovima stvara potencijalnu prepreku između visokog potencijala vodiča i okoline. Trenutačno se kao materijal za izradu izolacije u podmorskim kabelima često koristi umreženi polietilen (eng. cross linked polyethylene - XLPE), dok se polietilen (eng. polyethylene - PE) rijetko koristi zbog ograničenih temperatura koje može podnijeti (70-80°C). Izolacija od etilen-propilen gume (eng. Ethylene Propylene Rubber - EPR) ponekad se primjenjuje u srednjenaponskim podmorskim kabelima, dok se za podmorske DC kabele često koristi tehnologija izolacije s impregniranim papirom. Iako se ova vrsta izolacije nekada često koristila za srednjenaponske podmorske trožilne kabele, danas se uglavnom primjenjuje za HVDC podmorske kabele.

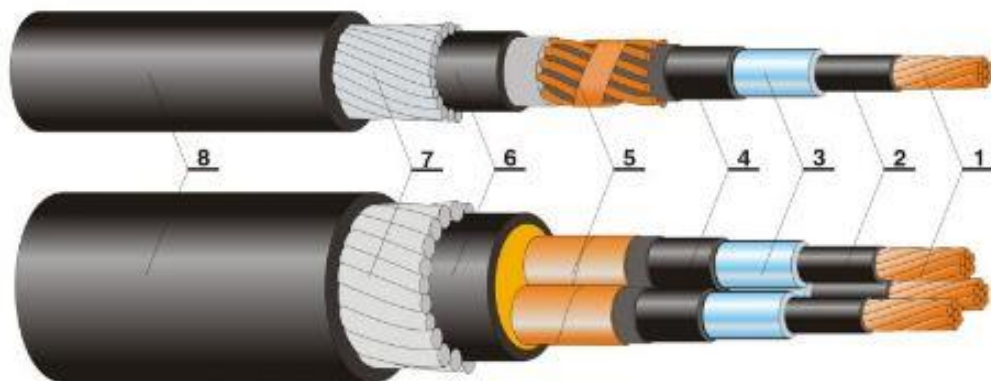
Poluvodljivi slojevi izolacije primjenjuju se radi stvaranja ravne i glatke površine oko vodiča i izolacije te obično imaju debljinu od 1 do 2 mm. Na taj način sprečavaju se izraženija lokalna električna opterećenja na izolaciji koja mogu proizaći iz izbočina ili površinskih efekata.

Metalni plašt kabela obično se izrađuje od olova, a rjeđe od aluminijske ili bakrene. Njegova primarna svrha je kvalitetna zaštita od prodora vlage i mehaničkih oštećenja, te igra ključnu ulogu u odvođenju struja kvara. Ovisno o namjeni, debljina plašta varira u rasponu od 2 do 5 mm, gdje je kod trožilnih kabela moguće imati ili zasebne metalne plašteve za svaki vodič ili jedan zajednički metalni plašt, pri čemu se najčešće koriste zasebni metalni plaševi.

Armatura se ugrađuje da bi se podmorski kabel zaštitio od mehaničkih oštećenja ili naprezanja kojima je izložen u moru. Najčešće se izrađuje od čeličnih žica, ali i od čeličnih traka što rezultira visokim gubicima uslijed nastanka vrtložnih struja. U plitkim vodama, vrlo često se ugrađuju međusobno razmaknute armaturne žice što olakšava polaganje, smanjuje utrošak materijala i značajno smanjuje gubitke nastale uslijed vrtložnih struja. U jednožilnim podmorskim kabelima, gubici uzrokovani vrtložnim i kružnim strujama značajno smanjuju prijenosnu moć kabela, dok su ti gubici u slučaju trožilnih podmorskih kabela manje izraženi. Ponekad se kao armatura koriste nemagnetski materijali poput bakra ili aluminijske kako bi se smanjili gubici i povećala prijenosna moć kabela. No, treba napomenuti da takva rješenja često ne pružaju dovoljnu mehaničku čvrstoću, što kabele čini podložnima mehaničkim oštećenjima. U jednožilnim kabelima, zbog visokih gubitaka uzrokovanih kružnim i vrtložnim strujama, često se koristi armatura od aluminijske ili aluminijskih legura, ali također i od bakra, dok se kod trožilnih podmorskih kabela ugrađuje armatura od čeličnih žica koje su međusobno helikoidalno namotane.

Vanjska izolacija najčešće je izrađena od polietilena (eng. High Density Polyethylene - HDPE ili eng. Low Density Polyethylene - LDPE) koji nije otporan na visoke temperature, ali ima visoku otpornost

na prodor vlage. Glavna mu je svrha zaštita armature i plašta od prodora vlage i djelovanja korozije [1].



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 2.2. XHE 46/29 i XHE 49/24 podmorski kabeli hrvatskog proizvođača ELKA [2]

2.3. Određivanje dopuštenog strujnog opterećenja podmorskih kablskih vodova

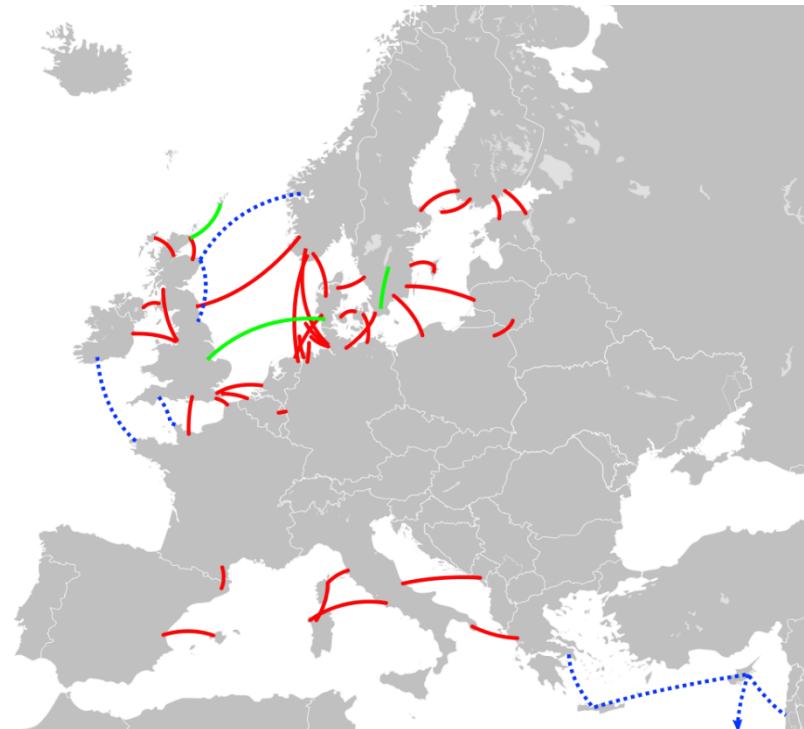
Postoji nekoliko prihvatljivih metoda za izvođenje proračuna struje, uključujući analitičke metode poput onih iz IEC 60287 (za stacionarni režim) ili IEC 60853 (za dinamičke režime), numeričke metode poput metode konačnih elemenata ili hibridnih metoda. Uvjeti postavljanja mogu značajno varirati duž podvodnog kabela. Često nije ekonomski isplativo dimenzionirati podvodne električne kabele na temelju najzahtjevnijih dijelova rute kabela, pa se veličina vodiča može povećati samo za kratke dijelove gdje postoje "vruće točke" upotrebom spojnika. Ponekad se većina rute kabela može izvoditi s aluminijskim vodičem, dok se bakreni vodiči koriste za kritične dijelove [3].

3. PRIMJERI PODMORSKIH KABELA U HRVATSKOJ I SVIJETU

U svijetu postoji veliki broj podmorskih kabela koji služe za povezivanje unutar samih država, između dvije države ili čak i kontinenta. Neki od primjera su:

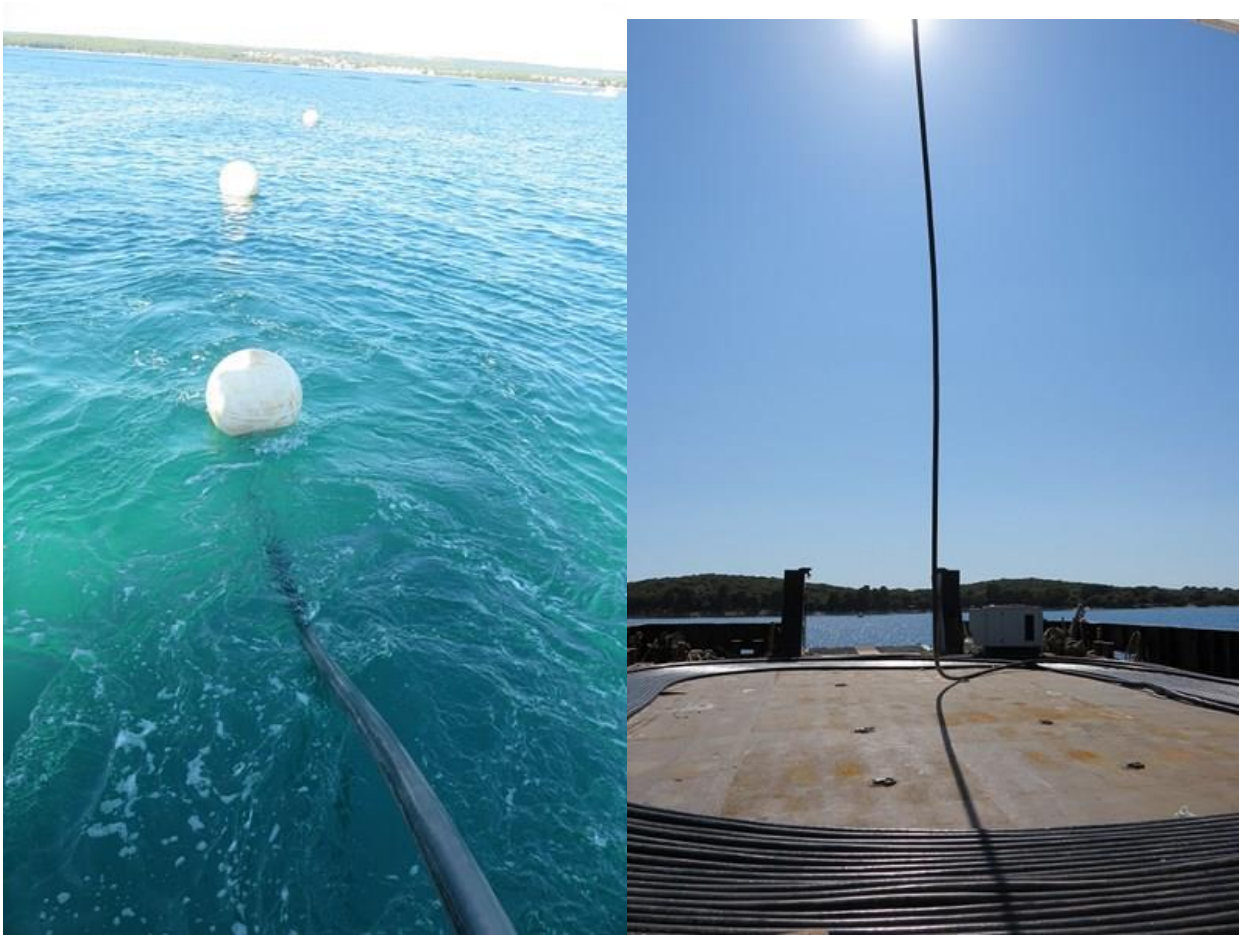
- NorNed (Norveška - Nizozemska): Podmorski kabelski sustav koji povezuje Norvešku i Nizozemsku. Ovaj kabel omogućuje prijenos električne energije između norveške hidroelektrane i nizozemskih potrošača. NorNed je jedan od najdužih podmorskih energetskih kabela na svijetu i doprinosi stabilnosti električne mreže u obje zemlje.
- Baltički kabel (Švedska - Njemačka): Baltički kabel povezuje elektroenergetske mreže Švedske i Njemačke preko Baltičkog mora. Dug je otprilike 250 kilometara i pomaže u izjednačavanju opskrbe energijom između dviju zemalja.
- Križni kanalski interkonektor (Francuska - Velika Britanija): Križni kanalski interkonektor (fra. Interconnexion France Angleterre - IFA) povezuje elektroenergetske mreže Francuske i Velike Britanije. Proteže se ispod Engleskog kanala i ima značajnu ulogu u osiguranju stabilne opskrbe električnom energijom.
- Basslink (Australija): Basslink je visokonaponski podmorski elektroenergetski kabel koji povezuje državu Tasmaniju s kopnenim dijelom Australije. Pruža Tasmaniji ključnu vezu s nacionalnom elektroenergetskom mrežom i pomaže u ispunjavanju njezine potrebe za električnom energijom.
- Istočna HVDC veza (Kina - Tajvan): Istočna visokonaponska veza povezuje elektroenergetske mreže kopnene Kine i Tajvana putem podmorskog kabela. Povećava pouzdanost opskrbe električnom energijom Tajvana i podržava razmjenu električne energije.
- Sicilija - Kalabrija interkonektor (Italija): Ovaj podmorski kabel povezuje talijanski otok Siciliju s kopnenim dijelom Kalabrije. Ima ključnu ulogu u osiguravanju stabilnosti sicilijanskog energetskog sustava i olakšava prijenos električne energije.
- Haenam – Jeju podmorski elektroenergetski kabel (Južna Koreja): Južna Koreja ima nekoliko podmorskih elektroenergetskih kabela koji povezuju kopno s otocima. Kabel Haenam – Jeju povezuje otok Jeju s kopnom, osiguravajući stabilnu opskrbu električnom energijom stanovnicima otoka i industriji.

Na slici 8.1 crvenom linijom prikazani su kabeli koji su u upotrebi, zelenom koji su u izgradnji, a plavom točkastom planirani za izgradnju.



Slika 3.1 HVDC podmorski kabeli u Europi [4]

2021. godine položena su dva 20 kV pomorska kabela na dionicama Premantura - otok Porcer i Fažana - Brijuni, prvi duljine 2310 metara, a drugi duljine 2250 metara. Time je ostvareno neometano napajanje NP Brijuni i otočića Porcer. To su bili radovi od oko pet milijuna kuna i očekuje se vijek trajanja od oko 40 godina. Na dionici Fažana - Brijuni uspješno je izvedeno polaganje kabela kroz do sada najduže izgrađenu priobalnu zaštitnu cijev duljine 330 metara što je postupak polaganja kabela učinilo složenijim [5].



Slika 3.2. Polaganje podmorskog kabela Fažana-Brijuni [5]

Između Biograda na Moru i Tkona na otoku Pašmanu 2011. položena je podmorska dionica kabela 20(10) kV duga 2390 metara. Kopneni dio dionice u Biogradu dug je 100 m, a onaj u Tkonu 240 m. Ovim zahvatom zamijenjen je stari kabel položen 1971. godine koji je već bio nepouzdan i često se kvario [6].

4. POLAGANJE PODMORSKIH KABELA

4.1. Osnovne faze polaganja kabela

Prije polaganja radi osiguranja kvalitete podmorskih kabela i ostale opreme, nužno je obaviti određena ispitivanja kvalitete. S obzirom na mjesto ispitivanja, razlikuju se dvije vrste ispitivanja kvalitete, ispitivanje kod proizvođača kabela i terensko ispitivanje. Ispitivanje kod proizvođača karakteriziraju tipska ispitivanja, obvezna ili rutinska ispitivanja te nadzorna ispitivanja pri preuzimanju. S druge strane, terenska ispitivanja sastoje se od ispitivanja prije i poslije polaganja kabela te ispitivanja nakon popravka kvara.

Polaganje podmorskih kabela vrlo je zahtjevan posao za koji su potrebni pogodni vremenski uvjeti,iskusni radnici i odgovarajući alat i oprema. Radi se na način da je kabel namotan na posebno dizajniran brod s kojeg se kabel spušta u more. Brod za postavljanje kabela plovi duž unaprijed planirane rute polako puštajući kabel u more. Sustavi za napetost kontroliraju spuštanje kabela kako bi održali pravilnu poravnanoost i spriječili oštećenja.



Slika 4.1. Brod za postavljanje podmorskog kabela koji se koristi u Hrvatskoj

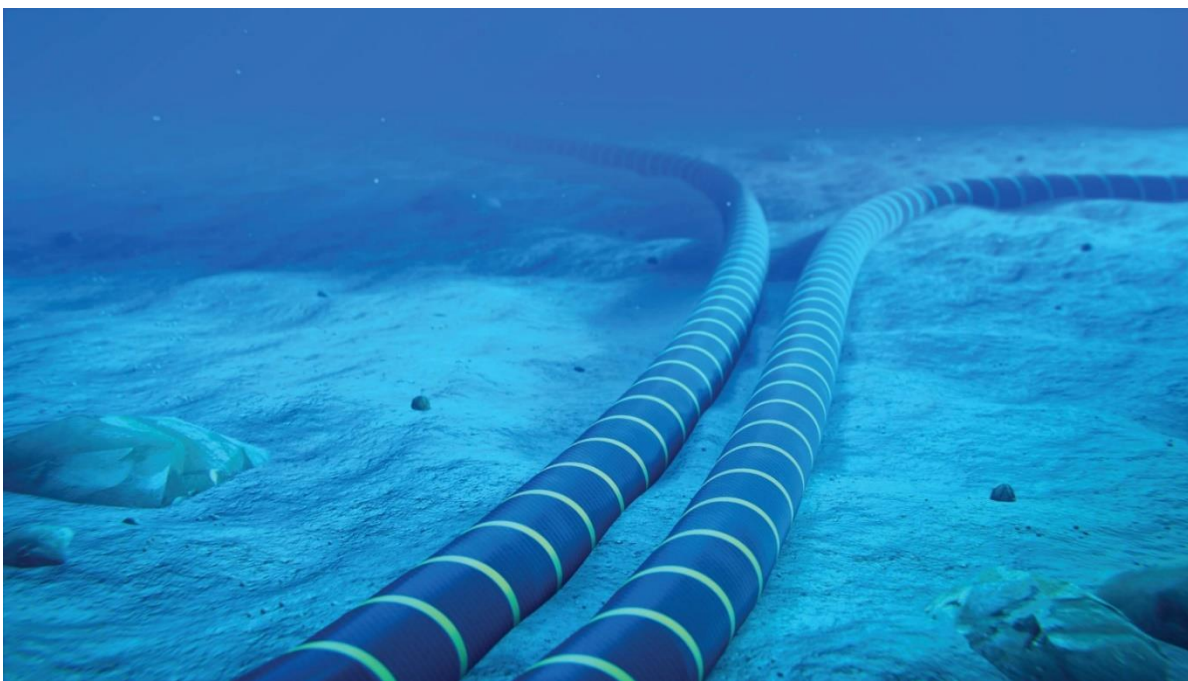


Slika 4.2. Postavljanje kabela s plutačama

Obično se uz obalu do dubine mora oko 10 metara kabel postavlja u posebne cijevi koje se ukopane u tlo radi zaštite ljudi, a i samog kabela. Na dubinama većim od 10 metara kabel je položen na morsko dno gdje se svojom težinom ukopa u morski mulj i tamo ostaje trajno. Ponekad se koriste podmorski plugovi ili daljinski upravljani uređaji (eng. remotely operated vehicle - ROV) kako bi se kabel zakopao ispod morskog dna.



Slika 4.3. Ispuštanje kabela u more [7]



Slika 4.4. Ilustracija kabela postavljena na morsko dno [8]

Kabel dolazi do obale na određenim točkama izlaza na kopno. To su obično dobro zaštićena područja kako bi se sačuvao kabel i zaštitili ljudi. Kabel je najčešće postavljen u ukopanu cijev ili je oko njega postavljena zaštita. Ovdje se kabel povezuje s mrežnim čvorištem na kopnu.



Slika 4.5. Dva tipa zaštite kabela na obali [9]

4.2. Utjecaj podmorskih kabela na okoliš

Kao dio inženjeringa i dizajna na početku projekta često je potrebno procijeniti potencijalni utjecaj kablenskog sustava na svoje okruženje. To se može odnositi na fazu instalacije kao i na faze korištenja i održavanja. Prisutnost podmorskog kabela u morskom dnu predstavlja odstupanje od izvornog prirodnog stanja što je neizbježna činjenica. Do danas se utjecaj prisutnosti podmorskog kabela na okoliš smatra minimalnim, ali vjerojatno će se provoditi detaljnija istraživanja u budućnosti.

Kada je u radu toplina opterećenog kabela prenosi se na svoju okolinu rezultirajući zagrijavanjem obližnjeg morskog dna. Stupanj zagrijavanja morskog dna može se izračunati pomoću termalnih modela. Utjecaj zagrijavanja morskog dna na okoliš još je u proučavanju. Općenito vrijedi da što je dublje kabel zakopan toplija je zemlja oko samog kabela dok će temperatura blizu površine morskog dna biti niža zbog velike količine zemlje između kabela i površine morskog dna. Kada se zagrijavanje morskog dna uzrokovano prisutnošću kabela uspoređuje s zagrijavanjem morskog dna zbog sunčevog svjetla, učinak zagrijavanja podmorskog kabela čini se manjim, ako ne i zanemarivim. Međutim to ne znači da nije mjerljivo. Ako je cilj dizajna i instalacije podmorskog kabela da ne rezultira značajnim zagrijavanjem morskog dna tada se tip kabela, njegova veličina i dubina zakopavanja mogu odrediti

prema tim zahtjevima više nego prema zahtjevima koji se odnose na sigurnost i mehaničku zaštitu kabela. Zahtjevi za ograničavanje promjena temperature morskog dna imaju vrlo značajan utjecaj na dizajn kabela i instalaciju podmorskih kabela, a slijedom toga i na trošak njihove instalacije, kao i na ukupni trošak kabelskog sustava i njegovo održavanje.

Elektromagnetsko polje kako iz AC tako i iz DC kabela može uzrokovati malu promjenu lokalnog magnetskog polja zbog preklapanja s magnetskim poljem Zemlje. Određene vrste DC kabela mogu uzrokovati lokalnu promjenu magnetskog polja ako nisu postavljeni na način da se magnetsko polje koje stvara kabel poništava međudjelovanjem struja koje teku kroz njega. Magnetni kompas na brodu pod određenim okolnostima može biti utjecan u plitkim vodama ako magnetsko polje ispod njega nije uravnoteženo zbog djelovanja elektromagnetskog polja kabela. Prilikom polaganja kabela potrebno je razmotriti i orijentaciju rute kabela u odnosu na linije magnetskog polja Zemlje. Magnetna polja iz AC kabela općenito su niska i vrlo lokalizirana. Za trojezgrene kabele to je zato što se međusobnim djelovanjem jezgri na maloj udaljenosti polje gotovo poništi. Jednojezgreni kabeli postavljeni udaljeni jedan od drugoga obično su vezani s obje strane, što također rezultira ograničenim lokaliziranim magnetskim poljem jer struje koje kruže u metalnim oplatama i oklopnim slojevima pomažu u poništavanju polja i tako smanjuju ukupni utjecaj elektromagnetskog polja iz kabelskih vodiča. Elektromagnetsko polje generirano kabelom može ometati neke morske sisavce i ribe, ali samo na maloj udaljenosti od kabela. Određene vrste riba mogu otkriti male promjene u magnetskom polju koje koriste za lov na druge ribe. Još uvijek postoje nesigurnosti u vezi utjecaja elektromagnetskih polja na morski okoliš. Trenutno dostupne informacije ne pokazuju značajne negativne učinke elektromagnetskog polja generiranih od strane AC i DC podmorskih kabela na ribe, rakove i druge morske životinje i biljke.

Instalacija kabela ponekad može uzrokovati privremenu mutnoću. To je slučaj tijekom ukopavanja kabela u morsko dno. Mutnoća može privremeno skrivati ribe od njihovih grabežljivaca i uzrokovati taloženje pijeska na različitim udaljenostima. Pijesak potencijalno može ometati neke vrste riba i privremeno prekriti morski život.

Za instalaciju kabela koriste se brodovi i alati s motorima na unutarnje sagorijevanje koji imaju emisije plinova. Tijekom instalacije brodovi i drugi alati koji se koriste emitiraju buku i svjetlo. To može uzrokovati privremeno i ograničeno uznemiravanje lokalne faune i ljudi u području. Obično aktivnosti ribolova mogu biti pogođene i bukom i svjetlosnim emisijama.

5. ODRŽAVANJE PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA

5.1. Pristup održavanju podmorskih kablskih vodova

Održavanje na električnoj opremi podmorskih kablskih sustava se provodi iz različitih razloga.

Glavni razlozi za provođenje održavanja su sljedeći:

- izbjegavanje kvarova,
- izbjegavanje zagađenja okoliša,
- izbjegavanje kasnijeg skupljeg održavanja,
- produljenje životnog vijeka opreme,
- popravak neispravnih komponenata,
- izbjegavanje pravnih i financijskih sankcija i
- izbjegavanje moguće nedostupnosti opreme.

Postoje tri temeljno različita načina izvođenja održavanja:

- održavanje temeljeno na vremenu, za provođenje preventivnog održavanja prema unaprijed utvrđenom rasporedu,
- održavanje temeljeno na stanju, za provođenje preventivnog održavanja na temelju trenutnog stanja (na temelju periodičnih mjerenja ili praćenja) komponente
- korektivno održavanje, za popravak ili zamjenu uništenih elemenata opreme.

Održavanje temeljeno na vremenu i održavanje temeljeno na stanju spada u planirano održavanje, a korektivno održavanje u neplanirano. Održavanje temeljeno na vremenu i održavanje temeljeno na stanju imaju istu namjeru, izbjegavanje kvarova u radu. Održavanje temeljeno na stanju se također može nazvati "prediktivno održavanje" što znači da se provode mjerenja i praćenja kako bi se odredile potrebne radnje koje će uslijediti kako bi se izbjegli kvarovi u radu.

Sljedeći korak u održavanju je vjerojatnosni pristup. Ova metoda uzima u obzir nekoliko parametara, kao što su stanje kabela, troškovi održavanja, važnost kabela, rizici itd. Svi ovi parametri će dovesti do programa održavanja. Za izgradnju takvog programa održavanja potrebni su točni i pouzdani podaci te dobre analize stručnjaka. Uz dostupne informacije ova vrsta održavanja trenutno se još

uvijek značajno ne primjenjuje na kabelskim sustavima, ali vjerojatnosni pristup sve više ulazi u upotrebu što donosi napredak u politikama održavanja.

Većina održavateljskih aktivnosti koje se provode i dalje se temelje na vremenskom pristupu. Zbog sve većeg broja kabelskih sustava koji se koriste diljem svijeta sve je više svijesti o tome da bi održavanje trebalo preusmjeriti na održavanje temeljeno na stanju. Izvođenje tradicionalnog vremenskog pristupa održavanja na sve većem broju kabelskih sustava zahtijeva puno više napora s organizacijskog gledišta i također zahtijeva više osoblja za izvođenje tih aktivnosti što povećava operativne troškove. Kako bi se olakšao prijelaz na održavanje temeljeno na stanju važno je da su svi podaci vezani uz kabelske sustave točni i ažurirani (popravci, preusmjeravanja, itd.). Također je vrlo važna dobra baza podataka prošlih događaja i provedenih dijagnostičkih mjerenja kako bi se učinkovito provodilo održavanje temeljeno na stanju.

Održavanje podmorskih elektroenergetskih kabelskih vodova tijekom životnog vijeka pogona može se podijeliti na dvije glavne i odvojene faze:

- planirano (preventivno) održavanje i
- neplanirano (korektivno) održavanje

Planirano održavanje obuhvaća sve aktivnosti koje se mogu planirati kako bi se kabelski sustav održavao u ispravnom radnom stanju do kraja njegovog vijeka trajanja. Sve aktivnosti u vezi s radom i dizajnom trebaju olakšati moguće neplanirano održavanje što se odnosi na inspekciju i održavanje te na plan pripravnosti za moguće neplanirano održavanje. Neplanirano održavanje uključuje sve aktivnosti potrebne za ponovno postavljanje u funkciju kabelskog sustava uslijed kvara. Također neplanirano održavanje može biti povezano s izvanrednim promjenama na dnu mora gdje se procjenjuje da bi popravak mogao biti potreban. U neplanirano održavanje spadaju i postupci hitnih intervencija dijagnostike i popravka kvarova na podmorskim kabelima.

5.2. Planirano (preventivno) održavanje podmorskih kabelskih vodova

5.2.1. Postupci planiranog održavanja podmorskih kabela

Podvodni kabeli često su sredstva koja zahtijevaju skupe i dugotrajne popravke i obično su dizajnirani za vijek trajanja do 50 godina. Stoga je izuzetno važno da vlasnik kabela razmotri aktivnu politiku

održavanja kako bi se smanjio rizik od kvara kabela. Većina kvarova na podvodnim kabelima uzrokovana je ribolovnim radnjama i sidrenjem dok je vrlo malo slučajeva prijavljeno kao unutarnji kvarovi. Ispravni postupci za osiguranje visoke pouzdanosti podmorske kabela veze započinju u fazi projektiranja.

Unutarnji kvarovi čine samo manji dio svih kvarova na podmorskim kabelima. Glavni uzroci vanjskih oštećenja na podmorskim kabelima su ribolovne radnje i sidrenje pa nije preporučljivo držati poziciju podmorskih energetskih kabela tajnom. Preporuka Međunarodnog odbora za zaštitu kabela preporuča da je prije, za vrijeme i nakon instalacije kabela jedan od prvih koraka potrebnih za zaštitu podmorskog kabela od oštećenja je komunikacija o položaju kabela s korisnicima morskog dna koji se bave aktivnostima koje mogu ugroziti kabel. Sve obalne zemlje imaju nacionalne hidrografsko-upravne organe odgovorne za izdavanje službenih nautičkih karata. Ruta kabela treba biti prenesena odgovarajućim nacionalnim tijelima kako bi se kabel prikazao na kartama proizvedenim od strane vlade i komercijalno dostupnim kartama, kao i ispravicima karata koje koriste mornari.

Rizici sidrenja mogu se ograničiti putem niza tehnika. Zakopavanje ili drugi oblici mehaničke zaštite standardna su praksa. Ako se kabelski sustav može usmjeriti tako da se nalazi na području niske aktivnosti plovila, to može značajno smanjiti vjerojatnost udara u kabel i oštećenja. Pomorske vlasti mogu proglasiti zaštitne zone u kojima su određene aktivnosti poput sidrenja i ribolova zabranjene.

Iskapanje morskog dna postaje sve veća prijetnja vlasnicima kabela iako je većina energetskih kabela trenutno ograničena na teritorijalno more ili isključivi gospodarski pojas. Sve većom potrebom za iskopom pijeska i šljunka razvija se industrija iskopavanja morskog dna i dolazi do sve učestalijih oštećenja na podmorskim kabelima. Dobar izbor rute kabela smanjuje vjerojatnost takvih susreta.

Budući da je zaštita podmorskih kabela cilj mnogih korisnika podmorskih kabela postoje brojne organizacije za zaštitu kabela diljem svijeta. Vlasnici podmorskih kabelskih sustava mogu biti članovi jedne ili više organizacija za zaštitu kabela. Vlasnik kabela može uspostaviti plan inspekcije podmorskog kabela. Vrsta inspekcija i učestalost moraju se prilagoditi lokalnim uvjetima i uzeti u obzir procjene rizika. Ovisno o svojstvima i dinamici morskog dna podmorski pregled može biti potreban svakih nekoliko godina ili možda uopće neće biti potreban. Vrsta i učestalost pregleda također se mogu mijenjati tijekom životnog vijeka imovine.

5.2.2. Pregled podmorskih kablaskih vodova

Dobra praksa za vlasnike podmorskih kabela je posjedovanje točnog znanja o položaju kabela i njegovom okruženju. Geografski podaci iz „As-laid“ ili „As-built“ dokumentacije koje pružaju instalateri kabela daju osnovu za nadzor nad kablaskim sustavom. Dokumentacija „As-laid“ pruža geodetski prikaz položaja kabela u odnosu na dvodimenzionalni (ili trodimenzionalni) prikaz rute kabela koji može biti neprecizan zbog grešaka u mjerenju prilikom postavljanja kabela. Stvarni položaj kabela može se razlikovati od zabilježenog položaja zbog grešaka prilikom mjerenja izazvanim zahtjevnim uvjetima na moru.

Tijekom vremena podmorski kablovi mogu promijeniti svoj položaj u odnosu na informacije iz „As-laid“ dokumentacije. Događaji poput strujanja vode, premještanja sedimenta, snažnih oluja, potresa, klizišta ili njihovih kombinacija mogu utjecati na oblik morskog dna. Ovisno o lokalnim uvjetima tla i formacijama morskog dna neka područja su sklonija ovim događajima stoga i promjenama u položaju kabela. Promjene u obliku morskog dna mogu utjecati na dubinu ukopavanja položenog kabela. Ta promjena može biti značajna, a u nekim slučajevima čak i do nekoliko metara. Drugi uzrok kretanja morskog dna poznat je kao pješčani valovi. Oni imaju učinak dubljeg ukopavanja dijelova kabela dok drugi dijelovi ostaju izloženi, potencijalno čak slobodno viseći. U svrhu održavanja i upravljanja podmorskim kabelima, dubina ukopavanja i oblik morskog dna igraju veliku ulogu za kvalitetno postavljen kabel (npr. kabel koji je plići od predviđenog može smanjiti razinu fizičke zaštite, a kabel zatrpan dublje od predviđenog može narušiti toplinsku ocjenu).



Slika 5.1. Slika dobivena batimetrijskim mjerenjem koja prikazuje pješčane valove [10]

Ako već nije potrebno prema dozvolama ili lokalnim vlastima, preporučljivo je da vlasnici kablaskog sustava održavaju ažurirane zapise, karte itd. na što većoj razini točnosti uzimajući u obzir dinamiku i karakteristike morskog dna. U područjima s većom dinamikom potrebni su češći pregledi kabela u

usporedbi s područjima s niskom ili nultom dinamikom morskog dna. Neovisno o redovitim pregledima preporučljivo je da se provode i u slučaju specifičnih događaja kao što su potresi, veliki olujni događaji i slično.

Dubinu ukopavanja moguće je mjeriti pomoću uređaja za praćenje kabela koji se može montirati na ROV ili ga može nositi ronilac. Uređaji za praćenje kabela temelje se na mjerenjima magnetskog polja, akustičkim valovima ili kombinaciji tih metoda kako bi se odredio relativni položaj kabela. Učinkovitost u mjerenju položaja kabela i točnost dubine mjerenja znatno ovise o vrsti kabela, udaljenosti od uređaja za praćenje kabela, vrsti tla i drugim čimbenicima. Ako položaj kabela odstupa od prethodnog položaja, taj bi se podatak trebao ažurirati kod relevantnih nacionalnih hidrografskih vlasti. Ako se dubina ukopavanja ili vanjska zaštita razlikuju od očekivanih vrijednosti vlasnik kabela može odlučiti poduzeti mjere za popravljanje termalnih uvjeta ili razine fizičke zaštite kabela.

5.2.3. Pregled kopnenih dijelova (priobalnih zaštita)

Kopnene dionice podmorskog kabela zaslužuju posebnu pažnju. Ruta kabela može biti preko plimnih ravni, pješćane ili stjenovite plaže, zona prskanja, litica i drugih prepreka. Bez obzira na to jesu li kabeli postavljeni u ukopane cijevi, ukopani izravno, pričvršćeni, vanjski zaštićeni, postavljeni na površinu ili postavljeni u zemlju metodom horizontalno usmjerenog bušenja (eng. Horizontal Directional Drilling - HDD), preporučljive su vizualne inspekcije i topografska mjerenja kako bi se otkrile promjene poput premještanja tla, izloženosti kabela ili zaštitne cijevi, neočekivanih građevinskih radova, oštećenja stezaljki ili vanjske zaštite, oštećenja kabela itd. Kod nepristupačnih izlaza na kopno mogu se koristiti dronovi kako bi preletjeli takve lokacije i ukazali je li potrebna bliža inspekcija. Svaka inspekcija treba biti dokumentirana kako bi se uspostavila osnova za usporedbu u budućnosti.

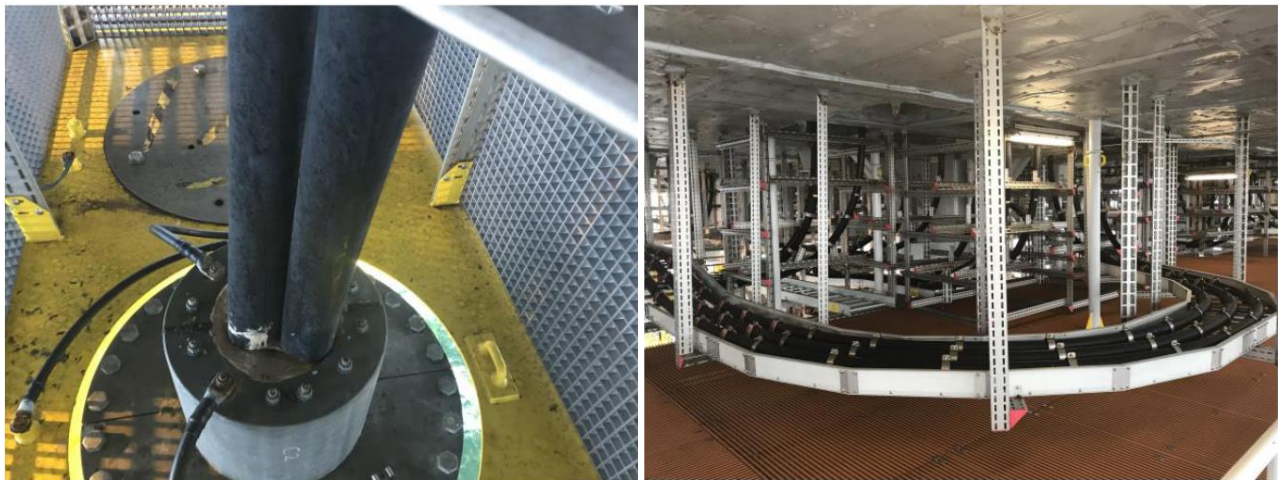


Slika 5.2. Kabel izložen vanjskim utjecajima na kopnu [10]

5.2.4. Pregled (inspekcija) kablenskog sustava na platformama

Kablenske instalacije na morskim platformama (uključujući vjetroelektrane na moru) imaju osjetljive dijelove gdje je kabel izložen i podložan trošenju, a neki od njih su:

- zvono J-cijevi, centralizator i čep,
- gornji prijelazni spoj,
- gornji kabel, stezaljke, uvodnice i brtve,
- završetak kabela i
- ormari za spojeve, za optičkim vlakna i uzemljenje.



Slika 5.3. Sustav za vješanje kabela i kabeli na platformi [10]

Podvodni dijelovi trebaju se inspekcijom pregledavati ROV-om ili ronionicima jer promjene ili štetni utjecaji u tom području mogu rezultirati skupim prekidom rada i popravkom ako se ne reagira na vrijeme.



Slika 5.4. Falcon ROV [11]

Komponente iznad razine vode trebaju se redovito vizualno pregledavati zbog mogućnosti korozije, mehaničkih oštećenja, krhkosti, labavim dijelovima, curenjem itd. Također se mogu razmotriti termografija i ispitivanje ovojnice kabela i uzemljenja. Kabel na vrhu treba pregledati radi prisutnosti izmeta ptica koji je potrebno očistiti i stanja protupožarnih premaza.

5.2.5. Mjerenje i praćenje podmorskih kabela pomoću optičkih vlakana

Podmorski energetske kabele danas su općenito opremljeni integriranim optičkim kablom ili instalirani u snopu s optičkim kablom. Upotreba mjerenja i sustava praćenja temeljenih na optičkim vlaknima sve se više koristi u podmorskim energetske kabelskim sustavima za otkrivanje i lociranje potencijalnih:

- toplih točki putem distribuiranih mjerenja temperature,
- sekcija izloženih vanjskom utjecaju putem distribuiranog mjerenja temperature ili akustičkim mjerenjima,
- mehanički stresova putem distribuiranih mjerenja naprezanja,
- mehaničkih oštećenja ili kvarova na energetske kabele i
- kvarova zabilježenim akustičkim ili vibracijskim mjerenjima.

5.2.6. Aktivnosti održavanja na podmorskim mehaničkim zaštitama

Podmorski kabele imaju armaturni žičani omotač koji prvenstveno služi za preuzimanje napetosti tijekom instalacije u moru ili na brodu za polaganje, ali također djeluje i kao vanjska zaštita. Međutim dodatna mehanička zaštita podmorskog kabela često se pruža ukopavanjem u morsko dno, a ponekad i putem vanjske zaštite. Dizajn žičanog oklopa i težina kabela je bitan dio stabilnosti.

Podmorski kabele također mogu biti postavljeni nezaštićeni na morskom dnu, ali pod uvjetom da postoji vrlo nizak rizik od vanjskih oštećenja (npr. na velikoj dubini ili na područjima s niskom ribolovnom aktivnošću). U slučaju premještaja morskog tla koje rezultira izloženim kablom treba provesti procjenu za vibracije izazvane vrtlogom (eng. Vortex Induced Vibration - VIV) kako bi se spriječili zamor i kvar. U tom slučaju, stabilizacija kabela (sidrenje, vreće sa spojevima, betonski madrac) može biti potrebna kako bi se izbjeglo habanje i zamor uslijed pokreta kabela djelovanjem mora.

Razlozi za razmatranje dodatnih ili korektivnih radova na zaštiti mogu biti povezani s:

- radovima na instalaciji koji nisu uspjeli postići željenu dubinu ukopavanja,
- promjenama u dubinama ukopavanja, izlaganjem kabela zbog pokretljivosti sedimenta,
- visokom stopom kvarova uočenih zbog vanjskih oštećenja, što pokazuje da kabel nije dovoljno zaštićen ili stabiliziran i
- promjenama u vanjskom riziku, kao što je povećanje rizika od sidrenja ili tehnika ribolova koje dolaze u kontakt s morskim dnom.

Radovi na korektivnoj zaštiti također se mogu zahtjevati zbog formalne obveze (npr. osiguranja ili vlasti) ili iz sigurnosnih razloga (npr. rizik od ribolova). Preporučljivo je donijeti odluku o potencijalnoj korektivnoj zaštiti nakon potpunog procjenjivanja:

- rizika povezanih s izvođenjem korektivnih radova (npr. rizik od oštećenja kabela),
- troškova korektivnih radova i
- očekivane koristi tijekom preostalog vijeka trajanja kabela.

Glavni rizik povezan s ovim aktivnostima je oštećenje kabela. Taj rizik ostaje nizak kada se korektivne radnje pažljivo osmišljavaju i provode prema najboljim praksama industrije. Troškovi takve operacije mogu ovisiti o odabranim tehnikama, razini zaštite, uvjetima tla i vremenu. Neki alati ili tehnike zahtijevaju rad dok kabel nije spojen na mrežu iz sigurnosnih razloga ili radi očuvanja integriteta kabela. U takvom slučaju gubitak prihoda također treba uzeti u obzir. Očekivane koristi izvođenja korektivnih zaštitnih radova mogu se procijeniti uzimajući u obzir:

- usporedbu rizika od oštećenja kabela prije radova i nakon izvođenja korektivnih radova,
- financijske posljedice potencijalnih kvarova,
- koliko dugo bi korektivni zaštitni radovi mogli trajati,
- kako bi lokacija kvara i popravak kabela mogli postati teži u slučaju unutarnjeg kvara i
- smanjenje stope osiguranja.

5.2.7. Sanacijska zaštita podmorskih kabela

Nakon inspekcije kablenskog voda možda će biti potrebni sanacijski radovi kako bi se zaštita podmorskih kabela ponovno uspostavila na projektirane razine. Sanacijski radovi mogu se sastojati od ponovnog zakopavanja gdje je kabel izložen ili radova povezanih s ponovnim postavljanjem neke druge vanjske zaštite koja je mogla biti pogođena (npr. djelovanjem valova i struje). Ukoliko se utvrdi da je kabel dodatno prekriven poželjno je ukloniti dodatni sloj da se ne narušavaju svojstva kabela. Ponovni zaštitni radovi također se mogu razmotriti ako se smatra da se izloženost rizicima podmorskog kabela povećava. To će obično biti povezano s vanjskim uzrocima kao što je povećanje ribolovne aktivnosti ili veći rizik od sidrenja.

5.3. Neplanirano (korektivno) održavanje podmorskih kablenskih vodova

5.3.1. Razlozi neplaniranih održavanja podmorskih kabela

Neplanirano održavanje može biti potrebno zbog kvara kabela ili oštećenja kabela nakon incidenta. Također neplanirano održavanje može biti potrebno uslijed erozije morskog tla gdje se razina zaštite od vanjskih prijetnji mora ponovno uspostaviti.

Popravak kabela je potreban kada je kompromitiran na način da nije u mogućnosti sigurno prenositi energiju. Ovisno o kablenskom sustavu, njegovoj konfiguraciji, okruženju i lokaciji kvara, postupci i sredstva za popravak mogu znatno varirati.

5.3.2. Mjere odmah nakon dojava kvara

Operatori će primiti alarme ili zaštitni uređaji mogu ukazivati na kompromitirani kabel. U ovoj fazi je preporučljivo kao prvi korak svakog plana potvrditi da je indikacija kvara stvarna i da nije rezultat lažne aktivacije. Preporučljivo da operater koristi neke od alata koji se mogu koristiti za indikaciju kvara, poput uređaja za zapisivanje podataka o kvaru i sličnih. Nakon što se potvrdi da je kvar stvaran izvršava se brzo orijentacijsko lociranje kvara koje bi trebalo vlasniku kabela dati dati do znanja ako se kvar nalazi na kopnenom ili morskome dijelu kabela te se tada može izvršiti točno lociranje kvara pomoću ispitivanja.

5.3.3. Lociranje kvara

Lociranje kvara prvi je korak u popravku podmorskog kabela zbog čega je važno održavati pouzdan i točan postupak kako bi se potrošilo što manje rezervnog kabela. Netočna lokacija kvara zahtijeva veću količinu kabela za uklanjanje kako bi se osiguralo da je pogođeni dio kabela uklonjen. Lociranje kvara obično se izvodi u dvije faze, prva je lociranje s terminala na obali, a druga precizno lociranje uz pomoć broda. Lociranje kvara s obalnih terminala omogućuje određivanje približne udaljenosti između kvara i mjesta mjerenja. Ova faza od velike je važnosti jer pomaže u geografskom lokaliziranju kvara i operaciji popravka pomoću najprikladnije tehnike i opreme. U plitkim vodama potrebna su drugačija plovila za popravak kabela nego za dublje vode. Elektroničke tehnike mjerenja pulsa i odjeka (eng. Time Domain Reflectometer - TDR) pokazali su se posebno vrijednim i pouzdanim u te svrhe. Lociranje kvara s obalne terminalne stanice može se izvršiti putem optičkog kabela ako postoji OTDR (eng. Optical Time-Domain Reflectometer). Međutim, u slučaju greške velike impedancije mjerenje impulsnog odjeka na energetskim kabelima potrebno je upariti s drugim sustavima.

5.3.4. Priprema za popravljanje kvara

Nakon precizne identifikacije kvara treba procijeniti uvjete rada, dostupnost osoblja i opreme za spojeve, a zatim započeti pripremu logistike za prijevoz rezervnih kabela, opreme i materijala koji mogu uključivati:

- rezervne komplete za spojeve i završne kapice,
- optički kabel (ako je korišten),
- trenutnu vremensku prognozu,
- program rada plovila i operacija i
- unajmljivanje ronionca ako je potrebno.

Kada se to utvrdi, sljedeći elementi trebaju biti dogovoreni između klijenta i izvođača popravka:

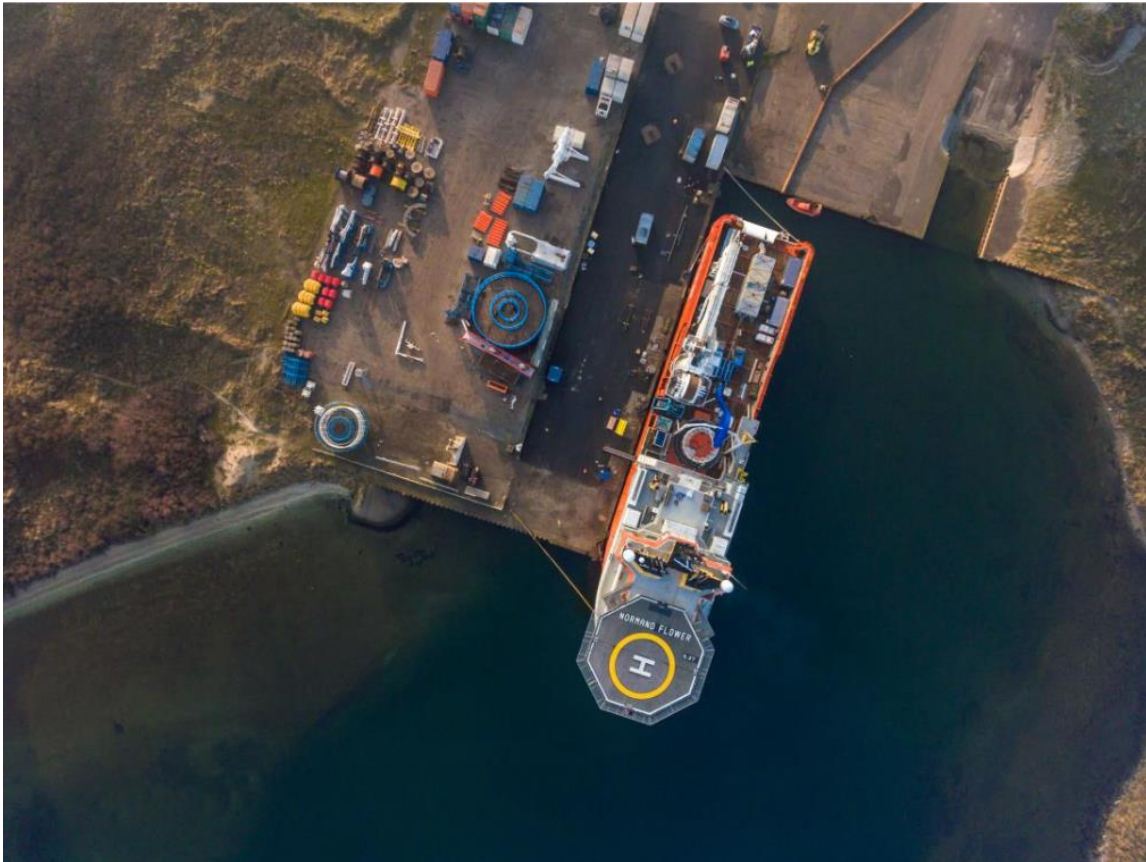
- dobivanje potrebnih dozvola za izvođenje popravka kabela,
- ispitivanje područja sumnje na kvar i šire okoline, uzimajući u obzir sve anomalije,
- čišćenje od neeksplozivnih ubojitih sredstava, ako je potrebno,
- nabava plovila primjerenih za potrebne radove popravka kabela,
- utvrditi najprikladniju opremu za iskopavanje kabela i zaštitu kabela i
- procjena inducirano napona prije početka popravka kabela ili spojeva.

5.3.5. Mobilizacija resursa za radove na popravku

Sljedeći zadaci mobilizacije trebaju se izvršiti unaprijed prije izvođenja popravaka ili zamjene morskog kabela:

- mobilizacija osoblja na moru,
- unošenje opreme i materijala na brod za popravak kabela ili odgovarajuće brodove za podršku,
- praćenje vremenske prognoze radi prepoznavanja povoljnih vremenskih uvjeta,
- priprema sukladno uputama za postupak spajanja kabela.

Brodsko oprema za popravak kabela i stručno osoblje podložni su dostupnosti i uvjetima na tržištu na moru u to vrijeme.



Slika 5.5. Brod u mobilizaciji za popravak kabela [10]

5.3.6. Postupci popravka

Popravak kabela može biti različit po složenosti i trajanju, od nekoliko dana do nekoliko mjeseci. Razlika proizlazi iz različitih čimbenika poput planiranja u slučaju hitnosti, dostupnosti rezervnih dijelova, dostupnosti broda, vrste kabela, složenosti popravka, lokacije kvara, dubine zakopavanja kabela, godišnjeg doba, mehanizama osiguranja, važnosti kabela itd. Postoje posebni slučajevi kao što su kvar u kanalu ili kvar u vrlo plitkim vodama koji će zahtijevati nešto specifičniju strategiju, planiranje i alate. Prije nego što popravak započne kabel treba učiniti sigurnim, obično uzemljenjem na oba kraja. Operativna odgovornost za visokonaponski kabel prenosi se na tim za popravak koji mora osigurati sigurnost rada na kabelu, uzimajući u obzir moguće probleme poput induciranih napona i udara groma, gdje se električni potencijal kabela može podići na opasnu razinu. Podaci o tlu i dubini zakopavanja obično se moraju pregledati i procijeniti kako bi se odredilo kako će kabel biti izložen u području gdje je potreban popravak.

Planiranje različitih scenarija popravka povećava mogućnost kraćeg vremena prestanka rada.

Planiranje uključuje sljedeće korake:

- prikupljanje informacija iz baze podataka o kabelskom sustavu (stari pregledi, zapisnik o proizvodnji kabela, detalji o rukovanju kabelima te druge informacije),
- potvrđivanje dostupnosti rezervnih kabela i dijelova, spojnice i alata
- upravljanje dionicima (dobivanje dozvola, obavještanje vlasti, interakcija s drugim uslugama, osiguranje itd.),
- provjera rezervnih dijelova te potvrda količine i stanja rezervnih kabela,
- provjera kritičnih parametara rukovanja kabelom (eng. Critical Cable Handling Parameters - CCHP) (CCHP mora uvijek biti zadržan, posebno tijekom ponovnog zakopavanja i sanacije ako se kabel planira ponovno koristiti u popravku),
- ispitivanje kritičnih resursa kao što su dostupnost broda, odgovarajuće spojnice i posebna oprema,
- modifikacija broda ili uređenje broda uzimajući u obzir parametare rukovanja kabelom u svim fazama operacije i
- razmatranje i rješavanje općih rizika (porast potencijala tla, vrijeme, udari munja itd.).

S druge strane opći koraci u stvarnom popravku sastoje se od:

- istovar rezervnih kabela i dodatne opreme (uključujući i višak opreme u slučaju kvara tijekom popravka),
- pripremni radovi na licu mjesta (lociranje kabela i kvara, otkrivanje kabela ako je primjenjivo),
- rezanje, sanacija i uklanjanje oštećenog kabela,
- testiranje, brtvljenje i polaganje rezervnog kabela,
- izvođenje 1. spoja između postojećeg i rezervnog kabela,
- izvođenje 2. spoja,
- polaganje spojeva,
- iskrcavanje nepotrebnih rezervnih kabela,
- ponovno uspostavljanje zaštite kabela i spojeva na morskom dnu.

Približna lokacija kvara ključna je za napredovanje inženjeringa i određivanje potrebe za preciznim lociranjem (eng. pinpointing). Pri ispitivanju oštećenog i lošeg dijela kabela možda će biti potrebno utvrditi opseg kvara ako postoji vidljiva šteta. Ispitivanje kvara i okoline dat će odgovore o potrebama za ponovnim zakopavanjem i postavljanjem popravljenog kabela.

Iskopavanje i uklanjanje vanjske zaštite uključuje mobilizaciju alata za iskopavanje i broda koji može biti odvojen od glavnog broda za popravak. Cilj iskopavanja je precizno određivanje kvara na kabelu i osiguranje da kabel može biti izvađen tijekom operacije popravka. Oprema za iskopavanje ovisi o vrsti i složenosti zaštite koju treba ukloniti, a u praksi iskopavanje je potrebno za kabele zakopane dublje od 0,5 m. Moraju se uzeti u obzir integritet kabela kao i vrsta i karakteristike zemlje kojom je kabel zakopan ili čak kamena ako je prisutan. Treba paziti da se alat za iskopavanje kontrolira kako ne bi oštetio kabel ili dodatno zakopao kabel.

Precizno određivanje kvara potrebno je kako bi se osiguralo da se popravak izvodi na ispravnom mjestu. Postoje razne tehnike preciznog lociranja ovisno o vrsti kabela i vrsti kvara na kabelu. Rezanje i brtvljenje važno je radi sigurnog spajanja spojeva za popravak s kabelom pri čemu je korisno ako se ova aktivnost može izvesti zajedno s operacijom ponovnog zakopavanja. Cilj je osigurati da se dovoljna količina rezervnog kabela donese kako bi se uspješno izvršio popravak. Minimalni radijus savijanja (eng. Minimum Bending Radius - MBR) dok kabel izlazi iz morskog dna, kao i napetost, trebaju se pravilno pratiti kako bi se smanjio rizik od oštećenja.

Mobilizacija za popravak treba se izvršiti prema prethodno objašnjenom planiranju i inženjeringu. Mobilizacija uključuje prilagodbu broda parametrima rukovanja kabelom, količinom kabela, staništem za spajanje i rukovanje spojevima, kao i drugim pomoćnim sustavima potrebnim za operaciju kao što su ROV, oprema za ispitivanje, vitlovi i dizalice itd. Ovisno o lokaciji kvara (plitka ili duboka voda) koristiti se različiti brodovi. U plitkoj vodi možda neće biti potrebno popravljati s velikim brodovima. Stoga se popravak može izvesti optimizacijom troškova. Izvođenje međuuređajnih i završnih testiranja u nekim slučajevima može biti korisno provoditi kako bi se otkrili probleme tijekom rada ili na mjestu spajanja. Kod kabela s integriranim optičkim vlaknima, praćenje optičkih vlakana može pomoći u otkrivanju značajnih problema koji se javljaju tijekom rada. Drugi pristup je izvođenje "testa nakon instalacije", a to uključuje TDR/OTDR ispitivanja. Ovo se može izvesti prije ponovne zaštite kabela kako bi se osiguralo da je popravak uspješan prije nego što se počne s ponovnim zakopavanjem. Pri popravljaju kabela ispunjenih tekućinom preporučuje se i testiranje tlaka ulja pod radnim tlakom nakon svakog spoja s trajanjem od 24 sata. Nakon što je kabel

položen na svoje konačno mjesto nakon posljednjeg spoja također se preporučuje isti test jednakog trajanja. U tom slučaju TDR/OTDR testiranja mogu se izvoditi paralelno. Nakon što je popravak završen popravljani kabel može se vratiti u normalan rad ili dodatno testirati. Ponovno ukopavanje popravljene sekcije na morskom dnu može se obaviti ako je to smisljeno za vlasnika instalacije kabela, a može se izvesti i kasnije ako je važno da veza bude što prije u funkciji. Ponovno ukopavanje u kasnijem razdoblju (npr. tijekom planiranog razdoblja isključenja) može se razmatriti, ako su to odobrile vlasti ili vlasnik kako bi se izbjegla oštećenja kabela zbog sidrenja, ribolova ili drugih aktivnosti. Ponovna ukopavanje putem mlaznice s pomoću ronioca ili drugih metoda u nekim slučajevima može biti dopušteno dok je kabel u upotrebi, ali to se obično ne prihvaća.

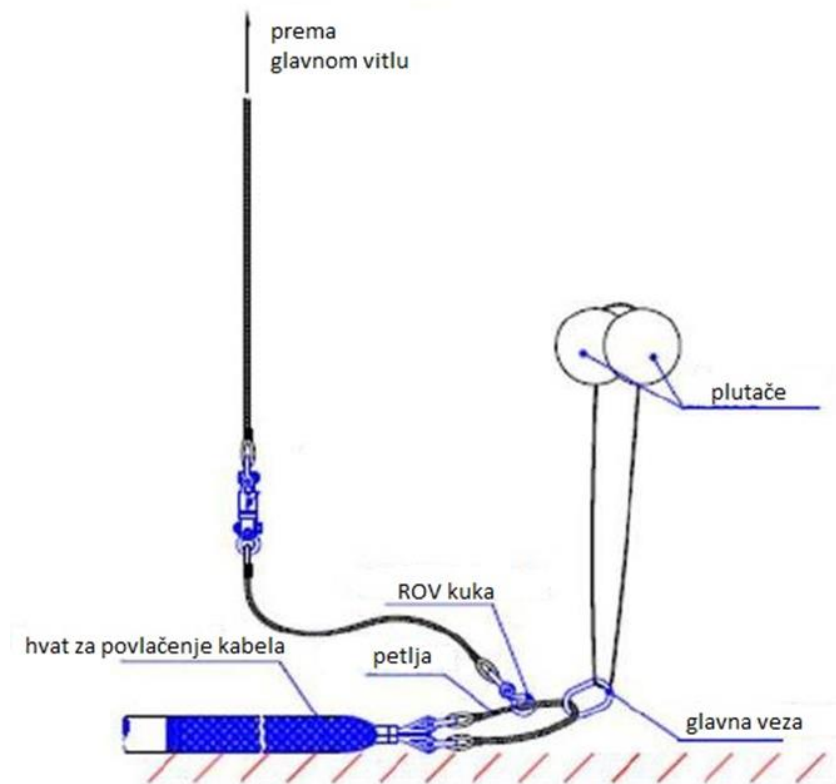
5.3.7. Radovi na popravku

Ako je kabel zakopan tada kod iskopavanja kabela sa svake strane kvara trebalo bi uzeti u obzir dubinu vode kao i karakteristike ukopa kabela na tom području. Općenito kabel bi trebao biti iskopan minimalno dva do tri puta dubine vode kako bi se osiguralo dovoljno kabela za izvođenje spojnih operacija na oba kraja. Ovo može varirati ovisno o točnosti lokacije kvara i očekivanom prodoru vode uzduž kabela. Radovi na iskopavanju će biti sporiji i teži na područjima s postavljenim kamenom ili čvrstim tlima. Ako je kabel u području zaštićenom betonskim madracima ili kamenim nasipom bit će potrebna dodatna oprema za čišćenje zaštite (za kratke dionice ako je dopušteno, može biti ekonomičnije napustiti i zaobići oštećenu dionicu ispod stijena/madraca).

Nakon iskopavanja stijena s kabela obično se izvode sljedeći koraci:

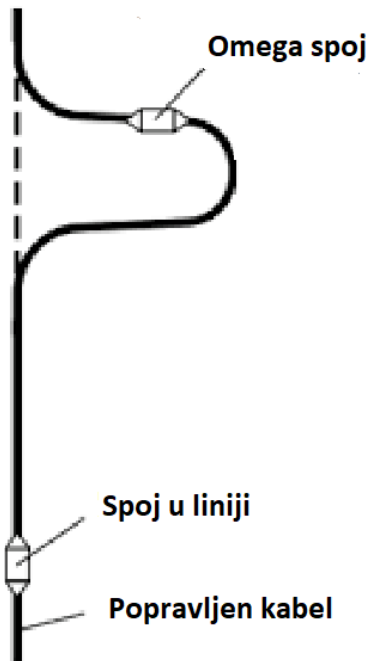
- Vizualni pregled sumnjive lokacije kvara. To se obično izvodi putem ROV-a koji prolazi iznad sumnjivog oštećenog dijela kako bi provjerio postoji li očigledan znak kvara na kabelu. U plitkim vodama to se može izvesti uz pomoć ronioca. Izuzetno je malo vjerojatno da će se u ovoj fazi napraviti točna identifikacija kvara osim ako oštećenje nije posljedica vanjskog utjecaja.
- Rezanje kabela u blizini sumnjive lokacije kvara i, ako je primjenjivo konfiguracija kabela na dnu mora za kasnije polaganje. Kabel se obično reže dijamantnim rezačem ili giljotinskim rezačem.
- Kliješta ili bilo koja druga odgovarajuća oprema za podizanje kabela instaliraju se na oba kraja kabela pomoću ROV-a i dizalica uz podršku ronioca (Slika 5.6.).

- Prvi kraj kabela koji će se podići trebao bi biti pretpostavljeni „zdravi” kraj. Nakon podizanja na palubu broda kabel se pričvršćuje, priprema i potvrđuje da je nema daljnjih oštećenja.
- Rezanje kabela dok na izolaciji kabela više nema tragova prodora vode.
- Nakon što se vidi da je kabel u dobrom stanju i suh zatvara se i instalira se oprema za ponovno polaganje po mogućnosti s odašiljačem na kraju kabela.
- Polaganje neoštećenog i zatvorenog kabela na dno mora.



Slika 5.6. Primjer opreme za popravak kabela [10]

- Oštećeni kabel se podiže uz pomoć već instalirane opreme za podizanje. Vraća se na palubu, osigurava i izvodi se ispitivanje kako bi se potvrdio kvar. Ovo ispitivanje trebalo bi pokazati koliko kabela treba ukloniti kako bi se došlo do dijela kabela s potpunom integritetom i odsutnošću prodora vode.
- Postoji više načina za spajanje s izvučenim kabelom. Vrsta spoja ovisi o dubini vode što može zahtijevati različite tehnike poput spoja u liniji za popravke u plitkoj vodi i „omega” spoja za popravke u dubljoj vodi. Kontinuirano praćenje napetosti tijekom postupka spajanja treba biti prisutno kako bi se spriječilo preopterećenje kabela.



Slika 5.7. Spoj "omega" i spoj u liniji [12]

- Nakon uspješnog prvog spoja kabel se polaže prema prvom kraju prema normalnim postupcima polaganja. Preporučuje se korištenje ROV-a tijekom ovog postupka polaganja za praćenje točke dodira s dnom. Drugi kraj (koji je prethodno bio pokriven i zapečaćen) vraća se na palubu i izvodi se drugi spoj.
- Nakon postupka spajanja slijedi konačno polaganje na način da se prednji dio kabela se spušta prema dnu mora pomoću dizalice. ROV oslobađa kabel te se izvodi pregled područja polaganja.
- Ponovno ukopavanje kabela i spojeva radi osiguranja odgovarajuće zaštite kabela.
- Preporučuje se električno ispitivanje kabela koje treba izvesti iz lokalne kopnene stanice prije puštanja u pogon.
- Konačni pregled i ažuriranje evidencija kablenskog sustava [10].

5.3.8. Uključivanje nakon održavanja koje zahtijeva isključenje

Nakon što je popravak i testiranje završeno, kablenski sustav službeno se predaje operativnom osoblju, a članovi popravka ne smiju raditi na kabelu bez uputa odavde. Uključivanje se tretira kao i obično od strane operativnog osoblja.

6. PRIPREMA I ORGANIZACIJA HITNIH INTERVENCIJA NA PODMORSKIM KABELSKIM VODOVIMA

Zemaljski i većina podmorskih energetske kabela predstavljaju infrastrukturu od ključne važnosti jer su značajni za povezanost društva i ekonomije. Tradicionalna primjena podmorskih energetske kabela bila je povezivanje otočnih zajednica s energetske mrežama na kopnu kako bi se smanjila ovisnost o energiji proizvedenoj fosilnim gorivima ili prenosili neiskorišteni izvori energije u regije koje pate od nedostatka iste. Gubitak korištenja ove infrastrukture može imati katastrofalne posljedice za povezane zajednice, a popravci mogu trajati mjesecima ovisno o lokaciji. Iako neispravan podzemni kabel često postoji u povezanoj mreži i protok energije se može preusmjeriti preko drugih grana mreže dok će podmorski energetski kabeli manje vjerojatno imati tu mogućnost. Ipak u slučaju kvara kako podzemnih tako i podmorskih kabelskih sustava kratki prekidi u radu su poželjni. Stoga se preporučuje imati Plan pripravnosti za hitne popravke.

Plan pripravnosti za hitne popravke može smanjiti utjecaj uzrokovan kvarom kabela. Kratko vrijeme popravka može smanjiti ekonomski utjecaj na operatora kabela i zajednice koje podržavaju. Dobra praksa je imati planove unaprijed prije nego što potencijalni prekid utječe na sudionike. Plan popravka trebao bi uključivati razmatranje dostupnosti strateških resursa kako bi se olakšao popravak kabela (npr. rezervni kabel, specijalizirana oprema, zahtjevi za plovilo, itd.).

Plan pripravnosti za hitne popravke čini opis metodologije, procesa, sporazuma s pružateljima usluga i postupaka za praćenje kada dođe do kvara kabelskog sustava uključujući sve aktivnosti kako bi se kabelski sustav što prije vratio u funkciju. Plan bi trebao voditi kroz cjelokupni postupak popravka uključujući lociranje kvara, mobilizaciju, opremu i alate, dozvole, korištenje dokumentacije o izgradnji, provođenje različitih scenarija popravka uključujući radnje spajanja, testiranje kabela nakon popravka, itd. Preporučuje se da se ovaj plan idealno uspostavi prije komercijalnog pokretanja kabelske veze i povremeno pregledava kako bi se osigurala ažuriranost.

Neposredno nakon oštećenja kabela, vlasnik se suočava s pitanjima poput:

- gdje se nalazi kvar,
- posjeduju li se rezervni kabeli i spojnice za popravak,
- gdje se može unajmiti plovilo za popravke te koja je vrsta plovila i opreme potrebna,
- gdje se može unajmiti iskusnu ekipu za popravke i spajanje,
- koje su dozvole potrebne,
- koja nadzorna tijela moraju biti obaviještena,
- tko je uzrokovao neuspjeh i može li se tražiti odštetu i
- utječe li se na susjedne kabele tijekom popravka (npr. da li ih je potrebno isključiti radi sigurnosti zbog induciranih napona).

Nedostatak korisnih rezervnih dijelova može ozbiljno odgoditi popravak jer većina HVAC kabela, HVDC kabela i podmorskih energetske kabela nije na zalihama i proizvodi se po narudžbi. Odgovoran vlasnik kabela trebao bi znati odgovore na većinu ovih pitanja prije nego što se dogodi bilo kakav kvar osim položaja kvara. Vlasniku se savjetuje da sastavi detaljnije popise mogućih problema u vezi s popravkom kabela za svaki podmorski kabel te da prilagodi plan popravka prema vlastitom jedinstvenom skupu okolnosti jer ne postoje dvije iste operacije. Preporučuje se imati planove spremne za važne ili strateške kabela veze, a po potrebi posvećene planove za svaku vezu. Ipak za većinu podzemnih kabela veza dovoljan je opći plan.

7. MONITORING I DIJAGNOSTIKA PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA

Monitoring i dijagnostika podmorskih kablova od ključne su važnosti za osiguranje pouzdanog rada. Podmorski kablovi izloženi su utjecaju okoline poput tlaka, temperature i morskog života što može dovesti do istrošenosti ili čak kvara kabela. Dijagnostička tehnika je ona koja pomaže identificirati prisutnost, prirodu i uzrok problema unutar kabelskog sustava obično bez navođenja kako je problem nastao. Nadzorna tehnika ima svrhu neprekidnog nadzora koji se provodi pomoću specijalizirane opreme kako bi se pratile određene parametre tijekom rada. Podmorski kabeli opremljeni su sustavima za praćenje koji neprestano prikupljaju podatke o različitim parametrima, uključujući temperaturu, tlak i integritet kabela. Ti sustavi često uključuju senzore i uređaje za praćenje podataka postavljene duž kabela koji šalju podatke na nadzorne stanice na kopnu. Napredne tehnike analize podataka i umjetne inteligencije koriste se za obradu podataka prikupljenih iz sustava za praćenje i tehnologija daljinskog osjećaja. Algoritmi strojnog učenja mogu otkriti anomalije, predviđati kvarove kabela i optimizirati rasporede održavanja. Periodična ispitivanja rute kabela pomoću brodova opremljenih sonarom i drugom opremom za istraživanje pomažu u procjeni stanja morskog dna i dubine ukopa kabela. Ta ispitivanja također identificiraju potencijalne rizike poput geoloških aktivnosti ili ribolovnih aktivnosti koje bi mogle oštetiti kabel. Kada dođe do kvara kabela specijalizirana oprema koristi se za lociranje točnog položaja kvara duž kabela. Brodovi za popravak opremljeni ROV-ovima i alatima za popravak kabela šalju se na mjesto kako bi obavili popravak i spajanje. Tehnologije daljinskog nadzora poput sonara i akustičkih senzora koriste se za inspekciju stanja podmorskih kabela i identifikaciju potencijalnih problema. ROV-ovi mogu biti opremljeni kamerama i sensorima za snimanje slika i mjerenja fizičkog stanja kabela.

Učinkovito praćenje i dijagnostika podmorskih kabela ključni su za održavanje pouzdanosti i otpornosti. Redoviti pregledi, analiza podataka i proaktivno održavanje pomažu u minimiziranju prekida i poremećaja internetskog i telekomunikacijskog prometa. Neke od tehnika za dijagnostiku su naponski AC ili DC test, mjerenje parcijalnog izbijanja, mjerenje DC otpora izolacije.

7.1. Naponski AC ili DC test

Ovi testovi se uglavnom izvode kao testovi nakon instalacije, u svrhu otkrivanja nedostataka koji mogu uzrokovati prijevremeni kvar tj. proboj u glavnoj izolaciji, posebno kao posljedica loše izrade spojeva i završetaka. Vjerojatnost nastanka kvara tijekom ispitivanja uvelike ovisi o vremenu ispitivanja i ispitnom naponu. Što je viši ispitni napon, veća je vjerojatnost proboja izolacije tijekom ispitivanja. U tom smislu ovaj test djeluje kao proces provjere izolacijskih nedostataka, što zauzvrat smanjuje vjerojatnost preuranjenog kvara u radu. AC test također se koristi u redovnom održavanju. U takvom slučaju primijenjena razina napona obično je niža od one primijenjene tijekom puštanja u rad. Svrha tog ispitivanja je otkrivanje nedostatka koji su mogli nastati tijekom servisiranja. Opće je poznato u industriji da se primjena AC napona na XLPE izolacijske sustave treba izbjegavati ako je ta ista izolacija prethodno bila izložena visokim DC naponima. Ovo se također odnosi se na DC kabele sa XLPE izolacijskim materijalom. To znači da se moraju izbjegavati ispitivanja izmjeničnim naponom DC kabela nakon obavljenih istosmjernih ispitivanja ili nakon što su pušteni u rad, jer to može dovesti do pogoršanja ili kvara kvalitetne izolacije kabela. Isto tako treba izbjegavati visoke DC napone na XLPE izolaciji namijenjenoj za uporabu u AC sustavima.

Istosmjerni test obično je jeftiniji od izmjeničnog testa. Oba zahtijevaju slične pripreme (isključivanje iz mreže, sigurnosne mjere), ali se korištena oprema značajno razlikuje. Zajednički faktori koji utječu na cijenu oba testa su:

- trošak prekida rada (rad, planiranje, gubitak prihoda, itd.),
- lokacija testiranja (troškovi mobilizacije opreme i dostave znatno rastu kada testiranje treba izvoditi na udaljenim mjestima ili teško dostupnim područjima)
- Duljina kabela (izravno utječe na potrebnu opremu i snagu generatora (AC testovi) i na količinu energije (za DC testove))

Uz sve navedeno, trošak izmjeničnog testa uvelike ovisi o vrsti izolacije, zbog razlika u faktoru rasipanja između izolacijskih materijala. Na primjer, EPR ima relativno visok faktor rasipanja, što može dovesti do potrebe za snažnijom opremom kako bi se postigao željeni napon u usporedbi s XLPE izolacijom. Sva gore navedena razmatranja rezultiraju velikim razlikama u cijeni testa. Primjer ispitnog sustava potrebnog za ispitivanje dugih AC 400 kV kabela prikazan je na slici 5.1.



Slika 6.1. Ispitni sustav za ispitivanje dugih AC 400kV kabela [10]

7.2. Mjerenje parcijalnog izbijanja

Mjerenje parcijalnog izbijanja (eng. Partial discharge - PD) omogućuje otkrivanje latentnih lokaliziranih nedostataka u izolaciji. Mogu se otkriti i veliki nedostaci što omogućuje zaustavljanje ispitivanja prije kvara izolacije. Otkrivaju se samo određene vrste kvarova (samo oni koje dovode do parcijalnog izbijanja). Tipično se sastoje od plinovitih šupljina ili kontaminanata unutar mase izolacije kao i defekata na spojevima obično uzrokovanim greškama u izradi. Kako su signali za mjerenje parcijalnog izbijanja visokofrekventni impulsi podložni su značajnom prigušenju pri prolasku kroz kabel. Kada su prisutni diskontinuiteti u kabelskom sustavu izvorni PD signal je dodatno izobličen. To znači da što su senzori za parcijalno izbijanje bliže mjestu izbijanja to se signal može učinkovitije mjeriti. U svrhu provođenja temeljitog PD mjerenja na dugim kabelima s više spojeva ključno je lokalno mjeriti PD signal na svim dodacima kao spojevi i brtvljenja krajeva. Ova praksa distribuira mjerni sustav u ravnomjerno put duž kabela, i također pruža učinkovito mjerenje PD signala na spojevima kabela koja su najčešće točke kvara.

Primjena PD mjerenja na podmorskim kabelima, kao i na kopnenim kabelima gdje je udaljenost između točaka mjerenja velika (više od nekoliko kilometara) je ograničena zbog prigušenja PD signala i disperzija.

Općenito, postoje tri različita načina usvajanja PD mjernih tehnika, povezanih sa stupnjem praćenja koji se želi postići:

- Mjerenje PD-a prije puštanja u pogon - u ovom slučaju parcijalno izbijanje se mjeri tijekom ispitivanja kablenskog sustava u pogonu na naponu iznad nazivnog napona, u trajanju od najmanje jedan sat. Dok ovaj test pruža učinkovitu provjeru većih nedostataka u glavnoj izolaciji i dodatnim spojevima, mjerenje parcijalnog izbijanja se može iskoristiti kao povećani električni napor unutar izolacije kako bi se otkrili manji nedostaci što bi moglo uzrokovati kvar tijekom rada.
- Mjerenje parcijalnog izbijanja pri održavanju na terenu - ovo mjerenje se obično provodi na određenim dijelovima dok je kabel uključen ili isključen s mreže, a može biti periodično ili povremeno (npr. nakon velikog događaja za koji se sumnja da je negativno utjecao na cjelovitost kablenskog sustava ili nakon popravaka). Ako se provodi periodički analiziraju se prikupljena mjerenja za prepoznavanje trendova amplitude PD signala, stope ponavljanja itd. Ovo je posebno važno za kabele s tekućinom ispunjenom izolacijom gdje parcijalno izbijanje može biti prisutno na radnom naponu dulje vrijeme. Ovo može dati korisne informacije o degradaciji izolacije.
- Online praćenje parcijalnog izbijanja - ovo je kontinuirano praćenje parcijalnog izbijanja tijekom rada putem trajnog instaliranih PD senzora i izvora. Osim što je moguće uočiti promjene u PD signalima, moguće je i zaprimiti alarm u stvarnom vremenu kad god se izmjereno parcijalno izbijanje premašuje unaprijed određene parametre ili kada se identificiraju kritične vrijednosti. Ovo je omogućeno naprednim algoritmima i naprednim uređajima za obradu podataka. Današnje popularne i lako dostupne tehnologije omogućuju primjenu tehnike strojnog učenja na velikim skupovima podataka od kojih se očekuje sve pouzdanije prepoznavanje uzoraka u budućnosti. Naknadna obrada podataka prikupljenih prije kvara može biti korisna za brzo lociranje kvara.

Iz perspektive troškova prva metoda može biti najjeftinija ako se kombinira s ispitivanjem visokog napona. Posljednja opcija, online praćenje PD-a zahtijeva najveću početnu investiciju i kasnije troškove tumačenja rezultata i održavanja.

7.3. Mjerenje DC otpora izolacije

Mjerenje otpora izolacije povijesno se smatralo dijagnostičkim testom za papirom izolirane kabele, ali za XLPE kabele to nije dobra metoda zbog vrlo velikog otpora izolacije. To je također metoda koja se obično koristi nakon popravka kao prva gruba provjera izolacije. Rezultati mjerenja otpora treba pažljivo uzeti u obzir jer oni ovise o čistoći brtvenih krajeva, vlažnost i temperaturi kabela i zraka. Ovisnost o tolikom broju vanjskih čimbenika čini ovu metodu nepouzdanom. Samo mjerenje izolacijskog otpora je relativno jednostavan test gdje se primjenjuje istosmjerni napon između glavnog vodiča i oklopa kabela. Napon može varirati između nekoliko stotina volti i nekoliko kilovolti ovisno o karakteristikama kabela. Pri nižem naponu, mjerenje možda neće biti točno na određenim vrstama i duljinama kabela.

8. NAPUŠTANJE I DEMONTAŽA PODMORSKIH KABELSKIH VODOVA

Kada podmorski kabeli ostare treba odlučiti jesu li bolje ostaviti ih na mjestu ili ih je potrebno ukloniti. Kabeli za prijenos energije sadrže vrijedne resurse i vlasti mogu procijeniti da je optimalno s okolišnog gledišta ukloniti kabele nakon završetka operativnog vijeka. Uklanjanje kabela nakon prestanka rada može čak biti dio izvornih dozvola dobivenih prije instalacije. Složenost uklanjanja kabela može ovisiti o načelu instalacije i s uobičajenom upotrebom posebnih brodova uklanjanje kabela može biti skupo. Ekološki utjecaj uklanjanja može u nekim slučajevima biti procijenjen kao lošiji od ostavljanja kabela u tlu/moru.

8.1. Povlačenje iz upotrebe

Kada podmorski kabeli više nisu u upotrebi treba ih odspojiti u podstanicama i jasno označiti kao van upotrebe. Nadležne vlasti moraju biti obaviještene da kabeli više nisu u upotrebi. Rute kabela na pomorskim kartama mogu se izbrisati ili kabeli označiti kao van upotrebe. Ovisno o vrsti kabela mogu biti potrebne daljnje radnje. Kabeli s čvrstim električnim izolacijama ili kabeli impregnirani masom obično neće zahtijevati daljnji rad nakon zatvaranja i brtvljenja krajeva. Kabeli ispunjeni tekućinom mogu zahtijevati poseban tretman kako bi se osiguralo da tekućine iz njih ne mogu procure. Pražnjenje kabela od tekućine može biti kompliciran postupak. Podmorski kabeli s izolacijom od tekućine sadrže tekućinu koja u slučaju vanjskog oštećenja omotača ili drugih faktora može iscuriti. Mogu se razmotriti sljedeće metode kada se kabeli ispunjeni tekućinom trebaju isprazniti tekućine:

- Olakšavanje kabela od nadtlaka uklonit će tekućinu. Ova metoda je prilično učinkovita jer će smanjenje relativnog nadtlaka u kabelu značajno smanjiti rizik od curenja tekućine u slučaju oštećenja kabela.
- Tekućina se može isprati vodom ili tekućinama koje tope tekućinu u kabelu. Ova metoda može biti prilično učinkovita, ali rezultira značajnom količinom onečišćene vode koja se mora obraditi.
- Različite vrste gela mogu se koristiti za istiskivanje tekućine iz kabela. Ova metoda može biti učinkovita, ali zahtijeva da integritet kabela omogućuje potreban nadtlak.

- Pozitivan zračni tlak također se može koristiti do određene mjere. Ova metoda također zahtijeva da konstrukcija kabela može podnijeti nadtlak.

Za dionice s velikim razlikama u visini malo vjerojatno da će se ovom metodom moći izbaciti značajna količina tekućine. Potpuno ispražnjenje kablova ispunjenih tekućinom bit će teško, ako ne i nemoguće. U većini slučajeva bit će moguće ukloniti većinu tekućine. Kada se provodi pražnjenje tekućine, važno je ocijeniti kemijski sastav tekućine. Neki kabele mogu sadržavati dodatak PCB-a (eng. polychlorinated biphenyls). Ako je PCB prisutan u tekućini, treba posebno paziti na sigurnost radnika i utjecaj curenja tekućine na okoliš.

8.2. Metode uklanjanja kabela

U idealnom svijetu dokumentacija izgrađenog stanja i baza podataka održavana tijekom operativnog vijeka podmorskog kabela uključivat će relevantne informacije za uklanjanje kabela. Ponekad su relevantne informacije dostupne putem znanja iskusnih stručnjaka unutar tvrtke. Informacije mogu uključivati podatke o dubini ukopavanja, slabostima u određenim ili svim dionicama kabela, dionicama s neoštećenim i manje mehanički oštećenim kablom itd. Ovo će utjecati na preporučene metode uklanjanja kabela. Uklanjanje podmorskih kabela na kopnu općenito je suprotno od instalacije. Ako su kabele instalirani u cijevima obično se mogu izvući ili se mogu izdubiti ako su instalirani u otvorenom rovu. Ako su kabele položeni u cijevima na kopnu uklanjanje može biti teško ako su cijevi ispunjene termalnim mortom koji se stvrdnuo. U tom slučaju jedina je opcija visokotlačnom vodom ili drugim sredstvima mehanički ukloniti termalni mort u mjeri u kojoj se podmorski kabel može izvući. Alternativno cijeli kabel i cijev moraju se ukloniti zajedno putem iskopavanja što može biti teško za duboke instalacije i ekološki utjecaj može biti veći od ostavljanja kabela i cijevi u tlu. Daleko od obale kabele se često može izvući izravno s dna mora ako su postavljeni na površini morskog dna ili se mogu izvući kroz pokrov morskog dna. Koliko je ova metoda prikladna ovisi o integritetu podmorskog kabela, debljini pokrova na kablom, dubini mora itd. Uklanjanje kabela iz mora može imati jednak ekološki utjecaj kao utjecaj kod postavljanja instalacije. Izvlačenje kabela izravno s morskog dna ili kroz pokrov obično je najprihvatljivija metoda jer manje se morskog dna remeti. Ako kabele trebaju biti uklonjeni iz velike dubine, može biti potrebno iskopati materijal koji pokriva kabel. To se može postići raznim alatima ovisno o lokaciji [13].

9. TROŠKOVI ODRŽAVANJA PODMORSKIH KABELA

Općenito podmorski kabelski sustavi su sredstva koja zahtijevaju ograničeno održavanje, međutim postoje neke razlike između vrsta kabelskih sustava. Trošak održavanja može se podijeliti u sljedeće podskupine:

- troškovi rada,
- praćenje i mjerenje,
- pregled kabela na moru,
- troškovi popravka i
- troškovi skladištenja i održavanja rezervnih dijelova u pogonskim uvjetima.

Opći trend je kontrolirati troškove održavanja, a posebno broj radnih sati koji su potrebni za izvršiti aktivnosti održavanja. Treba pronaći najbolji omjer između troškova preventivnog održavanja i troškova popravka jer smanjenje troškova preventivnog održavanja može povećati trošak popravka. Potrebno je pronaći dobru ravnotežu između oba kako bi se postigao optimalni ukupni trošak održavanja i popravaka. Osim troškova održavanja s financijske točke gledišta u obzir se mora uzeti i dostupnost te pouzdanost mreže.

9.1. Trošak rada kod preventivnog održavanja

Trošak preventivnog održavanja kabelskih sustava izravno je povezano s brojem radnih sati potrebnih za njihovo obavljanje. Preventivno održavanje je vrlo važno kako bi se osigurale dobre informacije o stanju kabelskih sustava i smanjili nepredviđeni popravci. Kako bi se ograničio broj radnih sati postoji nekoliko rješenja:

- smanjenje aktivnosti preventivnog održavanja,
- prijelaz s održavanja temeljenog na vremenu na održavanje temeljeno na stanju i
- korištenje tehnika praćenja koje zamjenjuju aktivnosti preventivnog održavanja.

Troškovi preventivnog održavanja mogu se smanjiti produljenjem intervala održavanja ili kraćim odgađanjem obavljanja određenih aktivnosti održavanja. Međutim postoji rizik da će se troškovi popravka povećati zajedno sa smanjenom dostupnošću kabela. Opasnost ovog rješenja je da je utjecaj odluke često vidljiv tek nakon nekoliko godina. Dakle kratkoročne financijske uštede su moguće, ali dugoročno financijske posljedice neplaniranih prekida rada i popravaka mogu nadoknaditi ili čak koštati više od početne uštede. Zbog tog razloga se smanjenje preventivnog održavanja ne preporuča.

9.2. Troškovi monitoringa i dijagnostike

Troškovi za različite tehnike praćenja i dijagnostička mjerenja su samo indikativni troškovi budući da se mogu pojaviti razlike između zemalja i regija. Procijenjeni troškovi odnose se samo na opremu za praćenje ili mjerenja, a nisu uključeni drugi troškovi poput operativnih troškova, eventualni troškovi građevinskih radova, opći troškovi tvrtke itd. Razina evaluacije troškova:

- Razina 1: manje od troška testiranja ovojnice za kabel duljine 10 km,
- Razina 2: između 1 i 5 puta troška razine 1,
- Razina 3: između 5 i 10 puta troška razine 1,
- Razina 4: između 10 i 50 puta troška razine 1,
- Razina 5: između 50 i 100 puta troška razine 1,
- Razina 6: više od 100 puta troška razine 1.

Osim financijskih troškova za tehnike praćenja i dijagnostička mjerenja, trebaju se razmotriti i neki drugi parametri kako bi se procijenila korisnost tehnika praćenja i/ili dijagnostičkih mjerenja, kao što su:

- važnost kableske veze (npr. veliki industrijski korisnici),
- ugled tvrtke, javno prihvaćanje,
- dostupna rezervne N-1 veza ili ne
- očekivano trajanje prekida zbog kvara unutarnjeg kableskog sustava
- trošak tehnike praćenja ili dijagnostičkog mjerenja u usporedbi s ukupnim investicijskim troškom kableske veze.

Ako se primjenjuju neki od navedenih uvjeta može se razmotriti izvođenje dodatnih tehnika praćenja i dijagnostičkih mjerenja, čak i ako su relativno skupi.

9.3. Troškovi istraživanja na otvorenom moru

Za podmorske kableske veze troškovi istraživanja u moru imaju velik utjecaj na proračun za održavanje, s druge strane vrlo su važni kako bi se izbjegli potencijalni rizici vanjskih oštećenja kablenskog sustava. Istraživanja u moru kao aktivnosti održavanja na kablenskim sustavima provode se kako bi se:

- provjerila dubina zakopavanja kabela,
- otkrili slobodni razmaci (slobodne dionice kabela),
- otkrili opasni elementi (velike krhotine) u blizini kabla,
- provjerila stanje prijelaza i
- provjerilo pomicanje pješćanih dinja.

Ova istraživanja u moru prilično su skupa, a dobra priprema i planiranje mogu izbjeći dodatne troškove. Neke tehnike praćenja poput DTS sustava, DVS sustava i DAS sustava mogu pomoći u dobivanju informacija o određenom stanju poput dubine zakopavanja kabela, slobodnih razmaka, pomicanja pješćanih dinja. Ove tehnike praćenja pomažu u detaljnijem i kvalitetnijem istraživanju morskog dna. Neki od tih sustava mogu imati dodanu vrijednost u slučaju kvara kabela kako bi ubrzali proces lociranja kvara.

9.4. Troškovi popravka

Troškovi popravka kablenskog sustava mogu se podijeliti na sljedeće troškove:

- troškovi mobilizacije,
- troškovi materijala,
- troškovi građevinskih radova,
- troškovi radne snage,
- indirektni troškovi (vezani uz trajanje prekida).

Za popravak kopnenog kablenskog sustava troškovi mobilizacije su relativno niski dok su za popravak na otvorenom moru troškovi mobilizacije prilično visoki. Osim toga kada se odluči za ugovor o usluzi dostupnoj 24 sata dnevno mogao bi postojati i značajan godišnji iznos koji treba platiti.

Troškovi materijala su troškovi povezani s materijalom potrebnim za popravak i snažno ovise o vrsti kablenskog sustava. Vidimo da su za starije kablenske sustave, poput kablenskih sustava ispunjenih tekućinom, troškovi za rezervne dijelove često mnogo skuplji nego za kablenske sustave od XLPE/EPR materijala. Iako razlike mogu postojati ovisno o regiji (Azija, Europa, Amerika, Afrika, Oceanija). Ove cijene su tržišno uvjetovane. Osim troškova materijala postoje i troškovi povezani s upravljanjem i skladištenjem rezervnih dijelova. Posebno u vezi s priborom, može doći do dodatnih troškova zbog ograničenog roka trajanja različitih komponenata. Aktivno upravljanje ovim rezervnim dijelovima potrebno je kako bi se izbjegli prekomjerni troškovi zamjene isteklih rezervnih dijelova.

Za građevinske radove često postoji veće tržište izvođača koji mogu izvršiti te vrste radova. Preporučuje se da se za ovu vrstu intervencija (popravak) unaprijed pregovara s nekoliko izvođača. Za radove na otvorenom moru, manja je mogućnost to učiniti unaprijed. Zbog ograničene dostupnosti određenih brodova, sklopljeni ugovor s određenim pružateljem usluga/izvođačem ne jamči dostupnost potrebnog broda u trenutku kada je potreban. Ono što često vidimo za ove aktivnosti na otvorenom moru je da:

- više operatora prijenosnog sustava/vlasnika imovine (često u istoj regiji) ima vlastiti (unajmljeni) brod na raspolaganju i
- specifični pružatelji usluga specijalizirani su za svakodnevno ažuriranje dostupnih brodova na tržištu koji odgovaraju vašim specifičnim potrebama.

Troškovi radne snage snažno ovise o regiji. Kako bi se izbjegli prekomjerni troškovi rada potrebna je dobra priprema posla kako bi se izbjeglo vrijeme čekanja.

Indirektni troškovi nisu izravno povezani s neispravnim kablenskim sustavom samim, već s posljedicom koju ovaj incident ima na:

- gubitak proizvodnje (industrija, opskrba električnom energijom),
- rekonfiguracija mreže,
- upotreba sekundarne i tercijarne opskrbe električnom energijom radi kompenzacije neuravnoteženosti u mreži i
- utjecaj na druge radove ili projekte planirane ili u tijeku.

Ovi indirektni troškovi mogu postati prilično skupi ovisno o situaciji. Preporučuje se dobra priprema Plana pripremljenosti za popravak (eng. Repair Preparedness Plan - RPP) što značajno smanjuje troškove. RPP je uglavnom sastavljen za podmorske kabelaške veze, ali preporučuje se i za druge ključne kopnene kabelaške sustave.

9.5. Troškovi skladištenja i održavanja rezervnih dijelova u operativnim uvjetima

Troškovi rezervnih dijelova mogu se podijeliti na:

- troškove skladišta ili mjesta za skladištenje,
- sustav upravljanja i periodična provjera rezervnih dijelova,
- troškovi samih rezervnih dijelova i
- zamjena rezervnih dijelova.

Prva dva troška mogu biti izazov, ali su troškovi koji su prilično fiksni i stabilni. Zadnja dva troška mogu se kontrolirati nešto više izbjegavajući nepotrebno veliki broj rezervnih dijelova i kontrolirajući zamjenu tih rezervnih dijelova zbog ograničenog roka trajanja nekih komponenata. Idealno bi bilo da se ovi rezervni dijelovi uključe u rotirajući ciklus što znači da se ovi rezervni dijelovi zamjenjuju i koriste prije nego što dostignu svoj rok trajanja. Često se to može pokriti ili dogovoriti s dobavljačem ovih rezervnih dijelova.

10. ZAKLJUČAK

Razvojem podmorskih kabela u posljednjih 20 godina povezana su mjesta i ostvarena je komunikacija gdje je to prije bilo nezamislivo. Prije su se energetske kabele koristili da bi se električna energija prenesla na otoke i udaljena mjesta gdje je nije moguće proizvesti što je ljudima koji žive na tim mjestima olakšalo život i povezao ih s obalom. Razvojem novih tehnologija i načina proizvodnje električne energije (npr. energija valova mora) moguće je istu prenositi i u suprotnom smjeru, s mora na kopno što ne bi bilo moguće bez podmorskih kabela. Postoji više tipova podmorskih kabela vodova ovisno o vrsti izolacije i njihovoj primjeni, a odabir koji će se koristiti ovisi o više faktora. Polaganje podmorskih kabela vodova vrlo je složen i tehnički izazovan proces koji zahtjeva koordinaciju svih sudionika, povoljne vremenske uvjete, odgovarajući alat i opremu, precizne uređaje itd. Dizajn i postavljanje podmorskih kabela zahtijevaju pažljivo planiranje, uzimajući u obzir različite faktore kao što su odabir rute, zaštita kabela i toplinske razmatranja. Iako su podmorski kabele izuzetno skupi, njihovo postavljanje nije jednostavno i relativno su kratkog vijeka, ali trenutno je to jedini način za prenositi energiju na velikim udaljenostima preko mora. Osim visoke cijene izrade i postavljanja skupo je i održavanje kabela i uklanjanje kvarova pa je ih potrebno izrađivati što kvalitetnije. Moguće je smanjiti troškove pametnim pristupom održavanju kabela, a to je pomno planiranje i pregled terena prije samog postavljanja, praćenje i dokumentiranje kvarova dok je kabel u pogonu i pripremljenosti u slučaju nastanka novog kvara. Upravljanje podmorskim kabela vodovima zahtjeva tim odgovornih i stručnih osoba kako bi se mogao točno pratiti sustav dok je u pogonu i kako bi se u slučaju kvara problem čim prije sanirao. Redovno održavanje i popravci od vitalne su važnosti kako bi se osigurala dugotrajnost i pouzdanost ovih ključnih infrastrukturnih komponenata. Održavanje se može podijeliti na planirano (preventivno) i neplanirano (korektivno). Planirano održavanje sastoji se od: planiranja rute podmorskog kabela, ucrtavanja kabela u nautičke karte, zakopavanja i drugi oblici mehaničke zaštite kabela, periodičnog pregleda kabela, mjerenja pomoću raznih senzora i optičkih kabela itd. Do neplaniranog održavanja dolazi kada nastane kvar, a sastoji se od lociranja kvara, procjene štete, pripreme za popravak, mobilizacije resursa i sanacije problema. Ovisno o važnosti kabela sustava mogu biti potrebne i hitne intervencije, a da bi to bilo ostvarivo od ključne važnosti je temeljit plan u slučaju takve situacije. Procjene utjecaja na okoliš su ključne za minimaliziranje štete ekosustavima mora. Postavljanje kabela baš kao i povlačenje istog iz upotrebe ima određen utjecaj na okoliš pa je potrebno pristupiti ekološki što prihvatljivijim metodama. U slučaju potrebe za uklanjanjem kabela i pripadajuće opreme iz mora potrebno je procijeniti

koliku štetu bi prouzročilo uklanjanje i ima li više smisla ostaviti kabel u moru. Dosadadašnja istraživanja su pokazala da je utjecaj kabela u pogonu minimalan na morski svijet. Ideja za smanjenjem potrebe za podmorskim kabelima bi bila potpuni prelazak na obnovljive izvore energije (npr. Sunčeva energija) na mjestima gdje je to moguće kako bi mjesta i otoci na moru u potpunosti proizvodili svoju električnu energiju i time ne ovisili o električnoj energiji s kopna.

LITERATURA

- [1] Zlatunović I.: „Modeliranje elektroenergetskih kabela“, rujan 2015.
- [2] S interneta, <https://elka.hr/>, pristupljeno 11.08. 2023.
- [3] Electrotechnik: “Submarine Power Cable Current Ratings”, s interneta, <https://elek.com/articles/submarine-power-cable-ratings/>, pristupljeno 11.8.2023.
- [4] S interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_power_cable, pristupljeno 26.8.2023.
- [5] S interneta, <https://www.hep.hr/ods/polozeni-novi-podmorski-kabeli-premantura-porer-i-fazana-brijuni/714>, pristupljeno 25.8.2023.
- [6] S interneta, <https://www.energetika-net.com/energetsko-gospodarstvo/polaganje-podmorskih-kabela-13085>, pristupljeno 27.8.2023.
- [7] S interneta, <https://www.seatools.com/subsea-solutions/subsea-cable-and-pipeline-installation/>, pristupljeno 27.08. 2023.
- [8] airtel business: “How Invisible Submarine Cables Are Powering Global Communications Growth”, s interneta <https://www.airtel.in/blog/business/how-invisible-submarine-cables-are-powering-global-communications-growth/>, pristupljeno 17.8.2023.
- [9] HO CIRED: “Dileme o načinu izvedbe priobalnih zaštita 110 kV podmorskih kabela”, svibanj 2010.
- [10] cigre: “Maintenance of HV Cable Systems”, siječanj 2023.
- [11] SAAB: “World’s smallest and smartest survey system cuts costs”, s interneta, <https://www.saabseaeye.com/news/world-s-smallest-and-smartest-survey-system-cuts-cost>, pristupljeno 25.08.2023.
- [12] Orsted: “SFEC-NYS OFFshore Cable Installatuion Work Plan”, s interneta, pristupljeno 28.08.2023.
- [13] cigre: “Installation of Submarine Power Cables”, listopad 2022.

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

U ovom diplomskom radu opisane su vrste i elementi podmorskih kabela. Prikazan je način na koji se kabeli postavljaju na morsko dno, na koji način izlaze iz mora na kopno i kako se štite. Navedeni su načini preventivnog i korektivnog održavanja kabela, metode prepoznavanja kvara te njihovo hitno uklanjanje. Navedene su vrste troškova kod instalacije, održavanja i popravka. Prikazano je nekoliko primjera podmorskih kabela u svijetu i Hrvatskoj.

Ključne riječi: podmorski kabel, izolacija, monitoring, održavanje, troškovi

ABSTRACT AND KEY WORDS

This master's thesis describes the types and elements of submarine cable lines. The way in which cables are placed on the seabed, how they exit from the sea to land and how they are protected is shown. Methods of preventive and corrective maintenance of cable lines, methods of fault recognition and their immediate removal are listed. The types of costs for installation, maintenance and repair are listed. Several examples of submarine cables in the world and in Croatia are presented.

Keywords: submarine cable, insulation, monitoring, maintenance, costs

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Presjek trožilnog podmorskog kabela	3
Slika 2.2. XHE 46/29 i XHE 49/24 podmorski kabela hrvatskog proizvođača ELKA [2].....	5
Slika 3.1 HVDC podmorski kabela u Europi [4].....	7
Slika 3.2. Polaganje podmorskog kabela Fažana-Brijuni [5].....	8
Slika 4.1. Brod za postavljanje podmorskog kabela koji se koristi u Hrvatskoj.....	9
Slika 4.2. Postavljanje kabela s plutačama.....	10
Slika 4.3. Ispuštanje kabela u more [7]	11
Slika 4.4. Ilustracija kabela postavljena na morsko dno [8].....	11
Slika 4.5. Dva tipa zaštite kabela na obali [9].....	12
Slika 5.1. Slika dobivena batimetrijskim mjerenjem koja prikazuje pješčane valove [10]	17
Slika 5.2. Kabel izložen vanjskim utjecajima na kopnu [10].....	19
Slika 5.3. Sustav za vješanje kabela i kabela na platformi [10].....	20
Slika 5.4. Falcon ROV [11].....	20
Slika 5.5. Brod u mobilizaciji za popravak kabela [10].....	26
Slika 5.6. Primjer opreme za popravak kabela [10]	30
Slika 5.7. Spoj "omega" i spoj u liniji [12]	31