

Sandro Dubrović, dipl.ing.el
HEP-ODS d.o.o. Elektroprimorje Rijeka
sandro.dubrovic@hep.hr

mr.sc. Ivica Radetić, dipl.ing.el.
HEP-ODS d.o.o. Elektroprimorje Rijeka
ivica.radetic@hep.hr

PODMORSKI KABELI – EKSPLOATACIJSKA ISKUSTVA U VIJEKU TRAJANJA

SAŽETAK

Većina podmorskih elektrodistributivnih kabela 10-35 kV na području Elektroprimorja Rijeka položena je prije 35 godina i više, na način i tehnologijom primjerenom tom vremenu. Danas, kada je teoretski životni vijek podmorskih kabela pri samom kraju pojavljuje se sve više problema u eksploataciji. Zbog toga se kao nužnost pojavila potreba razraditi kriterije i metode određivanja preostalog vijeka trajanja, odnosno prioritete zamjene podmorskih kabela. Referat obrađuje pojednostavljenu metodu ocjenjivanja i određivanja prioriteta zamjene, uzimajući u obzir najvažnijeg čimbenika – životni vijek, ali i ostale ne manje važne čimbenike u ocjenjivanju, kao što su učestalost kvarova, stanje priobalne zaštite, važnost opskrbe napajanja i dr..

Referat osim načina ocjenjivanja i prioriteta zamjene postojećih podmorskih kabela, opisuje i iskustva stečena na popravcima kvarova nastalih mehaničkim oštećenjima uzrokovanim vanjskim utjecajima (sidrenje brodova, razvlačenje mreža ribarskih brodova), te kvarovima nastalim kao posljedica isteka životne dobi kabela odnosno djelovanjem mora u blizini priobalnih zaštita.

Ključne riječi: Podmorski kabele, vijek trajanja, ocjena stanja, prioritet zamjene, kvarovi, sanacija kvarova

SUBMARINE CABLES – EXPLOITATION EXPERIENCE DURING LIFESPAN

SUMMARY

The majority of MV submarine electrical distribution cables in Elektroprimorje Rijeka were laid 35 or more years ago, using the manner and the appropriate technology of that period. Today, when their theoretical life expectancy is nearing the end, there are some substantial exploitation problems. Therefore, it was necessary to elaborate the criteria and the methods for the determination of remaining useful life, and to prioritize the submarine cables replacement. The paper deals with a simplified method of evaluating and prioritizing the aforementioned replacement, taking into the account the most important factor - life expectancy, and other also important factors of the evaluation, such as the frequency of failures, the coastal protection condition, the power supply importance, etc.

Besides the evaluation system and the replacement priorities of the existing submarine cables, the paper also describes the gained experience of repairing defects due to mechanical damage caused by external influence (anchoring, network bedding of fishing vessels), and failures occurred as a result of the aged cable expiration or sea currents activity near coastal protection.

Key words: Submarine cables, lifespan, situation assessment, replacement priority, failures, faults repairing

1. UVOD

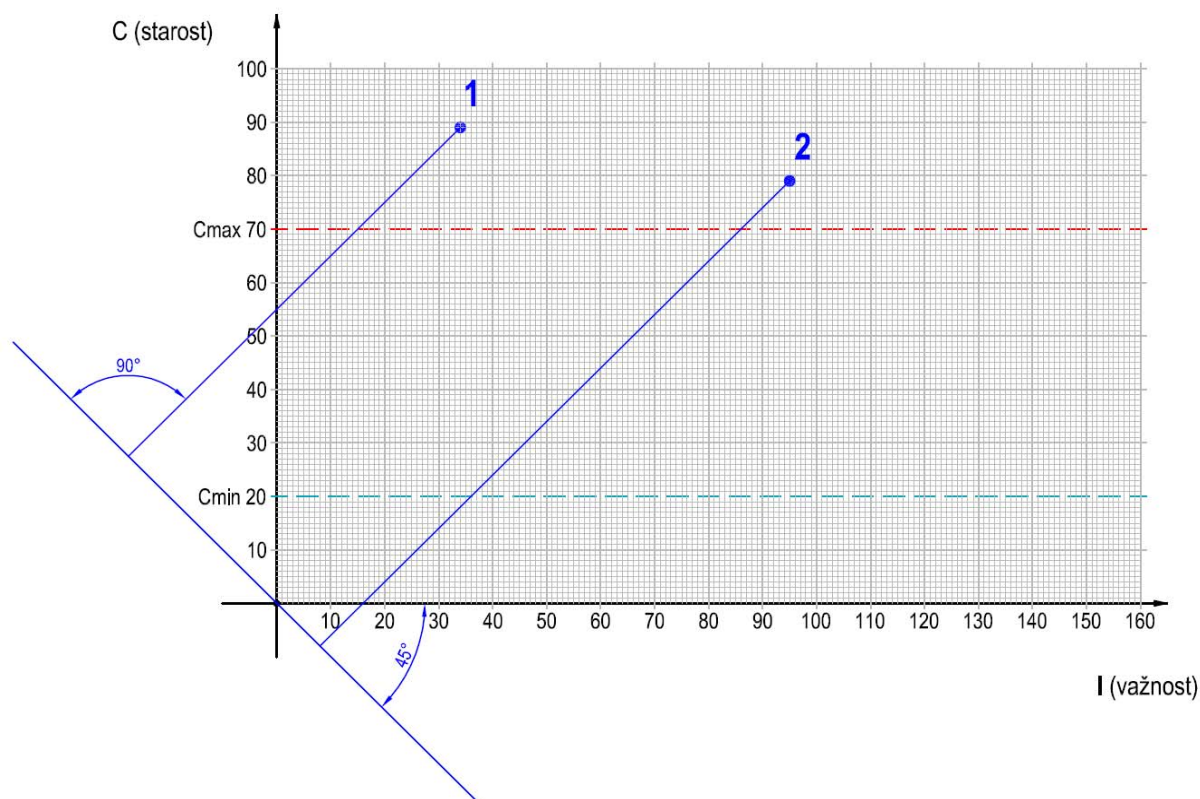
Važnost opskrbe električnom energijom svih otoka Sjevernog Jadrana, uz povremenu nemogućnost alternativnog rješenja napajanja u slučaju kvarova (pogon 10(20) kV mreže pretežno izveden kroz radijalno napajanje) te istek životnog vijeka (40 godina), bili su poticaj da se naprave planovi revitalizacije podmorskih kabela. Kao preduvjet za stvaranje prioritetne liste revitalizacije (zamjene) postojećih podmorskih kabela naponske razine 10-35 kV u Elektroprimorju Rijeka, stvoreni su kriteriji za ocjenu postojećeg stanja podmorskih kabela.

2. OCJENJIVANJE I KRITERIJI RANGIRANJA

2.1. C-I koordinatni sustav

Podmorski kabele koji su predmet rangiranja u cilju izrade plana izmjene su postojeći objekti koji zbog svojeg sveopćeg stanja i važnosti u sustavu traže djelomičnu ili cjelovitu obnovu, odnosno zamjenu. Za procjenu svakog pojedinog objekta, odnosno rangiranja i određivanja prioriteta korištena je jednostavna C-I metoda (engl. *Condition-Importance method*) koja se temelji na vrednovanju starosti opreme i važnosti u sustavu. Za obje kategorije vrednovanja, elementu mreže ili cijelom objektu dodjeljuju se bodovi po zadanim kriterijima.

U koordinatni sustav s dvije osi (**C-starost**, **I-važnost**) unose se rezultati bodovanja za svaki promatrani element mreže ili postrojenja (slika 1.). Element ili objekt kojem su pridruženi bodovi nalazi se u promatranom koordinatnom sustavu, te se na temelju njegovog položaja određuje prioritet revitalizacije. Tako npr. element označen sa 1 implicira njegovu veliku starost, ali malu važnost u sustavu, dok element označen sa 2 implicira manju starost, ali i veću važnost u sustavu. Prioritete određujemo na temelju udaljenosti svake koordinate od pravca koji prolazi kroz ishodište.



Slika 1. C-I koordinatni sustav

Osim grafičkim prikazom (slika 1.) najkraću udaljenost promatrane točke od pravca koji prolazi kroz ishodište moguće je računati i po sljedećem izrazu:

$$prioritet = \frac{\sqrt{2}}{2}(C + I)$$

Prema položaju određujemo pripadajuću strategiju:

- za elemente između 100 i C_{\max} - predviđa se revitalizacija/rekonstrukcija
- za elemente između C_{\max} i C_{\min} - održavanje i popravak
- za elemente između C_{\min} i 0 - nema aktivnosti na revitalizaciji/rekonstrukciji

U ovom koraku određujemo $C_{\max}=70$ bodova i $C_{\min}=20$ bodova.

U navedenim primjerima za element 1 i element 2, element 2 ima veći prioritet u planu revitalizacija iako ima nešto manju starost.

2.2. Kategorije rangiranja

2.2.1. C - starost

Kategorija starost boduje se od 1-100 u postotnom iznosu stvarne starosti objekta ili elementa u odnosu na životni vijek kojeg primjenjujemo. Za podmorski kabel se uzima da je životni vijek 40 godina, što je i uobičajeni podatak proizvođača.

Konkretno za podmorski kabel star npr. 35 godina, bodovanje za kategoriju „starost“ je sljedeće:

$$C = \frac{35}{40} \cdot 100 = 87,5 \text{ bodova}$$

2.2.2. I - važnost

Osim kategorije starosti, kategorija **važnost** je vrlo bitna i njezina suma bodova proizlazi iz sedam kriterija za koje se došlo do zaključka da su ili vrlo bitni po energetskom kriteriju ili vrlo bitni po pitanju ocjene postojećeg stanja objekta koji se ocjenjuje, u ovom slučaju podmorskog kabela.

- **kriterij A: naponska razina**
 - A1 - naponska razina 35-110 kV - 30 bodova
 - A2 - naponska razina 10-20 kV - 20 bodova
 - A3 - naponska razina 0,4 kV - 10 bodova
- **kriterij B: vršno opterećenje**
 - B1 - vršno opterećenje veće od 70% nazivnog - 15 bodova
 - B2 - vršno opterećenje manje od 70% nazivnog - 5 bodova
- **kriterij C: karakter konzuma**
 - C1 - pretežno kupci kategorije poduzetništvo - 15 bodova
 - C2 - pretežno kupci kategorije kućanstvo - 5 bodova
- **kriterij D: mogućnost rezervnog napajanja**
 - D1 - postoji mogućnost zamjenskog napajanja područja - 5 bodova
 - D2 - ne postoji mogućnost zamjenskog napajanja područja - 15 bodova
- **kriterij E: vrsta i stanje priobalne zaštite**
 - E1 - nema priobalne zaštite, kabel slobodno položen - 20 bodova
 - E2 - priobalna zaštita izvedena betonskim ježevima i/ili betonskim poklopnica - 15 bodova
 - E3 - priobalna zaštita izvedena bušenjem - 0 bodova

- E4 - ocjena priobalne zaštite temeljem pregleda:
 - dobro stanje - 0 bodova
 - zadovoljavajuće stanje - 15 bodova
 - loše stanje - 30 bodova

- **kriterij F: tehnološka zastarjelost**

- F1 – element je tehnološki zastario - 15 bodova
- F2 - element nije tehnološki zastario - 0 bodova

Pod tehnološkom zastarom podrazumijevamo da element mreže nema mogućnost zamjene dijelova ili da se kao tehnologija više ne proizvodi.

- **kriterij G: statistika kvarova**

- G1 - u posljednje tri godine izvršena intervencija (sanacija) - 15 bodova
- G2 - u posljednje tri godine nije izvršena intervencija (sanacija) - 0 bodova

3. PRIMJER OCJENJIVANJA – USPOREDBA DVA POSTOJEĆA PODMORSKA KABELA

Za primjer ocjenjivanja i rangiranja uzeta su dva postojeća podmorska kabela koje održava Elektroprimorje Rijeka.

PKB TS Srakane Male – TS Susak 1 (Tablica I.) je 20 kV podmorski kabel kojim se napajaju dvije trafostanice 10/0,4 kV otoka Suska. Položen je 1979. godine te je po kategoriji starosti pri kraju životnog vijeka. Iako su na otoku Susku kupci pretežno kategorije kućanstvo, vidljivo je da ima dosta visoke bodove i u kategoriji važnosti - ponajviše zbog toga što služi kao osnovno i jedino napajanje otoka Suska, ima loše stanje priobalne zaštite i na njemu su otprije zabilježeni kvarovi.

Tablica I. Ocjenjivanje PKB TS Srakane Male – TS Susak 1

| PKB TS Srakane Male - TS Susak 1 | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|--|---|--------|
| Kategorija starost - C | Godina polaganja | 1979. | Ukupno bodovi $C = \frac{37}{40} \cdot 100 =$ | 92,5 |
| Kategorija važnost - I | Naponska razina | 20 kV | Kriterij A2 | 20 |
| | Vršno opterećenje | 5% nazivnog | Kriterij B2 | 5 |
| | Karakter konzuma | Kućanstvo | Kriterij C2 | 5 |
| | Mogućnost rezervnog napajanja | Nema | Kriterij D2 | 15 |
| | Vrsta priobalne zaštite | Betonske poklopnice | Kriterij E2 | 15 |
| | Stanje priobalne zaštite | Loše stanje | Kriterij E4 | 30 |
| | Tehnološka zastarjelost | Kabel sa osnovnom izolacijom od "gume" | Kriterij F1 | 15 |
| | Statistika kvarova | Posljednji kvar 2013. god. | Kriterij G1 | 15 |
| Ukupno bodovi - I | | | | 120 |
| Ukupni bodovi prioritet | | | $prioritet = \frac{\sqrt{2}}{2} (C + I)$ | 150,24 |

PKB Rab-Goli-Biluća (KK Fruga – TS Goli) (Tablica II.) je konstrukcijski 35 kV podmorski kabel priključen na 20 kV napon. Služi kao rezervno napajanje Golog otoka te kao rezervno napajanje otoka Raba u slučaju ispada 110 kV napajanja. Položen je 1960. godine te je u kategoriji starosti već prešao predviđeni životni vijek. Iako nije jedina veza odnosno služi kao rezervno napajanje, u trenucima kada preuzme napajanje otoka Raba opterećenje mu je preko 70% nazivnog. Zbog toga ali i zbog ostalih kriterija (loše stanje priobalne zaštite, tehnološka zastarjelost i zabilježeni kvarovi) ocijenjen je visokim bodovima i u kategoriji važnosti.

Tablica II. Ocjenjivanje PKB Rab-Goli-Biluća (KK Fruga – TS Goli)

| PKB Rab-Goli-Biluća (KK Fruga - TS Goli) | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|---|--------|
| Kategorija starost - C | Godina polaganja | 1964. | Ukupno bodovi $C = \frac{52}{40} \cdot 100 =$ | 130 |
| Kategorija važnost - I | Naponska razina | 20 kV | Kriterij A2 | 20 |
| | Vršno opterećenje | Preko 70% nazivnog | Kriterij B1 | 15 |
| | Karakter konzuma | Kućanstvo i poduzetništvo | Kriterij C1 | 15 |
| | Mogućnost rezervnog napajanja | Ima | Kriterij D1 | 5 |
| | Vrsta priobalne zaštite | Betonske poklopnice | Kriterij E2 | 15 |
| | Stanje priobalne zaštite | Loše stanje | Kriterij E4 | 30 |
| | Tehnološka zastarjelost | Kabel sa "uljnom" izolacijom | Kriterij F1 | 15 |
| | Statistika kvarova | Posljednji kvar 2013. god. | Kriterij G1 | 15 |
| Ukupno bodovi - I | | | | 130 |
| Ukupni bodovi prioritet | | | $\text{prioritet} = \frac{\sqrt{2}}{2} (C + I)$ | 183,82 |

Zaključujemo da je PKB Rab-Goli-Biluća (KK Fruga – TS Goli) sa 183,52 boda prioritet za revitalizaciju u odnosu na PKB TS Srakane Male – TS Susak 1 koji ima ukupno 150,24 boda.

U tablici III. dana je prioritetna lista revitalizacije sa bodovanjem svih podmorskih kabela u Elektroprimorju Rijeka. Vidljivo je da su kabele iz našeg primjera na prvom, odnosno na šestom mjestu prioriteta. Radi usporedbe namjerno su u tablici ostavljeni stari i novi 35 kV PKB *kopno (Črišnjeva) – o. Krk (Voz)* i 35 kV PKB *o. Krk (Mirna) – o. Cres (Merag)*. Stari kabele nalaze se na 2. i 3. mjestu prioriteta za revitalizaciju sa vrlo visokim bodovima što dokazuje i opravdanost njihove zamjene. U 2013. godini spomenuti stari kabele zamijenjeni su novima. Novi kabele su očekivano na dnu liste sa najmanjim bodovima (20. i 21. mjesto).

Tablica III. Prioritetna lista revitalizacije podmorskih kabela u Elektroprimorju Rijeka

| Rbr. | C-I koordinatni sustav | Naziv objekta | Kategorija STAROST - C | Kategorija VAŽNOST - I | | | | | | | | | | | | | | | | | | Bodovi ukupno (A - G) |
|------|------------------------|--|------------------------|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------------------|
| | | | Bodovi (C) | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | C1 | C2 | D1 | D2 | E1 | E2 | E3 | E4 | F1 | F2 | G1 | G2 | | |
| 1. | 183,8 | TS 110/20 kV Rab - Lopar - Biluća (KK Fruga - TS Goli) | 130 | | 20 | | | 15 | | 15 | | 5 | | | 15 | | 30 | 15 | | 15 | | 130 |
| 2. | 183,8 | o. Krk (Mirna) - o. Cres (Merag) novi kabel | 135 | 30 | | | | 15 | | 15 | | 5 | | | 15 | | 15 | 15 | | 15 | | 125 |
| 3. | 167,9 | Kopno (Črišnjeva) - o. Krk (Voz) (stari kabel) | 142,5 | 30 | | | | 15 | | 15 | | 5 | | | 15 | | 0 | 15 | | | 0 | 95 |
| 4. | 162,6 | TS 110/20 kV Rab - Lopar - Biluća (KK Goli - KK Biluća) | 130 | | 20 | | | 15 | | 15 | | 5 | | | 15 | | 15 | | 15 | | 0 | 100 |
| 5. | 152,0 | TS Marina - TS Košljun | 125 | | 20 | | | | 5 | | 5 | | 15 | | 15 | | 15 | 15 | | | 0 | 90 |
| 6. | 150,2 | TS Srakane Male - TS Susak 1 | 92,5 | 20 | | | | | 5 | | 5 | | 15 | | 15 | | 30 | 15 | | 15 | | 120 |
| 7. | 144,9 | TS Srakane Male - TS Srakane Vele | 95 | 20 | | | | | 5 | | 5 | | 15 | 20 | | | 15 | 15 | | 15 | | 110 |
| 8. | 144,9 | TS Srakane Vele - TS Unije | 95 | 20 | | | | | 5 | | 5 | | 15 | 20 | | | 15 | 15 | | 15 | | 110 |
| 9. | 137,9 | TS Pogled - TS Ilovik (Ex. 98 Lošinj 2 - Ilovik) | 115 | 20 | | | | | 5 | | 5 | 5 | | | | 15 | 15 | | | 0 | 80 | |
| 10. | 134,3 | TS Aerodrom - TS Male Srakane | 95 | 20 | | | | | 5 | | 5 | | 15 | 20 | | | 15 | 15 | | | 0 | 95 |
| 11. | 127,3 | TS Andreškići - TS Goli otok | 90 | | 20 | | | | 5 | 15 | | 5 | | | 15 | | 15 | | 15 | | 0 | 90 |
| 12. | 99,0 | TS 35/10(20) kV Lošinj 2 - TS 35/10(20) kV Silba (uv. Mrtvaska - uv. Dražica) | 50 | 30 | | | | | 5 | | 5 | 5 | | | 15 | | 30 | | 0 | | 0 | 90 |
| 13. | 99,0 | TS 35/10(20) kV Lošinj 2 - TS 35/10(20) kV Silba (uv. Prišliga - uv. Pernestica) | 50 | 30 | | | | | 5 | | 5 | 5 | | | 15 | | 30 | | 0 | | 0 | 90 |
| 14. | 93,7 | TS 35/10 kV Osor - Osor kamp | 72,5 | | 20 | | | | 5 | 15 | | 5 | | | 15 | | 0 | | 0 | | 0 | 60 |
| 15. | 84,8 | TS 110/35 kV Lošinj - TS 35/10(20) kV Lošinj 2 (rt Torunza - rt Križa) | 50 | 30 | | | | | 5 | 15 | | 5 | | | 15 | | 0 | | 0 | | 0 | 70 |
| 16. | 84,8 | TS 110/35 kV Lošinj - TS 35/10(20) kV Lošinj 2 (boka Falsa - rt Čikat) | 50 | 30 | | | | | 5 | 15 | | 5 | | | 15 | | 0 | | 0 | | 0 | 70 |
| 17. | 72,5 | TS Rab 3 - TS Padova Nova | 52,5 | | 20 | | | | 5 | | 5 | 5 | | | 15 | | 0 | | 0 | | 0 | 50 |
| 18. | 70,7 | TS Koludarac - TS Kopčanje 2 | 50 | 20 | | | | | 5 | | 5 | 5 | | | 15 | | 0 | | 0 | | 0 | 50 |
| 19. | 70,7 | TS Koludarac - TS Aquapark | 50 | 20 | | | | | 5 | | 5 | 5 | | | 15 | | 0 | | 0 | | 0 | 50 |
| 20. | 44,2 | Kopno (Črišnjeva) - o. Krk (Voz) (novi kabel) | 7,5 | 30 | | | | | 5 | 15 | | 5 | | | | | 0 | 0 | | 0 | | 55 |
| 21. | 44,2 | o. Krk (Mirna) - o. Cres (Merag) novi kabel | 7,5 | 30 | | | | | 5 | 15 | | 5 | | | | | 0 | 0 | | 0 | | 55 |

| | |
|--|-------------|
| | Cres-Lošinj |
| | Krk |
| | Rab |

4. ISKUSTVA U SANACIJI KVAROVA

Stvaranje prioritetne liste za revitalizaciju podmorskih kabela vrlo je važno kako bi detektirali najkritičnije dionice za zamjenu. Ukoliko se na vrijeme ne reagira (zamjena dionice ili sanacija priobalne zaštite), raste mogućnost nastanka kvarova. Svaka sanacija kvara podmorskog kabela je na svoj način specifična, iziskuje nesvakidašnju operativu i tehničku podršku. Sve to zahtjeva puno veća financijska sredstva nego sanacija kvara na kopnu.

Iskustvo u eksploataciji navodi na nekoliko razloga zbog kojih dolazi do kvarova na elektrodistributivnim podmorskim kabelima:

1. Električki kvarovi – proboj osnovne izolacije
2. Mehanički kvarovi – djelovanje vanjskog čimbenika (sidrenje brodova ili postavljanje mreže u ribolovu)
3. Kvarovi nastali uslijed djelovanja mora (najčešće u blizini priobalne zaštite gdje je djelovanje mora najizraženije)

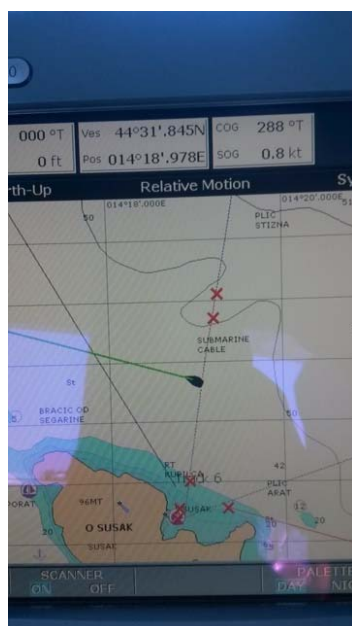
Način sanacije kvara, a time i financijska sredstva potrebna za sanaciju ovise o lokaciji kvara. Pod pojmom lokacije mislimo na udaljenost mjesta kvara od obale i na dubinu mora na tom mjestu. Od ta dva faktora najviše ovise način i tehnika popravka. Kako bi demonstrirali važnost stvaranja prioritetne liste za revitalizaciju, unutar ovog poglavlja opisana su iskustva Elektroprimorja Rijeka u sanaciji kvara na dva podmorska kabela. To su upravo kabeli koje smo detaljnije spominjali i bodovali u poglavlju 3.

4.1. Sanacija kvara na polovici podmorske dionice – primjer PKB TS Srakane Male- TS Susak 1

4.1.1. Tijek događaja – pronalazak mjesta kvara

Dana 18. rujna 2014. godine došlo je do prestanka opskrbe električnom energijom otoka Suska. Ubrzo nakon selekcije dionice, zaključeno je da je razlog prestanka opskrbe kvar na dionici TS Srakane Male – TS Susak 1. Kako je otok Susak radijalno napojen predmetnim kabelom bilo je jasno da treba reagirati odmah. Najprije u traženju mjesta kvara. Kompletna kabelska dionica dugačka je 6.931 m od čega na podmorski dio spada 6.355 m, a na kopneni dio 576 m (276 m na otoku Susku, a 300 m na otoku Srakane Male). Očekivano mjesto kvara bilo je na kopnenim dionicama ili u najgorem slučaju u blizini priobalne zaštite podmorskog kabela na otoku Susku. Naime, priobalje na otoku Susku je pjeskovito i dubine na udaljenosti 200-ak metar od obale su svega nekoliko metara što bi pojednostavilo pronalazak mjesta kvara i njegovu sanaciju. Ubrzo nakon što su mjerna kola mini-trajektom dovežena na otok Susak obistinile su se najcnije slutnje. Radarom je lociran kvar 3.609 m od TS Susak 1, odnosno na polovici podmorske dionice predmetnog kabela. Već je onda bilo jasno da kvar neće biti saniran odmah, te je najprije potrebno razmišljati kako ljudima na otoku Susku privremeno dati napajanje električnom energijom. U tu svrhu angažiran je trajekt koji je preveo kamion s agregatom snage 600 kVA i u početku je agregat napajao otok električnom energijom. Ponajviše zbog toga što je snabdijevanje agregata bilo otežano zbog sve logistike koju je to zahtijevalo (prijevoz goriva Lošinj-Susak, radnik na opsluživanju agregata), podmorski kabel je nakon nekog vremena uključen pod dozemnim spojem.

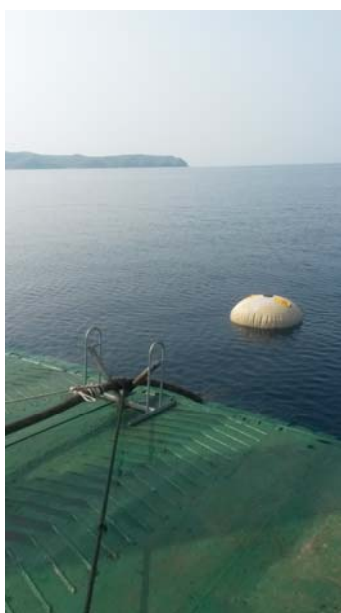
Nakon što se privremeno riješila opskrba električnom energijom, počelo se razmišljati kako najprije pronaći točno mjesto kvara. Informacija koja je radarom otkrivena da je kvar na udaljenosti 3.609 m od TS Susak 1, bila je nužan ali ne i dovoljan uvjet da bi se pronašlo mjesto kvara. Naime točno mjesto kvara na kabelu mogli su pronaći jedino ronici. Analizirale su se pomorske karte i izvedbeni projekt polaganja predmetnog podmorskog kabela i došlo do zaključka da je dubina mora na mjestu kvara 50-55 m. Zbog velikih dubina i udaljenosti od najbliže obale pronalazak mjesta kvara bio je dosta otežan. Uz sve popratne probleme, traženje točne lokacije i označavanje mjesta kvara trajalo je sedam dana, što je uspoređujući sa traženjem mjesta kvara na kopnu koje obično ne traje dulje od nekoliko sati, prilično dugačak vremenski period.



Slika 2. Traženje mjesta kvara – GPS uređaj na brodici

4.1.2. Sanacija kvara

Prema očekivanjima, organizacijski i tehnički najzahtjevniji dio bio je popravak štete na kabelu. Najbrže rješenje, za koje su na skladištu Elektroprimorja Rijeka postojale dovoljne duljine odgovarajućeg podmorskog kabla i uz nabavu adekvatne podmorske spojnice, bilo je umetanje novog komada kabla na dijelu gdje je do kvara došlo. Za te radove je angažiran trajekt i planirano je da se radovi na sanaciji kvara izvedu u dva dana. Prvi dan nakon sidrenja trajekta, ronci su odrezali kabel u moru i pomoću zračnih jastuka podigli jedan kraj kabla na rampu trajekta. Na trajektu je odrezan kvarni dio kabla te na „zdravom dijelu“ prema Susku napravljena spojnica na pripremljeni komad kabla duljine 130 m na trajektu. Kraj kabla nakon izrade spojnice spušten je u more i označen bovom (Slika 3.). Drugi dan nakon sidrenja trajekta podignuta su oba kraja kabla iz mora te je napravljena spojnica na trajektu. Nakon tih radova kabel je u cijelosti bio u jednom komadu i spušten je u more (Slika 4.). Nakon tih radova isti dan uključena je kabelska dionica TS Srakane Male – TS Susak 1 i uspostavilo se redovno napajanje otoka Suska.



Slika 3. 1. dan – Spuštanje kabla u more



Slika 4. 2. dan – Izrada spojnice

4.1.3. Uzrok kvara i financijska analiza

Lokacija kvara je naslućivala da će se raditi o kvaru mehaničke prirode i da će biti jasno vidljivo mehaničko oštećenje (npr. od sidra kakvog ribarskog broda), ponajprije zbog toga što je kabel bio položen u mulj i nema nikakvih djelovanja mora na tim dubinama. Međutim, kvarni dio kabela koji je eliminiran nije ukazivao na takvo nešto već na električki kvar na izolaciji. Dakle, zaključak je da su godine eksploatacije učinile svoje odnosno da je vijek trajanja predmetnog podmorskog kabela pri kraju.

Što se tiče financijskog dijela sanacije ovog kvara napravljena je analiza troškova, a procijenjeni iznosi su sljedeći:

| | |
|---|---------------|
| 1. Najam trajekta | 150.000,00 kn |
| 2. Vanjski izvođači (ronioci, najam brodice) | 100.000,00 kn |
| 3. Materijal (kabel i spojnice) i izrada spojnice | 200.000,00 kn |
| 4. Agregat (snabdijevanje i gorivo) | 150.000,00 kn |
| 5. Ostalo (vlastita radna snaga i dr.) | 50.000,00 kn |
| UKUPNO: | 650.000,00 kn |

4.2. Sanacija kvara u priobalju – primjer PKB Rab-Lopar-Biluća (KK Fruga – TS Goli)

4.2.1. Tijekom događaja – pronalazak mjesta kvara

Kada je u lipnju 2013. godine došlo prorade prekidača u TS 110/35 kV Rab na vodnom polju Lopar-Biluća, bilo je jasno da se radi o problemu ili na kopnenoj dionici (dio od Raba prema Loparu) ili na dionici kabelaške veze KK Fruga-TS Goli. Selekcijom je utvrđeno da se radi o dionici KK Fruga-TS Goli i postojala je velika vjerojatnost da se radi o kvaru na podmorskom dijelu te dionice. Ukupna duljina dionice je 5.700 m (od čega je podmorski dio cca 5.000 m). Mjerna kola su ispitivanjem to i potvrdila. Kvar je lociran u moru u blizini priobalne zaštite na strani Golog otoka. Kako je u normalnom pogonskom stanju ta dionica samo pod naponom odnosno služi kao rezervno napajanje, iako se radilo o kvaru i trebalo je naći rješenje za sanaciju, pristup je drugačiji nego u slučaju kada je napajanje radijalno i kada nema alternative.

Za razliku od slučaja kvara PKB TS Srakane Male – TS Susak 1 lokacija kvara je bila vidljiva prilikom traženja mjesta kvara praktički s obale Golog otoka. Točno mjesto kvara bilo je 5 m od obale na 1,5 m dubine mora.

4.2.2. Sanacija kvara

Nakon analize utvrdilo se da će sanaciju kvara biti najjednostavnije organizirati na način da se pripremi ponton na nogarima ili splav koja će se usidriti. U ovom slučaju postavljena je splav na kojoj se radila spojnica. Otegotna okolnost je bila ta da su bili potrebni građevinski radovi u priobalju (demontaža stare priobalne zaštite i kasnije izrada nove priobalne zaštite), a operativno je stvar bila otežana jer su se radovi odvijali na Golom otoku na kojem je sav materijal bilo potrebno morskim putem dopremiti sa otoka Raba. Sanacija kvara je organizirana u dva dana, na način da je umetnut novi komad kabela duljine 30 metara, te se jedna spojnica napravila na pripremljenoj splavi, a druga na obali Golog otoka (Slika 5. i Slika 6.).



Slika 5. Izrada spojnice na splavi



Slika 6. Izrada spojnice na obali

4.2.3. Uzrok kvara i financijska analiza

Kako je kvar lociran u priobalju gdje je i najveći utjecaj mora, plime i oseke, uzrok kvara bio je očekivan. Tijekom godina i djelovanja mora došlo je do pomicanja kako samog kabela tako i priobalne zaštite (betonskih poklopnica) što je uzrokovalo najprije mehaničko oštećenje na kabelu, a nakon toga s godinama i proboj izolacije. Vidimo u tablici III. da je predmetni kabel rangiran na prvo mjesto prioriteta za revitalizaciju, kako zbog starosti, tako i zbog lošeg stanja priobalne zaštite.

Što se tiče financijskog dijela sanacije ovog kvara napravljena je analiza troškova, a procijenjeni iznosi su sljedeći:

| | |
|---|---------------|
| 1. Vanjski izvođači (ronioci, najam splavi, građevinski radovi) | 100.000,00 kn |
| 2. Materijal (kabel i spojnice) i izrada spojnica | 50.000,00 kn |
| 3. Ostalo (vlastita radna snaga i dr.) | 30.000,00 kn |
| UKUPNO: | 180.000,00 kn |

4.3. Usporedba

Na primjerima u ovom poglavlju dana je realna usporedba sanacije dvije karakteristične vrste kvara na podmorskim kabelima, jedan na polovici podmorske dionice, a drugi u blizini priobalne zaštite. Dva primjera su dobra za usporedbu jer se osim slične ukupne duljine kabela, radi o otocima koji su oba približno isto udaljena od najbližeg većeg otoka (Susak od Lošinja, a Goli otok od Raba). Za prvi slučaj Suska, osim lokacije kvara, otegotna okolnost bila je i ta što je trebalo osigurati privremeno napajanje agregatom. U slučaju kvara na Golom otoku olakotna okolnost bila je ta što je ulaz u more pristupačan i nema naglog poniranja u dubinu u priobalju. Unatoč tim otegotnim i olakotnim okolnostima može se donijeti zaključak da je gledano s financijskog aspekta sanacija kvara na podmorskom kabelu na polovici podmorske dionice mora, tri do četiri puta skuplja od one u priobalju, te isto tako uz kompletnu pripremu traje jedan do dva puta dulje.

5. ZAKLJUČAK

Tijekom posljednjih godina u Elektroprimorju Rijeka povećala se učestalost kvarova na elektrodistributivnim podmorskim kabelima. U referatu je na opisanim primjerima prikazano da je svaka sanacija kvara na podmorskom kabelu specifična i zahtjeva brzu reakciju. Samim time, zahtjeva puno veća financijska sredstva nego sanacija kvara na kopnu. Tim koji radi na održavanju podmorskih kabela u Elektroprimorju Rijeka došao je do zaključka da je potrebno na vrijeme reagirati i napraviti prioritetnu listu revitalizacije kabela koja će biti podloga za planiranje dinamike zamjene i osiguranje financijskih sredstava. Većoj učestalosti kvarova umnogome pridonosi životni vijek kabela koji je pri kraju ali je pritom osim kategorije starosti bilo potrebno uvažiti i kategoriju važnosti koja je sačinjena od nekoliko kriterija. Vrijednost bodova koji se dodjeljuju za pojedine kriterije je iskustvena i zaključak je da u realnom postotku djeluje na konačnu sumu bodova za prioritet.

Možemo zaključiti da se C-I metoda opisana u referatu pokazala kao dobra podloga za dobivanje vrlo realne prioritetne liste. Kao potkrjepa predstavljenoj metodi dani su za primjer dva podmorska kabela s kojima je bilo problema u prošlosti i koji se nalaze visoko na prioritetnoj listi. Predstavljena metoda u referatu je prihvaćena od tima za podmorske kabele HEP-ODS-a, te uvrštena u uputi „Metodologija i kriteriji za pripremu i izgradnju podmorskih kabela“.

LITERATURA

- [1] Thomas Worzyk, „Submarine power cables - Design, Installation, Repair, Environmental aspects“, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.
- [2] Franjo Klarić, dipl.ing., Mladen Volarić, dipl.ing., mr.sc. Ivica Radetić, dipl.ing, Mato Mijić, dipl.ing, Martina Biondić, dipl.ing., "Projektiranje i izvođenje zamjene 35 kV podmorskih kabela kopno – Krk i Krk - Cres“, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije – HO Cired, 4. (10.) savjetovanje Trogir/Seget Donji, 11. - 14. svibnja 2014.
- [3] Zamjena podmorskog 35 kV kabelskog voda Črišnjeva (kopno)- Voz (o.Krk), Izvedbeni projekt, IZ-VS-306-12, HEP ODS d.o.o, Elektroprimorje Rijeka, Služba za izgradnju, Odjel za projektiranje, veljača 2013.
- [4] Zamjena podmorskog 35 kV kabelskog voda Mirna (o. Krk)- Merag (o.Cres), Izvedbeni projekt, IZ-VS-307-12, HEP ODS d.o.o, Elektroprimorje Rijeka, Služba za izgradnju, Odjel za projektiranje, veljača 2013.
- [5] Tim za podmorske kabele HEP ODS d.o.o., „Metodologija i kriteriji za pripremu i izgradnju podmorskih kabela“