

energija 6

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE



UDK 621.31 ENJAAC 43 (6) 323-418 (1994) ISSN 0013-7448

ENERGIJA • GODINA 43 • BROJ 6 • STRANA 323-418 • ZAGREB, PROSINAC 1994

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 43 (1994)

Zagreb 1994

Br. 6

Hrvatska elektroprivreda

Institut za elektroprivredu, Zagreb

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i
informatike

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Duro Stanković, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Slavica Barta, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb — Anđelko Dujmović, dipl. inž., Direkcija za distribuciju, Osijek — Bruno Šaina, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, Prijenosno područje Opatija — Marijan Kovač, dipl. inž., Hrvatska elektroprivreda, PP Primorskog sliva, Tribalj — mr. Damir Subašić, dipl. inž., Javno poduzeće za zbrinjavanje radioaktivnog otpada, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran Granić, dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Vladimir Prizl, dipl. inž. — »Termoelektrane i toplane«, Ivan Vučetić, dipl. inž. — »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko Tonković, dipl. inž. — »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen Ježić, dipl. inž. i Dasenko Balasari, dipl. inž. — »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure Šimović, dipl. ecc., Mladen Mandić, dipl. ecc. i Marijan Magdić, dipl. ecc. — »Ekologija«, dr. Niko Malbaša, dipl. inž. — »Informatika«, Nikola Lastrić, dipl. inž. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko Mališ — Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: mr. Mladen Zeljko, dipl. inž.

Redakcija završena 1994 — 12 — 06

SADRŽAJ

Tonković Z.: Značenje »Otočne veze 110 kV« Melina / Senj... Zadar (Pregledni članak)	327
Tomasović I. — Šaina B. — Čerina P.: Izbor podmorskih i kopnenih energetskih kabela »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak)	335
Perak I. — Bobanović A.: Podmorski optički kabel za Otočnu vezu (Pregledni članak)	345
Savičević J.: Podmorski i podzemni energetski kabeli 110 kV u projektu Otočna veza (Pregledni članak)	349
Durđević D.: Projektiranje dalekovoda »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak)	359
Čerina P. — Mijić M. — Živković B.: Transport i polaganje podmorskih kabela »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak)	373
Čerina P. — Despot I. — Krnić F.: Polaganje kopnenog kabela 110 kV Bili Brig — TS Zadar 1 (Pregledni članak)	379
Rumora I. — Saša S.: Telekomunikacijski sustav za vođenje objekata »Otočne veze 110 kV« iz CDU Bilice (Pregledni članak)	383
Čerina P. — Šaina B.: Utjecaj načina polaganja podmorskih jednožilnih kabela na elektrokoroziju metalnog plašta (Pregledni članak)	389
Čerina P. — Senjanović P.: Snimanje položenih podmorskih kabela »Otočne veze 110 kV« (Pregledni članak)	393
Tollerz O.: ABB — visokonaponski kabeli (Pregledni članak)	397
Čerina P. — Delavija N. — Šaina B.: Oprema za popravak i polaganje podmorskih kabela (Pregledni članak)	403
Iz strane stručne literature	407

Fotografije na omotnoj strani i u člancima
PETAR ČERINA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete — Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992, a prema mišljenju istog ministarstva oslobođen je plaćanja poreza na promet (rješenje 532-03-1/5-92 od 3. studenoga 1992).

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Avenija Vukovar 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 625-328 i 625-111/328, telefax: 041/530-604

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 40 DEM, a za poduzeća i ustanove 80 DEM (za studente 20 DEM). Cijena jedinog broja u prodaji 8 DEM.

Pretplata je iskazana u DEM, a uplaćuje se u dinarskoj protuvrijednosti na dan uplate.

Za inozemstvo \$ 95 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišei — Print: TIZ ZRINSKI d.d., Čakovec

Naklada 1000 primjeraka

Upute autorima

U »Energiji« smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa »stari« autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo »zaboravljive«.

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda »Energiji«, više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično »presude« recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštivati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica — SI. Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizikalne veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.
5. Članak mora biti napisan na formatu A-4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove**. Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.
6. Svaki članak mora imati:

- **kratak sažetak.** U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.
- **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.

- **kategorizaciju.** Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članaka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.
- **literaturu.** Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u »Energiji« prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodoci.

7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu — svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm — 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članaka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originalninja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom shvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvede i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno saopštenje, prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorläufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornaja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti i radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, profesional paper, profesionalnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođivanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Instituta za elektroprivredu i Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

RIJEČ GENERALNOG DIREKTORA HEP-a



Ovaj specijalni broj ENERGIJE posvećen je Otočnoj vezi koja na naponu 110 kV povezuje TS 400 / 220 / 110 kV Melina sa Zadrom preko otoka Krka, Raba i Paga.

Moglo bi se postaviti pitanje zašto ovoj vezi posvetiti specijalni broj kada to i nije prva otočna veza realizirana u nas. Pa ipak zato ima nekoliko razloga. Prvenstveno ta veza je spojila odvojeni dio dalmatinskog elektroenergetskog sistema s ostalim dijelovima Hrvatske i omogućila dvostruko napajanje

područja Zadra, tako teško pogođenog redukcijama tijekom domovinskog rata. Ova veza je zatim realizirana u izvanredno kratkom roku i teškim ratnim uvjetima pri čemu nije bilo zanemarivo iskustvo iz već realiziranih otočnih veza. Nadalje, iako forsirana kao interventni objekt, ova se veza uklapa u dugoročni plan razvoja hrvatskog elektroenergetskog sistema što joj daje naročiti značaj u uvjetima ograničenih financijskih mogućnosti HEP-a.

Konačno ovaj specijalni broj ENERGIJE ostaje kao trajni dokument jedne uspjele akcije HEP-a i izvanrednog zalaganja svih sudionika, od naših iseljenika, koji djelomično financiraju ovaj projekt, do projekatanta, domaćih i stranih isporučilaca opreme i izvođača radova. Specijalisti će sigurno naći interesantna rješenja kako u području kabelske tehnike, tako i u području nadzemnih vodova, postrojenja, kontrole i telekomunikacija.

2. ELEKTROENERGETSKE PODLOGE

Damir Begović

2.1. Potrošnja

Promatrana je ostvarena potrošnja i njezina očekivana neposredna budućnost.

za kontinentalnu Hrvatsku (koja nema veći utjecaj na promatrani, primorski dio sistema) prema studiji »Razvoj prijenosne mreže na području Elektroprivrede Hrvatske u razdoblju 1988/89 – 2010. godina« Instituta za elektroprivredu i energetiku, 1990. (tada je presjek potrošnje nazivne 1990. (maksimalnu) godišnju potrošnju Hrvatske 2 600 MW), te za primorsku Hrvatsku – prema ostvarenim (neiz-

No od idejnog rješenja do puštanja u pogon – koji se očekivalo potkraj srpnja 1994. – protekle su tri godine. Od sjednice i načelne odluke Upravnog odbora HEP-a 27. VII. 1991. intenzivno se odvijalo nekoli-

cijski prema »Izveštaju o poslovanju u 1992. godini« Direkcije za upravljanje i prijenos Hrvatske elektroprivrede i »Elektroenergetskoj bilanci za 1993. godinu« Hrvatske elektroprivrede.

ZNAČENJE OTOČNE VEZE 110 KV MELINA/SENJ ... ZADAR

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.1

PREGLEDNI ČLANAK

Iznose se i interpretiraju rezultati modelskih analiza utjecaja »otočne petlje«, tj. zatvaranja kraka mreže 110 kV preko sjevernojadranskih otoka i njezine potpore s kontinenta na opskrbu južne Hrvatske električnom energijom.

Ključne riječi: mreža 110 kV, opskrba otoka električnom energijom.

1. UVOD

Zatvaranje grane 110 kV preko sjevernojadranskih otoka Krka, Raba i Paga i njihovo povezivanje s kontinentalnom mrežom — analogno onom preko Brača, Hvara i Korčule — nalazi se, s različitim intenzitetom i varijantama, u srednjoročnim planskim dokumentima već barem desetak godina.

Razina dosegnutog konzuma i njegovo značenje donijeli su napon 110 kV na Lošinj (1989) i na Rab (1993), oba otoka koji se radijalno napajaju s Krka. Postojali su s druge, »splitske« strane TS 110/35 + 20 kV Nin (1990), s nepotpunim značenjem u mreži, kao i 20-ak km DV 110 kV između Novalje i Paga (izgrađenog 1980), u pogonu pod 10 kV (kao jedinstven slučaj u tadašnjoj jugoslavenskoj mreži). Nerazvijena mreža godinama je sprečavala razvitak otoka Paga (držeci ga na oko 8 MVA: ne dopuštajući nove priključke). U taj kompleks ulazio bi i DV 110 kV Lički Osik-Karlobag u pogonu pod 35 kV (od svoje izgradnje 1981).

Potreba da se pomogne u opskrbi električnom energijom južne Hrvatske — koja se zbog posljedica srpske okupacije i prekinutog jedinstva prijenosne mreže u rujnu 1991. našla izolirana u otočnom pogonu — promijenila je postojeće planove i nametnula prvenstvo izgradnji i konzistentnom zatvaranju poteza Rab — Nin — Zadar.

Stoga je na brojnim stručnim savjetima višestrano proučavana i prodiskutirana evolucija otočnog pod sistema. U novim okolnostima time se omogućuje: (a) sigurnost (iz perspektive ratne ugroženosti) i dvostrano napajanje zadarskog i paškog konzuma, za koje će, doduše, trebati rekonstruirati potez Bilice — Zadar, (b) rasterećenje elektrana u tom izoliranom dijelu sistema (s proizvodnjom potpuno ovisnom o hidrologiji), (c) plasman eventualnih viškova (ne treba zaboraviti injekciju HE Dubrovnik i sanaciju HE Peruća), (d) kvalitetna rezerva Rabu.

No od idejnog rješenja do puštanja u pogon — koji se očekivalo potkraj srpnja 1994. — protekle su tri godine. Od sjednice i načelne odluke Upravnog odbora HEP-a 27. VII. 1991. intenzivno se odvijalo nekoli-

ko paralelnih studijskih, istražno-pripremnih, projektantskih i investicijsko-financijskih aktivnosti, (koje su omogućile da se u kolovozu 1993. »otočna veza« uvrsti u interventni program hrvatske Vlade i da UO HEP-a odnose odluku o izgradnji.

U ovom izlaganju žele se iznijeti samo rezultati ključne studije »Značenje grane Karlobag — Novalja za »otočku petlju« Melina — Nin« Instituta za elektroprivredu i energetiku (Zagreb, listopada 1993) [1], koja je iz perspektive konačnog rješenja rekapitulirala spoznaje prijašnjih tematskih radova 1991-93, prije svega »Studije izvedivosti 110 kV veze od TS 400/220/110 kV Melina preko otoka Krka, Raba i Paga do TS 110/35 kV Zadar 1« (s dopunama) iz studenoga 1991. i »Energetsko-pogonskih prilika u relevantnom dijelu elektroenergetskog sustava u slučaju izgradnje DV 220 kV Senj — Zadar — Bilice« iz ožujka 1993. **Iz cjelovitog rješenja ispitivanog u [1] lako se prelazi na neposredno aktualnu tzv. »nultu etapu« odspajanjem »ličke grane«.**

Kada ovaj prilog bude objavljen, već će se moći ponašanjem mreže i mjerenjima iz »živoga pogona« verificirati rezultati koje ovdje iznosimo.

2. ELEKTROENERGETSKE PODLOGE

2.1. Potrošnja

Promatrana je ostvarena potrošnja i njezina očekivana neposredna budućnost:

za kontinentalnu Hrvatsku (koja nema veći utjecaj na promatrani, primorski dio sistema) prema studiji »Razvoj prijenosne mreže na području Elektroprivrede Hrvatske u razdoblju 1988/89 — 2010. godine« Instituta za elektroprivredu i energetiku, 1990. (uzet je presjek potrošnje nazivne 1990. (maksimalnu istodobnu potrošnju Hrvatske 2 600 MW), te za primorsku Hrvatsku — prema ostvarenim (neistodobnim) maksimalnim potrošnjama 1992 — orijentacijski prema »Izvještaju o poslovanju u 1992. godini« Direkcije za upravljanje i prijenos Hrvatske elektroprivrede i »Elektroenergetskoj bilanci za 1993. godinu« Hrvatske elektroprivrede.

Prema tim očekivanjima ukupna je potrošnja splitskog prijenosnog područja oko 500 MW.

Raspodjela potrošnje po modeliranim čvorištima uže promatranoga dijela sistema dana je u tablici 1.

Tablica 1.

	MW	Mvar
Crikvenica	19	7
Vinodol	18	7
Krk	13	5
DINA	18	6
Lošinj	10	4
Senj	3	1
Rab	10	4
Novalja	6	2
Otočac	10	5
Karlobag	2	1
	MW	Mvar
Biograd	9	4
Nin	10	4
Zadar	37	15*
Bilice	81	25
Meterize	44	18
Suđidar	77	31
Kaštela	54	22
Trogir	15	6
Kraljevec	1	1
Makarska	17	7
Sinj	21	9
Dugi Rat	70	30
Nerežišća	10	4
Starigrad	10	4
Komolac	25	10
Ston	12	6**
Blato	10	4
Dalmacija	503	200

* Nisu uključene kondenzatorske baterije (4 x 4,16 Mvar).

**S davanjem Hercegovini. U egzaktnom modelu trebalo bi potrošnji »splitskog« područja pridodati još i Opuzen.

Ostali dio potrošnje Hrvatske modeliran je na razini čvorišta superponirane prijenosne mreže prema rezultatima i modifikaciji već navedena studije »Razvija prijenosne mreže...«

2.2. Proizvodnja

U uže promatranome primorskom dijelu sistema proizvodnja je polazno pretpostavljena gotovo točno prema onoj u doba maksimalne potrošnje 1992. (31. XII. 18. sati: maksimalna potrošnja Hrvatske 2 070 MW), ali s jednim generatorom HE Dubrovnik uključenim u međuvremenu (tablica 2).

Dakle, elektroenergetski otok »splitskoga prijenosnog područja« polazno je uravnotežen (što uključuje gubitke u prijenosnoj mreži) prema sadašnjoj realnoj situaciji.

Angažiranje jalove snage određeno je na temelju zabilježenoga naponskog profila u nekim generatorskim čvorištima pri maksimalnoj potrošnji sistema. Spomenimo da se u postrojenju DINA Omišalj nalaze generatori za podmirivanje vlastite potrošnje izostane li napajanje iz prijenosne mreže: 2×14 MVA, $\cos \varnothing = 0,8$, kojima interveniramo u nekim pogon-

Tablica 2.

	MW	Mvar
HE Vinodol	80	0
HE Senj	216	33
HE Sklope	23	0
TE Rijeka	203	0
	MW	Mvar
HE Orlovac	150	30
HE Đale	16	0
HE Zakućac	270	90
HE Dubrovnik	80	0
Dalmacija	516	120

skim stanjima (pri preopterećenju kabela Crikvenica – Krk).

U TS 110/35 kV Zadar postoje na niženaponskoj strani priključene kondenzatorske baterije 4 (ispravno $3 \times 4,16$ Mvar, a u TS 220/110/10 kV Bilice priključeno je na tercijar $5 \times 13,5$ Mvar.

3. MREŽA

Modelirano je aktualno stanje mreže 380 kV i 220 kV na području Hrvatske i Slovenije (s potrošnjom osječkoga prijenosnog područja reduciranom na Mracilin), te mreža 110 kV kvarnersko-ličkoga dijela riječkoga prijenosnog područja (s otocima) i cijeloga splitskog područja. Taj je model prikazan na sl. 1.

Podmorski kabeli između otoka Raba i Paga te Paga i kopna pretpostavljeni su polazno $3 \times (1 \times 300)$ Cu s umreženim polietilenom (XLPE), a kabelska dionica trase Nin – Zadar 1 kao XLPE $3 \times (1 \times 100)$ Al¹.

4. ISPITIVANJA

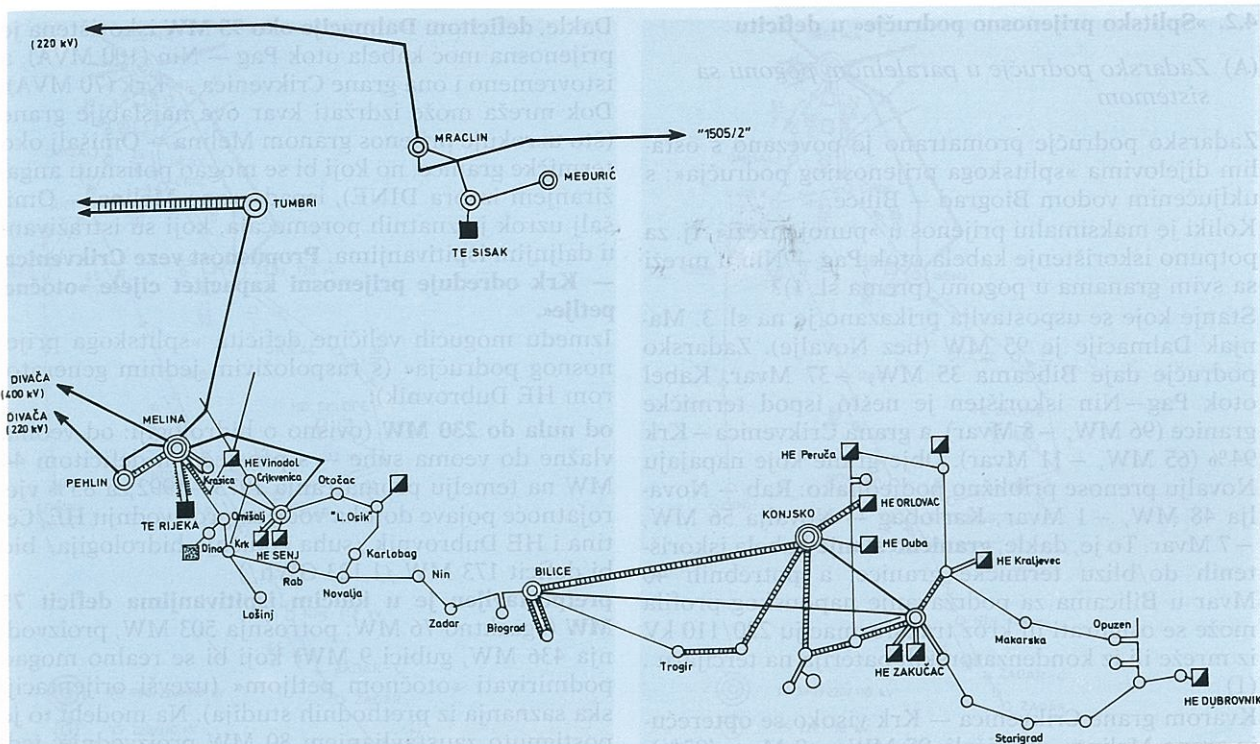
Prijenosna mreža ispitivana je na izloženom modelu elektroenergetskog sistema računskim strojem.

Provjeravana je deterministički prema uobičajenom kriteriju ispada jedne grane sistema (n-1), što je primjereno promatranom problemu.

Prema prirodi zadatka glavni su uvjeti koje sistem mora zadovoljavati pri neraspoloživosti (kvaru) jedne grane mreže sljedeći:

- naponi u čvorištima moraju ostati u dopuštenim granicama: 95 kV – 123 kV, 198 kV – 245 kV, 360 kV – 420 kV
- opterećenje vodiča ne smije prelaziti termičku granicu;
za nadzemne vodove (i presjke u promatranom podsistemu):
150/25 Al/Č 440 A 85 MVA,
240/40 Al/Č 605 A 115 MVA,
150 Cu 480 A 90 MVA,

¹ Napomenimo da su upravo prema rezultatima »srodne« studije [1] pojačani presjeci kabela između otoka Paga i kopna (Nina i Karlobaga). [2] Dodajmo još jednu argumentaciju za veći presjek: eventualni izvoz energije iz Dalmacije.



Slika 1. Modelirana mreža

a za kabele uzeti su podaci proizvođača, koje navodimo za prijenosno limitirajuću dionicu grane:

150 Cu 365 A 70 MVA (Crikvenica – Krk)

300 Cu 525 A 100 MVA (»otočna petlja«:
Melina – Nin)

1 000 Al 740 A 140 MVA (Nin – Zadar 1).

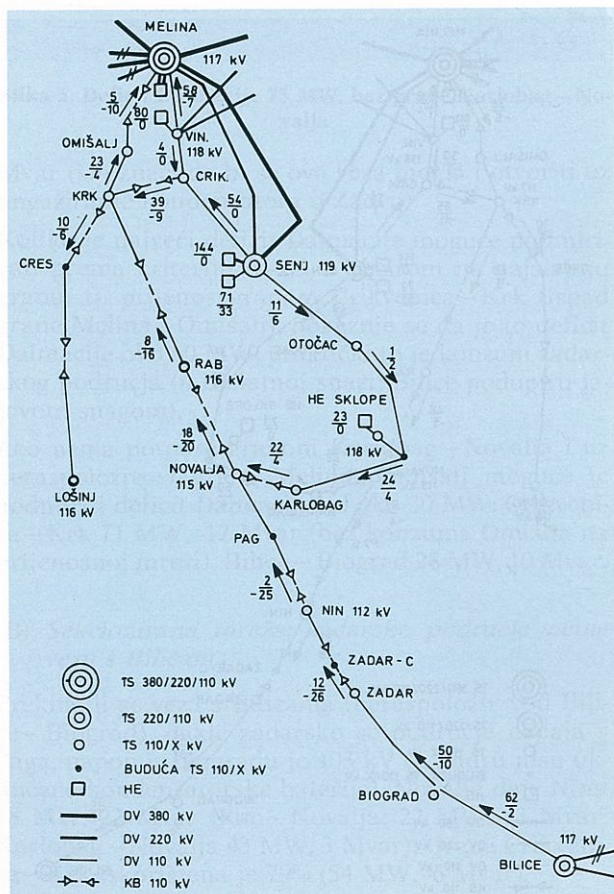
4.1. Uravnotežena bilanca »splitskoga prijenosnog područja«

Početno su nove grane »otočne petlje« i potpore iz Karlobaga interpolirane u sistem s uravnoteženom bilancom splitskoga prijenosnog područja (egzaktno je višak Dalmacije 2 MW: potrošnja 503 MW, proizvodnja 516 MW, računski gubici na modelu 11 MW (sl. 2).

Prema očekivanju, u ovakvom stanju sistema praktički nema razmjene granom Novalja – Nin. Vod Bilice – Biograd iskorišten je 73%.

Ako ne bi bilo potpore »otočne petlje«, opterećenje voda Bilice – Biograd bilo bi oko oko termičke granice pri ispadu grane između Krka i Raba (konzum čvorišta na potezu Biograd – Rab: 72 MW): 80 MW, 34 Mvar; posljedice isključivanja preopterećenog voda su jasne.

Iz ovog ispitivanja slijedi zaključak o sigurnosnoj ulozi grane Karlobag – Novalja (kao rezervi za granu Krk – Rab, ali jednako tako i za napajanje ličkog područja).



Slika 2. »Puna mreža«, uravnotežena bilanca Dalmacije

4.2. »Splitsko prijenosno područje« u deficitu

(A) Zadarsko područje u paralelnom pogonu sa sistemom

Zadarsko područje promatrano je povezano s ostalim dijelovima »splitskoga prijenosnog područja«: s uključenim vodom Biograd – Bilice.

Koliki je maksimalni prijenos u »punoj mreži«, tj. za potpuno iskorištenje kabela otok Pag – Nin u mreži sa svim granama u pogonu (prema sl. 1)?

Stanje koje se uspostavlja prikazano je na sl. 3. Manjak Dalmacije je 95 MW (bez Novalje). Zadarsko područje daje Bilicama 35 MW, –37 Mvar. Kabel otok Pag – Nin iskorišten je nešto ispod termičke granice (96 MW, –8 Mvar), a grana Crikvenica – Krk 94% (65 MW, –11 Mvar). Obje grane koje napajaju Novalju prenose približno podjednako: Rab – Novalja 48 MW, –1 Mvar; Karlobag – Novalja 56 MW, –7 Mvar. To je, dakle, **granično stanje** kabela iskorištenih do/blizu termičke granice, a potrebnih 40 Mvar u Bilicama za podržavanje naponskog profila može se osigurati ili kroz transformaciju 220/110 kV iz mreže ili iz kondenzatorskih baterija na tercijaru. (1)

Kvarom grane Crikvenica – Krk visoko se opterećuje grana Melina – Omišalj: 95 MW, –9 Mvar (95%), a ako ne bi radile HE Sklope onda je i 5% preopterećena (105 MW, –6 Mvar).

Dakle, **deficitom Dalmacije oko 95 MW** iskorištena je prijenosna moć kabela otok Pag – Nin (100 MVA), a istovremeno i ona grane Crikvenica – Krk (70 MVA). Dok mreža može izdržati kvar ove najslabije grane (što uzrokuje prijenos granom Melina – Omišalj oko termičke granice, no koji bi se mogao potisnuti angažiranjem izvora DINE), ispad grane Melina – Omišalj uzrok je znatnih poremećaja, koji su istraživani u daljnjim ispitivanjima. **Propusnost veze Crikvenica – Krk određuje prijenosni kapacitet cijele »otočne petlje«.**

Između mogućih veličine deficita »splitskoga prijenosnog područja« (s raspoloživim jednim generatorom HE Dubrovnik):

od nula do 230 MW (ovisno o hidrologiji: od veoma vlažne do veoma suhe – s prosječnim deficitom 44 MW na temelju promatranja 1973–1992; za 85% vjerojatnoće pojave dotoka vode za proizvodnju HE/Cetina i HE Dubrovnik /suha godišnja hidrologija/ bio bi deficit 173 MW /1 123 GWh/)

pretpostavljen je u idućim ispitivanjima deficit 75 MW (egzaktno 76 MW: potrošnja 503 MW, proizvodnja 436 MW, gubici 9 MW) koji bi se realno mogao podmirivati »otočnom petljom« (uzevši orijentacijska saznanja iz prethodnih studija). Na modelu to je postignuto zaustavljanjem 80 MW proizvodnje: jednog generatora u HE Orlovac ili neraspoloživošću HE Dubrovnik (napon u Komolcu time odmah pada na 89 kV, pa je kao prefirirana uzeta prva mogućnost).

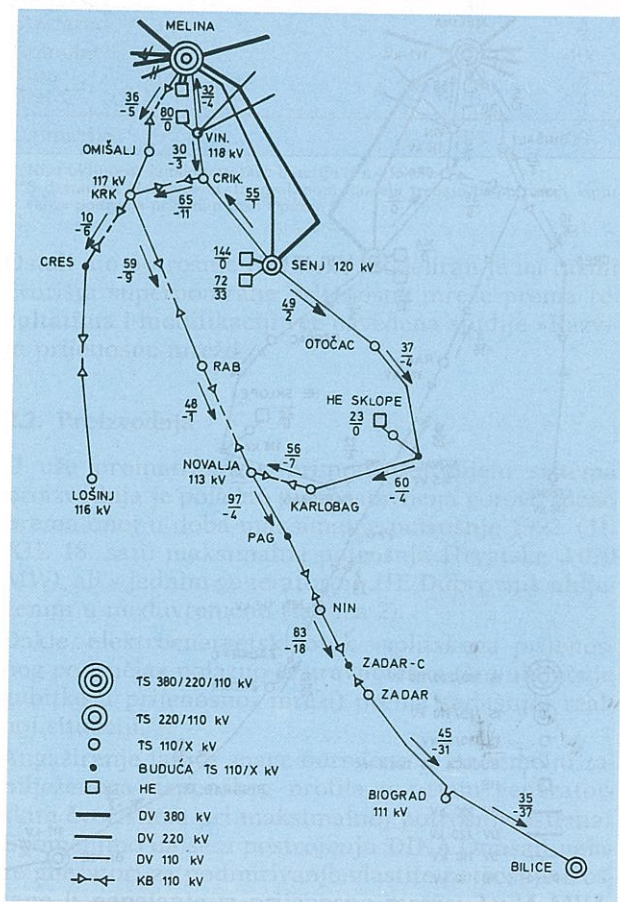
Na promatranom potezu uspostavljaju se tokovi snaga i naponi kako je prikazano na sl. 4 (analogna sl. 3, samo za manji deficit Dalmacije).

Kakav je utjecaj HE Sklope? Ako nisu angažirane pada prijenos granom Karlobag – Novalja na 40 Mvar, a za toliko se povećava na grani Rab – Novalja: 44 MW, –2 Mvar (no sada je već kabel Crikvenica – Krk iskorišten 91%: 62 MW, –11 Mvar). Povećan je i prijenos vodom Senj – Otočac: 55 MW, 2 Mvar.

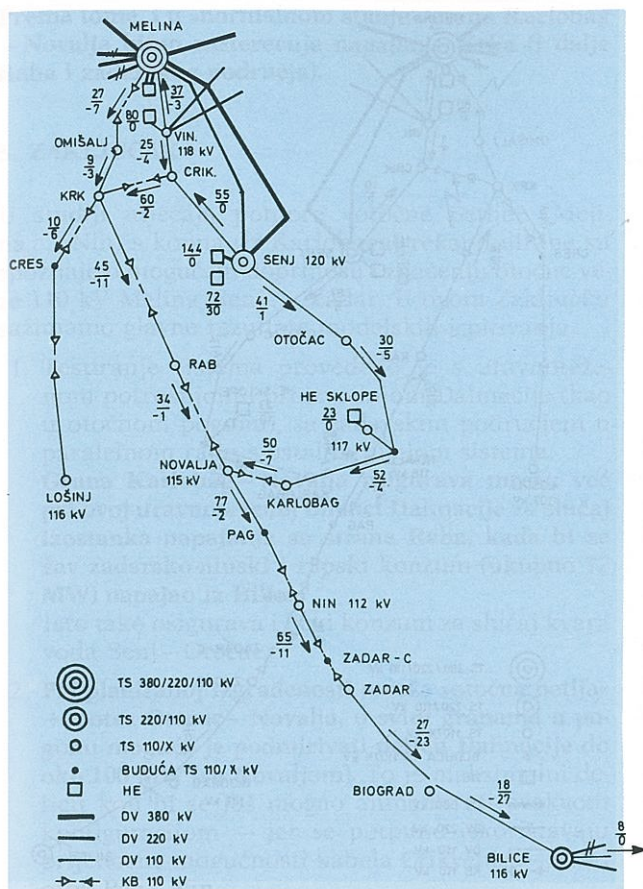
U stanju prema sl. 4, evidentno je da će za ispadom grane Melina – Omišalj biti isključena grana Crikvenica – Krk: u ovakvoj situaciji ne postiže se računski konvergentno rješenje². Uključivanjem kondenzatorskih baterija u Zadru (kompenzirana imaginarna komponenta konzuma TS Zadar 1) i podmirivanjem potrošnje DINE vlastitim izvorima (nema konzuma na prijenosnoj mreži) postiže se rješenje, ali je stanje pogonski neodrživo zbog preopterećenja voda Senj – Otočac 133 MW, 20 Mvar (158%) i dalje cijelog poteza do Novalje. Biograd daje Bilicama 19 MW, –41

² Svedeno da li se radilo o slučaju (A) ili (B), pogonski događaj od 22. VIII. 1994. potvrđuje rezultate modelskih ispitivanja o nekoordiniranoj povezanosti otoka Krka s kopnom (na što se upozorava već 1986, od studije »Prijenosna mreža na području »Elektroprivrede« Rijeka u razdoblju 1986–2000. godine«, Institut za elektroprivredu, 1986). Toga dana po isključenju vodnog polja Omišalj 110 kV u TS Krk »i prekida veze Melina – Krk sav teret Dalmacije i otoka prolazi kabelom Crikvenica – Krk koji radi preopterećenja ispada iz pogona« (iz svjesta). Nadstrujna zaštita na kabelu Crikvenica – Krk bila je postavljena na 390 A (74 MVA) uz vrijeme isključenja 3 sek. Preuđenjem zatezanja vremenskog člana zaštite na kabelu Crikvenica – Krk na 20 min i signalom upozorenja koji slijedi nakon 3 sek (bez isključivanja prekidača) problem nije riješen, nego samo odgođen.

Ne znamo opterećenja, ali imamo za ilustraciju dijagram opterećenja za srijedu 10. VIII. u vodnom polju Pag u TS Rab: maksimum je 45 MW (između 11 i 12 sati).



Slika 3. »Puna mreža«, maksimalni prijenos u Dalmaciji



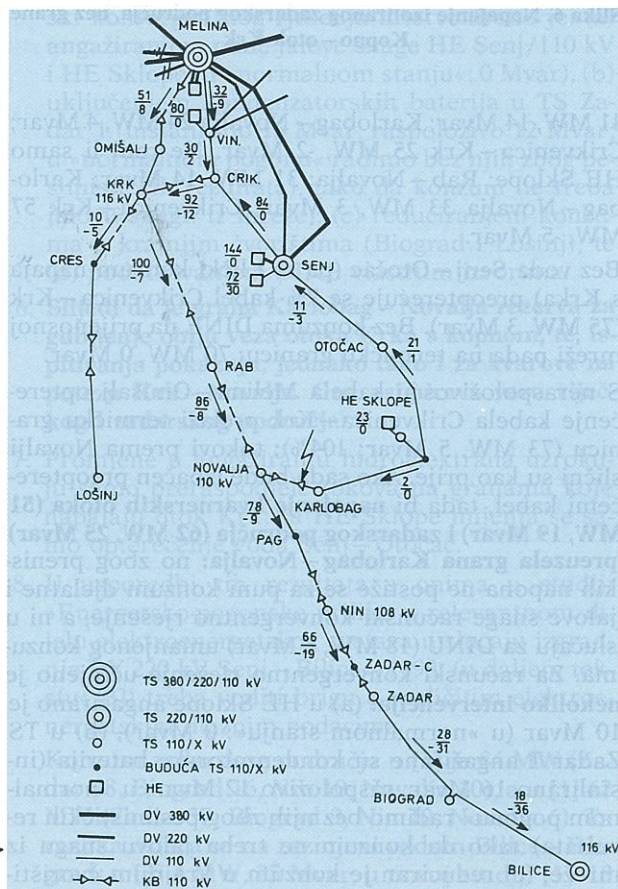
Slika 4. »Puna mreža«, deficit Dalmacije 75 MW

Mvar. Mrežu je potrebno sekcionirati (u Biogradu: sa smanjenjem prijenosa za konzum Biograda i davanja Bilicama pao bi prijenos ispod termičke granice).

Iz prijašnjih ispitivanja jasno je da sistem može izdržati ispad grane Crikvenica–Krk; pri sada promatranom deficitu Dalmacije od 75 MW bilo bi: Melina–Omišalj 81 MW, -12 Mvar; Karlobag–Novalja 56 MW, -9 Mvar; Senj–Otočac 49 MW, 1 Mvar. Ima rezerve i za neangažiranje HE Sklope: Senj–Otočac 63 MW, 2 Mvar.

Kvar na vodu Senj–Crikvenica podiže prijenos vodom Senj–Otočac na 52 MW, 0 Mvar (61%), a ako ne rade HE Sklope na 66 MW, 1 Mvar (78%). Toliko je iskorištena i grana Novalja–Nin.

Konačno, ako izostane potpora iz Karlobaga, preopterećena je 31% grana Crikvenica–Krk, sl. 5; njezinim isključenjem preopterećuje se 47% grana Melina–Omišalj (157 MW, -1 Mvar). Pokrivanje potrošnje DINE vlastitim izvorima ne eliminira ovo opterećenje: ostaje 26% (87 MW, -14 Mvar). To pokazuje da bi, za slučaj kada nema potpore »otočne petlje«, mrežu trebalo sekcionirati (otvaranje voda Biograd–Bilice). Bez grane **Karlobag–Novalja bilo bi moguće pokrivati oko 50 MW deficita Dalmacije (bez Novalje)**, uz podmirivanje konzuma DINE vlastitim izvorima: Crikvenica–Krk 72 MW, -16 Mvar (106%), Krk–Rab 68 MW, -10 Mvar (69%), Bilice–Biograd 8 MW, 18



Slika 5. Deficit Dalmacije 75 MW, bez grane Karlobag–Novalja

Mvar (što znači da bi se ova veza mogla i otvoriti uz angažiranje kondenzatora u Zadru).

Koliko je najveći deficit Dalmacije moguće podmirivati prema kriteriju (n-1)? S obzirom na najslabiju granu, tj. prijenos granom Crikvenica–Krk (ispad grane Melina–Omišalj), pokazuje se da je to deficit Dalmacije oko 60 MW; praktički to je konzum zadarskog područja (u djelatnoj snazi; Bilice podupiru jačom snagom).

Ako nema potpore granom Karlobag–Novalja i uz neraspoloživost grane Melina–Omišalj moguće je podmiriti deficit Dalmacije od oko 30 MW: Crikvenica–Krk 71 MW, -12 Mvar (bez konzuma Omišlja na prijenosnoj mreži), Bilice–Biograd 28 MW, 10 Mvar.

(B) *Sekcionirana mreža: zadarsko područje nema vezu s Bilicama*

Prekine li se veza s Bilicama (neraspoloživ vod Bilice–Biograd), dakle zadarsko se područje napaja s Paga, napon u Biogradu je 103 kV (u Zadru nisu uključene kondenzatorske baterije), Novalja daje Ninu 58 MW, 22 Mvar (Rab–Novalja: 22 MW, 13 Mvar; Karlobag–Novalja 43 MW, 3 Mvar). Grana Crikvenica–Krk iskorištena je 79% (54 MW, -6 Mvar).

Ako ne rade hidroelektrane HE Senj, HE Sklope i HE Vinodol dolazi do preraspodjele: Rab–Novalja:

Slika 6. Napajanje izoliranog zadarskog područja, bez grane Kopno – otok Krk

41 MW, 14 Mvar; Karlobag – Novalja 24 MW, 4 Mvar; Crikvenica – Krk 25 MW, -2 Mvar. Ne radi li samo HE Sklope: Rab – Novalja: 31 MW, 14 Mvar; Karlobag – Novalja 33 MW, 3 Mvar; Crikvenica – Krk 57 MW, -5 Mvar.

Bez voda Senj – Otočac (pa se i lički konzum napaja s Krka) preopterećuje se 7% kabel Crikvenica – Krk (75 MW, 3 Mvar). Bez konzuma DINE na prijenosnoj mreži pada na termičku granicu: 70 MW, 0 Mvar.

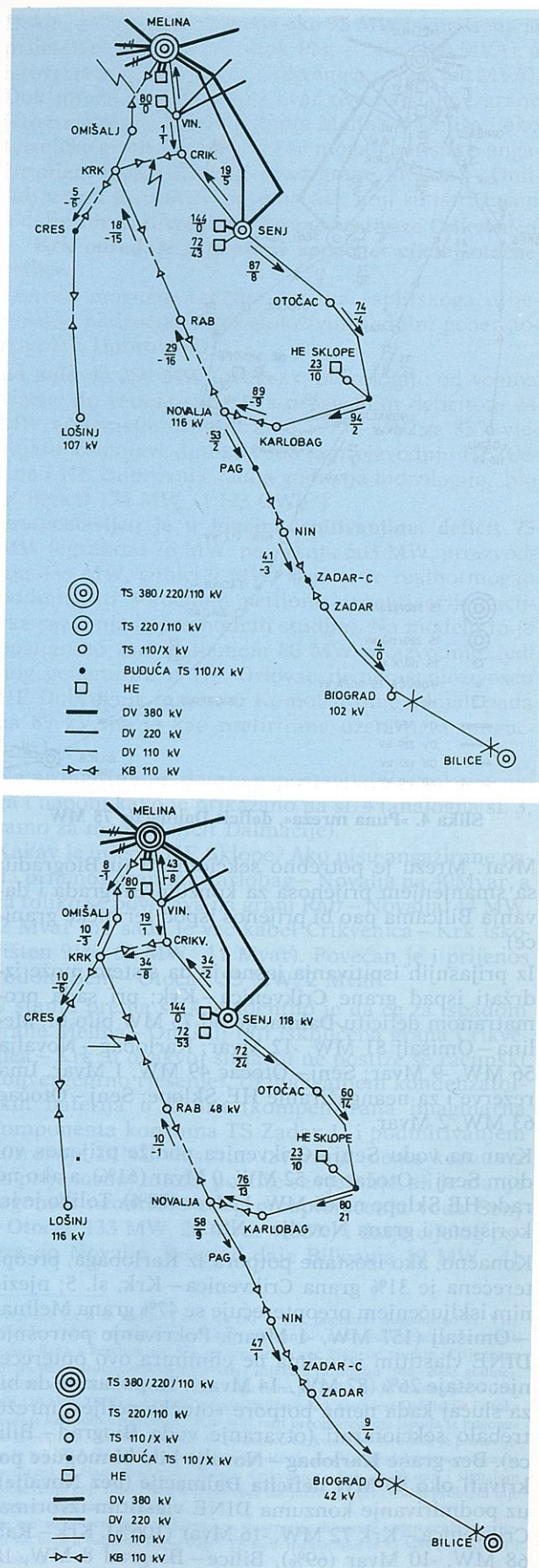
S neraspodijelivosti kabla Melina – Omišalj opterećenje kabla Crikvenica – Krk prelazi termičku granicu (73 MW, 5 Mvar; 104%); tokovi prema Novalji slični su kao prije. Ako sada bude izbačen preopterećeni kabel, tada bi **napajanje kvarnerskih otoka (51 MW, 19 Mvar) i zadarskog područja (62 MW, 25 Mvar) preuzela grana Karlobag – Novalja**; no zbog preniskih napona ne postiže se za puni konzum djelatne i jalove snage računski konvergentno rješenje, a ni u slučaju za DINU (18 MW, 6 Mvar) umanjenog konzuma. Za računski konvergentno rješenje učinjeno je **nekoliko intervencija**: (a) u HE Sklope angažirano je 10 Mvar (u »normalnom stanju«: 0 Mvar), (b) u TS Zadar 1 angažirane su kondenzatorske baterije (instalirano 16 Mvar, raspoloživo 12 Mvar; u »normalnom pogonu« radimo bez njih zbog pesimističkih rezultata) tako da konzum ne treba jalovu snagu iz mreže, (c) reduciran je konzum u krajnjim čvorištima: Lošinj (na 5 MW, 2 Mvar) i Biogradu (na 4 MW, 1 Mvar). U ovakvoj elektroenergetskoj situaciji 3% prelazi termičku granicu prijenos vodom Senj – Otočac: 87 MW 8 Mvar, dok su najniži naponi: Biograd 102 kV, Lošinj 107 kV. (sl. 6).

Dakle, uz nešto reducirani konzum krajnjih čvorišta i podmirivanje DINE vlastitim izvorima te angažiranje kondenzatorskih baterija u TS Zadar 1, grana Karlobag – Novalja je rezerva za gubljenje obiju veza otoka Krka s kopnom (ispad grane Melina – Omišalj, i, posljedično, preopterećenje i isključenje grane Crikvenica – Krk).

U svakom slučaju osigurava granu Krk – Rab: bez nje ne dobiva se za osnovno stanje računski konvergentno rješenje. Potrebna je kompenzacija u Zadru (uključivanje kondenzatora): prijenos vodom Senj – Otočac je 72 MW, 24 Mvar (89%), a napon u Biogradu 92 kV (sl 7).

U drugoj seriji ispitivanja željelo se dobiti informaciju o situaciji bez grane Karlobag – Novalja. Napon u Biogradu pada na 92 kV (s uključenim zadarskim kondenzatorskim baterijama: na 104 kV) a prijenos kabelom Krk – Rab je 79 MW, 23 Mvar (82%); preopterećen je kabel Crikvenica – Krk 82 MW, 3 Mvar (117%). Trebalo bi uključiti agregate za podmirivanje potrošnje DINE, i tada pada prijenos granom Crikvenica – Krk na 50 MW, -8 Mvar; 73%.

Slika 7. Napajanje izoliranog zadarskog područja, bez grane Krk – Rab



Prema tome, i u »normalnom stanju« grana Karlobag – Novalja bitno rasterećuje napajanje Krka (i dalje Raba i zadarskog područja).

5. ZAKLJUČAK

U studiji utjecaja potpore »otočne petlje« (Melina ... Nin) s kopna (iz Karlobaga) rekapitulirane su spoznaje o mogućem doprinosu i značenju otočne veze 110 kV Melina/Senj ... Zadar. U ovom Zaključku sažimamo glavne rezultate modelskih ispitivanja.

1. Testiranje sistema provedeno je s uravnoteženom potrošnjom i proizvodnjom Dalmacije (kao u otočnom pogonu), sa zadarskim područjem u paralelnom radu s ostalim dijelom sistema.

Grana Karlobag – Novalja osigurava mrežu već pri ovoj uravnoteženoj bilanci Dalmacije za slučaj izostanka napajanja sa strane Raba, kada bi se sav zadarsko-ninski i rapski konzum (ukupno 72 MW) napajao iz Bilice.

Isto tako osigurava i lički konzum za slučaj kvara voda Senj – Otočac.

2. **Pri planiranoj izgrađenosti mreže »otočna petlja« + potez Otočac – Novalja, u svim granama u pogonu moguće je podmirivati deficit Dalmacije do oko 100 MW (sa Novaljom).** To je maksimalni deficit koji bi se još mogao alimentirati ovakvom konfiguracijom — jer se potpuno iskorištavaju prijenosne mogućnosti kabela Crikvenica – Krk i otok Pag – Nin.

Bez potpore »otočne petlje« iz Karlobaga maksimalno se može zadovoljiti deficit Dalmacije oko 60 MW (praktički konzum zadarskog područja).

3. Primjena kriterija (n-1) apriorno znači nižu razinu opterećenja mreže, pa je polazno pretpostavljen 25% manji deficit od onog maksimalnoga koji bi se još mogao napajati planiranom mrežom: 75 MW.

Najprije je ispitano stanje sa zadarskim područjem u paralelnom radu s ostalim dijelom sistema (uključen vod Bilice – Biograd).

Najteži kvar je ispad grane Melina – Omišalj koji povlači isključenje one Crikvenica – Krk (zbog preopterećenja). I kada se postigne računski konvergentno rješenje, stanje nije pogonski održivo zbog preopterećenja voda Senj – Otočac: problem se rješava izoliranjem zadarskog područja od ostatka Dalmacije.

4. Zbog mogućih razmjena zadarsko područje → ostali dio »plitskog prijenosnog područja«, koje utječu na opterećenje grana iz čvorišta ishodišnog napajanja (ponajprije ona Crikvenica – Krk, ali i Senj – Otočac), **treba mrežu sekcionirati otvaranjem voda Bilice – Biograd.**

5. I u sekcioniranoj mreži nerazpoloživost kabela Melina – Omišalj uzrokuje preopterećenje kabela Crikvenica – Krk. Njegovim isključenjem preuzela bi napajanje kvarnerskih otoka (51 MW, 19 Mvar) i zadarskog područja (62 MW, 25 Mvar) grana Karlobag – Novalja. Za postizanje račun-

ski konvergentnog rješenja intervenirano je: (a) angažiranjem pune jalove snage HE Senj/110 kV i HE Sklope (u »normalnom stanju«: 0 Mvar), (b) uključenjem kondenzatorskih baterija u TS Zadar 1 (instalirano 16 Mvar, raspoloživo 12 Mvar; u »normalnom pogonu« radimo bez njih zbog pesimističkih rezultata), tako da konzum ne treba jalovu snagu iz mreže), (c) reduciranjem konzuma u krajnjim čvorištima (Biograd i Lošinj), te (d) podmirivanjem DINE vlastitim izvorima.

6. **Slijedi da je grana Karlobag – Novalja rezerva za gubljenje obiju veza otoka Krka s kopnom, te, ispitivanja pokazuju, jednako tako i za kvarove na potezu Krk – Novalja. Ona osigurava vezu riječkog i zadarskog područja.**

7. Promjene u angažiranju hidroelektrana uzrokuju samo preraspodjele tokova na granama koje napajaju otok Krk; sa HE Sklope mijenja se samo opterećenje voda Senj – Otočac.

8. U usporedbi tih rezultata s onima u studiji »Energetsko-pogonske prilike u relevantnom dijelu elektroenergetskog sustava u slučaju izgradnje DV 220 kV Senj – Bilice«, 1993. (u daljem tekstu: [3]) treba voditi brigu o različitim elektroenergetskim ulaznim podacima.

Konzum zadarskog područja u [3] je 84 MW (Zadar 48, Biograd 16, Nin 10, Novalja 10), a u [1] 62 MW (Zadar 37, Biograd 9, Nin 10, Novalja 6). Ta razlika osjeća se na razmjeni vodom Bilice – Biograd: u [3] 4 MW, 25 Mvar, u novoj studiji [1] -18 MW, 36 Mvar (sl. 6).

Što se tiče prijenosa kopno – otok Krk treba imati na umu da je u [3] angažirana HE Senj/110 kV 72 MW (sl. 6: 144 MW), veći je konzum Vinodola (16 MW), Crikvenice (24 MW) i Senja (12 MW) nego li u novoj studiji [1] (18, 19, 3, respektivno), a poseban utjecaj ima davanje HE Vinodol zagrebačkom području (HE Vinodol – Delnice 38 MW, 14 Mvar; HE Vinodol – Gojak 3 MW, 3 Mvar).

U [3] ograničena je prijenosna moć kabela Crikvenica – Krk s 85 MVA (kao nadzemni vod s vodičima Al 150 mm²), a u novoj studiji [1] je korektnije limitirana bakrenom dionicom kabela (70 MVA).

Uzevši u obzir sve te razlike, kritička interpretacija rezultata obiju studija navodi na iste zaključke.

I iz »Studije izvodivosti 110 kV veze od TS 400/220/110 kV Melina preko otoka Krk, Rab, i Pag do TS 110/35 kV Zadar 1«, 1991 (s dopunama) mogu se deducirati slični zaključci imajući na umu da je u njoj modelirana nazivna 1995. i da je promatran neoštećeni sistem (Obrovac, s vodovima prema Zadru i Lici). U tom presjeku potrošnje (tada određenom prema očekivanjima iz »Mogućih scenarija razvoja Hrvatske elektropriredbe«, prema kojima je maksimalni konzum zadarskog područja bio 91 MW) i uklopnom stanju (prema kojem dobiva zadarsko područje 28 MW iz Obrovca) prijenos granom Novalja – Nin bio je 55 MW, 36 Mvar. To navodimo jer se u

prvim valorizacijama zatvaranja »otočne petlje« baratalo s tih 50-ak MW injekcije prema ovoj studiji iz 1991.

9. Za potpuniju sliku o utjecaju predviđenih pojačavanja mreže »otočna petlja« + Senj – Karlobag – Novalja na naponski profil pilotski su ispitani režimi minimalnih opterećenja, i to tako da je konzum promatranog podsistema naprosto prepolovljen. Pokazuje se da u nepotpunom »grafu« mreže (kvarovi) napon lako bježi visoko preko maksimalno dopuštenih 123 kV. Visoki napon u HE Senj, pa i u Melini, zatim mogućnosti kvara pri spojenim kondenzatorima u TS Zadar, ... Za takvu mogućnost imamo i upozorenje iz pogona: s naponom u TS Nerežišća pri otvorenoj vezi Dugi Rat – Nerežišća, kada je taj napon bio 120 kV – do preko 130 kV noću!

Trebat će, dakle, eksploataciji »otočne petlje« (sklopne manipulacije) obratiti najveću pažnju i iz planerskih aspekata prijeći u pogonske.

10. Ostaje potreba ispitivanja raspodjele tokova snaga u »predratnoj« mreži (zbog paralelnih pravaca mreže 380 kV, 220 kV, i nadzemne i kabela 110 kV). Može se očekivati znatno manji prilog potpore iz Karlobaga (što je dosada i odgađalo ovu granu na krajnje planske horizonte).

Dalje će trebati ispitati reverzibilnost »otočne petlje«: u dosadašnjim radovima istraživana je samo moguća injekcija snage u energetske otok južne Hrvatske, i to za stanje maksimalne potrošnje.

Adaptacijom HE Dubrovnik i rekonstrukcijom DV 110 kV Komolac – Ston kao i sanacijom brane HE Peruća (da ne spominjemo HE/Neretva) realno su mogući energetske viškovi u južnoj Hrvatskoj – i postaviti će se pitanje kako ih iskoristiti (sekcioniranje?) ili izvesti (u »krutu mrežu«?).

Upravo bi ovaj izvoz u »krutu mrežu« bilo zanimljivo ispitati: je li moguć paralelni pogon južne Hrvatske i UCPTE posredovanjem samo »otočne petlje«.

LITERATURA

- [1] »Značenje grane Karlobag ... Novalja za »otočnu petlju« Melina ... Nin«, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, listopada 1993.
- [2] I. TOMASOVIĆ, B. ŠAINA, P. ČERINA: »Izbor podzemnih i kopnenih energetskih kabela 110 kV otočne veze«, — 1. simpozij o energetskim kabelima HK CIGRE, Split, 1994, R-1.03.

Napomena

Ovaj je referat pripremljen, prema [1], prije izgradnje i stavljanja u pogon dionica otočne elektroenergetske magistrale; sada je moguće dati i kronologiju i nešto od pogonskih iskustava.

TS 110/35 kV Novalja počela se graditi 9. X. 1993. i puštena je u pogon 13. VII. 1994.

Od 23. VI. do 10. VII. 1994. polagani su kabeli koji povezuju otok Pag s otokom Rabom i s kopnom: najprije Rab – Pag, pa Pag-kopno (na zadarskom pravcu), i konačno kabelska dionica »ličke veze«.

»Otočna veza 110 kV«, kako je u HEP-u zvan cijeli projekt, puštena je u pogon 26. VII. 1994. u TS Zadar 1.

»Lička veza« 110 kV Senj ... Karlobag ... Novalja dijelom je realizirana (kabelska dionica), a dijelom u projektu.

THE ROLE OF 110 kV ISLAND CONNECTION MELINE / SENJ ... ZADAR

The results of model analysis of the island connection, that is the influence of the closure of the 110 kV network branch from the continent to the Northern Adriatic islands on the electric energy supply of Southern Croatia, are given and discussed.

DIE BEDEUTUNG DER 110 kV »ÜBER – INSELN – VERBINDUNG« MELINA / SENJ ... ZADAR

Vorgezeigt und ausgelegt werden die Ergebnisse der am Modell durchgeführten Einwirkungsanalysen der Erstellung der »Inselnmasche«, dh. der Koppelung eines Zweiges des westkroatischen 110 kV Netzes mit einem Zweig des südkroatischen 110 kV Netzes über die nordadriatischen Inseln, zwecks Unterstützung der Stromversorgung Südkroatiens vom Binnenland her.

Naslov pisca:

Mr. Zdenko Tonković, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku, d.d. — Zagreb
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 – 11 – 16.

IZBOR PODMORSKIH I KOPNENIH ENERGETSKIH KABELA 110 kV »OTOČNE VEZE«

Ivo Tomasović, Zagreb — Bruno Šaina, Opatija — Petar Čerina, Split

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

»Otočna veza 110 kV« kojom se povezuje prijenosna mreža 110 kV sjevernog i srednjeg dijela našeg Jadrana u svojoj prvoj etapi osim ostalih elektroenergetskih objekata obuhvaća polaganje energetskih 110 kV kabela:

- Podmorski kabel o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt. Deda)
- Podmorski kabel o. Pag (Selina) — Kopno (Kulina)
- Podmorski kabel Kopno (u. Koromačina) — o. Pag (u. Toreta)
- Podzemni kabel Bili Brig — Zadar Centar — Zadar 1.

Ukupna dužina podmorskih trasa iznosi približno 20.1 km, a podzemne trase oko 4.7 km. U članku su opisane konstrukcije nudaenih kabela renomiranih europskih proizvođača, te podrobno značajke kabela odabranih ponuđača.

Takoder su prikazani rezultati rutinskih specijalnih ispitivanja u tvornici proizvođača.

Ključne riječi: podmorski i kopneni kabel, XLPE, istraživački radovi, kabelski pribor.

UVOD

Jedna od posljedica domovinskog rata i neprijateljskih razaranja jest prekid elektroenergetskih veza između dalmatinskog područja i zapadnoga dijela Republike Hrvatske. Dalekovodi 400 kV Melina—Obrovac—Konjsko, 220 kV Brinje—Konjsko, 110 kV Otočac—Lički Osik—Gračac izvan su funkcije, znatno oštećeni i neizvjesna je mogućnost njihova popravka i ponovnog pogona.

Sasvim je prirodno da je u Hrvatskoj elektroprivredi promovirana ideja o ostvarenju elektroenergetske veze preko slobodnog teritorija kojom će se djelomično supstituirati objekti razoreni u ratu ili oni pod neprijateljskom kontrolom na okupiranim područjima.

Sretna je okolnost što su studijska istraživanja, pa i neki od istražnih radova, obavljani prije pet do deset godina, kada se računalo s objektima »otočne veze« za potrebe razvoja otoka, pa je to omogućilo skraćivanje pripremnih radova i realizaciju u kratkom roku. Iz 1. i 2. slike vidljivo je da »otočna veza 110 kV« povezuje glavni elektroenergetski čvor na području Rijeke TS 400/220/110 kV Melina sa TS 110/35 kV Zadar 1. Budući da je dio objekata izgrađen prije, utvrđeno je da za ostvarenje te veze treba u »nultoj« etapi izgraditi ove objekte:

- DV 110 kV TS Rab — o. Rab (u. Vašibaka)
- podmorski 110 kV kabel o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt. Deda); dužine 11,2 km
- DV 110 kV o. Pag (rt. Deda) — TS 110 kV Novalja
- TS 110/35 kV Novalja
- podmorski 110 kV kabel o. Pag (Selina) — Kopno (Kulina); dužine 2,5 km

- proširenje TS 110/35 kV Nin za dva vodna polja 110 kV
- podzemni 110 kV kabeli Bili Brig —TS Zadar Centar — TS Zadar 1; dužine 4,7 km
- proširenje TS 110/35 kV Zadar 1 za jedno vodno polje 110 kV
- zamjenu zaštitnog užeta užetima s ugrađenim optonitima na dalekovodima 110 kV između TS 110/35 kV Novalja i Bili Brig
- optički kabel od TS 110/35 kV Rab do TS 110/35 kV Zadar 1.

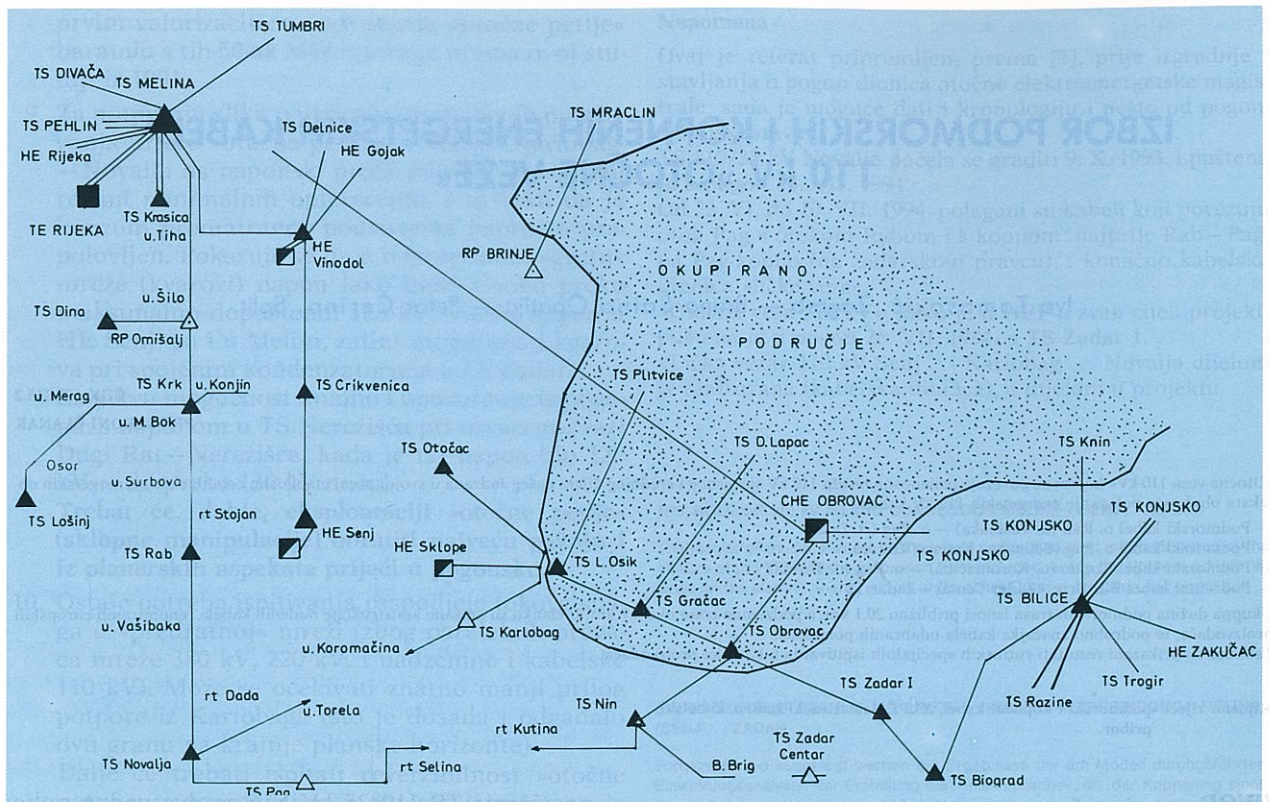
Izgradnjom ove etape omogućuje se prijenos 60—70 MW na područje Zadra.

U toku pregovaranja s potencijalnim isporučiteljima kabela izrađena je studija o značenju veze Karlobag—Novalja za »otočnu petlju« 110 kV Melina . . . Nin. Iz zaključka studije izlazi da se izgradnjom »bočne veze« može prenijeti preko o. Paga do 104 MW, što znači da se može zadovoljiti uz šire područje Zadra i konzum prema Biogradu i Šibeniku.

Na temelju takvih spoznaja ugovoren je i podmorski kabel (dužine 2,6 km) za dionicu Kopno (u. Koromačina) —o. Pag (u. Toreta) kao dio 110 kV veze TS Karlobag—TS Novalja. Naknadno je ugovoren i podmorski kabel (dužine 3,8 km) Kopno (Bibinje) — o. Ugljan (Gnjoišće) kao dio buduće 110 kV otočne veze između Lošinja i Zadra.

Na donošenje odluke o proširenju opsega isporuke utjecala je i povoljna cijena kabela te niski troškovi polaganja zajedno s ostalim kabelima, jer bi pojedinačno polaganje znatno povećalo ukupnu cijenu isporuke podmorskog kabela.

Izgradnjom prve etape »otočne veze 110 kV« omogućuje se:



Slika 1. Mreža 400/220/110 kV Melina – Bilice

- povezivanje ratnim razaranjima razdvojenog elektroenergetskog sustava Hrvatske
- prijenos električne energije oko 100 MW, od čega za zadrsko područje i otok Pag otpada oko 65 MW, a ostalo na područje Šibenika
- prijenos električne energije iz Dalmacije u razdoblju velike proizvodnje hidroelektrana u sjeverni dio elektroenergetskog sustava Hrvatske osobito uz pojačanje veze 110 kV Zadar — Šibenik)
- rasterećenje sustava Dalmacije u sušnom razdoblju i mogućnost akumuliranja energije
- uklapanje ovog projekta u dugoročni program razvoja prijenosne mreže toga područja,
- neovisnost o neprijateljskim ucjenama do oslobođenja privremeno okupiranih područja.

Ukupna dužina podmorskih trasa je približno 20,3 km odnosno duljina kabela (jednožilnih) oko 61 km, te podzemne trase u Zadru 4,7 km i kabela oko 14 km.

Duljina zračnih vodova je 74 km, od toga novoizgrađenih 36 km, ne računajući zračne vodove »bočne veze« Lika — Karlobag — Novalja.

Ukupna cijena projekta »nulte« iznosi oko 43 milijuna USA \$.

Osim izgradnje »bočne veze« Lika — Karlobag — Novalja, potrebno je izgraditi novu 110 kV vezu Zadar — Biograd — Bilice, čime će sve unaprijed opisane mogućnosti »otočne veze 110 kV« doći do punog izražaja.

1. OSNOVNA TEHNIČKA SVOJSTVA TRAŽENIH I PONUĐENIH KABELA

Za potencijalne isporučioce kabela izrađen je ponudbeni elaborat (tender) kojim su utvrđeni osnovni zahtjevi i tehnička svojstva podmorskih i kopnenih kabela.

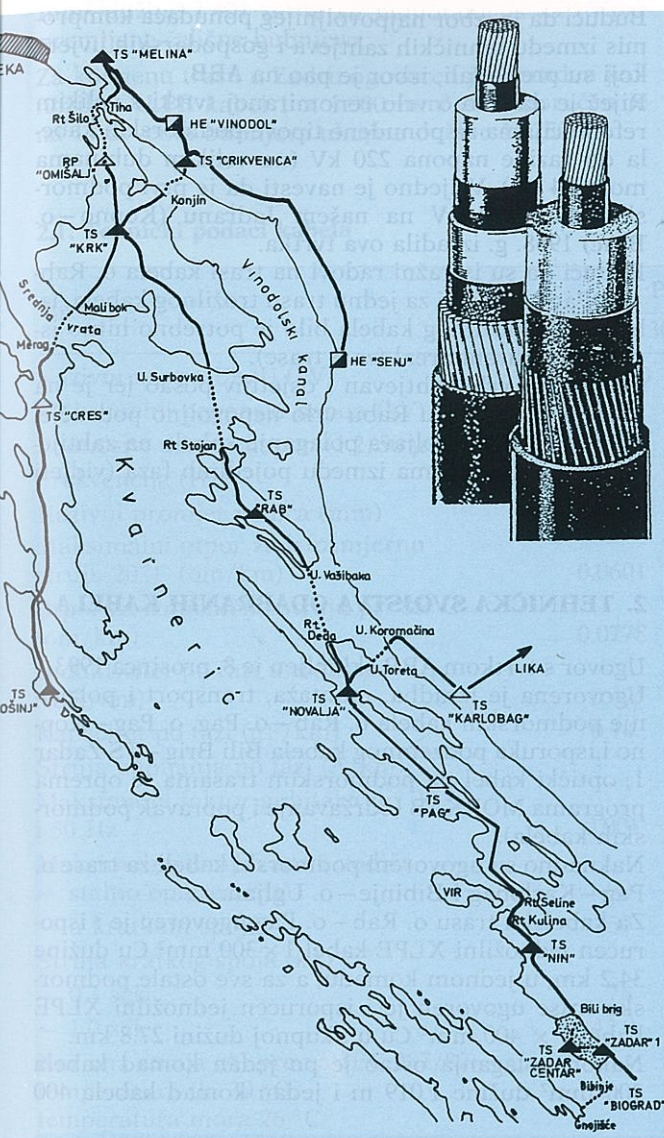
Uvjeti na mjestu polaganja podmorskih kabela

— nazivni napon mreže	110 kV
— najviši pogonski napon	123 kV
— podnosivi udarni napon (1,2/50 u sek)	550
— prijenosna snaga	100 MVA
— struja jednopolnog kratkog spoja	17,8 kA
— struja trojnopolnog kratkog spoja	31,5 kA
— trajanje kratkog spoja	1 sek
— klizna staza	3,5 cm/kV
— standard	IEC.

Za vezu o. Rab — o. Pag (u. Vašibaka — rt Deda) tražen je trožilni uljni, a za vezu o. Pag — kopno (rt Selina — rt Kutina) jednožilni kabeli s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE)

Razlozi za takvo opredjeljenje HEP-a bili su dužina kabela, dubina mora i dosadašnja iskustva.

Trasa kabela o. Rab — o. Pag dugačka je 1 200 m, a najveća dubina mora je 110 m. Trasa kabela o. Pag — kopno dugačka je 2 500 m, a najveća dubina mora 17 m.



Slika 2. Otočna veza 110 kV

U našem podmorju prethodno je položeno osam 110 kV trožilnih, uljnih podmorskih kabela raznih dužina i dubina polaganja i samo jedan XLPE kabel o. Cres—o. Lošinj kojemu je podmorski dio oko 400 m na najvećoj dubini od 7 metara.

Dosad nismo imali ni jedan kvar na podmorskom dijelu 110 kV kabela polaganih od 1968. (kopno—o. Brač) do 1987. godine (o. Krk—o. Rab). Održavanje ovih kabela svodi se samo na kontrolu pritiska ulja i povremeni obilazak i pregled opreme u kabelskim kućicama.

Referencije svjetski renomiranih proizvođača podmorskih kabela neusporedivo su bogatije za uljne kabele nego za kabele s čvrstim dielektrikom.

Na kraćoj dionici na maloj dubini mora (o. Pag—kopno) predviđeni su jednožilni kabeli s izolacijom od umreženog polietilena. Za ovakav izbor postoji i tehničko i gospodarsko opravdanje.

Fenomen deformacije olovnog plašta kod velikih dubina mora i ove vrste kabela za ovaj slučaj ne pred-

stavlja problem. Glede cijena uljnih kabela, velik dio čini uljni sustav s cijenom koja je malo ovisna o dužini kabela, tako da su za kratke dionice (do približno 5 km) cijene uljnih kabela veće nego za kabele s čvrstim dielektrikom.

Od ostalih uvjeta važno je napomenuti da je za vezu o. Rab—o. Pag zatražen isti presjek za podmorski i kopneni dio kabela (300 mm²). Zbog različite toplinske vodljivosti mora i zemlje za uljni kabel kopneni dio kabela izrađuje se s bakrenim vodičem, a morski s aluminijskim. Mjesto spajanja je tvornički izrađena fleksibilna spojnica koja se pri polaganju obvezatno smješta u more u blizini izlaza kabela na kopno. Za XLPE kabel prednost je dana kabelu s bakrenim vodičem presjeka 400 mm².

Za podzemni kabel Bili Brig—Zadar Centar—Zadar 1 tražen je kabel s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE) za prienosnu snagu 130 MVA.

Osnovni tehnički podaci za podzemni kabel

— vrsta kabela	jednožilni sa izolacijom od umreženog polietilena (XLPE)
— dužina trase	4.7
— dužina kabela	14.250 km
— nazivni napon mreža	110 kV
— najviši pogonski napon	123 kV
— podnosivi udarni napon (1.2/50 μs)	550 kV
— prienosna snaga	130 MVA
— struja tropolnog kratkog spoja	31,5 kA
— struja jednopolnog kratkog spoja	17,8 kA
— trajanje kratkog spoja	1 sek
— klizna staza	3.0 cm/kV
— standard	IEC.

Od potencijalnih ponuditelja traženo je što manji broj spojnica i rezervna duljina u jednom komadu. Budući da su dosad položeni podzemni kabeli 110 kV u prienosnoj mreži Hrvatske s aluminijskim vodičem presjeka 1 000 mm² takav je kabel preferiran. Trožilni uljni kabel za vezu o. Rab—o. Pag ponudili su renomirani proizvođači kabela ALCATEL CABLE (Francuska) i ALCATEL NORGE (STK Norveška). Neke od tehničkih karakteristika proizvođača podmorskih uljnih kabela:

	ALCATEL CABLE	ALCATEL NORGE
— tip kabela	3 × 300 Cu OF 64/110(123)	OKRA
— nominalni napon (kV)	64/110 (123)	110
— materijal vodiča	bakar	aluminij/bakar
— presjek vodiča (mm ²)	300	300
— debljina izolacije (mm)	9.2	8.4
— debljina olovnog plašta (mm)	3.5	4.2
— ojačanje čelične žice promjera (mm)	7.6	5.6
— ukupni promjer kabela (mm)	131.7	124
— ukupni gubici u kabelu (W/m)	34	39.8
— masa kabela na 1000 m dužine (kg)	47 900	37 000/43 000
— najveća sila povlačenja tijekom polaganja (kN)	89.1	153

U pregovorima i rasčišćavanju tehničkih i gospodarskih pitanja dostavljena je i ponuda renomirane tvrtke ALCATEL CABLE CONTRACTING Hannover, koja je ponudila sve podmorske kabele s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE), Zamjena za olovni plašt je aluminijska pločica debljine 0.2 mm, koja se specijalnim polimerom lijepi na PE omotač debljine 4 mm.

Za takvu konstrukciju kabela tvrtka ima velike referencije, ali za napone niže od 110 kV.

Ponuda tvrtke ALCATEL CABLE ocijenjena je nepovoljnija kao tehničko rješenje, a osobito glede cijene, pa u daljnjem razmatranju nije uzimana u obzir.

Tvrtka ABB je dostavila svoju ponudu naknadno nudeći kabele s izolacijom od umreženog polietilena s karakteristikama koje će biti opisane u sljedećem poglavlju referata.

Nakon prispjelih ponuda razgovora s proizvođačima, napravljena je usporedba prednosti i mana analiziranih ponuđača:

	ALCATEL NORGE (STK)	CABLE CONTRACTING	ABB
<i>Tehnička rješenja</i>			
— uljni kabel	++	—	ne nudi
— XLPE	++	+	++
<i>Referencije za ponudene kabele</i>			
— Podmorski kabel	++	—	++
— Podzemni kabel	+	+	+
<i>Polaganje i montaža</i>	++	+	++
<i>Dosadašnje iskustvo za rad s ovim proizvođačima</i>	++	—	+
<i>Program morkab</i>	++	—	+

Napomena: Tvrtka ABB nije ponudila uljni kabel zbog traženih rokova isporuke i zauzetosti linije s izradom podmorskog kabela Švedska—Njemačka (DC 450 kV dužine 250 km)

Budući da je izbor najpovoljnijeg ponuđača kompromis između tehničkih zahtjeva i gospodarskih uvjeta koji su prevladali, izbor je pao na ABB.

Riječ je dakako o vrlo renomiranoj tvrtki s velikim referencijama za ponudene tipove podmorskih kabela do razine napona 220 kV (na velikim dubinama mora 84 kV). Vrijedno je navesti da je prvi podmorski kabel 110 kV na našem Jadranu (Kopno—o. Brač) 1968. g. izradila ova tvrtka.

Budući da su istražni radovi na trasi kabela o. Rab—o. Pag obavljeni za jednu trasu trožilnog kabela, izborom jednožilnog kabela bilo je potrebno hitno istražiti prošireni areal (za 3 trase).

Ovo je bio vrlo zahtjevan i osjetljiv posao jer je na poziciji bliže otoku Rabu vrlo nepovoljno područje, koje taman zadovoljava polaganje kabela na zahtijevanim udaljenostima između pojedinih faza (vidjeti sl. 3).

2. TEHNIČKA SVOJSTVA ODABRANIH KABELA

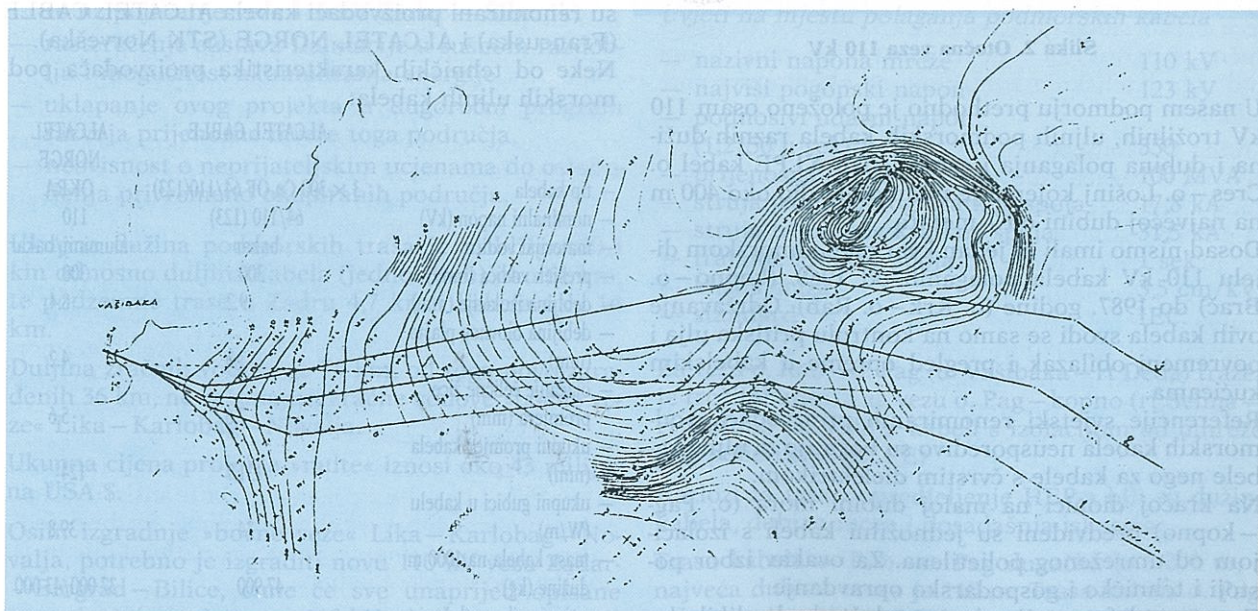
Ugovor s tvrtkom ABB sklopljen je 8. prosinca 1993.

Ugovorena je izradba, montaža, transport i polaganje podmorskih kabela o. Rab—o. Pag. o. Pag—Kopno i isporuka podzemnog kabela Bili Brig—TS Zadar 1, optički kabel na podmorskim trasama te oprema programa MORKAB (održavanje i popravak podmorskih kabela).

Naknadno su ugovoreni podmorski kabele za trase o. Pag—Karlobag i Bibinje—o. Ugljan.

Za kabelsku trasu o. Rab—o. Pag ugovoren je i isporučen jednožilni XLPE kabel $1 \times 300 \text{ mm}^2$ Cu dužine 34,2 km, u jednom komadu, a za sve ostale podmorske trase ugovoren je i isporučen jednožilni XLPE kabel $1 \times 400 \text{ mm}^2$ Cu u ukupnoj dužini 27.8 km.

Nakon polaganja ostao je po jedan komad kabela 300 mm^2 dužine 1 019 m i jedan komad kabela 400



Slika 3. Detalj kabelske podmorske trase kod uvale Vašibaka na otoku Rabu

mm² dužine 1 401 m, te su namotani na za to pripremljene čelične bubnjeve.

Za kopnenu trasu u Zadru ugovoren je i izrađen jednožilni XLPE kabel 1 × 1 000 mm² Al. Isporučen je na 15 drvenih bubnjeva ukupne dužine 14 250 m.

2.1. Tehnički podaci kabela

Tip	Podmorski kabel		Kopneni kabel
	FXBTV 1 × 300 Cu	FXBIV 1 × 400 Cu	AXLJ 1 × 1 000 Al
Nazivni napon U ₀ /U (kV)	64/110	64/110	64/110
Maksimalni pogonski napon (kV)	123	123	123
Podnosivi udarni napon (1,2/50 μs kV)	550	550	550
Frekvencija (Hz)	50	50	50
Nazivni promjer vodiča (mm)	20.4	23.0	38.0
Maksimalni otpor za istosmjernu struju 20 °C (om/km)	0.0601	0.0470	0.0291
Otpor za izmjeničnu struju pri 85 °C (om/km)	0.0778	0.0614	0.0398
Induktivitet po fazi u trolistu (mH/km)	0.42	0.41	0.36
Kapacitet po fazi (μF/km)	0.14	0.16	0.24
Struja nabijanja po fazi (A/km)	3	3.2	4.8
Maksimalni faktor gubitaka pri 20 °C i 50 Hz	0.001	0.001	0.001
Maksimalne temperature vodiča			
— stalno opterećenje	90	90	90
— u kratkom spoju	250	250	250
Struja kratkog spoja (kA)			
— 0,3 sek	78	100	170
— 1,0 sek	42,9	57	94.5
Nazivna struja (A) prema IEC 287/82:			
temperatura tla 20 °C			
temperatura mora 26 °C			
toplinski otpor tla 1,0 Km/W			
udaljenost faza u paraleli 70 mm			
ekran uzemljen na oba kraja			
— u zemlji u trolistu	570	635	820
— u zraku u paraleli	750	850	1140
— u moru u paraleli	590	645	
udaljenost 150 m			
— pojedinačno u betonskom kanalu	540	600	780
Gubici u trolistu pri nazivnoj struji 110 kV (W/m)			
— u vodič	23	25	28
— dielektrični	0.04	0.04	0.06
— u metalnom plaštu i ekranu	6	7	7
Vanjski promjer kabela (mm)	86	86	85
Minimalni polumjer savijanja (m)			
— kod polaganja	1.3	1.3	1.3
— montaže	0.9	0.9	0.85
Masa kabela (kg/m)	14	15	8.0
Maksimalna sila zatezanja vodiča (kN)	21	28	40

Smatramo da izbor različitih presjeka podmorskih kabela treba posebno komentirati. Ponudbenim elaborem tražen je kabel prijenosne snage 100 MVA. Uz utvrđene okolne uvjete presjek 300 mm² Cu je na granici takvog zahtjeva.

Kada se na osnovi studije došlo do spoznaje o značenju »bočne veze« Lika—Karlobag—Novalja, koja omogućuje prijenos i preko 100 MVA prema Zadru i Šibeniku, kao i obratno (prijenos viškova hidroenergije iz Dalmacije), pregovori s tvrtkom ABB bili su u završnoj fazi pred potpisivanje ugovora. Razlika u cijeni kabela različitog presjeka bila je oko 7 %, pa je zaključeno da se ugovori veći presjek na kraćim dionicama, gdje za to postoji i tehničko opravdanje.

Na potezu o. Rab—o. Pag, koji je mnogo dulji, neće biti prijenosa iznad 100 MVA jer to ne omogućuje podmorski kabel o. Krk—o. Rab, kao ni postojeće kabelske veze kopno—o. Krk.

U tvornici su zbog tehnoloških razloga kabel 300 mm² i 400 mm² izrađeni s istim vanjskim promjerom, pa je izolacija na kabelu manjeg presjeka vodiča znatno deblja od propisane (vidjeti rezultate ispitivanja u sljedećem poglavlju).

Važno je također da su podmorski kabeli za oba presjeka vodiča isporučeni svaki u jednom komadu, pa su prilikom polaganja rezani na potrebne dužine i na taj se način dobio najveći komad rezervnog kabela, što je s gledišta održavanja optimalan rezultat.

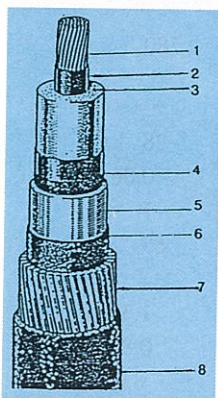
Tvrtka ABB osigurava kvalitetu izrade (QA) prema ISO 9001 standardima.

2.2. Konstrukcija kabela

Vodič se sastoji od bakrenih žica, između kojih je »želatina« koja sprečava prodor vode uzduž vodiča. Iznad vodiča je poluvodljivi plašt minimalne debljine 1 mm.

Izolacija je od umreženog polietilena XLPE minimalne debljine 15,5 mm, iznad koje je poluvodljivi plašt debljine 1,0 mm. Između olovne obloge (plašt) i XLPE izolacije je »bubreća« traka koja sprečava uzdužni prodor vode.

Metalna je armatura (transversalno ojačanje) od Al žice, promjera 4,0 mm. Iznad metalne armature je bitumen preko kojeg je namotano užo debljine 2,0 mm od polipropilene yarna.



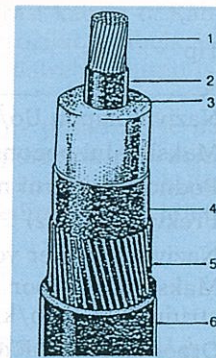
- 1 — bakreni vodič
- 2 — poluvodljivi plašt
- 3 — izolacija XLPE
- 4 — poluvodljivi plašt
- 5 — olovni plašt
- 6 — poluvodljivi plašt
- 7 — metalna armatura Al žice
- 8 — vanjska zaštita oplet od polipropilene yarna

Slika 4. Podmorski kabel

Vodič se sastoji od aluminijskih žica između kojih je »želatina« koja sprečava prodor vode uzduž vodiča. Iznad vodiča je poluvodljivi plašt debljine 1,0 mm. Izolacija je od umreženog polietilena XLPE minimalne debljine 15,0 mm iznad koje je poluvodljivi plašt debljine 1,0 mm.

Ekran od bakrenih žica je 1,1 mm, presjeka 95 mm². Vanjska zaštita, plašt od polietilena je debljine 3,05 mm.

- 1 — bakreni vodič
- 2 — poluvodljivi plašt
- 3 — izolacija XLPE
- 4 — poluvodljivi plašt
- 5 — ekran Cu žica
- 6 — vanjski plašt od polietilena



Slika 5. Kopneni kabel

2.3. Kabelski pribor

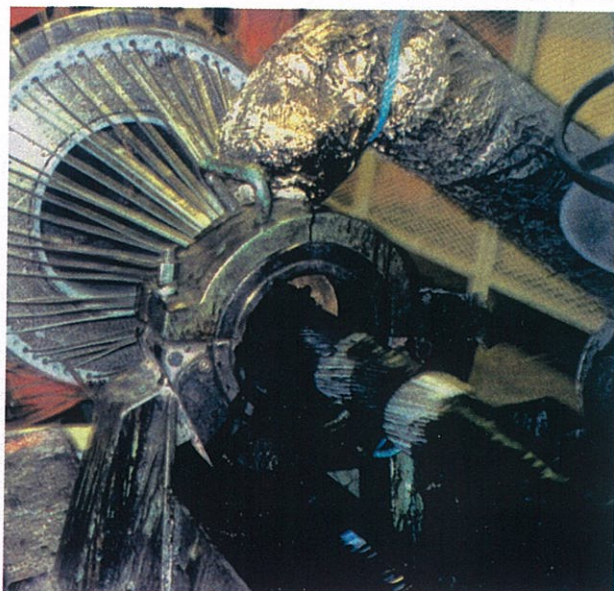
Kompletni kabelski pribor isporučio je ABB. Ovdje samo navodimo najvažnije elemente.

— Kabelski završeci

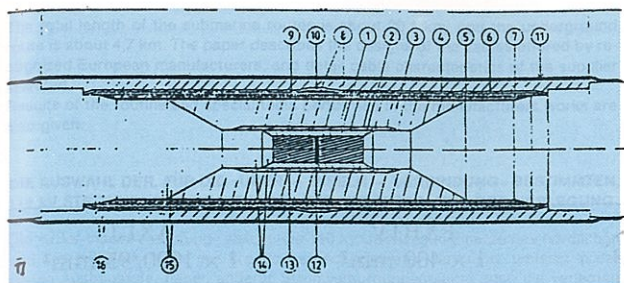
Odabrane su jednopolne kabelske glave proizvodnje »Kabeldon« — ABB tip APEC 1452, za vanjsku montažu za napon 145 kV i klizne staze 3 800 mm s gradijentom od 4,2 kV/mm.

— Za spajanje u 110 kV oklopljeno SF6 postrojenje TS Zadar Centar odabrani su završeci, također proizvodnje »Kabeldon«, ABB tip APEGA 1703 s gradijentom od 4,3 kV/mm

— Kabelske su spojnice (samo za kopneni kabel) proizvod ABB, tip LXS (110-245).

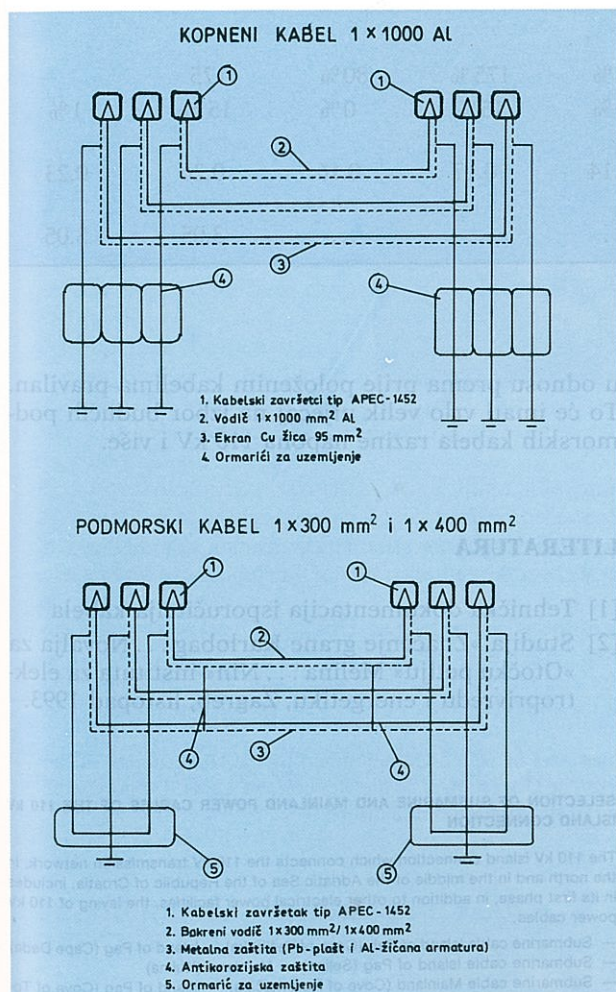


Slika 6. Podmorski kabel u završnoj fazi proizvodnje



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 — vodljiva najlonska traka | 9 — žica ekrana |
| 2 — vodljivi soj (namotana traka) | 10 — spojna cijev |
| 3 — PEX izolacija (vulkanizirana traka) | 11 — termoskupljajuća cijev |
| 4 — vodljiva boja | 12 — mjesto vara vodiča |
| 5 — vodljivi papir | 13 — vodič |
| 6 — vodljiva najlonska traka | 14 — vodljivi sloj |
| 7 — bakrena mreža | 15 — PEX izolacija |
| 8 — PVC traka | 16 — vodljivi sloj |
| | 17 — vanjski plašt |

Slika 7. Kabelska XLPE spojница LXSB 245 (110-245 kV)

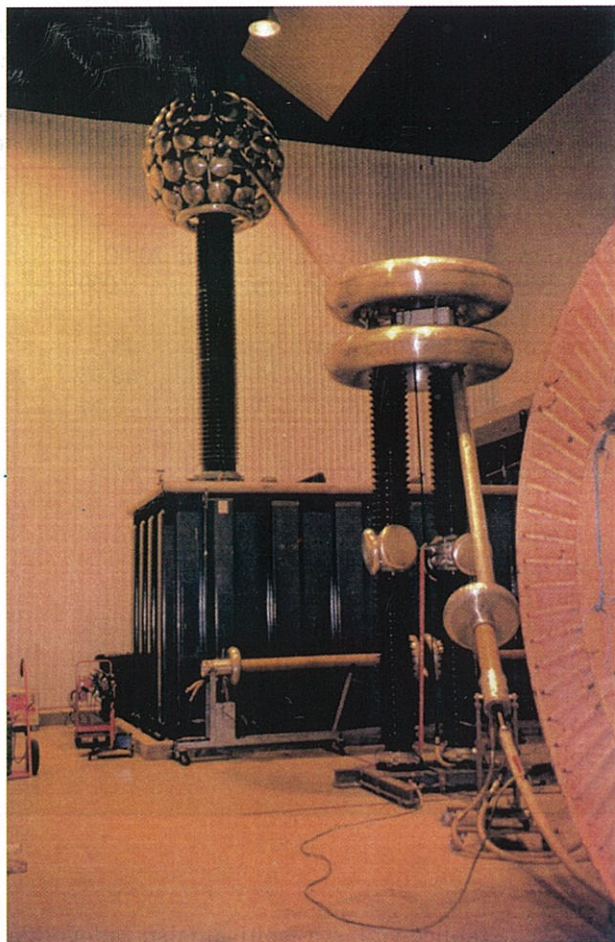


Slika 8. Shema električne zaštite

3. ISPITIVANJE KABELA

Ispitivanja kabela provedena su u skladu sa standardima IEC 840.

Tipska ispitivanja nisu provedena, nego su priloženi atesti.



Slika 9. Ispitivanje kabela u VN laboratoriju ABB-a

Izvedena rutinska i specijalna ispitivanja dala su zadovoljavajuće rezultate.

3.1. Rutinska ispitivanja

- **Parcijalna izbijanja**
Izmjenični napon postupno je podizan do 112 kV, održavan na toj razini 10 sekundi i spušten na 96 kV. Parcijalna izbijanja bila su ispod 5 pC (ugovorena vrijednost ≤ 10 pC).
- **Visokonaponsko ispitivanje**
Kabel je stavljen pod napon 160 kV izmjenično u trajanju 30 minuta. Tijekom ispitivanja nije došlo do proboja.
- **Ispitivanje plašta za kabel AXLJ $1 \times 1000/95 \text{ mm}^2$ (podzemni kabel)**
Napon 25 kV izmjenično je priključen između ekrana i vodljive površine PE-plašta u trajanju 1 minute. Pri ispitivanju nije došlo do proboja plašta. Ovo ispitivanje je provedeno u četiri navrata tj. ti-

jekom proizvodnje, prije ukrcaja na brod, nakon dolaska na mjesto polaganja u Zadar i nakon spajanja, a prije zatrpavanja kanala.

3.2. Specijalna ispitivanja

Tip kabela	FXBTV 1 × 300 mm ²		FXBTV 1 × 400 mm ²		AXLJ 1 × 1000/95 mm ²	
	Vrijednost propisana/izmjerena		Vrijednost propisana/izmjerena		Vrijednost propisana/izmjerena	
Provjera vodiča						
— najmanji broj žica	34	36	53	59	53	113
Provjera električnog otpora vodiča na 20 °C						
— najveća vrijednost (oma/km)	0.060	0.0586	0.0470	0.0460	0.0291	0.0279
Debljina izolacije						
— najmanja srednja (mm)	15.5	18.1	15.5	16.7	15.0	15.8
— najmanja (mm)	13.95	17.55	13.95	15.91	13.50	15.02
Debljina olovnog plašta	2.27	2.34	2.27	2.45	...	...
Promjer olovnog plašta						
— srednja vrijednost (mm)	67.4	67.4	67.4	67.8	—	—
Promjer kabela bez olovnog plašta						
— srednja vrijednost (mm)	61.3	61.6	61.6	61.9	74.3	75.5
Ispitivanje umreženja izolacije						
— najveće istezanje pod opterećenjem 76%	175%	95%	175%	80%	175	
— najveće istezanje nakon hlađenja	15%	0%	15%	0%	15%	1%
Mjerenje kapaciteta						
— najveća vrijednost (μF/km)	0.14	0.14	0.17	0.16	0.26	0.23
Debljina PE plašta						
— Najmanja vrijednost (mm)	...	...	...	...	3.05	3.05

Kako se iz tablice vidi, sva ispitivanja su zadovoljila propisane vrijednosti, a posebno se to odnosi na debljinu izolacije kod podmorskih kabela

u odnosu prema prije položenim kabelima pravilan. To će imati vrlo velik utjecaj na izbor budućih podmorskih kabela razine napona 110 kV i više.

4. ZAKLJUČAK

Izbor 110 kV kabela »otočne veze« s obzirom na opseg i cijenu čitavog projekta osjetljiv je i zahtjevan posao, koji osim tehničkih svakako mora imati na umu i o gospodarske aspekte. Rezultat tih okolnosti su odabrani podmorski kabeli s izolacijom od umreženog polietilena (XLPE), prvi u našem podmorju.

Budući da ta vrsta kabela ne zahtijeva nikakav nadzor ni održavanje (osim eventualnog nadzora antikorozivne zaštite), jedina opasnost za pouzdanost pogona prijeti od eventualnih kvarova ili mehaničkih oštećenja konstrukcije kabela.

Kako su ova četiri podmorska kabela postavljena u različitim okolnim uvjetima (duljine, dubine mora, izloženost mogućim oštećenjima od koća, sidara itd.), iskustvo će pokazati je li izbor nove tehnologije

LITERATURA

- [1] Tehnička dokumentacija isporučitelja kabela
- [2] Studija »Značenje grane Karlobag ... Novalja za »Otočku petlju« Melina ... Nin« instituta za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, listopad 1993.

SELECTION OF SUBMARINE AND MAINLAND POWER CABLES OF THE 110 kV ISLAND CONNECTION

The 110 kV island connection which connects the 110 kV transmission network, in the north and in the middle of the Adriatic Sea of the Republic of Croatia, includes in its first phase, in addition to other electrical power facilities, the laying of 110 kV power cables:

- Submarine cable Island of Rab (Cove of Vašibaka) — Island of Pag (Cape Deda)
- Submarine cable Island of Pag (Selina) — Mainland (Kulina)
- Submarine cable Mainland (Cove of Koromačina) — Island of Pag (Cove of Toreta)
- Underground cable Bili Brig — Zadar Center — Zadar 1.

The total length of the submarine routes is about 20,1 km, and the underground route is about 4,7 km. The paper describes the designs of the cables offered by recognized European manufacturers, and detail cable characteristics of the supplier selected.

Results of the routine and special tests performed in the manufacturers works are also given.

DIE AUSWAHL DER, FÜR DIE »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG« BESTIMMTEN, 110 kV STROMVERSORUNGSKABEL FÜR UNTERSEE- UND ERD-VERLEGUNG

Die »Über-Inseln-Verbindung« welche die 110 kV Übertragungsnetze des nördlichen und des mittleren Teiles des kroatischen Adriagebietes verknüpft, umfasst in der ersten Ausbaustufe, neben anderer Stromversorgungsobjekte auch die verlegten 110 kV Stromversorgungskabel:

- Unterseekabel Insel Rab (Bucht Vašibaka) — Insel Pag (Kap Deda)
- Unterseekabel Insel Pag (Küstengebiet Selina) — Binnenland (Kap Kulina)
- Unterseekabel Binnenland (Bucht Koromačina) — Insel Pag (Bucht Toretta)
- Erdverlegter Kabel Siedlung Bili Brig — Zadar Mitte — Zadar 1.

Die Gesamtlänge der Unterseetrassen beträgt annähernd 20,1 km; der erdverlegte Teil ist 4,7 km lang. Angeführt im Artikel sind der Aufbau seitens angesehener europäischer Erzeuger angebotener Kabel, sowie ausführlich die Kennzahlen und sonstigen Eigenschaften der Kabel auserlesener Bewerber.

Ebenfalls sind die Ergebnisse der Stück- und Typ- Prüfungen im Werk des Erzeugers dargestellt.

Naslov pisaca:

Mr. Ivo Tomasović, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore,
41000 Zagreb,
Avenija grada Vukovara 37,
Hrvatska
Bruno Šaina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos,
Prp Elektroprijenos Opatija,
51410 Opatija, Hrvatska
Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split,
58000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 1994-11-08.



PODMORSKI OPTIČKI KABEL ZA OTOČNU VEZU

Ivan Perak, Zagreb — Antun Bobanović, Zagreb

UDK 654.91:621.315.8
PREGLEDNI ČLANAK

Iznosi se problematika konstrukcije i osiguranja kvalitete pri proizvodnji lakoga podmorskoga optičkog kabela QERE-R4.2 tvornica ABB Norsk-Kabel primijenjenog za otočnu vezu.

Ključne riječi: laki podmorski optički kabel, proizvodnja, konstrukcija.

1. UVOD

Izgradnjom otočne dalekovodne 110 kV veze, osim energetskog povezivanja i telekomunikacijski će se povezati južna Hrvatska sa sjevernom Hrvatskom. Telekomunikacijsko povezivanje u većem dijelu ostvarit će se optičkim vodičima ugrađenim u zaštitno uže dalekovoda. Pošto je otočna veza na određenim dijelovima riješena energetskim podmorskim 110 kV kabelima, bilo je nužno predvidjeti na tim dionicama i podmorski optički kabel. Predviđene su tri podmorske dionice:

1. Podmorska dionica između otoka Raba i Paga u dužini 11,5 km, gdje se optički kabel polaže na dubinu 110 m između dvije žile 110 kV energetskog kabela koje se na ovoj dionici polažu na razmaku 150 m.
2. Podmorska dionica između otoka Paga i kopna prema TS 110 kV Nin, gdje se optički kabel polaže u dužini 2,5 km na dubinu od 17 m između dvije žile 110 kV energetskog kabela koje se polažu na razmaku 25 m.
3. Podmorska dionica između otoka Paga i kopna prema TS Karlobag, gdje se optički kabel polaže u dužini 2,5 km na dubini 70 m između dvije žile energetskog kabela koje se polažu na razmaku 100 m.

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

U sklopu izgradnje otočne veze nabavljen je podmorski optički kabel tvrtke ABB Norsk kabel tipa QERE-R4.2.

2. TEHNIČKI PROBLEMI KONSTRUKCIJE OPTIČKIH PODMORSKIH KABELA

Primjena optičkih vodiča u podmorskim kabelima, osim očitih prednosti pri rješavanju telekomunika-

cijskih zadaća, pred konstruktore, projektante i eksploataciju postavlja niz problema na rješavanju i osiguranju kvalitete kako optičkih vodiča, tako i podmorskih kabela u realnim uvjetima eksploatacije. Ispod mora, na većim i manjim dubinama, gdje se polažu podmorski kabeli, može biti raznih, pa i ekstremnih fizičkih i kemijskih utjecaja na podmorske kabele, kao i na same optičke vodiče.

Fizičke utjecaje na podmorske kabele možemo podijeliti na mehaničke, temperaturne i električke utjecaje, a kemijski se utjecaji svode na djelovanje korozije, prodor vode odnosno vlage u kabel i, posebno, difuziju vodikovih molekula u kabel odnosno generiranje vodikovih molekula u samome kabelu.

2.1. Mehanička naprezanja

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

2.2. Temperaturni utjecaji

Osim za vrijeme skladištenja i transporta, na podmorski kabel neće djelovati posebno izraženi temperaturni utjecaj, no kabeli se ispituju u temperaturnoj domeni od -30 do $+60^{\circ}\text{C}$.

2.3. Električki utjecaji

Pod električkim utjecajima moguće je zamisliti djelovanje potencijalnih lijevakaa zbog udara groma ili djelovanje struja kratkog (zemnog) spoja pri paralelnom vođenju podmorskih optičkih kabela s podmorskim energetskim kabelima.

2.4. Kemijski utjecaji

Kemijski utjecaji imaju najveće značenje za životni vijek podmorskih optičkih kabela. Poznato je da prodorom vode odnosno OH-skupina u staklo njegova fizička čvrstoća bitno slabi i staklo je podložno lomljenju. Osim toga, prodorom vode u staklo bitno se povećava disperzija u staklenom vlaknu te time i gušćenje staklenog vlakna u odnosu na vodenje svijetlosti, što na kraju može dovesti do njegove neupotrebljivosti za zadanu funkciju.

Može se reći da je glavni zadatak pri konstrukciji podvodnih kabela s optičkim vodičima djelotvorno šticeenje od prodora vode odnosno molekula vodika do optičkih vodiča, gdje je, posebno na većim dubinama, zbog hidrostatskog tlaka povećana difuzija vode i molekularnog vodika kroz slojeve raznih vrsta plastičnih materijala. Osim direktnog prodora vode u kabel, pri konstrukciji podmorskog kabela uzimaju se u obzir i drugi izvori vodika i OH-skupina.

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

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

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

Jedan od novijih načina za zaštitu od prodora vodika do optičkih vodiča što ga je primijenila norveška tvornica »ABB Norsk kabel«, jest primjena želatinoznog punila koje upija difundirane molekule vodika, kemijski ih vežući na sebe. No, apsorbirajuće želatinozno punilo ima ograničenu moć vezanja vodikovih molekula. Stoga se pri takvim konstrukcijama posvećuje posebna pozornost izvorima vodikovih molekula kako bi se emisija vodika što više smanjila. Pri tome je osnovno provesti djelotvornu zaštitu od korozije armirajućeg sloja sastavljenog od galvaniziranih čeličnih žica kao glavnog izvora vodikovih molekula unutar kabela.

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

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

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

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

Početna korozija nastupa bez obzira na to je li kabel bio položen u more ili ne. Generacija vodika prestane nakon što se pri proizvodnji unesena vlaga razložila i pritisak vodika unutar kabela dostigne svoju konačnu i maksimalnu vrijednost.

Mjerenjem je ustanovljeno da su uskladišteni kabeli na temperaturi 15 °C u roku tri mjeseca dostigli ovu točku saturacije, da se nakon toga pritisak vodika u kabelu smanjivao i da je vodik izlazio iz kabela, što je rezultiralo polaganim smanjenjem gušenja na 1240 nm. Testovi umjetnog starenja ubrzavaju oba procesa. Pri nižim temperaturama ovi procesi se usporavaju, pa tako ispod mora na temperaturama 4–5 °C treba očekivati završetak ovih procesa za 3–24 mjeseca, što ovisi o tipu kabela.

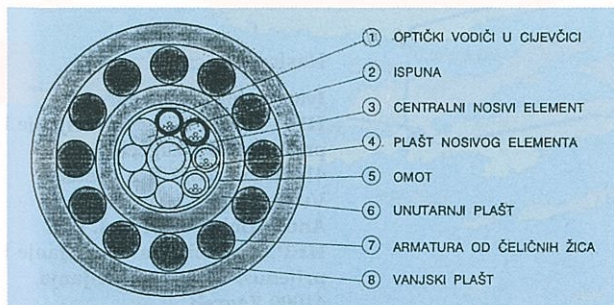
Budući da je u opisanom procesu dokazano da je količina vodika dobivena početnom korozijom limitirana, moguće je primjenom želatinoznog punila za apsorbiranje molekula vodika u potpunosti izbjeći početnu saturaciju kabela vodikom. Za opisane kabele procijenjeno je da se po metru dužnom generira pet kubičnih centimetara vodika ($5 \text{ cm}^3/\text{m}$) pri procesu početne korozije. Jedan gram želatine u mogućnosti je apsorbirati $> 1,5 \text{ cm}^3$ vodika. Budući da se u jedan dužni metar ugrađuje približno 10 grama želatine to je mogućnost apsorpcije vodika po metru dužnom $15 \text{ cm}^3/\text{m}$, a što je tri puta više od procijenjene potrebne vrijednosti. Mjerenje na gotovim kabelima pokazala su efikasnost ove metode. No najveći dobitak i pored relativno skupe želatine jest u tome da nije potrebno ništa mijenjati u samom procesu izrade kabela.

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

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

U Norveškoj su podmorski optički kabeli u širokoj upotrebi uzduž cijele obale gdje su dio magistralnih, regionalnih i lokalnih telekomunikacijskih mreža. Kabeli su položeni uzduž i poprijeko fjordova, od kopna prema otocima kao i između otoka uz upotrebu visoko precizne tehnike polaganja. Vrlo često se podmorski kabeli koriste za polaganje na jezerima i uzduž rijeka. U posljednjih deset godina u Norveškoj je položeno više od 2 500 km podmorskih optičkih kabela, i to na dubinama od 20 do 1 000 metara. Svi položeni podmorski optički kabeli otvorenih su konstrukcija bez difuzijske barijere u obliku metalne tube.

Za podmorske dijelove otočne veze primijenjen je optički podmorski kabel tipa QERE-R4.2. (sl. 1). Vanjski plašt kabela izrađen je od polietilena visoke gustoće. Armatura je izrađena kao što je već rečeno od galvaniziranih čeličnih žica kompaudiranih u bitumenu. Armatura je vrlo jaka i štiti kabel od nateznih sila pri polaganju i do dubine od 1 000 metara, te sprečava uzlanje i stvaranje petlji na kabelu.



Slika 1. Konstrukcija podmorskog optičkog kabela QERE — R4.2

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

3.1. Osnovni podaci za kabel su:

Maksimalna natezna sila za vrijeme polaganja	— 63 000 N
Maksimalna natezna sila u pogonu	— 27 000 N
pritisak	— 20 000 N/10 cm
udarac	— 200 J
sukanje	— 1 okret/50 m
promjer savijanja	— 1 500 mm
vodonepropusnost	< 3 m/24 sata
Temperaturni raspon u pogonu	— -40°C do +60°C
pri polaganju	— -10°C do +60°C
skladištenje	— -40°C do +70°C
broj optičkih vodiča	— 12
tip	— monomodni
gušenje 1 300 nm	— < 0.4 dB/km
1 550 nm	< 0.3 dB/km
dispersija 1 285 — 1 300 nm	— < 3.5 ps/nm.km
1 550 nm	— < 20 ps/nm.km

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

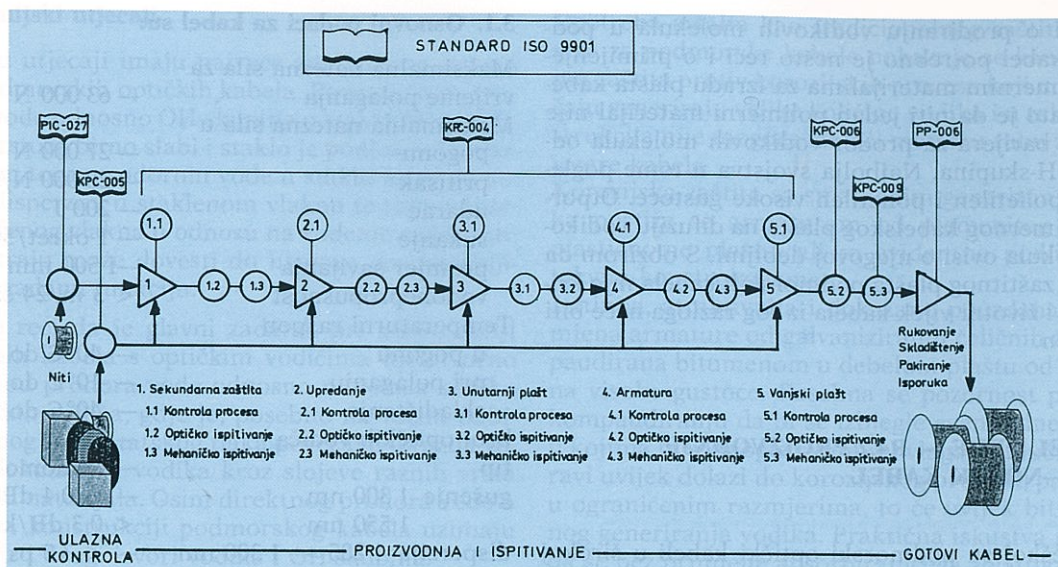
Podobnost proizvođača za postizanje zahtjevnosti kvalitete općenito se ocjenjuje na osnovi njegova programa za osiguranje kvalitete i neposrednog provjeravanja provođenja odluka u svim fazama izvođenja takvog programa. Reference za implementiranje programa osiguranja kvalitete su standardi serije ISO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

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

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

5. ISPITIVANJA PRI PREUZIMANJU U TVORNICI ISPORUČITELJA

Pri preuzimanju opreme u tvornici isporučitelja bitan su element standardi u odnosu prema kojima će se izvršiti ispitivanja. Kada ne postoje nacionalni standardi, a područje još nije u potpunosti pokriveno IEC standardima, vrijedi pravilo da se za osiguranje kvalitete primijene standardi zemlje iz koje dola-



Slika 2. Blok-shema osiguranja kvalitete kod proizvodnje optičkih kabela

zi tehnologija izrade konkretnog proizvoda. U našem slučaju to je Norveška.

Na pripremljenoj količini optičkog kabela za isporuku potrebno je provjeriti:

1. osnovne fizičke karakteristike na početku i kraju kabela (dimenzije, težina i sl.),
2. svjetlovodne karakteristike vlakana
 - svjetlosno slabljenje (za svako vlakno)
 - jednakomjernost povratnog rasipanja
 - disperziju
 - određivanje granične valne dužine (po izboru),
3. po izboru i dogovoru s isporučiteljem moguće je upriličiti i ponavljanje ponekoga tipskog ispitivanja.

6. ZAKLJUČAK — ŽIVOTNI VIJEK OPTIČKOG PODMORSKOG KABELA QERE — R4.2

Za kakvoću odnosno životni vijek podmorskog kabela važan je izbor kvalitetnog materijala za njegovu izradbu, kao i odgovarajuća konstrukcija.

Više od 30 godina iskustva s telefonskim podmorskim kabelima, izoliranim plastikom gdje su osnovne značajke materijala ostale nepromijenjene i duže od 25 godina eksploatacije, daje konstruktorima mogućnost za dizajniranje takvog kabela.

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

LITERATURA

Tvornički članci.

SUBMARINE OPTICAL CABLE FOR THE ISLAND CONNECTION

The problems of construction and quality assurance in the production of the light submarine optical cable QERE-R4.2 of the ABB Norsk-Kabel factory, used for the island connection, are described.

OPTISCHER UNTERSEEKABEL FÜR DIE »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Dargelegt wird die Problematik des Aufbaues und der Qualitätssicherung des leichten optischen Unterseekabels QERE-R4.2 der Fabrik »ABB Norsk — Kabel« anlässlich seiner Herstellung für die »Über-Inseln-Verbindung«.

Naslov pisaca:

Ivan Perak, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Prp Zagreb,
41000 Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska
Antun Bobanović, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Sektor upravljanja,
41000 Zagreb,
Ulica grada Vukovara 37, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994.11.08.

PODMORSKI I PODZEMNI ENERGETSKI KABELI 110 kV U PROJEKTU »OTOČNA VEZA«

Mr. Josip Savićević, Split

UDK 621.315.21
PREGLEDNI ČLANAK

Projekt povezivanja sjevernodalmatinskih otoka u EES-Hrvatske na razini 110 kV složen je projektantski pothvat. U razdoblju od nepune godine dana projektirano je, izgrađeno i stavljeno u funkciju gotovo 100 km nadzemnih vodova, oko 25 km trofaznih podmorskih i podzemnih kabelskih vodova te nekoliko postrojenja. Ovaj pothvat odvijao se pod radnim nazivom »Otočna veza«.

U članku je dan kratki pregled najbitnijih aktivnosti tijekom izradbe projektne dokumentacije kabelskih veza. Dani su neki osnovni podaci o podmorskim trasama i prikazan je dio najinteresantnijih tehničkih rješenja.

Glavne riječi: »otočna veza«, podmorski kabel, energetski kabel 110 kV.

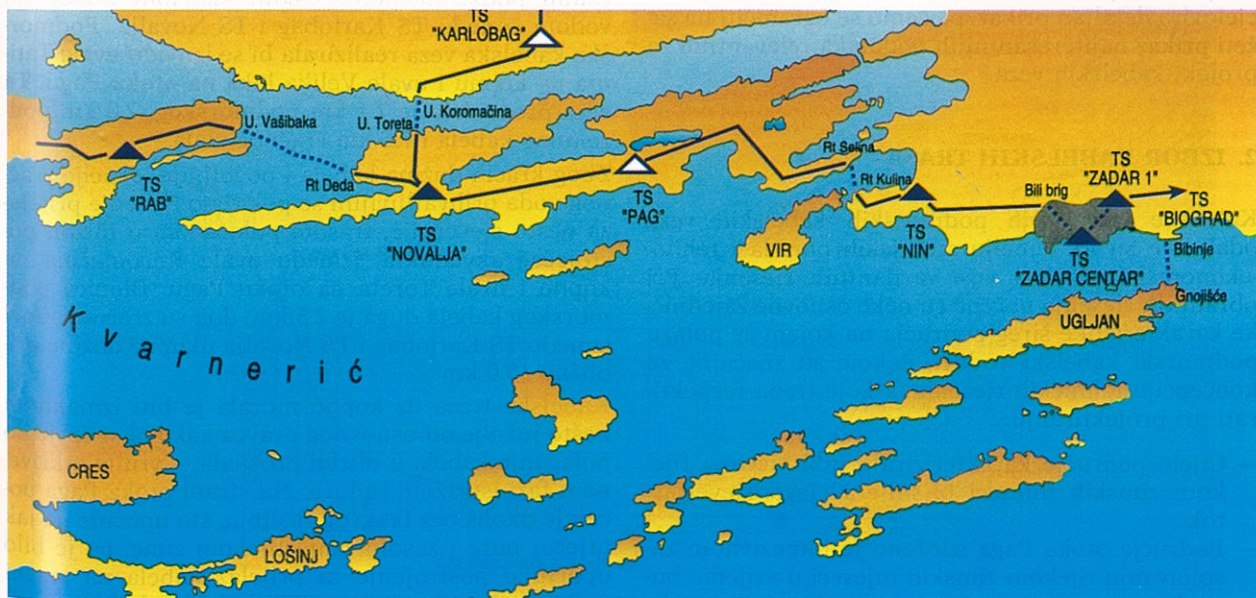
UVOD

Izgradnjom nadzemnih elektroenergetskih vodova visokog napona duž sjevernodalmatinskih otoka i njihovim međusobnim povezivanjem podmorskim energetskim kabelima omogućena je veza konzuma sjevernodalmatinskih otoka na dvije čvrste točke energetskog sustava poduprte mrežom 400 kV: TS Meline i RHE Obrovac.

U vrijeme privremenog pogona elektroenergetskog sustava Dalmacije bez mreže 400 kV, ovom vezom osigurana je cjelovitost EES Hrvatske na naponskoj razini 110 kV, i dvostrana opskba grada Zadra. Kako bi ova veza s obzirom na nižu naponsku razinu ener-

getski stabilno funkcionirala i u kritičnim periodima omogućila prijenos dovoljnih količina energije u južna područja, u drugoj je fazi realizacije, samo neznatno vremenski pomaknuta u odnosu na magistralnu vezu Meline-Zadar. Predviđa se povezivanje izvora na području Like i sjeverne Dalmacije na magistralni vod u točki TS Novalja.

Radni naziv cjelovitog projekta izgradnje energetskih i telekomunikacijskih vodova preko sjevernodalmatinskih otoka do Zadra jest **otočna veza**. Geografski položaj objekata koji se realiziraju ovim projektom i način njihova uklapanja u EES Hrvatske prikazan je na sl. 1.



Slika 1. »Otočna veza« 110 kV

1. OPSEG PROJEKTNIH RADOVA

Sjeverni dio »otočne veze« izgrađen je u prvoj fazi, i to na sjeveru do TS Rab, i na južnom dijelu od TS Nin do TS (35/10 kV) Novalja s izuzetkom kablenskog prijelaza 110 kV s kopna na otok Pag kod otoka Vira i kablensko-zračnog voda od TS Novalja do TS Karlobag. U drugoj fazi, koja je planirana tijekom 1993/94. godine, izgrađen je preostali dio zračnih i kablenskih vodova 110 kV te dio pripadnih rasklopnih postrojenja.

Projektnu dokumentaciju svih podmorskih i podzemnih kablenskih veza 110 kV i pripadnih rasklopnih postrojenja izradili su Projektni biro Hrvatske Elektroprivrede iz Splita.

U sklopu ovog pothvata projektirani su i izvedeni sljedeći objekti:

- Podmorska kablenska veza 110 kV o. Rab — o. Pag (u. Vašibaka 1 — rt Deda)
- Podmorska kablenska veza kopno — o. Pag (u. Koromačina — u. Toreta)
- Podmorska kablenska veza kopno — o. Pag (rt Kulina — rt Selina)
- Podmorska kablenska veza kopno — o. Ugljan (Bibinje — Kukljica)
- Podzemna kablenska veza Bili Brig — TS Zadar Centar — TS Zadar 1
- TS 110/35 — 35/10(20) kV Novalja
- TS 110/10(20) kV Pag
- TS 110/35 — 110/10(20) kV Nin — polje 110 kV Novalja
- TS 110/10(20) kV Zadar Centar
- TS 110/35 kV Zadar 1 — polje 110 kV Zadar Centar.

U sklopu opsežnih projektantskih poslova koji su obavljani dan je niz suvremenih rješenja, što je pridonijelo efikasnoj, brzom i nadasve racionalnoj gradnji objekata.

Raspoloživi prostor nam na ovom mjestu ne dopušta cjelovit i detaljan prikaz, pa ćemo se ograničiti na sažeti prikaz najinteresantnijih podataka relevantnih za projekt kablenskih veza.

2. IZBOR KABELSKIH TRASA

Kablenske trase svih podmorskih kablenskih veza odabrane su na temelju studijskih obrada i tehnno-ekonomskih analiza više varijantnih rješenja. Pri obradi tih rješenja uočene su neke osnovne zajedničke karakteristike šireg područja na kojem se polažu podmorski kablenski vodovi, a koje su značajne za koncepciju tehničkih rješenja, a koje treba respektirati pri projektiranju:

- Cijelo područje karakteriziraju jaki vjetrovi tijekom zimskih mjeseci iz smjera sjever-sjeveroistok.
- Područje otoka Paga izloženo je intenzivnom zasoljavanju tijekom zimskih mjeseci u vrijeme bure, koja noseći sitne čestice morske vode u vidu prašine stvara fenomen »posolice« — taloženja

vodljivog sloja na dijelovima elektroenergetskih postrojenja.

- Priobalje na sjevernom Jadranu je kamenito, s mjestimičnim grebenima i rasjedima, s intenzivnim abrazijskim djelovanjem mora u vrijeme bure, dok je obala na srednjem Jadranu položenija i dubine u priobalju su manje, pa je i intenzitet djelovanja mora blaži.

Kablenska veza 110 kV o. Rab — o. Pag analizirana je kroz tri varijante u [2]. Razmatrana su rješenja različitih odnosa dužina podmorskih i zračnih dionica između točaka TS Rab i TS Novalja. Tako npr. najkraća promatrana kablenska trasa između o. Raba i o. Paga iznosi 5.9 km, a najduža 19.4 km. Optimiziranjem hidrografskih, meteoroloških, ekoloških i oceanografskih uvjeta trasa te tehnno-ekonomskih parametara izgradnje i eksploatacije vodova odabrana trasa položena je između uvale Vašibaka na otoku Rabu i rta Deda na otoku Pagu.

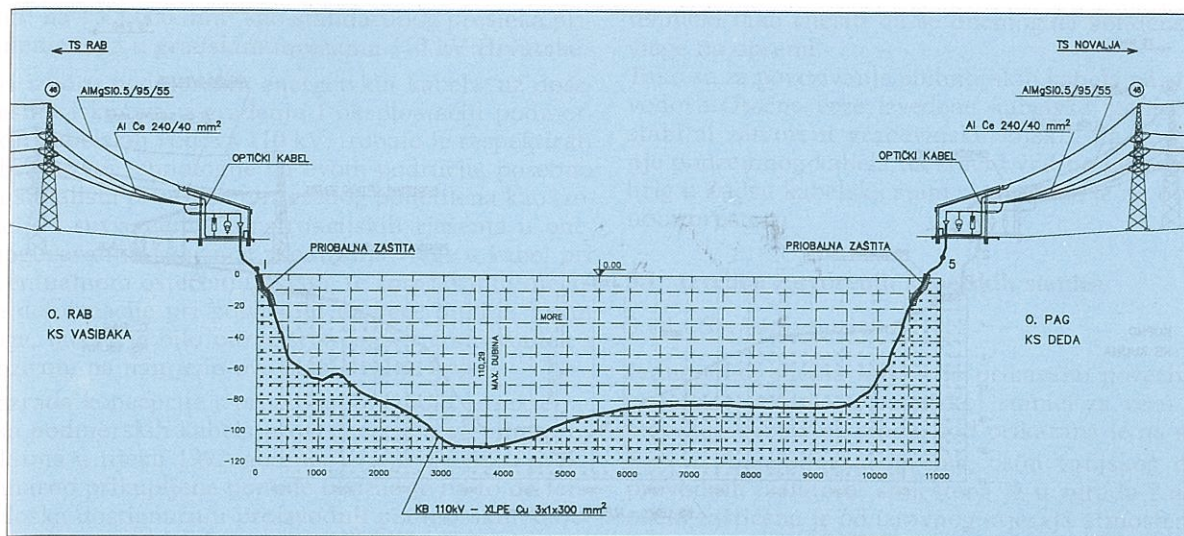
Podmorskim istražnim radovima otkriveno je u priobalju, s obje strane, više većih podvodnih grebena, tako da je trasa morala biti korigirana u pet lomnih točaka uz obalu o. Raba i dvije lomne točke uz obalu o. Paga. Tri jednožilna energetska kabela položena su na međusobnoj udaljenosti od približno 150 m, a optički kabel položen je između faze »0« i »4«. Na slici 2. shematski je prikazan uzdužni profil ove trase.

Kablenska veza 110 kV kopno — o. Pag planirana je na sjevernom i južnom dijelu otoka. Na sjevernom dijelu otoka Paga ta veza predstavlja podmorsku dionicu dalekovoda TS Karlobag — TS Novalja, dok na južnom dijelu otoka predstavlja podmorski dio voda od TS Nin do TS Novalja.

Trasa podmorskog kabela na sjevernom dijelu otoka odabrana je nakon provedenih tehnno-ekonomskih analiza nekoliko varijanti, od kojih su dvije najzanimljivije i podrobnije obrađene. Prema prvoj varijanti [3], veza kopno — o. Pag ostvaruje se kombiniranim podzemno-podmorskim kabelom i zračnim vodom između TS Karlobag i TS Novalja. Podmorska kablenska veza realizirala bi se između uvale Tatinja na kopnu i uvale Velika luka na otoku Pagu. Ta veza predviđala je 7.1 km podmorskog, 2.0 km podzemnog kabela i 7.5 km zračnog voda.

Zbog kraćih dužina kabela i povoljnije lokacije zračnog voda prihvatljivijim se pokazalo rješenje prijelaza nešto sjevernije, trasom položenom u blizini postojećeg akvadukta, između uvale Koromačina na kopnu i uvale Toreta na otoku Pagu. Dionica podmorskog kabela duga je 2.5 km, dok su zračni vodovi između TS Karlobag i TS Novalja ukupne dužine približno 15.0 km.

Kablenska trasa uz kopno morala je biti izmaknuta nešto južnije od osnovnog pravca kako bi se izbjeglo polaganje kabela u blizini prosjeda — vrulje otkriveno u fazi istražnih radova. Na strani otoka Paga uočen je okoliš bez ikakvog raslinja, što upućuje na jak utjecaj bure i zasoljavanje tijekom zime, pa je bilo oportuno postrojenje za prijelaz kabela na zračni vod premjestiti približno 150 m dalje od obale u prirodni zaklon iza manje uzvisine. Tri jednožilna ener-



Slika 2. 110 kV podmorska veza o. Rab — o. Pag, uzdužni profil trase

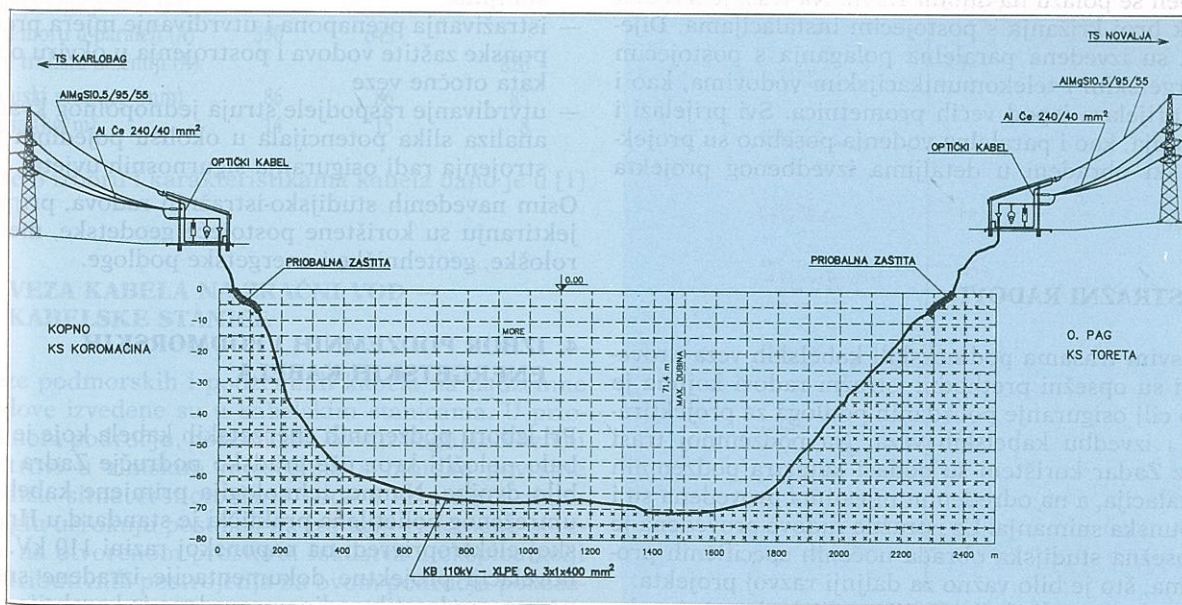
getska kabela položena su na međusobnoj udaljenosti 100 m, a između faza »0« i »4« položen je optički kabel. Uzdužni profil ove trase prikazan je shematski na sl. 3.

Trasom podmorskog kabela na južnom dijelu otoka premošten je Ninski zaljev na području Kupare sjeverozapadno od mjesta Privlaka. Ovaj kabelski prijelaz prirodno se uklapa u trasu zračnog voda i planiran je na mjestu najmanje udaljenosti dviju obala, gdje su već prije položena dva podmorska 35 kV distributivna kabela. U fazi optimiranja rješenja ovog prijelaza, uz kabelsko rješenje razmatrano je i rješenje zračnog premoštenja Ninskog zaljeva korištenjem dvaju postojećih grebena u plitkom moru zaljeva koji bi poslužili kao mjesto temeljenja stupova nadzemnog voda. Kriteriji pouzdanosti pogona i ekonomski pokazatelji pokazali su da je podmorska vari-

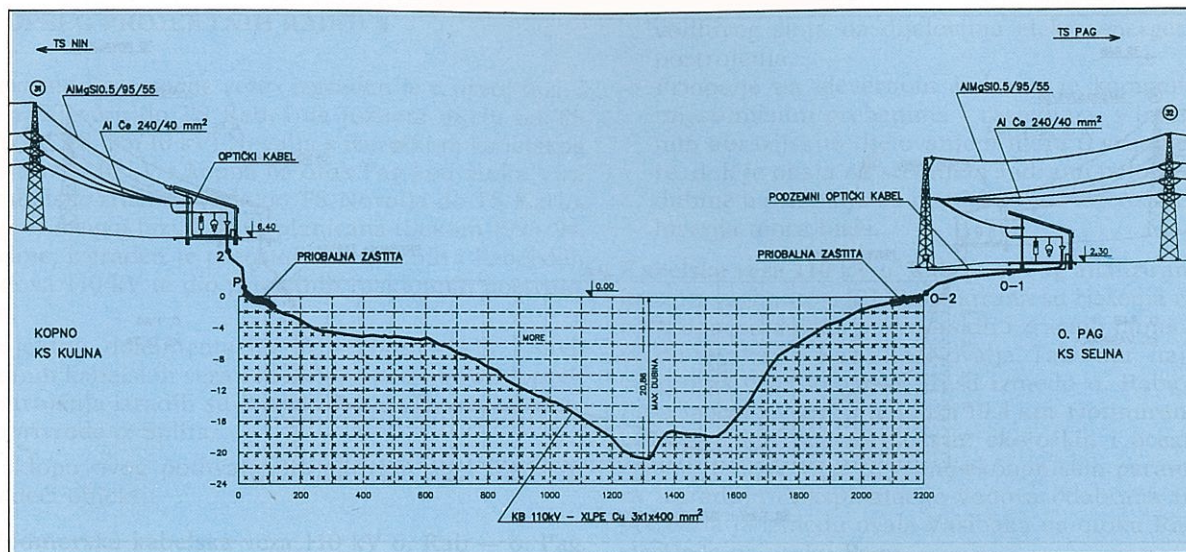
janta u klimatskim uvjetima na ovoj lokaciji znatno povoljnija.

Karakteristika priobalja ove trase vrlo je spor porast dubine mora uz obalu, posebno na strani Paga. Najveća dubina na trasi ne prelazi 18 m. Na ovom području zabilježeno je intenzivno zasoljavanje i posolice koja na vodovima u vrijeme pojave južnog vjetrova znatno snižava njihove izolacijske sposobnosti. Navedene značajke respektirane su pri projektiranju kabelske veze na ovoj trasi. Tri jednožilna energetska kabela položena su na međusobnoj udaljenosti od približno 25 m, a optički kabel položen je između faze »0« i »4«. Uzdužni profil ove trase prikazan je shematski na sl. 4.

Podzemna kabelska veza 110 kV Bili Brig — TS Zadar 1 projektirana je i izvedena kao jedino tehnički i ekonomski opravdano rješenje energetskog povezi-



Slika 3. 110 kV podmorska veza kopno (u. Koromačina — o. Pag (u. Toreta) — uzdužni profil trase



Slika 4. 110 kV podmorska veza kopno (rt Kulina) — o. Pag (rt Selina) — uzdužni profil trase

vanja zračnog voda 110 kV iz smjera Nin na postojeći objekt TS Zadar 1 koji je smješten u sada već potpuno urbaniziranom dijelu grada bez pristupnih koridora za zračne vodove u smjeru sjevera. Trasa je od TS Zadar 1 položena u postojeće gradske prometnice (Jadranska cesta, Novakova, A. Starčevića) do gradskog stadiona, gdje je u izgradnji nova TS 110/20 kV Zadar Centar s postrojenjem 110 kV u SF₆ izvedbi. Dužina te kableske dionice iznosi približno 2.5 km. Trasa kabela je dalje usmjerena prema sjeverozapadu (Put stanova, M. Oreškovića, Splitska, Hrvatskog sabora) do kableske stanice Bili brig u kojoj je izveden prijelaz na zračni vod. Ovaj dio kableske trase projektiran je na način da je u perspektivi na dionici TS Zadar Centar — Bili brig moguće položiti još jedan kableski vod 110 kV.

Kabele se polažu na dubini 1.2 m. Na trasi je izveden velik broj križanja s postojećim instalacijama. Dijelom su izvedena paralelna polaganja s postojećim energetskim i telekomunikacijskim vodovima, kao i niz prijelaza ispod većih prometnica. Svi prijelazi i križanja, kao i paralelna vođenja posebno su projektantski obrađeni u detaljima izvedbenog projekta [4].

3. ISTRAŽNI RADOVI

Na svim trasama podmorskih kableskih veza provedeni su opsežni prethodni istražni radovi kojima je bilo cilj osiguranje pouzdanih podloga za projektiranje i izvedbu kableskih veza. Na podzemnoj trasi kroz Zadar korišteni su podaci katastra podzemnih instalacija, a na određenim mjestima provedena su i dopunska snimanja. Uz istražne radove provedena je i opsežna studijska obrada uočenih specifičnih problema, što je bilo važno za daljnji razvoj projekta. Provedeni su sljedeći važniji studijsko-istražni radovi:

- geodetske, hidrografske, geomorfološke, geološke i oceanografske obrade podmorskih kableskih trasa
- geotermička istraživanja radi utvrđivanja specifične toplinske vodljivosti tla duž podzemnih kableskih trasa
- geoelektrična ispitivanja specifičnog otpora tla na lokacijama kableskih stanica i postrojenja
- analize raspodjele struja u pasivnim dijelovima podmorskih energetskih kabela u uvjetima stacionarnog stanja i u slučaju kvara, te provjera dopuštenih trajnih opterećenja kabela
- analiza utjecaja elektrokorozije na vanjski oplet kabela
- analiza utjecaja energetskih kabela na telekomunikacijske vodove u stacionarnim i prijelaznim stanjima
- istraživanja prenapona i utvrđivanje mjera prenaponske zaštite vodova i postrojenja u okviru objekata otočne veze
- utvrđivanje raspodjele struja jednog polnog kvara i analiza slika potencijala u okolišu pojedinih postrojenja radi osiguranja sigurnosnih uvjeta.

Osim navedenih studijsko-istražnih radova, pri projektiranju su korištene postojeće geodetske, meteorološke, geotehničke i energetske podloge.

4. IZBOR PODZEMNIH I PODMORSKIH ENERGETSKIH KABELA

Pri izboru podzemnih energetskih kabela koje je trebalo položiti kroz uže gradsko područje Zadra nije bilo dvojbe. Naime, tehnologija primjene kabela iz umreženog polietilena praktički je standard u Hrvatskoj elektroprivredi na naponskoj razini 110 kV. Pri novelaciji projektne dokumentacije izrađene sredinom osamdesetih godina provedena je korekcija presjeka aluminijskog kabela s prije predviđenog 1 x 800

mm² na 1 × 1 000 mm² kao standardnog presjeka primijenjenoga u gradskim mrežama 110 kV Hrvatske.

Pri izboru podmorskih energetske kabe, uz dosadašnja iskustva u građenju i eksploataciji podmorskih kablskih vodova 110 kV, trebalo je respektirati i brz razvoj tehnologije na ovom području, posebno sa stajališta primjene umreženog polietilena kao izolacije i suvremenih konstrukcijskih rješenja u onemogućavanju uzdužnog prodiranja vlage u kabel pri eventualnom oštećenju plašta, te sprečavanju njegove deformacije pri polaganju na veće dubine. Osim toga, nužno je bilo odrediti presjek i vrstu vodiča s obzirom na namjenu ove magistralne veze.

Razrada koncepcije s prijedlogom izbora karakteristika podmorskih kabela provedena je u idejnim projektima u tijeku 1992. godine. Već prvi uvid u preliminarno prikupljene ponude ukazao je na to da tehnološka dostignuća u proizvodnji podmorskih kabela za dužine i trase koje se pojavljuju u našem slučaju, kao ekonomično rješenje, predodređuju izbor jednožilnih – suhih kabela s izolacijom iz umreženog polietilena.

Metodom optimiranja investicijskih i godišnjih troškova eksploatacije predložena je izvedba vodiča od bakra jedinstvenog presjeka 1 × 400 mm² za sve podmorske dionice otočne kablске veze.

Nakon provedenih revizija investitora odabrani su kabeli proizvodnje tvrtke ABB sljedećih osnovnih karakteristika:

Karakteristike

	Podmorski kabeli		Podzemni kabeli
	Veza o. Rab-o. Pag	Ostale veze	B. Brig-Zadar 1
Tip kabela	FXBTV	FXBTV	AXLJ
Nazivni napon U ₀ /U (kV)	64/110	64/100	64/110
Presjek (mm ²)	1 × 300	1 × 400	1 × 1 000
Dopušteno strujno opterećenje prema IEC			
– u moru u paraleli (A)	590	645	
– u trolistu u zemlji (A)			820
Vanjski promjer (mm)	86	86	85
Masa (kg/m)	14	15	8

Više o izboru i karakteristikama kabela dano je u [1] i [4].

5. VEZA KABELA NA ZRAČNI VOD – KABELSKE STANICE

Veze podmorskih i podzemnih kabela na nadzemne vodove izvedene su u kablskim stanicama. U priobalnom području, posebno na otoku Pagu, intenzivni vjetrovi u zimskim mjesecima s morske površine podižu sitne čestice slane vode i stvarajući slanu maglu uzrokuju posolicu na izolaciji električne opreme na otvorenom prostoru. Iskustva u eksploataciji distributivnih postrojenja na ovom području pokazala su da je jedino ispravno rješenje ugradnja visokonaponske opreme u zatvorene objekte, koje treba

tehnički tako riješiti da se onemogući kondenzacija vlage na opremi.

Tako su za povezivanje podmorskih kabela na zračne vodove Otočne veze izvedene kablске stanice kao stabilni zatvoreni građevinski objekti. Za povezivanje podzemnog kabela na zračni vod na lokaciji Bili brig u Zadru kablска stanica izvedena je na otvorenom prostoru.

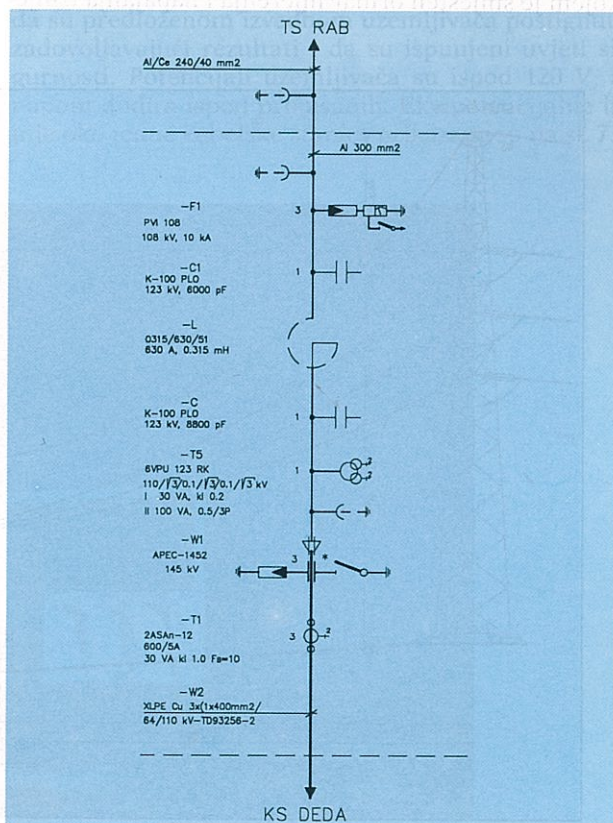
5.1. Izvedba zatvorenih kablskih stanica

5.1.1. Smještaj opreme

Jednopolna shema kojom je prikazano povezivanje primarne opreme u kablскоj stanici za vezu podmorskog kabela na zračni vod prikazana je na sl. 5. Sva visokonaponska oprema, osim vanjskog dijela provodnih izolatora, smještena je u zgradu i na taj način zaštićena je od izravnog utjecaja atmosferilija. Zatezni izolatorski lanci i provodni izolatori zaštićeni su s gornje strane nadstrešnicom, a sa strana bočnim zidovima. Takvo rješenje prvi put se primjenjuje u domaćoj praksi polaganja kabela visokog napona s obzirom na intenzivno onečišćenje izolacije.

Objekti kablskih stanica orijentirani su uvijek tako da su priključni izolatorski lanci i provodni izolatori zaštićeni od direktnih udara bure.

Priključak sa zračnog voda na zatezne lance i provodne izolatore na KS izveden je AlČe užetom presjeka 240/40 mm². Provod vodiča kroz zid izveden je provodnim izolatorima u silikonskoj izvedbi nazivne struje 800 A. Na provodne izolatore s unutrašnje



Slika 5. 110 kV kablска stanica — jednopolna shema

strane zgrade spojen je aluminijski vodič presjeka 300 mm² kojim su povezani i svi ostali aparati visokog napona. Na spojnim vodičima s vanjske i unutrašnje strane postavljene su stezaljke za priključak uzemljivačkih motki predviđenih za uzemljenje radnog mjesta.

Razmještaj opreme i priključak na zračni vod u KS prikazan je na sl. 6.

U objektu su smještene tri odvodnika prenapona u silikonskoj izvedbi, jedan malouljni naponski transformator i tri kabeleske završnice za suhi podmorski kabel. Aparati su postavljeni na niska čelična postolja i konstrukcije.

U zidu uz odvodnike prenapona postavljeni su brojači prorade s instrumentom za pokazivanje struje koja teče prema zemlji, a veličina struje ukazuje na stupanj zagađenja odvodnika. Nadzor odvodnika omogućen je kroz otvor na zidu s vratašcima.

Uz naponski transformator ostavljen je i rezervni slobodan prostor u kojem je predviđen smještaj VF prigušnice i kondenzatora za slučaj potrebe realizacije VF veze kao rezervne projektiranoj optičkoj vezi. Na svakoj fazi kabela ispod kabeleske završnice postavljen je strujni obuhvatni mjerni transformator za mjerenje struje u kabelu.

Zgrada je podijeljena na dva dijela zaštitnom mrežom. U dio gdje je smještena visokonaponska oprema ulaz nije moguć dok je objekt pod naponom. Naime, u ovaj prostor pristup je omogućen samo s vanjske strane kroz dvostruka ulazna vrata. U dijelu ispred kabeleskog kanala postavljena je zaštitna mreža. Između mreže i zida predviđen je hodnik za nadzor u kojem je smješten ormar mjerenja i napajanja izmje-

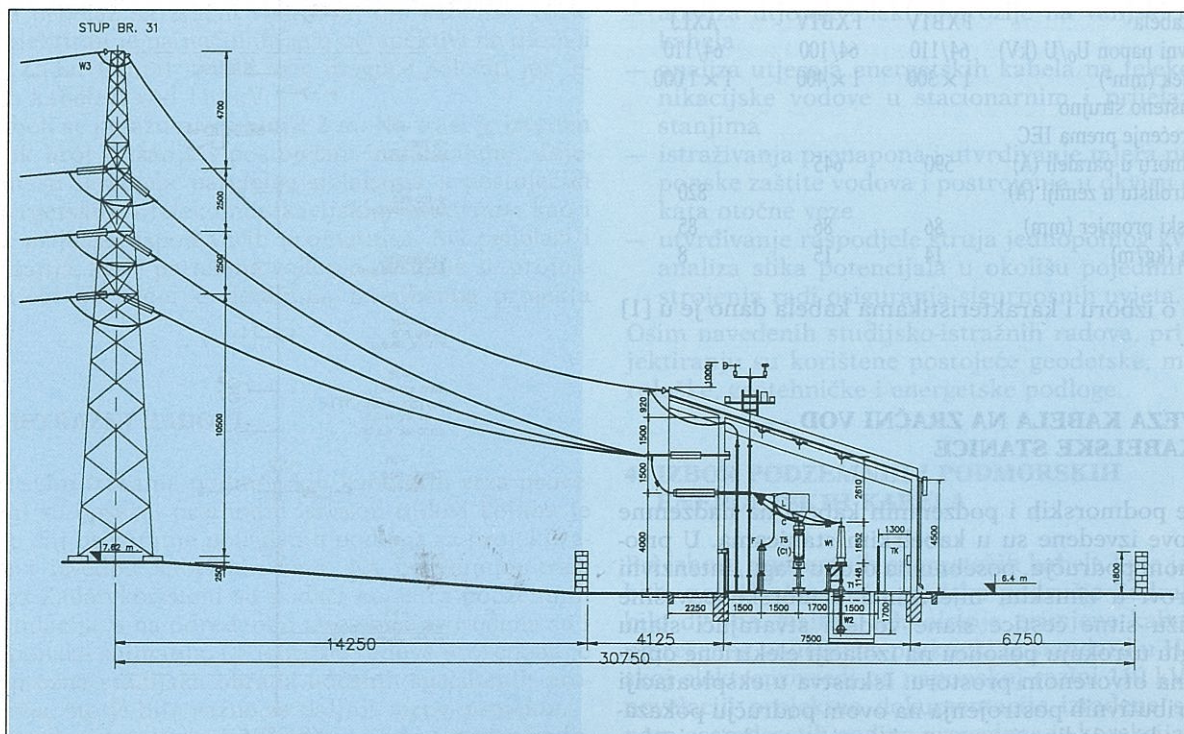
ničnim naponom. Osim toga ormara u prostoru hodnika postavljeni su i nadgradni ormari za povezivanje optičkih kabela, razdjelnik instalacije i mjesto za smještaj motki za uzemljenje s indikatorima napona.

5.1.2. Uzemljenje i zaštita od atmosferskih pražnjenja

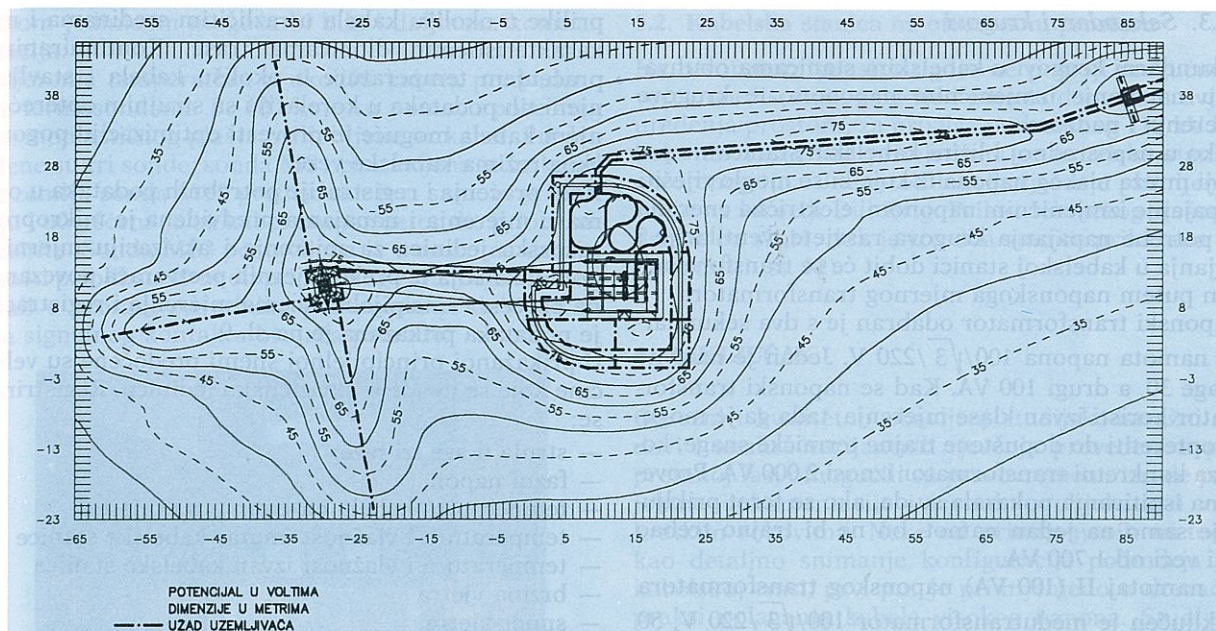
Iako postrojenja kabeleskih stanica nemaju aktivnih izvora ni uzemljenih zvjezdista te ne bi bitno trebala utjecati na raspodjelu nultih struja na vodu, pokazuje se ipak da o njihovu sustavu uzemljenja treba vrlo ozbiljno razmišljati i rješenja uskladiti sa svim uvjetima bezopasnosti.

U kabeleskoj stanici povezuje se zračni vod i kabel, dakle dva elementa mreže različitih karakterističnih impedancija. Bez obzira na to što kapacitet kabela povoljno utječe na refleksiju prenaponskog vala, tranzijentne pojave uvijek zahtijevaju oprez i jedino ispravno rješenje jest u pravilno dimenzioniranoj prenaponskoj zaštiti. Ona pak može pouzdano djelovati samo pri dovoljno niskim otporima rasprostranja uzemljivača.

S druge strane, kabeleska stanica postaje atraktivni objekt u trasi voda u odnosu na stup, izaziva interes i pažnju prolaznika, a kako su to objekti uglavnom na nenaselejenim prostorima, bez posade, moguća su češća približavanja neupućenih osoba. U blizini takvih objekata nije isključen ni pristup kupaca u ljetnim mjesecima. Zbog svih tih razloga oblikovanju potencijala oko objekta treba pridati punu pozornost.



Slika 6. 110 kV kabeleska stanica — priključak na zračni vod



Slika 7. Raspodjela potencijala u okoline kabeleske stanice

Na lokaciji svake stanice provedena su mjerenja specifičnog otpora tla, koja su detaljno obrađena u [5]. Pokazalo se da je uzemljenje zadnjih stupova dalekovođa riješeno samo potencijalnim prstenom, te su naponi dodira na samim stupovima nedopustivo visoki. Zbog toga se pristupilo rješenju prema kojem će se na platou kabeleske stanice postaviti mrežni uzemljivač koji će biti galvanski povezan s postojećim uzemljenjem zadnjih stupova.

Analiza takvog uzemljivača na digitalnom modelu pokazala je da još uvijek postoje neka mjesta nedopustivo visokih napona dodira, pa je zaključeno da se oko temelja priobalnog zida postavi pomoćni

uzemljivač na koji će se povezati dva paralelno postavljena trakasta uzemljivača dužine po 100 m položena u iskop kanala priobalne zaštite u moru. Tako izvedena uzemljenja međusobno će se povezivati dvama užetima položenima u kanal energetskih kabela na potezu između priobalnog zida i kabeleske stanice.

Provedeni proračuni na digitalnom modelu pokazuju da su predloženom izvedbom uzemljivača postignuti zadovoljavajući rezultati i da su ispunjeni uvjeti sigurnosti. Potencijali uzemljivača su ispod 120 V, a naponi dodira ispod propisanih. Ekvipotencijalne linije oko jedne kabeleske stanice prikazane su na sl. 7.



Slika 8. Kabeleska stanica za priključak podmorskog kabela 110 kV na zračni vod

5.1.3. Sekundarni krugovi

Sekundarni krugovi u kablskim stanicama obuhvaćaju napajanje izmjeničnim naponom, te krugove mjerenja i nadzora.

Kako u neposrednoj blizini kablskih stanica ne postoji mreža niskog napona iz koje bi se moglo riješiti napajanje izmjeničnim naponom, električna energija za potrebe napajanja krugova rasvjete, ventilacije i grijanja u kablskoj stanici dobit će se transformacijom putem naponskoga mjernog transformatora.

Naponski transformator odabran je s dva sekundarna namota napona $100/\sqrt{3}/220$ V. Jedan je nazivne snage 30, a drugi 100 VA. Kad se naponski transformator koristi izvan klase mjerenja, tada ga je moguće opteretiti do dopuštene trajne termičke snage, koja za konkretni transformator iznosi 2 000 VA. Provedena ispitivanja pokazala su da, ako se teret priključuje samo na jedan namot, on ne bi trajno trebao biti veći od 1 700 VA.

Na namotaj II (100 VA) naponskog transformatora priključen je međutransformator $100/\sqrt{3}/220$ V, 50 Hz, 2 500 VA, smješten u ormaru napajanja i mjerenja. S tog transformatora napajaju se potrošači električne instalacije priključeni na poseban razdjelnik.

S namotaja I naponskog transformatora napaja se još jedan poseban međutransformator prijenosnog omjera $100/\sqrt{3}$ V/220 V, 50 Hz, 200 VA na koji su priključeni uređaji mjerenja i nadzora mjernih veličina. Naime, projektirani energetski vod predstavlja dio otočne veze koja bi u određenim momentima mogla napajati i širi konzum Dalmacije, a to znači da bi energetski kabele morali biti opterećeni najvećom dopuštenom strujom. Kabele su položeni dijelom u zemlju, a dijelom u more. Temperature mora u ljetnim mjesecima u priobalju dosežu i 26°C . Radi korektnih tehničkih eksploatacija kabela nužno je, posebno u vrijeme vršnih opterećenja, pratiti toplinske

prilike u okolišu kabela u različitim sredinama i na karakterističnim dionicama trase. Kontinuiranim praćenjem temperature u okolišu kabela i stavljanjem tih podataka u korelaciju sa strujnim opterećenjem kabela moguće je provesti optimizaciju pogonskog režima kablanske veze.

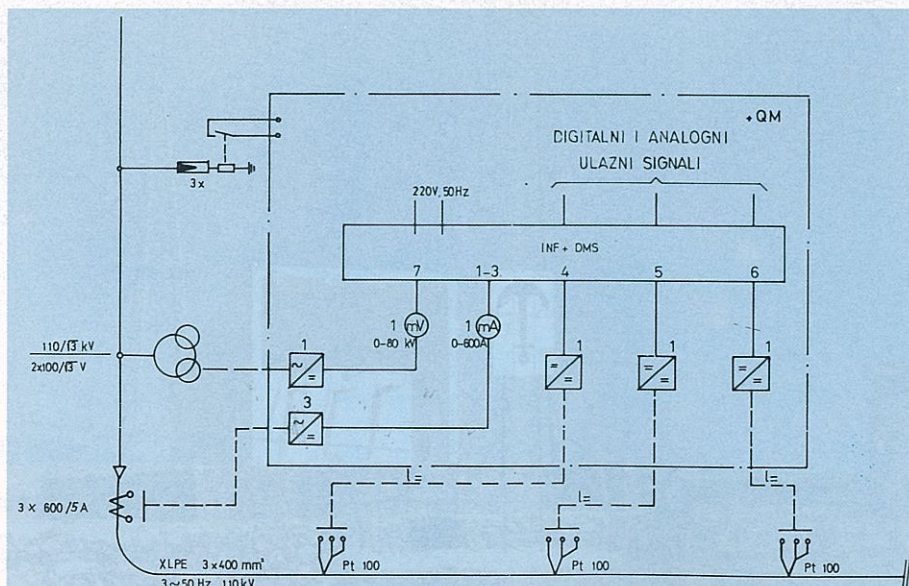
Radi praćenja i registracije potrebnih podataka u ormaru mjerenja i napajanja predviđena je mikroprocesorska jedinica za mjerenje i akviziciju mjernih podataka koja je preko mjernih pretvarača povezana na proces. Principijelna shema mjerenja i registracije podataka prikazana je na sl. 9.

U prikazanoj principijelnoj shemi predložene su veličine koje se uvode u akvizicijsku jedinicu. Registrira se:

- struja u sve tri faze
- fazni napon
- temperatura kabela na tri mjerna mjesta
- temperatura i vlažnost unutar kablanske stanice
- temperatura i vlažnost izvan kablanske stanice
- brzina vjetra
- smjer vjetra
- prorada odvodnika prenapona u sve tri faze.

Akvizicijska jedinica (data logger) je mikroprocesorski nadzirani uređaj sa 16 kanala. Jedinica posjeduje vlastitu memoriju kapaciteta 64 kByta i dodatnu memoriju u posebnom modulu kapaciteta 192 kByta. Predviđena memorija omogućuje praktički četvrtomjesečno prikupljanje podataka prema predviđenom programu bilježenja satnih srednjih i maksimalnih vrijednosti. Sama jedinica izvedena je za ugradnju u ploču. Na prednjoj strani nalaze se tipke za parametranje i digitalni numerički display na kojem je, između ostalog, na upit moguće pročitati i mjernu veličinu bilo kojeg od ulaznih kanala.

Akvizicijska jedinica omogućuje transfer svih prikupljenih podataka u osobno računalo, te njihovu grafičku i numeričku obradu uz pomoć posebno razvijene programske podrške. U slučaju potrebe s akvizicij-



Slika 9. Principijelna shema mjerenja i akvizicije podataka

skom jedinicom moguća bi bila i daljinska komunikacija.

Mjerenje temperatura u okolišu kabela predviđeno je termosondama Pt 100 koje su pomoću posebnog termoplastičnog plašta priljubljene uz kabel. Predviđene su tri sonde: sonda MS1 postavljena je uz kabel u zemlji, sonda MS2 predviđena je u samom priobalju i učvršćena je uz kabel unutar betonske priobalne zaštite. Sonda MS3 postavljena je u moru na udaljenosti približno 50 m od priobalnog zida. Digitalni signali o proradi odvodnika prenapona pridobijaju se sa signalnog kontakta brojača prorade.



Slika 10. Oprema akvizicije podataka na ormaru mjerenja

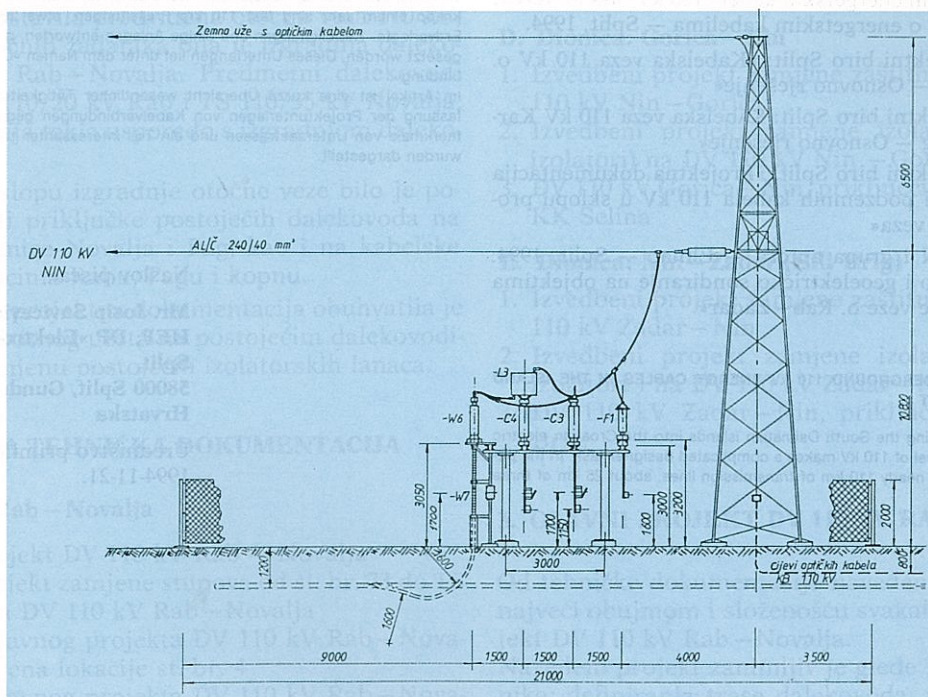
5.2. Kabelska stanica na otvorenom prostoru

Na otvorenom prostoru gdje ne postoji mogućnost većeg onečišćenja izolacije i gdje to dopuštaju uvjeti uređenja prostora, za prijelaz podzemnog 110 kV kabela na zračni vod primjenjuju se kabelske stanice otvorenog tipa. Jedno od takvih rješenje primijenjeno je na lokaciji Bili Brig. Prikaz tehničkog rješenja dan je na sl. 11, dok je izvedba stanice prikazana na fotografiji (sl. 12).

6. ZAKLJUČAK

Opsežni i kvalitetno obavljeni studijsko-istražni radovi i analize varijantnih rješenja provedeni u pripremnoj fazi omogućili su pravovremenu izradu projektne dokumentacije i izgradnju objekata u vrlo kratkim rokovima. Neke od primijenjenih metoda, kao detaljno snimanje konfiguracije podmorja na kabelskoj trasi, prvi put je primijenjeno u domaćoj praksi polaganja kabela visokog napona. Studijski radovi vezani za geotermička i geoelektrička ispitivanja omogućili su pravilan projektantski pristup izboru kabelske posteljice i dimenzioniranju sustava uzemljenja. Osobit doprinos dan je u suvremenom pristupu proračunu raspodjele struja u pasivnim elementima kabela i ocjeni njihova utjecaja na dopušteno opterećenje kabela. Rješenje smještaja visokonaponske opreme unutar objekta kabelske stanice prvi put je primijenjeno u domaćoj praksi gradnje visokonaponskih podmorskih kabela, pa će biti korisno pratiti pogonska iskustva pri eksploataciji ovih objekata.

Primijenjeni monitoring pogonskih i meteoroloških podataka kojim je omogućeno praćenje i temeljita



Slika 11. Kabelska stanica Bili Brig — tehničko rješenje



Slika 12. Kabela stanica Bili Brig

analiza promjene karakterističnih vrijednosti u stacionarnim pogonskim uvjetima primjenom računala predstavlja dragocjenu potporu pri donošenju odluka u eksploataciji i održavanju objekata podmorskih kabelaških veza.

— phase submarine and underground cables as well as a few substations have been designed, constructed and put into operation.

This undertaking was realised under the title »Island Connection«. In this paper the short overview of the most important activities during cable connection project documentation elaboration is given. Some basic data on submarine routes are given and the most interesting technical solutions are described.

LITERATURA

- [1] I. TOMASOVIĆ, B. ŠAINA P. ČERINA: »Izbor podmorskih i kopnenih energetskih kabela 110 kV otočne veze«, Prvi simpozij o energetskim kabelima — Split, 1994.
- [2] HEP — Projektni biro Split: »Kabelaška veza 110 kV o. Rab — o. Pag — Osnovno rješenje«
- [3] HEP — Projektni biro Split: »Kabelaška veza 110 kV Karlobag — o. Pag — Osnovno rješenje«
- [4] HEP — Projektni biro Split: »Projektna dokumentacija podmorskih i podzemnih kabela 110 kV u sklopu projekta Otočna veza«
- [5] dr S. MILUN i grupa autora — Elmap — Split, 1994: »Geotermičko i geoelektričko sondiranje na objektima 110 kV otočne veze o. Rab — Zadar«

DIE STROMVERSORGUNGSKABEL FÜR UNTERSEE- UND ERD- VERLEGUNG IM PROJEKT DER »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Projekt der Einschliessung nordadriatischer Inseln in ein einheitliches kroatisches Verbundnetz, stellt ein anspruchsvolles Unterfangen dar. In der Zeitspanne von knapp einem Jahr sind fast 110 km Freileitungen, etwa 25 km Untersee- und Erdverlegte- Kabelleitungen und einige Anlagen entworfen, gebaut und in Betrieb gesetzt worden. Dieses Unterfangen lief unter dem Namen »Über — Inseln — Verbindung«.

Im Artikel ist eine kurze Übersicht wesentlicher Tätigkeiten während der Abfassung der Projektunterlagen von Kabelverbindungen gegeben. Einige Grundmerkmale von Unterseetrassen und ein Teil interessanter technischer Lösungen wurden dargestellt.

Naslov pisca:

**Mr. Josip Savićević, dipl. ing.
HEP, DP »Elektrodalmacija«
Split,
58000 Split, Gundulićeva 42,
Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-21.

SUBMARINE AND UNDERGROUND 110 kV ENERGY CABLES IN THE ISLAND CONNECTION PROJECT

The project of connecting the South Dalmatian islands into the Croatian electric power system at the level of 110 kV makes a complicated designer task. In the period of less than a year nearly 110 km of transmission lines, about 25 km of three

PROJEKTIRANJE DALEKOVODA OTOČNE 110 kV VEZE

Davor Đurđević, Zagreb

UDK 621.311.1:621.316.1
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazane su osnovne informacije o projektiranju dalekovoda otočne veze 110 kV s osvrtom na radove na postojećim dalekovodima.

Ključne riječi: projektiranje, stupovi, vodiči, zaštitno uža sa svjetlovodnim nitima, silikonski izolatori

1. UVOD

Planom razvoja elektroenergetskoga prijenosnog sustava na području sjevernih i srednjih jadranskih otoka predviđeno je povezivanje konzumnih područja otoka Krka, Cresa, Lošinja, Raba i Paga elektroenergetskim vodovima 110 kV.

Navedeno je potanko obrađeno u »Studiji o razvoju prijenosne mreže na području Elektroprivrede Hrvatske u razdoblju 1998/90 – 2020. godine« Instituta za elektroprivredu u Zagrebu.

Zbog agresije na Hrvatsku i privremene okupacije dijela teritorija nastali su prekidi elektroenergetske veze između sjevernog i južnog dijela Hrvatske, pa planirana otočna veza postaje životno važna veza za područje Zadra i okolice.

Da bi se uspostavila predviđena otočna veza 110 kV, jedan od ključnih zadataka bila je izgradnja dalekovoda 110 kV Rab – Novalja. Predmetni dalekovodi povezuje TS 110/20 kV Rab i TS 110/35 kV Novalja, čija je izgradnja tekla usporedo s izgradnjom dalekovoda.

Također, u sklopu izgradnje otočne veze bilo je potrebno riješiti priključke postojećih dalekovoda na nove trafostanice Novalja i Pag, kao i na kabelske kućice na otocima Rabu, Pagu i kopnu.

Uz navedeno, projektna dokumentacija obuhvatila je i zamjenu zaštitnog užeta na postojećim dalekovodima, kao i zamjenu postojećih izolatorskih lanaca.

2. IZRAĐENA TEHNIČKA DOKUMENTACIJA

A. Dionica: Rab – Novalja

1. Glavni projekt DV 110 kV Rab – Novalja
2. Glavni projekt zamjene stupova od st. br. 73 do TS Novalja na DV 110 kV Rab – Novalja
3. Dopuna glavnog projekta DV 110 kV Rab – Novalja – zamjena lokacije st. br. 4
4. Dopuna glavnog projekta DV 110 kV Rab – Novalja – priključak na KK Vašibaka i Deda

5. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta DV 110 kV Rab – Novalja

B. Dionica: Novalja – Pag

1. DV 110 kV Novalja – Pag priključak na TS Novalja
2. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Novalja – Pag
3. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Novalja – Pag

C. Dionica: Pag – Gorica

1. Glavni projekt priključka DV 110 kV Nin – Pag na TS Pag
2. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Pag – Gorica
3. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Pag – Gorica

D. Dionica: Gorica – Nin

1. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Nin – Gorica
2. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Nin – Gorica
3. DV 110 kV Gorica – Nin, priključci na KK Kulina i KK Selina

E. Dionica: Nin – Zadar (Bili Brig)

1. Izvedbeni projekt zamjene zaštitnog užeta na DV 110 kV Zadar – Nin
2. Izvedbeni projekt zamjene izolacije (silikonski izolatori) na DV 110 kV Zadar – Nin
3. DV 110 kV Zadar – Nin, priključak na KK Bili Brig

3. GLAVNI PROJEKT DV 110 kV RAB – NOVALJA

Od tehničke dokumentacije navedene u poglavlju 2. najveći obujmom i složnošću svakako je glavni projekt DV 110 kV Rab – Novalja.

Navedeni projekt zanimljiv je glede nekoliko čimbenika: definiranja trase dalekovoda, primjene zaštitnog užeta sa svjetlovodnim nitima (OPGW-a), pri-

mjene silikonskih izolatora, kao i uklapanja u kompletan sustav otočne veze.

3.1. Određivanje trase dalekovoda

Određivanje trase dalekovoda jedan je od najsloženijih zadataka u procesu projektiranja, koji u sebi implicira niz kako tehničko-gospodarskih elemenata, tako i ekoloških, prostornih i vizuelnih.

Problematicu određivanja trase dalekovoda mogli bi odrediti u sklopu sljedećih cjelina:

- zauzimanje prostora
- vizualni utjecaji
- električki efekti
- utjecaji građenja i održavanja.

Posebna elaboracija svake od navedenih cjelina zahtijevala bi znatan prostor, no to i nije tematika ovog članka.

U konkretnom slučaju, proces određivanja trebao je riješiti dva u biti nekomplementarna problema:

- zaklanjanje dalekovoda od utjecaja jake bure i posolice
- što manju devastaciju otočnih prostora.

Otok Rab, od mjesta Raba do uvala Vašibaka (gdje je locirana kabelska kućica za prijelaz podmorskog kabla za otok Pag), oštro je podijeljen na dva dijela:

- sjevernoistočni dio izložen snažnom utjecaju bure i posolice potpuno je ogoljen, praktički bez vegetacije i u svakom pogledu gotovo neupotrebljiv za bilo kakvu aktivnost,
- južozapadni dio, zaklonjen od bure, u turističkom je smislu jedan od najljepših predjela na Jadranu, dobrim dijelom urbaniziran i poljodjelski aktivan.

S tehničko-gospodarskog aspekta dalekovoda najpovoljnija trasa bila bi južozapadnim dijelom otoka, ali i s najvećim stupnjem devastacije izuzetno vrijednog prostora.

Konačna trasa je kompromis i rezultat izuzetnih napora u traženju optimalnih rješenja. Položena je po uskom pojasu između poljodjelskih površina i početka šikare i šume na obroncima sjeverozapadnih uzvisina. Dalekovod na otoku Rabu, od 46 stupova, ima ukupno 14 zateznih stupova, što je iznimno visok postotak, a rezultat je upravo težnja da se dalekovod maksimalno uklopi u okoliš i »sakrije« u prostor. Svako stupno mjesto je prije završetka projekta pregledano, kako bi i mikrolokacija stupova što manje devastirala prostor (čuvanje suhozidova, maslinika, vinograda i dr.).

U postupku definiranja trase i ishodenja lokacijske dozvole (uvjeta uređenja prostora) aktivno je sudjelovao niz ljudi, od predstavnika mjesnih zajednica do stručnjaka Ministarstva građenja i zaštite okoliša.

Sličnih problema bilo je i na otoku Pagu, iako ipak nešto manje. Treba napomenuti da je početna točka dalekovoda bila TS 110/20 kV Rab (u postupku građenja u tijeku projektiranja dalekovoda), a krajnja točka TS 110/35 kV Novalja (također u gradnji tijekom projektiranja). Dionica u dužini oko 2 km ispred TS Novalja prema uvali Deda (pravac prema

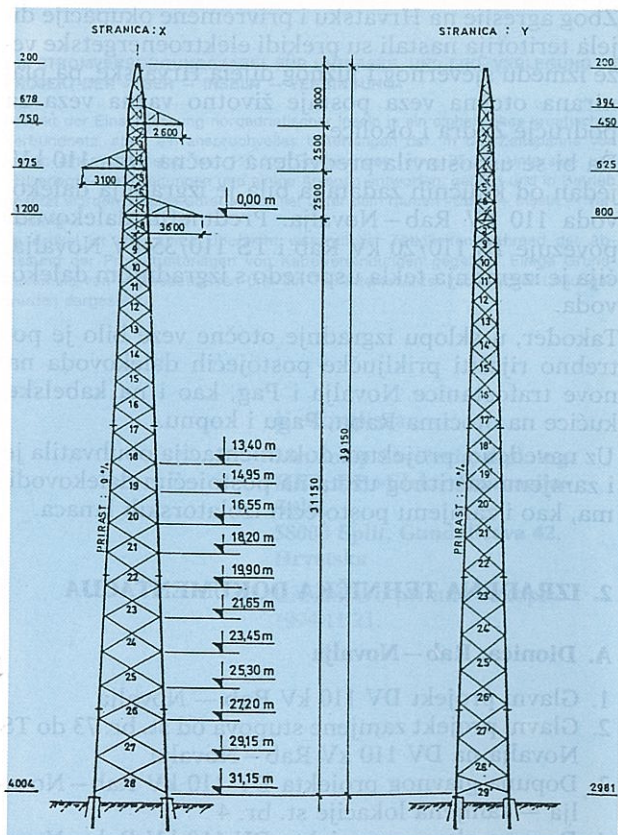
Rabu) bila je već izgrađena (jednostruki dalekovod), ali je projektom »Zamjene stupova od st. br. 73 do TS Novalja na DV 110 kV Rab – Novalja« predviđena zamjena postojećih stupova novim, dvosustavnim stupovima, kako bi se prihvatila planirana trica vodiča iz smjera Karlobaga (tzv. potporna otočna veza 110 kV – trenutno u fazi projektiranja).

Treba na kraju dodati da su stupovi dalekovoda obojeni u nijansu zelenog, što također pridonosi uklapanju u okolinu. Slobodni smo ipak iznijeti mišljenje, s kojim se vjerojatno neće složiti ekologisti, da dalekovod predstavlja u neku ruku i ukras prirode.

3.2. Stupovi i temelji

Stupovi predviđeni u glavnom projektu imaju čelično-rešetkastu konstrukciju od standardno valjanih profila i vijčanih spojeva. Na dionici od TS 110/20 kV Rab do st. br. 73 na otoku Pagu stupovi su oblika galve »jela« (jednosustavni), a od st. br. 74 do st. br. 80 (krajnji stup ispred TS 110/35 kV Novalja) su oblika glave »bačve« (dvosustavni). Vodiči su zavješeni u tri visine na konzolama, a zaštitno užje je na vrhu stupa. Zatezni stupovi postavljaju se tako da su im konzole u simetrali kuta skretanja trase, osim st. br. 73 (konzole okomite na smjer trase prema TS Novalja), i st. br. 80, koji se postavlja u kut od 60° prema smjeru trase prema Rabu.

Stupovi, projektirani kao tipski iz tipizacije »Dalekovod« d.d. Zagreb, primijenjeni su na svim dalekovo-



Slika 1. Nosivi stup tip Nc7 – T

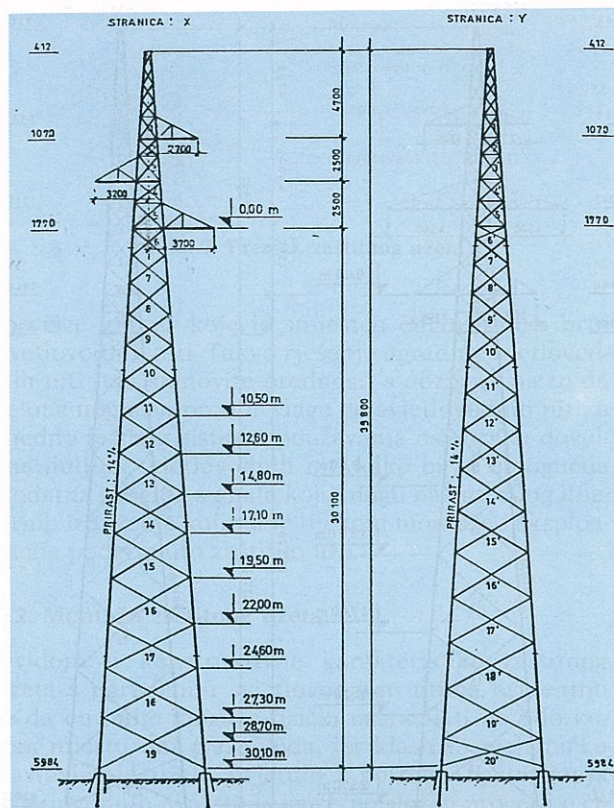
dima Otočne 110 kV veze (dionice navedene u poglavlju 2.), kao i na ostalim vodovima sličnih karakteristika. Osnovni parametri za projektiranje stupova odabrani su na temelju konkretnih meteoroloških terenskih i ostalih uvjeta. Stupovi oblika glave »jela« primijenjeni na konkretnom dalekovodu tipa su Nc7-T (sl. 1), Zc15 (sl. 2), Zc17 (sl. 3), dok su stupovi oblika glave »bačva« Nc13 (sl. 4), Zc 27 (sl. 5) i Zc29 (sl. 6).

Svi navedeni stupovi dimenzionirani su za ova užeta:

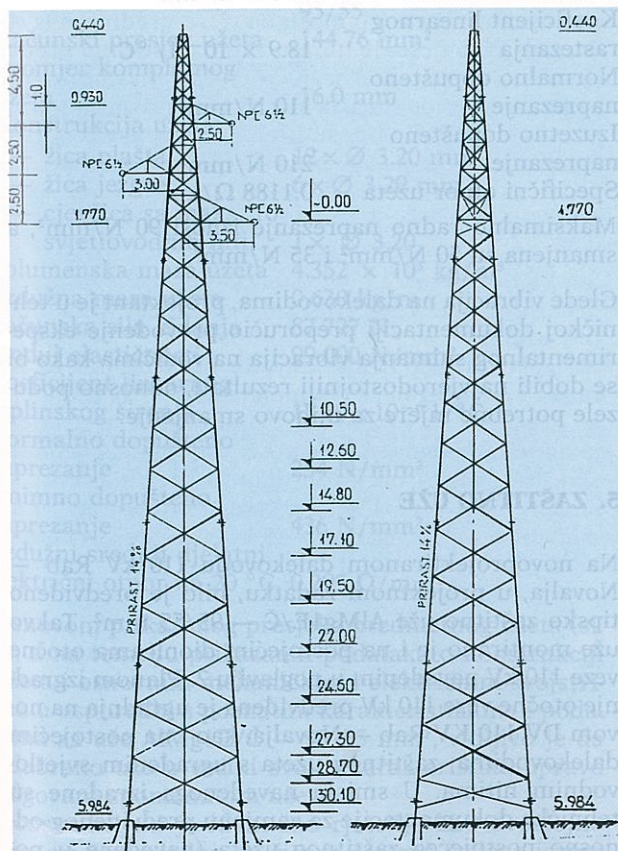
- vodiči: uže JUS N.C1.351 — A1/Č (NN RH 53/91)
- zaštitno uže: JUS N.C1.551 — AlMg1E/Č — 95/55 (NN RH 53/92).

Predviđeni stupovi imaju dvostruku dijagonalnu isponu. Tlocrtni oblik zateznog stupa je kvadrat, a nosivog pravokutnik.

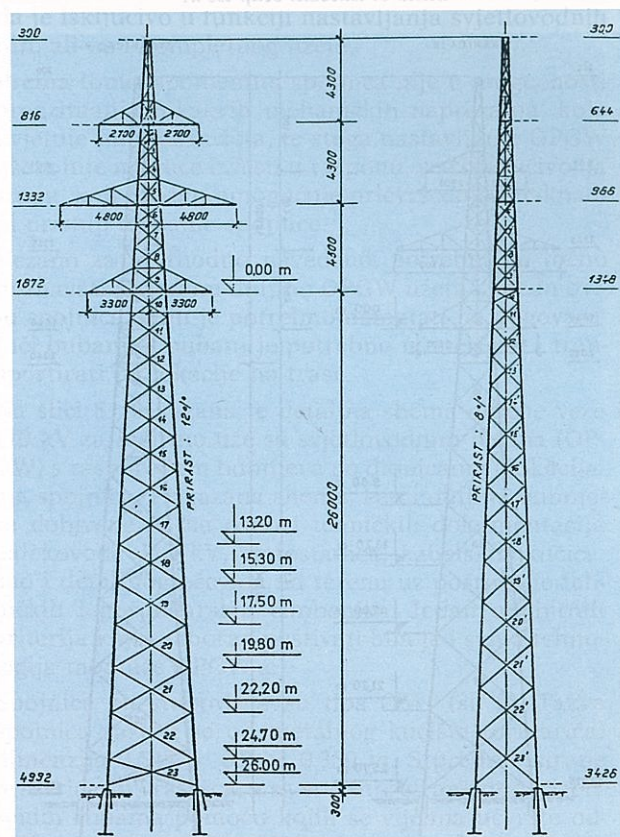
Temelji stupova su raščlanjeni, tj. svaki pojasnik stupa zabetoniran je u poseban temeljni blok. Dimenzioniranje temelja obavljeno je za nosivost tla prema inženjersko-geološkom izvješću. Na većini stupnih mjesta pojavljuju se kamenito tlo (stijena), osim na otoku Pagu i na dijelu voda kroz Mundanije (na otoku).



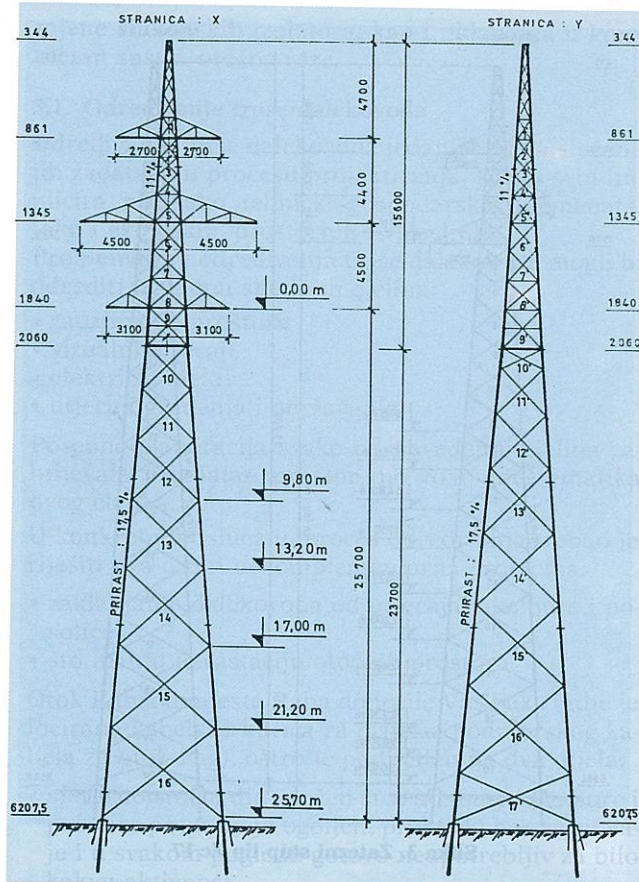
Slika 3. Zatezni stup tip Zc 17



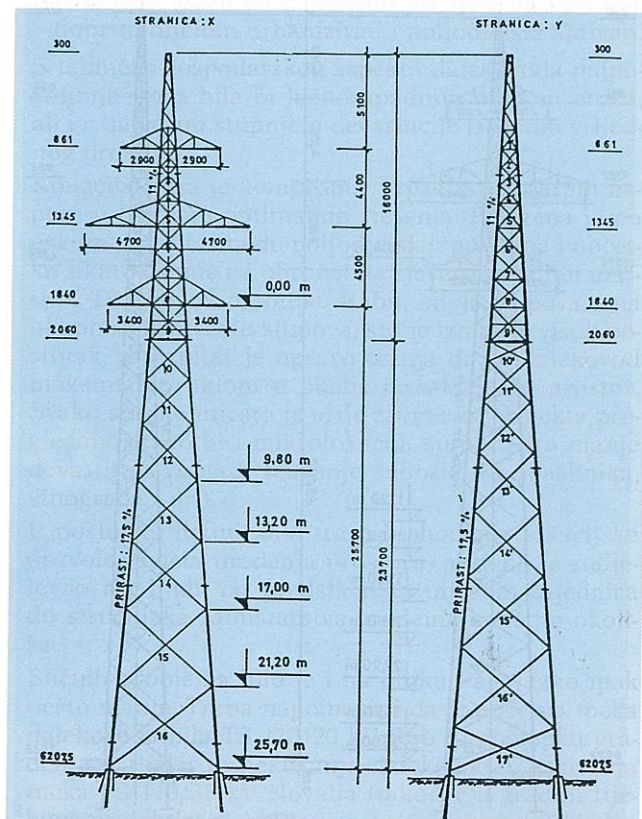
Slika 2. Zatezni stup tip Zc 15



Slika 4. Nosivi stup tip Nc 13



Slika 5. Zatezni stup Zc 27



Slika 6. Zatezni stup Zc 29

4. VODIČI

Na novom dalekovodu 110 kV Rab – Novalja, kao i na cijeloj Otočnoj vezi 110 kV montirani su tipski vodiči za 110 kV: JUS N.C1.351 – 240/40 – A1/Č (preuzeto po NN RH 53/91). Karakteristike vodiča su sljedeće:

Vrsta i nazivni presjek Uže JUS N.C1.351 – 240/40 – A1/Č (NN RH 53/91)

Stvarni ukupni presjek užeta 282.5 mm²

Presjek aluminijskog plašta 243.0 mm²

Presjek čelične jezgre 39.50 mm²

Promjer užeta 21.9 mm

Konstrukcija užeta:

- aluminijski plašt 26 × Ø 3.45 mm
- čelična jezgra 7 × Ø 2.68 mm

Specifična gustoća užeta 3.50 × 10³ kg/m³

Specifična gustoća užeta s normalnim dodatnim teretom 1.0 × 0.18 √d

kg/m 6.481 × 10³ kg/m³

Masa užeta 0.987 kg/m

Masa užeta s normalnim dodatnim teretom

1.0 × 0.18 √d kg/m 1.829 kg/m

Računska sila kidanja 86460 N

Modul elastičnosti 77 000 N/mm²

Koeficijent linearnog rastezanja 18.9 × 10⁻⁶ 1/°C

Normalno dopušteno naprezanje 110 N/mm²

Izuzetno dopušteno naprezanje 210 N/mm²

Specifični otpor užeta 0.1188 Ω/km

Maksimalno radno naprezanje iznosi 90 N/mm², a smanjena su 50 N/mm² i 35 N/mm².

Glede vibracija na dalekovodima, projektant je u tehničkoj dokumentaciji preporučio provođenje eksperimentalnog snimanja vibracija na vodičima kako bi se dobili najvjerodostojniji rezultati, odnosno poduzele potrebne mjere za njihovo smanjenje.

5. ZAŠTITNO UŽE

Na novoprojektiranom dalekovodu 110 kV Rab – Novalja, u projektnom zadatku, bilo je predviđeno tipsko zaštitno uže AlMg1E/Č – 95/55 mm². Takvo uže montirano je i na postojećim dionicama otočne veze 110 kV navedenim u poglavlju 2. Planom izgradnje otočne veze 110 kV predviđena je ugradnja na novom DV 110 KV Rab – Novalja, kao i na postojećim dalekovodima, zaštitnog užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima. U smislu navedenoga izrađene su tehničke dokumentacije za zamjenu predviđenog odnosno postojećeg zaštitnog užeta (navedene u poglavlju 2.).

Zaštitno uže s ugrađenim svjetlovodnim nitima u svijetu se primjenjuje već više godina, pri čemu su razvijene različite tehnologije izvedbe ugradnje svjetlovodnih niti u tijelo (jezgru) zaštitnog užeta. Osnovna je značajka svih rješenja da se paralelno udovolji osnovnim elektomehaničkim zahtjevima u smislu zaštite dalekovoda od atmosferskih pražnjenja (struje kratkog spoja, provjesi, naprezanja. . .), a da se istovremeno negativno ne utječe na karakteristike prijenosa svjetlovodnim nitima (gušenja signala).

Budući da je zaštitno uže aluminijska legura (AlMg1E/Č) nazivnog presjeka 95/55 mm², čiji vanjski promjer iznosi 16 mm, to je pri odabiru adekvatnog tipa užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima bilo nužno brinuti o tome da svojim tehničkim karakteristikama što više odgovara spomenutom užetu, kako bi se unaprijed izbjegli eventualni troškovi vezani za statičku stabilnost stupova te njihov razmještaj duž trase.

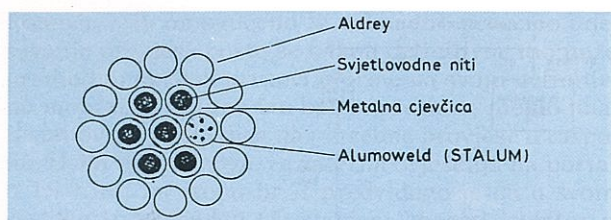
Uzimajući u obzir netom izneseno, odlučeno je da se umjesto spomenutoga zaštitnog užeta AlMg1E/Č — 95/55 mm² na dionici otočne veze do Ts Rab do KK Bili Brig ugradi zaštitno uže oznake AlMgSi 0.5/Stalum — Seil 95/55 mit 1/R. proizvođača Felten & Guilleaume s ugrađenih 10svjetlovodnih niti, dok se od stupa br. 74 do TS Novalja ugrađuje istovjetno uže s 20 svjetlovodnih niti.

5.1. Podaci o zaštitnom užetu

Oznaka zaštitnog užeta	AlMgSi 0.5/Stalum-Seil 95/55
Računski presjek užeta	144.76 mm ²
Promjer kompletnog užeta	16.0 mm
Konstrukcija užeta:	
— žica plašta	12 × Ø 3.20 mm
— žica jezgre	6 × Ø 3.20 mm
— cjevčica sa maks. 10 svjetlovodnih niti	1 × Ø 3.20
Volumenska masa užeta	4.352 × 10 ³ kg/m ³
Uzdužna masa užeta	0.630 kg/m
Računska sila kidanja	87 727 N
Modul elastičnosti	99 000 N/mm ²
Koeficijent linearnog toplinskog širenja	17.60 × 10 ⁻⁶ 1/°C
Normalno dopušteno naprezanje	254 N/mm ²
Iznimno dopušteno naprezanje	436 N/mm ²
Uzdužni srednji djelatni električni otpor na 20 °C	0.295 Ω/mm

Osnovom prikazanog presjeka predmetnog užeta (sl. 7), a na temelju prikazanih podataka o konstrukciji užeta i osnovnim mehaničkim i električnim svojstvima u usporedbi s poznatim karakteristikama i podacima za uže AlMg1E/Č — 95/55 mm², vidljivo je da odabrano uže u većini svojih karakteristika upravo odgovara spomenutom užetu.

Konstrukcijski je identično rješenje kao dvoslojno uže, pri čemu jedna od žica iz sastava čelične jezgre nije klasičnoga punog oblika, već je šuplje u obliku



Slika 7. Presjek zaštitnog užeta

cjevčice unutar koje je smješten odgovarajući broj svjetlovodnih niti. Takvo rješenje ugradnje svjetlovodnih niti ima stanovite prednosti s obzirom na to da je onemogućen prodor vlage do svjetlovodnih niti, a ujedno je zbog sistema pouzavanja osigurana dovoljna duljina svjetlovodnih niti kako bi se omogućila dodatna gušenja signala koja mogu nastati zbog linearnih izduženja kojima je tijekom montaže i eksploatacije podvrgnuto zaštitno uže.

5.2. Montaža zaštitnog užeta

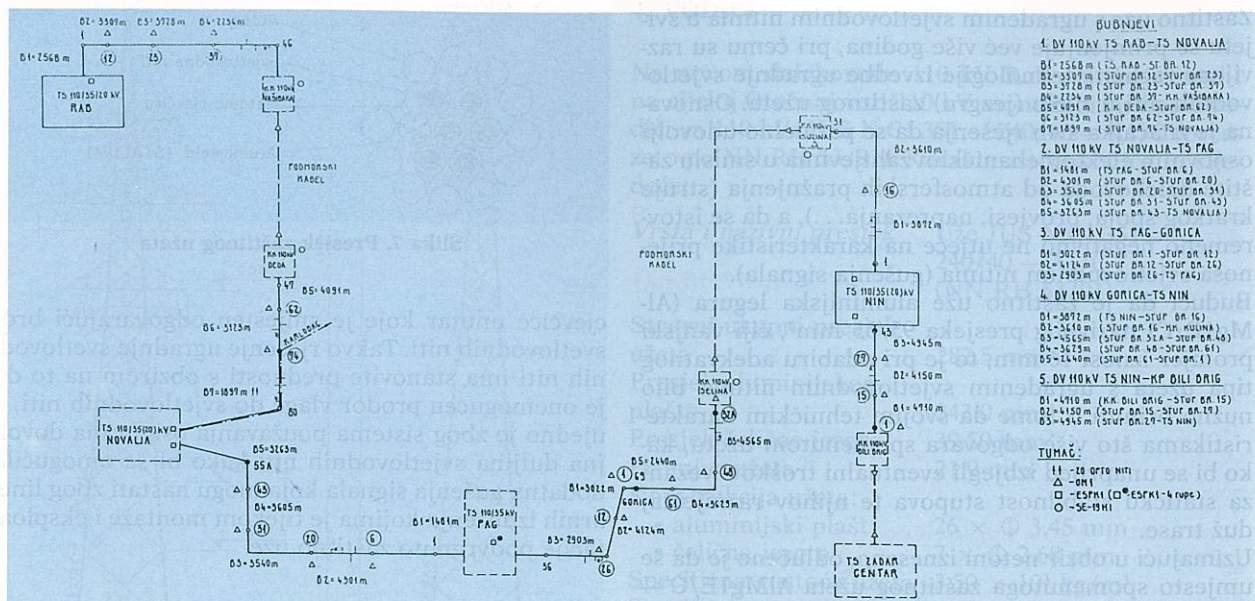
Uvidom u konstruktivne karakteristike zaštitnog užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima evidentno je da ono nije moguće fizički nastavljati na bilo kojem mjestu duž trase voda, jer klasično mehaničko nastavljanje užeta uvjetuje i potrebu nastavljanja svjetlovodnih niti, što je izuzetno složen proces i o čijoj izvedbi izravno ovisi kvaliteta budućeg prijenosa signala. Zbog toga je tehnološki predviđena odgovarajuća spojnica, koja je konstruktivno tako riješena da je isključivo u funkciji nastavljanja svjetlovodnih niti, ali ne i kompletnog užeta.

Prema tome, spomenuta spojnica nije u mogućnosti preuzimanja nikakvih mehaničkih naprezanja, koje uvjetuje montaža užeta, te stoga nastavljanje OPGW užeta nije moguće izvesti u rasponu, već isključivo na stupu, koji ujedno omogućuje pričvršćenje i naknadni pristup do same spojnice.

Vezano za prethodno navedeno, potrebno je točno poznavati potrebnu duljinu OPGW užeta između dviju spojnica, koju je potrebno namatati na odgovarajući bubanj, a bubanj je potrebno numerirati i transportirati na lokacije na trasi.

Na slici 8. prikazana je detaljna shema otočne veze 110 kV za zaštitno uže sa svjetlovodnim nitima (OPGW) s rasporedom bubnjeva po dionicama i lokacijama spojnica. Prikazana shema, kao i duljine bubnjeva dobivene su na osnovi tehničkih dokumentacija dalekovoda 110 kV, trafostanica, kablskih kućica, kao i detaljnog očevida na terenu uz poštivanje tehničkih i gospodarskih čimbenika. Jedan od bitnih kriterija koji se morao poštivati bila je i sama tehnologija montaže OPGW-a.

Spojnice na stupovima su tipa OM1 (sl. 9). Takva spojnica sastoji se od metalnog kućišta (ormarića) dimenzija 0.545 × 0.2 × 0.350 m. S prednje strane ormarića su vratašca, a sa stražnje strane dno s izbušenim rupama pomoću kojih se vijcima učvrste odgovarajući nosači za pričvršćivanje na konstrukciju stupa. U ormariću smještena je plastična spojna ku-



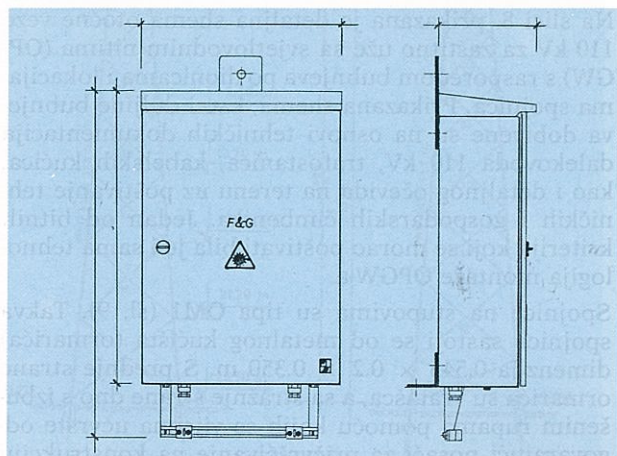
Slika 8. Shema optokabela otočne veze 110 kV

tija u koju se nakon spajanja ulažu niti i koju je nakon kompletiranja moguće hermetički zatvoriti.

S donje strane metalnog kućišta nalaze se odgovarajući provrti s uvodnicama kroz koje se kompletno uže (ili podzemni kabel) uvodi u tijelo spojnice, dok se u plastičnu spojnu kutiju uvode samo cjevčice sa svjetlovodnim nitima.

Završne spojnice su tipa ESPK1 (sl. 9), a montiraju se na portale TS. Te se spojnice također sastoji od metalnog kućišta (ormarića) dimenzija $0.77 \times 0.545 \times 0.35$ m, koji sa prednje strane ima vratašca, a sa stražnje strane dno s navarenim »L« profilima pomoću kojih se odgovarajućim nosačima spojnica učvrsti na konstrukciju portala.

Unutar ormarića također se nalazi plastična spojna kutija u koju se ulažu svjetlovodna vlakna nakon spajanja i koja se hermetički zatvara.



Slika 9. Spojnica tip OM1 i ESPK1

5.3. Ovjesna oprema

Zaštitno uže s ugrađenim svjetlovodnim nitima montira se na vrhove stupova oblika »jela«. Pri tome nosivi stupovi na svom vrhu imaju posebno doradjeni element (konzolicu) kako bi se osigurao pomak u okomitom smjeru u odnosu na trasu predmetnog voda, dok je zavješeno na zateznim stupovima predviđeno izvesti na odgovarajuću ploču na samom vrhu stupa, te je evidentno da se u ovom smislu zadržavaju svi elementi u odnosu prema dokumentaciji izrađenoj za zaštitno uže AlMg1E/Č — 99/55 mm², odnosno promjenom predviđenog tipa zaštitnog užeta zadržana su rješenja zavješenoj vezana za konstruktivna rješenja samoga stupa.

Što se tiče preostale ovjesne opreme, bile su nužne neke preinake kako bi se omogućilo zavješeno OP-GW užeta.

Na nosivim stupovima umjesto klasične nosive stezaljke i odgovarajućeg kompleta koji se ovjesuje preko zastavice na spomenutu »konzolicu« predviđena je ugradnja odgovarajuće nosive stezaljke s neoprenskim uloškom i preformiranim prutovima. Posebni strujni most predviđeno je izvesti od jednog (1) komada užeta AlMg1E/Č 95/55 koje se preko priključne stezaljke s jedne strane spaja na stup, a s druge preko strujne stezaljke na preformirani prut.

Ovim načinom ugradnje spriječeno je svako oštećenje užeta u tijelu nosive stezaljke i oko, a ujedno je omogućeno prenošenje sila (otklanjanje) u smjeru okomitom na smjer trase voda. Na zateznim stupovima zavješeno OPGW užeta predviđeno je izvesti preko kombinacije škopaca, regulacijskog produžnika te zaštitnoga i zateznoga performiranoga pruta. Naime, za razliku od klasičnih užeta koja povezuje bilo vijčanim, bilo kompresijskim stezaljkama, OPGW uža se ne prekida na mjestu učvršćenja na

stupu, već se to izvodi pomoću tzv. zateznoga preformiranog pruta (zatezne spirale). Zaštitni i zatezni preformirani prutovi odnosno spirale tehnološki su posebno izrađeni prutovi (spirale) na čije tijelo je s unutarnje strane nanesena odgovarajuća masa u čijem sastavu ima kvarcnog pijeska radi povećavanja trenja, a tako su preformirani da u potpunosti naliježu odnosno odgovaraju koraku pouzavanja predviđenog OPGW užeta.

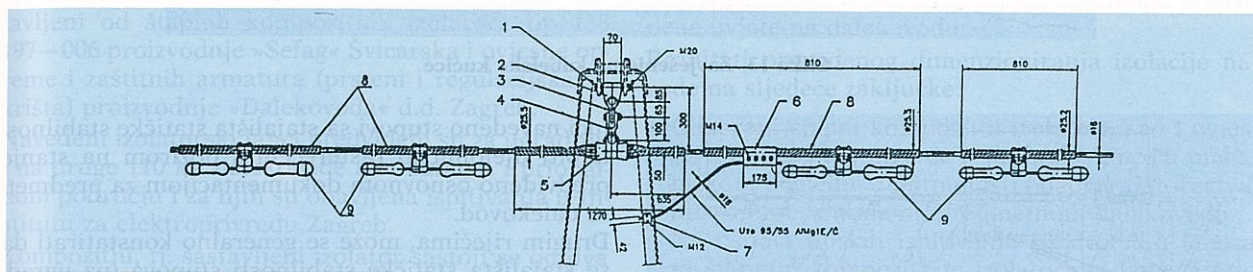
Pri tome je korak pouzavanja zaštitnog pruta uvijek suprotnog smjera od koraka pouzavanja užeta odnosno zateznog pruta. Na taj način postiže se adekvatna čvrstoća spoja međusobna naličjevanja elementa prutova i OPGW užeta na bazi elementarnog trenja, a ujedno se sprečava bilo kakvo oštećenje OPGW užeta odnosno potreba za njegovim fizičkim prekidanjem na mjestu ugradnje.

Osim navedenih elemenata, u sastavu zavješena nalaze se odgovarajući regulacijski produžnici, a u priključnim rasponima zatezači.

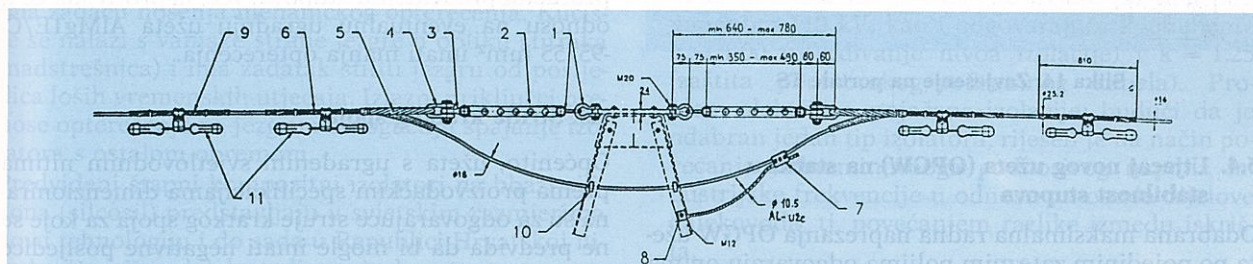
Pomoću njih omogućeno je naknadno precizno udešavanje provjese pošto se nakon definitivne montaže prethodno opisani prutovi oforme na svoju definitivnu montažnu duljinu što bi u suprotnom moglo imati stanovitih posljedica na potrebne provjese u rasponu. Osim navedenoga, za zatezna ovješnja na portal u TS Nin i na stupu br. 1 predviđeno je da u svom sastavu imaju jedan (1) stakleni kapasti izolator u svrhu postizavanja tzv. izoliranog zavješnja.

Vodenje OPGW užeta duž konstrukcije stupa odnosno portala na mjestima gdje se ugrađuju spojnice, pričvršćenja OPGW užeta uz trup stupa predviđeno je izvesti pomoću odgovarajućih vijčanih nosača s obujmicama. Spomenuti nosači odnosno njihove obujmice prethodno su plastificirani kako bi se zaštitio vanjski sloj OPGW užeta od mogućih oštećenja, a ujedno bi se osiguralo izolirano vodenje duž svih ostalih metalnih konstrukcija.

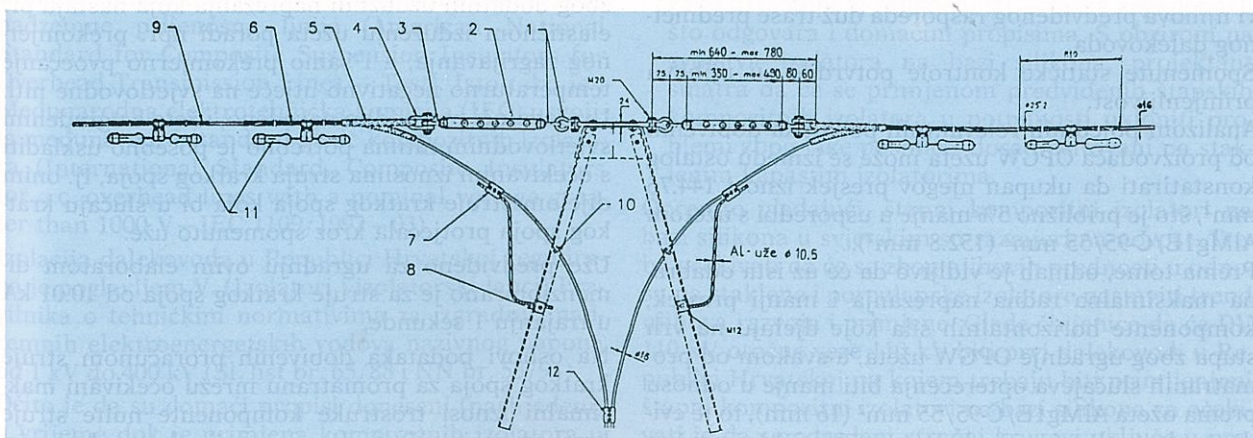
Zavješnja zaštitnog užeta (OPGW-a) dana su na slikama od br. 10 do br. 14.



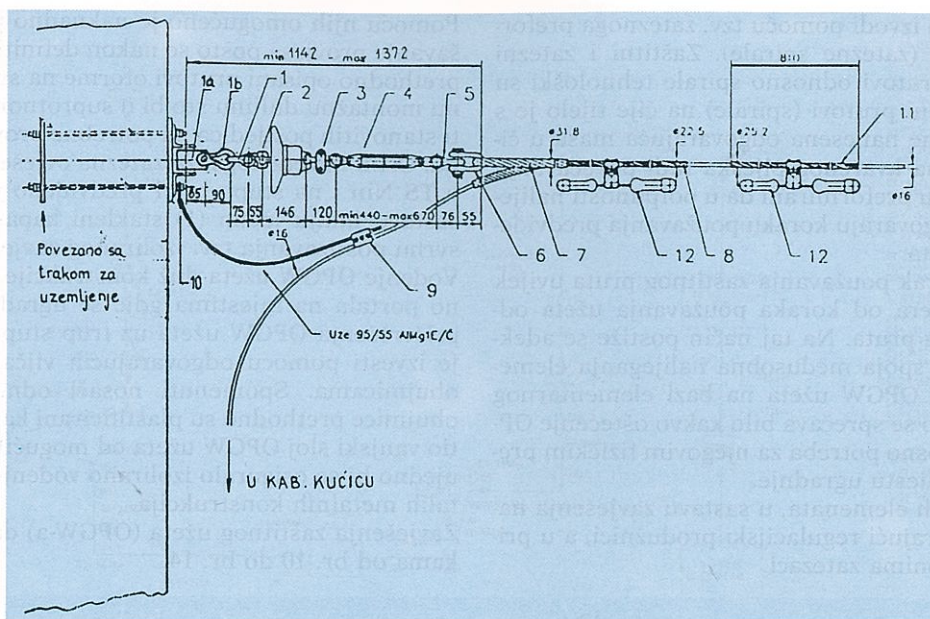
Slika 10. Nosivo zavješenje OPGW-a



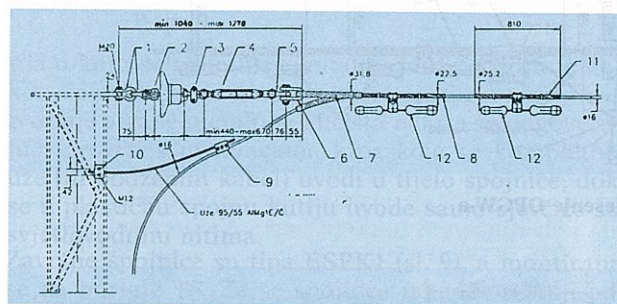
Slika 11. Zatezno zavješenje OPGW-a (prolazno)



Slika 12. Zatezno zavješenje OPGW-a (dvostrano)



Slika 13. Zavješanje na kabliske kućice



Slika 14. Zavješanje na portale TS

5.4. Utjecaj novog užeta (OPGW) na statičku stabilnost stupova

Odabrana maksimalna radna naprezanja OPGW užeta po pojedinim zateznim poljima odgovaraju onima predviđenim za slučaj ugradnje zaštitnog užeta od aluminijske legure (AlMg1E/Č-95/55) za koje su provedene statičke kontrole odabranih stupova na osnovi njihova predviđenog rasporeda duž trase predmetnog dalekovoda.

Spomenute statičke kontrole potvrdile su njihovu primjenljivost.

Analizom pojedinih relevantnih podataka dobivenih od proizvođača OPGW užeta može se između ostalog konstatirati da ukupan njegov presjek iznosi 144.76 mm², što je približno 5% manje u usporedbi s užetom AlMg1E/Č-95/55 mm² (152.8 mm²).

Prema tome, odmah je vidljivo da će uz ista odabrana maksimalna radna naprezanja i manji presjek, komponente horizontalnih sila koje djeluju na vrh stupa zbog ugradnje OPGW užeta, u svakom od promatranih slučajeva opterećenja biti manje u odnosu prema užetu AlMg1E/Č-95/55 mm² (16 mm), to je evidentno da će doprinosi od vjetrova na statički proračun stupova biti identični za oba užeta odnosno sumira-

jući navedeno stupovi sa stajališta statičke stabilnosti biti djelomično rasterećeni s obzirom na stanje predviđeno osnovnom dokumentacijom za predmetni dalekovod.

Drugim riječima, može se generalno konstatirati da se stajališta statičke stabilnosti stupova (uz ugradnju predviđenog OPGW užeta umjesto AlMg1E/Č-95/55 mm² užeta) neće negativno utjecati na statički proračun predviđenih stupova, već, naprotiv, da će u odnosu na eventualnu ugradnju užeta AlMg1E/Č-95/55 mm² imati manja opterećenja.

5.5. Struje kratkog spoja

Općenito, užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima prema proizvođačkim specifikacijama dimenzionirana su za odgovarajuće struje kratkog spoja za koje se ne predviđa da bi mogle imati negativne posljedice na prijenosne karakteristike spomenutog užeta.

Naime, svjetlovodne niti pokazuju značajke znatnog pogoršanja kvalitete prijenosa i trajnih deformacija zbog dodatnih uzdužnih naprezanja koja nastaju pri elastičnom izduženju užeta poradi npr. prekomjernog zagrijavanja, a i samo prekomjerno pvoećanje temperaturno negativno utječe na svjetlovodne niti. Uvažavajući prethodno navedeno, užeta s ugrađenim svjetlovodnim nitima potrebno je posebno uskladiti s očekivanim iznosima struja kratkog spoja, tj. onim dijelom struje kratkog spoja koja bi u slučaju kratkog spoja protjecala kroz spomenuto uže.

Uže predviđeno za ugradnju ovim elaboratom dimenzionirano je za struje kratkog spoja od 10.01 kA u trajanju 1 sekunde.

Na osnovi podataka dobivenih proračunom struje kratkog spoja za promatranu mrežu očekivani maksimalni iznosi trostruke komponente nulte struje kratkog spoja višestruko su manji od navedenog iznosa.

Uzimajući u obzir činjenicu da reduksijski faktor predviđenog OPGW užeta iznosi približno 0,6–0,75, te da su dalekovodi o kojima se govori visoke sigurnosti s ugrađenim uređajima za brzo iskapčanje struje kvara (0,1 sek), to je evidentno da će odabrano OPGW uže zadovoljavati s gledišta očekivanih struja kratkog spoja.

6. IZOLACIJA

Na osnovi odluke u cijeloj otočnoj vezi 110 kV na vođu predviđeni su štapni kompozitni (složeni) izolatori na osnovi silikona, vezano za studiju »Stručno mišljenje o kriterijima odabira štapnih silikonskih izolatora za 35 i 110 kV dalekovode priobalnog i obalnog područja«, izrađenom u Institutu za elektroprivredu Zagreb i zaključka stručne grupe stručnog savjeta za razvoj i planiranje prijenosne mreže.

Izolaciju predmetnih dalekovoda (iz poglavlja 2) činit će izolatorski lanci zavješeni na stupovima, sastavljeni od štapnih kompozitnih izolatora tip 138 197–006 proizvodnje »Sefag« Švicarska i ovjesne opreme i zaštitnih armatura (prsteni i regulacijska iskrišta) proizvodnje »Dalekovoda« d.d. Zagreb.

Navedeni izolatorski lanci predviđeni su za ugradnju i na druge 110 kV dalekovode na obalnom i priobalnom području i za njih su obavljena ispitivanja u Institutu za elektroprivredu Zagreb.

Kompozitni, tj. sastavljeni izolator sastoji se od dva izolatorska dijela — jezgre i kućišta. Na oba kraja izolator je opremljen izlaznim, metalnim priključcima. Jezgra je unutrašnji dio kompozitnog izolatora i ima zadaću nošenja mehaničkog opterećenja. Kućište se nalazi s vanjske strane jezgre u obliku štitnika (nadstrešnica) i ima zadatak štititi jezgru od posljedica loših vremenskih utjecaja. Izlazni priključci prenose opterećenje na jezgru i omogućuju spajanje izolatora s ostalom opremom.

Predviđeni štapni kompozitni izolatori na bazi silikona (silcosil) predstavljaju u svjetskim razmjerima novu tehnologiju i do sada u Republici Hrvatskoj nisu korišteni na dalekovodima visokog napona.

Američki nacionalni institut za standarde (ANSI) svojim izdanjem C.2911–1989. donio je Američki nacionalni standard za kompozitne ovjesne izolatore za nadzemne prijenosne linije (American National Standard for Composite Suspension Insulators for Overhead Transmission Lines — Test). Isto tako je i Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC) usvojila međunarodni standard glede kompozitnih izolatora (International Standard, Composite Insulators for a.c. overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V — IEC 1109/1992–03).

Izolacija dalekovoda u Republici Hrvatskoj regulirana je poglavljem V. (Izolatori i izolatorski lanci) Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91).

Očito je da su domaći propisi doneseni (naslijedeni) u vrijeme dok je primjena kompozitnih izolatora u nas bila nepoznanica, pa se može ustvrditi da su ti

propisi prihvatljiviji za dosad primjenjivanu izolaciju (staklo, porculan). Ova tvrdnja može se potkrijepiti detaljnim uvidom u Međunarodni standard IEC 1109/1992–23, iz kojeg je vidljiv bitno drukčiji pristup ispitivanju — dimenzioniranju izolacije zbog drukčije tehnologije izradbe i karakteristika kompozitnih (sastavljenih) u odnosu na »klasičnu« izolaciju (staklo, porculan).

Uzimajući u obzir navedenu problematiku u projektima iz poglavlja 2, izvršeno je dimenzioniranje izolacije u skladu s »Pravilnikom o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona 1 kV do 400 kV« (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) kao Međunarodni standard IEC 1109/1992–03.

Takav pristup dimenzioniranju izolacije projektant smatra trenutno, do donošenja odgovarajućih nacionalnih propisa, jedino mogućim rješenjem. Dimenzioniranjem izolacije treba utvrditi zadovoljava li odabrani izolator odnosno izolatorski lanac svojim mehaničkim odnosno električnim osobinama predviđene uvjete na dalekovodu.

Rezultati provedenog dimenzioniranja izolacije navode na sljedeće zaključke:

- Odabrani štapni kompozitni izolatori, kao i ovjesna oprema s kojom čine izolatorske lance u mehaničkom pogledu, u potpunosti odgovaraju očekivanim opterećenjima na predmetnom dalekovodu.
- Na osnovi tipskih ispitivanja izolatorskih lanaca sa štapnim kompozitnim izolatorima koje je proveo Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. broj 5251, 5252, 5253 i 5253 određeni su razmaci između iskrišta za postavljene uvjete pogona pod naponom 110 kV, kao i odgovarajuće koeficijente $k = 1.00$ (utvrđivanje nivoa izolacije) i $k = 1.25$ (zaštita podmorskog/podzemnog kabela). Problem električno pojačane izolacije; budući da je odabran jedan tip izolatora, riješen je na način povećanja jednogminutnoga podnosivog napona industrijske frekvencije u odnosu na ostale dijelove dalekovoda, tj. povećanjem razlike između iskrišta.
- U pogledu izloženosti dalekovoda jakoj buri, a time i jakoj posolici, odabrana je prema IEC 815/1986. najmanja nazivna specifična strujna staza za III. stupanj zagađenosti — teška zagađenost, što odgovara i domaćim propisima. S obzirom na svojstva izolatora na bazi silikona, projektant smatra da će se primjenom predviđenih štapnih kompozitnih izolatora u potpunosti ukloniti problemi zbog jake posolice, dosad očitovani na staklenim kapastim izolatorima.

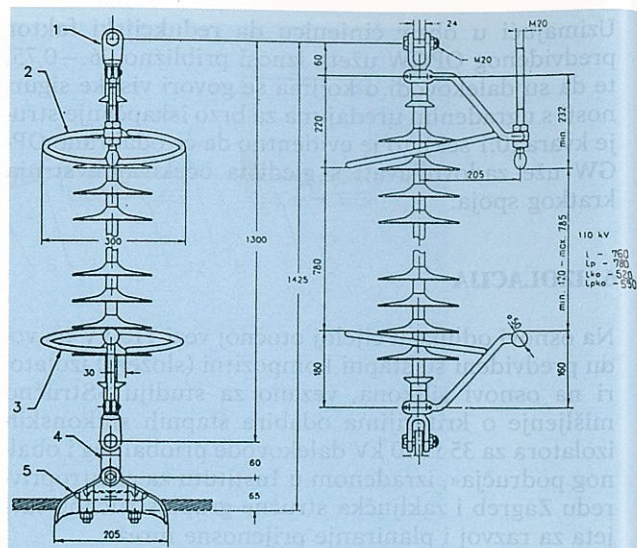
Općenito gledajući, štapni kompozitni izolatori na bazi silikona u svjetskim su razmjerima novost. Treba očekivati da će se zbog njihovih prednosti u odnosu na staklene i porculanske izolatore nastaviti trend njihova razvoja i primjene. Glede činjenice da će DV 110 kV otočne veze 110 kV biti prvi dalekovodi u Republici Hrvatskoj na kojem trebaju biti primijenjeni štapni kompozitni izolatori na bazi silikona za očekivati je da se određeni stručni krugovi uključe u praćenje primjene i ponašanja izolatora tijekom pogo-

na, kao i u donošenje odgovarajućih nacionalnih propisa za stručno područje.

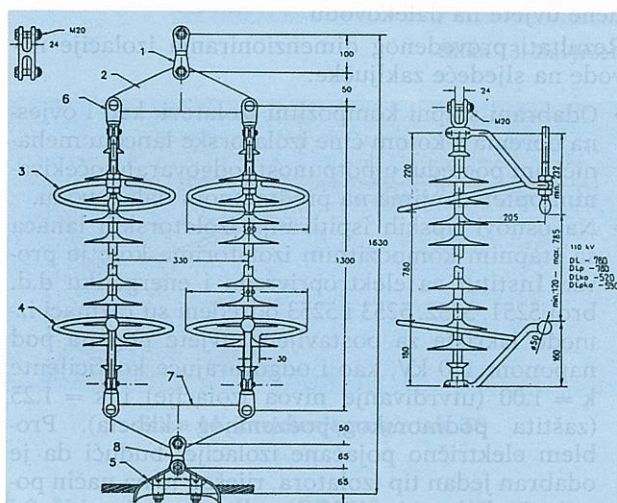
Na slikama od br. 15 do br. 18. prikazani su nosivi zatezni izolatorski lanci s regulacijskim iskrištima. Osnovne tehničke značajke štapnih izolatora oznake 138 197–066 (proizvodnja »Sefag« Švicarska) jesu:

- nazivni (pogonski) napon 110 kV
- jednominutni podnosivi izmjenični napon 50 Hz na kiši 230 kV
- podnosivi atmosferski udarni prenapon (1.2/50 μ s) pozitivnog polariteta 550 kV
- najmanja pauzna staza 3 075 mm
- lučni razmak 1 070 mm
- naznačeni mehanički teret 120 kN
- završni priključak — vilica s vijkom Φ 20 mm
- broj kapa 20

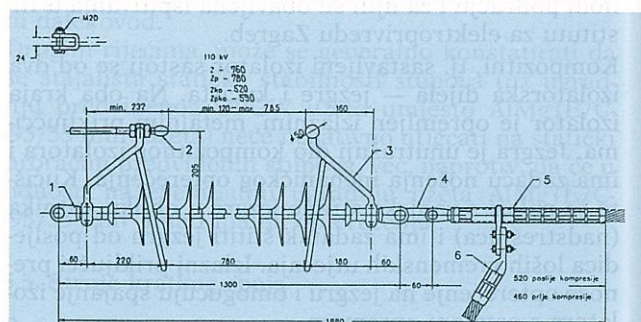
Ovjesna oprema i zaštitne armature za izolatorske lance proizvodnje su »Dalekovoda« d.d. Zagreb.



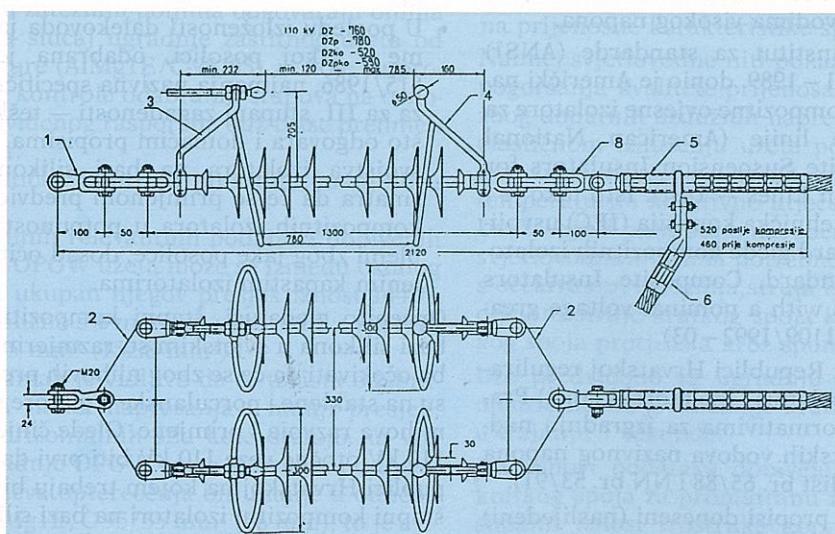
Slika 15. Jednostruki nosivi izolatorski lanac (L_i i L_{pi})



Slika 16. Dvostruki nosivi izolatorski lanac (DL_i , DL_{pi})



Slika 17. Jednostruki zatezni izolatorski lanac (Z_i , Z_{pi})



Slika 18. Dvostruki zatezni izolatorski lanac (DZ_i , DZ_{pi})

6.1. Mehaničko dimenzioniranje izolatora

U skladu s članom 43. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) štapni izolatori i štapni izolatori u nosivim izolatorskim lancima na nosivim stupovima dimenzioniraju se tako da im je prekidno opterećenje najmanje tri puta veće od težine vodiča s dodatnim opterećenjem. Na zateznim stupovima štapni izolatori u izolatorskim lancima dimenzioniraju se tako da im je opterećenje najmanje tri puta veće od sile zatezanja vodiča. Mehaničko pojačanje izolacije postiže se primjenom dva ili više izolatora, kada je opterećenje ujednačeno na sve izolatore, a u slučaju prekida jednog izolatora ostali izolatori smiju biti opterećeni s najviše pola iznosa elektromehaničkog tereta, odnosno minimalnoga prelomnog opterećenja.

Prema navedenom, najveća dopuštena vertikalna sila za nosive izolatorske lance, odnosno najveća dopuštena sila zatezanja vodiča za zatezne izolatorske lance iznosi:

$$V_z = P_i = \frac{120}{3} = 40 \text{ kN.}$$

Na predmetnim dalekovodima najveće vertikalne sile višestruko su manje od najveće dopuštene vrijednosti 40 kN. Za odabrano najveće radno naprezanje vodiča Uže–240/40 –A1/Č na dalekovodima najveća sila zateznom stupu iznosi:

$$P_z = q \cdot S = 282.5 \cdot 0.090 = 25.425 \text{ kN.}$$

Prema tome, sila zatezanja vodiča za predviđena najveća radna naprežanja manja je od najveće dopuštene sile zatezanja vodiča 40 kN.

Na osnovi iznesenog u nosivom i zateznom izolatorskom lancu zadovoljit će jedan izolator. U slučaju mehanički pojačane izolacije predviđena je uporaba dva izolatora u lancu, ali kao što je već navedeno, u slučaju prekida jednog izolatora preostali izolator može biti opterećen s najviše polovinom elektromehaničkog tereta, tj.

$$120/2 = 60 \text{ kN.}$$

Na osnovi prethodno iznesenog, vidljivo je da najveća vertikalna sila zatezanja vodiča ne prelaze dopuštenu vrijednost.

Štapni kompozitni izolatori, odnosno njihova jezgra, izrađeni su od materijala koji su skloni puzanju, za razliku od klasičnih izolatora (staklo, porculan). Zbog toga mehanička čvrstoća štapnih kompozitnih izolatora vremenom opada, što ovisi o amplitudi i vremenu trajanja opterećenja.

Navedeno zahtijeva nov pristup provjeri mehaničke izdržljivosti izolatora. Krivulja mehaničke čvrstoće kompozitnog izolatora, kao funkcija vremena primjene sile, može se pretpostaviti kao pravac negativna nagiba, prema logaritmu vremena primjene opterećenja, tako da je vremenska dekada na toj skali konstantan interval s omjerom 10 između svojih granica.

Opterećenja kojima su izvršeni izolatori tijekom životnog vijeka dalekovoda mogu se također prikazati na analogan način kao par vrijednosti **opterećenje – vrijeme**.

Cilj je pokusa da korisniku omogući provjeru položaja na krivulji **mehanička izdržljivost – vrijeme** izolatora, uzevši u obzir opterećenja očekivana tijekom proračunskoga životnog vijeka dalekovoda, npr. 50 godina u prosjeku.

Međunarodni standard IEC 1109 propisuje između ostalog slijedeće pokuse:

a) Pokus konstrukcije

Cilj je ovog pokusa provjera da nagib krivulje čvrstoće izolatora ovisno o logaritmu vremena nije veći od usuglašenih 8 % jednodimenzionalnog opterećenja pogreške jezgre po dekadi vremena. Ovaj pokus služi prije svega proizvođaču izolatora radi utvrđivanja osnovnih mehaničkih značajki izolatora. U uvodu su navedene osnovne karakteristike promatranog izolatora koje jamči proizvođač.

b) Tipski pokus – pokus trajnim mehaničkim opterećenjem

Cilj je ovog pokusa provjera nazivnoga mehaničkog opterećenja izolatora (NMO) koje garantira proizvođač, uzimajući u obzir kumulativne učinke opterećenja. To se čini prvo primjenom tereta od 0.7 NMO tijekom 96 sati, a zatim mijenjajući NMO u toku 1 minute.

Napomena: 96-satno vrijeme odabrano je praktično u sredini logaritamske skale vremena (1 min. – 50 godina), uzimajući u obzir praksu ispitnih laboratorija. Vrijednost od 0.7 NMO odabrana je za 96-satni pokus izdržljivosti zato što odgovara garantiranom 8 %-tnom nagibu krivulje **mehanička izdržljivost – vrijeme** izolatora po vremenskoj dekadi.

Informacije dobivene iz ovog pokusa korisniku mogu poslužiti kako bi se provjerilo je li krivulja karakteristike mehaničke izdržljivosti izolatora smještena iznad očekivanih opterećenja na dalekovodu.

U skladu s navedenim u ovoj točki izvršeno je tipsko ispitivanje – ispitivanje trajnim mehaničkim opterećenjem, o čemu je izdan Protokol o ispitivanju br. 386 (»Dalekovod«, Služba kontrole kvalitete), kao dio potvrde o tipskom ispitivanju br. 934/92 koje je proveo Institut za elektroprirodu i energetiku d.d. Zagreb, Zavod za visoki napon i prijenosne mreže.

Na osnovi provedenih ispitivanja može se zaključiti da odabrani štapni silikonski izolator tip 138 197–066 odgovara karakteristikama navedenim od strane proizvođača »Sefag« Švicarska.

Ovaj potvrđeni pravac **mehanička izdržljivost – vrijeme** izolatora ucrtan je u dijagram (sl. 18). Nadalje je potrebno utvrditi opterećenje izolatora tijekom pretpostavljenoga životnog vijeka dalekovoda, što se može predstaviti pravcem **opterećenje – vrijeme** izolatora, analogno kao i krivulja **mehanička izdržljivost – vrijeme** kompozitnih izolatora.

Pravac opterećenja – vrijeme izolatora projektant može odrediti na osnovi vlačnih tereta

- redovan mehanički teret (RMT)
- izvanredan mehanički teret (IMT)
- maksimalni mehanički teret (MMT)

u odnosu na vremensku skalu podijeljeno u dekad. Redovan mehanički teret (RMT) predstavlja težinu vodiča i pribora bez leda za nosivi izolatorski lanac, odnosno vlačnu silu (teret) za zatezni lanac, uzimajući u račun najčešće temperature i najčešću brzinu vjetra. Ovaj je teret zapravo najčešći prikaz teren-
skih uvjeta za promatrani dalekovod.

Pojmovi, najčešća temperatura i najčešća brzina vjetra nisu posebno definirani. U našem slučaju za potrebe proračuna RTM koristila su se opterećenja koja nastaju kod procijenjene srednje godišnje temperature 15 °C za područje kojim je položena trasa dalekovoda i brzina vjetra od 5 m/s (Beaufortov stupanj 3) – slab vjetar.

Vlačna sila – teret za to naprezanje iznosi:

$$F_v = \sigma \cdot q$$

Sila vjetra na vodič iznosi

$$P_v = \frac{v^2}{1.6} \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{a}{2} \cdot d,$$

gdje su:

- v (m/s) – brzina vjetra (najčešća)
- a (m) – raspon
- d (m) – promjer.

Rezultanta sile vodiča i sile djelovanja vjetra na vodič iznosi:

$$RTM = \sqrt{F_v^2 + P_v^2}.$$

Napomena: Vjetar djeluje okomito na vod, tj. pod pravim kutom u odnosu prema sili vlaka vodiča. Sila vjetra evidentno je zanemariva u ovom slučaju.

Izvanredni mehanički teret (IMT), za koji je procijenjeno da se pojavljuje u trajanju ukupno jednog tjedna u životnom dijelu dalekovoda, na izolatoru ne uzrokuje trajne deformacije. Projektant se odlučio da se za vrijednost IMT-a odabere opterećenje koje nastaje pri normalnom dodatnom teretu i djelovanju vjetra.

$$F_v = \sqrt{F_h^2 + V_z^2}.$$

Promjer zaleđenog vodiča pri normalnom dodatnom teretu iznosi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot DT \cdot 0.18 \cdot \sqrt{d} \cdot 10^3}{\gamma_1 \cdot \pi}} + d^2,$$

gdje su:

- F_h (N) – horizontalna komponenta sile zatezanja vodiča
- V_z (N) – vertikalna sila vodiča
- d (mm) – promjer vodiča
- γ_1 (kg/dm³) – specifična masa leda.

Sila pritiska vjetra na zaleđeni vodič iznosi:

$$P_v = p_v \cdot D_1 \cdot \frac{a}{2},$$

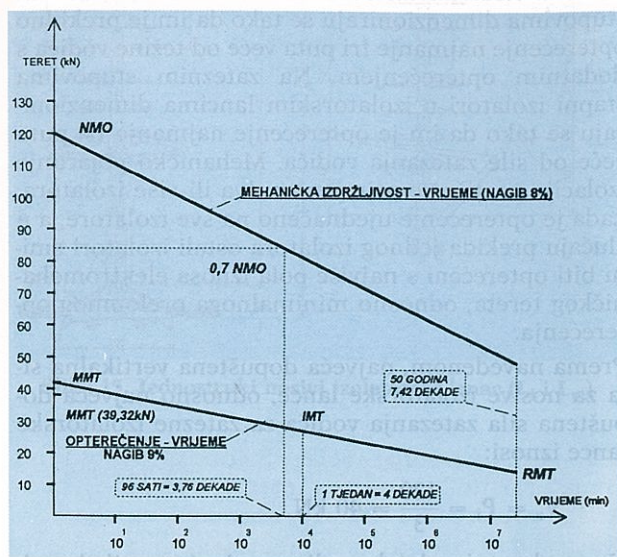
gdje je:

p_v (N/m²) – pritisak vjetra na vodiče.

Rezultanta vlačne sile vodiča i sile vjetra na vodič iznosi:

$$IMT = F_r = \sqrt{F_v^2 + P_v^2}.$$

Na taj način dobivena je i druga točka korisnikovog pravca **opterećenje – vrijeme** izolatora (sl. 19).



Slika 19. Usporedba dijagrama mehanička izdržljivost – vrijeme izolatora i korisnikovog dijagrama opterećenje – vrijeme izolatora

Maksimalan mehanički teret (MMT) definiran je kao najveće moguće mehaničko opterećenje koje doživljavaju izolatori u cijelom životnom vijeku, a pojavljuje se vrlo brzo (1 min) i nadilazi vrijednost IMT. Pri ovom teretu ne bi se trebala pojaviti nikakva mehanička odvajanja na izolatoru, ali je prihvatljiva trajna deformacija. Samom definicijom MMT-a vidljivo je da ga teško odrediti, odnosno predvidjeti. Projektant se odlučio da vrijednost MMT-a izračuna pri trostrukoj vrijednosti normalnog dodatnog terete (iznimni dodatni teret) i djelovanju vjetra.

Sila vlaka vodiča pri iznimnom dodatnom teretu:

$$F = q \cdot \sigma_i.$$

Promjer vodiča pri iznimnom dodatnom teretu iznosi:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot DT \cdot 0.18 \cdot \sqrt{d} \cdot 10^3}{\gamma_1 \cdot \pi}} + d^2,$$

Sila pritiska vjetra na zaleđeni vodič pri iznimnom dodatnom teretu iznosi:

$$P_v = p_v \cdot D_1 \cdot \frac{a}{2}.$$

Rezultanta sile vlaka vodiča i sile pritiska vjetra na vodič pri dvostrukom normalnom dodatnom teretu iznosi:

$$MMT = f_r = \sqrt{F_v^2 + P_v^2}.$$

Za orijentaciju korisnicima međunarodni standard IEC 1109 za slučaj umjerenih i neekstremnih klimatskih uvjeta daje relativne odnose mehaničkih tereta:

$$RMT = 0.20 - 0.33 \text{ MMT}$$

$$IMT = 0.06 \text{ MMT.}$$

Na dalekovodima otočne veze 110 kV postignuti su navedeni odnosi.

6.2. Električno dimenzioniranje izolacije

Prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) izolacija 110 kV dalekovoda mora izdržati:

- nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije 185 kV
- najviši podnosivi atmosferski udarni prenapon 450 kV.

Tipska ispitivanja predviđenih izolatorskih lanaca proveo je u skladu s IEC 383/1983, IEC 437/1973 i BS 137/1973 Part 2 Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb. Ispitivanjima su utvrđeni razmaci između iskrišta za pogonske napone 35 kV i 110 kV, te koeficijente zaštite 1.00 i 1.25. Navedeni razmaci prikazani su u tablici 1.

Tablica 1.

Izolatorski lanac	Razmak iskrišta d (mm)	
	Koeficijent k = 1.00	Koeficijent k = 1.25
jednostruki nosivi	760 (760)	517 (520)
dvostruki nosivi	753 (760)	507 (520)
jednostruki zatezni	735 (760)	503 (520)
dvostruki zatezni	753 (760)	506 (520)

Napomena: Koeficijent k = 1.00 primjenjuje se utvrđivanju stupnja izolacije. Koeficijent k = 1.25 (koeficijent zaštite) predstavlja osnovu između podnosivog udarnog napona izolacije i udarnog zaštitnog nivoa štice opreme.

Na mjestima prijelaza dalekovoda preko određenih objekata izolaciju je potrebno pojačati u električnom smislu. Prema članu 53.2. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) izolacija je električno pojačana ako se za masivni i štapne izolatore odabere izolator s povećanom duljinom strujne staze. Odabran je jedan tip izolatora za cijelu otočnu vezu 110 kV, no s obzirom na to da pojačaje izolacije ovisi o preskočnom, odnosno podnosivom naponu, praktično rješenje električnog pojačanja izolacije moguće je izvesti povećanjem razmaka između iskrišta. Na osnovi provedenih ispitivanja izračunan su razmaci između iskrišta izolatorskih lanaca za slučaj električno pojačanje izolacije. Navedeni razmaci prikazani su u tablici 2.

Tablica 2.

Izolatorski lanac	Razmak iskrišta d (mm)	
	Koeficijent k = 1.00	Koeficijent k = 1.25
jednostruki nosivi	780 (780)	580 (590)
dvostruki nosivi	780 (780)	587 (590)
jednostruki zatezni	780 (780)	572 (590)
dvostruki zatezni	780 (780)	577 (590)

Napomena: Izračunatim razmacima iz tablice 2. postiže se jednodimenzionalni podnosivi naponi industrijske frekvencije viši za oko 4.2 % do 5.8 % u odnosu prema istim naponima na ostalom dijelu dalekovoda.

Zbog praktičnih se razloga pri ugađanju razmaka između iskrišta preporučuju jedinstveni razmaci za sve izolatorske lance navedene u zgradama.

S obzirom na jake vjetrove (bura) i blizinu dalekovoda morskoj obali očekivan je III. stupanj zagađenosti — velika zagađenost zbog pojave jake posolice na izolatorima. Prema tablici 7. Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV (Sl. list br. 65/88 i NN br. 53/91) za navedeni stupanj zagađenosti potrebna je najmanja specifična nazivna strujna (puzna) staza faze i zemlje od 25 mm/kV. Odabrani tip izolatora 138 197 – 066 ima prema podacima proizvođača »Sefag« najmanju puznu stazu 3 075 mm. Uzimajući u obzir najviši pogonski napon opreme 123 kV, specifična nazivna strujna (puzna) staza iznosi:

$$3\,075 \text{ mm}/123 \text{ kV} = 25 \text{ mm/kV},$$

što odgovara zahtjevima.

7. KLIMATSKI UVJETI

Na cijeloj otočnoj vezi 110 kV dalekovodi su projektirani (uključujući i novi DV 110 kV Rab – Novalja) s tlakom vjetra 110 N/mm² i 1 300 N/mm² (ovisno o dionicama) i masama normalnoga dodatnog tereta 1.0 × 0.18 Vd kg/m i 1.6 × 0.18 Vd kg/m (ovisno o dionicama).

Minimalna temperatura – 20 °C
 Maksimalna temperatura + 40 °C
 Temperatura kod koje se pojavljuje dodatni teret – 5 °C

Ocijenjena je srednja godišnja temperatura od 15 °C.

8. ZAKLJUČAK

Kako je vidljivo iz poglavlja 2, »Dalekovod« d.d. Zagreb (djelatnost Projektiranje) izradio je ukupno 17 projekata za otočnu vezu 110 kV. Vrlo važan čimbenik u tijeku izradbe navedene dokumentacije bila je koordinacija između projekatata dalekovoda, trafostanica, podmorskih kabela i kabela kućica. Kao i sama dinamika građenja, uvjetovana je elektroenergetskim prilikama u Zadru i okolice. Iskustva stečena projektiranjem kompletnog energetskog sustava, kao što je otočna veza 110 kV i uspješna suradnja između projekatata i investitora HEP-a trebala bi biti iskorištena i na budućim sličnim poslovima.

TRANSMISSION LINE DESIGN OF THE 110 kV ISLAND CONNECTION

Basic information on the 110 kV transmission line design are given as well as works on existing transmission lines.

DAS ENTWERFEN VON 110 kV FREILEITUNGEN DER »ÜBER – INSELN – VERBINDUNG«

Dargestellt wurden die Grundausskünfte über das Entwerfen von 110 kV Freileitungen der »Über – Inseln – Verbindung« mit Rückblick auf diesbezügliche Eingriffe an bestehenden Freileitungen.

Naslov pisca:

Davor Durđević, dipl. inž. el.
»Dalekovod« d.d. Zagreb
41000 Zagreb, Ulica grada
Vukovara 37
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994–11–21.

TRANSPORT I POLAGANJE PODMORSKIH KABELA 110 kV OTOČNE VEZE

Petar Čerina, Split — Mato Mijić, Split — Boris Živković, Trogir

UDK 621.315.2.005
PREGLEDNI ČLANAK

Za potpuno stvaranje projekta otočne veze bitan dio je bio transport i polaganje podmorskih kabela, što je za potrebe HEP-a je izvela Danska tvrtka NKT. Kabeli su isporučeni i transportirani brodom polagačem — tegljenicom Henry P. Lading u ukupnoj dužini od približno 62 km (34 km — 300 mm² Cu i 28 km — 400 mm² Cu). Potanko su obrađene sve faze polaganja, koje je praćeno i obrađeno najsuvremenijom navigacijskom i računalnom opremom.

Ključne riječi: podmorski kabel, polaganje kabela, kabelska trasa, tegljač, DGPS sistem.

UVOD

Transport i polaganje podmorskog energetskog kabela 110 kV i optičkog kabela HEP je ugovorio s proizvođačem kabela ABB iz Švedske.

ABB ne posjeduje objekt za transport i polaganje podmorskih kabela, pa je za transport i polaganje podmorskih kabela **otočne veze** angažirao Dansku tvrtku NKT.

NKT posjeduje vlastiti brod (tegljanicu) za transport i polaganje Henry P. Lading, koja je, kada nije u upotrebi, usidrena uz gat pokraj tvornice.

Kabeli su ukrcani na H. P. Lading u samoj tvornici ABB u Karlskroni (tvornica je na samoj obali) i do tegljeni tegljačem za 21 dan u naš Jadran. U Zadar je stigao 21. lipnja 1994. Polaganje je na prvoj dionici trase o. Rab — o. Pag započelo 23. lipnja 1994, a završilo je posljednjom dionicom — trasom o. Ugljen — Bibinje 09. srpnja 1994. godine. Nakon iskrcavanja (10. lipnja 1994.) dvaju čeličnih bubnjeva s ostatkom kabela u luci Paženica brod polagač je oteglen prema Danskoj.

1. OPIS BRODA ZA TRANSPORT I POLAGANJE

Brod za transport i polaganje izgrađen je kao teglenica (barža) bez vlastitog pogona, a opremljen je sidrenim vitlom, četirima priteznim vitlima i trima vitlima s vertikalnom osovinom, sidrima, lancima i užadi. Raspolaze smještajnim prostorom za 25 osoba.

Najvažniji dio opreme na brodu jest kotač vertikalnog vitla za polaganje na hidraulički pogon i velika rotirajuća platforma s različitim uređajima za zatezanje na koju je smješten kabel — u našem slučaju oko 62 km jednožilnog podmorskog kabela (oko 34 km — 300 mm² Cu i 28 km — 400 mm² Cu).

Osnovni tehnički podaci:

Brod polagač

— ukupna dužina	72 m
— širina	21 m
— dubina	4.3 m
— najveći gaz pri opterećenju	3.4 m
bruto	1 631 t
neto	489 t

Oprema za polaganje

— kotač vertikalnog vitla	
vanjskog promjera	6 m
— rotirajuća platforma	
unutarnji promjer	8 m
vanjski promjer	19 m
— visina	4 m
— kapacitet	1 400 t

Jedno pokretno vitlo

— 4 pritezna vitla	6 t
— maksimalna vlačna sila	8 t
— dužina užeta	1 000 m
— dimenzije užeta	30 mm

Nadalje, H. P. Lading je opremljen s ehosonderom, opremom za mjerenje položenog kabela i navigacijskom opremom. Tijekom polaganja svi glavni podaci se istampavaju kao kontrola kvalitete izvedenih radova.

Za komunikacijske svrhe, H. P. Lading je opremljen kratkovalnim i srednjevalnim radiom, te četiri VHF radija. Radi osiguranja točne i brze informacije posada H. P. Lading posjeduje veći broj portabl VHF radija.

2. UTOVAR I TRANSPORT

S gata u tvornici Karlskrona — Švedska kabeli su namotani direktno na rotirajuću platformu broda. Utovar kabela je trajao tri dana (sl. 1. i sl. 2).



Slika 1. Utovar kabela na brod polagač



Slika 2. Kabel na platou tvornice

Kada je cijeli kabel bio na brodu H. P. Ladinga teglio je remorker Skuld od cca 3.700 IHP prema našem Jadranu. Brzina tegljenja je oko 8–9 čvorova po dobrim vremenskim uvjetima. Prijevoz do Zadra trajao je 21 dan.

3. PRIPREME ZA POLAGANJE

Prije polaganja potrebno je bilo izvršiti ove pripreme:

- odrediti točan redoslijed i smjer polaganja
 - I. o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt Deda)
 - II. o. Pag (rt Seline) — Kopno (rt Kuline)
 - III. o. Pag (u. Toreta) — Kopno (u. Koromačina)
 - IV. o. Ugljan (Gnjoišća) — Kopno (Bibinje)
- izraditi privezišta za brod u svakoj ishodišnoj točki
- odrediti pozicije sidara pri polaganju
- pripremiti navigacijski sustav i točne koordinate
- pripremiti navigacijske i signalne oznake na kopnu i moru
- pripremiti priobalnu zaštitu za prihvata kabela
- postaviti na obali (ishodišnim točkama) strojeve za povlačenje kabela.

4. POLAGANJE

H. P. Lading usidri se uz pomoć priteznih vitala na onoj udaljenosti od obale kojoj odgovara dubina mora od približno 7–8 m.

Kabel se povlači na obalu plutajući na zračnim jastucima. Tu se zračni jastuci uklanjaju, a kabel se izvlači nakrajnji završetak. Preostali zračni jastuci se uklanjaju, a kabel tone na dno i u kanale priobalne zaštite, sve pod nadzorom lakih ronionaca.

Zatim se H. P. Lading odvaja od priteznih vitala, a počinje sama operacija polaganja, s jednim tegljačem



Slika 3. Izradba priobalne zaštite

naprijed, a jednim sa strane radi ispravljanja trase, te jednim prema straga radi zaustavljanja broda polagača. Polaže se brzinom 1–2 km na sat (sl. 4).

Od rotirajuće platforme kabel preko regulatora napreznja prelazi na vertikalno vitlo, te se kroz valjkasti lijevak spušta u more. Tijekom polaganja kontinuirano se mjere i registriraju položene dužine, brzina polaganja, natega kabela, kao i dubina mora i položaj broda polagača. Izračunava se natega kabela koja odgovara stvarnoj dubini mora.

Dva operatora na mostu upravljaju polaganjem. Jedan operator prilagođava brzinu rotirajuće platforme tako da je regulator napreznja uvijek u srednjem položaju, a drugi operator prilagođava brzinu kotača vertikalnog vitla.

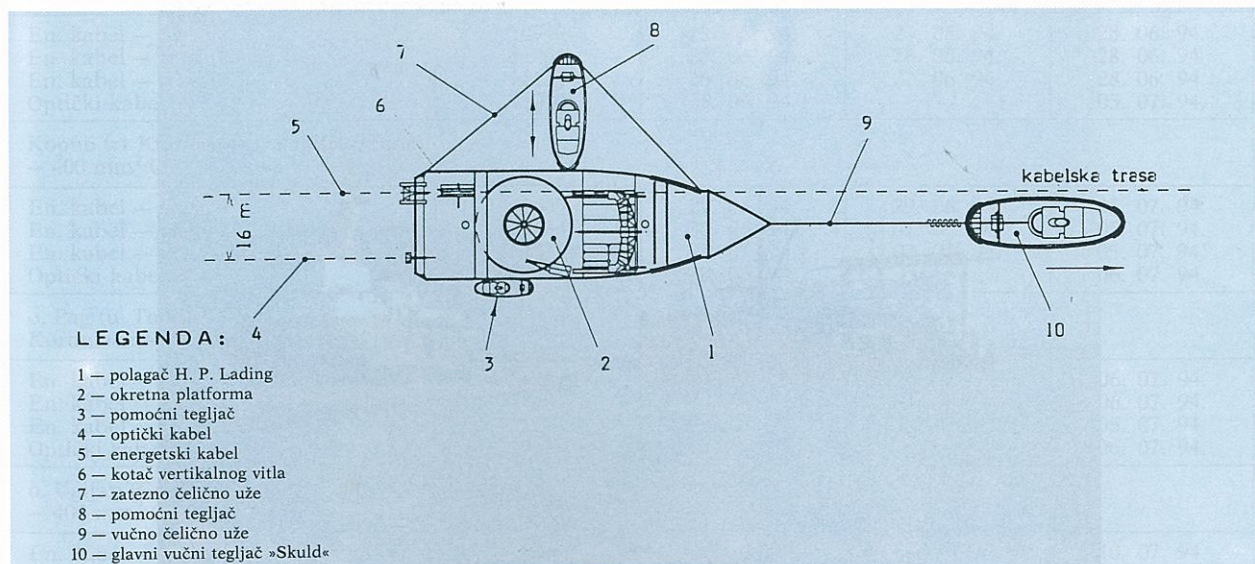
Na dubini približno sedam metara, ovisno o konfiguraciji morskog dna, H. P. Lading se zaustavlja pomoću priteznih vitala i plovi uz obalu, dok kabel pluta uz pomoć zračnih jastuka. Kada je položena točna dužina, kabel se na brodu reže, a radni brod tegli kabel na obalu. Strojevi na obali sada preuzimaju povlačenje i kabel se izvlači na obalu. Potom se zračni jastuci uklanjaju, a ronionici kontroliraju je li kabel ispravno položen u kanal priobalne zaštite.

Drugo polaganje, druga faza — žila i optički kabel, odvija se kao i prvo, samo što se dva kabela, jedan po jedan, izvlače na obalu na obje ishodišne točke. Najprije se izvlači energetski, a zatim optički kabel. Dalje polaganje provodi se jednako kao i pravo.

Treće polaganje (treća žila) odvija se prema opisu prvog polaganja.

Polaganje svake pojedine žile — faze trajalo je jedan dan.

Kada se završe sva tri polaganja uklanja se sva oprema, a H. P. Lading u teglju Skulda nastavlja prema sljedećoj dionici — trasi.



Slika 4. Polaganje podmorskog kabela



Slika 5. Izvlačenje kabela na obalu

Na prije opisani način polaganja položeni su jednožilni podzemski kabeli za sve kabelske trase, osim na trasi o. Pag (rt Seline) — Kopno (rt Kuline). Polaganje je ovdje započelo na rtu Seline, a završilo na rtu Kuline. Na ovoj kabelskoj trasi, zbog male dubine mora (veći tegljač »Skuld« se nije mogao koristiti) brod polagač se povlačio pomoću prethodno položenog čeličnog užeta i manjeg tegljača čija je pramčana strana bila okrenuta na bok H. P. Ladinga. Sve ostalo se odvijalo kao što je već opisano.

Izvlačenje kabela na obalu, polaganje u kabelski rov i vezanje u trolist izveli su djelatnici HEP-a DP Elektrodalmacije — Split uz nadzor stručnjaka ABB-a i NKT-a. Montažu kabelskih završetaka izveli su stručnjaci ABB-a uz asistenciju djelatnika HEP-a, DP Elektrodalmacije — Split.

Nakon završetka polaganja ostaci kabela 300 mm² Cu dugi 1 019 m i 400 mm² Cu dugi 1 401 namotani su na za to pripremljene čelične bubnjeve i iskrcani s broda polagača u luci Gaženica — Zadar.



Slika 6. Brod polagač



Slika 7. Izvlačenje kabela

Nakon montaže kablskih završetaka provedeno je visokonaponsko ispitivanje svake faze — žile. Visokonaponsko ispitivanje izveo je Institut za elektroprivredu i energetiku — Zagreb. Visokonaponsko ispitivanje izvedeno je prema IEC 840 istosmjernim naponom 192 kV u trajanju 15 minuta.

5. SILA NATEZANJA KABELA ZA VRIJEME POLAGANJA

Metoda polaganja kojom se NKT koristi sastoji se u tome da kabel visi s lančanice H. P. Ladinga na priobalnu zaštitu, a uobičajeno je da kabel ostaje na priobalnoj zaštiti sa silom zatezanja približno $H = 2 - 6$ kN.

Sila zatezanja računa se po relaciji

$$T = k \times w + H,$$

gdje je

h — dubina mora

w — jedinična težina kabela u moru.

Pri polaganju kabela normalna sila zatezanja ovisi o dubini mora, kao što je prikazano:

kabel 300 mm² Cu (2–20) kN

kabel 400 mm² Cu (2–18) kN

optički kabel (0.5–6) kN

6. NAVIGACIJSKI SUSTAV I OBRADA PODATAKA

Pri polaganju kabela H. P. Lading voden je pomoću DGPS navigacijskog sustava (diferencijalni globalni pozicijski sustav položaja); DGPS je sistem određiva-

Pregledna tablica radova na polaganju

	Dužina (m)	Datum polaganja	Datum izrade kablskih završetaka	Datum visokonaponskog ispitivanja
o. Rab (u. Vašibaka) — o. Pag (rt Dedu) — 300 mm ² Cu				
En. kabel — trasa 1	10949	23. 06. 94.	23. 06. 94.	28. 06. 94.
En. kabel — trasa 2	11000	25. 06. 94.	26. 06. 94.	28. 06. 94.
En. kabel — trasa 3	11133	26. 06. 94.	27. 06. 94.	28. 06. 94.
Optički kabel	11010	25. 06. 94.	—	05. 07. 94.
Kopno (rt Kulina) — o. Pag (rt Seline) — 400 mm ² Cu				
En. kabel — trasa 1	2469	29. 06. 94.	29. 06. 94.	05. 07. 94.
En. kabel — trasa 2	2434	30. 06. 94.	01. 07. 94.	05. 07. 94.
En. kabel — trasa 3	2419	01. 07. 94.	02. 07. 94.	05. 07. 94.
Optički kabel	2417	30. 06. 94.	—	06. 07. 94.
o. Pag (u. Toretu) — Kopno (u. Koromačina) — 400 mm ² Cu				
En. kabel — trasa 1	2634	05. 07. 94.	06. 07. 94.	06. 07. 94.
En. kabel — trasa 2	2609	04. 07. 94.	04. 07. 94.	06. 07. 94.
En. kabel — trasa 3	2719	03. 09. 94.	03. 07. 94.	06. 07. 94.
Optički kabel	2660	04. 07. 94.	—	06. 07. 94.
o. Ugljan (Gnjoišće) — Kopno (Bibinje) — 400 mm ² Cu				
En. kabel — trasa 1	3739	08. 07. 94.	—	10. 07. 94.
En. kabel — trasa 2	3709	07. 07. 94.	—	10. 07. 94.
En. kabel — trasa 3	3734	09. 07. 94.	—	10. 07. 94.

nja pozicije zasnovan na američkom sustavu satelitskog pozicioniranja GPS. Zbog greške satelitskih signala ne može se postići tražena preciznost pozicioniranja koristeći samo GPS prijemnik. DGPS označava takozvani diferencijalni sustav pozicioniranja GPS. Kopnena stanica (postavljena na fiksnom položaju) spojena na radiovezu prenosi korekcijske signale na microtel (postavljen na brodu). Korištenjem ovih signala ispravljaju se pogrešni satelitski signali, te se postiže dinamička preciznost pozicioniranja od ± 1 m. GPS sustav kalkuliра poziciju u globalnom, geografskom koordinatnom sustavu WGS84. Iskalkulirana pozicija elektronički se upućuje na Navipac-sistem, koji WGS84 koordinate transformira u lokalne Gauss-Krügerove koordinate.

Navipac je navigacijski program koji kontinuirano kalkuliра koordinate i uskladištjuje podatke na disku. Navigacijskom sustavu dodan je odvojeni ekran za kormilara.

Za DGPS navigaciju koristi se prijamnik Ashtech GPS Z-12.

Dva GPS prijamnika povezana su data linkom:

Microtel — V4 — kanalski UHF predajnik i microtel 4-kanalski prijamnik.

Korištene su sljedeće geodetske točke:

o. Pag (u. Vašibaka) — o. Pag (rt Deda); o. Pag (u. Toreta) — Kopno (u. Koromačina)

Trigonometar br. 133 na otoku Rabu u Gauss-Grügerovim koordinatama:

E 5 488 422,28

N 4 951 061,98

te u WGS 84:

E 14° 50,95500'

N 44° 42,22991'

o. Pag (rt Seline) — Kopno (rt Kuline).

Poligona točka 13 na otoku Školjić u Gauss-Krüger koordinatama:

E 5 511 482,99

N 4 904 595,94

te u WGS 84:

E 15° 08,32 917

N 44° 17,13 763

o. Ugljan (Gnjoišće) — Kopno (Bibinje).

Lokalna točka nazvana RT3 smještena u luci GAŽENICA u Gauss-Krüger koordinatama:

E 5 521 614,0

N 4 882 498,0

te u WGS 84:

E 15° 15,91 417

N 44° 05,19 433

Nadalje, kompjutor uspješno kopira lokaciju broda za polaganje, tako da se trag može pratiti nakon završenog polaganja.

HEP je nakon polaganja od polagača dobio grafički i numerički obrađenu svaku pojedinu fazu — žilu svih četiriju kabelskih trasa.

Kompjutor je Hewlett — Packard serija 300, model 330 s odvojenom 4 MB procesnom jedinicom, tastaturom i 12" CRT. HP 330 je kompatibilan s Basic 5.1 i Pascal jezikom. Kompjutor je sistemski organizator. Interaktivni omogućuje povećanu kontrolu operatora pri sistemskim operacijama.

DISC DRIVE — koristi se HP 9153 s 10 MB winchester hard diskovima.

HP 9153 će se koristiti za program i bazu podataka.

PRINTER — Upotrebljava se printer HP 2225 Ink Jet A4.

PLOTTER — Hewlett Packard HP 7475 ploter za format A3. Brzina crtanja oko 381 mm/sek, sa sedam selektivnih crtača.

HELMSMAN'S DISPLAY — RGB monitor za HP 35741 je jedinica na daljinsko upravljanje koja kormilaru daje sve potrebne informacije.

Eksplander — kompjutor ima 8-bitni ekspander za relevantne interface svrhe.

GIRO — Sperry SR 50.

TRANSPORTATION AND LAYING OF THE 110 kV SUBMARINE CABLE OF THE ISLAND CONNECTION

For the full realisation of the island connection very important task was also the transportation and the laying of the submarine cable, that was realised by the Danish firm NKT for the needs of the Croatian National Electricity. Cables were delivered and transported by the laying boat-tug Henry P. Lading, and the total length was approximately 62 km (34 km — 300 mm² Cu and 28 km — 400 mm² Cu). All laying phases were worked out in detail, that has been followed and elaborated by the best current navigation and computer equipment.

TRANSPORT UND VERLEGUNG DER UNTERSEEKABEL 110 kV FÜR DIE »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Ein wichtiger Teil der vollen Verwirklichung des »Über-Inseln-Verbindung« genannten Projektes war der Transport und die Verlegung von Unterseekabeln, welche Arbeiten für die Zwecke der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft« die dänische Firma »NKT« durchgeführt hat.

Die Kabel in einer Gesamtlänge von etwa 62 km (34 km — 300 mm² Cu, sowie 28 km — 400 mm² Cu) sind mit dem Kabelverlegungs-Schleppkahn »HENRY P. LADING« transportiert und ausgeliefert.

Alle Stufen der, mittels allerneuesten Navigations- und Rechengaräten befolgt und durchgeführten Verlegung sind im Artikel ausführlich bearbeitet worden.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.

Mato Mijić, dipl. ing.

HEP, Direkcija za upravljanje i

prijenos, Ured potpore Split,

58000 Split, Hrvatska

Boris Živković, dipl. ing.

HEP DP »Elektra« Trogir

Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:

1994 — 11 — 08.

7. NAČIN PRIKUPLJANJA I USKLADIŠTENJA PODATAKA

Kompjutorski sustav izračunava koordinate i usporuđuje ih s koordinatama projektirane kabelske trase.

POLAGANJE KOPNENOG KABELA 110 kV BILI BRIG — TS ZADAR 1

Petar Čerina, Split — mr. Ivo Despot, Split — Filip Krnić, Split

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Navedene su sve faze polaganja podzemnog 110 kV kabela u složenim uvjetima urbanog područja grada Zadra. Za ostvarenje bilo je potrebno precizno odrediti sve faze rada i dinamiku izvođenja svih sudionika posla.

Ključne riječi: otočna veza, polaganje, kopneni kabel, kabela trasa, vučna sila, toplinska sonda.

UVOD

Kopnena kabela 110 kV veza KS »Bili Brig« — TS »Zadar Centar« (u izgradnji) TS »Zadar 1« dio je ukupnog projekta otočne veze. Izvedena je svojim najvećim dijelom kroz gusto naseljeno područje, isprepleteno prometnicama i drugim podzemnim instalacijama — vodovod, kanalizacija, TT linije, VN 35, 20 i 10 kV kabelima i NN kabelskim linijama. Ukupna je dužina kabela trase oko 4,7 km.

Kabel je jednožilni tip AXLJ, $1 \times 1000 \text{ mm}^2$ Al, ispušten je na 15 drvenih bubnjeva ukupne duljine 14 250 m.

Od tvornice u Švedskoj do Zadra prevezen je cestovnim putom. Polaganje kabela izveli su djelatnici HEP-a, DP Elektrodalmacije — Split uz nadzor stručnjaka ABB-a. Kabela spojnice i kabela završetke izradili su stručnjaci ABB-a uz asistenciju djelatnika DP Elektrodalmacije — Split.

1. NAČIN POLAGANJA

U iskopani i očišćeni kanal postavljena je posteljica od finog tucanika (granulacija »0« maksimalnog promjera 2 mm) u visini 35 cm, nakon čega je izvršeno nabijanje i izravnavanje. Na tako pripremljenu podlogu postavljena je PVC folija debljine 0,8 mm i širine 80 cm, na cijeloj trasi. Gusto su postavljeni koluturnici kako bi se smanjila sila povlačenja kabela. Kabeli su se povlačili s tri vučna stroja: glavnog stroja Haller, maksimalne vučne sile 3 000 kp, i dva pomoćna, maksimalne vučne sile 750 kp.

Povlačenje jedne dionice, čija je prosječna dužina iznosila 1 000 m, vršena je iz dva zahvata, a dužina poludionice ovisila je o broju lomova (skretanja) kabela i postojećih prepreka odnosno instalacija koje su presijecale kabelski kanal.

Na svakih 8—10 m, a na skretanjima svakako, bili su raspoređeni monter, sa zadaćom da prate kabel radi ispravljanja linije povlačenja premještanjem kolo-

turnika i čišćenjem kanala od urušavanja materijala. Takvim načinom rada, dobrom organizacijom, optimalnim brojem izvršilaca i ispravno razmještenim ručnim strojevima postignuti su dobri rezultati. Tako je brzina izvlačenja iznosila i do 25 m/min, a maksimalna vučna sila koju su registrirali instrumenti na stroju iznosila je kod najtežih dionica 1 860 kp. Nakon položene sve tri žile na dionici izvlačena je folija, na kojoj se zadržao urušeni materijal, tako da je posteljica ostala potpuno čista. Odmah se pristupilo vezanju kabela u trolist plastičnim vrpčama na udaljenosti 3—5 m.



Slika 1. Detalj polaganja kabela



Slika 2. Detalj polaganja kabela

Nakon izvršenog vezanja kabela obavljeno je postavljanje gornjeg sloja posteljice u visini 35 cm, nabijanje i postavljanje zaštitnih betonskih ploča dimenzija $60 \times 60 \times 6$ cm. Nakon čega se pristupilo zatrpavanju kablenskog kanala i postavljanju traka upozorenja.

Opisani način rada vrijedi za polaganje kabela u tzv. otvorenom kamalu, tj. kanalu bez prepreka. Za ostale dijelove dionica s karakterističnim presjecima predviđeni su dodatni građevni radovi: betoniranje dna kanala radi izravnjanja površine, postavljene betonskih nearmiranih montažnih elemenata za zaštitu kabela u »zatvorenom« kanalu, postavljanje bočnih betonskih nearmiranih ploča za zaštitu kabela kod realizacije II. etape, itd. (sl. 4, 5, 6).

Ovdje se može također napomenuti da je osim polaganja 110 kabela obavljeno i polaganje cijevi za optički kabel na cijeloj dužini, te još 20 kV kabela na dionici TS »Zadar Centar« — TS »Zadar 1«.

2. PETLJA KOD TS »ZADAR CENTAR«

Kako je već spomenuto, TS »Zadar Centar« je u izgradnji, a stupanj dogotovljenja radova nije omogućavao ulazak kabela u sami objekat iz pravca KS »Bili Brig« i TS »Zadar 1«, te da bi se ostvarila potrebna veza KS »Bili Brig« — TS »Zadar 1« obavljeno je spajanje kabela na platou sjeverozapadno od TS »Zadar Centar«.

Pri ovom zahvatu vodila se briga da se:

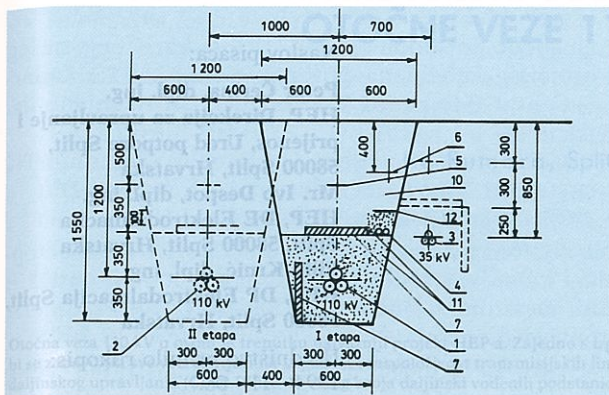
- osigura dovoljna duljina kabela pri izradbi spojki, kako bi ostaci kabela bili što manji kod konačnog rješenja ulaska u TS »Zadar Centar«
- stvore uvjeti da kabel može bez izgradnje TS »Zadar Centar« biti u pogonu.

To je postignuto tako da su na platou izgrađeni betonski nearmirani kanali za pet paralelnih dionica —

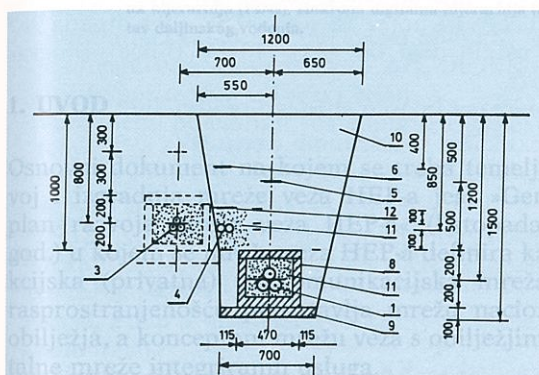


Slika 3. Kabelska »petlja« kod TS »Zadar Centar«

petlja u koje je nakon postavljanja donje posteljice položen kabel, te postavljen i gornji sloj posteljice. Kabelski betonski kanali zatim se pokriveni betonskim pločama i cijela je površina zatrpana (sl. 3).



Slika 4. »Otvoreni« kanal



Slika 5. »Zatvoreni« kanal

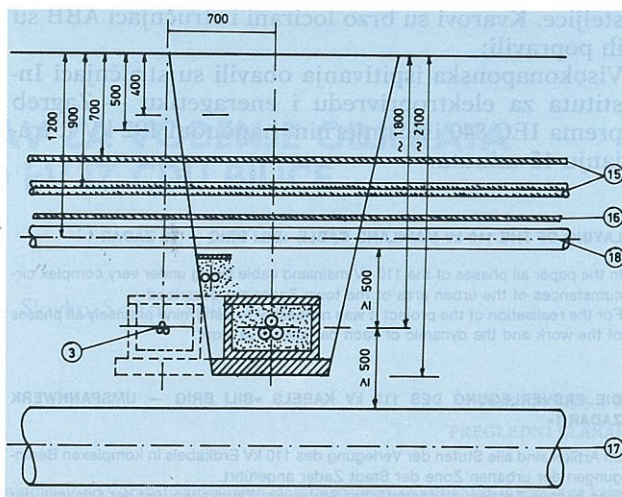
3. KONTROLA ZAGRIJAVANJA KABELA I OZNAČAVANJE

Za kontrolu zagrijavanja kabela postavljene su toplinske sonde na najugroženijim mjestima i vidljivo su označene metalnom pločom dimenzija 500 × 500 mm s natpisom »Toplinska sonda na KB 110 kV«. Inače, na svim većim kutovima loma, na križanjima s cestama, i ogradama u KS »Bili Brig« i TS »Zadar Centar« postavljene su metalne ploče dimenzije 150 × 150 mm s oznakom KB 110 kV. Također su na mestima izrade spojnice postavljene ploče s upisanim brojem i nadnevkom izradbe. (sl. 7).

4. ISPITIVANJE NA TERENU

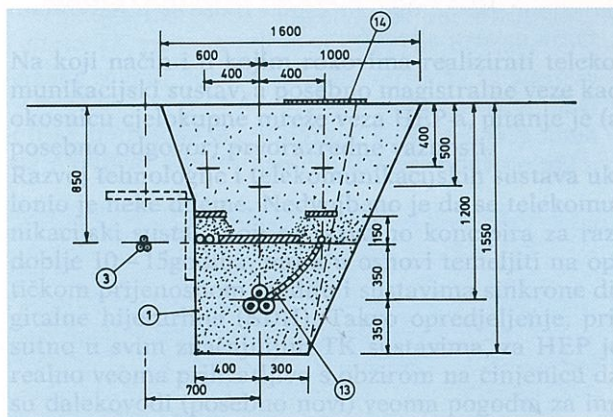
Radi sigurnosti višestruko je provedeno ispitivanje plašta kabela:

- ispitivanje plašta kabela na bubnjevima
- ispitivanje plašta kabela položenog na posteljicu
- ispitivanje plašta kabela nakon drugog sloja posteljice



Slika 6. »Zatvoreni« kanal KB 110 kV i križanja

1. — Kabel 110 kV — I etapa
2. — Kabel 110 kV — II. etapa
3. — Postojeći kabel 35 kV
4. — Cijevi za optičke kabele
5. — PVC upozoravajuća traka energetskog kabela 110 kV — crvena
6. — PVC upozoravajuća traka optičkog kabela 110 kV — žuta
7. — Betonska nearmirana ploča za zaštitu kabela u »otvorenom« kanalu
8. — Betonski nearmirani montažni element za zaštitu kabela u »zatvorenom« kanalu
9. — Betonski za izravnavanje dna jarka
10. — Nasip miješanim materijalom
11. — Zaštitna ispuna kamenim pijeskom
12. — AC ploča za zaštitu optičkih kabela
13. — Toplinske sonde
14. — Metalna ploča 500 × 500 mm — označavanje
15. — Distributivni energetski kabele
16. — PTT kabele
17. — PVC cijevi kanalizacije
18. — Vodovodna cijev



Slika 7. Toplinske sonde na KB 110 kV

- ispitivanje plašta kabela nakon izradbe spojnici
- ispitivanje plašta kabela nakon izradbe kabelskih završnica, tj. na ukupnoj dionici.

Ispitivanja su provedena u sklopu s odredbama IEC 229/1982 10 kV istosmjernim naponom u trajanju jedne minute, korištenjem kabelskih mjernih kola HDW — 700 DP Elektrodalmacija — Split.

U tri slučaja oštećenje se plašt zbog urušenog materijala prije postavljanja drugog sloja posteljice ili pak nepažnjom građevinskih radnika pri nanošenju po-

steljice. Kvarovi su brzo locirani i stručnjaci ABB su ih popravili:

Visokonaponska ispitivanja obavili su stručnjaci Instituta za elektroprivredu i energetiku — Zagreb prema IEC 840 istosmjernim naponom 192 kV u trajanju 15 minuta.

LAYING OF THE 110 kV MAINLAND CABLE »BILI BRIG — TS ZADAR 1«

In the paper all phases of the 110 kV mainland cable laying under very complex circumstances of the urban area of the town Zadar are described.

For the realisation of the project it was necessary to determine precisely all phases of the work and the dynamic of each participant at work.

DIE ERDVERLEGUNG DES 110 kV KABELS »BILI BRIG — UMSpannwerk ZADAR 1«

Im Artikel sind alle Stufen der Verlegung des 110 kV Erdkabels in komplexen Bedingungen der urbanen Zone der Stadt Zadar angeführt.

Eine genaue Festlegung sämtlicher Stufen der Tätigkeiten und der Dynamik der Ausführungsarbeiten aller beteiligten war notwendig, um die Verlegung durchzuführen.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.

HEP, Direkcija za upravljanje i

prijenos, Ured potpore Split,

58000 Split, Hrvatska

Mr. Ivo Despot, dipl. ing.

HEP, DE Elektrodalmacija

Split, 58000 Split, Hrvatska

Filip Krnić, dipl. ing.

HEP, DP Elektrodalmacija Split,

58000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:

1994—11—08.

TELEKOMUNIKACIJSKI SUSTAV ZA VOĐENJE OBJEKATA OTOČNE VEZE 110 kV IZ CDU BILICE

Ivo Rumora, Split — Slavko Saša, Split

UDK 621.395.661.15
PREGLEDNI ČLANAK

Otočna veza 110 kV u ovom je trenutku najvažniji projekt HEP-a. Zajedno s izgradnjom 110/x kV transformatorskih stanica realizira se i privatna mreža veza kako bi se zadovoljili sve veći zahtjevi na kapacitet i raspoloživost transmisijskih linkova za prijenos govora i podataka. U ovom članku se opisuje dio te mreže od centra daljinskog upravljanja (CDU) Bilice do većeg broja daljinski vodenih podstanica. Prijenos se ostvaruje optičkim nitima u zaštitnom užetu DV u kombinaciji s dionicama podmorskih optičkih kabela. Koriste se uređaji PDH.

Glavne riječi: elektromunikacijska mreža, optičko vlakno, plesiohrona digitalna hijerarhija (PDH), sinkrona digitalna hijerarhija (SDH), sustav daljinskog vođenja.

1. UVOD

Osnovni dokument na kojem se treba temeljiti razvoj i izgradnja mreže veza HEP-a jest »Generalni plan razvoja mreže veza HEP-a« (listopada 1993. god.) u kojem se mreža veza HEP-a definira kao funkcijska (privatna) telekomunikacijska mreža koja rasprostranjenost predstavlja mrežu nacionalnog obilježja, a konceptom mrežu veza s obilježjima digitalne mreže integriranih usluga.

Uzimajući u obzir tehnološke procese i poslovne cjeeline, kao i vrste informacija značajne za djelatnost HEP-a, identificiraju se podmreže (ukupno 10) od kojih se svojim značenjem ističu:

- Komutirana mreža (integrirana komutacija govora i podataka)
- Telefonska mreža dispečerske službe
- Mreža procesne informatike (uključuje SDV)
- Mreža poslovne informatike.

Sve podmreže koriste se kao podlogom za svoje funkcioniranje jedinstvenom mrežom (sustavom) veza, iz čega proizlazi da ta mreža mora u pogledu svoje strukture i tehničkih značajki objediniti zahtjeve svih korisnika.

Mreža procesne informatike, što i treba očekivati, posebno je zahtjevna u odnosu prema raspoloživosti (99,99 % za veze između nacionalnoga dispečerskog centra (NDC) i CDU/KL, a isto vrijedi i za veze objekata koji su u sustavu automatske sekundarne regulacije), dok su kapaciteti relativno skromni (64 kbit/s kanal korišten izravno ili uz primjenu submultipleksa na svim razinama izuzev razine NDC – CDU/KL). Mreža poslovne informatike koristi se većom brzinom prijenosa, tako da se kod nje u većoj mjeri susrećemo sa zahtjevom za brzinama prijenosa 2 i 8 Mbit/s, tj. znatno većim kapacitetima u TK mreži.

Logično je da se pojavljuju lokacije izrazite koncentracije više funkcija (podmreža), što te lokacije ujedno definira kao glavne čvorove (transmisijske i komutacijske) u mreži veza. Posebno se ističu, strukturom i brojem korisnika, područje Zagreba, Osijeka, Rijeke i Splita. Linkovi koji povezuju glavna čvorišta mreže veza predstavljaju magistralne veze HEP-a.

2. OTOČNA VEZA 110 kV — DIO MAGISTRALNOG PRAVCA VEZA HEP-a

Na koji način i u kojim rokovima realizirati telekomunikacijski sustav, a posebno magistralne veze kao okosnicu cjelokupne mreže veza HEP-a, pitanje je (a posebno odgovor) prvorazredne važnosti.

Razvoj tehnologije i telekomunikacijskih sustava uklonio je neke dileme. Nedvojbeno je da se telekomunikacijski sustav, koji se razvojno koncipira za razdoblje 10 – 15 godina, mora u osnovi temeljiti na optičkom prijenosnom mediju i sustavima sinkrone digitalne hijerarhije (SDH). Takvo opredjeljenje, prisutno u svim značajnijim TK sustavima, za HEP je realno veoma prihvatljivo s obzirom na činjenicu da su dalekovodi (posebno novi) veoma pogodni za implementaciju optičkog prijenosnog medija (optičkih niti).

U sklopu HEP-a do sada je izrađeno nekoliko projekata za određene pravce odnosno dionice magistralnih veza. Za nas je u ovom trenutku posebno važan idejni projekt »Optički TK sustav prijenosa HEP: Melina – Split – Dubrovnik« (ožujka 1994. god.) u kojem je:

- trasa otočne veze 110 kV, i to šire promatrano, tj. od TS Rab preko TS Zadar – Centar do TS/CDU Bilice, dionica ovog magistralnog pravca veza HEP-a
- utvrđena tehnička izvodivost te je pokazano da su EE objekti otočne trase 110 kV tako locirani da je

moгуće jednostavno odgranjavanje potrebnih TK kapaciteta, te da nisu potrebne dodatne regeneratorske stanice

- pokazano da je tehnička realizacija prijenosnog TK sustava moguća u PDH i SDH
- rečeno da pojedine relacije ne mogu zadovoljiti raspoloživost 99,99 %.

Uz gred napomena da je u 1993. godini ostvarena prva dionica ovoga magistralnog pravca s optičkim TK sustavom po DV 2×110 kV TS Komolac—Plat (HE Dubrovnik).

3. TEHNIČKO RJEŠENJE TK SUSTAVA OBJEKATA OTOČNE VEZE 110 kV

U skladu s utvrđenim razinama u sustavu daljinskog vođenja (SDV) te dogovorenim razgraničenjem, iz centra daljinskog upravljanja (CDU) Bilice, smještenog u istoimenoj TS 220/110/30 kV kod Šibenika, nadziru se odnosno upravljaju sljedeći elektroenergetski objekti (TS 110/× kV) otočne veze 110 kV: TS Zadar, TS Zadar—Centar, TS Nin, TS Pag i TS Novalja. Na istom pravcu, gledano iz CDU Bilice, nalaze se i TS Biograd te (planirana) TS Kapela — vidi sl. 1.

Tehničko rješenje TK sustava u osnovi se temelji na optičkom prijenosnom mediju realiziranom optičkim nitima u zaštitnom užetu DV, te podzemskim i podzemnim optičkim kabelima položenim uz energetske 110 kV kabele. Samo za najkritičniju funkciju (daljinsko vođenje) realizira se i minimalni broj rezervnih kanala veze kroz sustav HPT odnosno v.f. veza (postojećim) po DV.

U prilog izgradnje optičkog prijenosnog medija (u daljnjem tekstu: optički kabel) može se u najkraćim crtama navesti sljedeće:

- realizacija značajne dionice južnog pravca magistralnih vaza HEP-a
- nemogućnost da se potrebni TK kapaciteti za objekte otočne veze 110 kV, čak i samo za SDV i go-

vorne veze, te utvrđena raspoloživost veza, ostvare dopunama odnosno proširenjem postojećeg sustava veza (min. potrebnih 4 TK kanala prosječno po pojedinoj dionici odnosno objektu; raspoloživost 99,99 % za CDU — TS Zadar—Centar i 99 % CDU — ostali objekti),

- službeno potvrđen interes HPT za korištenje našeg optičkog kabela na potezu TS Rab — TS Zadar—Centar (što pruža šire mogućnosti razmjene kapaciteta),
- izuzetno povoljna cijena (po kanalu) digitalnih TK sustava u odnosu na »klasične« v.f. veze po DV,
- visoka cijena zakupa TK kapaciteta HPT.

Na cijelom potezu od TS Rab do TS/CDU Bilice optički kabel se ostvaruje sa 10 jednododnih optičkih niti, uz iznimku dijela kroz Zadar (12 niti) namjena kojih je sljedeća:

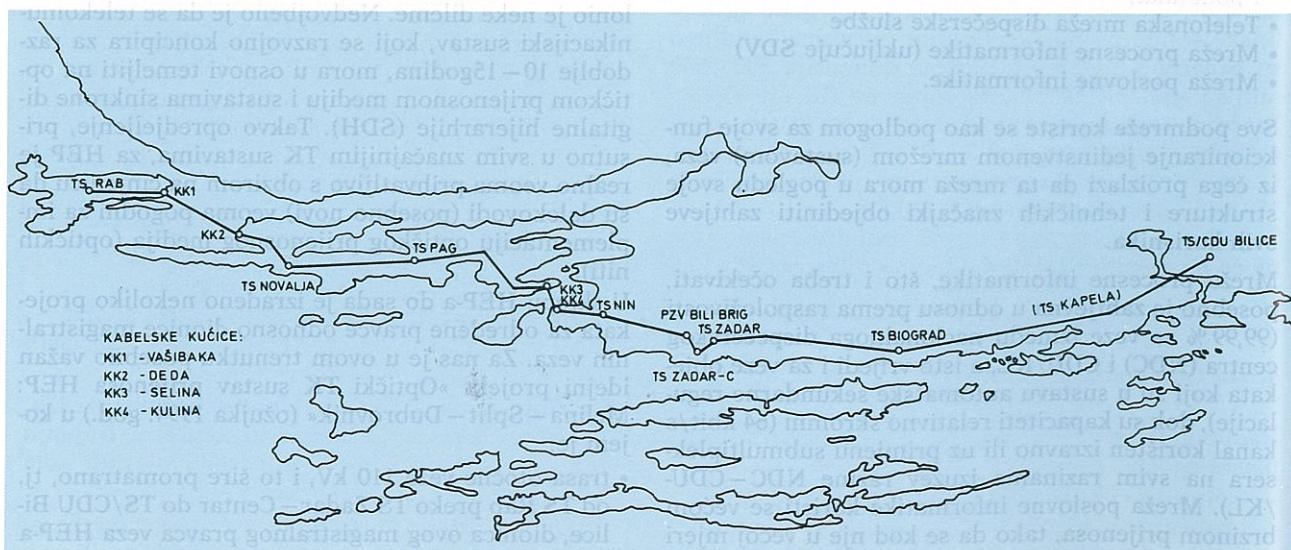
- 6 niti za potrebe HEP-a (2—magistralne veze; 2—lokalna povezivanja; 2—rezerva)
- 4 niti za potrebe HPT.

Ukupna duljina optičkog kabela iznosi približno 164 km (od čega na potez TS Rab—TS Zadar otpada 96,5 km, a ostalo nosi DV (2x) 110 kV Bilice—Biograd—Zadar).

Po dionicama imamo sljedeću realizaciju:

- Optički kabel u zaštitnom užetu DV:
TS Rab—KK Vašibaka (11,8 km); KK Deda—TS Novalja (9,1 km); TS Novalja—TS Pag (16,2 km); TS Pag—KK Selina (20,7 km); KK Kulina—TS Nin (7,2 km); TS Nin—PZV Bili Brig (13,8 km); TS Zadar—TS Biograd (23,5 km); TS Biograd—(TS Kapela)—TS/CDU Bilice (44 km)
- Podzemski optički kabel:
KK Vašibaka—KK Deda (11,1 km); KK Selina—KK Kulina (2,2 km)
- Podzemni optički kabel:
PZV Bili Brig—TS Zadar—Centar (1,8 km); TS Zadar—Centar—TS Zadar (2,3 km).

U svim objektima optički kabeli završavaju na optičkom razdjelniku, što daje punu fleksibilnost pri ko-



Slika 1. Pregled objekata i trase otočne veze

rištenju niti i omogućuje jednostavnu kontrolu (mjenjača) svake dionice.

Pri određivanju konfiguracije i kapaciteta (optičkog) TK sustava objekata otočne veze 110 kV razmotreno je i uzeto u obzir sljedeće:

- **Telefonska komutacija**

Postojeći objekti prijenosne mreže na širem području Zadra povezani su, kao daleki pretplatnici, na elektroprivrednu automatsku telefonsku centralu (EATC) tip E-100 u TS/CDU Bilice. Ta EATC je komutacijski čvor druge razine. Porastom broja EE objekata, te udaljenosti istih od CDU Bilice, nameće se potreba uvođenja komutacijskog čvora treće razine za ovo područje (dodatni razlog je ograničeni kapacitet EATC Bilice). TS Zadar – Centar pokazuje se kao najpovoljnija lokacija za novu EATC zbog pregledne zvjezdaste strukture mreže na trećoj razini komutacije, te lokacije dispečerskoga upravljačkog centra (DUC) DP Elektra Zadar u tom objektu.

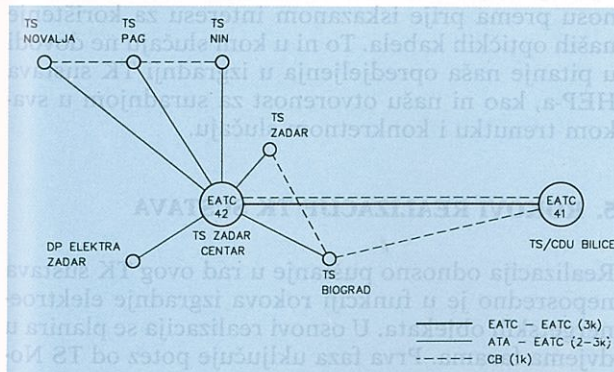
Objekti TS Zadar, TS Nin, TS Pag, TS Novalja i TS Biograd priključuju se na ovu EATC kao daleki pretplatnici (2–3 priključka po objektu). Tehnički je omogućeno i povezivanje KATC DP Elektra u Zadru te poslovnica u Pagu i Ninu.

Veze među pojedinim susjednim EE objektima ostvaruju se i kao CB veze.

EATC Zadar – Centar i EATC CDU Bilice povezuju se sa 3 kanala (međumjesni promet).

U TS Novalja, kao graničnom objektu područja dvaju CDU-a, omogućena je i ručna komutacija veza (preko KTP).

Na sl. 2 dan je shematski prikaz rješenja telefonske komutacije.



Slika 2. Rješenje telefonske komutacije

- **Sustav daljinskog vođenja (SDV)**

Svaki daljinski vođeni objekt (TS 110/x kV) povezuje se na CDU Bilice jednim direktnim telekomunikacijskim kanalom za brzine prijenosa do 2 400 bit/s (mogućnost prijelaza na 64 kbit/s). Iako će u prvom razdoblju biti korištene manje brzine prijenosa (TS Zadar Centar: 1 200 bit/s, ostali objekti: 200 bit/s) što uvjetuje postojeća oprema u CDU Bilice i v.f. veze po DV koje će se koristiti kao rezervni kanali za SDV, novoizgrađeni dijelovi mreže veza moraju poštivati odrednice Generalnog plana razvoja mreže veza HEP-a.

Za potrebe DUC DP Elektra Zadar osigurava se po jedan TK kanal za upravljanje srednjenaponskim postrojenjem u TS Nin, TS Pag i TS Novalja.

- **Sustav poslovne informatike (AOP)**

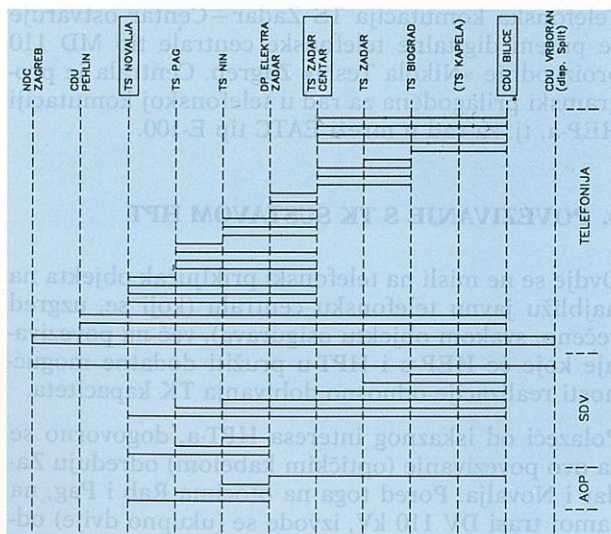
U TK sustavu objekata otočne veze 110 kV uzet je u obzir potrebni kapacitet (kanali) za centar obrade podataka DP Elektra Zadar.

- **Povezivanje na CDU Pehlin i NDC u Zagrebu**

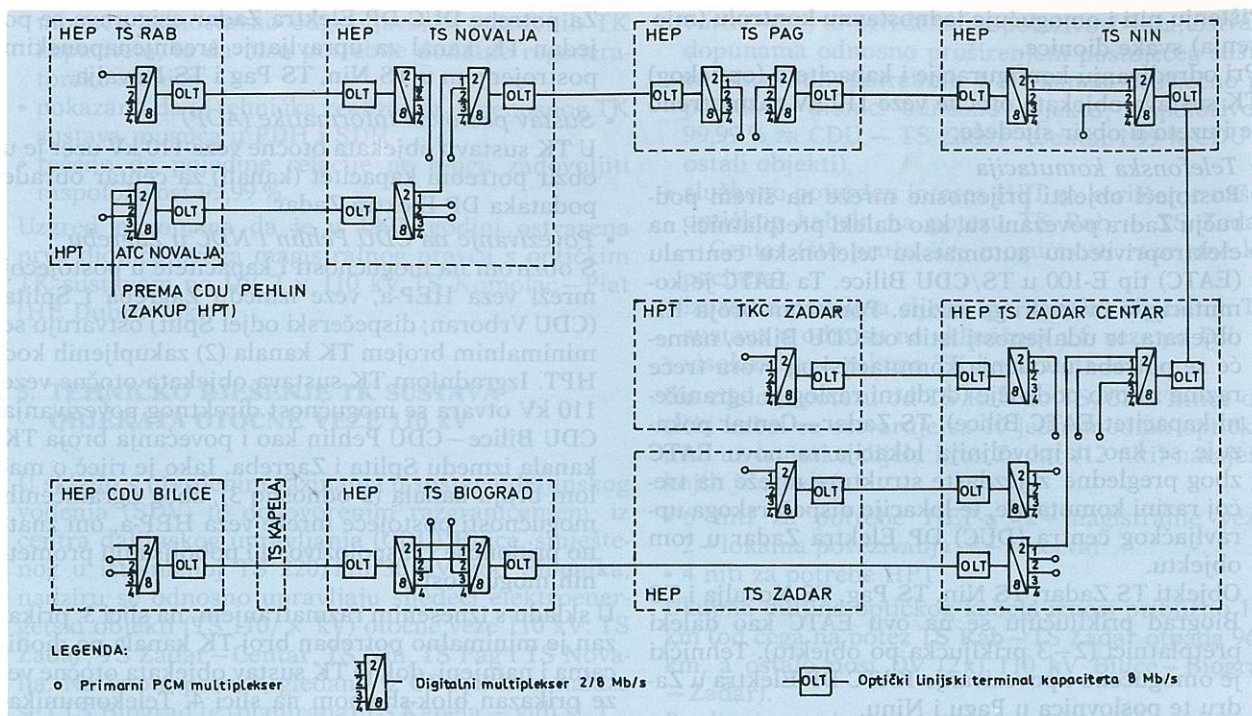
S obzirom na mogućnosti i kapacitete u postojećoj mreži veza HEP-a, veze između Zagreba i Splita (CDU Vrboran; dispečerski odjel Split) ostvaruju se minimalnim brojem TK kanala (2) zakupljenih kod HPT. Izgradnjom TK sustava objekata otočne veze 110 kV otvara se mogućnost direktnog povezivanja CDU Bilice – CDU Pehlin kao i povećanja broja TK kanala između Splita i Zagreba. Iako je riječ o malom broju kanala (2 odnosno 3), zbog ograničenih mogućnosti postojeće mreže veza HEP-a, oni znatno pridonose i raspoloživosti i poboljšanju prometnih mogućnosti.

U skladu s iznesenim razmatranjem, na slici 3. prikazan je minimalno potreban broj TK kanala po dionicama i namjeni, dok je TK sustav objekata otočne veze prikazan blok-shemom na slici 4. Telekomunikacijski sustav realizira se s linijskim optičkim terminalima 8 Mbit/s. Uređaji rade na valnoj duljini 1 300 nm (II prozor). Broj primarnih PCM multipleksa (2 Mbit/s), opremljenih uglavnom sa svih 30 kanala, prilagođen je neposrednim potrebama odnosno mogućnostima korištenja. Budući da se u ovom trenutku sva povezivanja rade na nivou kanala, jedna 2 Mbit/s grupa može se koristiti za više objekata.

Može se postaviti pitanje što je s telekomunikacijskim kanalima koji bi se koristili za prijenos signala/naloga zaštite dalekovoda. Pri određivanju kapaciteta TK sustava oni nisu neposredno navedeni jer takav zahtjev nije postavljen. Iznimka je dionica TS Zadar Centar – TS Zadar, na kojoj će se dvije optičke niti koristiti za međusobnu komunikaciju uređaja digitalne diferencijalne zaštite. Odabrani kapacitet TK



Slika 3. Minimalni potrebni broj kanala između objekata



Slika 4. Blok-shema TK sustava otočne veze

sustava omogućuje, međutim, uz minimalne dodatne zahvate osiguranje potrebnog broja kanala za ovu funkciju.

Taj TK sustav, iako prije svega rješava »lokalna« povezivanja, može »ponuditi« dvije 2 Mbit/s grupe magistralnom pravcu veza.

Sustav je realiziran uređajima plesiochrone digitalne hijerarhije (PDH), što u idućem razdoblju u potpunosti zadovoljava, a to treba shvatiti kao međukorak do šire primjene SDH u mreži veza HEP-a.

Opremu za realizaciju prve faze TK sustava u cjelini isporučuje poduzeće »Nikola Tesla« Zagreb (uređaji su proizvodnje »Telettra« i »Nikola Tesla«).

Telefonska komutacija TS Zadar—Centar ostvaruje se putem digitalne telefonske centrale tip MD 110 proizvodnje »Nikola Tesla« Zagreb. Centrala je programski prilagođena za rad u telefonskoj komutaciji HEP-a, tj. za rad u mreži EATC tip E-100.

4. POVEZIVANJE S TK SUSTAVOM HPT

Ovdje se ne misli na telefonski priključak objekta na najbližu javnu telefonsku centralu (koji se, uzgred rečeno, svakom objektu osigurava), već na povezivanje koje će HEP-u i HPT-u pružiti dodatne mogućnosti realizacije odnosno dobivanja TK kapaciteta.

Polazeći od iskaznog interesa HPT-a, dogovorno se za ovo povezivanje (optičkim kabelom) određuju Zadar i Novalja. Pored toga na otocima Rab i Pag, na samoj trasi DV 110 kV, izvode se (ukupno dvije) odvojne optičke spojnice u kojima se ostavljaju po 4 optičke niti HPT-u na korištenje.

Povezivanje TK sustava odmah omogućuje HEP-u povezivanje 2 Mbit/s grupom CDU Pehlin na CDU Bilice (Zakup na relaciji Novalja — CDU Pehlin). U ovoj će se etapi za to koristiti jedan dio kapaciteta (kanala).

Potrebno je međutim, upozoriti na znakovito, u posljednje vrijeme izraženo distanciranje HPT-a u odnosu prema prije iskazanom interesu za korištenje naših optičkih kabela. To ni u kom slučaju ne dovodi u pitanje naša opredjeljenja u izgradnji TK sustava HEP-a, kao ni našu otvorenost za suradnjom u svakom trenutku i konkretnom slučaju.

5. ROKOVI REALIZACIJE TK SUSTAVA

Realizacija odnosno puštanje u rad ovog TK sustava neposredno je u funkciji rokova izgradnje elektroenergetskih objekata. U osnovi realizacija se planira u dvjema fazama. Prva faza uključuje potez od TS Novalja do TS Zadar, a druga TS Zadar — TS Biograd — TS Bilice.

Konkretno to znači da će do kraja ove godine (moguće i nešto prije) biti kompletno položen odnosno postavljen optički kabel od TS Novalja do TS Zadar, no ne ulazi na lokaciju TS Pag (izgradnja još nije započela), a u TS Zadar-Centar, s obzirom na stanje građevinskih radova, samo se uvodi i obavlja privremeno spajanje minimalnog broja niti u zadnjem kabelskom zdcencu. Znači, uspostaviti će se samo dio veza, i to u konfiguraciji nešto različitoj od ovdje iznesene. Potkraj prvog kvartala 1995. god., s puštanjem u rad TS Zadar-Centar, bit će završena i prva faza TK sustava. Druga faza, a time i cijeli sustav, trebala bi biti ostvarena potkraj 1995. godine.

Takva fazna izgradnja vlastitog TK sustava nužno uvjetuje, u cijelom razdoblju od stavljanja pod napon TS Novalja pa do realizacije i druge faze TK sustava znatnije korištenje telekomunikacijskih kapaciteta HPT (zakup), posebno između Zadra i CDU Bilice.

6. ZAKLJUČAK

Telekomunikacijski sustav za vođenje objekata otočne veze 110 kV iz CDU BILICE predstavlja suvremen TK sustav bez kojeg se funkcija SDV-a ne može ostvariti. To ni u kojem slučaju nije projekt za »lokalne« potrebe jednog DCU-a, već ima izuzetnu važnost za cjelokupnu mrežu veza HEP-a, jer je to i prvi krupni korak u realizaciji magistralnih veza, kao i korištenju optičkog medija. Jedino uz ovakvu orijentaciju i spremnost da se još intenzivnije nastavi s izgradnjom, u prvom redu magistralnih pravaca u mreži veza HEP-a, može se nadoknaditi zaostajanje koje je već sasvim evidentno na ovom području.

LITERATURA

- [1] »Generalni plan razvoja mreže veza HEP-a« (listopad 1993. god.)
- [2] Idejni projekt »Optički TK sustav prijenosa HEP Zagreb — (Melina) — Split — Dubrovnik« (ožujak 1994. god. — Elektroprojekt Zagreb)
- [3] »Otočna veza 110 kV — Idejno rješenje telekomunikacija« (siječanj 1994. god. — HEP Projektni biro Split)

TELECOMMUNICATION SYSTEM FOR THE CONTROL OF THE 110 kV ISLAND CONNECTION FROM THE REMOTE CONTROL CENTRE BILICE

The 110 kV island connection is at the moment the most important project of the Croatian National Electricity. Together with a construction of 110/x kV transformer substations, a private telecommunication network has been realised to meet the growing demands considering capacity and availability of the transmission links for the speech and data transmission. A part of that network stretching between the control centre (CDU) Bilice and a number of remote controlled substations is described in this article. Optical fibre earth wire together with sections of submarine optical cable are used to form the transmission path. Equipment used is that of the PDH.

FERNMELDESISTEM FÜR DIE OBJEKTENFÜHRUNG DER »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG« 110 kV AUS DER FERNSTEUERUNGSSTELLE BILICE

Zur Zeit ist die »Über-Inseln-Verbindung« 110 kV der wichtigste Projekt der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft«.

Um dem immer größeren Verlangen nach mehr Kapazität und Verfügbarkeit der Fernmeldeverbindungen für die Übertragung von Sprache und Daten nachzukommen, wird zusammen mit dem Ausbau der Umspannwerke 110/x kV, das eigene Fernmeldenetz hergestellt. In diesem Artikel wird jener Teil dieses Fernmeldenetzes beschrieben, welcher von der Fernsteuerungsstelle »Bilice« zu mehreren ferngesteuerten Unterwerken führt. Die Übertragung wird durch optische Faser im Erdseil der Fernleitungen in Verknüpfung mit den Abschnitten der optischen Unterseekabel verwirklicht. Verwendet werden die Einrichtungen der plesiosynchronen digitalen Hierarchie (PDH).

Naslov pisaca:

Ivo Rumora, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Prp Split,
58000 Split, Hrvatska,
Slavko Saša, dipl. ing.
HEP, Projektni biro Split,
58000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 1994-11-08.

UTJECAJ NAČINA POLAGANJA PODMORSKIH JEDNOŽILNIH KABELA NA ELEKTROKOROZIJU METALNOG PLAŠTA

Petar Čerina, Split — Bruno Šaina, Opatija

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Do sada se prilikom polaganja podmorskih jednožilnih kabela nije mislilo o sprečavanju propadanja metalnog plašta kabela zbog djelovanja elektrokorozije. Ova pojava je teoretski razmatrana i dane su smjernice za njeno izbjegavanje. Posebno su obrađena rješenja za smanjenje elektrokorozije metalnih plašteva za jednožilne kabele 110 kV na podmorskim trasama otočne veze 110 kV TS Rab — TS Zadar

Glavne riječi: podmorski kabel, elektrokorozija, polaganje kabela.

UVOD

Podmorski jednožilni kabele zaštićeni su od mehaničkih oštećenja plaštem od čelične galvanizirane žice ili aluminijske žice.

Kabele su pod morem položani u jednoj ravlini na projektiranoj međusobnoj udaljenosti pojedinih faza. Ta udaljenost je veća od dubine mora na mjestima polaganja. Uz obalu se približavaju i ulaze u zajedničku priobalnu zaštitu.

U području približavanja odnosno udaljavanja podmorskih jednožilnih kabela (što je redovito u priobalnom dijelu podmorske trase) pojavljuje se elektrokorozija metalne armature zbog toka struje iz metalnog plašta u more.

Uzrok je pojavi korozije u nastanku elektromagnetnog polja koje inducira poprečne komponente napona u zonama približavanja odnosno udaljavanja pojedinih faza kabela. Tu složenu elektromagnetsku pojavu kao i način njezina smanjenja, razradili smo zajedno s stručnjacima proizvođača kabela ABB Švedska.

1. TEORIJSKO RAZMATRANJE

Struja u metalnom plaštu kabela jest:

$$I_p = \frac{-jX}{R + jX} I_v \quad (1)$$

I_p — struja plašta (A)

I_v — struja vodiča (A)

R — otpor plašta (ohm/faza $\times$ m)

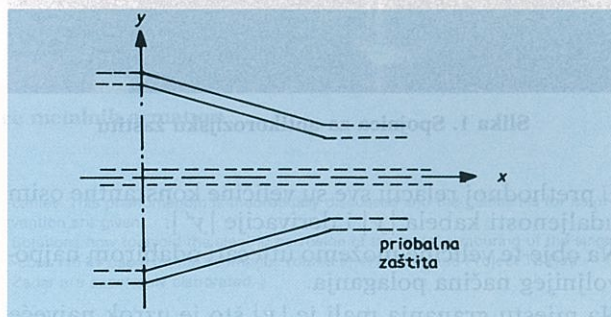
X — reaktanca plašta (ohm/faza $\times$ m)

Reaktancija metalnog plašta jest:

$$X = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \left(\frac{2y}{d} \right) \quad (2)$$

y — razmak faza (m)

d — vanjski promjer metalne armature plašta (m)



Na kosom dijelu trase (crtež) inducirani napon se uzduž metalnog plašta mijenja, pa se i struja mijenja, t.j. nastaje tok struje u more — korozijska struja.

Njezina veličina se određuje derivacijom jednadžbe (1) po kosom dijelu kabela trase:

$$\frac{\partial I_p}{\partial s} P = -j \frac{\partial X}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial s} \frac{R}{(R + jX)^2} I_v \quad (\text{A/m}) \quad (3)$$

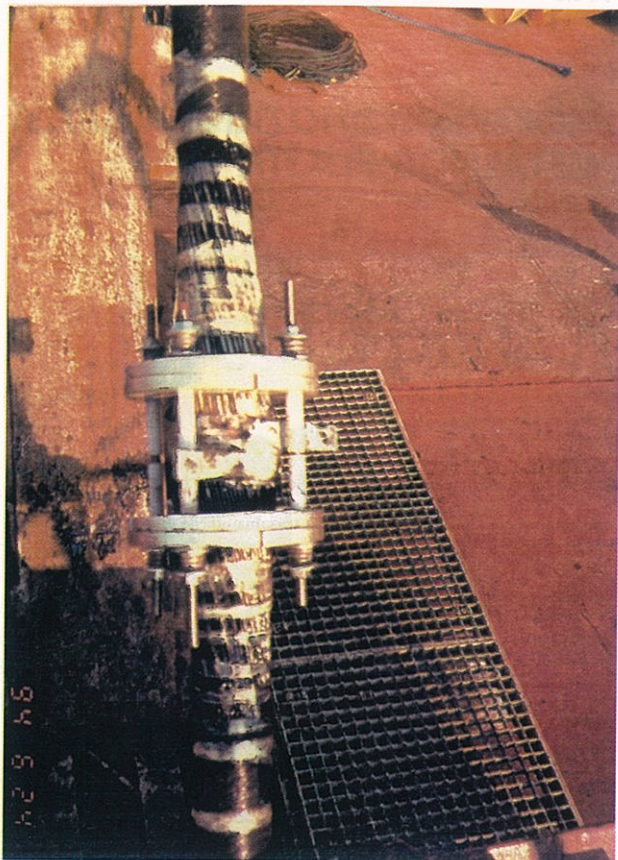
$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$\frac{\partial y}{\partial s} = \frac{y'}{\sqrt{1 + (y')^2}}$$

Sredjenjem jednadžbe (2) dobijemo relaciju:

$$\frac{\partial I_p}{\partial s} = -j \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{1}{y} \cdot \frac{y'}{\sqrt{1 + (y')^2}} \cdot \frac{R}{\left(R + j \frac{\omega\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{2y}{d} \right) \right)^2} \cdot I_v \quad (4)$$

Gustoća korozijske struje dobije se dijeljenjem jednadžbe (4) opsegom kabela $d \times \pi$ (m).



Slika 1. Spojnica za antikorozijsku zaštitu

U prethodnoj relaciji sve su veličine konstantne osim udaljenosti kabela $|y|$ i derivacije $|y'|$.

Na obje te veličine možemo utjecati odabirom najpovoljnijeg načina polaganja.

Na mjestu grananja mali je $|y|$ što je uzrok najveće gustoće korozijske struje.

Mala vrijednost $|y'|$ znači blagu strminu, što ima za posljedicu smanjenje gustoće korozijske struje.

2. ZAŠTITA OD KOROZIJSKE STRUJE PODMORSKIH JEDNOŽILNIH KABELA ZA OTOČNU VEZU 110 kV

Podmorski kabeli 110 kV otočne veze su jednožilni s izolacijom od umreženog polietilena, olovnom plaštem debljine 2,5 mm, mehaničkom zaštitom od aluminijske žice debljine 4 mm iznad koje je završni sloj debljine 2 mm (namot od polipropilena) koji propušta more. Presjeci kabela su 300 mm² Cu i 400 mm² Cu, a proizvodnje su ABB Švedska.

Kabeli su položeni pod morem u jednoj ravnini na međusobnoj udaljenosti pojedinih faza većoj od dubine mora. U priobalnom dijelu faze se postupno približavaju i ulaze u zajedničku priobalnu zaštitu. U priobalnoj zaštiti i na kopnenoj trasi kabeli su položeni u trolistu.

Da bi se izbjeglo djelovanje elektrokoroziije, postupilo se ovako:

- na mjestu grananja jednožilnih kabela (mali y — kabeli blizu) treba očekivati relativno veliku gustoću korozijske struje. Zato je u blizini priobalne zaštite (mjesto grananja kabela) izvedeno međusobno galvansko spajanje metalnih plašteva svih triju jednožilnih kabela,
- postupno udaljšavanje (niska derivacija y') između faza u moru.

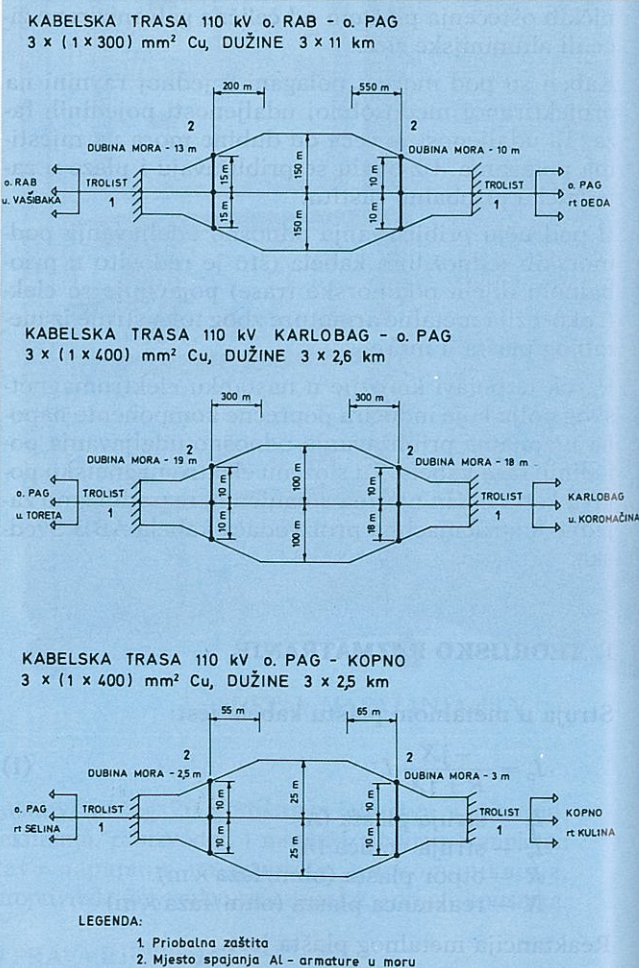
Navedeno je prikazano na priloženim slikama 2. i 3.

3. ZAKLJUČAK

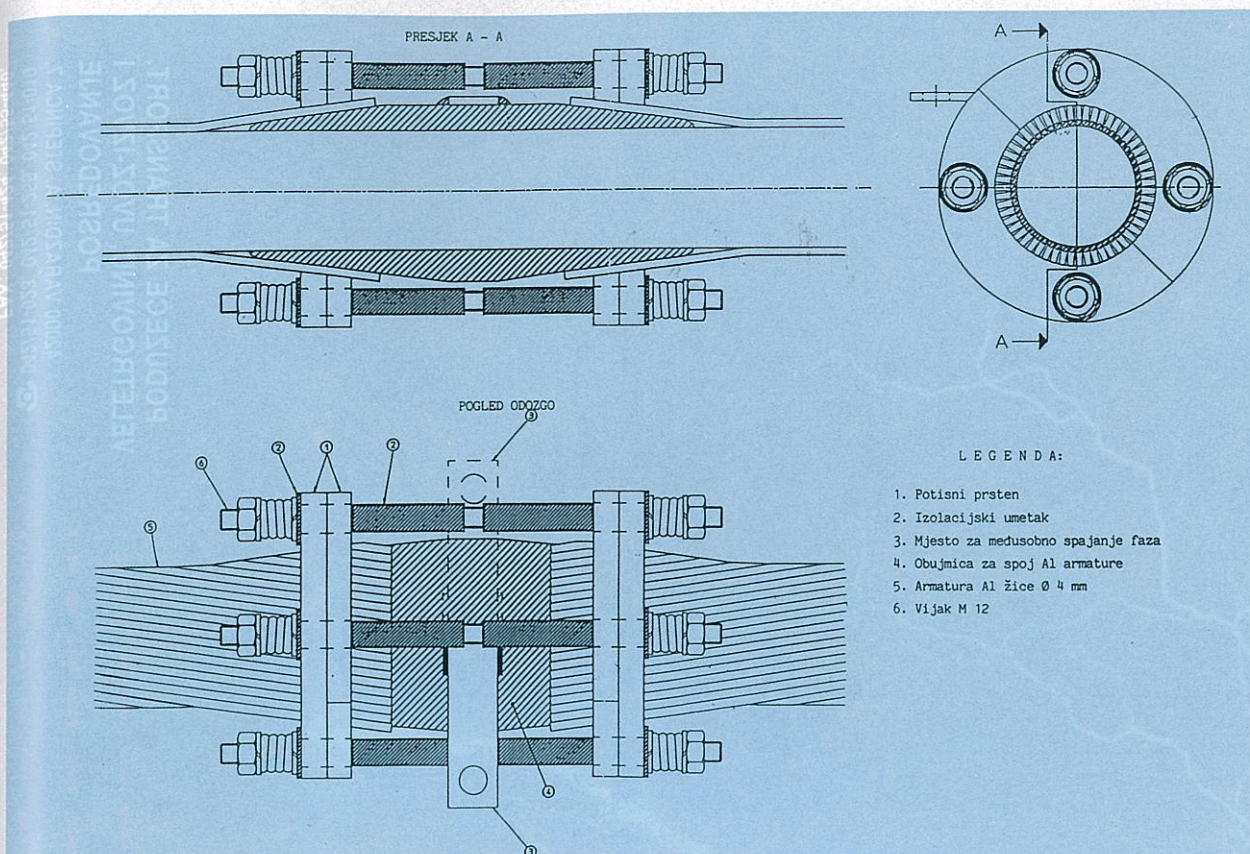
Da bi se izbjegla elektrokoroziija metalnih plašteva, treba nastojati da se jednožilni kabeli pod morem polažu u jednoj ravnini što bliže i bez nagiba, a na kopnu treba međusobno povezati metalne plaštevne svih triju faza.

Da bismo udovoljili tom vrlo strogom kriteriju pri projektiranju, treba voditi brigu o sljedećem:

- o udaljenosti pod morem pojedinih faza radi ujeta radova na moru, popravaka, konfiguracije morskog dna,



Slika 2. Kabelske trase 110 kV »Otočne veze« — polaganje kabela i zaštita od električne korozije



Slika 3. Detalj spojnice metalnih armatura

- je li zajednička priobalna zaštita za sve tri faze ili nije (problem »grananja« pojedinih se faza može izbjeći ako imamo posebnu priobalnu zaštitu za svaku fazu, no to je rješenje skupo i traži dosta prostora u ishodišnoj točki),
- o polaganju kabela pod morem u trolistu (ovo se preporučuje za dubine do 20 m).

Sigurno će za svaku podmorsku kabelsku vezu trebati naći najpovoljnije rješenje, ali svakako takvo da se elektrokorozijska svede na najmanju mjeru.

4. BUDUĆI ZADACI

- provjeriti ima li oštećenja na metalnim plaštevima djelovanjem struje korozijske kod jednožilnih kabela koji su već duže vremena u pogonu
- dogovoriti način stalnog praćenja ove pojave
- znanstveno produbiti nastanak elektrokorozijske u području izmjeničnih struja.

LITERATURA

Tehnička dokumentacija proizvođača kabela ABB Švedska.

THE INFLUENCE OF SUBMARINE SINGLE-CORE CABLE LAYING METHOD ON THE ELECTRIC CORROSION OF THE METAL ARMOURING

Untill now not enough attention has been paid to prevent deterioration of the cable metal armouring due to electric corrosion by laying of the submarine single core

cables. This phenomenon is theoretically discussed and the guidelines for its prevention are given.

Solutions how to avoid the electric corrosion of the metal armouring of the single-core 110 kV cable on the submarine routes of »110 kV Island Project TS Rab — TS Zadar are separately elaborated.

DER EINFLUSS DER VERLEGUNGSART EINADRIGER UNTERSEEKABEL AUF DIE KORROSION DES METALLMANTELS

Bisher hat man bei der Verlegung einadriger Unterseekabel dem Verfall des Metallmantels der Kabel durch die Einwirkung von Elektrokorrosion keine Aufmerksamkeit gewidmet. Diese Erscheinung ist theoretisch bearbeitet worden und es sind Richtlinien für deren Vermeidung gegeben.

Besonders bearbeitet sind die Maßnahmen zur Einschränkung der Elektrokorrosion der Metallmanteel einadriger 110 kV Kabel an den unter See verlaufenden Trassen der »Über-Inseln-Verbindung« 110 kV: »Umspannwerk Rab — Umspannwerk Zadar.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split, 58000 Split, Hrvatska
Bruno Šaina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Prp Elektroprijenos Opatija, 51410 Opatija, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994 — 11 — 08.

SNIMANJE POLOŽENIH PODMORSKIH KABELA 110 kV OTOČNE VEZE

Petar Čerina, Split — Petar Senjanović, Rijeka

UDK 621.315.2
PREGLEDNI ČLANAK

Podmorski kabeli 110 kV Otočne veze pregledani su na morskom dnu upotrebom daljinski upravljane ronilice — skraćenica R. O. V. (Remotely Operated Vehicle) Prikazani su osnovni podaci o upotrebnoj opremi, te je prikazan način rada i rezultati.

Ključne riječi: podmorski kabeli, način polaganja, metalni plašt, elektrokorozija.

1. UVOD

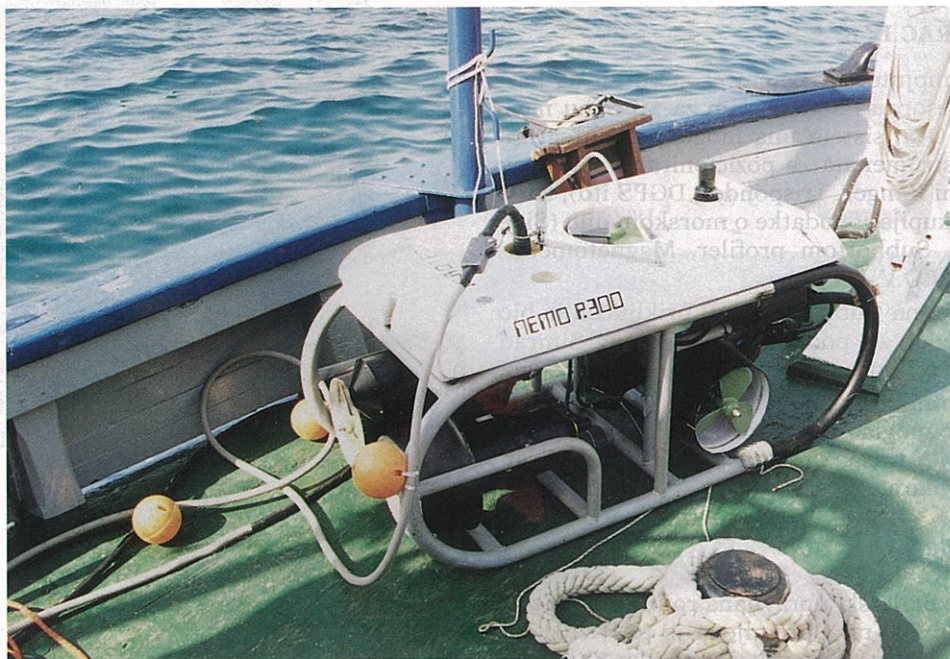
Sve objekte izgrađene ili položene na morsko dno potrebno je tijekom gradnje ili nakon završetka pregledati te dati prikaz postojećeg stanja. Kako je većina građevinskih objekata (lukobrani, priobalne zaštite, podmorski temelji) izgrađena u priobalju, pregledi se najčešće izvode ronjenjem, podvodnim mjerenjem i podvodnom fotografijom.

Pregledi naftovoda, vodovoda i podmorskih energetskih i telekomunikacijskih kabela položenih na morsko dno (uglavnom na većim dubinama) danas se obavljaju daljinski upravljanim ronilicama, koje se mogu spustiti na morsko dno i do 1 000 m dubine. Ronilice su opremljene motorima i propelerima

smještenim tako da se mogu gibati u svim smjerovima. Na njih se montiraju telekamere, rasvjeta, razni senzori, već prema tome kakva je vrsta pregleda. Upravljanje su s površine preko multipolarnog kabela namotanog na vitlo. Upravlja se s upravljačke konzole na kojoj su smješteni uređaji za podvodnu navigaciju, kao i ekrani za promatranje podmorja. Snimanje se registrira na video vrpce.

Taj način pregleda objekata položenih na morsko dno omogućuje stručnjacima da s površine, ili naknadno pregledom videovrpca, donesu meritornu ocjenu o kakvoći obavljenog posla.

Stručni naziv ronilica je R.O.V. (Remotely Operated Vehicle).



Slika 1. R.O.V. NEMO P 300

Geodetski zavod Rijeka d.d. u suradnji sa talijanskom tvrtkom IMPRESUB iz Trenta obavio je u kolovozu i rujnu 1994. pregled Otočne veze 110 kV. Upotrijebljena je ronilica R.O.V. Nemo P.300 (sl. 1) sa svim pratećim uređajima i stručnjacima koji ih opslužuju. Pregled je obavljen istraživačkim brodom »Vila Velebita« kojem je vlasnik institut »Ruder Bošković«.

2. KRATAK OPIS NAVIGACIJSKE OPREME

2.1. DGPS (Diferencijal Global Position System) Trimble 4000

Diferencijalna GPS metoda mjerenja upotrebljava se uglavnom u geodeziji i preciznoj navigaciji. To je poboljšana metoda u satelitskom određivanju položaja točke na površini Zemlje. Dok ustaljeno određivanje geografskih koordinata neke točke na površini Zemlje koristi prostorni presjek natrag sa 4 vidljiva satelita, koji se u svakom času nalaze iznad GPS primača, u ovoj se metodi koriste dva primača koji simultano primaju signale sa satelita. Jedan primač se postavlja na točku, čije su koordinate poznate (npr. trigonometar), a drugi primač na nepoznatu točku (u ovom slučaju brod koji je u pokretu). Te su točke povezane radio-likom. Složeni kompjutorski programi kontinuirano korigiraju dužinu i smjer između tih dviju točaka, te prisiljavaju novoodređenu točku na točku s poznatim koordinatama. Teorijska položajna točnost ove metode je unutar jednog metra.

Ova metoda pozicioniranja broda na moru istisnula je u novije vrijeme sve ostale metode pozicioniranja zbog svoje jednostavnosti, pouzdanosti i točnosti.

U našem slučaju upotrijebili smo uređaje Trimble 4000 RS i 4000 DS.

2.2. QUBIT TRAC IVB

Prijenosni kompjutorski sistem projektiran na bazi HP 9920 procesora sa softwareom za preciznu navigaciju (sl. 2). Ovaj sistem ima mogućnost integriranja raznih instrumenata za pozicioniranje na moru (Microfix, Mini Ranger, Trisponder, DGPS itd), kao i uređaja koji skupljaju podatke o morskome dnu (Side Scan Sonar, Subbottom profiler, Magnetometar, Echosounder R.O.V. itd.).

U ovom slučaju na Qubit Trac IVB priključen je bio DGPS, te uređaj za podvodnu navigaciju Simrad HPR 300 P, kao i konzolu za upravljanje R.O.V.-om. Također smo unijeli podatke o projektiranim trasama, kako bi se mogla pratiti odstupanja u navigaciji od projektiranih trasa. Uređaju je dodan i poseban ekran za kormilara.

2.3. Ronilica

Nemo P 300 je daljinski upravljana ronilica s mogućnosti urona do 300 m. Opremljena je televizijskom kamerom, rasvjetom i minitransponderom MHT 316/319 (uređaj koji omogućava lociranje ronilice), a

povezana je s matičnim brodom multipolarnim kablom dužine 450 m (sl. 1).

Tehnički podaci ronilice

Tip NEMO P 300

Dimenzije: dužina 150 cm
visina 70 cm
širina 70 cm

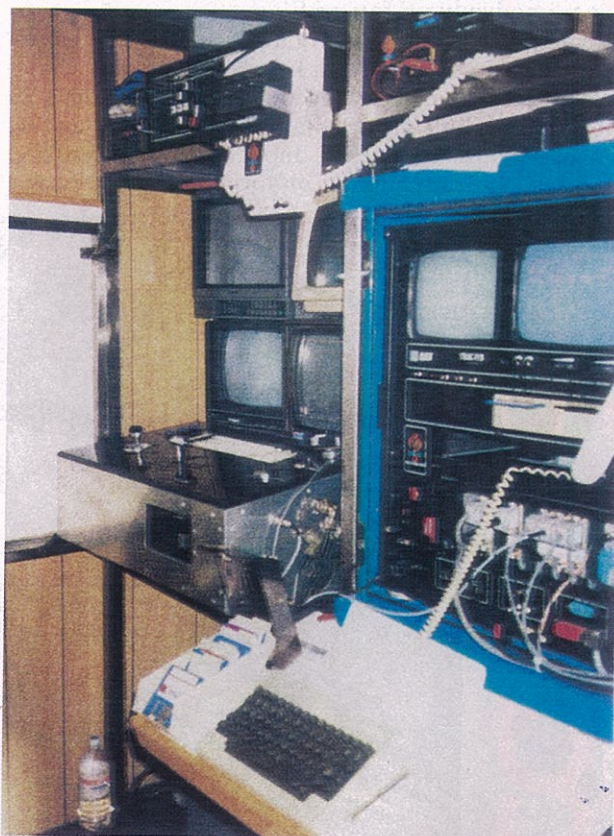
Težina: 140 kg

Pogon: 4 električna motora
mogućnost mijenjanja smjera okretaja
mogućnost variranja brzine
jedan vertikalni motor: potisak 22 kg
jedan bočni motor: potisak 22 kg
dva uzdužna motora: potisak 44 kg

Oprema: elektronski dubinomjer: 60 BAR
elektronski kompas: 0/360
mjerac nagiba: +45 (na obje osi)
telekamera CCD u bojama (mogućnost rotacije oko obje osi)
minitransponder MHT 316/319
četiri halogene lampe 25 W.

2.4. Vitlo

Vitlo je izrađeno od lagane slitine anticorodala i čelika AIS/304. Električni motor snage 3 HP s elektroničkom za kontrolu. Slip ring je unutar vitla. Oprema



Slika 2. Upravljačka konzola (lijevo), QUBIT TRAC IVB (desno)

ljen je multipolarnim kabelom (plaštem od poliuretana — unutarnji ovaj kevlar) dulje 450 m.

Upravljačka konzola (sl. 2):

upravljačko računalo IBM kompatibilan, sa serijskom RS 232

interface sa sistemom za navigaciju (QUBIT TRAC IV B)

televizijski monitor u boji

PC monitor

joystick s komandama za pogon

joystick s komandama za navigaciju na površini mora

kontrola vitla

pokazivač ispuštenog kabela

jedinica za snagu i transformaciju

podvodni akustični navigacijski sistem SIMRAD HPR 300 P

žirokompas Robertson

videorekorder

uređaj SONY video print

televizijski monitor u boji za potrebe klijenta

motogenerator 7,5 kW.

2.5. Ostale mogućnosti

Na ronilicu možemo montirati grabalicu za uzimanje uzoraka morskog dna, kao i neke druge uređaje, ovisno o potrebi istraživanja, npr. uređaj nazvan »PIPE TRACKER«. Taj uređaj u stanju je otkrivati metalne predmete zakopane u mulju (nevidljive). On bi imao veliko značenje za lociranje nevidljivih kabela (telekomunikacijski, energetske kabele, miska polja itd.).

3. OPIS RADA

Za lakše shvaćanje načina rada ovog sistema proučimo sliku 3. (Na slici je prikazan i Side Scan Sonar »Minescan«, čija problematika nije razmatrana u ovom članku.)

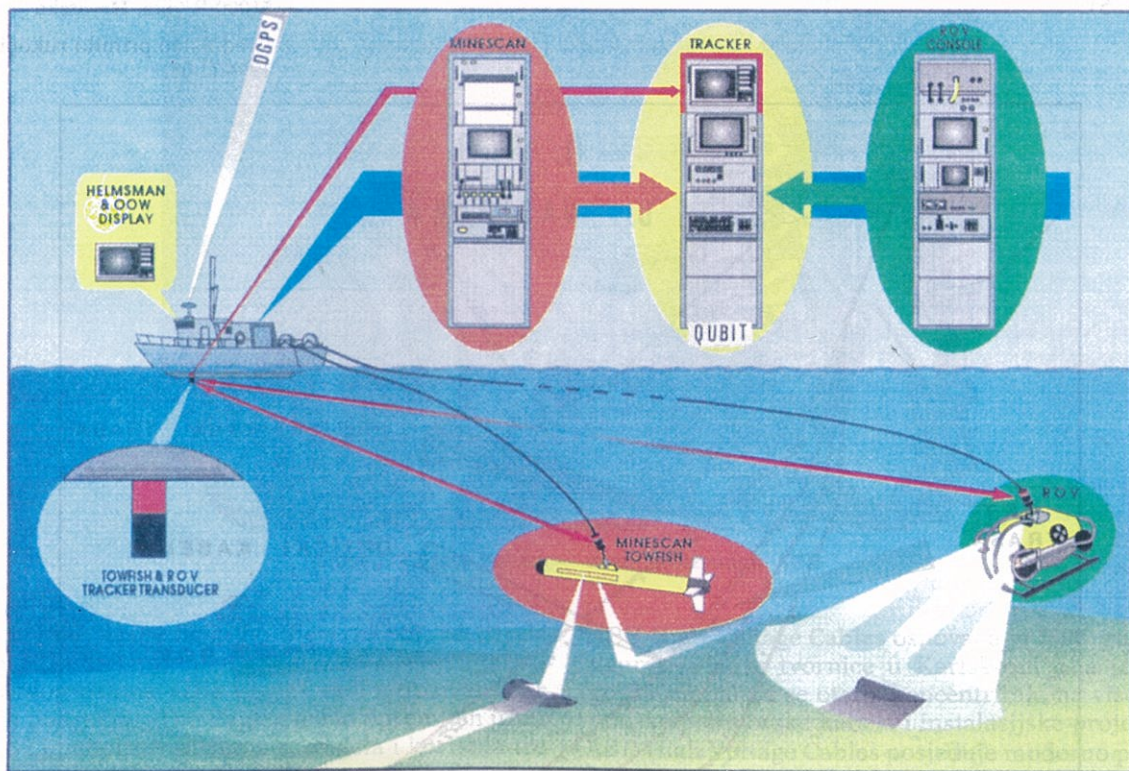
Na ronilicu je montiran minitransponder SIMRAD MHT 316/319 koji može emitirati snopove ultrazvuka u rasponima od 120 ili 180. Na boku broda učvršćen je Transducer PMT 300 (samoispravljan za posrtanje i valjanje broda). Snop ultrazvuka ovog Transducera pokriva prostorno 360.

Uređaj mjeri kosu dužinu do transpondera i u računalu je povezuje sa žirokompasom, te na ekranu pokazuje položaj ronilice u odnosu prema brodu.

Upravljačka konzola ronilice povezana je s navigacijskim uređajem QUBIT TRAC IVB, koji je povezan sa DGPS. Računato preračunava geodetske koordinate ronilice na morskome dnu.

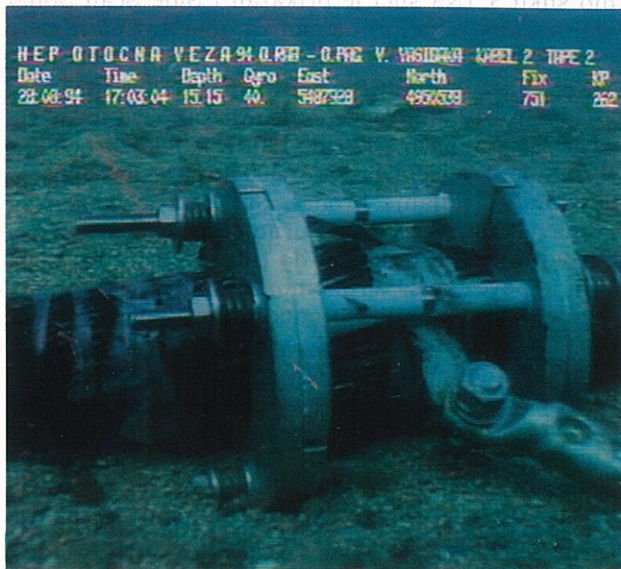
Videosnimanje podmorskih kabela započinje se na priobalnoj zaštiti. Ronilica R.O.V. postavi se otprilike 1 m iznad kabela, te započinje snimanje uzduž trase kabela. Ronilica se upravlja joystickom, promatranjem slike kabela na ekranu. Različiti meteorološki uvjeti za vrijeme snimanja otežavaju rad, te se generalno gledajući snimanje odvija relativno sporo. U slučaju nestanka slike kabela s ekrana navodi se ronilica ponovno na kabel (koordinate projekta polaganja su poznate).

Rezultat snimanja su videovrpce pojedinih dionica. Svaka pojedinačna videosnimka obilježena je na svom gornjem dijelu (sl. 4) imenom dionice, brojem



Slika 3. Shematski prikaz načina rada

trase, datumom, vremenom snimanja, dubinom, kutom žirokompasa, koordinatama yg i xg, brojem fix-a, te stacionažom na kojoj je snimljen.



Slika 4. Videoslika, spojnica za antikorozijsku zaštitu kabela

4. OBRADA PODATAKA

Za izradbu analize točnosti polaganja podmorskih kabela otočne veze potrebno je usporediti tri vrste podataka: podatke iz projekta, podatke dane od polagača, te podatke proizašle iz snimanja R.O.V.-om (vidjeti sl. 5)

Analiza nije još potpuno završena, ali se već sada može reći da nema bitnijih odstupanja među ovim podacima. Podaci proizašli iz snimanja R.O.V.-om usvojit će se i pri izradbi katastra podvodnih vodova *otočne veze*, a bit će vrlo korisni u projektu MORKAB.

Osim ove analize, u tijeku je i pregled videovrpca. Taj pregled daje sliku kvalitete polaganja podmorskog kabela. Ustanovit će se mjesta na kabelskoj vezi (pojedinačne stijene na koje je kabel postavljen, nepriliježanje kabela na morsko dno, sidara koja su već zapela za kabel itd.).

Kako su koordinate svake snimke poznate, izradit će se točan plan dijelova trasa s obilježenim »opasnim« mjestima u krupnijem mjerilu, što će olakšati posao planerima podvodnih radova i kalkulaciju sanacija.

MONITORING OF THE 110 kV LAID SUBMARINE CABLE OF THE ISLAND CONNECTION

The 110 kV submarine cables have been surveyed on the sea bottom using a remotely operated vehicle (R.O.V.). In the paper, basic data on the equipment used are illustrated as well as the way of work and the results.

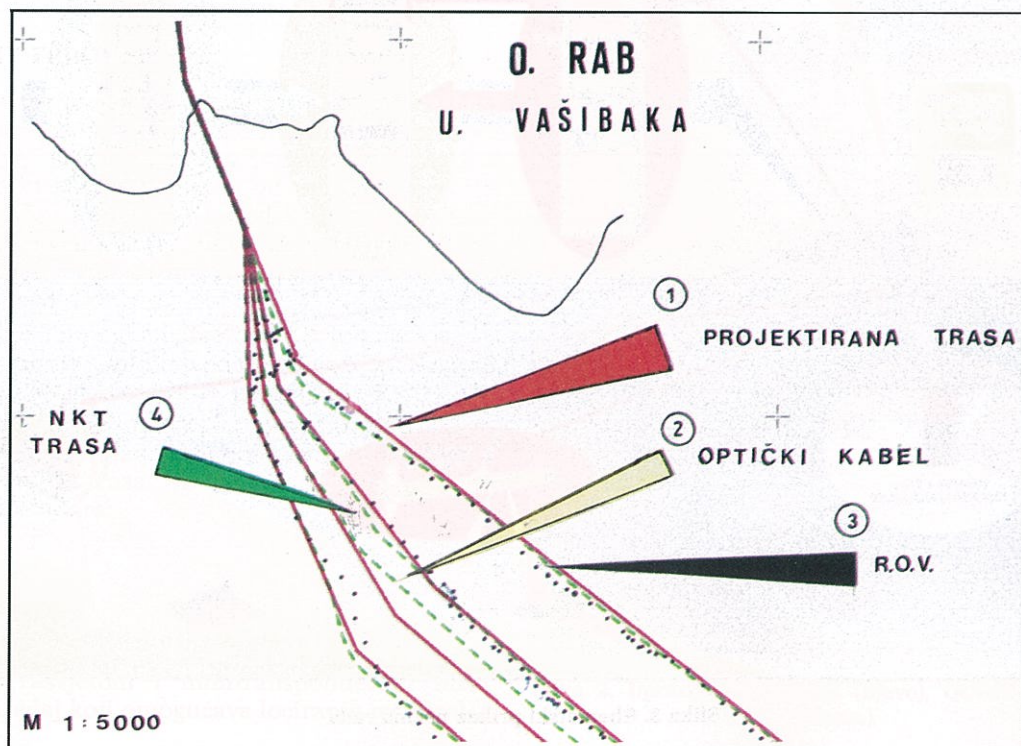
DIE AUFNAHMEN VERLEGTER UNTERSEEKABEL 100 kV DER »ÜBER — INSELN — VERBINDUNG«

Mittels eines ferngesteuerten Tauchfahrzeuges (im englischen R.O.V. = Remote Operating Vehicle) sind Unterseekabel 110 kV der »Über — Inseln — Verbindung« besichtigt worden. Im Artikel sind Grundangaben über die verwendete Ausrüstung gegeben und die Verfahren der Besichtigung samt Ergebnissen dargestellt.

Naslov pisaca:

Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore Split,
58000 Split, Hrvatska
Petar Senjanović
Geodetski zavod Rijeka,
51000 Rijeka, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-08.



Slika 5. Usporedba podataka

ABB — VISOKONAPONSKI KABELI

Mr. Ove Tollerz, Švedska

UDK 621.315.21
PREGLEDNI ČLANAK

Za potrebe Hrvatske elektroprivrede ABB HV cable isporučio je i stavio u funkciju 110 kV podmorske i kopnene jednožilne kabele s izolacijom od umreženog polietilena za **Otočnu vezu**.

U članku je naveden povijesni razvoj ove stare i vrlo uspješne švedske tvrtke.

Opisana je nova tvornica u gradu Karlskroni s novim proizvodnim procesima, ispitnim laboratorijem, osiguranjem kvalitete itd. Navedeni su značajniji projekti i isporuke ove tvrtke, s posebnim naglaskom na isporuke u Hrvatskoj.

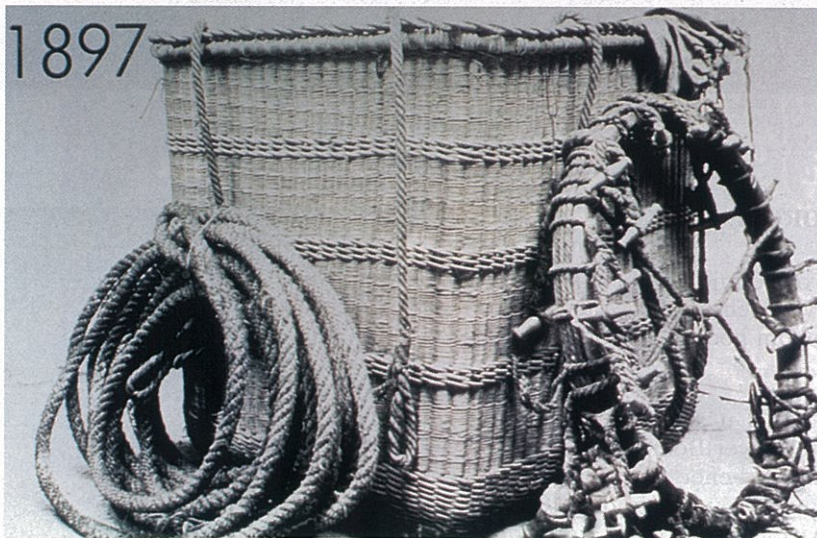
Ključne riječi: podmorski i kopneni kabel, XLPE kabelski pribor, laboratorij, visoki napon, ispitivanje.

UVOD

ABB HB Cables, smještena u gradu Karlskronu, na jugoistočnoj obali Švedske, ima višegodišnju tradiciju u proizvodnji elektrokabela. Prvi električni kabel proizveden je 1883. Tvrtka je osnovana 1870. za proizvodnju žice za osigurače. Potražnju za žicom za osigurače potakao je Alfred Nobel — slavni utemeljitelj — koji je u neposrednoj blizini izgradio tvornicu dinamita.

O ekspediciji se ništa nije čulo sve do 1930, kada su pronađena tijela Andreea, dvaju njegovih ljudi i olupina balona, »The Eagle«.

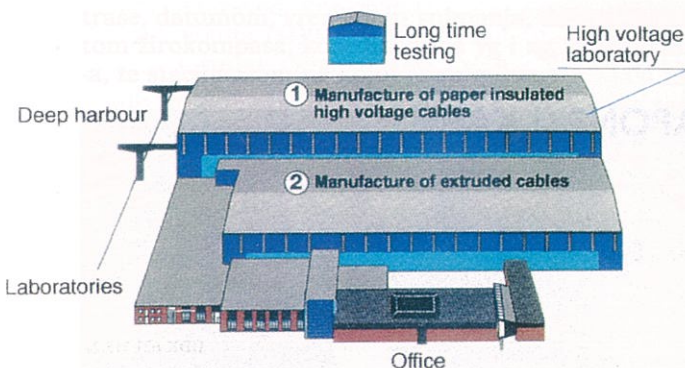
Nakon nekoliko godina proizvodnje, 1916. godine započela je proizvodnja električnih kabela. ASEA je pridobila tvrtku Liljeholmes kabelfabrik, pa je ime promijenjeno u ASEA KABEL. Nakon spajanja švedske ASEA i švicarske Brown Boveri 1988. god. ASEA KABEL postala je ABB Cables.



Slika 1. Košara balona — užeta proizvodnje ABB

Godine 1897. ekspedicija na Sjeverni pol, predvođena gosp. Andreeom, napustila je Spitsbergen pomoću zračnog balona »The Eagle« radi istraživanja arktičkih područja. »The Eagle« je bio opremljen užetima iz »Liljeholmensa« koja su visjela i koristila trenje sa zemlje radi kontrole brzine. Zbog tih užeta balon je mogao kormilariti bočno korištenjem jedra.

ABB High Voltage Cables osnovana je 1990. god. Inauguracija nove tvornice u Karlskroni bila je 1992. god. Kompanija se otada koncentrirala na visokonaponske podmorske kabele i instalacijske projekte. ABB High Voltage Cables posjeduje moderno postrojenje za proizvodnju papirno-uljnih izoliranih i XLPE izoliranih kabela za korištenje u podmorskim



Slika 2. ABB High Voltage Cables, Karlskrona

i kopnenim projektima. Postrojenje je namijenjeno velikim podmorskim kabelima koji se ukupnom dužinom mogu utovariti na brod za polaganje u luci tvornice.



Slika 3. Tvornica s utovarnom lukom

1. ZNAČAJNE ISPORUKE KABELA

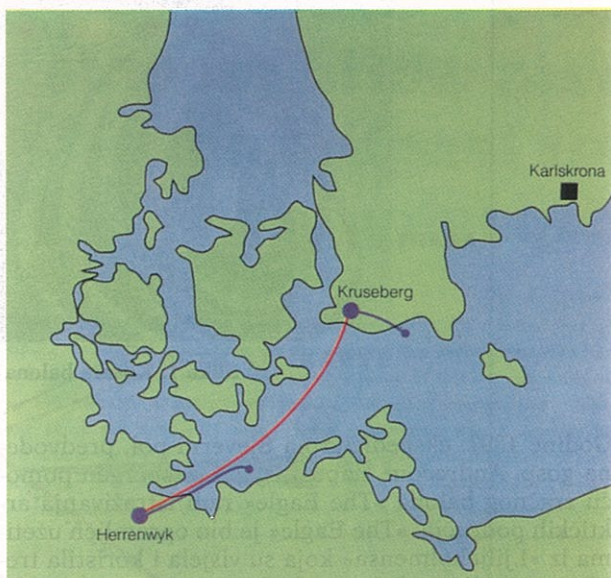
Iskustvo stečeno proizvodnjom kabela među prvima na svijetu, inicijativa i tehnička inovacija doveli su do niza rekorda tijekom godine. Navodimo nekoliko primjera:

- 1950. Prvi 380 kV kabel u svijetu proizveden je za Swedish State Power Board.
- 1952. Najduži podmorski energetska kabel na svijetu za istosmjernu struju bio je dug 100 km, 100 kV, položen između švedskog kopna i otoka Gotlanda.
- 1973. Najduži na svijetu podmorski kabel XLPE položen je između Švedske i otoka Alanda. Spoj ima tri kabela, svaki dužine 55 km, 84 kV.
- 1985. Najduži svjetski XLPE kabel razine 245 kV isporučen je Stockholm Energi.
- 1989. Fennoskan: Najduži na svijetu HVDC pomorski kabel položen je između Švedske i Finske. Dužina 200 km, 500 MW i 400 kV DC; najveći napon na svijetu u to vrijeme.

1994. Opet se obara rekord baltičkim kabelskim projektom. Radi se o HVDC podmorskom kabelu između Njemačke i Švedske. Snaga 600 MW, 450 kV DC, dužina 250 km, ukupna težina 14 000 t. Glavno podmorsko polaganje obavljeno je u dva dijela, svako 120 km.

Isporuka ABB High Voltage Cables u Hrvatsku:

- 1968. Dugi Rat — o. Brač, 8,0 km 110 kV trožilnog uljnog pomorskog kabela
- 1977. Senj 2.1 km 110 kV XLPE kabela
- 1979. Senj 2.1 km 110 kV XLPE kabela.
- 1979. Zagreb 18 km 110 kV XLPE kabela
- 1979. o. Krk 25 km 110 kV XLPE kabela
- 1985. Rijeka 1.2 km 110 kV XLPE kabela
- 1994. HEP — Otočna veza podmorski jednožilni XLPE 110 kV dužine 62 km, a kopneni 14,3 km.



Slika 4. Kabelska trasa Švedska — Njemačka

2. PODMORSKI I KOPNENI KABELI U PROJEKTU »OTOČNA VEZA«

Otočnom vezom položen je prvi 110 kV podmorski kabel u Hrvatskoj s krutom izolacijom polietilena XLPE. Prethodni kabeli 110 kV imali su papirno-uljnu izolaciju sa sistemom punjenja ulja u kopnenim stanicama.

Kod XLPE kabela nema ulja, te je u tome njihova prednost, jer ne zagađuju okoliš ako zbog kvara dođe do curenja. XLPE kabeli jednostavni su za održavanje, vrlo su čvrsti i otporni. Time se smanjuje rizik oštećenja kabela od opreme za ribarenje ili sidara. Osim toga, popravak kabela na moru u vrlo teškim uvjetima manje je kritičan kada je čvrst i otporan. Današnji XLPE kabeli koriste se za napone do 400 kV. Kod svih energetskih kabela najvažniji su uvjet dugotrajnosti dielektrični i mehanički zahtjevi. Izvanredna elektrosvojstva i mehanička svojstva XLPE čine ga izuzetno pogodnim izolacijskim materijalom za niz napona, od niskih do vrlo visokih.

Prethodna iskustva primijenjena na kabele otočne veze

Ulaz vode u aluminijski vodič podmorskih kabela

Voda i aluminij stvaraju naslagu aluminijskog hidroksida i vodikovog plina. Na taj način gram vode

daje litru vodikova plina. Time se postiže visoki tlak plina, čime se oštećuju kabelske spojnice izrađene od samovulkanizirajuće gume. To se izbjegava upotrebom bakrenih vodiča u podmorskim sekcijama.

Kabeli s olovnim plaštem na velikim dubinama mora

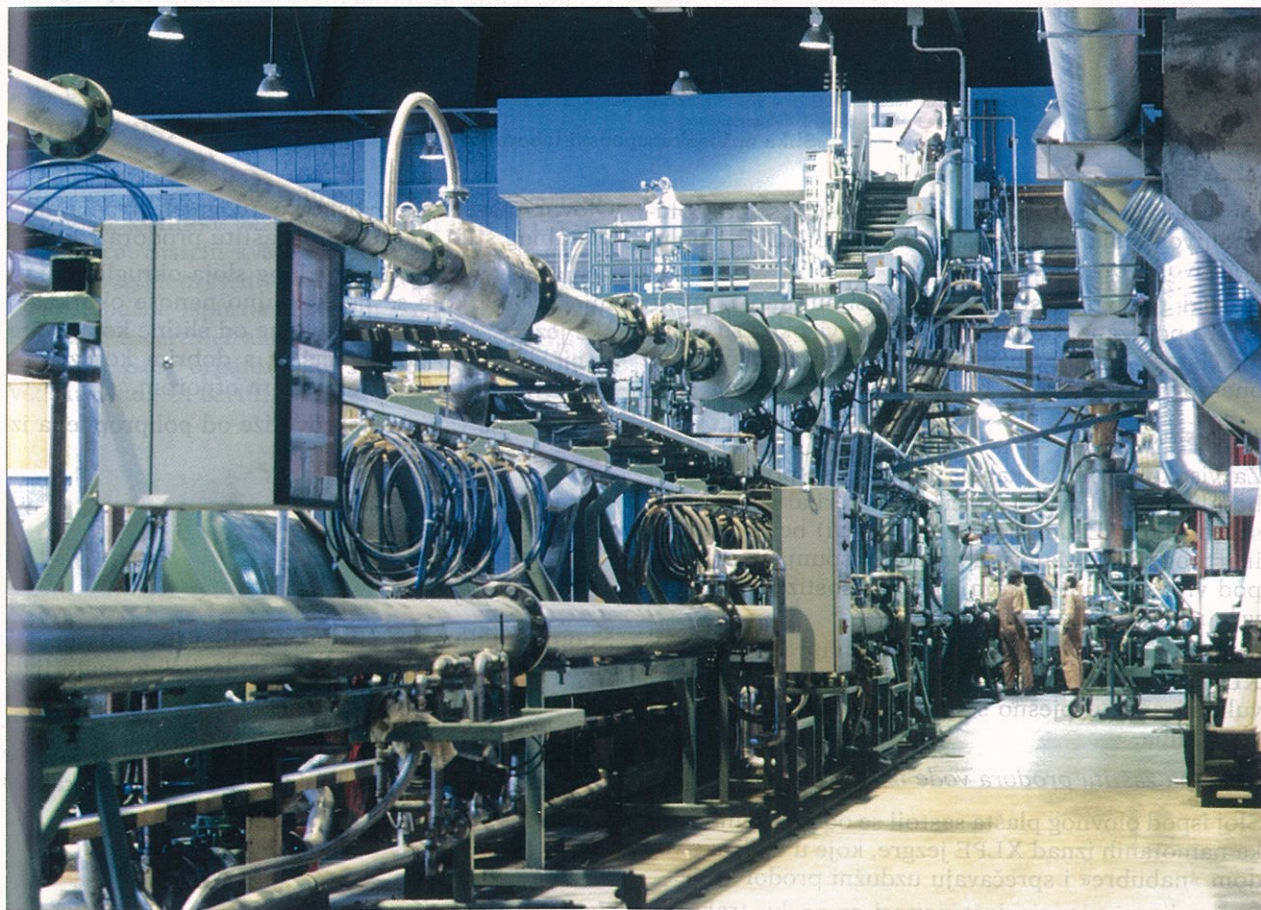
XLPE Kabel između Švedske i Alanda (Finska) vrlo je sličan 110 kV kabelu u »otočnoj vezi«. Bio je položen 1973. god. dug je 3×55 km, 84 kV, a maksimalna dubina mora bila je 260 m.

Pri popravku kabela (radi oštećenja — zahvat sidrom) podignutog s dubine 160 m kabel i oblik olovnog plašta bili su sasvim u redu.

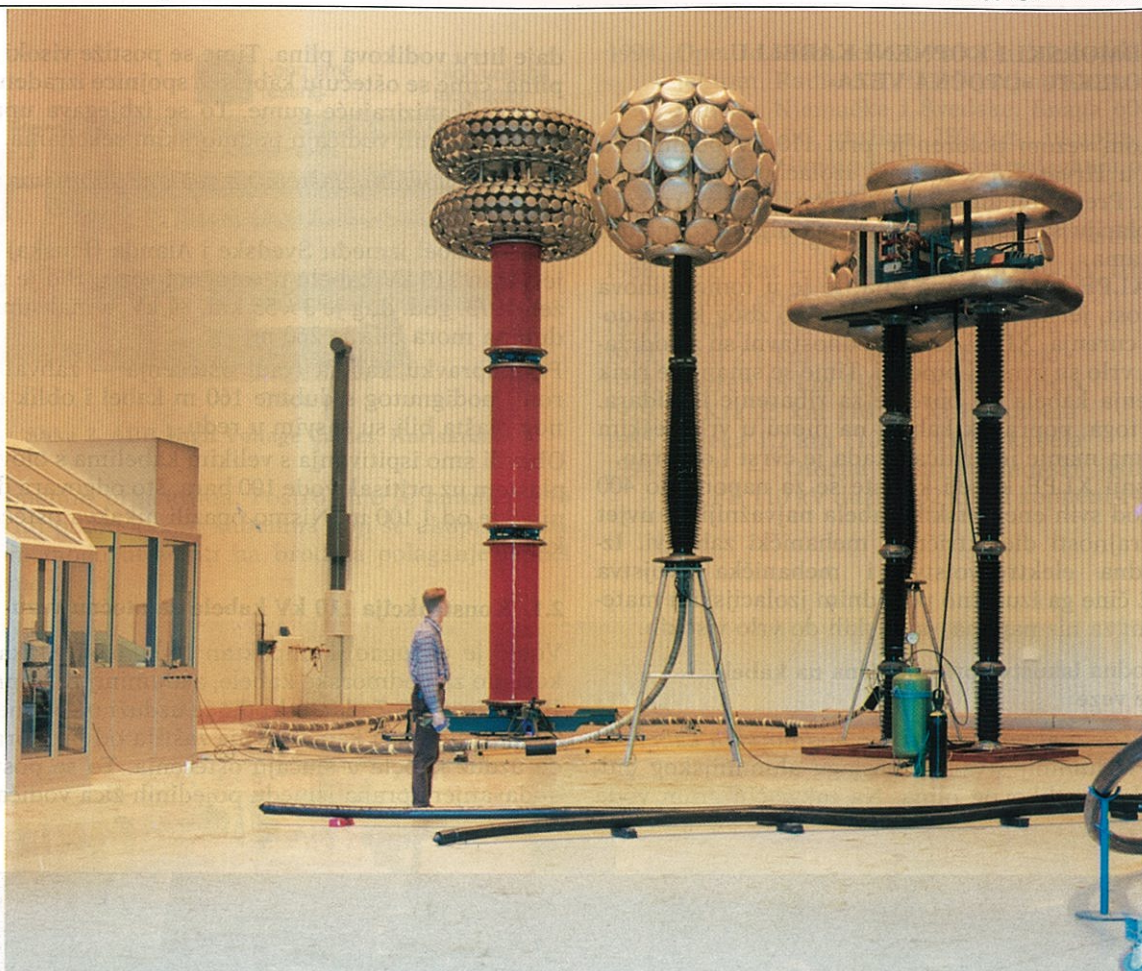
Obavili smo ispitivanja s velikim kabelima s olovnim plaštem uz pritisak vode 100 bara, što odgovara dubini vode od 1 100 m. Nismo opazili nikakva oštećenja kabela.

2.1. Konstrukcija 110 kV kabela za otočnu vezu

Vodič je okrugao, kompaktan i vlaknast. Bakar se koristio za podmorske kabele, a aluminij za kopnene Bili Brig — TS Zadar 1. Vodič je uzdužno vodonepropustan, što služi kao dodatna zaštita od prodora vode uzduž kabela u slučaju oštećenja. To se postiglo dodavanjem praha između pojedinih žica vodiča.



Slika 5. Proizvodnja kabela



Slika 6. Visokonaponski laboratorij

Trostruki XLPE izolacijski sistem sastoji se od: poluvodljivog sloja iznad vodiča, izolacije XLPE i poluvodljivog sloja iznad izolacije.

Sve tri naslage ekstrudirane su simultano i zatim čvrsto povezane. Odaabrane sirovine visokog su stupnja čistoće i za kabele, i za sistem rukovanja, čime se onemogućuje dodatna kontaminacija izolacije.

Proces ekstruzije

Za visokonaponske kabele koristio se proces suhe, besplinske izolacije. Izolacijski materijal vulkanizira se kod Long Land Die (čelične cijevi) bez protoka i inertnog plina. Materijal potpuno ispunjava matricu pod vrlo visokim tlakom, čime se postiže izolacija s vrlo niskim sadržajem vlage.

Ta tehnika dala je izvanredne rezultate i na 400 kV, XLPE kabelima. Naš proces vodoravne ekstruzijske vulkanizacije uspješno se primijenjuje punih dvadeset godina.

Uzdužna zaštita prodora vode iznad izolacije

Sloj ispod olovnog plašta sastoji se od provodnih traka namotanih iznad XLPE jezgre, koje u dodiru s vodom »nabubre« i sprečavaju uzdužni prodor vode.

Ekstrudirani olovni plašt nanosi se preko trake za uzdužnu zaštitu.

Olovni plašt ima dvostruku ulogu-elektroekrana i metalnog štita za radialnu zaštitu prodora vode.

Armatura se sastoji od jednog sloja okruglih aluminijskih žica koje se helikoidalno nanose oko kabelske jezgre. Žice su napravljene od slitine koja je mehanički čvrsta, nemagnetska, s dobrim korozivnim svojstvima i malim električnim otporom.

Na kraju se vanjski pokrov diže od polipropilena iznad armatrunih žica.

2.2. Kabelski pribor

Kabelske spojnice

Spojnice uključene u instalaciju lijevanog su tipa, što znači da je izolacija od istog izolacijskog materijala koji se koristi za kabele. Spojnice su unakrsno povezane pod pažljivo kontroliranom temperaturom i tlakom. I ostale komponente spojnica izrađene su kao kod kabela. Stoga su spojnice ekvivalentne kabelu kako električki, tako i mehanički.

Kabelski završeci

Završeci imaju porculanske izolatore koji podnose visoki napon u uvjetima vlage i prisutnosti soli.

3. ISPITIVANJE KABELA I KABELSKOG PRIBORA

Izgrađen je novi visokonaponski laboratorij kapaciteta do 3,2 MV potreban za razvojne radove i tipska ispitivanja. XLPE 400 kV kabelski sistem, uključujući kabel, spojnice i završetke, prošao je tipsko ispitivanje. Trenutačno se ispituje kabel za velika napreznja u velikim dubinama. Radi se o 500 kV papirom izoliranom kabelu s 2 000 mm² bakrenim vodičem za dubinu 1 100 m.

Novi visokonaponski laboratorij raspolaže visokokapacitetnom opremom kojom upravlja sposobno i iskusno osoblje.

Glavna oprema za elektroispitivanje uključuje:

- impulsne generatore: 2 400 kV i 3 200 kV
- AC naponske transformatore 250 kV, 625 kV i 700 kV
- DC naponske generatore: 550 kV, 1 000 kV, 1 200 kV i 1 600 kV
- DC strujne generatore
- mjerna oprema je poznatih proizvođača Tettex, Haefely itd.

Visokonaponski laboratorij, konstruiran kao dio glavne tvornice, raspolaže prizemljem površine 28 × 35 m, visine 35 m. Poseban dio čine pažljivo uređeni sistemi uzemljenja i zaštite.

Drugi (stariji) visokonaponski laboratorij ima površinu 17 × 20 m, visinu 15 m, uključuje impulsni generator i visokonaponsku opremu (istosmjernu i izmjeničnu) za dugotrajnije ispitivanje.

4. SIGURNOST KVALITETE

ABB High Voltage Cables ima visokorazvijeni sistem sigurnosti kvalitete zasnovan na potrebama i željama kupaca. Sistem kvalitete pomaže osoblju da od samog početka pravilno radi, počevši od razvojne faze do konačne isporuke. Sistem ispunjava zahtjeve ISO 9001, a certificirala ga je švedska Institucija za standard, SIS, organizacija što ju je akreditirala švedska vlada za certifikate trećim stranama.

Sistem kvalitete zadovoljava

- zahtjeve kupca vezane za svojstva proizvoda, izvedbu, vrijeme isporuke itd.
- tehničke zahtjeve potrebne za proizvodnju i instaliranje proizvoda
- zahtjeve okoliša
- ABB međunarodne zahtjeve.

Sistem kvalitete pokriva

- organizaciju: dobro zamišljenu, s jasno zacrtanim područjima odgovornosti i ovlaštenja.
- rutine: dobro zasnovane radne rutine i jasne upute glede obavljanja posla.
- revizije: unutrašnju i vanjsku kontrolu proizvoda, procesa proizvodnje i sustava kvalitete.
- obrazovanje: školovanje, naobrazbu i kvalifikaciju osoblja uposlenog na kritičnim zadacima.

ABB HIGH VOLTAGE CABLES

For the needs of the Croatian National Electricity ABB High Voltage Cables delivered and put into operation 110 kV submarine and underground single core cables, isolated with cross-linked polyethylene (XLPE) for the Island Connection.

A new facility in the town of Karlskrona with new production processes, examination laboratory, quality assurance etc. are described. Important projects and deliveries of the firm, with a special emphasis on deliveries to Croatia are given.

DIE ABB — HOCHSPANNUNGSKABEL

Für Zwecke der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft«, und zwar für die »Über — Inseln — Verbindung« hat das Unternehmen »ABB HV Cable« mit vernetztem Polyethylen (VPE) isolierte 110 kV Untersee- und Erdverlegungs-Einaderkabel geliefert.

Im Artikel ist die Entwicklung dieses alten und sehr erfolgreichen schwedischen Unternehmens seit seiner Gründung her dargestellt.

Beschrieben ist das neue Werk in der Stadt Karlskrona, mit neuen Herstellungsverfahren, dem Prüflaboratorium, dem Qualitätssicherungsdienst, usw. Angeführt sind die bedeutenderen Projekte und Lieferungen dieser Firma, mit besonderem Nachdruck auf Lieferungen nach Kroatien.

Naslov pisca:

**Mr. Ove Tollerz, dipl. ing.
ABB High Voltage CABLES,
Švedska**

Uredništvo primilo rukopis:
1994-11-22

OPREMA ZA POPRAVAK I POLAGANJE PODMORSKIH KABELA

Petar Čerina, Split — mr. Nikola Delavija, Zadar — Bruno Šaina, Opatija

UDK 621.315.2

PREGLEDNI ČLANAK

Težnja Hrvatske elektroprivrede da se kadrovski i materijalno osposobi za popravak podmorskih energetskih kabela do razine 110 kV napona na putu je ostvarenja.

Ugovorom o isporuci podmorskih i kopnenih 110 kV kabela »otočne veze« isporučitelj je preuzeo obvezu isporuke opreme iz Programa MORKAB, koja će omogućiti popravak i polaganje podmorskih kabela svih razina napona, kao i telekomunikacijskih optičkih podmorskih kabela.

Opisane su osnovne značajke strojeva i dan je opći prikaz smještaja opreme na palubi plovnog objekta.

Ključne riječi: Program MORKAB, popravak i polaganje podmorskih kabela, oprema, plovni objekt.

UVOD

Težnja Hrvatske elektroprivrede da se materijalom i kadrovski osposobi za popravak podmorskih energetskih kabela do napona 110 kV datira već od početka 80-ih godina. Nakon dugih rasprava utvrđeno je da je želja Hrvatske elektroprivrede da se osposobi za popravak podmorskih energetskih kabela svih razina napona i za polaganje kabela do razine 35 kV napona. Pretpostavilo se, naime, da se za polaganje 110 kV podmorskih kabela nema smisla opremiti, jer se takvi kabeli rijetko polažu, a svi renomirani svjetski proizvođači imaju ili vlastite brodove za polaganje ili ih za tu priliku unajme, tako da je cjelokupno jamstvo, rizik i odgovornost isključivo na proizvođaču kabela. Glede popravka 110 kV kabela računalo se sa stručnom ispomoći stručnjaka proizvođača kabela, materijalom za popravak... Cijeli ovaj projekt (popularno nazvan program MORKAB) bio je nekoliko godina u planovima tadašnjeg ZEOH-a, ali je njegova realizacija propala ne toliko zbog nedostatka financijskih sredstava koliko zbog nerazumijevanja i izostanka financijske podrške ostalih sudionika koji su se prethodno obvezali na sufinanciranje projekta.

Izgradnja »otočne 110 kV veze« ponovno je aktualizirala ovaj projekt i približila ga ostvarenju.

Pri traženju ponuda za isporuku podmorskih kabela 110 kV »otočne veze« potencijalnim isporučiteljima uvjetovano je da uz kabele moraju ponuditi i opremu za popravak podmorskih kabela. Takav zahtjev se pokazao pravim potezom jer je renomirane proizvođače kabela (koji zbog svojega kadrovskeg potencijala i iskustva jedini mogu ponuditi kvalitetno rješenje) nemoguće »zagrijati« za isporuku ovakva obujma i kvalitete opreme bez kabela. Riječ je, naime, o tome da opremu programa MORKAB rade razni proizvođači, dakle riječ je o velikom broju elemenata koje treba suvislo uklopiti u funkcionalnu cjelinu. To, dakako, može najbolje obaviti iskusan proizvođač ka-

bela, a najbolja stimulacija za taj posao jest svakako prodaja vlastitoga kabela.

Slijedom toga u ugovoru za isporuku podmorskih kabela »otočne 110 kV veze« obuhvaćena je i oprema iz programa MORKAB. Ostvarenje te isporuke omogućit će Hrvatskoj elektroprivredi da od početka iduće godine može vlastitom opremom polagati podmorske kabele te pristupiti popravku podmorskih energetskih kabela svih razina napona. Razumljivo je da će biti moguće polagati i popravljati i telekomunikacijske kabele.

1. OPREMA ZA MANIPULACIJU PODMORSKIM KABELOM KOJU NABAVLJA HEP

Proizvođač kabela ABB iz Švedske isporučit će opremu MORKAB, koju će izraditi renomirana nizozemska tvrtka Van der Stoel.

Osnovni dijelovi opreme koji će se isporučiti jesu:

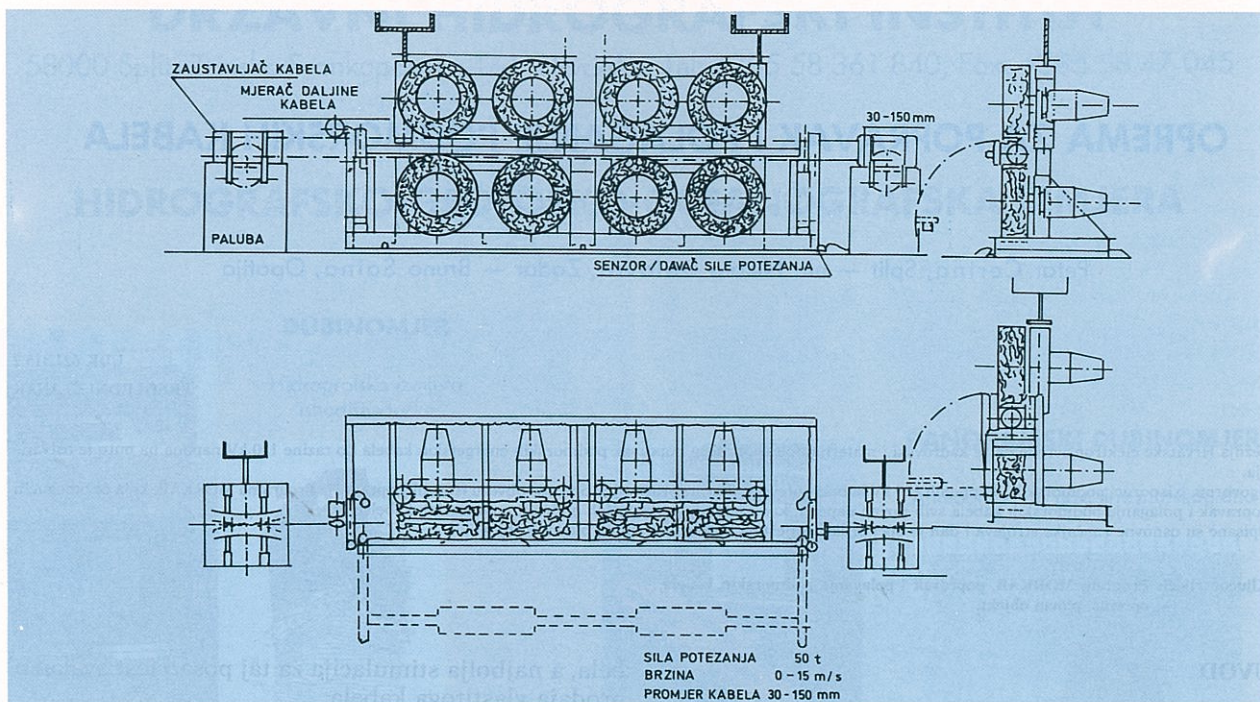
1. Stroj za izvlačenje i polaganje kabela — katepillar.

Osnovne tehničke karakteristike stroja jesu:

- maksimalna sila potezanja 50 kN
- minimalna sila potezanja približno 0 N
- brzina između 0–15 m/min
- hidraulični pogon
- mjerenje dužine kabela i sile potezanja.

Stroj će biti opremljen automatskim uređajem za namještanje razmaka kotača, što će omogućiti prolaz nejednakog promjera (spojnica).

2. Pomoćni uređaj za istezanje i izravnavanje kabela snage 15 kW na hidraulični pogon. Ovaj uređaj smješten je uz kabelski bubanj što ga pokreće prilikom popravka kabela.
3. Vitlo 25 t i 2 vitla 10 t za manipulaciju s kabelom opremljena sa po 500 m čeličnog užeta. Uz pomoć



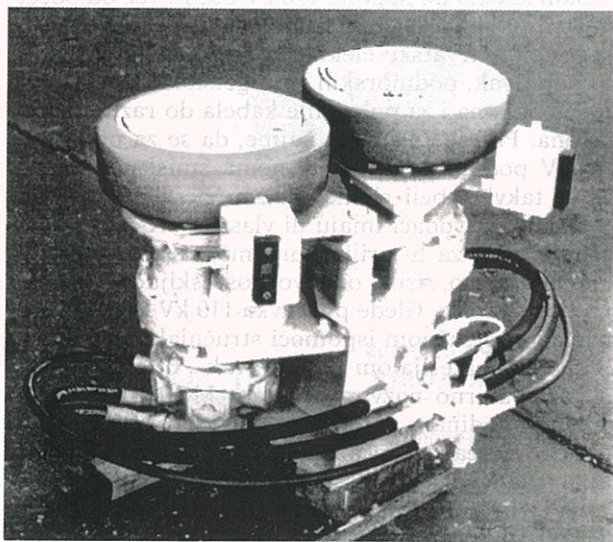
Slika 1. Stroj za izvlačenje i polaganje kabela

tih vitala kabl se nakon popravka ispušta u more zajedno s polukružnom konstrukcijom koja štiti kabl od nedopuštenih mehaničkih naprezanja.

4. Dizalica kapaciteta 3 t pomoću koje se manipulira sidrima.
 5. Specijalna sidra za zahvaćanje kabela u moru (2 kom), te rezanje i podizanje kabela na palubu (1 kom). Sidro za rezanje opremljeno je hidrauličnim uređajem maksimalne sile 500 kN kod pritiska od 200 bara.
 6. Dizelski motor:
 - tip Mercedes,
 - snaga 180 kW,
 - broj okretaja 1 800 o/min
 7. Uređaj za pronalaženje kabela i mjesta kvara na njima.
 8. Kontejneri za smještaj pogonskog dijela (hidraulike, akumulatora, spremnika za ulje i gorivo), te kontejner za daljinsko upravljanje strojeva. Svu opremu će atestirati Bureau Ventas.
- U slučaju bilo kojeg kvara na opremi kabl je zaštićen od nekontroliranog ispuštanja u more posebnim uređajem. Svi strojevi i ostala oprema udovoljavaju zahtjevima tzv. »brodske« izvedbe (zaštita od korozijskog djelovanja mora, polijevanja morskom vodom...).

2. PREDSTOJEĆE RADNJE HEP-a NA OSTVARENJU PROGRAMA MORKAB

Ranija koncepcija programa MORKAB predviđala je da se nabavljena oprema drži u skladištu i da se po potrebi montira na za to iznajmljeni plovni objekt,

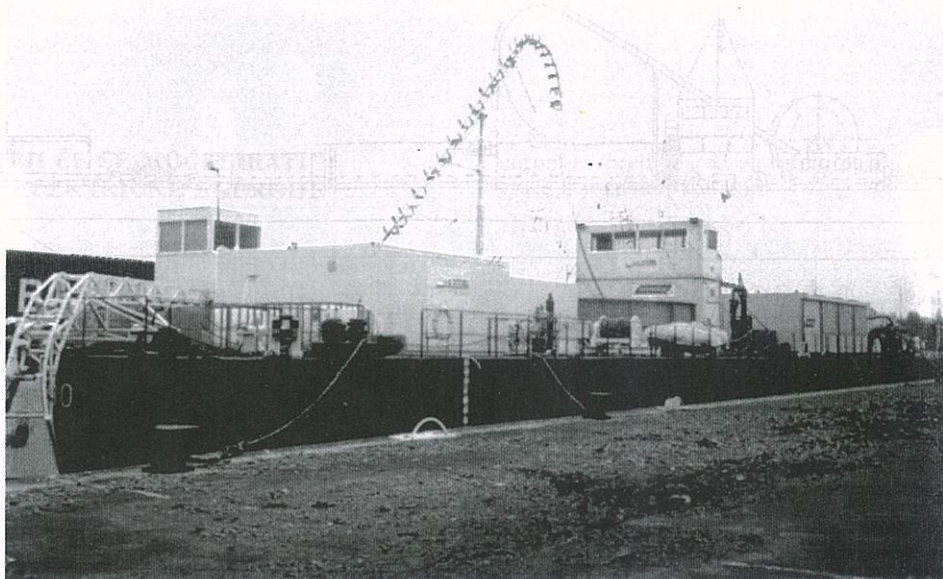


Slika 2. Pomoćni uređaj za istezanje i izravnavanje kabela

koji može imati vlastitu propulziju, a može to biti i barža koja se tegli na mjesto intervencije.

Takvo je razmišljanje bilo logično jer je proizašlo iz činjenice da su podmorski kabl izuzetno pouzdani (od 1968. do danas nije bilo ni jedne intervencije na podmorskom dijelu 110 kV kabela), a polaganje novih kabela rijedak je događaj, te nema opravdanja kupovati za to posebni brod ili ga trajno unajmiti.

Sadašnje energetske prilike i opredjeljenje naše domovine Hrvatske na svestrani razvoj jadranskih otoka uvjetuje potrebu polaganja novih energetskih i telekomunikacijskih kabela.



Slika 3. Barža s opremom za polaganje kabela

Hrvatska elektroprivreda će nastojati položiti veći broj 35 kV podmorskih kabela na našem Jadranu koristeći se upravo opremom programa MORKAB.

Realno je očekivati i pojavu kvarova na 110 kV podmorskim kabelima zbog starosti (životni vijek se računa na 40–50 godina za uljne kabele) i većih strujnih opterećenja kojima će uskoro biti izloženi.

HPT planira polagati velik broj telekomunikacijskih kabela kako magistralnih pravaca i lokalnih povezivanja među otocima.

HEP je nakon polaganja podmorskih kabela »otočne 110 kV veze« i s namjerom da u tijeku sljedeće godine položi oko 100 km podmorskih kabela 35 kV jasno definirao svoje opredjeljenje koncepcije programa MORKAB.

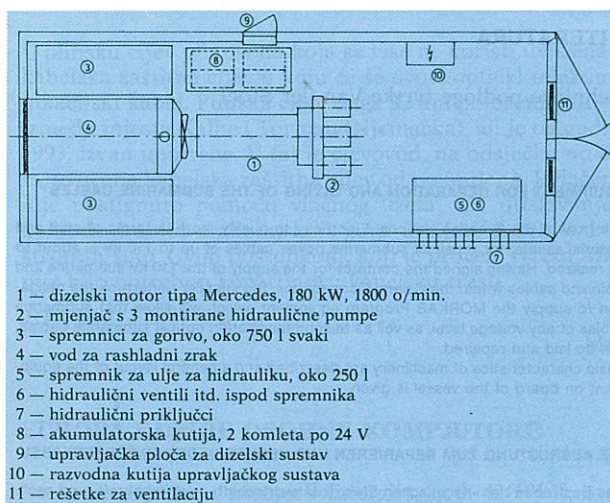
Osnovne naznake te koncepcije jesu:

- HEP ne želi preuzeti održavanje, popravak i polaganje podmorskih kabela
- HEP je zainteresiran za partnera koji je stručno kadrovski i materijalno osposobljen za te poslove
- HEP je sa svoje strane voljan u zajedničku tvrtku prenijeti opremu koja je ugovorena s kabelima »otočne 110 kV veze«
- HEP će sa odabranim partnerom sklopiti dugoročni ugovor (na pr. na 30 godina) kojim će se utvrditi obveze HEP-a odnosno partnera glede održavanja, popravaka i polaganja podmorskih kabela.

U skladu s tim opredjeljenjem HEP je izradio odgovarajući **upit**.

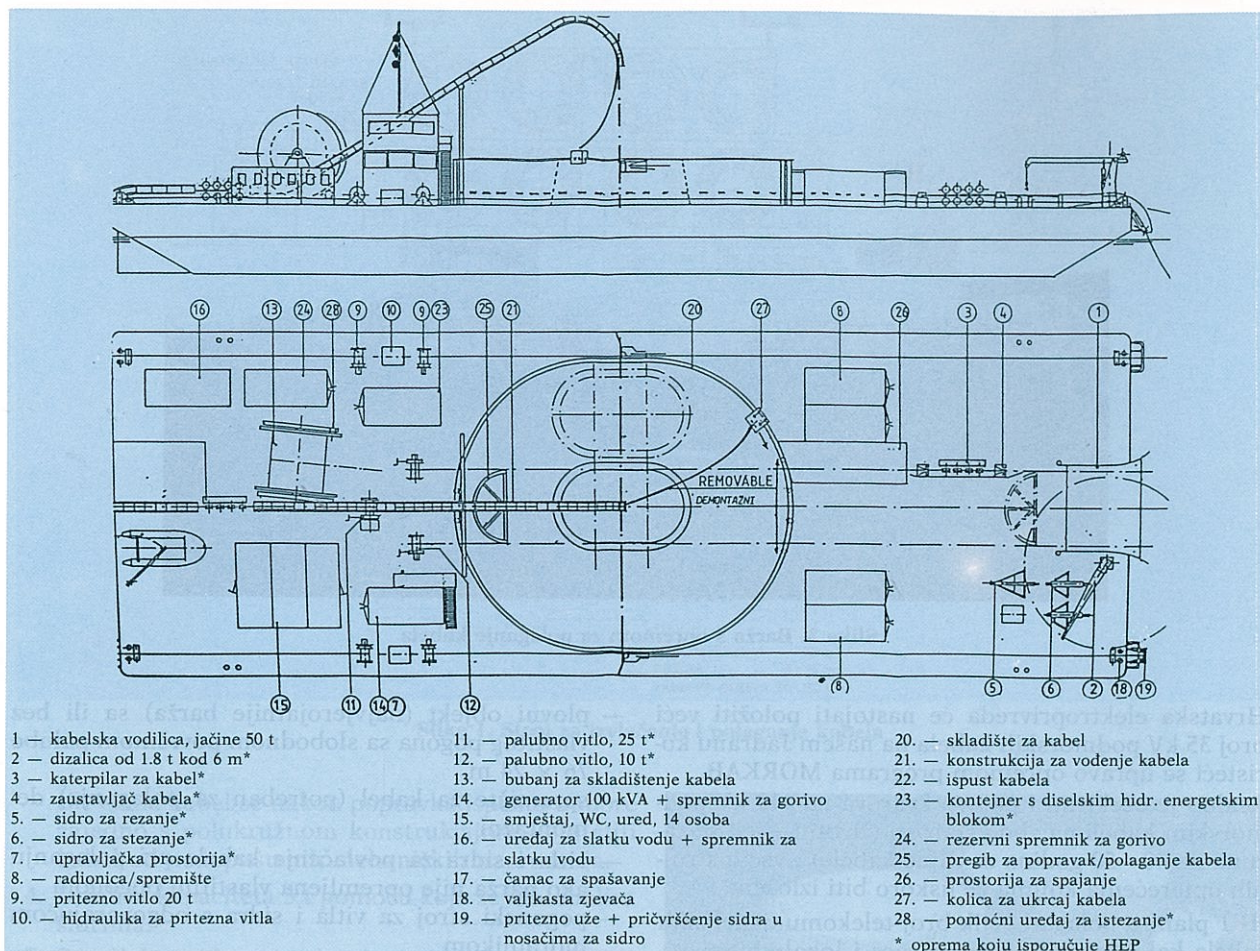
Nakon prispijeća ponuda obaviti će se izbor partnera. Od partnera se očekuje da u zajedničku tvrtku uloži opremu koja još nedostaje. Prema našim spoznajama a na osnovi razgovora s raznoraznim svjetskim tvrtkama i razgledavanja opremljenih plovila za polaganje podmorskih kabela riječ je o sljedećoj opremi:

- plovni objekt (najvjerojatnije barža) sa ili bez vlastitog pogona sa slobodnom površinom palube 76 × 24 m
- spremište za kabel (potreban za polaganje) demontažni
- vitla i sidra za povlačenje kabela pri polaganju ako barža nije opremljena vlastitim pogonom
- pogonski stroj za vitla i sidra s odgovarajućom hidraulikom
- kontejneri za smještaj ljudi na moru, radionice, skladišta alata...
- spremnici za gorivo i mazivo
- čelične konstrukcije za vođenje kabela
- električne instalacije
- spremnici pitke vode
- sredstva za navigaciju
- čamac za spašavanje i ostala sredstva za spašavanje ljudi na moru.



- 1 — dizelski motor tipa Mercedes, 180 kW, 1800 o/min.
- 2 — mjenjač s 3 montirane hidraulične pumpe
- 3 — spremnici za gorivo, oko 750 l svaki
- 4 — vod za rashladni zrak
- 5 — spremnik za ulje za hidrauliku, oko 250 l
- 6 — hidraulični ventili itd. ispod spremnika
- 7 — hidraulični priključci
- 8 — akumulatorska kutija, 2 kompleta po 24 V
- 9 — upravljačka ploča za dizelski sustav
- 10 — razvodna kutija upravljačkog sustava
- 11 — rešetke za ventilaciju

Slika 4. Kontejner s energetske blok



Slika 5. Barža za održavanje i polaganje kabela

Plovilo opremljeno takvom opremom moći će obavljati sve poslove na podmorskim kabelima razine napona do 110 kV, telekomunikacijskih kabela i ostalih podmorskih instalacija.

Postoji velika vjerojatnost da će se do polovice sljedeće 1995. godine program MORKAB ostvariti.

Im Liefervertrag der, für die »Verbindung über Inseln« zweier Netzzeile bestimmten Untersee- und Erdverlegungskabel, hat sich der Lieferer verpflichtet, für Untersee-Stromversorgungskabel aller Spannungsreihen und für optische Untersee-Fernmeldekabel die Reparatur- und Verlegungs-Ausstattung aus dem Programm »MORKAB« mitzuliefern.

Im Artikel sind Maschinengrößen angegeben, und die allgemeine Darstellung der Ausrüstungsanordnung am Deck des Spezialseefahrzeuges beschrieben.

LITERATURA

Tehničke podloge tvrtke Van der Stoel.

EQUIPMENT FOR REPARATION AND LAYING OF THE SUBMARINE CABLES

The goal of the Croatian National Electricity to qualify, both in terms of staff and material assets, for repair of submarine power cables of up to 110 kV is about to be realized. Having signed the contract for the supply of the 110 kV submarine and mainland cables within the »Island Connection«, the supplier undertook the obligation to supply the MORKAB Program equipment, which will allow that submarine cables of any voltage level, as well as telecommunication optical submarine cables, can be laid and repaired.

Basic characteristics of machinery are described and a general layout of the equipment on board of the vessel is given.

DIE AUSRÜSTUNG ZUM REPARIEREN UND VERLEGEN DER UNTERSEEKABEL

Das Bestreben der »Kroatischen Elektrizitätswirtschaft«, sich fachkraft- und sachmäßig, für die Reparaturen und Verlegungen energetischer Unterseekabel bis zur Spannungsreihe 110 kV zu befähigen, steht im Zuge der Verwirklichung.

Naslov pisaca:

Bruno Šaina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos,
Prp Elektroprijenos Opatija,
51410 Opatija, Hrvatska
Petar Čerina, dipl. ing.
HEP, Direkcija za upravljanje i prijenos, Ured potpore, Split
58000 Split, Hrvatska
Mr. Nikola Delavia, dipl. ing.
HEP, DP »Elektra« Zadar,
57000 Zadar, Zvonimirova 8,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1991 — 11 — 08.