

**ANALIZA OPRAVDANOSTI ULAGANJA U PODMORSKU VEZU O. ŠOLTA – O. DRVENIK VELI**  
**ANALYSIS OF INVESTMENT IN SUBMARINE CABLE BETWEEN THE ISLAND ŠOLTA AND THE**  
**ISLAND OF DRVENIK VELI**

Ivan Andrić, HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split, Hrvatska  
Hrvoje Jelić, HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split, Hrvatska  
Roko Miše, HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split, Hrvatska

**KRATAK SADRŽAJ**

U ovom radu analizira se isplativost ulaganja u 20 kV podmorski kabel između otoka Šolta i otoka Drvenika Veli. Naime otočna skupina Drvenik Veli i Drvenik Mali se napajaju dvostrano s istog 10 kV vodnog polja Vinišće napajano iz TS 35/10 kV Marina koja je i sama radijalna, a kao vitalni objekt marinskoga područja nema zadovoljen N-1 kriterij. Postojeći konzum šireg područja otoka Drvenika Velog i Drvenika Malog predstavlja ukupno sedam trafostanica, te tri kabel kućice, ukupne instalirane snage 1770 kVA. Izgradnjom TS 20(10)/0.4 kV Drvenik Veli 6 (Krknjaši) na otoku Drvenik Veli otvara mogućnost povezivanja TS 20(10)/0.4 kV Maslinica 2 sa TS 20(10)/0.4 kV Drvenik Veli 6. Energetske prilike na otoku Drvenik Veli i Drvenik Mali nisu dobre, a problemi u napajanju javljaju se u sezoni i van nje.

**Ključne riječi:** Podmorski kabel, N-1 kriterij, vršno opterećenje

**ABSTRACT**

This paper analyzes cost effectiveness of investing in a 20 kV submarine cable between the island of Šolta and the island of Drvenik Veli. The island group Drvenik Veli and Drvenik Mali are two-sidedly supplied from the same outgoing feeder Vinišće from SS 35/10 kV Marina which is radial connected and as a vital object of the area of Marina, the N-1 criteria is not achieved. Existing consumption of the area of islands Drvenik Mali and Drvenik Veli present seven substations and three cable houses with a total installed power of 1770 kVA. After building the SS 20(10)/0,4 kV Drvenik Veli 7 (Krknjaši) on the island Drvenik Veli there is a possibility of connection between SS 20(10)/0,4 kV Maslinica 2 (which is located on the island of Šolta) with SS 20(10)/0,4 kV Drvenik Veli 6. Energy opportunities on the island of Drvenik Veli and Drvenik Mali are in not good conditions, problems with power supply are present during the summer season and after it.

**Key words:** Submarine cable, N-1 criteria, peak load

Ivan Andrić, stijena23@gmail.com

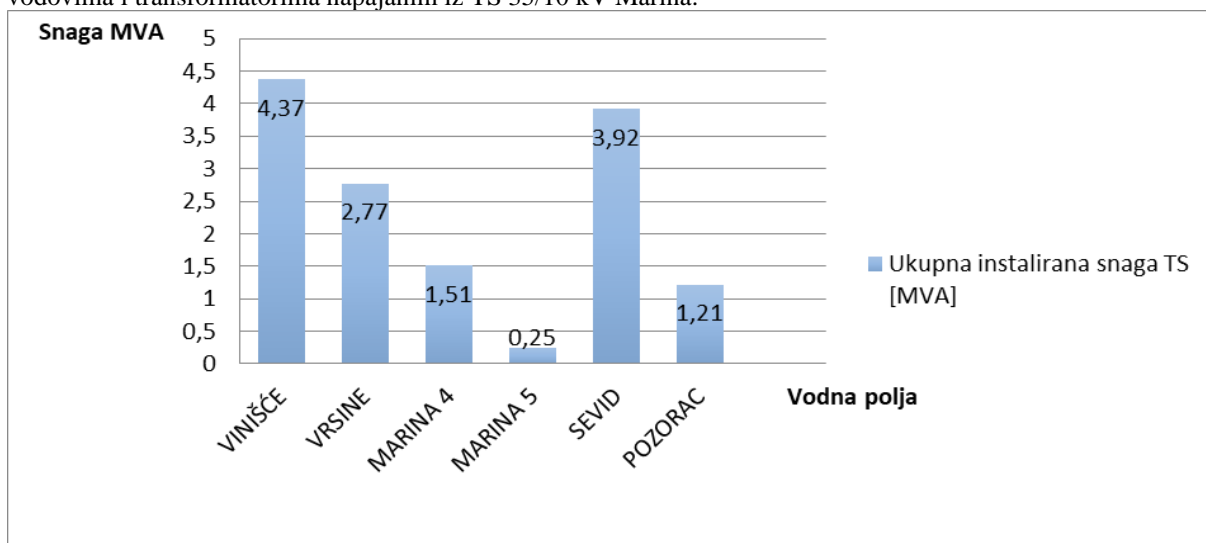
**1. UVOD**

Pogon Trogir čine grad Trogir i Split (Slatine) te općine Okrug, Marina, Seget i Prgomet. Opskrba električnom energijom osigurava se iz TS 110/35 kV Trogir koja preko priključnih TS 35/10 kV napaja pojedine dijelove pogona. Grad Trogir, općinu Seget kao i manji dio Općine Marina napaja TS 35/10 kV Trogir. Veći dio općine Marina kao i otoke Drvenik Mali i Drvenik Veli napaja TS 35/10 kV Marina. TS 35/10 kV Čiovo napaja otok Čiovo (općina Okrug, grad Trogir i Split).

Za vrijeme vršnih opterećenja (ljetni period) visoko su opterećene TS 35/10 kV Trogir, 35/10 kV Marina, i TS 35/10 kV Čiovo. Transformatorska stanica TS 35/10 kV Marina radijalno je, zračnim vodom, priključena na pojnu točku TS 110/35 kV Trogir tako da ispadom 35 kV dalekovoda Trogir - Marina veći dio potrošača napajan iz TS 35/10 kV Marina ostaje bez električne energije.

Ukupna duljina SN vodova TS 35/10 kV Marina iznosi 63,67 km s udjelom dalekovoda od 65% odnosno 41,25 km, dok ukupna instalirana snaga TS 10/0,4 kV iznosi 13270 kVA.

Šire područje općine Marina kao i otoke Drvenik Veli i Mali napaja 47 trafostanica 10/04 kV. Dakle, radi se o izuzetno razgranatoj mreži s velikom duljinom vodova s obzirom na potrošnju. U tablici 1. prikazani su podaci o vodovima i transformatorima napajanim iz TS 35/10 kV Marina.

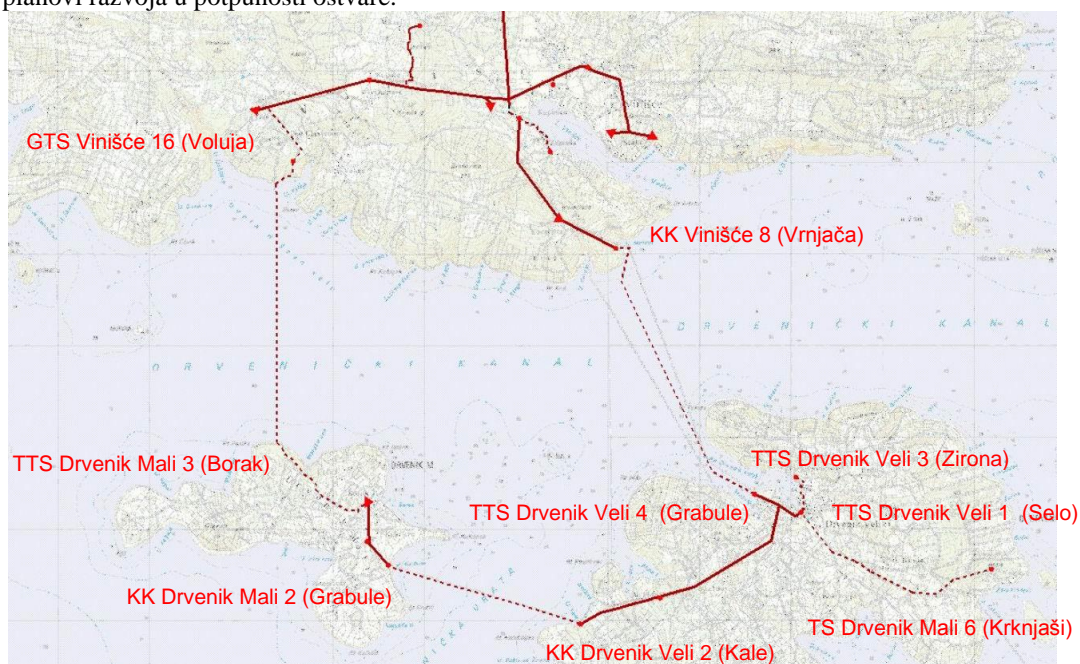


TABLICA 1. PODACI O INSTALIRANOJ SNAZI TRANSFORMATORA NAPAJANIM IZ TS 35/10 KV MARINA

Postojeća mreža priobalnog područja Trogira, Marine i Vinišća kao i otočna skupina Drvenik Mali i Drvenik Veli u koncepcijskom smislu riješeno je radijalno. VP Vinišće također je izvedeno radijalno s 10 kV dalekovodom čiji su vodiči tipa AlFe presjeka 25 mm<sup>2</sup>. Napajanje otoka Drvenik Velog izvedeno je starim podmorskim kabelom tipa IPZO 3x35 mm<sup>2</sup> iz KK Vinišće 8 prema TTS 20(10)/0,4 kV Drveniku Velom 4 u dužini 3,4 km.

Otok Drvenik Mali povezan je starim podmorskim kabelom tipa IPZO 3x35 mm<sup>2</sup> iz KK Drvenik Veli 2 prema KK Drvenik Mali 2. Uz to 2008. godine položen je novi podmorski kabel kako tipa XHE 46/24- V 3x120/16 mm<sup>2</sup> iz TTS 20(10)/0,4 Drvenik Mali 3 prema GTS 20(10)/0,4 Vinišće 16 u svrhu povećanja pogonske sigurnosti.

Osnovna razvojna grana ovih mjesta je turizam, te se na ovim područjima očekuje povećanje konzuma, naročito ako se planovi razvoja u potpunosti ostvare.



SLIKA 1. ELEKTROOPSKRIBNO STANJE OTOKA DRVENIKA MALI I DRVENIKA VELI

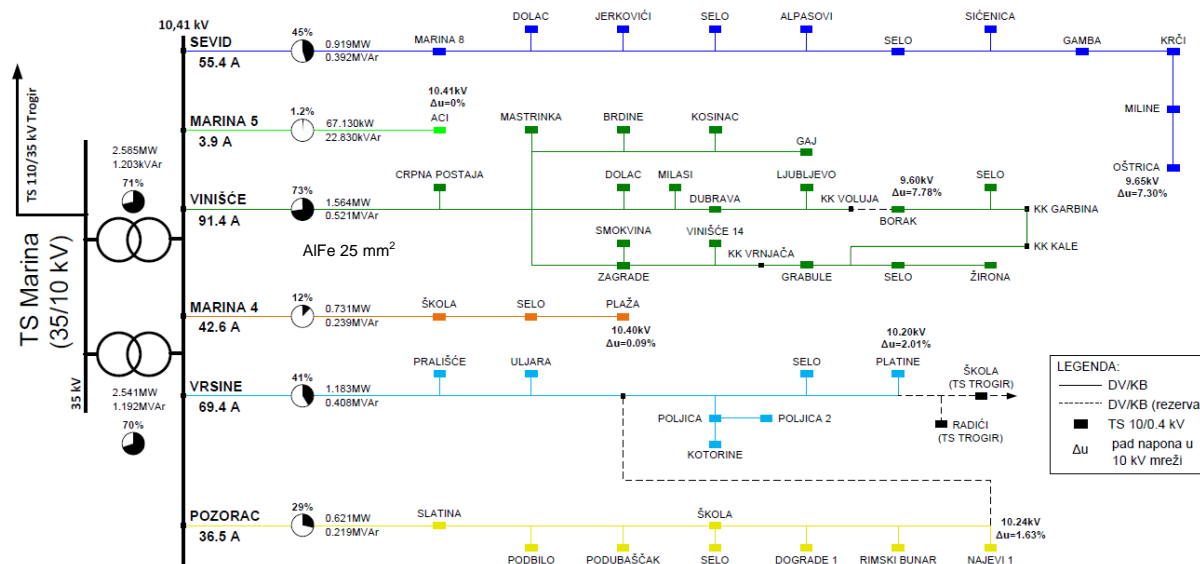
SN mreža 10 kV cijelog područja oblikovana je prema prostornom rasporedu naselja, zaseoka i vikend naselja u kojima su locirane TS 20(10)/0,4 kV. Iste se napajaju sa DV 10 kV koji je trasiran uz glavne prometnice, ali i dijelom kroz nepristupačne terene na potezu od Vinišća odnosno otoka Drvenika Velog i Drvenika Malog.

Vrlo česti ispadi spomenutog vodnog polja Vinišće prouzrokovani su zbog dotrajalosti dijelova mreže, učestalih atmosferskih pražnjenja u zimskim mjesecima, te zbog kvarova na podmorskom kabelu.

## 2. ANALIZA TOKOVA SNAGA

### 2.1. VP Vinišće napajano iz TS 35/10 kV Marina

Model 10 kV mreže napajane iz TS 35/10 kV Marina je formirana na temelju poznatih tehničkih parametara elektroenergetske mreže, s uklopnim stanjem koje se prakticira u redovnom pogonu mreže te s ukupnim opterećenjem koje približno odgovara izmjenjenim vršnim opterećenjima pojedinih izvoda. Model također uključuje transformaciju 35/20(10) kV i 20(10)/0.4 kV, a potrošačka čvorišta ekvivalentirana su na niskonaponskoj strani transformacije 20(10)/0.4 kV. Na slici 2 prikazani su proračuni tokova snaga.



SLIKA 2. PRIKAZ TOKOVA SNAGA I NAPONSKIH PRILIKA SN IZVODA U TS 35/10 KV MARINA

Rezultati pokazuju da je najopterećeniji izvod Vinišće 73%, dok je opterećenje ostalih izvoda ispod 50 %. Naponske prilike udaljenih trafostanica su izrazito povoljne izuzev dva slučaja gdje su na granici dozvoljenih.

TABLICA 2. REZULTATI OPTEREĆENJA VODNIH POLJA U TS 35/10 KV MARINA

Izvod	Opterećenje [A]
Vrsine	69
Marina 4	42,6
Vinišće	91,2
Sevid	55,8
Pozorac	39
Marina 5	3,9

Radi se o padovima napona na izvodima Vinišće i Sevid koji iznose 7,78% odnosno 7,30%. Padovi napona su izraženi u odnosu na napon sabirnica 10 kV.

Osim gore iskazanih problema na spomenutom vodnom polju iz proračuna možemo zaključiti da su evidentirani sljedeći nedostaci u SN mreži 10 kV:

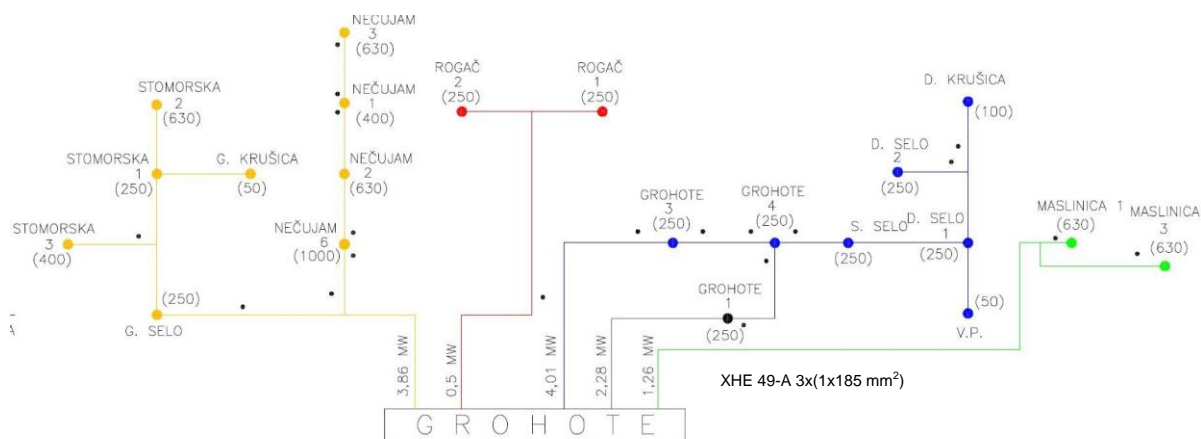
- na relativno dugačkom vodu 10 kV padovi napona su znatno uvećani pri porastu opterećenja na vodnom polju,
- primijenjena je nedovoljno selektivna zaštita,

- budući da je mreža radijalna, nema mogućnosti rezervnog napajanja, dakle nema nikakve fleksibilnosti u pogonu, pa tako svaki kvar na mreži uzrokuje prekid napajanja konzumnog područja koji se nalazi iza mjesta kvara. U takvim situacijama najugroženiji su otoci Drvenik Veli i Drvenik Mali.

Sagledavajući sve gore navedene trendove porasta možemo pretpostaviti da će vršno opterećenje koje je sada prisutno na izvodu Vinišće iz TS 35/10 kV Marina višestruko porasti, pa je stoga potrebno u planove razvoja obavezno predvidjeti gradnju novih elektroenergetskih objekata.

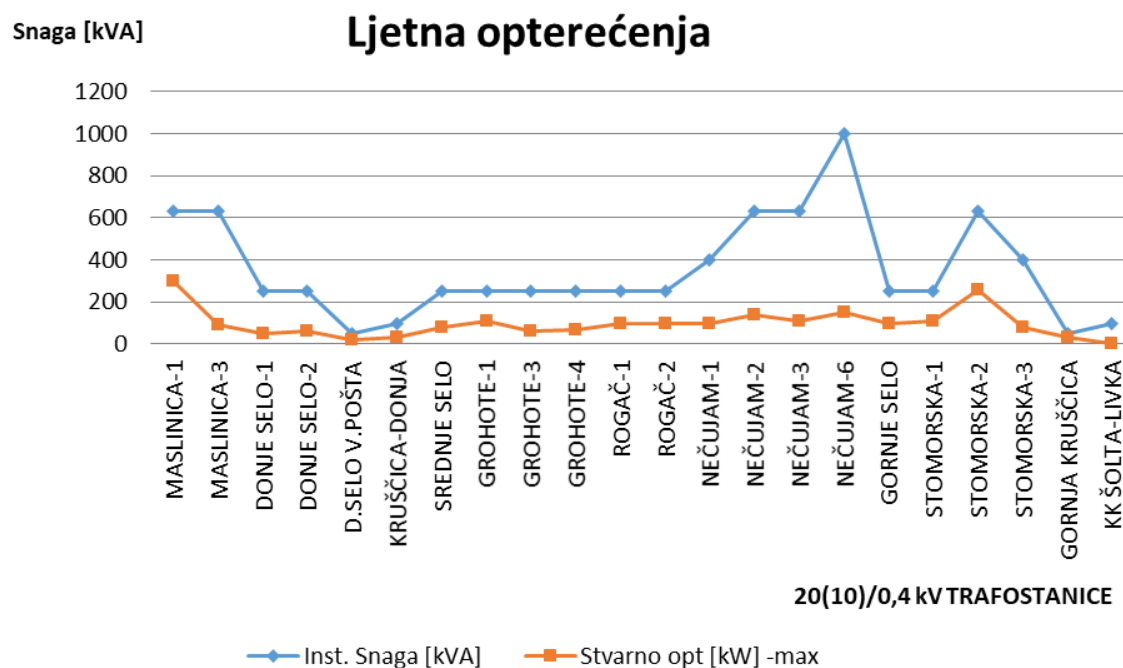
## 2.2 VP Maslinica napajano iz TS 35/10 kV Grohote

Konzum otoka Šolte opskrbljuje se iz TS 35/10 kV Grohote putem SN mreže, koja je dijelom izvedena podzemno kabelima raznih presjeka, te dijelom nadzemno s vodovima tipa AlFe 3x35mm<sup>2</sup>. Instalirana snaga TS Grohote je 2 x 4 MVA.



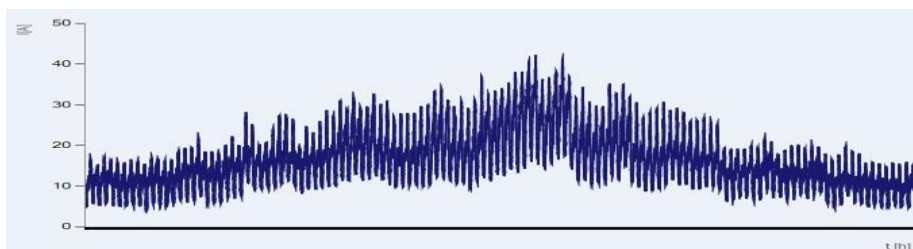
SLIKA 3. BLOK SHEMA TS 35/10 GROHOTE SA SN IZVODIMA

Prema mjerenju izvedenom od strane Pogona Split prosječan konzum promatranih trafostanica je kako slijedi:



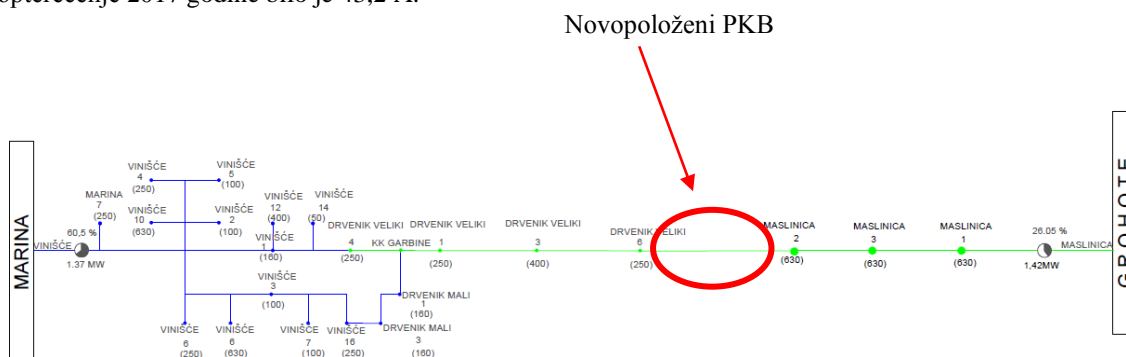
SLIKA 4. OPTEREĆENJA 20(10)/0,4 KV TRAFOSTANICA NAPAJANIH IZ TS 35/10 KV GROHOTE

Postojeći konzum otoka Šolte napaja 21-a TS 20(10)/01,4 kV ukupne instalirane snage 7850 kVA, a sadašnji ukupni konzum je 2500 kW. U nastavku ćemo obraditi podatke VP Maslinica jer se na njega planiramo spojiti budućim podmorskim kabelom prema otoku Drvenik Veli.



SLIKA 5. VRŠNO OPTEREĆENJE VP MASLINICA

Iz slike 5. vidljivo je da VP Maslinica je podopterećeno vodno polje koje napaja dvije TS 20(10)/0,4 kV u mjestu Maslinica ukupno instalirane snage 1,26 MVA. Transformatorske stanice se napajaju jednožilnim energetskim kabelima 12/20 (24kV) NA2XS(F)2Y (XHE 49-A) 1X185 RM/25 mm<sup>2</sup>. Izmjereno vršno opterećenje 2017 godine bilo je 43,2 A.



SLIKA 6. NOVO UKLOPNO STANJE SA NOVOPOLOŽENIM PKB

Na slici 6. prikazano je novo uklopno stanje sa novopoloženim 20(10) kV podmorskim kabelom. Opterećenje na VP Vinišće je 60,5 % što znatno manje u odnosu na prijašnje stanje. Najoptimalnije mjesto gdje bi se držala „dva napona“ je TS 20(10)/0,4 kV Drvenik Veli 4 (Grabule) gdje bi se uz to ugradio daljinski upravljivi SN blok konfiguracije 2VT čime bi se omogućila sigurnija opskrba električnom energijom u slučaju kvara jedne dionice. Također bilo bi omogućeno rezervno napajanje sa drugog smjera čime je ispunjen N-1 kriterij. Automatizacijom mreže popravljiva se vrijeme otklanjanja zastoja. Popravljanje SAIFI pokazatelja moguće je ostvariti samo zamjenom postojećih elemenata mreže te uvođenjem brže zaštite.

### 3. POKAZATELJI POUZDANOSTI NAPAJANJA VP VINIŠĆE (SAIDI, SAIFI I CAIDI)

Prema definiciji [1] pouzdanost napajanja je sposobnost mreže da osigura stalnost napajanja električnom energijom u određenom vremenskom razdoblju, iskazana pokazateljima broja i trajanja prekida napajanja. Prekid napajanja definiran je kao stanje pri kojemu na mjestu predaje električne energije nema napona u trajanju duljem od 1,5 sekunde, a može biti kratkotrajni u trajanju do uključivo tri minute ili dugotrajni u trajanju preko tri minute. Indeks pouzdanosti pokazuje kvalitetu isporučene električne energije u određenom vremenskom periodu kroz broj prekida, trajanje prekida ili ukupno trajanje svih prekida u isporuci električne energije. Svrha analize pouzdanosti je dobiti pokazatelje za neplanirane zastoje na 10 kV izvodu VP Vinišće.

U radu su prikazani indeksi:

- SAIDI: trajanje dugih neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih ispadima na mreži srednjeg (10 kV) napona u godini dana (min/god);
- SAIFI: broj dugih neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih ispadima na mreži srednjeg napona (10 kV) u godini dana (prekida/god);



- CAIDI: prosječno trajanje dugih neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih ispadima na mreži srednjeg napona.

Boje u tablici 3. prikazuju zadovoljenje određenih kriterija. Crvenom bojom je naznačeno ako niti jedan od kriterija nije zadovoljen.

TABLICA 3. KRITERIJI POUZDANOSTI NAPAJANJA U POSTUPKU PLANIRANJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE SREDNJEG NAPONA (PROSJEK PO TS 10(20)/0,4 KV) [4]

Standardi	Vrsta mreže	SAIDI (min/god)	SAIFI (zastoj/god)
<b>Standard 1</b>	Gradsko područje s pretežno kablskom mrežom	120	2
<b>Standard 2</b>	Prigradska područja i veća naselja	240	4
<b>Standard 3</b>	Nadzemni vodovi u vangradskim područjima	360	8
<b>Dodatni globalni kriterij</b>	Zadržavanje postojećeg stanja ako je bolje od standarda		

TABLICA 4. POVIJESNI POKAZATELJ POUZDANOSTI NAPAJANJA VP VINIŠĆA

TS 35/10 kV Marina VP Vinišće	Godina	SAIFI (zast/god)	SAIDI (min/god)	CAIDI (min/kom)
	2011	2,47	1 178,99	477,32
	2012	7	3120	445,71
	2013	1	630	630
	2014	1	395	395
	2015	4	1962	450
	2016	2,02	687,42	338,82
	<b>Prosjek</b>	<b>3,25</b>	<b>1,527</b>	<b>491,68</b>

Tablica 4. detaljno prikazuje prisilne zastoje u SN mreži. Razmatrani su zastoji od 2011 do 2016 godine. Pokazatelji pouzdanosti napajanja, prikazani u ovom radu, dobiveni su korištenjem izvješća iz sustava DISPO. Dežurna služba pogona Trogir ažurno evidentira podatke o svakom prekidu napajanja u SN i NN mreži. U knjigama evidencije prekida vodi se mjesto prekida, vrijeme trajanja, uzrok kvara, broj područja (transformatorskih stanica) pogođenih tim kvarom i neisporučena električna energija tijekom kvara.

#### 4. TEHNIČKI OPIS PLANIRANOG ZAHVATA PRIPREME I IZGRADNJE PKB-A O. ŠOLTA – O. DRVENIK VELI

Elektroenergetska mreža 10(20) kV s gledišta pouzdanosti zahtjeva mogućnost dvostranog napajanja. Naravno ovisno o stupnju razvoja, osjetljivosti konzuma, kao i o izvedbi da li je mreža kablaska ili zračna, ovaj se zahtjev ispunjava od slučaja do slučaja.

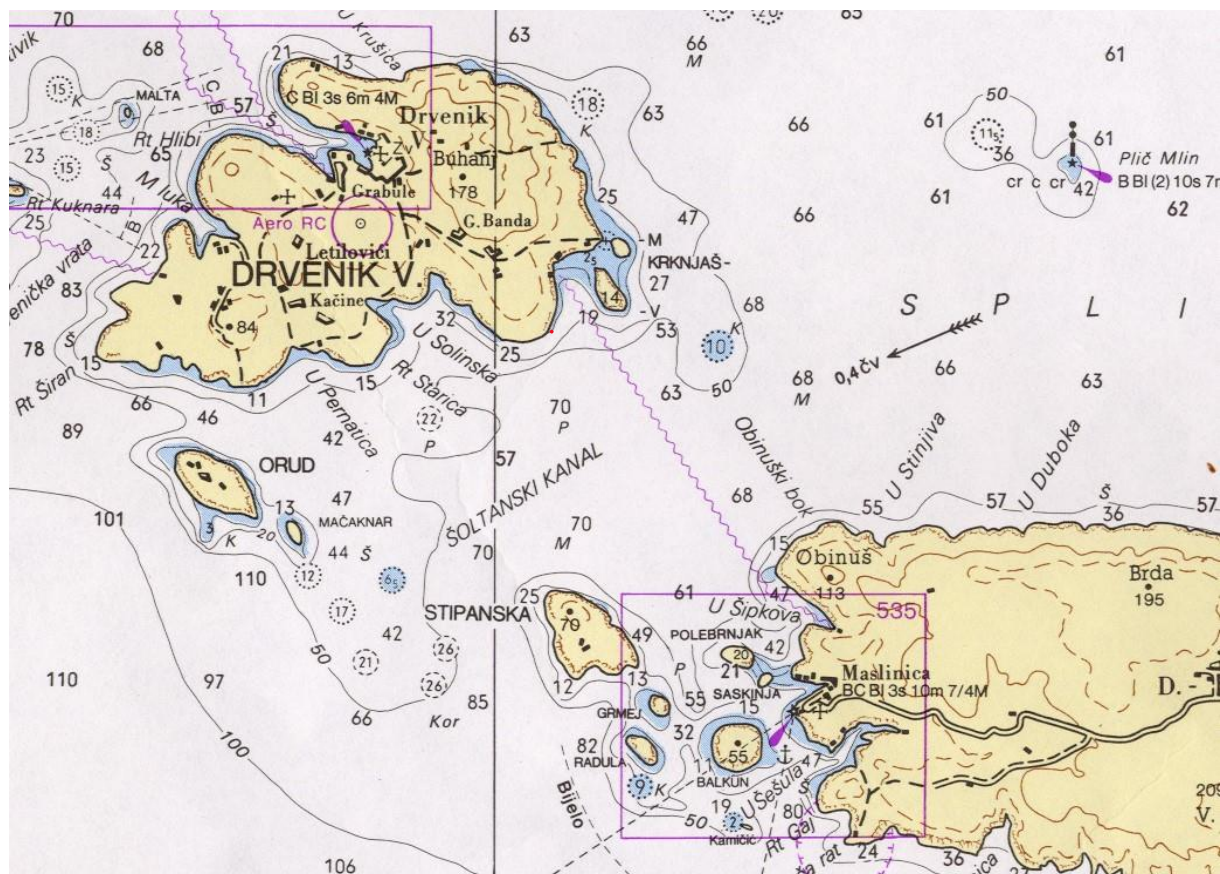
Elektroenergetski čimbenici općenito definiraju makro lokacije elektroenergetskih objekata, pa tako i elektroenergetskih podmorskih kabela. Međutim, mikrolokacija elektroenergetskog podmorskog 20 kV kabela rezultat je niza preduvjeta koje treba ispuniti i objediniti u konačno definiranoj trasi. U našem slučaju, riječ je o izgradnji podmorskog kabela između otoka Šolte i Drvenika Velog, a sve s ciljem povećanja pogonske pouzdanosti napajanja otoka Drvenika Velog i Malog, kao i VP Vinišće iz TS 35/10 kV Marina. Neke od preduvjeta, odnosno zahtjeva navodimo u slijedećem nizu:

- elektroenergetski zahtjevi,
- zahtjevi prostornih planova,
- zahtjevi lučkih vlasti,
- uvažavanje infrastrukturnih koridora,
- zahtjevi koji izlaze iz višegodišnjeg iskustva na odabiru, polaganju i eksploataciji sličnih objekata,
- itd.

Kabelske trase podmorskih kabela, u principu, se sastoje od jedne dulje podmorske dionice, te dvije kraće kopnene dionice kojima se predviđena trasa uklapa u postojeću elektroenergetsku mrežu. Izbor i određivanje

kabelske trase izvršava se očevidom na terenu, uvažavajući sve relevantne čimbenike, prvenstveno lokaciju postojećeg kabelskog koridora, te položaj postojećih podmorskih i podzemnih instalacija prisutnih na trasi. Svakako, treba napraviti hidrografsku snimku podmorja s uključenom oceanografijom, geologijom, magnetometrijom i batimetrijom mora.

Konkretno, početna točka kabelske trase bila bi na rtu Obinuški bok (otok Šolta, 1500 m sjeverozapadno od mjesta Maslinice) i to prijelazna spojnica na planirani kabel iz TS 20(10)/0,4 kV Maslinica 2. Krajnja točka podmorske dionice kabelske trase završava na jugoistočnoj obali otoka Drvenik Veli i to na rtu G. Banda zapadno od otočića Krknjaši. Kopnenim kabelom bi se spojili u obližnju TS 20(10)/0,4 kV Drvenik Veli 6.



SLIKA 6. ISJEČAK IZ POMORSKE KARTE MK – 16 (ROGOZNICA-SPLIT) HRVATSKOG HIDROGRAFSKOG INSTITUTA, SA PRIKAZOM TRASA POSTOJEĆIH PODMORSKIH INSTALACIJA NA DIJELU OTOKA ŠOLTA I DRVENIK VELI U PODRUČJU ŠOLTANSKOG KANALA.

Tehnički detalji planiranog podmorskog kabela su sljedeći:

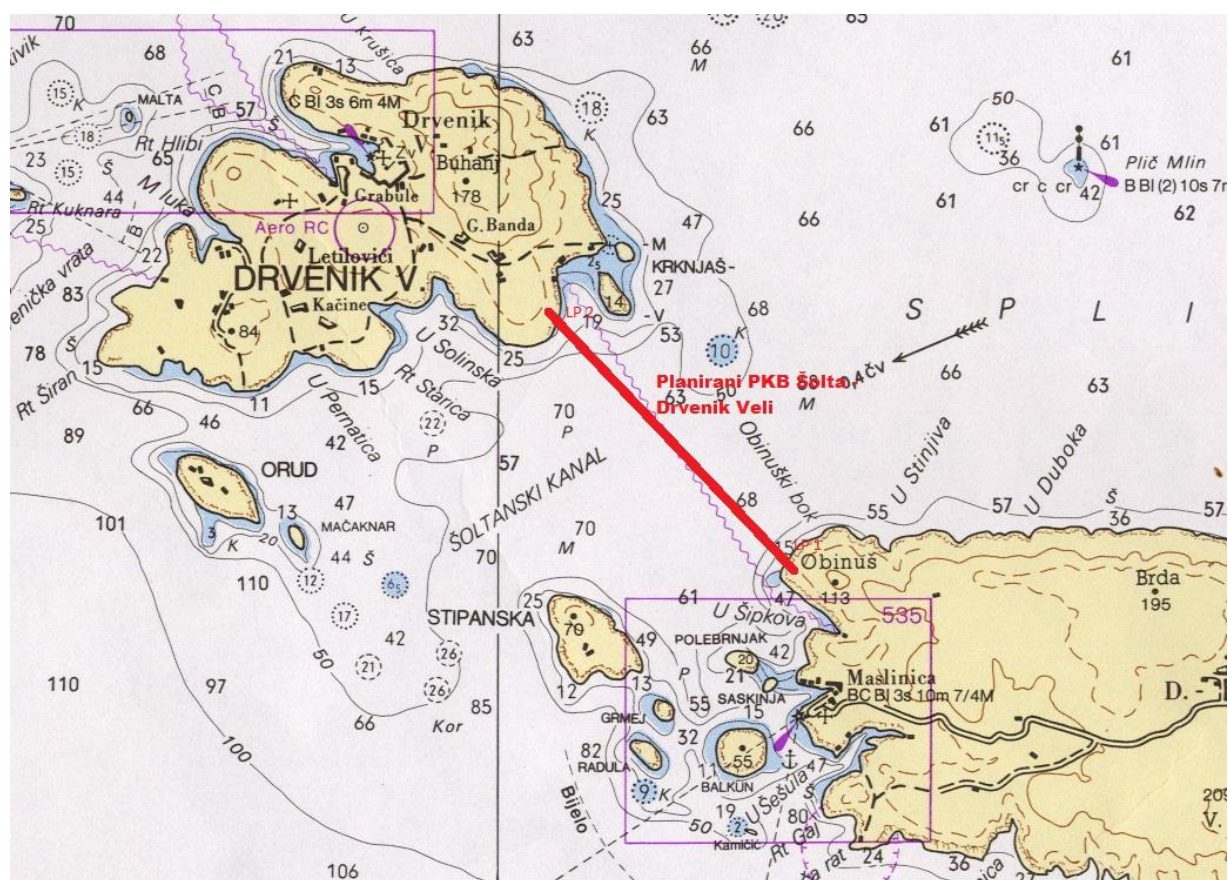
- način pogona SN mreže u TS 35/10 kV Marina je izolirano,
- struja zemljospoja iznosi 47,16 A.
- maksimalna struja kratkog spoja na 10 kV sabirnicama u TS 35/10(20) kV MARINA je 4 kA.
- vrijeme prorade zaštite 1 s.

Planirana duljina podmorske trase između otoka je 4 300 m. Za ovu dionicu izabrali smo sljedeći (standardni) tip kabela koji se koristi u HEP ODS-u i to: XHE 46/24 – V , 3×120/16 mm<sup>2</sup>, 12/20/24kV nominalne struje 407 A. Planirani kabel je srednjenaponski podmorski kabel, trožilni, napravljen od vodiča Cu-uže kompaktirano, XPE izolacije s Cu ekranom oko svake žile. Uzdužno je vodonepropustan ekrana, a ima PE unutrašnji plašt. Armatura mu je od čeličnih pocinčanih žica i uzdužno vodonepropusna te ima PE vanjski plašt. Kabel ima prijenosnu moć od cca. 7 MVA te je sasvim dovoljan za sve buduće potrebe razvoja otoka Drvenik Veli i Mali.

Priobalne zaštite se planiraju na o. Drveniku Velikom i na o. Šolti izvesti strojnim bušenjem, te provlačenjem jedne PEHD cijevi  $\Phi$  180 mm. Bušenje se vrši strojem s navođenjem. Kabel na taj način ima najkvalitetniju zaštitu, a na priobalju nema vidljivih tragova iskopa. Na podmorskoj dionici polaganje kabela će se izvesti brodom polagačem. Kabel se slobodno polaže na dno gdje se svojom težinom utiskuje u muljeviti sediment ili



slobodno leži na tvrdom dnu. Na krajevima podmorski kabel se razvlači i polaže na morsku površinu pomoću zračnih jastuka. Nakon spuštanja na morsko dno kabel se uz pomoć sajle provlači kroz cijev priobalne zaštite.



SLIKA 7. PLANIRANA TRASA PODMORSKOG KABELA ŠOLTA – DRVENIK VELI

Ukupna investicija izgradnje ovog kabela koja uključuje: sve pripremne radnje na izradi projektne dokumentacije (hidrografsku izmjeru i izradu projektne dokumentacije), bušenje priobalnih zaštita, kupnju i polaganje kabela te plaćanje prava služnosti RH:

TABLICA 5. TROŠKOVI INVESTICIJE ZA POLAGANJE PKB-A

Projektiranje kableske dionice	26.700,00 €
Hidrografska izmjera	26.700,00 €
Polaganje kabela i izrada kabljskih spojnika	34.000,00 €
Dobava kabela	427.000,00 €
Služnost	54.000,00 €
Kopnena dionica kabela	27.000,00 €
Nepredviđeni troškovi	14.000,00 €
<b>UKUPNO:</b>	<b>609.400,00 €</b>

## 5. ZAKLJUČAK

Pouzdanost sustava važan je segment planiranja i optimizacije pogona distribucijskih sustava. Sistematično i ekonomski opravdano investiranje u automatizaciju mreže i nove smjerove napajanja značajno povećava mogućnost distribucijske mreže da nastavi isporuku električne energije do svih korisnika i u izvanrednim pogonskim stanjima. Ukoliko uzmemo u obzir ubrzan razvoj turizma u sljedećih 20-tak g. na za sada relativno slabo razvijenim otocima Drvenik Veli i Drvenik Mali te otoku Šolti, kao i nemogućnost jednostavnog „zatvaranja“ petlje VP Vinišće (koje napaja turistička naselja Vinišće i Marinu) iz radialne TS 35/10 kV Marina logično je za zaključiti da je ova podmorska veza itekako potrebna. Treba naglasiti da će se u skoro vrijeme opskrbljivači i isporučitelji električne energije biti prisiljeni plaćati „penale“ za neisporučenu električnu energiju pa je i ovo još jedan razlog koji opravdava ovu investiciju. U budućnosti će se prelaziti na 20 kV napon čime bi se prijenosna moć pojedinih vodova udvostručila. Obzirom da HEP ODS d.o.o. u sljedećih 10 g. planira



napraviti brojne zamjene dotrajalih podmorskih kabela i izgradnju novih vjerojatno će i ova veza biti jedna od tema o kojoj će se voditi računa.

## **6. LITERATURA**

1. Uvjeti kvalitete opskrbe električnom energijom, (NN br. 37/17, 47/17)
2. W. Bone, C. Sonderer: „Cooper in comparison with aluminium as common material in conductors of LV and MV cables“
3. Kriteriji i metodologija planiranja razvoja distribucijske mreže, HEP-ODS, 2014.
4. Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06).
5. R. Billinton, L. Salvaderi, J. D. McCalley, H. Chao, T. Seitz, R. N. Allan, J. Odom, and C. Fallon, “Reliability issues in today’s electric power utility environment,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 12, no. 4, pp. 1708–1714, 1997.