

## EKSPLOATACIJA VISOKOTEMPERATURNOG VODIČA S KOMPOZITNOM JEZGROM TIPA ACCC U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI 35 kV

### EXPLOITATION OF HIGH TEMPERATURE CONDUCTOR WITH A COMPOSITE CORE TYPE ACCC IN POWER DISTRIBUTION NETWORK 35 KV

Ivan JURIĆ, HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Elektrodalmacija Split, Hrvatska,  
Marin ČURKOVIĆ, HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., Elektrodalmacija Split, Hrvatska

#### KRATAK SADRŽAJ

Prva ugradnja visokotemperaturnog vodiča s kompozitnom jezgrom tipa ACCC u distribucijskoj mreži nazivnog napona 35 kV na području Republike Hrvatske provedena je uslijed povećanih zahtjeva za potrošnjom električne energije uslijed razvoja Grada Makarske i izgradnje objekata turističke i stambene namjene. Navedenim vodičem prenosi se električna energija iz transformatorske stanice 110/35/10(20) kV Makarska u transformatorsku stanicu 35/10(20) kV Makarska, koja se nalazi u užem centru grada i služi za napajanje najvećeg dijela potrošačkog konzuma.

Prikazati će se smanjeni troškovi uslijed eksploatacije visokotemperaturnog vodiča naprema klasičnog ACSR vodiča (Aluminium Conductor Steel Reinforced), te smanjenje emisije stakleničkih plinova odnosno ugljičnog dioksida CO<sub>2</sub> prema zadanim ciljevima Europske Unije. Na tu temu posebno će se obraditi zahtjevi vezani za kvalitetu, sigurnost i pouzdanost opskrbe električnom energijom i postizanjem zadanih ciljeva. U svrhu praćenja kvalitete isporuke električne energije vršeno je praćenje broja zastoja (planirani/neplanirani), te je vršena usporedba pokazatelja pouzdanosti i godišnjeg dijagrama opterećenja područja Makarske prije i nakon zamjene postojećeg ACSR vodiča s ACCC vodičem. Usporedbom pokazatelja pouzdanosti SAIFI, SAIDI i CAIDI uočeno je poboljšanje navedenih pokazatelja pouzdanosti ugradnjom ACCC vodiča.

**Ključne riječi:** visokotemperaturni vodič s kompozitnom jezgrom, kvaliteta, sigurnost i pouzdanost opskrbe električnom energijom

#### ABSTRACT

The first installation of a high temperature conductor with a composite core type ACCC in the power distribution network of 35 kV in the territory of the Republic of Croatia has been implemented due to increased demands for electricity consumption because of development of the City of Makarska and construction of tourist and residential buildings. With this conductor electric energy is transmitted from transformer station 110/35/10(20) kV Makarska to transformer station 35/10(20) kV Makarska which is located in the center of the city and is used to power most consumers.

Reduced costs will also be presented which are result from exploitation of the high temperature conductor against the classic ACSR conductor (Aluminium Conductor Steel Reinforced) and the reduction of greenhouse gas in first row the CO<sub>2</sub> emissions what are targets of European Union. On that subject it will be described demands related to the quality, security and reliability of electricity supply and achieving the set goals. For the purpose of monitoring the quality of electricity supply the number of outages (planned, unplanned) the comparison was made of the reliability indicators and the annual load diagram of the area Makarska before and after the replacement of the existing conductor with the ACCC conductor. Reliability indicators SAIFI, SAIDI and CAIDI are improved after installing the ACCC conductor.

**Key words:** high temperature conductor with a composite core; quality, security and reliability of electricity supply

## UVOD

Posljednjih nekoliko godina, zbog intenzivnog razvoja turizma, evidentirana je povećana potrošnja električne energije u ljetnim mjesecima na području grada Makarske i makarske rivijere. Samim time opravdanom se pokazala potreba za povećanjem prijenosne moći 35 kV mreže koja napaja spomenuto konzumno područje. U prošlosti su maksimalna opterećenja elektroenergetskog sustava zabilježena u zimskim vremenima dok je u novije vrijeme maksimalno vršno opterećenje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske zabilježeno je u ljetnim mjesecima točnije mjesecu kolovozu. Zbog porasta opterećenja trebalo je riješiti problem napajanja transformatorske stanice 35/10 kV Makarska koja napaja veliki dio konzuma grada Makarske, a napaja se dalekovodom 35 kV iz transformatorske stanice 110/35/10(20) kV Makarska. Predmetni dalekovod bio je za vrijeme vršnih opterećenja na rubu svojih kapaciteta, te je zahtijevao nužnu rekonstrukciju kako ne bi došlo do značajnih kvarova te ugroze sigurnosti kako same elektroenergetske mreže, tako i njenih korisnika.

## SVRHA I OPSEG REKONSTRUKCIJE

Odluka o rekonstrukciji pojedinog dalekovoda ovisi o stanju njegovih elemenata (vodiči, zaštitno uže, izolacija, ovjesna i spojna oprema, stupovi, temelji i drugo) te ulozi koju on ima u elektroenergetskom sustavu. Uvažavajući ekonomske kriterije, obnovu pojedinog dalekovoda nije potrebno obavljati ukoliko njegova pouzdanost i pogonska sigurnost nisu ozbiljnije ugroženi. U konkretnom slučaju i prema projektom zadatku, opseg rekonstrukcija bio je 35 kV dalekovod kojim se napaja transformatorska stanica 35/10 kV Makarska. Predmetni 35 kV dalekovod izgrađen je 80-ih godina prošloga stoljeća na 16 čeličnorešetkastih stupova tipa „jela“, ukupne duljine trase 2702 metra s alu-čeličnim vodičem tipa 3xAl/Č 120/20 mm<sup>2</sup> (ACSR) i zaštitnim užetom Č-III-50 mm<sup>2</sup>. Korišteni su stakleni kapasti izolatori U120 BS koje je potrebno zamijeniti novim izolatorskim lancima za zavješanje novog tipa vodiča. Postojeći čeličnorešetkasti stupovi nisu zahtijevali zamjenu, obzirom da je statičkim pregledom njihove konstrukcije ustanovljeno da su stupovi u dobrom stanju i da će izdržati opterećenja novih vodiča. Razlog tome je odabir visokotemperaturnog vodiča ACCC Sylvassa, koji je svojim promjerom i uzdužnom masom približno jednak postojećem ACSR vodiču. Proračunom se dobilo da postojeći stupovi mogu izdržati i prihvatiti novi vodič, upravo zbog toga što novi vodiči zajedno sa zaštitnim vodičem odgovaraju presjekom i težinom postojećim vodičima. Sve kontrole u projektu revitalizacije i zamjene postojećeg ACSR vodiča s novim ACCC vodičem vršene su sukladno odredbama važećih Pravilnika i normi, a u proračunu je uzeta maksimalna temperatura okoline od +40°C, maksimalne trajne temperature ACCC vodiča od +175°C, ali i tlaka vjetra od 1300 N/m<sup>2</sup> za osnovne visinske zone (od 0 do 40m), koji je uobičajen u ovom kraju karakterističnom za najjače udare sjeveroistočnog vjetra (bura), gdje brzine vjetra prelaze 200 km/h.

### Visokotemperaturni vodiča s kompozitnom jezgrom tipa ACCC

ACCC vodič sastoji se od kompozitne jezgre od ugljičnih i staklenih vlakana koja koristi matricu epoksidne smole visoke temperature za vezanje stotina tisuća pojedinačnih vlakana u objedinjeni zatezni član. Središnja jezgra ugljičnih vlakana okružena je visokokvalitetnim staklenim vlaknima bez bora za poboljšanje fleksibilnosti i žilavosti, a istovremeno sprečava galvansku koroziju između karbonskih vlakana i aluminijskih lanaca. Jezgra ugljika uzrokuje bolja mehanička svojstva te je značajno elastičnija od čelika te praktički eliminira visoki temperaturni koeficijent. Vodljivi dio vodiča izrađen je od aluminija trapezoidnog oblika kako bi se osigurala najveća vodljivost i najmanji mogući električni otpor. Kako su klasični Al/Č odnosno ACSR, odnosno Aluminum Conductor Steel Reinforced, vodiči izgrađeni na način da se žice okruglog presjeka spiralno namotavaju jedna preko druge te žice su ujedno 2-3% duže od same dužine vodiča. Faktor punjenja klasičnog Al/Č vodiča je približno 75-79%, što znači da se stvarni presjek nešto razlikuje od nazivnih presjeka vodiča. U odnosu na okrugli Al/Č vodič u svakom presjeku ACCC vodiča je oko 28% više aluminija u konfiguraciji trapeza, što daje značajno povećanje vodljivosti. ACCC vodič je razvijen za prijenos dvostruko većih vrijednosti struja u odnosu na konvencionalne aluminijske vodiče, a predviđen je za kontinuirani rad na temperaturi do 175 °C (kratkotrajno i 200 °C) te djeluje znatno hladnije zbog povećanog udjela aluminija i veće vodljivost koju nudi Aluminij tipa 1350-O, od klasičnih žičanih vodiča sličnog promjera i težine, pod jednakim uvjetima opterećenja. Upotrebom ACCC vodiča maksimalna prijenosna moć se udvostručuje, dok su gubici vodova reducirani za 25-40% pod jednakim uvjetima opterećenja, a dostupan je u svim veličinama koje su potrebne za prijenosnu mrežu svjetskih prijenosnih

kompanija. Toplinska stabilnost i smanjen toplinski koeficijent kod ACCC vodiča omogućuje manje naprezanje čime se smanjuje djelovanje na stupove dalekovoda, a ima i manje vrijednosti težine po metru u odnosu na druge vodiče koji se danas koriste u električnim mrežama. ACCC vodič nudi novu razinu performansi i pouzdanosti koja prethodno nije bila dostižna, a dugovječnost je jednako važna. Kompozitna jezgra ACCC vodiča povisuje učinkovitost na vrlo veliku razinu, a jezgra od ugljičnih vlakana nije samo otporna na teške uvjete iz okoliša i koroziju već se opire i dugotrajnim velikim opterećenjima.

## PRAVILNA MONTAŽA VODIČA

Kod zamjene postojećih Al/Č vodiča novim visokotemperaturnim vodičima treba voditi računa da se strogo zadovolje uvjeti polaganja i montaže vodiča prema uputama proizvođača. Prvenstveno se to odnosi na silu razvlačenja koju treba kontrolirati i dozirati sukladno uputama proizvođača, kao i duljinu razvučenog vodiča i brzinu razvlačenja. Kod razvlačenja ACCC vodiča treba znati da je upotrijebljeni aluminij znatno mekši nego kod klasičnog Al/Č vodiča. Prilikom radova na razvlačenju i montaži vodiča treba izbjegavati guljenje i grebanje aluminijske površine vodiča što može stvoriti efekt korone i prouzrokovati štetu i kvarove na većim naponskim nivoima. Treba paziti da nema lomljenja vodiča, razvlačenja preko oštih predmeta, udaraca sa okolnim materijalima i slično. Prilikom podizanja ACCC vodiča važno je raširiti područje za podizanje na vodiču kako bi zaštitili jezgru odnosno podizanje obaviti na način da sila djeluje na što veću površinu vodiča.

U normalnim uvjetima zatezač razvlačenja ACCC vodiča postavlja se na udaljenost 3:1 u odnosu na visinu prvog stupa na koji postavljamo vodič. Postolje s bubnjem se uvijek mora nalaziti na udaljenosti od oko 15 metara od zatezača, a ako se ne može zadržati omjer 3:1 onda koristiti veći koloturnik ili dvostruki koloturnik na prvoj točki stupa ili smanjiti visinu koloturnika i spustiti ih na nižu visinu, te nakon toga podići vodič na potrebnu visinu.

Svi nagibi odnosno kutovi savijanja prilikom polaganja ne smiju biti veći od 30 stupnjeva. Ukoliko isto nije moguće ostvariti, koristiti dvostruke koloturnike. Ukoliko nakon razvlačenja vodiča vodoravni ili okomiti kut prelazi 30 stupnjeva, proizvođač preporučuje učvršćivanje vodiča u dvije točke. Kod kutova iznad 50 do 60 stupnjeva, proizvođač općenito preporučuje uporabu završnih konstrukcija.

## POUZDANOST NAPAJANJA I SIGURNOST OPSKRBE

### Pregled potrošnje i vršnih opterećenja

Promatrajući tablice potrošnje i vršnog opterećenja u 2016. i 2018. godini, može se primijetiti kako opterećenje transformatorskih stanica raste tokom ljetnih mjeseci. U slijedećim slikama prikazana je potrošnja i vršna opterećenja na području makarske rivijere za 2016. i 2018. godinu, kao i potrošnja prije i poslije ugradnje visokotemperaturnog vodiča na 35 kV dalekovodu. U tablici su prikazane transformatorske stanice koje su predmet referata, 110/35/10(20) kV i 35/10(20) kV istog imena Makarska ali različitih naponskih nivoa koje su povezane ACCC vodičem. Osim spomenutih transformatorska stanica 110/35/10(20) kV Makarska napaja cijelo područje makarske rivijere preko 35 kV dalekovodne mreže, što uključuje nekoliko mjesta na udaljenosti od 50 km. Prikazati ćemo vršna opterećenja svih 35/10 kV transformatorskih stanica koje se primarno napajaju iz navedene transformatorske stanice.

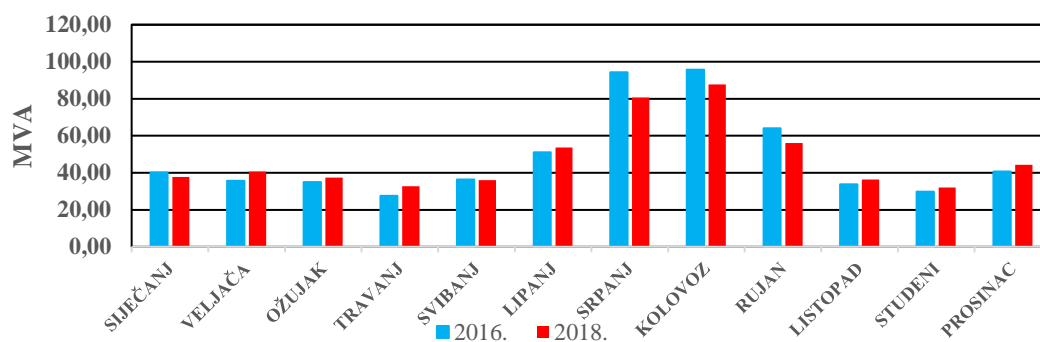
U Tablici 1. naveden je stupac u kojemu je dan omjer koliko posto vremena od jednog mjeseca transformatorska stanica ne zadovoljava kriterij sigurnosti N-1.

Tablica 1. Maksimalne zabilježene snage u transformatorskim stanicama

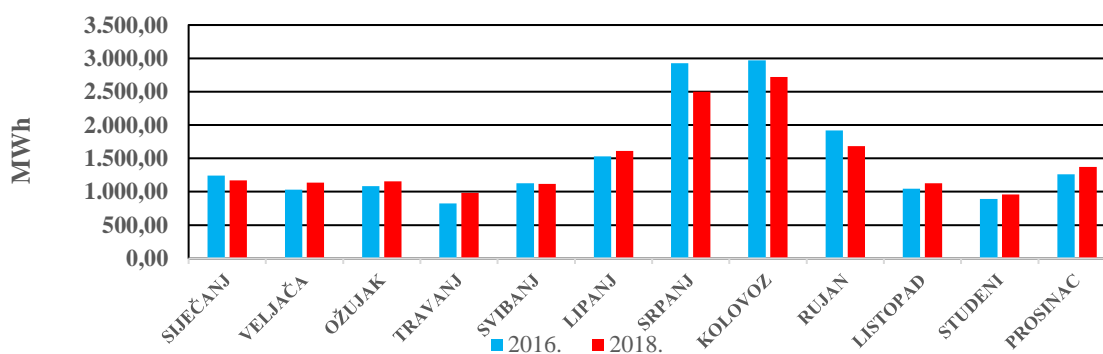
Naziv transformatorske stanice	Instalirana snaga transformatora (MVA)	Maksimalna snaga (MVA)	Datum, vrijeme	Omjer maks./inst. snage (%)	N-1 ne zadovoljava (%)	Godina
TS 110/35/10(20) kV Makarska	20 + 40	47,70	13.08.2016., 20:30 h	79,5	99,8	2016.
		49,89	23.08.2018., 20:15 h	83,1	100	2018.
TS 35/10(20) kV Makarska	8 + 8	4,92	29.08.2016., 19:30 h	30,8	-	2016.
		8,47	22.08.2018., 20:15 h	53,0	0,6	2018.
TS 35/10(20) kV Baška Voda	8 + 16	12,78	13.08.2016 20:30 h	59,9	54,5	2016.
		12,70	08.08.2018 20:15 h	52,9	57,6	2018.

TS 35/10(20) kV Podgora	16 + 16	16,35	20.08.2016 19:45 h	51,1	0,3	2016.
		14,33	09.08.2018 19:45 h	44,8	-	2018.
TS 35/10(20) kV Brist	8 + 8	8,23	13.08.2016 19:45 h	51,4	0,2	2016.
		8,24	07.08.2018 19:30 h	51,5	0,5	2018.

Na dolje navedenim slikama, Slika 1. i 2., prikazana su prosječna mjesečna opterećenja 2016. i 2018. godine svih 35 kV transformatorskih stanica koje napajaju područje makarske rivijere, odnosno transformatorske stanice koje se primarno napajaju iz transformatorske stanice 110/35/10(20) kV Makarska. Također je prikazana ukupna godišnja potrošnja 2016. i 2018. godine svih 35 kV transformatorskih stanica koje napajaju područje makarske rivijere.



Slika 1. Prosječno mjesečno opterećenje područja makarske rivijere 2016. i 2018. godine



Slika 2. Ukupna godišnja potrošnja područja makarske rivijere 2016. i 2018. godine

### Analiza pouzdanosti napajanja

Jedna od klasičnih definicija pouzdanosti glasi „Pouzdanost je vjerojatnost da uređaj ili sustav zadovoljavajuće rade u unaprijed određenom vremenu uz zadane pogonske uvjete“. Uz pouzdanost elektroenergetskog sustava vežu se pojmovi sigurnost i adekvatnost sustava. Sigurnost se odnosi na sposobnost sustava da odgovori na dinamičke, prijelazne promjene kojima je izložen kao što su nepredviđeni ispadi pojedinih njegovih elemenata. Adekvatnost se odnosi na statičko stanje sustava i njegovu dovoljnu izgrađenost da u okvirima nazivnih vrijednosti opterećenja elemenata i naponskih ograničenja opskrbljuje potrošače električnom energijom, a uzimajući u obzir planirane i neplanirane ispade.

U slučaju da se sustav nalazi u stanju u kojem su narušeni jedno ili više njegovih ograničenja poduzimaju se mjere, koje iziskuju odgovarajuće vrijeme izvršenja. Ako dinamički proces elektroenergetskog sustava prouzrokuje izlaz iz tog stanja prije nego što se ono zbog poduzetih mjera ne normalizira, to stanje ne zadovoljava ni sa stanovišta adekvatnosti ni sa stanovišta sigurnosti. Ako se stanje uspije radi poduzetih mjera normalizirati u kraćem vremenu nego što ga zahtijeva dinamički proces, ono zadovoljava s aspekta sigurnosti iako i ne sa stanovišta adekvatnosti. Dakle, vrijeme potrebno za normaliziranje prilika je ključni parametar pri određivanju adekvatnosti i sigurnosti stanja sustava. Međutim, bez obzira da li neko stanje ne zadovoljava sa stanovišta adekvatnosti ili sigurnosti ono je očito stanje kvara sustava koje doprinosi njegovoj nepouzdanosti.

## Definicija pokazatelja pouzdanosti

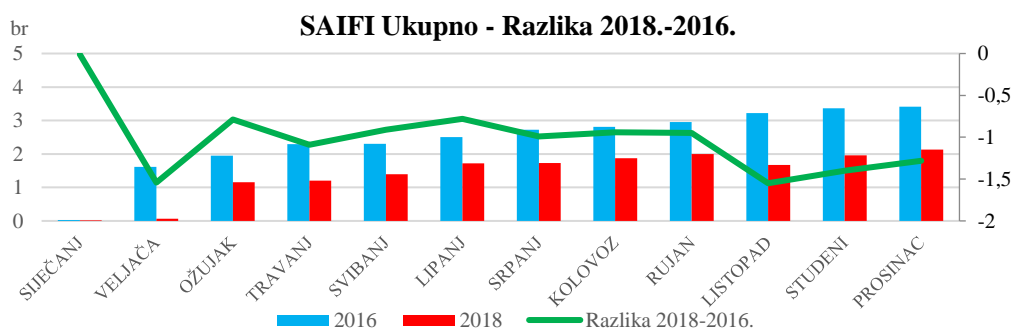
Pokazatelj prosječnog trajanja zastoja indeks SAIDI (engl. System Average Interruption Duration Index) je prosječno ukupno trajanje svih prekida napajanja koje kupac električne energije osjeti u određenom vremenskom periodu. Indeks se računa kao omjer ukupnog broja sati prekida napajanja kupaca prema ukupnom broju kupaca. Raspoloživost sustava je veća što je indeks manji.

Pokazatelj prosječne učestalosti zastoja sustava SAIFI (eng. System Average Interruption Frequency Index) je prosječan broj prekida napajanja koje kupac osjeti u određenom vremenskom periodu. Indeks se računa kao omjer ukupnog broja prekida napajanja kupca prema ukupnom broju napajanih kupaca. Pouzdanost sustava je veća što je indeks manji.

Pokazatelj srednjeg trajanja zastoja po korisniku mreže indeks CAIDI (engl. Customer Average Interruption Duration Index) je prosječno trajanje jednog prekida napajanja za kupca koji je osjetio prekid napajanja u određenom periodu. Indeks CAIDI za ukupni broj svih prekida je suma dobivena zbrajanjem svih vremenskih perioda za sve prekide podijeljeno sa sumom dobivenom zbrajanjem broja kupaca u svakom prekidu. Što je indeks niži to znači da su prekidi kraće trajali. Kada su izračunati indeksi SAIDI i SAIFI onda se vrlo lako može dobiti i indeks CAIDI kao omjer ova dva indeksa.

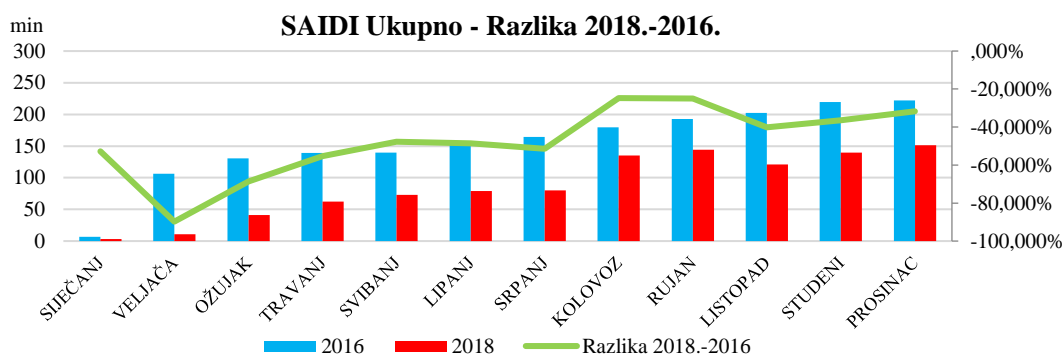
## Pokazatelji pouzdanosti napajanja

Na slijedećim slikama prikazani su pokazatelji pouzdanosti napajanja SAIDI, SAIFI i CAIDI za 2016. i 2018. godinu za promatrane dvije transformatorske stanice koje su povezane visokotemperaturnim vodičem nazivnog napona 35 kV na području Terenske jedinice Makarska. Općenito gledajući, broj prekida napajanja po korisniku mreže SAIFI za promatrano razdoblje 2018. godine na području Makarske je u padu u odnosu na 2016. godinu. Promatrajući prosječan broj prekida napajanja koje kupac osjeti, Slika 3., veći broj planiranih radova uvjetovan je velikim brojem radova na otklanjanju štete nastale usljed olujnog nevremena.



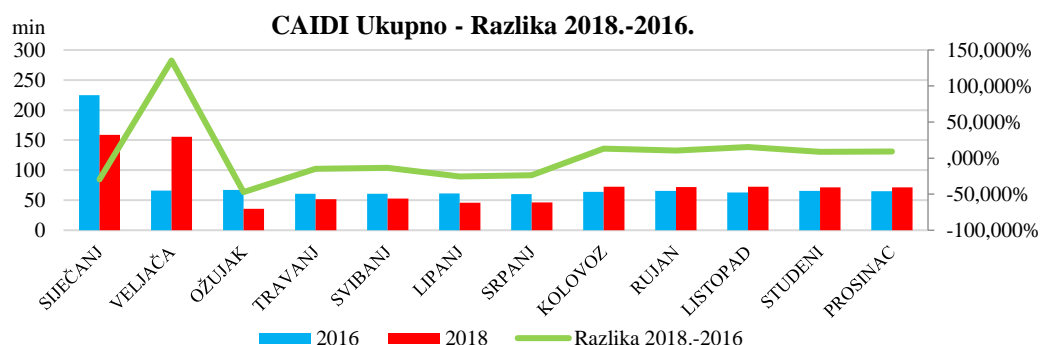
Slika 3. Razlika broj prekida napajanja po korisniku mreže (SAIFI) na području TJ Makarske

Promatrajući broj prekida napajanja i prosječno trajanje prekida napajanja, Slika 4., uočeno je smanjenje prosječnog vremena trajanja prekida po korisniku mreže SAIDI u 2018. godini u odnosu na razdoblje u 2016. godini. Područje Makarske ima povećano trajanje planiranih i neplaniranih prekida u 2016. godini (posebno uzrokovanih višom silom).

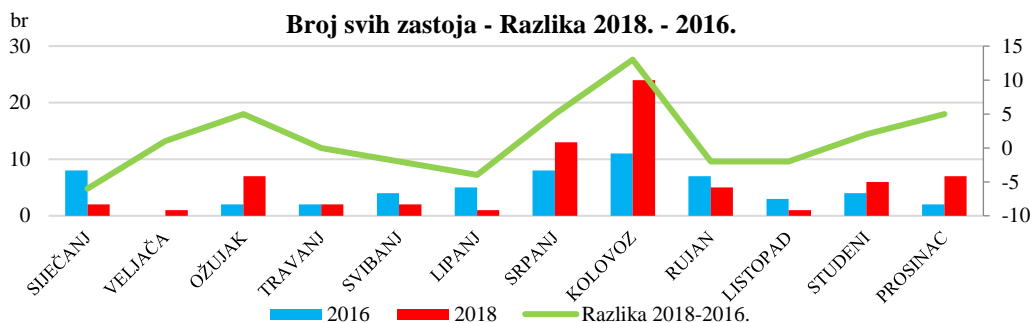


Slika 4. Razlika prosječnog vremena trajanja prekida po korisniku mreže (SAIDI) na području TJ Makarske

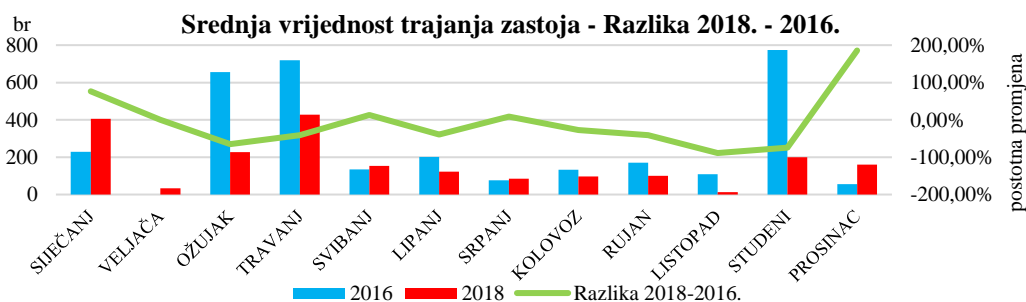
Promatrajući Sliku 5., pokazatelj CAIDI odnosno prosječno trajanje jednog prekida po korisniku koji je osjetio prekid napajanja, većinom je povećan u odnosu na 2016 godinu. Povećanje prosječnog trajanja prekida napajanja po korisniku koji je osjetio prekid napajanja učestalije je u slučaju neplaniranih prekida napajanja koji je veći nego 2016 godine.



Slika 5. Razlika prosječnog trajanja prekida napajanja po korisniku mreže (CAIDI) na području TJ Makarske



Slika 6. Razlika u broju zastoja 2018. i 2016 godine po mjesecima na području TJ Makarske



Slika 7. Srednja vrijednost trajanja zastoja 2018. i 2016. godine na području TJ Makarske

### Neplanirani prekidi napajanja

U neplanirane prekide napajanja spadaju prekidi uzrokovani unutarnjim uzrocima, vanjskim uzrocima te višom silom. Broj prekida napajanja u 2018 godini se povećao u odnosu na 2016 godinu. Vidljivo je da je broj prekida uzrokovanih višom silom u 2018. veći je u odnosu na 2016 godinu. Prosječno trajanje neplaniranih prekida napajanja u 2018 godini smanjeno je u odnosu na 2016 godinu, a u slučaju neplaniranih prekida napajanja uzrokovanih višom silom razlika je i vidljivija.

Prema Tablici 2. možemo vidjeti dobivene rezultate u postocima za sva tri pokazatelja. Postoci su dobiveni na način da su vrijednosti pokazatelja iz 2018. godine umanjene za vrijednost pokazatelja iz 2016. godine. Dobiveni rezultat je zatim podijeljen za vrijednost pokazatelja od 2016. godine za navedeni mjesec u postotnoj vrijednosti. Nije se uzimala apsolutna vrijednost upravo iz razloga da se može jasno prikazati trend povećanja ili smanjenja prekida. Na ovaj način radimo usporedbu prosječnog broja prekida napajanja koje kupac osjeti u 2018. godini naprema prosječnog broja prekida u 2016. godini. Ukoliko je izračunati postotni rezultat pozitivan, znači da je broj

prekida u 2018. veći nego u 2016. godini, te da je trend negativan jer raste broj prekida. Ako je izračunati postotni rezultat negativan to znači da je broj prekida u 2018. manji nego u 2016. godini, te da je trend pozitivan i pada broj prekida.

Tablica 2. Prikaz SAIFI, SAIDI i CAIDI pokazatelja za neplanirani prekid napajanja

Mjesec	SAIFI				SAIDI				CAIDI			
	Neplanirani bez više sile Razlika 2018-2016.		Neplanirani sa višom silom Razlika 2018-2016.		Neplanirani bez više sile Razlika 2018-2016.		Neplanirani sa višom silom Razlika 2018-2016.		Neplanirani bez više sile Razlika 2018-2016.		Neplanirani sa višom silom Razlika 2018-2016.	
	%	Trend	%	Trend	%	Trend	%	Trend	%	Trend	%	Trend
Siječanj	-	+	-100,00	+	-	-	-97,33	+	-	+	-100,00	+
Veljača	-96,23	+	-96,36	+	-97,40	+	-97,68	+	-31,11	+	-36,31	+
Ožujak	19,77	-	20,22	-	-59,62	+	-62,13	+	-66,28	+	-68,51	+
Travanj	-15,25	+	-10,74	+	-64,66	+	-47,29	+	-58,30	+	-40,94	+
Svibanj	-15,25	+	2,48	-	-64,30	+	-46,01	+	-57,87	+	-47,32	+
Lipanj	-23,70	+	12,95	-	-65,88	+	-43,65	+	-55,27	+	-50,11	+
Srpanj	-32,03	+	-0,63	+	-68,42	+	-48,16	+	-53,54	+	-47,83	+
Kolovoz	-24,36	+	2,99	-	-2,85	+	-1,50	+	28,44	-	-4,35	+
Rujan	-26,54	+	1,10	-	-8,07	+	-7,22	+	25,15	-	-8,23	+
Listopad	-45,56	+	-26,44	+	-28,28	+	-28,31	+	31,72	-	-2,54	+
Studeni	-45,88	+	-27,48	+	-36,87	+	-34,20	+	16,65	-	-9,26	+
Prosinac	-46,97	+	-21,59	+	-37,46	+	-26,76	+	17,94	-	-6,60	+

### Planirani prekidi napajanja

U planirane prekide napajanja spadaju prekidi zbog održavanja, investicijskih radova, otklanjanja posljedica kvarova, te radova HOPS-a. Broj planiranih prekida u 2018. godini na istoj je razini kao i u 2016. godini. Prosječno trajanje prekida minimalno je smanjeno u odnosu na 2016. godinu, a velik dio planiranih radova bio je na otklanjanju štete od orkanskih nevremena.

Tablica 3. Prikaz SAIFI, SAIDI i CAIDI pokazatelja za planirane prekide napajanja

Mjesec	SAIFI		SAIDI		CAIDI	
	Planirani radovi Razlika 2018-2016.		Planirani radovi Razlika 2018-2016.		Planirani radovi Razlika 2018-2016.	
	%	Trend	%	Trend	%	Trend
Siječanj	-	-	-	-	-	-
Veljača	-95,24	+	-84,88	+	-99,92	+
Ožujak	-91,51	+	-74,63	+	-99,86	+
Travanj	-88,89	+	-63,40	+	-99,81	+
Svibanj	-86,11	+	-49,30	+	-99,77	+
Lipanj	-86,49	+	-53,73	+	-99,78	+
Srpanj	-86,84	+	-54,87	+	-99,78	+
Kolovoz	-86,84	+	-54,87	+	-99,78	+
Rujan	-85,09	+	-51,13	+	-99,75	+
Listopad	-86,84	+	-58,36	+	-99,78	+
Studeni	-69,30	+	-40,60	+	-99,50	+
Prosinac	-69,57	+	-40,45	+	-99,50	+

Za planirane i neplanirane prekide napajanja prikazane iz Tablice 3, za planirane i neplanirane prekide napajanja, vidljivo je smanjenje vrijednosti SAIFI, SAIDI, CAIDI u 2018. godini u odnosu na isto razdoblje 2016. godine. Uzrok tome je veći broj planiranih radova na otklanjanju šteta od olujnog nevremena u odnosu na 2016. godinu. Iz prikazane Tablice 3, praćenja pokazatelja broja i trajanja prekida napajanja sustava, prisilni prekidi napajanja u 2018. godini, vidljivo je smanjenje vrijednosti SAIFI, SAIDI, CAIDI u odnosu na 2016. godinu. Razlog tome je povećano ulaganje u rekonstrukciju dalekovoda pri kraju životnog vijeka kao i sanaciju dotrajalih niskonaponskih izvoda i transformatorskih stanica.

Da bi se trend poboljšanja pokazatelja pouzdanosti nastavio potrebno je provesti strategiju smanjenja broja prekida napajanja, smanjenja trajanja prekida napajanja, smanjenja broja kupaca pogođenih prekidom i poboljšanje pokazatelja pouzdanosti za planirane prekide.

## ANALIZA TROŠKOVA REKONSTRUKCIJE DALEKOVODA

Za rekonstrukciju postojećeg 35 kV dalekovoda postojala su dva rješenja izvođenja radova kako bi se omogućila isporuka potrebne količine električne energije. Prvo rješenje bilo je upotreba visokotemperaturnog vodiča s kompozitnom jezgrom. Uz zamjenu vodiča zamijenilo se i zaštitno uže, umjesto Č-III-50 ugrađeno je zaštitno uže oznake A20SA 50 (Stalum 50) nešto manje mase i sličnog presjeka kao postojeće uže. Postojeći izolatorski lanci zamijenjeni su novim staklenim kapastim izolatorima oznake U120B i to u električki i mehanički pojačanoj izvedbi, poštujući na taj način uvjete iz važećih pravilnika koji se odnose na dimenzioniranje izolacije ovisno o naseljenosti i objektima križanja.

Drugo rješenje je bilo ugradnja novog klasičnog alu-čeličnog vodiča ACSR presjeka 3xAl/Č 240/40 mm<sup>2</sup> s kojim se može prenijeti potrebna količina električne energije. Upotreba navedenog vodiča znatno većeg presjeka i težine zahtjeva izgradnju novih dalekovodnih stupova, pošto postojeći stupovi nisu projektirani i ne mogu izdržati toliku težinu odnosno silu i naprezanje. Takvi radovi bi zahtijevali značajno novčano ulaganje u zahvat i puno više vremena za realizaciju naprema prvom rješenju.

Analizom troškova izgradnje prvog i drugog rješenja dolazimo do zapanjujućih rezultata. U analizi drugog rješenja uzeti su sljedeći troškovi: troškovi novih stupova koji su potrebni za vodič navedenog presjeka, novi vodič, razvlačenje novog vodiča, izolacija, spojna i ovjesna oprema. Svi navedeni radovi i oprema korišteni su i kod prvog rješenja stoga su dobiveni rezultati usporedivi.

Usporedbom dobivenih vrijednosti troškova primijenjenog prvog rješenja naprema drugom rješenju, dolazimo od toga da je upotreba drugog rješenja duplo skuplja opcija. Važno je napomenuti kako u troškove drugog rješenja nisu uračunati građevinski radovi koji su nužan dio toga rješenja, a koji bi zbog brdovitosti i nepristupačnosti terena dodatno poskupili ukupnu vrijednost takvog zahvata.

## ANALIZA EKSPOLATACIJE DALEKOVODA I EMISIJA CO<sub>2</sub>

U proizvodnji visokotemperaturnog vodiča s kompozitnom jezgrom posljednjih godina znatno se ulaže u poboljšanje energetske učinkovitosti koja se nalazi visoko na listi prioriteta zaštite okoliša i postavljenih standarda Europske Unije. Sa gledišta zaštite okoliša na temelju prosječne emisije CO<sub>2</sub> iz svih izvora električne energije, ulaganje u efikasnost elementa mreže će dodatno smanjiti emisiju CO<sub>2</sub> godišnje. Zaključak je da je zamjena vodiča na postojećim dalekovodima značajno jeftinija varijanta u usporedbi s ulaganjem u automobilsku industriju vezano za smanjenje emisije stakleničkih plinova.

Analizom proračunski dobivenih parametara dvaju upotrijebljenih vodiča, ACCC visokotemperaturnog vodiča s kompozitnom jezgrom naprema klasičnom ACSR vodiču, dolazimo do dolje navedenih podataka vezano za energetske i ekonomsku učinkovitost i na smanjenje emisije stakleničkih plinova.

Promatrajući čisto ekonomsku analizu samog projekta, što je obrađeno u prethodnom poglavlju, dolazi do ogromne uštede u pogledu izvođenja radova za zadovoljavanje istih potreba, a to su prijenos potrebne količine električne energije. Upotrijebljeno rješenje je dvostruko jeftinije, a ovdje ćemo pokazati da je i učinkovitije nego klasična izgradnja dalekovoda. Primijenjeno rješenje iz našeg slučaja je izvedivo ako su postojeći dalekovodni stupovi u dobrom stanju. Ukoliko postojeće stupove treba mijenjati u određenom broju, navedena ušteda se svakako smanjuje.

Navedene cijene električne energije (EUR/MWh) koje se spominju u dolje navedenim scenarijima uzete su iz mjesečnih izvještaja Hrvatske burze električne energije CROPEX. Cijene emisije stakleničkih plinova uzete su europskih stranica koje prate cijenu emisije CO<sub>2</sub> (EUR/Mt) po jedinici metričke tone plina.

U tablici 4. prikazane su uštede u EUR-ima vezano za gubitke električne energije i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Iz promatranih slučajeva može se zaključiti da su gubici energije promatranog ACCC vodiča uvijek manji za 3%, što zapravo znači da su to gubici uzrokovani opterećenjem voda uslijed zagrijavanja i padova napona pri određenoj temperaturi. Navedena vrijednost nije podložna promjenama stanja tržišta odnosno promjenama cijene električne energije i EUR/MWh, te emisije stakleničkih plinova CO<sub>2</sub> sa cijenom EUR/Mt. Upotrebom ACCC vodiča u vremenskom periodu od 30 godina imamo smanjenje gubitaka na vodu za 690 MWh, što je u promatranom slučaju također konstanta uz uvjet da se ne mijenjaju električne vrijednosti opterećenja voda odnosno struja opterećenja.



Tablica 4. Analiza učinkovitosti i smanjenja emisije CO<sub>2</sub> za vrijeme korištenja ACCC naprema ACSR vodiča

OPIS	JED. MJERE	RAZLIČITI SCENARIJI UZETI U PRORAČUN									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Razlika gubitaka energije (MWh) u prvoj godini	%	-3.00									
Razlika gubitaka energije tijekom 30 godina	MWh	-690.00									
Ušteda gubitaka energije u prvoj godini	EUR/god	1.325	1.325	1.325	1.325	1.218	966	1.399	1.866	2.332	3.032
Ušteda gubitaka energije (MWh) tijekom 30 godina	EUR	39.744	39.744	39.744	39.744	36.532	28.989	41.983	55.977	69.971	90.962
Ušteda smanjenja emisije CO <sub>2</sub> po Mt u prvoj godini	EUR	0	377	428	600	366	358	435	435	1.200	435
Ušteda smanjenja emisije CO <sub>2</sub> po Mt tijekom 30 godina	EUR	200	10.940	12.402	17.400	10.614	10.392	13.050	26.100	34.800	43.500

Analiza više stanja promatranog dalekovoda napravljena je sa dolje navedenim scenarijima gdje je opterećenje uzeto kao konstanta za sve vrijeme eksploatacije, a mijenjale su se tržišne vrijednosti. Valja također napomenuti da uslijed ekonomskih promjena, dolazi i do pada gospodarskih aktivnosti što automatski dovodi i manju potrošnju električne energije, a samim time i smanjenje opterećenja dalekovoda. U tim slučajevima imamo situaciju da se duplo smanjuju iskazane uštede jer pada cijena električne energije, cijena emisije stakleničkih plinova i količina potrošene električne energije iz koje sve proizlazi.

**Scenarij 1** razmatra situaciju gdje je u proračun uzeta cijena električne energije u trenutku rekonstrukcije navedenoga voda, dakle svibanj - lipanj 2018. godine, te je uzeto da se vodom prenosi električna energija dobivena isključivo iz hidro izvora. Upravo hidro izvori emitiraju jako nisku razinu emisije CO<sub>2</sub> u okoliš koja iznosi 0,0185 kg/kWh uz cijenu stakleničkih plinova za hidro izvore od 15,40 EUR/Mt. Kad se uzme u obzir jako mala emisija CO<sub>2</sub> iz hidro izvora, dobijemo mali iznos koji je potrebno platiti za emisiju stakleničkih plinova u okoliš. Isto tako je uzeta prosječna vrijednost cijena električne energije sa burze na području Hrvatske u navedenome periodu koja iznosi 56,80 EUR/MWh.

**Scenarij 2** razmatra situaciju gdje je cijena električne energije ista kao u scenariju 1, stoga su i uštede u gubicima energije ostale iste, ali je uzeto da električna energija koja se prenosi vodom nije iz hidro izvora nego iz raznih izvora električne energije, te je prosječna vrijednost emisije CO<sub>2</sub> takvih izvora 0,622 kg/kWh uz prosječnu cijenu emisije CO<sub>2</sub> za navedeno razdoblje od 25,15 EUR/Mt. Porast cijene emisije stakleničkih plinova pridonosi uštedi u eksploataciji ACCC vodiča.

**Scenarij 3** razmatra situaciju gdje je cijena električne energije ista kao u scenariju 1, ušteda u gubicima energije ostaje ista, prosječna vrijednost emisije CO<sub>2</sub> različitih izvora iznosi 0,622 kg/kWh uz maksimalnu cijenu emisije CO<sub>2</sub> za navedeno razdoblje od 28,51 EUR/Mt, na temelju čega se vide uštede u primjeni ACCC vodiča.

**Scenarij 4** razmatra situaciju gdje je cijena električne energije ista kao u scenariju 1, ušteda u gubicima energije ostaje ista, prosječna vrijednost emisije CO<sub>2</sub> različitih izvora iznosi 0,622 kg/kWh uz cijenu emisije CO<sub>2</sub> od 40 EUR/MT. Istraživanja pokazuju da uz današnju cijenu električne energije i inovacije na tržištu, metoda carbon capture and storage CCS odnosno tehnologije hvatanja i zbrinjavanja ugljikovog dioksida, počinje biti isplativa tek kada vrijednost emisije CO<sub>2</sub> prijeđe iznos od 40 EUR/Mt.

**Scenarij 5** razmatra situaciju siječnja 2020. godine kada cijena električne energije na Hrvatskoj burzi iznosi 52,21 EUR/MWh, a cijena emisije CO<sub>2</sub> iznosi 24,40 EUR/Mt. Ovdje vidimo kako se ostvarene uštede odjednom smanjuju kako se smanjuje cijena električne energije i emisije CO<sub>2</sub> u okoliš.

**Scenarij 6** razmatra situaciju siječnja 2020. godine kada cijena električne energije na Hrvatskoj burzi iznosi 41,43 EUR/MWh, a cijena emisije CO<sub>2</sub> iznosi 23,89 EUR/Mt. Ovdje isto tako vidimo smanjenje ušteda koje ostvarujemo upotrebom ACCC vodiča naprema klasičnom ACSR vodiču.

**Scenarij 7** razmatra situaciju kada cijena električne energije iznosi 60 EUR/MWh, a cijena emisije CO<sub>2</sub> iznosi 30 EUR/Mt. Dolazi do povećanja ušteda primjenom ACCC vodiča.

**Scenarij 8** razmatra situaciju kada cijena električne energije iznosi 80 EUR/MWh, a cijena emisije CO<sub>2</sub> iznosi 60 EUR/Mt. Dolazi do povećanja ušteda primjenom ACCC vodiča.

**Scenarij 9** razmatra situaciju kada cijena električne energije iznosi 100 EUR/MWh, a cijena emisije CO<sub>2</sub> iznosi 80 EUR/Mt. Dolazi do povećanja ušteda primjenom ACCC vodiča.

**Scenarij 10** razmatra situaciju kada cijena električne energije iznosi 130 EUR/MWh, a cijena emisije CO<sub>2</sub> iznosi 100 EUR/Mt. Dolazi do povećanja ušteda primjenom ACCC vodiča.

Scenariji 7, 8, 9 i 10 su hipotetski te su s njima napravljeni proračuni kako bi mogli pratiti ekonomske parametre promjenom cijene električne energije i emisije stakleničkih plinova u okoliš. S obzirom na očekivani porast potrošnje električne energije, a isto tako i povećanje cijene električne energije, dolazimo do zaključka kako će uštede ostvarene primjenom ACCC vodiča biti veće kako vrijeme bude odmicalo, a vrijeme amortizacije izvedenog projekta sve manje.

## ZAKLJUČAK

Predmetni 35 kV dalekovod za vrijeme vršnih opterećenja bio je na rubu svojih kapaciteta, te je zahtijevao nužnu rekonstrukciju kako ne bih došlo do njegovog uništenja. Rekonstrukcija je izvedena zamjenom postojećeg ACSR vodiča novim ACCC vodičem uz zamjenu i ostalih dijelova dalekovoda, kao što je u referatu objašnjeno.

Zamjena vodiča imala je utjecaj na poboljšanje pokazatelja pouzdanosti SAIFI, SAIDI i CAIDI na području Makarske za promatrano razdoblje 2018. godine u odnosu na isto razdoblje 2016. godine. Za promatrano razdoblje smanjen je broj prekida napajanja po korisniku mreže, SAIFI, broj prekida napajanja i prosječno vrijeme trajanje prekida po korisniku mreže, SAIDI. Povećano je prosječno trajanje jednog prekida napajanja za kupca, CAIDI, što je učestalije u slučaju neplaniranih prekida napajanja koji je veći u 2018. nego u 2016. godini. Broj prekida uzrokovanih višom silom smanjen je za navedeni period kao i prosječno vrijeme trajanja neplaniranih prekida. Za promatrano razdoblje smanjene su vrijednosti SAIFI, SAIDI, CAIDI vezano za prisilne prekide napajanja. Razlog tome je povećano ulaganje u rekonstrukciju dalekovoda pri kraju životnog vijeka kao i sanaciju dotrajalih niskonaponskih izvoda i transformatorskih stanica.

Primjenom ACCC vodiča ostvarujemo dvostruku uštedu investicije samog projekta naprema klasičnim rješenjima sa ACSR vodičem. Daljnjim proračunima i analizom više stanja promatranog dalekovoda došli smo do spoznaje kako se primjenom ACCC vodiča ostvaruju značajne uštede u eksploataciji, a ne samo u izvedbi. Naime, uštede su izraženije što je gospodarstvo odnosno prijenos električne energije predmetnim dalekovodom veći, a samim napretkom gospodarstva veća je cijena električne energije i cijena emisije stakleničkih plinova u okoliš.

Provedenim proračunima došli smo do zaključka da je smanjenje emisije stakleničkih plinova primjenom ACCC vodiča ekvivalentno proizvedenoj emisiji stakleničkih plinova vozeći tri automobila na autocesti za isti period od jedne godine. Također primjenom ACCC vodiča ostvarena je ušteda električne energije potrebna za napajanje jednog kućanstva za isti period od jedne godine. Možemo zaključiti da se više efekta u smanjenju emisije stakleničkih plinova u okoliš može postići zamjenom i upotrebom ACCC vodiča na postojećim i novim dalekovodima, nego svim mjerama i poticajima koji se vrše i predlažu u automobilskoj industriji.

## LITERATURA

1. CTC Global, ACCC Conductor Installation Guidelines 2017.
2. Z. Zorić: Elaborat sanacije DV 35 kV, TS 110/35 Makarska – TS 35/10 kV Makarska, 2018.
3. I. Matić, Primjena visoko temperaturnih vodiča ACCC u prijenosnoj mreži, Osijek 2016.
4. Hrvatska burza električne energije CROPEX, mjesečna izvješća
5. Subsidies and costs of EU energy, Final report, November 2014.
6. Study on Energy Prices, Costs and Subsidies and their Impact on Industry and Households, Final report 2018.
7. Izvješće komisije europskom parlamentu, vijeću, europskom gospodarskom i socijalnom odboru i odboru regija, Cijene energenata i troškovi energije u Europi, Bruxelles 2019.
8. Quarterly Report on European Electricity Markets, Market Observatory for Energy, DG Energy Volume 11, second quarter of 2018.
9. Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions, Energy prices and costs in Europe, Brussels 2019.