

**INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE**  
STRUKOVNA KOMORA ELEKTRO INŽENJERA

# **PETI DANI**

**ELEKTRO INŽENJERA IKCG**

ZBORNIK RADOVA - 2022.

**ZBORNIK RADOVA**  
**PODGORICA, MART 2022.**





**INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE**  
STRUKOVNA KOMORA ELEKTRO INŽENJERA

**PETI DANI**  
**ELEKTRO INŽENJERA IKCG**

**ZBORNİK RADOVA**

Podgorica, mart 2022.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

ISSN 2704-520X = Dani elektro inženjera IKCG  
COBISS.CG-ID 14752772

### **IZDAVAČ**

Inženjerska komora Crne Gore  
Strukovna komora elektro inženjera  
Bulevar Džordža Vašingtona br. 31, Podgorica

### **ZA IZDAVAČA**

Mr Nikola Luković, dipl.inž.građ.

### **ODGOVORNI UREDNICI**

Željko Maraš, dipl.inž.el.  
Prof. dr Milovan Radulović, dipl.inž.el

### **ORGANIZACIONI ODBOR**

Željko Maraš, dipl.inž.el., predsjednik  
Ratko Vujović, dipl.inž.el., potpredsjednik  
Prof. dr Milovan Radulović, dipl.inž.el., predsjednik Programskog odbora  
Šeljko Redžepagić, dipl.inž.el.  
Rajko Radusinović, dipl.inž.el.  
Sandra Šipčić, dipl.inž.el.  
Mićun Nikitović, dipl.inž.el.  
Hajdana Božović, dipl.inž.el.

### **TEHNIČKI UREDNIK**

Blažo Veljović

### **ŠTAMPA I POVEZ**

COPY CENTER d.o.o.  
Podgorica

### **TIRAŽ**

300

Sponzor štampanja Zbornika radova:  
„Elektroprivreda Crne Gore“ AD Nikšić



# Zbornik radova

PETI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG

ZBORNİK RADOVA

Podgorica, 2022.



# UVODNA RIJEČ PREDsjedNICE STRUKOVNE KOMORE ELEKTRO INŽENJERA IKCG



*Poštovane kolegice i kolege,*

**S**trukovna komora elektro inženjera Inženjerske komore Crne Gore, počevši od 2017. godine, organizuje stručni skup pod nazivom „Dani elektro inženjera IKCG“.

Angažmanom i interesovanjem članica i članova Komore, ovaj skup je tokom prethodnih godina okupio značajan broj učesnika i može se reći da prerasta u tradiciju.

Prethodne dvije godine obilježila je pandemija korona virusa, što je uslovalo bitno drugačiji način komunikacije i manji broj susreta.

Nepredvidljivost pandemije i zdravstvenih mjera za suzbijanje iste, usloveli su da termin održavanja skupa bude više puta pomjeren. Bez obzira na uloženi trud i očekivanja organizatora, „Peti Dani elektro inženjera IKCG“ nijesu mogli biti organizovani na način na koji

smo navikli, već će radovi biti prezentirani putem *on-line* platforme.

Takođe, kao i prethodnih godina, za ovu priliku je pripremljen Zbornik radova.

Ove godine smo za Zbornik izdvojili ukupno 10 radova.

Autori iz Crne Gore, Srbije, Hrvatske i Slovenije, su kroz radove obuhvatili interesantne i raznovrsne teme, počevši od foto-naponskih elektrana, korišćenja hidro potencijala, energetske efikasnosti, energetike, automatike, elektronike i telekomunikacija.

Cilj nam je da i narednih godina privučemo značajan broj autora sa aktuelnim temama.

Ovom prilikom se zahvaljujem autorima, koji su uložili trud i vrijeme u pripremu svojih radova .

Organizaciji skupa su poseban doprinos dali članovi Organizacionog i Programskog odbora, pri čemu ističem angažovanje predsjednika Organizacionog odbora Željka Maraša i predsjednika Programskog odbora prof. dr Milovana Radulovića.

Takođe se zahvaljujem svim članicama i članovima Strukovne komore elektro inženjera na iskazanom interesovanju, sa nadom da ćemo sljedeće godine moći da organizujemo skup na odgovarajući način.

Posebnu zahvalnost dugujemo rukovodstvu „Elektroprivrede Crne Gore“ i kolegi Rajku Radusinoviću, koji su prepoznali značaj događaja i omogućili štampanje Zbornika radova.

*Srdačan pozdrav,  
Sandra Šipčić, dipl.inž.el.  
Predsjednica Strukovne  
komore elektro inženjera*





# UVODNA RIJEČ PREDSJEDNIKA ORGANIZACIONOG ODBORA



*Poštovane kolegice i kolege,*

**P**red Vama se nalazi Zbornik radova koji su prijavljeni za stručni skup „PETI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG“ 2021.

Veliko mi je zadovoljstvo što je Strukovna komora elektro inženjera, i pored prisutne pandemije korona virusom u protekle dvije godine, uspjela da pripremi i korišćenjem *on-line* platformi održi „ČETVRTE DANE ELEKTRO INŽENJERA“, kao i ovogodišnji stručni skup.

Nadam se da će poboljšanje pandemijske situacije, odnosno ublažavanje nacionalnih zdravstvenih mjera u Crnoj Gori i zemljama okruženja, dozvoliti da se jedan dio prijavljenih radova prezentuje „uživo“, što će biti i prilika da se, nakon dužeg vremena, ponovo družimo i ujedno prisustvujemo korisnim i zanimljivim prezentacijama.

Zahvaljujem se svim autorima prijavljenih radova, članovima/icama Organizacionog odbora stručnog skupa i novoizabranom rukovodstvu Strukovne komore elektro inženjera na čelu sa predsjednicom Strukovne komore Sandrom Šipčić.

Posebnu zahvalnost dugujem svom dugogodišnjem saradniku, predsjedniku Programskog odbora prof. dr Milovanu Raduloviću kao i Rajku Radusinoviću na iskazanom trudu da EPCG AD bude sponzor štampanja ovogodišnjeg Zbornika radova.

Uz poziv da pratite prezentacije radova sa ovogodišnjeg stručnog skupa, u bilo kojoj formi da se budu održavale, a da se negdje pred kraj 2022. godine sretnemo i družimo na stručnom skupu „ŠESTI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG“, sve vas pozdravljam i želim vam dobro zdravlje.

*Željko Maraš, dipl.inž.el.  
Predsjednik Organizacionog odbora*



# SADRŽAJ

<b>UVODNA RIJEČ PREDSEDNICE STRUKOVNE KOMORE ELEKTRO INŽENJERA IKCG.....</b>	<b>7</b>
--	----------

<b>UVODNA RIJEČ PREDSEDNIKA ORGANIZACIONOG ODBORA .....</b>	<b>9</b>
---	----------

<b>PRAKTIČNA ISKUSTVA I ASPEKTI U PROJEKTIRANJU I REALIZACIJI FOTONAPONSKIH ELEKTRANA SREDNJIH SNAGA.....</b>	<b>13</b>
---	-----------

Emil PRPIĆ  
2DP Projekt d.o.o. Viškovo

<b>OPTIMIZACIJA INTEGRALNOG KORIŠĆENJA HIDRO POTENCIJALA VODNIH TIJELA .....</b>	<b>25</b>
--	-----------

Miodrag KALUĐEROVIĆ  
ENOP d.o.o. Podgorica  
Društvo za energetske optimizacije

<b>NACIONALNO EKONOMSKI ASPEKTI IZGRADNJE HIDROELEKTRANA U REPUBLICI SLOVENIJI.....</b>	<b>37</b>
---	-----------

Ivan IVETA  
Inženjerska zbornica Slovenije

<b>MEEC - NACIONALNI SOFTVER ZA PRORAČUN ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA ZGRADA U CRNOJ GORI.....</b>	<b>47</b>
--	-----------

Božidar PAVLOVIĆ, Marija VUJADINOVIĆ KULINOVIĆ  
Ministarstvo kapitalnih investicija, Vlada Crne Gore

<b>PRIMJENA SISTEMA AUTOMATIKE U CILJU POBOLJŠANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U JAVNIM ZGRADAMA.....</b>	<b>59</b>
--	-----------

Ognjen LUKAČEVIĆ, Snežana MIHAILOVIĆ  
Elkon d.o.o.

**AUTOMATSKO UPRAVLJANJE GUMENIM BRANAMA I SISTEM  
ZA DETEKCIJU VIBRACIJA I PRAĆENJA OBILIKA BRANE .....71**

Nemanja KOVAČEVIĆ, Nebojsa ŠOLAJA, Pavle ASANOVIĆ  
Elkon d.o.o. Podgorica

**KVALITET INTERNETSKJE GOVORNE VEZE - FAKTORI DEGRADACIJE .....85**

Aleksandar LEBL, Žarko MARKOV, Dragan MITIĆ  
IRITEL a.d. Beograd

**IMPLEMENTACIJA SAVREMENOG PUTNOG  
SEMAFORA KORISTEĆI ESP8266 WI-FI MIKROČIP .....99**

Ivan MARTINOVIĆ, Prof. dr Zoran MIJANOVIĆ  
Elektrotehnički fakultet UCG

**STANDARDNA DEVIJACIJA GROMOBRANSKE  
HVATALJKE SA UREĐAJEM ZA RANO STARTOVANJE  
(JUS N.B4.810) KAO MERA POUZDANOSTI NJENE NAMENE ..... 109**

Prof. dr Svetislav SMILJANIĆ

Istraživačko-razvojni institut NIRI doo, Niš  
Mr Miodrag SAVELJIĆ  
Elettroengineering d.o.o. Tivat

**STATIČKI KOMPENZATORI REAKTIVNE ENERGIJE ..... 117**

Doc. dr Martin ČALASAN  
Elektrotehnički fakultet UCG

**SPONZORSKI TEKST  
ZELENA ENERGETSKA TRANZICIJA I EPCG  
PROJEKAT SOLARI PO PLANU .....129**

„Elektroprivreda Crne Gore“ AD Nikšić





# PRAKTIČNA ISKUSTVA I ASPEKTI U PROJEKTIRANJU I REALIZACIJI FOTONAPONSKIH ELEKTRANA SREDNJIH SNAGA

**Emil Prpić**

2DP Projekt d.o.o. Viškovo

## KRATAK SADRŽAJ

Rad daje pregled praktičnih iskustava autora u projektiranju i realizaciji nekoliko integriranih i neintegriranih FNE<sup>1</sup> u rasponu snaga od 100 kW do 1 MW. Poseban osvrt dan je na način odabira invertera s obzirom na njihove tehničke osobine i ograničenja u formiranju stringova po pojedinom MPPT<sup>2</sup> ulazu, kao i na stvarni utjecaj položaja i elevacije horizonta na proizvodnost. Također su prikazani i neki elementi naprednog korištenja PVGIS<sup>3</sup> online platforme.

**Ključne riječi:** Fotonaponska elektrana, Projektiranje, PVGIS, Realizacija.

## UVOD

Ono što je prije dvadesetak godina bila upitna budućnost i predmet stručnih debata, danas je sasvim sigurna i određena sadašnjost. Energetski koncept 21. stoljeća promijenjen je i u velikoj mjeri orijentiran obnovljivim izvorima energije, u kojima sunčeva energija predstavlja značajan čimbenik, osobito na našim (južnijim) geografskim širinama. I dok ova tema u razvijenijim zemljama EU već odavno nije ništa novo, u Hrvatskoj fotonaponske elektrane tek uzimaju ozbil-

1 FNE – fotonaponska elektrana

2 MPPT – eng. Maximum Power Point Tracker – specifična izvedba sklopa energetske elektronike na istosmjernom ulazu solarnog invertera, koja omogućava optimalnu proizvodnju usklađenu s promjenama solarne iradijacije

3 PVGIS – eng. Photovoltaic Geographical Information System – standardizirani alat Europske Komisije, namijenjen za proračunavanje proizvodnosti fotonaponskih elektrana ([https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html))



jan zamah. U posljednjih nekoliko godina možemo napokon reći kako više u stručnim krugovima nema ozbiljnih oponenta ovoj tehnologiji. Dok su se, barem u Hrvatskoj, vjetroelektrane pokazale kao investicija upitne isplativosti, čak i uz značajne subvencije (kojih više nema), i to ponajprije zbog velikog udjela građevinskih radova (kojima cijena ne opada, već varira ovisno o stanju na tržištu) u ukupnoj investiciji i vrlo visokih troškova održavanja - fotonaponske elektrane postaju osnova elektroenergetske izgradnje u Hrvatskoj. S jedne strane, značajan i vrlo visok broj sunčanih sati godišnje jamče veliku i stabilnu proizvodnost dok, s druge strane, sve niže cijene i sve bolje tehničke osobine (efikasnost i trajnost) fotonaponskih modula (koji predstavljaju najznačajniju komponentu ukupnog buždeta svakog fotonaponskog projekta) omogućavaju znatno niže troškove, a time i brži rok povrata investicije.

Pri tom se sve jasnije segmentiraju investicije u fotonaponske elektrane. Bez pretenzije da ovo ustanovi kao neko univerzalno pravilo, autor ovog rada u svojoj svakodnevnoj praksi prepoznaje grubu podjelu na: male FNE (do 100 kW), srednje FNE (od 100 kW do 1 MW) i velike FNE (preko 1 MW). Kućanstva i manja poduzeća grade integrirane elektrane (na krovovima zgrada) malih do srednjih snaga na vlastitim krovovima, uglavnom za pokrivanje vlastitih elektroenergetskih potreba, sukladno aktualnom tehnokonomskom modelu kojeg trenutno provodi HEP ODS<sup>4</sup>. Privredni subjekti koji raspolažu većim površinama (bilo krova, bilo terena) grade integrirane i neintegrirane (na tlu) fotonaponske elektrane srednjih snaga, moguće također primarno za vlastite energetske potrebe, ali također i isključivo za tržište. Tvrtke koje se bave proizvodnjom i trgovinom električnom energijom grade velike neintegrirane elektrane (što veće mogu) za prodaju obnovljive energije na otvorenom europskom tržištu. Pri tom ključno za isplativost ovakvih projekata nije cijena samog kWh proizvedene električne energije iz obnovljivog izvora, nego trgovanje tzv. "CO2 kvotom" - kupci ove energije su primarno veliki privredni subjekti iz domene industrije, poljoprivrede ili prometa koji vlastitim radnim procesom proizvode velike emisije ugljičnog dioksida i probijaju postavljene kumulativne godišnje kvote pa korištenjem energije iz obnovljivih izvora reduciraju svoj CO2 otisak i izbjegavaju penalizaciju.

Ovaj rad daje pregled praktičnih iskustava na primjerima nekoliko aktualnih projekata FNE srednjih snaga, dakle u rasponu od 100 kW do 1 MW, gdje su neki od tih projekata namijenjeni namirenju vlastite potrošnje, a neki - tržišnom plasmanu. Tematski ćemo se držati praktičnih tehničkih aspekata i izazova u realizaciji te pri tom stečenih relevantnih iskustva, dok u komercijalne analize nećemo ulaziti dalje od načelnog.

U nastavku dajemo kratak opis nekoliko stvarnih projekata, uz naglasak na konkretne tehničke i operativne izazove s kojima smo se susreli tokom odvijanja projekta, a zatim posebno ističemo neke specifične tehničke aspekte prisutne u svakom projektu, oko kojih smo stekli konkretna iskustva za koja držimo da su bitna, a njihova se važnost ne ističe dovoljno (ili uopće) niti u literaturi, niti u stručnoj javnosti.

## PRIMJERI AKTUALNIH PROJEKATA

U nastavku dajemo osvrt na nekoliko aktualnih projekata FNE srednje snage, u raznim fazama, odnosno statusima realizacije. Redoslijed kojim ih dajemo nije nužno kronološki, niti po ikojem konkretnom kriteriju, no, kako ne bi bio posve slučajaj, prezentirani projekti poredani su po iznosu instalirane snage:

- integrirana FNE snage 100 kW na krovu industrijske hale, Radna zona R-27, Kukuljanovo (Rijeka), Hrvatska - dovršena montaža, pred puštanjem u rad;
- integrirana FNE ukupne snage 294 kW na krovovima zgrada pogona termoelektrane, Kost-

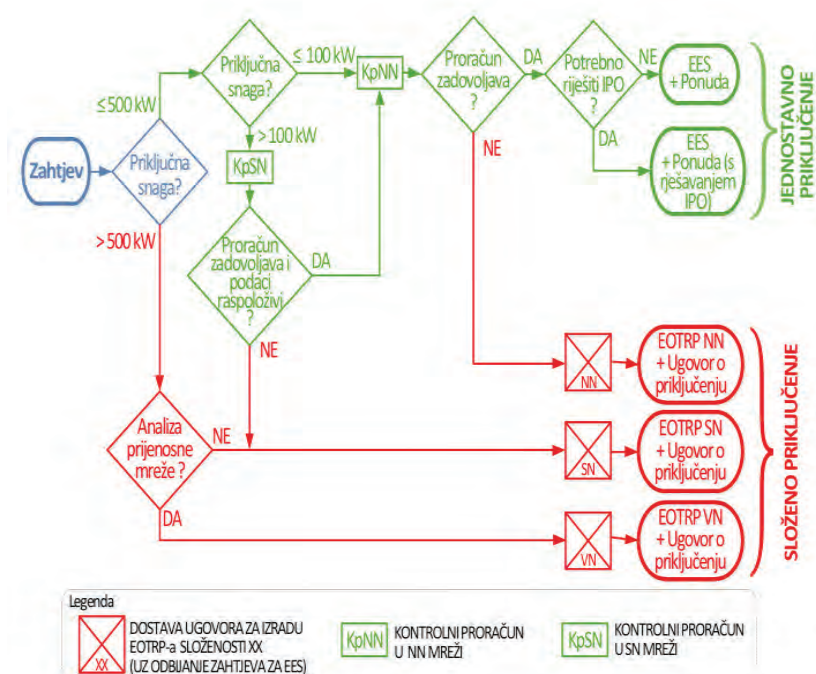
<sup>4</sup> Hrvatska elektroprivreda – Operater distribucijskog sustava – javna tvrtka koja upravlja i održava svu elektroenergetsku distribucijsku mrežu (naponske razine od 35, 20, 10 i 0,4 kV) u Hrvatskoj te putem nje pruža uslugu opskrbljivačima da isporučuju električnu energiju kupcima, tj. potrošačima na tim naponskim razinama, odnosno proizvođačima koji na tim naponskim razinama isporučuju energiju opskrbljivačima.

rena (Rijeka), Hrvatska - dijelom u radu od 2020. godine;

- neintegrirana FNE Unije 1 MW, otok Unije (Mali Lošinj), Hrvatska - pred ugovaranjem glavnog projekta;

## FNE 100 KW NA KROVU INDUSTRIJSKE HALE

Investitor je krajem 2020. godine naručio izradu glavnog projekta za gradnju integrirane FNE na krovu svoje vlastite proizvodne hale u radnoj zoni u blizini grada Rijeke, kao preduvjet za apliciranje na natječaj sa sufinanciranje provođenja mjera energetske efikasnosti. Zbog kratkog roka za prijavu na natječaj, donesena je odluka da se, iako je bilo na raspolaganju bitno više krovnih površina prikladnih za gradnju, projekt ograniči na snagu od 100 kW. Naime, aktualna Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu HEP ODS-a podrazumijevaju bitno složeniji postupak ishoda potrebnog dokumentacije za izgradnju elektrane veće od 100 kW, kako je prikazano na slici 1, a prema [L1].



Slika 1. Određivanje složenosti postupka priključenja

S obzirom da je u ovom slučaju investitor kao potrošač priključen na NN (niskonaponsku) mrežu, s ugovorenim priključnom snagom od 150 kW, to od distributera ne bi nikako ni mogao dobiti suglasnost za priključenje elektrane za vlastitu potrošnju snage veće od tih istih 150 kW. Međutim, po aktualnim pravilima, za priključenje elektrane veće od 100 kW na NN mrežu distributer provodi proceduru provjere tehničke izvedivosti te potencijalno i izrađuje tzv. EOTRP<sup>5</sup> radi čega je potrebno za usklađivanje projekta s distributerom planirati (u idealnim okolnostima) najmanje sveukupno tri mjeseca. To je bilo vrijeme koje nismo imali na raspolaganju, radi čega je zatražena od distributera EES (elektroenergetska suglasnost) za priključenje fotonaponske elektrane za vlastitu potrošnju, snage 100 kW, koju je distributer dužan izdati u roku od 15 dana, a što je bio rok uklopiv u zadano vrijeme da pravodobnu dostavu projekta na natječaj za sufinanciranje.

Iako proizvodna hala na čijem krovu je postavljena FNE ima jednostavn tlocrt od dvije "čiste" pravokutne dilatacije te bi, po osnovnoj tlocrtnoj površini mogla primiti i značajno veću ukupnu

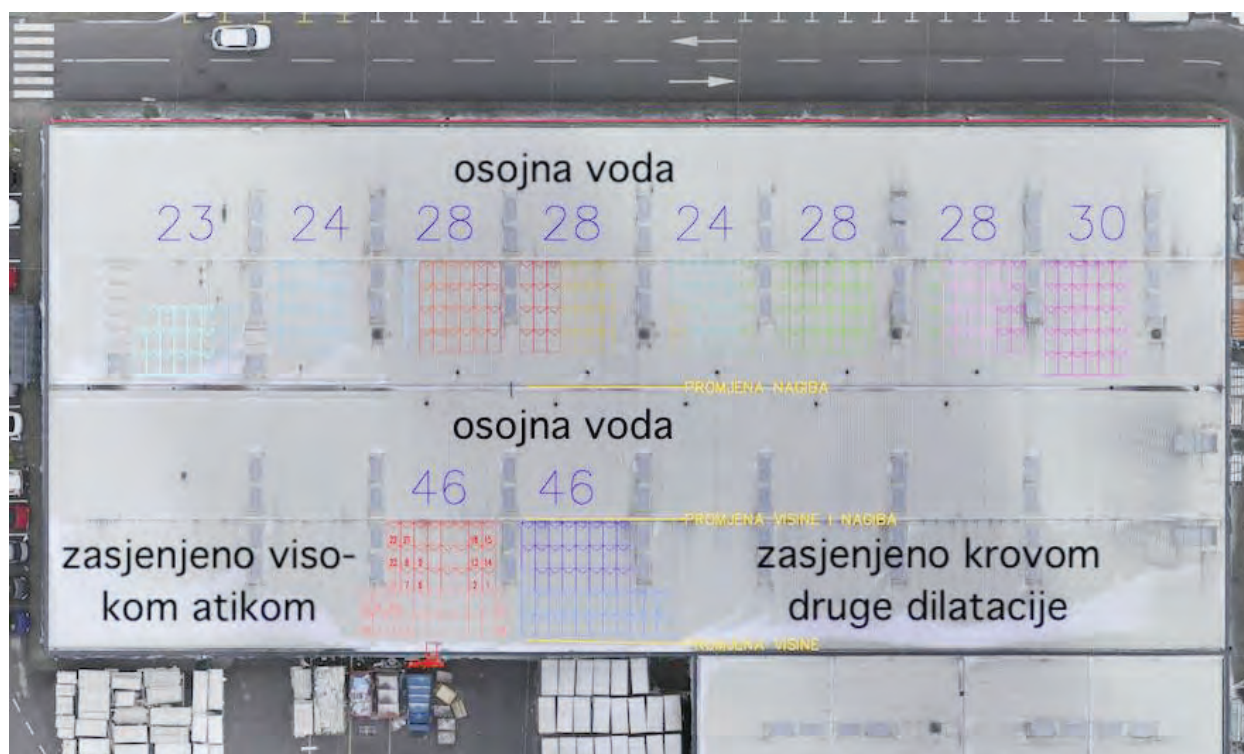
5 EOTRP – Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja – tehnički dokument kojeg distributer izrađuje u roku od 60 dana (za industrijske kupce s vlastitom proizvodnjom do 500 kW)

snagu fotonaponskih panela, nekoliko specifičnosti u samoj izvedbi krova uvjetuju da je on zapravo relativno slabo iskoristiv za postavljanje fotonaponskih ploča. To su:

- neuobičajena visoka atika koja u zimskim mjesecima cjelodnevno zasjenjuje rubni dio krova;
- viševodna konstrukcija krova, radi čega je polovica krovne površine orijentirana na sjever;
- kupole za odimljavanje, odnosno svjetlarnici koji su u rijetkom rasteru postavljeni po cijelom krovu te još određena količina strojarne opreme (ventilacije i sl.).

S obzirom da se radi o objektu koji je projektiran prije manje od deset, a dovršen i useljen prije cca pet godina, možemo konstatirati da je uistinu šteta što krov nije projektiran više u skladu s budućim potrebama, koje su u to vrijeme već bile sagledive. Jasno je kako je potrebno raditi na širem, holističkom pristupu edukaciji ne samo elektro projektanata, već i arhitekata, i građevinara, i strojara.

Konačno rješenje rasporeda izvedeno je na način da se svi fotonaponski paneli postave na krov jedne dilatacije, kako bi druga ostala raspoloživa za neko potencijalno buduće proširenje. Projektirani su monokristalni fotonaponski paneli standardnog formata 1700x1000 mm i snage 330 Wp ("peak" - panel ima vršnu istosmjernu snagu od 330 W u standardiziranim laboratorijskim uvjetima solarne iradijacije od 1000 W/m<sup>2</sup>). Ukupno je postavljeno 305 panela (100.650 Wp), čime je praktično pokrivena sva efikasno upotrebljiva površina krova veće dilatacije hale, kako je prikazano na slici 2.



Slika 2. Raspored FN panela na krovu industrijske hale

Grupe panela su na slici 2 prikazane različitim bojama, prema planu spajanja panela u tzv. stringove<sup>6</sup> na MPPT ulaze invertera. Projektirana je konfiguracija s jednim solarnim inverterom marke Fimer, od 100 kW, sa 6 neovisnih istosmjernih MPPT ulaza, gdje se na svaki može spojiti do 4 paralelna stringa. Tako se 6 različitih MPPT ulaza prikazuje sa 6 različitih grupa nijansi iste boje (crvene, plave, ljubičaste, zelene, smeđe/narandžaste i plavozelene - tzv. cyan), a pojedine nijanse unutar jedne grupe određuju stringove koji se spajaju paralelno.

U sklopu ovog projekta bila je naša obaveza izraditi proračun uštede energije, s obzirom da je

<sup>6</sup> eng. string – niz, serija – u kontekstu FNE, radi se o serijskom spoju određenog broja fotonaponskih panela, već prema proračunu i odabranoj opremi

to bio jedan od temeljnih kriterija bodovanja prijavljenih projekata za klasifikaciju pri dodjeli sredstava. U tablici I prikazan je navedeni proračun. Proizvodnja prikazana zeleno u toj tablici, izračunata je korištenjem standardiziranog alata Europske komisije, PVGIS, koji uzima u obzir klimatološke faktore (temeljem više desetljeća prikupljenih meteoroloških podataka) i opći reljef odabrane lokacije (dakle, zasjenjenje prouzročeno geološkim razlozima - planine, kanjoni i sl.), ali ne uzima u obzir zasjenjenje usljed lokalno prisutne vegetacije ili okolnih građevina (već se ovo po potrebi ručno unosi, na način kako je opisano kasnije).

**TABLICA I. PRORAČUN UŠTEDE EL. ENERGIJE VLASTITOM PROIZVODNjom**

mjesec	potrošnja energije u kWh, po tarifama i mjesecima								proizvodnja VT, kWh	izravno smanj. potrošnje, kWh		višak za predaju u mrežu, kWh	
	2018		2019		2020		prosjeak			VT	NT		
	VT	NT	VT	NT	VT	NT	VT	NT					
1	8.875	3.042	10.235	3.137	10.069	3.287	9.726	3.155	3.720	6.006	3.155	0	
2	8.957	2.800	9.483	2.766	11.128	2.927	9.856	2.831	5.334	4.522	2.831	0	
3	9.779	3.043	10.037	3.026	10.515	3.169	10.110	3.079	8.528	1.582	3.079	0	
4	7.734	3.218	8.260	3.230	8.381	3.651	8.125	3.366	11.129	0	3.366	3.004	
5	7.636	3.190	8.551	3.107	7.980	3.348	8.056	3.215	13.295	0	3.215	5.239	
6	6.534	2.920	6.888	2.790	8.322	3.429	7.248	3.046	14.372	0	3.046	7.124	
7	7.044	3.131	10.312	3.909	10.411	3.997	9.256	3.679	15.336	0	3.679	6.080	
8	5.554	2.884	6.894	3.388	8.307	3.539	6.918	3.270	13.572	0	3.270	6.654	
9	6.447	3.148	8.992	3.574	9.397	3.713	8.279	3.478	10.085	0	3.478	1.806	
10	7.499	3.391	7.746	3.104	10.661	3.995	8.635	3.497	6.981	1.654	3.497	0	
11	9.095	2.793	10.125	3.126			9.610	2.960	3.811	5.799	2.960	0	
12	8.683	3.054	8.949	3.266			8.816	3.160	3.447	5.369	3.160	0	
	3-godišnji prosjeak potrošnje u kWh, po tarifama							104.635	38.737		24.933	38.737	29.908
	projekcija godišnje izravno smanjene potrošnje, u kWh, po tarifama							24.933	38.737				
	izravna ušteda u kWh, po tarifama							79.702	0				
	izravna ušteda u %, po tarifama							76%	0%				
	zbrojeni 3-godišnji prosjeak potrošnje u kWh							143.373					
	zbrojena projekcija izravno smanjene potrošnje, u kWh							63.670					
	zbrojena izravna ušteda u %							55,6%					
	izravna ušteda i indirektna nadoknada, u kWh							109.610					
	izravna ušteda i indirektna nadoknada, u %							76,45%					

Iz tablice I vidljivo je kako očekivana ljetnja proizvodnja nadmašuje prosječnu potrošnju u periodu visoke tarife te se javlja i određeni višak proizvodnje. S obzirom da ljeti period visoke tarife koincidira s periodom dnevnog svjetla, vrlo je izvjesno da će, u financijskom smislu, stvarna ušteda biti i značajno veća jer tokom ljetnih mjeseci neće biti registrirana vršna snaga u smjeru potrošnje pa će račun biti dodatno manji za ovaj iznos, uz uštedu ostvarenu na energiji koja nije utrošena.

Sveukupno, zaključak je da se radi o uspješnom projektu gdje, uzevši u obzir primljenu subvenciju, investitor može očekivati povrat investicije negdje u toku četvrtog ljeta od početka eksploatacije.



## FNE 294 KW NA KROVOVIMA ZGRADA TERMoeLEKTRANE

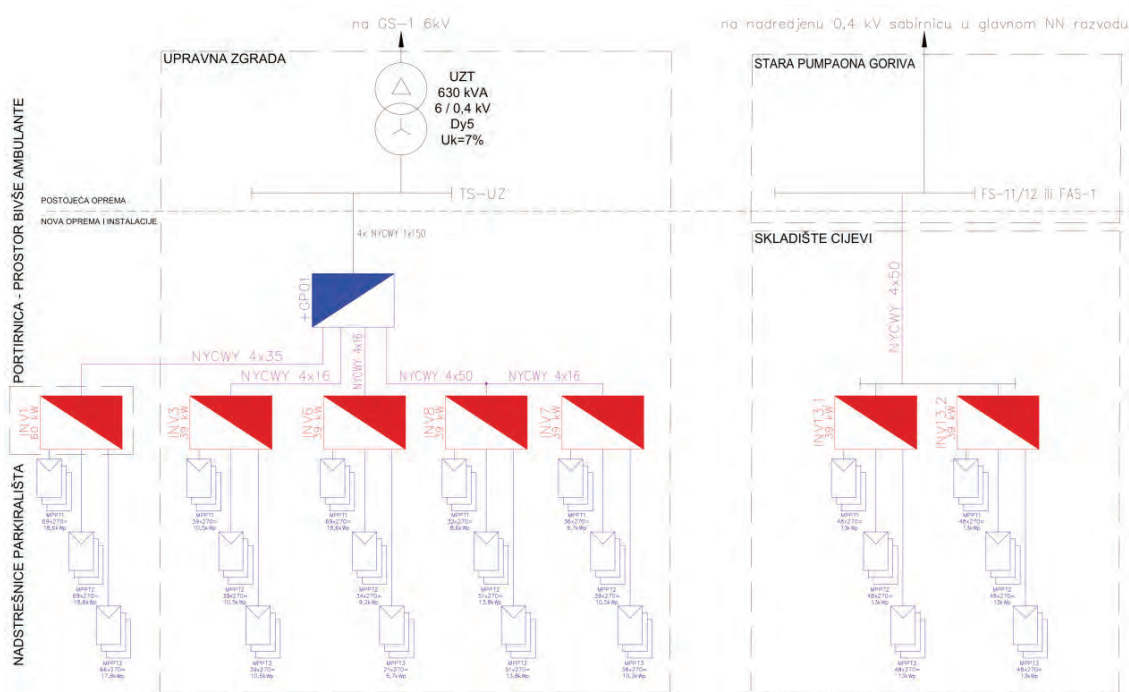
Investitor, HEP-Proizvodnja d.o.o. je 2018. godine naručio izradu glavnog projekta integrirane fotonaponske elektrane koja se sastoji od većeg broja fotonaponskih polja, po krovovima postojećih građevina u sklopu pogona termoelektrane. S obzirom da su građevine građene prije približno 50 godina (početkom 1970-ih), naručeni su i izrađeni građevinski projekti konstrukcije kojima je utvrđeno koje od građevina konstrukcijski udovoljavaju uvjetima da je na njih moguće montirati fotonaponska polja s obzirom na dva kriterija:

- nosivost krovne konstrukcije s obzirom na pritisak (težinu montirane opreme);
- nosivost krovne konstrukcije s obzirom na vlak (vlačnu silu koja nastaje uslijed vjetera koji odiže fotonaponske ploče od krova).

Značajan dio krovnih površina nije udovoljio ovim konstrukcijskim kriterijima te je izgradnja fotonaponskih polja na njima - odbačena, a elektrotehnički projekti za ta fotonaponska polja nisu ni rađeni. U konačnici su projektirana sljedeća fotonaponska polja:

- nadstrešnice na parkiralištu za zaposlenike - dva puta po 270 m<sup>2</sup>, tj. dva puta po 102 polikristalna modula formata cca 1700x1000 mm i snage 270 Wp - ukupno 55,08 kWp spojeno na jedan fotonaponski inverter marke Kaco, nazivne snage 60 kW;
- ravni krovovi upravne zgrade - zgrada je vrlo razvedenog tlocrta pa su i krovovi međusobno razdvojeni i denivelirani te je polje podijeljeno po njima i spojeno preko nekoliko invertera - zapadno krilo ukupno 117 panela po 270 Wp što čini 31,59 kWp; središnje krilo ukupno 124 panela po 270 Wp što čini 33,48 kWp; istočno krilo ukupno 113 panela što čini 30,51 kWp; sjeveroistočno krilo ukupno 134 panela što čini 36,18 kWp, spojeno preko ukupno 4 invertera nazivne snage po 39 kW, sveukupno 156 kW;
- krov skladišta cijevi, izveden na dvije vode orijentirane istok-zapad, nagiba cca 7° - svaka voda ukupno 144 panela, odnosno 38,88 kWp, svaka preko svog invertera nazivne snage 39 kW, sveukupno 78 kW.

Ukupna nazivna snaga FNE je 60+156+78=294 kW (prema standardima distributera električne energije, nazivna snaga FNE deklarira se prema nazivnoj snazi invertera, neovisno o spojenoj snazi fotonaponskih panela). Teoretski maksimalna snaga koju elektrana može dati je 265 kW.



Slika 3. Blokowska shema FNE 294 kW na krovovima zgrada u termoelektrani

Slika 3. prikazuje načelnu shemu energetskeg povezivanja FNE. Unutarnja mreža pogona velika je i razgranata pa ovom shemom nije prikazana cijela struktura, nego samo novoizvedeni dijelovi. Naponske razine izmjeničnog napona unutarnje elektroenergetske mreže termoelektrane su: 20 kV, 6 kV i 0,4 kV. Mreža je prema 110 kV dalekovodima HOPS-a<sup>7</sup> spojena preko tzv. bloktransformatora 20/110 kV 400 MVA kad je generator u radu, odnosno preko tzv. startnog transformatora 110/6 kV 25 MVA kad generator nije sinkroniziran. FNE je najprije projektirana da proizvodi samo u vrijeme kad je cijeli pogon spojen na 110 kV mrežu HOPS-a pa je eventualni suvišak energije koja ne bi bila utrošena za vlastite potrebe zanemariv jer je nazivna snaga FNE sumjerljiva gubicima startnog transformatora - dakle, ništa od energije FNE ne bi ni bilo predano u VN (visokonaponsku) mrežu, a nazivna snaga FNE od 294 kW na prijenosnoj mreži HOPS-a uopće nije mjeriva, a kamoli da ima neki utjecaj.

Međutim, za servisne potrebe mrežu termoelektrane prema distribucijskoj mreži HEP ODS-a povezuje tzv. pomoćni transformator 10/6 kV 2,5 MVA te je nedavno investitor zatražio prebacivanje na taj priključak, odnosno isporuku viška energije prema distribucijskoj mreži. Pri tom je najznačajniji zadatak bio, prema uvjetima distributera, izraditi elaborat utjecaja na mrežu i elaborat podešenja zaštite, s obzirom da se unosi značajni proizvodni izvor u 10 kV distribucijsku mrežu.



Slika 4. Dispozicija fotonaponskih polja - crvene točke označavaju krovove gdje su montirana

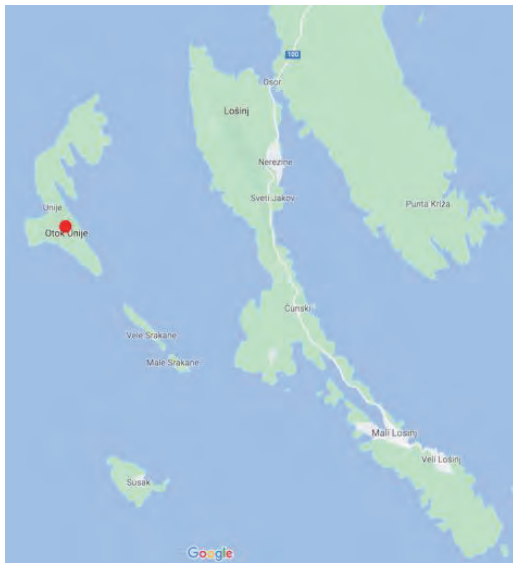
Možemo zaključiti kako je čak i u klasičnoj termoelektrani više od 1000 puta veće snage neupitna opravdanost izgradnje fotonaponske elektrane. Nažalost, najmanje dvije značajne krovne površine nisu iskorištene zbog nedovoljne čvrstoće krovne konstrukcije, ali potencijal za značajno proširenje postoji i dalje, primarno na južnoj, istočnoj i zapadnoj fasadi glavnog kotla.

## NEINTEGRIRANA FNE SNAGE 1 MW NA OTOKU UNIJE

U sklopu europskog projekta INSULAE - razvojnog projekta energetske neovisnih otoka - Regionalna energetska agencija (REA) Kvarner pokrenula je još 2015. godine projekt fotonaponske elektrane snage 1 MW, izgrađene na tlu, na kvarnerskom otoku Unije, u lošinjskom akvatoriju. Prvu verziju idejnog projekta bilo je potrebno prije godinu dana izmijeniti i novelirati kad je projekt, u svojstvu investitora, preuzeo Sektor za strategiju i razvoj Hrvatske elektroprivrede d.d, a, u sklopu projekta INSULAE, REA Kvarner dobila sredstva EU za izgradnju baterijskog postrojenja snage 400 kW i kapaciteta pohrane od 1600 kWh, uz FNE. Prema EOTRP-u kojeg je izradio distributer HEP ODS (na otoku nema druge opcije za priključenje, osim na distribucijsku mrežu

<sup>7</sup> HOPS – Hrvatski operater prijenosnog sustava, javno poduzeće zaduženo za upravljanje i održavanje visokonaponskom prijenosnom mrežom 35, 110, 220 i 400 kV





Slika 5. Položaj Unija u kvarnerskom akvatoriju

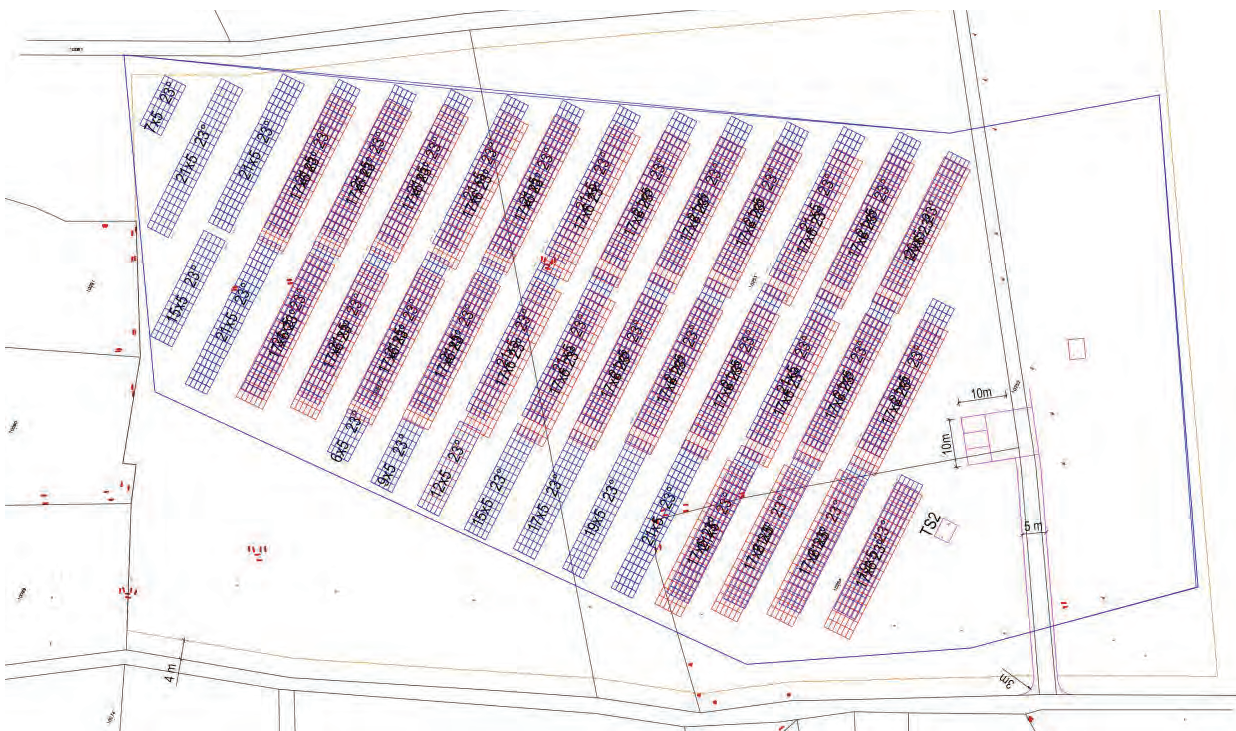
10 kV), u sklopu investicije potrebno je izgraditi i vlastitu trafostanicu (u vlasništvu investitora, a ne distributera) koja je u idejnom rješenju definirana kao 10(20)/0,4 kV 1600 kVA, a za priključenje ove trafostanice na distribucijsku mrežu, distributer će izgraditi u neposrednoj blizini trafostanice - svoje tzv. susretno postrojenje na naponskoj razini 10 kV.

Dio posla pribavljanja lokacijske dozvole za izgradnju neintegrirane fotonaponske elektrane je i izrada studije utjecaja na okoliš. Kako je investitor u noveliranoj verziji projekta tražio povećanje snage projektiranih fotonaponskih panela (sukladno napretku tehnologije u proteku tih nekoliko godina) s prvotnih 270 Wp na 450 Wp (oboje formata 2x1 m), to je Ministarstvo zaštite okoliša tražilo i reviziju studije. Kako je zadano da se zadržava projektirana snaga, a povećava snaga panela, to je novi raspored

na terenu pokrivaio manje prostora nego ranije pa je revidirana studija bila također povoljna, kao i prethodna.

Na slici 6 prikazan je preklap prve i druge verzije na geodetskoj situaciji terena. Plavi poligon predstavlja granicu dozvoljene izgrađenosti terena prema studiji utjecaja na okoliš. Plavo iscrtane table panela su prva verzija (270 Wp), a crveno iscrtane su druga verzija (450 Wp).

Druga verzija idejnog projekta doradivana je još jednom, iz administrativnih razloga. Najprije su predviđene dvije faze izvođenja (po kojima bi se kasnije radile dvije građevinske dozvole, dva tehnička pregleda, itd.), i to: (1) fotonaponska elektrana s trafostanicom i susretnim postrojenjem i (2) baterijsko postrojenje.



Slika 6. FNE Unje - preklap prve i druge verzije na situaciji

Faze izvođenja definirane idejnim projektom i lokacijskom dozvolom imaju smisao da se u zasebnoj fazi ishoduje građevinska dozvola za dio radova koji nije nužan za funkciju osnovne faze jer se na taj način može osnovnu fazu završiti, provesti tehnički pregled i staviti u funkciju, a





Engleski izraz overpanelling označava mogućnost nekih invertera da prihvate ulazni istosmjerni napon MPPT ulaza i značajno veći od nazivnog, uz limitiranje snage pretvorbe na nazivnu. Na taj je način moguće projektirati ulazne fotonaponske stringove tako da u rijetkim eksploatacijskim uvjetima kad se postiže maksimalna solarna iradijacija uz nisku temperaturu panela - napon stringova bude prevelik i dio solarne energije pretvorene u električnu ne može biti iskorišten, ali zato u svakodnevnim eksploatacijskim situacijama, kad uvjeti nisu idealni (manja iradijacija, više temperature), spojeni stringovi daju istosmjerni napon koji nije maksimalan za panele, ali je blizak nazivnom za inverter, tako da FNE postiže nazivnu snagu proizvodnje pri prosječnim uvjetima. Efektivno, to znači da se projektira 10 do 15% više fotonaponskih panela za istu nazivnu snagu elektrane, jer se proizvodnja dimenzionira prema osrednjim, a ne maksimalnim eksploatacijskim uvjetima (solarnoj iradijaciji i temperaturi). Konačni je rezultat - bitno veća proizvodnost na godišnjoj razini, uz istu nazivnu snagu FNE. Iznenadjuće, ovo je funkcija koja nije uobičajena ili čak česta kod solarnih invertera namijenjenih sustavima srednjih snaga (to su oni koji imaju ulazni istosmjerni napon od 1000 do 1500 Vdc, odnosno snage od oko 50 do 250 kW). Primjerice, Fimer inverter korišten u projektu opisanom u poglavlju 2.1. podnosi manje od 2% overpanellinga, a unutarnji sklop energetske pretvorbe izveden je tako da se pri prekoračenju ulaznog napona od 1,8% iznad nazivnog - izlazni napon ruši na nulu, odnosno inverter se efektivno isključuje, iako ne trpi štetu (apsolutno maksimalni istosmjerni napon koji ne izaziva štetu je znatno veći od nazivnog). S druge strane, Kaco inverteri korišteni u projektu opisanom u poglavlju 2.2. funkcioniraju bitno drugačije. Slika 7. prikazuje primjer proračunskog lista. Iako u tom konkretnom slučaju ukupna istosmjerna snaga ne prelazi nazivnu izlaznu snagu, crveno označene vrijednosti upućuju na to da odabrani FN inverter ima tu mogućnost. Po svakom MPPT ulazu moguće je spojiti snagu do 20 kWdc, a maksimalna ukupna istosmjerna snaga na sva tri MPPT ulaza je 45 kWdc, što je 15% iznad nazivne izlazne snage.

## PVGIS PRORAČUN PROIZVODNOSTI U UVJETIMA BITNOG ZASJENJENJA IZ NEPOSREDNOG OKOLIŠA

U situacijama kad projektiramo FNE na lokaciji koja u neposrednom okolišu ima značajne prepreke koje zasjenjuju dio FN polja, bilo da se radi o vegetaciji ili građevinama (bitne značajke reljefa već su unesene u PVGIS), da bi izbjegli značajne greške u proračunu proizvodnosti, potrebno je unijeti liniju horizonta u PVGIS prije proračuna. Na slici 8. vidimo jednu takvu lokaciju u gradu Rijeci. Neboder stoji s južne strane plave zgrade i tvorničke hale te kroz glavninu dana baca dugu sjenu (osobito u zimskim mjesecima) na te krovove.

Ako za južnu vodu krova plave zgrade napravimo standardni PVGIS proračun, dobit ćemo rezultat sa slike 9. Radi se o snazi od 38 kWp, na krovu nagiba 8°, s azimutom od 44° (u PVGIS aplikaciji azimut od 0° označava jug, +90° zapad, a -90° istok). Ne uzmemo li zasjenjenje obližnjeg nebodera u obzir, proračun kaže da možemo očekivati proizvodnju od oko 43 MWh godišnje. Na slici 10 prikazan je proračun s unesenim lokalnim horizontom (što je vidljivo po sfernom prikazu gore desno) te je ovdje proračunata proizvodnost - 34 MWh godišnje, dakle dvadesetak posto manje.



Slika 8. Primjer zasjenjenja zgradom

U grafičkom sučelju PVGIS aplikacije lokalni horizont se definira unosom liste elevacija. Gore desno, pod "Use terrain shadows" treba umjesto "Calculated horizon" odabrati "Upload horizon file" (v. sliku 11). Linija horizonta unesena je u običnu tekstualnu datoteku, na način da ima određeni broj brojeva, svaki

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

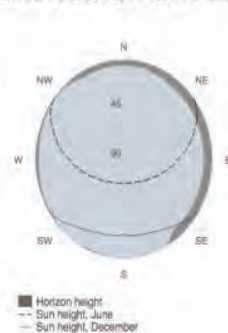
**Provided inputs:**

Latitude/Longitude: 45.316, 14.473  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 38 kWp  
 System loss: 14 %

**Simulation outputs**

Slope angle: 8 °  
 Azimuth angle: 44 °  
 Yearly PV energy production: 42636.4 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 1452.12 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year-to-year variability: 2687.89 kWh  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -3.54 %  
 Spectral effects: 0.99 %  
 Temperature and low irradiance: -7.77 %  
 Total loss: -22.73 %

**Outline of horizon at chosen location:**



**Monthly energy output from fix-angle PV system:**



**Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:**



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

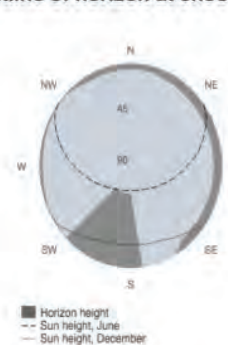
**Provided inputs:**

Latitude/Longitude: 45.316, 14.473  
 Horizon: User defined  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 38 kWp  
 System loss: 14 %

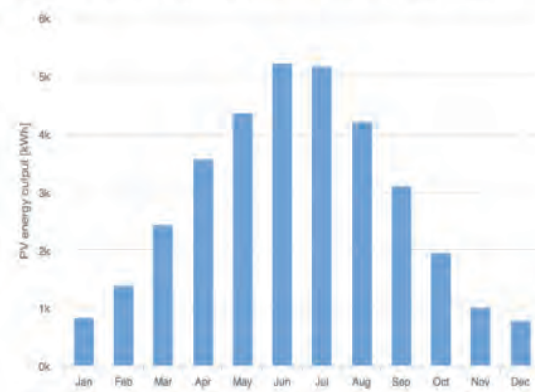
**Simulation outputs**

Slope angle: 8 °  
 Azimuth angle: 44 °  
 Yearly PV energy production: 34056.47 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 1210.01 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year-to-year variability: 1811.61 kWh  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -3.9 %  
 Spectral effects: 0.91 %  
 Temperature and low irradiance: -11.19 %  
 Total loss: -25.93 %

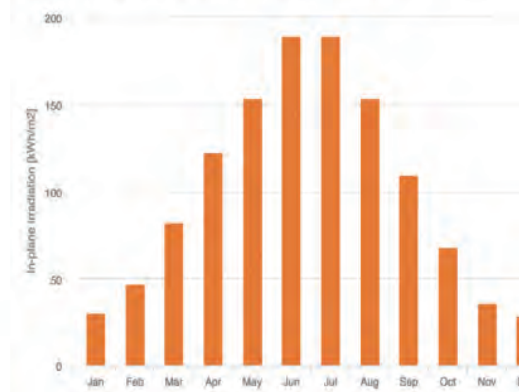
**Outline of horizon at chosen location**



**Monthly energy output from fix-angle PV system:**

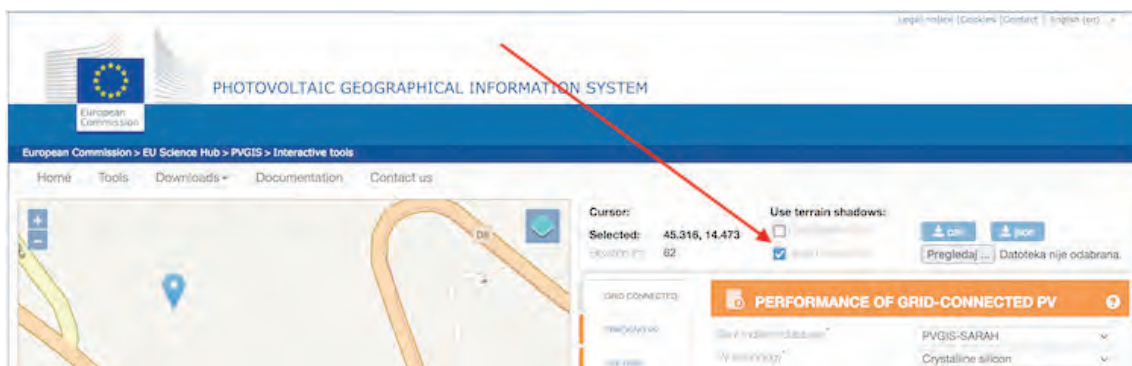


**Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:**



Slika 10. PVGIS proračun proizvodnosti s unesenim lokalnim

u svom retku, koji predstavljaju elevaciju horizonta u stupnjevima. Na zamišljenoj kružnici azimuta, uneseni brojevi se raspoređuju ravnomjerno, od azimuta  $-180^\circ$  (sjever) preko  $-90^\circ$  (istok),  $0^\circ$  (jug) i  $+90^\circ$  (zapad) do azimuta  $+180^\circ$  (opet sjever). Na primjer, ako je u datoteci uneseno 10 brojeva, zadane su elevacije na svakih  $36^\circ$  azimuta, a između se elevacija određuje linearnom interpolacijom. Prirodne visine horizonta (nastale od reljefa – npr. obližnjih planina) mogu se preuzeti iz PVGIS aplikacije u CSV ili JSON formatu. Azimutne pozicije i elevacije horizonta koje odgovaraju zgradama i drugim zaprekama valja odrediti trigonometrijski (na temelju poznate visine zapreke i horizontalne udaljenosti zapreke od centroida fotonaponskog polja).



Slika 11. Detalj PVGIS aplikacije - unos lokalnog horizonta

## ZAKLJUČAK

Dok su male FNE, osobito one na obiteljskim kućama, prilično nalik jedna drugoj, iskustvo nam pokazuje da se kod FNE srednjih snaga izazovi značajno razlikuju od jednog projekta do drugog. Osim samih inženjerskih i tehničkih zahtjeva koje treba uskladiti i pomiriti, često parametre projekta određuju i administrativni aspekti, regulativa koju određuje operator distribucijskog sustava, lokacijski uvjeti, pa i poslovni aspekti koji su posve izvan kompetencije elektroprojektanta.

U takvim uvjetima lako je izgubiti fokus na bitne stručne aspekte, a to može ponekad dovesti do značajnih proračunskih pogrešaka ili pak suboptimalnog izbora opreme. Proizvodnost, odnosno odnos proizvodnosti i nazivne instalirane snage FNE parametri su koji moraju ostati primarni kriterij kod projektiranja fotonaponske elektrane. Ako na tome zadržimo pažnju, imamo dobre izgleda da investitoru predamo kvalitetnu dokumentaciju i, na koncu, izvedemo kvalitetan projekt.

## LITERATURA

“Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu”, HEP ODS, Zagreb, ožujak 2021, <https://www.hep.hr/ods/pravila-o-prikljucenju-na-distribucijsku-mrezu-707/707> (03.10.2021)

“PVGIS users manual”, EU Science Hub, <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual> (03.10.2021)

# OPTIMIZACIJA INTEGRALNOG KORIŠĆENJA HIDRO POTENCIJALA VODNIH TIJELA

**Miodrag Kaluđerović**

ENOP d.o.o. Podgorica

Društvo za energetske optimizacije

## KRATAK SADRŽAJ

Značajan, evidentan dio hidro potencijala u slivu rijeka kako u Crnoj Gori tako i u regionu, ostao je neiskorišćen iako proučavanja intenzivno traju od početka prošlog stoljeća do današnjih dana. Ovakvo stanje proizilazi iz pogrešnih pristupa proračunima hidro potencijala. Polazna pogreška bazirana je na pogrešnom shvatanju fizičkih karakteristika protoka na predviđenim mjestima za gradnju objekata odakle je proistekla zabluda da se izračunavanjem prosječnih protoka nedjeljnih, dekadnih, mjesečnih ili godišnjih, mogu izvesti proračuni sa zadovoljavajućom tačnošću na osnovu kojih se može dovoljno tačno proračunati potencijal i na osnovu takvih proračuna definisati karakteristike objekata. Pogrešno sračunati potencijal dovodio je do pogrešnog definisanja kapaciteta i koncepcije rasporeda kapaciteta po tipu i režimu rada. Umanjeni efekti, neracionalna potapanja često veoma kvalitetnih površina i oscilacije akumulacija, opravdano su izazivala sve veći otpor u stručnoj i laičkoj javnosti. Dok su negativni efekti izgrađenih i projektovanih objekata naglašeno išli na štetu područja u kojima su građeni, dobit se pretila u područja ne samo van dotičnog područja već i van države u kojoj su objekti građeni. Zbog ovako realizovane privredne politike u područjima izgradnje, umjesto prosperiteta i boljeg života stanovništva, dolazilo je do egzodusa stanovništva u područjima izgradnje energetskih objekata.

**Ključne riječi:** Optimizacija, Reverzibilne hidro elektrane, Vodna tijela.

## OPŠTI PROBLEMI VALORIZACIJA HIDRO POTENCIJALA

### PROBLEM KOJI NIJESU RIJEŠENI PO POSTOJEĆEM PRISTUPU

Uobičajena praksa je da se vrednovanje hidro potencijala izražava kroz energetske efekte iskazom količina energije koja se očekuje, eventualno naglašavajući i pozitivan efekat na kvalitet proizvedene



energije. Ponekada se naglašava “korisni energetska kapacitet akumulacija” zanemarujući činjenicu da se “korisni kapacitet” manifestuje na nizvodne elektrane, a na razmatranom objektu naglašeno korišćenje “korisnog kapaciteta akumulacije” predstavlja gubitak energije zbog denivelacije. Pogrešni proračuni hidro potencijala metodom prosjeka dodatno dovode do grešaka jer se na skoro svim objektima javljaju kratkotrajni ali veoma intenzivni gubici zbog preliva preko brana akumulacija. Postojeća praksa proračuna hidro potencijala pogrešna je po više osnova i to:

- Pogrešan i precijenjen obim očekivane proizvodnje;
- Gubici energije zbog denivalacije;
- Gubici energije zbog preliva vode preko brana;
- Negativan uticaj na okolinu za vrijeme niskog nivoa akumulacija;
- Nepovoljni uslovi za postavljanje zahvata za navodnjavanje zbog oscilacija nivoa akumulacija;
- Navedeni nedostaci opravdano su izazivali i izazivaju negativan odnos prema objektima koji su zbog navedenih karakteristika neprihvatljivi od strane mještana stručne i laičke javnosti;
- Neriješeni problemi poplava;
- Neriješeni problemi niskih vodostaja i suša;
- Navedeni nedostaci bez dilema su glavni razlog zastoja u korišćenju hidro potencijala pa bez promjene pristupa rješavanju navedene problematike ne možemo očekivati izgradnju novih objekata kao ni savremeno efikasno korišćenje postojećih objekata.

## **ZAŠTO NOV PRISTUP**

Bilo koji pojedinačni problem od gore navedenih sam za sebe dovoljno je ozbiljan da zahtjeva promjenu koncepta, a pogotovo kada združeno djeluju u manje-više na svim izgrađenim i projektovanim objektima. Analizom geoloških, inženjersko geoloških, hidroloških i hidrogeoloških fenomena kao i korišćenjem savremenih matematičkih i informatičkih metoda, svi gore navedeni problemi u potpunosti se rješavaju.

### **1. PRORAČUN POTENCIJALA**

Primjenom metoda prosjeka za izračunavanja potencijala vrši se računsko izravnavanje protoka koje ne odgovara fizičkom stvarnom karakteru protoka te zbog toga u realnosti menadžeri koji vode procese proizvodnje objektivno ne mogu ostvarivati “proračunate” količine energije. Kreiranjem matematičkog modela na bazi kojeg se u dugom vremenskom periodu prate protoci na proučavanom profilu u dužem vremenskom periodu moguće je dimenzionisati kapacitete tako da se ni u kojim realnim uslovima ne javljaju prelivi. Matematičkim modelom i informatičkim metodama podešava se takav režim da se pored isključenja preliva cjelokupna proizvodnja na dotoku realizuje u visokoj tarifi [1].

### **2. RJEŠAVANJE PROBLEMA DENIVELACIJE SA ASPEKTA ISKORIŠĆENJA ENERGETSKOG POTENCIJALA**

U odgovarajućem matematičkom modelu ima se uvid na dnevnoj bazi, u potrošnju vode i slobodan prostor u akumulaciji koji može da prihvati količinu vode koju treba obezbijediti pumpanjem u vrijeme niske tarife za električnu energiju. Na ovaj način obezbjeđuje se da je akumulacija uvijek na maksimalnom nivou što je dragocjeno ne samo za maksimalno korišćenje energetskeg potencijala već i za ekološki aspekt i uslove navodnjavanja površina koje se nalaze na nižim i na višim nadmorskim visinama u odnosu na maksimalni nivo akumulacije. Izuzetno, može se javiti kratkotrajna potreba za smanjenjem nivoa akumulacije pred predvidljivo očekivanje povećanih priliva, ali je i u ovim slučajevima vidljiva prednost novog pristupa obzirom na veće instalirane kapacitete [2].

### 3. GUBICI ENERGIJE ZBOG PRELIVA VODE PREKO BRANA

Gubici energije su nedopustivi iz dva glavna razloga i to: prvo, predstavljaju čist gubitak energije na posmatranom profilu sa velikom vjerovatnoćom da se prelive manifestuju i na nizvodnim objektima i drugo, prelive preko brana su nekontrolisani fenomen koji uzrokuje poplave na nizvodnim područjima. U matematičkom modelu postavlja se zahtjev da prelive budu jednaki nuli. Da bi se ovo postiglo projektantima stoje na raspolaganju dva operatora i to povećanje instaliranog protoka i povećanje kapaciteta akumulacija. Za pojedine objekte posmatrano ovo može da bude problem, ali to se rješava na način što se proučava čitav sliv pa se zatim projektuju parametri za razmatrani profil. Važno je imati na umu da po pravilu postoje bolji uslovi za stvaranje akumulacija u uzvodnim tokovima rijeka u odnosu na nizvodna područja. Stvaranje uzvodnih akumulacija je veliki benefit za nizvodne objekte tako da je sve veća primjena podjela dobiti od novih uzvodnih akumulacija kroz podjelu dobiti nizvodnih vlasnika i vlasnika uzvodnih akumulacija [2], [3].

### 4. NEGATIVAN UTICAJ NA OKOLINU ZA VRIJEME NISKOG NIVOVA AKUMULACIJA

Nizak vodostaj postaje sve veći problem rječnih tokova ne samo kod nas već i u čitavom svijetu. Poseban je problem za naše područje što su i padavine i proticaji najmanji kada su potrebe za vodom najveće. Karakteristične male vode za Lim, Taru i Pivu su 7 do 9 m<sup>3</sup>/s sa tendencijom daljih smanjenja. Nizak nivo naših rijeka Lima, Čehotine, Tare i Pive uzrokuju i nizak nivo proticaja Drine na ušću u Savu na oko 30 m<sup>3</sup>/s, dok je višegodišnji prosjek na ušću u Savu 396 m<sup>3</sup>/s, a maksimumi su često i preko 6.000 m<sup>3</sup>/s. Povećanje potrošnje vode na uzvodnim područjima i kod nas i u svijetu ima za posljedicu da dijelom godine neki rječni tokovi nestaju. Slična pojava se uočava i u brojnim manjim pritokama većih rijeka kada, velikim dijelom godine, nema tečenja vode pa se takvi tokovi tretiraju kao povremena vrela iako bilansne vode ovih tokova nijesu značajne. Zbog navedenih činjenica nužno je proučavanje cjelovitog sliva imajući uvijek u vidu da optimalnog korišćenja potencijala nema bez eliminacije prelive i držanja akumulacija na maksimalnom nivou.

### 5. NEPOVOLJNI USLOVI ZA POSTAVLJANJE ZAHVATA ZA NAVODNJAVANJE ZBOG OSCILACIJA NIVOVA AKUMULACIJA

Postojeći pristup korišćenja hidro akumulacija zbog velikih oscilacija je nepogodan za zahvatanje vode zbog velikih oscilacija nivoa iz akumulacija i to kako nižih tako i viših terena. Zbog projektovanih oscilacija do 86 m hidro akumulacija Piva, najveća na Balkanu, poslije HA Đerdap, iako postoji skoro pet decenija ne koristi se za navodnjavanje. Odgovarajućim rješenjima uzvodnih HA na rijeci Pivi i pritokama obezbjeđuju se uslovi za navodnjavanje više desetina hiljada hektara zemljišta čime se praktično nekorisne poljoprivredne površine pretvaraju u visoko produktivne njive, livade i pašnjake [2].

### 6. ODNOS LOKALNOG STANOVNIŠTVA PREMA NOVIM HIDRO ENERGETSKIM OBJEKTIMA

Odnos lokalnog stanovništva, kao i brojne laičke i stručne javnosti po pravilu je negativan prema izgradnji novih hidro energetske objekata. Negativan odnos je reakcija na često usko tretiranje energetske politike zanemarujući mnoge negativne faktore. Nije rijedak slučaj da se akumulacije predimenzionišu vodeći računa o nizvodnim objektima na štetu uzvodnih - što je naročito čest slučaj za objekte na teritoriji Crne Gore. Analiziranjem slučaja HA Piva vidljivo je da je uz neuporedivo manja potapanja bilo moguće obezbijediti veću proizvodnju. Posljedice su očigledne iako ostaje nejasno koliko su data rješenja bila smišljena koncepcija u korist nizvodnih objekata, a koliko stanja poznavanja odgovarajućih savremenijih rješenja koja su bila dostupna u vrijeme izgradnje.

Po našem shvatanju, neprihvatljiva su sva rješenja koja nijesu prihvatljiva za lokalno stanovništvo. Bez obzira ne moguće “dobre namjere”, projekte treba dopunjavati i korigovati sve dok ne budu široko prihvaćeni od lokalnog stanovništva. Svako nasilno nametanje izgradnje jednostavno je neprihvatljivo s obzirom da je nasilje po definiciji nehuman akt.

## 7. RJEŠENJE PROBLEMA POPLAVA

Brojni su projekti koji razmatraju rješenja problema vezanih za poplave koje stvara rijeka Drina pri protocima većim od 1.800 m<sup>3</sup>/s dok se na Drini od Višegrada nizvodno često registruju protoci i preko 6.000 m<sup>3</sup>/s. Ulaganja u brojne projekte kojima se problemi poplava ublažavaju iznose od nekoliko desetina miliona eura do 100 miliona €. Predloženim novim pristupom izgradnje akumulacija i korišćenja voda, problem poplava se isključuje, dok bi eventualna nova razvojna rješenja regulacije voda u područja dobila još veće efekte. Samo u području Bijeljine predviđaju se investicije od oko 50 miliona eura da bi se riješila ugroženost preko 10.000 stanovnika [4]

## 8. RJEŠAVANJE PROBLEMA NISKIH VODOSTAJA I SUŠA

Brojni su problemi koji nastaju prilikom niskih vodostaja. Mali protoci dovode do koncentracije svih zagađenja u vodama. Niski vodostaji se javljaju po pravilu kada su potrebe za vodom najveće što vremenom ovaj problem postaje sve veći. Proizvodnja električne energije pri niskom nivou akumulacija rezultira u maloj specifičnoj proizvodnji energije. Povećanje potrošnje kroz zahtjeve potreba stanovništva, industrije i poljoprivrede praćeno je i globalnim promjenama klime što sve čini navedene probleme značajnijim a njihovo rješavanje postaje sve neophodnije.

## RJEŠAVANJE KLJUČNIH PROBLEMA UZ POREĐENJE STAROG I NOVOG PRISTUPA

Navedenih osam problema su opšti problemi za skoro sve vodotoke kod nas i u svijetu i uglavnom su rješavani u raznim zemljama prema mogućnostima. Kod nas je problem nastajao i opstajao zbog dva odlučujuća faktora i to: prvo, pogrešan pristup u rješavanju predmetne problematike i drugo niska materijalna osnova društva. U daljem tekstu daju se upoređenja po ključnim parametrima pojedinačno po objektima u slivu rijeke Pive i djelimično na uticaj nizvodnih elektrana u slivu rijeke Drine.

### HE (RHE) KOMARNICA POSTOJEĆI PRISTUP

HE Komarnica je jedan od prioritarnih objekata koji je poslije niza odlaganja i početkom 2021. na listi razvojnih prioriteta EPCG. U prethodnom periodu su ustanovljeni ključni parametri kojima se definiše karakter HE Komarnica od kojih poseban značaj ima utvrđena gornja voda akumulacije na 811 mnm čime se opravdano štiti turistička i prirodna atrakcija kanjona Nevidio. Glavni parametri brane akumulacije i hidro elektrane su kako slijedi:

Kota uspora mnm.....	811
Zapremina akumulacije m <sup>3</sup> .....	$V= 227 * 10^6$
Visina brane .....	$H=171$ m
Instalirani protok.....	$p= 130$ m <sup>3</sup> /s
Godišnja proizvodnja.....	230GWh
Investicije.....	260-290 miliona eura
Instalirana snaga.....	155 MW



Ono što pada u oči kao pozitivno je činjenica da se usvojenim rješenjem kote uspora 811 mnm štiti kanjon Nevidio. Treba uočiti da ovo rješenje ima nekoliko krupnih nedostataka što dovodi u pitanje opravdanost izrade idejnog projekta čija je cijena prema saopštenjima EPCG oko 1,6 miliona €. Predviđena očekivana proizvodnje je, kao i kod brojnih sličnih projekata, pogrešno sračunata i ista će umjesto prosječno predviđene godišnje proizvodnje od 213 GWh iznositi oko 170 GWh. Ova greška nastaje zbog primijenjene metode proračuna protoka prosječno za pojedine periode umjesto proračuna moguće proizvodnje na bazi odgovarajućeg softvera na bazi protoka u realnom vremenu na dnevnoj bazi. Čak iako se uzme za investiciju predviđeni minimalni iznos od 260 miliona €, za povoljan kredit od 12 godina i godišnju kamatu 4% troškovi kapitala na godišnjem nivou bi iznosili 21, 6 miliona € za otplatu osnovnog duga i za kamatu 5,2 miliona što ukupno iznosi 26,8 miliona €. Minimalni ostali troškovi rada elektrane bi bili oko 5 miliona € godišnje, što na godišnjem nivou daje ukupne troškove elektrane od 31,8 miliona €. Po projektovanom konceptu MWh bi to koštao 138 € ili prema realno sračunatoj proizvodnji 187 €/MWh što iznosi do četiri puta skuplje od tržišne vrijednosti očekivane proizvodnje. Ovakav projekat je štetan i neprihvatljiv za Crnu Goru, ali ima određenih pozitivnih efekata za elektrane u Srbiji i Bosni i Hercegovini i Republici Srpskoj što je van naših razmatranja. Gore navedene činjenice upućuju na potrebu da se koncept izgradnje izmijeni u smislu unapređenja ili da se napusti. Dodatnim proučavanjima lokalnih uslova izgradnje i savremenih tokova u sferi izgradnje reverzibilnih elektrana dolazi se do zaključka da RHE Komarnica može da bude izuzetno profitabilan projekat uz značajno unapređenje ambijenta i uslova života na pripadajućem regionu.

## NOV PRISTUP

Novim pristupom obezbjeđuje se veći broj ključnih poboljšanja od kojih ističemo najvažnije. Iz gore navedenih parametara, koji su izvedeni iz postojećeg pristupa, uočljiva je velika investiciona vrijednost oko 2.000.000 €/MW uz mali broj efektivnog rada što se očituje niskim faktorom kapaciteta  $K_f = Q / (\pi \cdot 365 \cdot 24) = 230.000 / (155 \cdot 365 \cdot 24) = 0,16$  ili ako se uzme realno očekivana proizvodnja - dobija se faktor kapacitet  $K_f = 170.000 / (155 \cdot 365 \cdot 24) = 0,12$ .

Jedan od najvažnijih faktora visoke cijene gradnje objekta HE Komarnica je loša pristupačnost mjestu gradnje što pored visokih troškova zahtijeva i dug period izgradnje. Teren za izgradnju puta je veoma nepogodan, najvećim dijelom kroz kanjon i treba savladati nadmorsku visinu prvo sa 900 mnm na 1.300 mnm da bi se zatim spustio na 675 mnm. Ovaj put može da košta oko jedne trećine ukupne investicije tj. 80 do 90 miliona eura, uz veoma nepovoljne uslove za održavanje. Elementarnom logikom, lako je zaključiti, da je po postojećem konceptu projekat HE Komarnica neprihvatljiv sa ekonomske tačke gledišta kao i iz niza drugih nedostataka, u čiju analizu nećemo ulaziti u ovom radu. Izvjesno je da kod usvojenih koncepcija visine brane značajno poboljšanje nastaje instalacijom ireverzibilnih agregata i povećane snage. Poređenje proizvodnih efekata za klasične i reverzibilne elektrane na rijekama Komarnici i Pivi dato je u tabeli 1. Prikazana koncepcija izgradnje objekata u slivu rijeka Komarnice i Pive pored toga što je optimalna za korišćenje tog potencijala, stvara uslove za optimalno korišćenje hidro potencijala rijeka u slivu Gornje Drine.

Tabela 1. Poređenje efekata proizvodnje klasičnih i reverzibilnih elektrana na rijekama Komarnici i Pivi

Poređenje moguće, projektovane i ostvarene proizvodnje električne energije								
Redni broj	Proizvodnja na prirodnom dotoku				Proizvodnja u reverzibilnom režimu			
	Naziv objekta	Snaga RHE MW	Proj. proiz. Gwh	Realna proizvodnja Gwh	Snaga RHE MW	Proizvodnja na dotoku RHE GWh	Proiz. GWh	Proiz. u VT GWh
1	HE Komar	155	213	170				
2	RHE Komar				292	270	898	1168
3	HE Piva	360	860	747				
4	HE P+RH P				720	1077	1803	2880
5	HE Kruševo	120	321	245				
6	RHE Kruševo				270	380	700	1080
Ukupno na dotoku		635	1394	1162				
Ukupno RHE					1280	1727	3401	5128

Napomena: u tabeli 1, red 4, dati su efekti rada zbirno za HE Piva i RHE Piva obzirom da je snaga RHE Piva koncipirana tako da obje elektrane dobijaju dovoljno vode zbirno iz dotoka i po osnovu pumpanja da RHE Piva i HE Piva mogu da rade punom snagom za čitavo vrijeme trajanja visoke tarife.

## RHE PIVA

Postojeći objekti na rijeci Pivi su hidro akumulacija Pivsko jezero i HE Piva. Navodimo nekoliko osnovnih tehničkih karakteristika uzetih iz [5]: ukupna zapremina akumulacije 880x106 m<sup>3</sup>; korisna zapremina 790x106 m<sup>3</sup>; prosječni godišnji protok 74,5 m<sup>3</sup>/s; instalirani protok 240 m<sup>3</sup>/s; instalirana snaga 0,360 GW; prosječna godišnja proizvodnja (1976–2007) 737 GWh; kota maksimalnog uspora 675 mm; kota minimalnog radnog nivoa 595 mm; maksimalni neto pad 181,95 m; minimalni neto pad 99,90 m.

U HE Piva novim konceptom se ne predviđaju izmjene organa elektrane, jedino su predviđene promjene u režimu rada kao posljedica rada u sistemu sa RHE Piva i RHE Kruševo. Osnovna razlika je u tome što će elektrana raditi tokom čitave godine isključivo u režimu visoke tarife koristeći maksimalan pad obzirom da će HA Piva biti uvijek na maksimalnom nivou. Efekat takvog režima rada dati su tabeli 1, red 4, iako nema intervencija na postojećoj HE Piva.

Izgradnjom RHE Piva i RHE Kruševo ostvaruju se dodatni efekti u postojećoj HE Piva bez novih ulaganja u ovu elektranu. Osnovna ideja o izgradnji RHE Piva snage 0,360 GW zasnovana je na potrebi da se obezbijedi stalan nivo akumulacije Piva u cilju očuvanja pejzaža kao i da se eliminišu veliki gubici električne energije koji nastaju u postojećoj HE Piva po osnovu denivalacije akumulacije. Pumpni režim rada RHE Piva obezbjeđuje rad u višoj tarifi za HE Piva i RHE Piva uvijek na maksimalnom nivou akumulacije. Osnovne tehničke karakteristike za RHE Piva su kako slijedi: instalirana snaga u proizvodnom režimu 0,360 GW; instalirani protok 240 m<sup>3</sup>/s; godišnji broj radnih časova u višoj tarifi 4.000 h; godišnji broj časova u pumpnom režimu rada do 4.400 h; ulazna kota napojnog tunela 665 mm; donja voda RHE Piva (kao za HE Piva) 495 mm.

Vodohvat za RHE Piva bio bi izgrađen oko 200 m uzvodno od desnog oporca postojeće brane na hidro akumulaciji Piva. Mašinska zgrada i razvodno postrojenje bili bi izvedeni 300–400 m nizvodno od desnog oporca postojeće brane. Važno je napomenuti da napojne objekte i mašinsku zgradu RHE Piva treba graditi, u principu bez miniranja, što je savremenim tehnikama gradnje moguće jer se radi o krečnjačkoj sredini. Ulazna kota napojnog tunela 665 mm odabrana je zbog toga što smatramo da to treba da bude maksimalno dopušteni niski nivo akumulacije i to samo kratkotrajno pri očekivanju ekstremno

velikih dotoka.

Modernizacija i dogradnja HE Piva su u toku i definisani su obimnom izrađenom dokumentacijom [6]. Glavna karakteristika realizacije programa koji je u toku je povećanje nominalne snage sa 342 MW na 360 MW i povećanje očekivane proizvodnje na 800 GWh umjesto do sada ostvarene prosječne proizvodnje za period od 1976. do 2017. od 747 GWh. Sa aspekta pouzdanosti i raspoloživosti agregata elektrana je veoma pouzdano radila u dosadašnjem periodu i očekivati je da će tako biti i u budućnosti. Uprkos navedenim činjenicama faktor kapaciteta je nizak i prosječno ostvareni za period od 1976. do 2017. je kako slijedi:  $K_f = 747.000 / (342 \cdot 365 \cdot 24) = 0,249$  gdje je: 747.000 prosječno ostvarena godišnja proizvodnja u MWh; 342 - instalirana snaga u MW; 365 - broj dana u godini; 24 broj sati u danu. Modernizacijom, uprkos povećanju proizvodnje, faktor kapaciteta se neznatno povećava tako da ima sljedeću vrijednost:  $K_f = 800.000 / (360 \cdot 365 \cdot 24) = 0,253$ . U uslovima rada, u režimu RHE po osnovu rada na dotoku, faktor kapaciteta za HE Piva je kako slijedi:  $K_f = 1.077.000 / (360 \cdot 365 \cdot 24) = 0,341$ . Prevođenjem HE Piva u režim RHE dobija se koeficijent kapaciteta kako slijedi:  $K_f = 360 \cdot 4.000 / (360 \cdot 365 \cdot 24) = 0,46$

Režim rada u toku sedmice, isti je za HE Piva, RHE Piva, RHE Kruševo i RHE Komarnica. U visokoj tarifi fond vremena je 80 časova sedmično ili godišnje 4.000 časova, pošto su dvije sedmice predviđene za remont. U toku sedmice fond časova rada u nižoj tarifi je 88 časova ili godišnje 4.400 časova pošto su dvije sedmice ostavljene za remont. Eliminacijom gubitaka koji nastaju po osnovu de nivelacije i eventualnih preliva stalnim radom na maksimalnom nivou iz prirodnog dotoka proizvodni parametri su kako slijedi:

- Instalirana snaga HE Piva 0,360 GW što je saglasno s projektom modernizacije [6], str. 63-65;
- Polazeći od prosječnog dotoka u HA Piva od 74,5 m<sup>3</sup>/s dobija se broj radnih časova na dotoku za HE Piva i RHE Piva pri potrošnji vode za punu snagu od 436 m<sup>3</sup>/s, i iznosi 1.496h;
- Na osnovu gore navedenog slijedi da je za rad 4.000 časova rada za HE Piva i RHE Piva u višoj tarifi potrebno obezbijediti u pumpnom režimu 2.504 časova rada za što je potrebno 3.930.278. 000 m<sup>3</sup> vode;
- Za 4.400 časova rada u pumpnom režimu pri kapacitetu pumpanja od 250 m<sup>3</sup>/s obezbjeđuje se 3.960.000.000 m<sup>3</sup> vode što je više od potrebne količine.

Pozitivni efekti u HE Piva i RHE Piva se ostvaruju po tri osnova i to:

1. Obezbeđuje se konstantan rad u visokoj tarifi tokom čitave godine u trajanju 4.000 časova za HE Piva i RHE Piva čime se obezbjeđuje proizvodnja od 1.077 GWh na prirodnom dotoku i 1.802 GWh po osnovu reverzibilnog rada ili ukupno u višoj tarifi 2.879 GWh.
2. Eliminiraju se prosječni godišnji gubici, koji nastaju zbog denivelacije od 340 GWh.
3. Proizvodnja vršne energije ne zavisi od hidrološke situacije, ali se mijenja količina nabavke električne energije u nižoj tarifi.

## RHE KRUŠEVO POSTOJEĆI PRISTUP

Koncepcijsko rješenje za HE Krševo dato je od strane Elektroprojekta Ljubljana 1973. godine. Glavna funkcija ove elektrane bila je da služi kao kompenzacioni bazen za rad HE Piva pa je od ukupno planirane proizvodnje od 321,9 GWh samo 91 GWh bila predviđena proizvodnja u visokoj tarifi. Odlaganje izgradnje HE Kruševo bilo je uslovljeno brojnim faktorima od kojih je najznačajniji predviđanje gradnje HE Visoka Buk Bijela koja bi isključila izgradnju HE Kruševo. Kako je otpala mogućnost izgradnje HE Visoka Buk Bijela, HE Kruševo je ponovo razmatrano u brojnim dokumentima među kojima ističemo [6], [7] i druge. Dokumentom [7] str. 153 predviđa se samo mogućnost razmatranja izgradnje HE Kruševo poslije 2030. godine uz napomenu da je realizacija sporna zbog toga što treba dobiti međunarodnu saglasnost.

Bitna razlika od postojećeg koncepta je u tome što se po novom konceptu ne bi gradila pribranska klasična HE Kruševo snage 0,12 GW, kako je predviđeno lit. [7] str. 37. Osnovne tehničke karakteristike sa manjim varijacijama su kako slijedi: lokacija 2.600 m uzvodno od sastava rijeke Pive sa rijekom Tarom; površina sliva 1.843 km<sup>2</sup>, srednji godišnji protok 75,8 m<sup>3</sup>/s; velika voda 1.760 m<sup>3</sup>/s; kota nominalnog us-



pora 495 mm; kota minimalnog radnog nivoa 475 mm; ukupna zapremina akumulacije 25,4 miliona m<sup>3</sup>; korisna zapremina 18.000.000 miliona m<sup>3</sup>; instalirana snaga 0,120 GW; broj sati sveden na maksimalnu snagu prosječno godišnje 2.670; instalirani protok 240 m<sup>3</sup>/s. Svjetska banka [7] str. 196 redukovala je očekivanu proizvodnju na 267,4 GWh prosječno godišnje; Procijenjene investicije 166 miliona €. Početak rada predviđa 2028. godinu. Na osnovu gore navedenih projektnih pretpostavki mogu se izvesti osnovni, ali veoma značajni, tehničko ekonomski pokazatelji kao i uvid na ambijentalni uticaj.

Pod uslovom da se HE Kruševo gradi iz kredita uz otplatni period od 12 godina i kamatu od 4%, godišnji troškovi otplate kredita su 21.653.000 €. Na troškove kapitala treba dodati procijenjene ostale troškove rada elektrane od 5.000.000 €, tako da su ukupni troškovi u toku otplatnog perioda 26.553.000 €. Pod uslovom da proizvodnja bude maksimalno moguća, prema dosadašnjim procjenama od 321,9 GWh, dobijaju se prosječni godišnji troškovi od 82.799 €/GWh što je znatno iznad predviđenih tržišnih cijena. Pored navedenog, lokacija ima i nepovoljnost da je potrebna međudržavna saglasnost i podjela energije, zatim negativan uticaj na ambijent što čini da je status ovog projekta još uvijek neizvjestan. Pažljivim čitanjem navedenih dokumenata, projektanti koji za osnov razmatranja imaju postojeći koncept uviđaju značaj HA Komarnica i Kruševo za optimalno upravljanje slivom Drine, ali je taj uticaj nevidljiv za Crnu Goru. Nepovoljnost rješenja se vidi i iz niskog faktora kapaciteta kako slijedi:  $K_f = 321.000 / (120 \cdot 365 \cdot 24) = 0,305$  gdje je: 321.000 prosječna godišnja proizvodnja u MWh; 120 - instalirana snaga u MW; 365 - broj dana u godini; 24 broj sati u danu.

Po predviđenim konceptima opravdane su i potrebne investicije u HE Piva, dok su i HE Komarnica i HE Kruševo za Crnu Goru pod znakom pitanja, što su razlozi da do njihove realizacije ne dolazi. Dvije su mogućnosti "pratiti i razmatrati" i čekati nove uslove (?) ili promijeniti koncept. U nastavku je predlog promjene koncepta i ilustracija očekivanih efekata od realizacije po novom konceptu.

## NOV PRISTUP

Poseban značaj pri oblikovanju novog pristupa posvećen je zaštiti čovjekove okoline. Postojeća rješenja bazirana su isključivo na radu na dotoku zbog čega je neminovno pražnjenje akumulacija zbog zahtjeva konzuma za energijom kao i zbog izbjegavanja gubitaka vode zbog preliva. Navedeni problemi uspješno se rješavaju uvođenjem režima reverzibilnog rada elektrane.

Novom koncepcijom koju predlažemo, svi do sada navođeni problemi su eliminisani. Nova koncepcija, između ostalog, predviđa da se brana akumulacije Kruševo pozicionira tako da oporci brane budu na teritoriji Crne Gore što je oko 4.500 m nizvodno od postojeće brane akumulacije Piva. Napojna cijev za RHE Kruševo odvodi vodu iz HA Kruševo do RHE Kruševo snage 0,27 GW. Cijev se gradi paralelno sa tokom rijeke Pive uz desnu obalu, sve na teritoriji Crne Gore, do sastava Pive i Tare gdje se na teritoriji Crne Gore gradi RHE Kruševo.

Osnovne tehničke karakteristike za RHE Kruševo su kako slijedi: gornja voda 495 mm što je donja vod za RHE Piva i za HE Piva; površina sliva 1.843 km<sup>2</sup>; prosječan godišnji proticaj 75,8 m<sup>3</sup>/s; instalirani proticaj 480 m<sup>3</sup>/s; kota normalnog uspora 495 mm; donja voda 432 mm; korisna zapremina akumulacije 29 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>; tip brane betonska lučna (alternativa nasuta); instalirana snaga 0,270 GW; ukupna proizvodnja u višoj tarifi 1.080 GWh; prosječna godišnja proizvodnja na dotoku 373 GWh; potrebna energija za pumpanje 848 GWh.

Polazeći od prosječnog godišnjeg dotoka u HA Kruševo od 75,8 m<sup>3</sup>/s i potrošnje vode za punu snagu od 480 m<sup>3</sup>/s dobija se broj radnih časova na dotoku od 1.383 časova.

Na osnovu gore navedenog slijedi da je za 4.000 časova rada u višoj tarifi potrebno obezbijediti za rad u pumpnom režimu dodatnih 2.617 časova rada za što je potrebno 4.522.176.000 m<sup>3</sup> vode. Za 4.400 časova rada u pumpnom režimu pri kapacitetu pumpanja od 480 m<sup>3</sup>/s može da se obezbijedi 7.603.200.000 m<sup>3</sup>, odakle slijedi da je mogući kapacitet pumpanja veći od potrebnog.

## KONCEPT IZGRADNJE INVESTICIJE I TROŠKOVI

Novim konceptom predviđena je izgradnja brane nasutog tipa umjesto ranije predviđene lučne armirano betonske brane. Pored navedenog, brana je pomjerena uzvodno za 600 m čime je postignuta znatna ušteda materijala za nasipanje. Predviđeno je da se od brane do RHE Kruševo na sastavu Pive i Tare izgradi saobraćajnica sa četiri trake- ukupne dužine 2.600 m. U podu ove saobraćajnice izvela bi se derivaciona armirano betonska cijev poprečnog presjeka oko 60 m<sup>2</sup>. Materijal iz usjeka i kosina saobraćajnice i iskopa za napojni cjevovod bi se ugradio u zemljanu branu, koja je znatno većih dimenzija nego što je potrebno za njenu hidrotehničku funkciju, budući da se predviđa njena multi funkcionalna uloga. Na slici 1 prikazani su glavni objekti optimizacije hidro potencijala rijeka Pive, Tare i Drine.



Slika 1. Objekti optimizacije za korišćenje hidro potencijala Pive, Tare i Drine

Ukupne investicije za RHE Kruševo iznosile bi prema dokumentu COWI, Podrška upravljanje vodnim resursima u slivu Drine, World Bank Group, strana 195, odjeljak 8.7.1 - 166 miliona € za projektovano mjesto izgradnje brane. Projektovano mjesto gradnje smo promijenili iz dva razloga i to: prvo, zato što se u izvještaju opravdano ističe da je lijevi oporac brane na teritoriji Bosne i Hercegovine što implicira komplikovana međunarodna usaglašavanja i drugo, na predviđenom mjestu izgradnje brana bi imala dužinu 240 m. Pomjeranjem brane za 1200 m uzvodno - oba oporca brane nalaze se na teritoriji Crne Gore čime se izbjegavaju mogući međunarodni problemi i drugo, na novo predviđenom mjestu gradnje dužina brane bi bila 170 m čime se obezbjeđuje znatno niža cijena izgradnje. Godišnji troškovi kapitala, uz uslov da se dobije kredit na 12 godina i uz kamatnu stopu od 4%, su 16.740.000 €. Ostali operativni troškovi za RHE Kruševo ocjenjuju se na nivou od 5.000.000 €, što znači da bi u periodu otplate kredita troškovi rada RHE Kruševo iznosili 21.740.000 €. Na ove troškove treba dodati troškove nabavke električne energije u nižoj tarifi u iznosu od 31.339.000 €. Ukupni troškovi kapitala, rada i nabavke električne energije u nižoj tarifi su 53.079.000 €. Ukupan prihod bi iznosio 66.960.000 €. Razlika prihoda i troškova je 13.881.000 €, dok je očekivani period povraćaja investicija 5,5 godina. Poslije otplate kredita godišnji profit bi iznosio oko 30 miliona što je znatno više od profita koje u sadašnjim uslovima ostvaruje EPCG kao najprofitabilnija kompanija Crne Gore.

Pozitivni efekti u RHE Kruševo se ostvaruju po tri osnova i to:

- Obezbjeduje se konstantan rad u visokoj tarifi tokom čitave godine u trajanju 4.000 časova čime se obezbjeđuje proizvodnja od 1.080 GWh od čega 373,4 GWh na prirodnom dotoku i 706,6 GWh po osnovu reverzibilnog rada;
- Obezbjeduje se rad RHE Piva i HE Piva za trajanje visoke tarife bez obzira na hidrološke uslove;
- Ostvaruje se pozitivan uticaj na nizvodno upravljanje režimom voda.

Nova koncepcija između ostalog predviđa da se brana akumulacije Kruševo pozicionira tako da oporci brane budu na teritoriji Crne Gore, čime se prevazilazi "problem međunarodno komplikovanih odnosa". Brana se pozicionira 4.500 m nizvodno od postojeće brane akumulacije Piva. Napojni tunel za RHE Kruševo odvodi vodu iz akumulacije Kruševo do RHE Kruševo snage 0,27 GW. Tunel se gradi paralelno sa tokom rijeke Pive uz desnu obalu, sve na teritoriji Crne Gore, do sastava Pive i Tare gdje se na teritoriji Crne Gore gradi RHE Kruševo sa kotom donje vode 432 mnm, čime se u potpunosti koristi hidro potencijal rijeke Pive budući da dalji nizvodni potencijal pripada BiH. Prema ovom konceptu, faktor kapaciteta na dotoku je kako slijedi:  $K_f = 358.000 / (270 * 365 * 24) = 0,151$ , gdje je: 358.000 prosječna godišnja proizvodnja u MWh; 270 - instalirana snaga u MW; 365 - broj dana u godini; 24 broj sati u danu. Koncepcijom izgradnje RHE Kruševo faktor kapaciteta je kako slijedi:  $K_f = 1.080.000 / (270 * 365 * 24) = 0,456$  gdje je: 1080.000 godišnja proizvodnja u MWh; 270 - instalirana snaga u MW; 365 - broj dana u godini 24 broj sati u danu. Naglašavamo veoma važnu činjenicu da se visoki faktor kapaciteta ostvaruje isključivo proizvodnjom u visokoj tarifi dok to nije moguće ostvariti u klasičnoj hidro elektrani.

## **ZAKLJUČNA RAZMATRANJA ZA DIO SLIVA KOJI PRIPADA CRNOJ GORI**

1. Za usvajanje nove procjene hidro potencijala u slivu Drine potrebno je napustiti postojeće metode proračuna s obzirom da iste daju pogrešne rezultate.
2. Proračune hidro potencijala računati na bazi dnevnih protoka i adekvatnih matematičkih modela kojima će se usaglasiti matematički model sa fizičkim stanjem sistema u analiziranom periodu koji u principu ne treba da je kraći od 15 godina.
3. Funkcija cilja u primijenjenom matematičkom modelu mora da bude 0 gubitaka zbog denivalacije i preliava.
4. Rješavanjem problema preliava svih akumulacija u slivu rješava se problem poplava dok se isključenjem denivalacije rješava problem suša na način što se voda iz akumulacija koristi u kritičnim vremenskim intervalima.
5. Po postojećem pristupu HE Komarnica snage 155 MW je predviđena da proizvede prosječno godišnje 213 GWh, dok je realno moguće 170 GWh. Pod obje pretpostavke proizvodnja je neprofitabilna i izradom daljeg projektovanja vodiće još jednom odlaganju u nizu, već viđenom, za 50 posljednjih godina.
6. Realizacijom izgradnje RHE Komarnica snage 292 MW kao RHE postrojenje dobija se visoko profitabilan objekat.
7. Pored toga što je postojeći pristup izgradnje HE Komarnica neadekvatan sa energetske tačke gledišta neadekvatan je i po izgradnji pristupnih puteva objektu i ambijentalnoj funkciji.
8. Nov pristup je, pored boljih energetskih rješenja, značajan i u pogledu unapređenja ambijenta, saobraćajnih rješenja, mogućnosti navodnjavanja, čime se doprinosi višestrukome porastu vrijednosti zemljišta.
9. Prezentirana rješenja vezana za optimizaciju rada reverzibilnih elektrana Komarnica, Piva i Kruševo, imaju pozitivan uticaj na nizvodne akumulacije i elektrane na rijeci Drini.



## LITERAURA

1. M. Kaluđerović, Promjena pristupa projektovanju HE Komarnica, Vode Crne Gore broj 6, Podgorica 2020.
2. Kaluđerović M, Upoređenje ključnih ambijentalnih, tehničkih i ekonomskih parametara klasičnih HE i RHE na primjeru valorizacije hidro potencijala rijeke Pive, Drugi dani SKEI Crne Gore, Zbornik radova str. 89-103.
3. A Review of the Range of Impacts and Benefits of the Columbia River Treaty on Basin Communities, the Region and the Province, Prepared for: Ministry of Energy, Mines and Natural Gas, Columbia River Treaty Review, By George E. Penfold, M.Sc., RPP Community Planning and Development Consulting December 5, 2012.
4. Izbor strategije energetskog korišćenja donjeg toka Drine, str.195-200, S. Kajgana Borković, Energoprojekta-Hidroinženjering Beograd, str.195-200, 2002.
5. CEDIS - jun 2017, Hidroelektrana Piva
6. Strategija razvoja energetike Crne Gore do 2030 , Akcioni plan 2016/2020, Ministarstvo ekonomije, Decembar 2015.
7. Podrška upravljanju vodnim resursima reke Drine, Crna Gora-IRWM Studija i plan, Sveska 1- Krovni izvještaj, jun 2016.



# NACIONALNO EKONOMSKI ASPEKTI IZGRADNJE HIDROELEKTRANA U REPUBLICI SLOVENIJI

**Ivan Iveta**

Inženjerska zbornica Slovenije

## KRATAK SADRŽAJ

Kako se udio raspršenih obnovljivih izvora energije (posebno sunčeve i energije vjetra) povećava, planiranje fleksibilnosti u proizvodnji i potrošnji električne energije postaje sve važnije. Potreba za fleksibilnošću znatno će se povećati u budućnosti. Mikro jedinice zaproizvodnju i potrošnju električne energije morat će biti podržane odgovarajućim tehnološkim rješenjima. Naglasak će biti na izgradnji digitalnih platformi pametnih mreža u kombinaciji s dodatnim jedinicama za skladištenje energije. Precizno predviđanje proizvodnje električne energije iz raspršenih obnovljivih izvora energije (OIE) značajno pridonosi stabilnom radu elektroenergetskog sustava. U budućnosti će ovo postati sve važnije, čak i u kombinaciji sa sustavima za skladištenje električne energije.

S obzirom na konfiguraciju slovenačkog elektroenergetskog sustava, danas u Republici Sloveniji pružaju najviše fleksibilnosti hidroelektrane.

U Republici Sloveniji su protočne - akumulacijske elektrane, koje su izgrađene u lancu.

## UVOD

Voda je jedini prirodni resurs, kojeg u sirovinsko osiromašenoj Sloveniji ima u izobilju. Visoke gore na zapadu i sjeveru zadržavaju prodore toplih i vlažnih zračnih masa iz Mediterana. Posljedica su obilne padavine u podalpskom području, iz kojih se napajaju vodotoci iz zapadne i središnje Slovenije. Najznačajnije od njih su rijeka Sava, Drava i Soča. Rijeka Sava sa svojim pritokama duž cijelog toka ima izrazito bujični karakter i mjeri 219 km te je izdatan izvor kvalitetne pitke vode za opskrbu oko 20% stanovništva Slovenije.

**Ključne riječi:** Energetski koncept RS, Klimatski prihvat, Konkurentnost, Nacionalni energetski i klimatski plan RS, Okoliš, Pouzdanost, Sigurnost opskrbe, Socijalna kohezija.

**Skraćenice:** RS - Republika Slovenija, HE - Hidroelektrana, TE - Termoelektrana, DV - Dalekovod, OIE - Obnovljivi izvori energije, DEM - Dravske elektrane Maribor, SEL - Savske elektrane Ljubljana, SENG - Soške elektrane Nova Gorica, EIMV- Elektro Institut Milana Vidmarja, JI Europa - Jugoistočna Europa, HESS - Hidroelektrane na Spodnji Savi, EES RS - Elektroenergetski sistem RS, NEPN - Nacionalni Energetski i klimatski Plan RS, ARSO - Agencija Republike Slovenije za okoliš, ČHE - Reverzibilna hidroelektrana, EU - Europska unija, RH - Republika Hrvatska, SSSR - Sovjetski savez, EDZ - Elektrotehničko društvo Zagreb.

## TRADICIJA I KULTURNA BAŠTINA

Godina 1897, početak uporabe trofaznog napona u Republici Sloveniji. Hidroelektrana (HE) Fužine u Ljubljani na rijeci Ljubljanici zajedno sa 3kV DV HE Fužine - Vevče (Papirnica Leykam Josefsthäl A,G, Ljubljana) puštena u rad samo 2 godine poslije prve svjetske HE (N. Tesle) na slapovima Niagare.

Zaslugom g. Nikole Tesle je na prostoru Republike Hrvatske (ispod slapa Skradinskog Bukca) na rijeci Krki sagrađena prva europska HE Jaruga, koja je puštena u rad samo dva dana nakon Niagare. HE Fala na rijeci Dravi započinje raditi 1918. godine zajedno sa DV 80 kV Fala - Laško što predstavlja početak visokonaponskog prenosa u jugoistočnoj (JI) Europi.

U Sloveniji je prije Drugog svjetskog rata radilo preko 5.000 mlinova, pilana i kovačnica.

## RAZVOJ STRUKE NA PODRUČJU GRADNJE HIDROELEKTRANA

Inženjerski kadar je prije Drugog svjetskog rata radio uglavnom u okviru Kranjskih elektrana u državnom vlasništvu i hidroelektrane Fala u švicarskom vlasništvu, koje su na Dravi imale 60-godišnju koncesiju. Tik pred Drugi svjetski rat, Italija je izgradila na rijeci Soči HE Doblar 1 (30 MW - 1939. godine) i HE Plave 1 (15 MW - 1940. godine). Tijekom rata, njemačka tvrtka EV SUD izgradila je za potrebe ratne industrije HE Dravograd, dio HE Mariborski otok i termoelektranu (TE) Brestanica. Ta tvrtka je izradila i projektnu dokumentaciju za izgradnju hidroelektrana na rijeci Dravi i Savi uključujući geološka istraživanja.

Slijedio je sustavni razvoj struke za izgradnju hidroelektrana. Tako su se stvarali: Razvojni institut Iskra, Elektro Institut Milana Vidmarja (EIMV), Turbinski institut, Institut za istraživanje materijala i konstrukcija, Geološki institut, Zavod za građevinu, Tvornica turbina Litostroj, Tvornica hidro-mehaničke opreme, Tvornica transformatora "Energoinvest", Tvornica rasklopnih postrojenja, Postrojenje za automatizaciju procesa, Električna brojila i zaštite, inženjeringi, građevinska poduzeća, projektantska, nadzor i vođenje gradnje.

## GRADNJA HIDROELEKTRANA U SLOVENIJI

Odmah nakon Drugog svjetskog rata slijedi intenzivna gradnja na rijeci Dravi, Savi i Soči. Nastavilo se sa izgradnjom HE Mariborski otok na rijeci Dravi i HE Moste i HE Medvode na rijeci Savi. Turbine i generatori naručeni su bili u Austriji od firme VOITH i ELIN. Godine 1948, SSSR je zaplijenio turbine u Beču. Litostroj tada kupuje licencu od VOITH-a, tako da Slovenija proizvodi turbine za tri elektrane, a kasnije i za mnoge druge hidroelektrane.

Firma ELIN, koja se nalazila u engleskoj zoni, dobavljala je generatore bez poteškoća. Tada slovenska industrija gradi u bivšoj SFRJ i inozemstvu. U području gradnje je postignut 90% udio domaće struke.

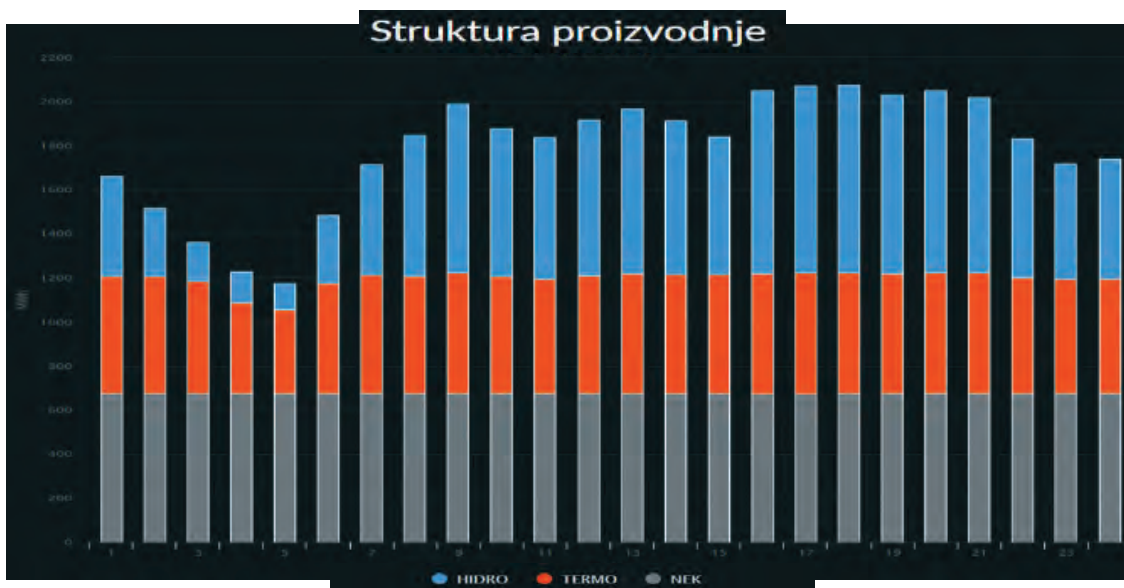
Do osamostaljenja Republika Slovenija je izgradila sustav s trećinom hidro, termo i atomske energije.

Od 1974. godine djeluje kao dio UCPT. Po raspadu YU EES, u rujnu 1991, ostaje bez posljedica za potrošače.

Nakon samostalnosti i neovisnosti RS, na natječaju za koncesiju HE na donjoj Savi iz inozemstva kandidiraju EDF, HYDRO QUEBEC i VERBUND. Koncesija se dodjeljuje slovenačkoj tvrtki "Hidroelektrane



na spodnji Savi” (HESS).



Slika 1: Struktura proizvodnje [2]

Učinkovitost, pouzdanost, fleksibilnost, cjelovitost te odgovornost prema okolišu su temeljne vrijednosti proizvodnih tvrtki na rijekama Dravi, Savi i Soči. Sa svojom konfiguracijom, te uzimajući u obzir sve ekološke zahtjeve, za slovenačke razmjere su hidroelektrane na Dravi, Savi i Soči veliki potencijal u pružanju fleksibilnosti proizvodnje električne energije.

## RIJEKA DRAVA

Najveći lanac u Republici Sloveniji su hidroelektrane na rijeci Dravi tvrtke “Dravske elektrarne Maribor”. DEM imaju 8 HE (HE Dravograd, HE Vuhred, HE Vuzenica, HE Ožbalt, HE Fala, HE Mariborski otok, HE Zlatoličje i HE Formin). Sa svojom konfiguracijom, uzimajući sve zahtjeve okoliša, za slovenske razmjere su veliki potencijal u pružanju fleksibilnosti proizvodnje električne energije. Prosječna godišnja proizvodnja tvrtke DEM je 2.800 GWh. Ukupna snaga na pragu HE je 597 MW. (20% od ukupno proizvedene električne energije u RS).

## RIJEKA SOČA

Na rijeci Soči je 5 HE (HE Dobljar 1 i 2; HE Plave 1 i 2 i HE Solkan. Ukupna snaga na pragu tvrtke HE “Soške elektrarne Nova Gorica”, SENG je 137 MW s prosječnom godišnjom proizvodnjom od 650 GWh.

U 2009. godini je puštena u rad na rijeci Soči prva reverzibilna elektrana “ČHE Avče” u RS. Sa svojom naprednom tehnologijom je jedna od prvih reverzibilnih crpnih elektrana s promjenjivom brzinom vrtnje u režimu crpljenja u Europi. Reverzibilni agregat (pumpa/turbina i motor/generator) je sa var-speed tehnologijom. Snaga pumpe/turbine iznosi 185 MW u generatorskom režimu i 180 MW u crpnom načinu rada. Agregat je zasnovan tako da omogućava promjenu brzine vrtnje od -4 do +4% nazivne brzine 600 okretaja u minuti (varspeed). To omogućuje veću prilagodbu uvjetima u elektroenergetskom sustavu i količini vode koja je na raspolaganju.

## RIJEKA SAVA

Prije industrijskog doba, rijeka Sava bila je važna prometna žila za prijevoz riječnog tereta, gdje je bilo postavljeno mnogo mlinova i pilana. S industrijalizacijom i izgradnjom energetske objekata na rijeci

Savi je taj tradicionalni oblik iskorištavanja hidropotencijala rijeke u potpunosti obustavljen.

Na rijeci Savi je 8 HE (HE Moste, HE Medvode, HE Mavčiće, HE Vrhovo, HE Boštanj, HE Arto-Blanča, HE Krško i HE Brežice). Ukupna snaga na pragu tvrtke HE “Savske elektrane Ljubljana” je 273 MW s prosječnom ljetnom proizvodnjom od 1.045 GWh.

Hidroelektrane na rijeci Savi su jedinstveni višenamjenski projekt od HE Moste do HE Mokrice (grani- ca s RH). HE se zbog financijskih i tehničkih razloga, izgrađuju u fazama, a predstavljaju jednu cjelinu - proizvodnju električne energije, zaštita od poplava te zadržavanje vode u svjetlu klimatskih promjena.

Lanac HE na rijeci Savi osmišljen je kao mogući skup od 15 elektrana. Proteže se od čeone akumulacije HE Mavčiće do bazena za izjednačavanje u sklopu HE Brežice i HE Mokrice.

Lanac djeluje na principu protočne akumulacije s dnevnim izjednačavanjem protoka vode.

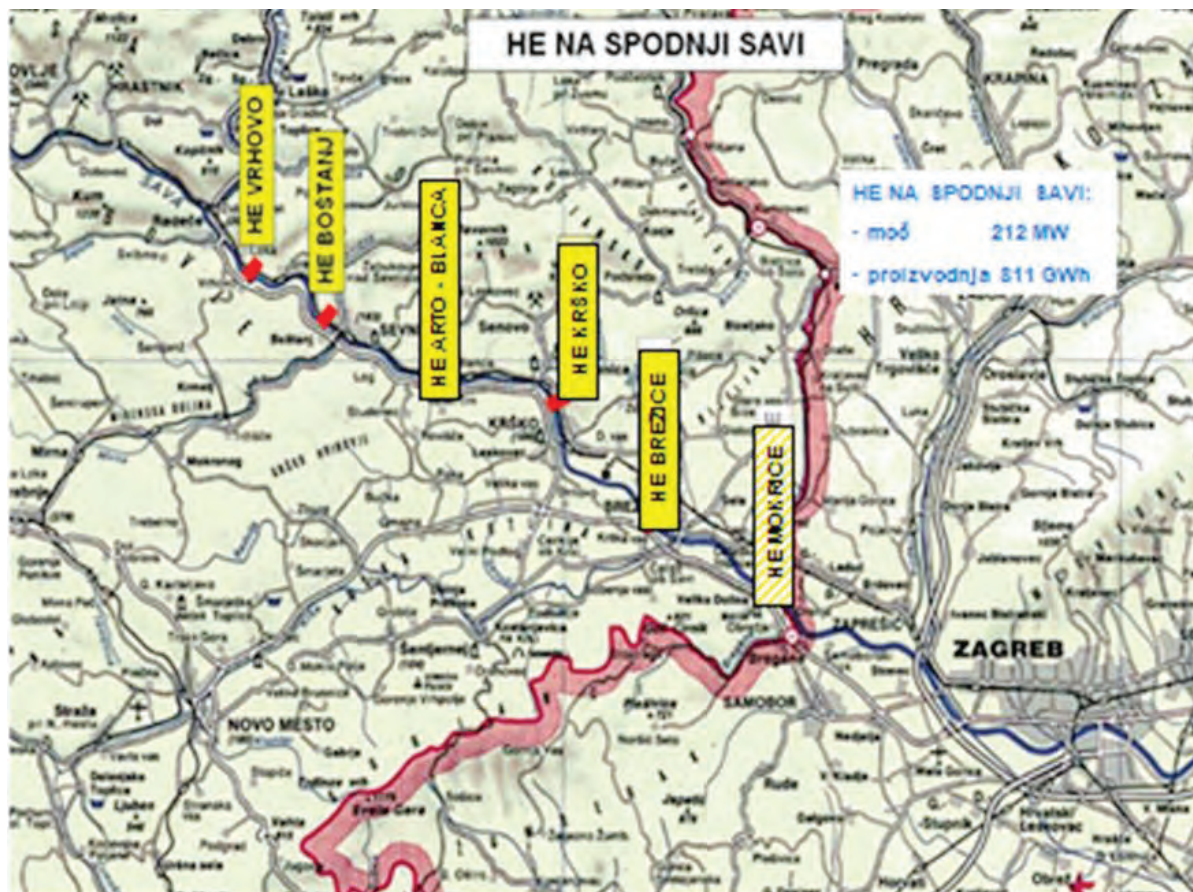
Čitav lanac podijeljen je u tri značajna i energetska cjelovita dijela: “Spodnja Sava” (1. odsjek),

“Gornja Sava” (2. odsjek) i “Srednja Sava” (3. odsjek). “Spodnja sava” (1. odsjek) se sastoji od

šest hidroelektrana s instaliranim protokom od 500 m<sup>3</sup>/s. [2]

### HE NA “SPODNJI SAVI”:

Hidroelektrana	Instalirani protok [m <sup>3</sup> /s]	Neto pad pri Q <sub>1</sub> [m]	Instalirana snaga MW]	Srednja godišnja proizvodnja [GWh]
HE VRHOVO	500	8,11	32,0	116
HE BOŠTANJ	500	7,11	32,4	109
HE ARTO-BLANČA	500	8,90	37,1	148
HE KRŠKO	500	8,75	37,1	146
HE BREŽICE	500	10,71	45,4	161
HE MOKRICE	500	7,05	28,0	131
UKUPNO			212	811

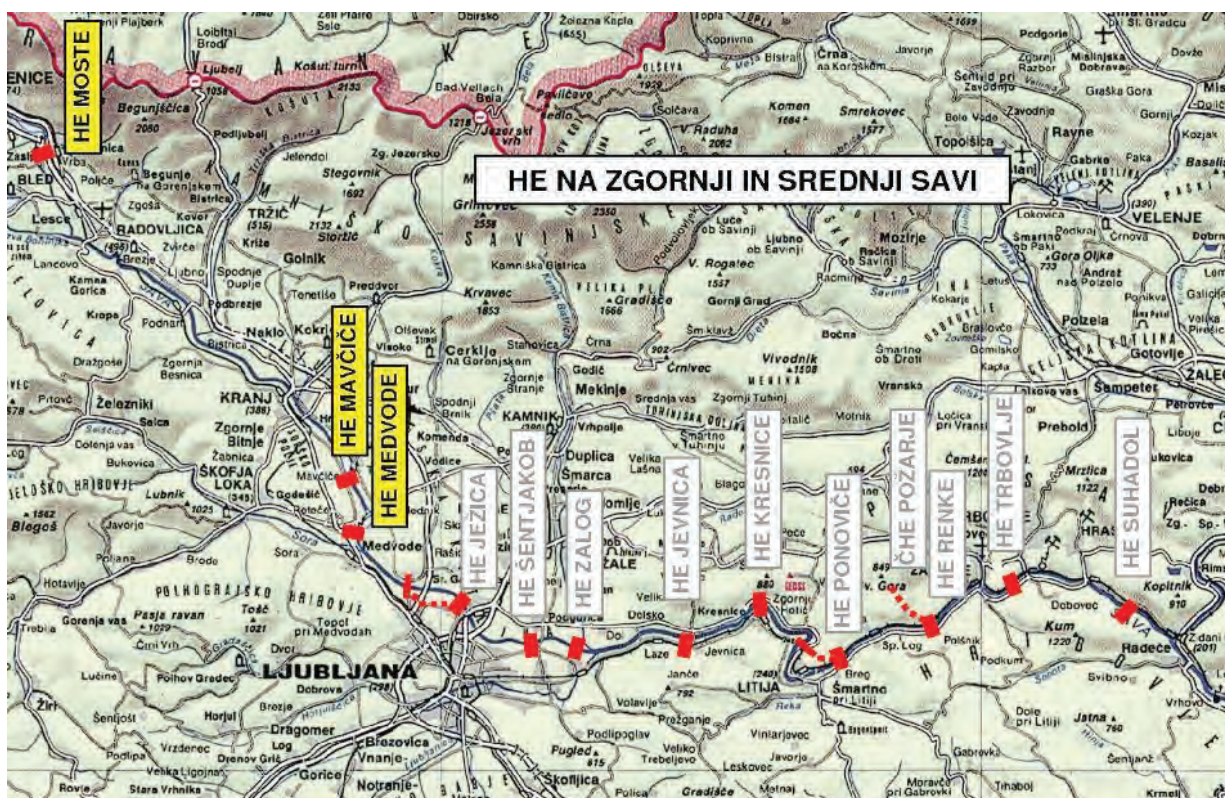




## HE NA SREDNJOJ SAVI

HE na "Srednjoj Savi" se nalaze u fazi pripremnih radova. Prva u nizu izgradnje je HE Suhadol, slijedi HE Trbovlje i tako redom. Predviđeno vrijeme gradnje jedne elektrane je 36 mjeseci.

Hydroelektrana	Instalirani protok [m <sup>3</sup> /s]	Neto pad pri Q, [m]	Najveća snaga [MW]	Srednja ljetna proizvodnja [GWh]
HE JEŽICA	250	26,0	54,5	151,4
HE ŠENTJAKOB	260	7,3	15,9	52,4
HE ZALOG	260	7,2	15,7	52,8
HE JEVNICA	400	6,9	22,9	101,4
HE KRESNICE	400	8,2	27,7	96,4
HE PONOVIČE	400	18,8	63,0	190,7
HE RENKE	400	8,5	28,6	97,9
HE TRBOVLJE	400	8,3	27,8	97,6
HE SUHADOL	400	11,7	39,3	153,4
UKUPNO			295,4	994,0



### ZANIMLJIVI BROJEVI

Ukupna instalirana snaga cijelog lanca HE je 570 MW s ljetnom proizvodnjom 1.805 GWh (ili oko 11% od ukupne proizvodnje 16.326 GWh). Solarna elektrana s istom proizvodnjom trebala bi imati kapacitet od oko 1.720 MW (danas imamo ukupno 260 MW) za što bi bilo potrebno 10.300.000 m<sup>2</sup> ili 1.030 ha solarnih panela. Ako bi se takva solarna elektrana uključila u shemu potpore, dobila bi 450 mio EUR godišnje potpore. Stvarajući istu količinu električne energije, godišnje bi se u zrak puštalo 2.200.000 tona CO<sub>2</sub>. Vrijednost emisijskih kupona bila bi 55 miliona eura godišnje. Prihod od naknada za koncesiju, nadoknade za vodu, poreza na dobit i povrata za građevinsko zemljište za cijeli lanac iznosio bi oko 50 miliona eura godišnje.

## ENERGETSKI KONCEPT RS

Republika Slovenija je članica Evropske unije (EU) od 1. svibnja 2004. godine te je njezino energetska i klimatsko zakonodavstvo usklađeno s relevantnom pravnom stečevinom EU.

U prosincu 2015. godine u Parizu je postignut dogovor o brzom smanjenju emisija stakleničkih plinova u skladu s najboljim dostupnim znanstvenim spoznajama.

Republika Slovenija je stranka Okvirne konvencije UN-a o promjeni klime (UNFCCC), Kyotskog protokola i Pariškog sporazuma te redovito podnosi izvješća o inventaru stakleničkih plinova kao i nacionalna izvješća tajništvu Konvencije.

Energetski koncept Republike Slovenije je temeljni razvojni dokument na području energetike koji na temelju projekcija gospodarskog, okolišnog i socijalnog razvoja zemlje i međunarodnih obaveza, postavlja ciljeve za pouzdanu, održivu i konkurentnu opskrbu energijom.

Energetski koncept pruža smjernice za 2030. i indikativne dugoročne ciljeve - viziju za 2050. godinu.

Cilj energetske politike Republike Slovenije je osigurati održivo korištenje energije koje se opredjeljuje u tri aspekta održivosti: klimatski prihvat, sigurnost opskrbe i konkurentnost te na održiv način osigurati prijelaz u društvo s niskim udjelom ugljika.

Do sada su prilagodbu proizvodnje u velikoj mjeri osiguravale termoelektrane, a sada s većim udjelom obnovljivih izvora energije tu će ulogu preuzeti postojeće i nove hidroelektrane, crpne i male hidroelektrane te elektrane na plin.

Cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova vezanih za korištenje energije je 40% do 2030. godine i 80% do 2050. godine u odnosu na razinu iz 1990. godine. Konkretni ciljevi za 2030. godinu su postavljeni na razini EU-a, u skladu sa sporazumom postignutim na razini voditelja država članica EU-a. Republika Slovenija je postavila nacionalne ciljeve i mjere za njihovo postizanje u sveobuhvatnom nacionalnom energetska i klimatska planu (NEPN). [1]



klimatski prihvat      sigurnost opskrbe      konkurentnost

Slika 2: Energetski koncept Republike Slovenije [1]



## NACIONALNI ENERGETSKI I KLIMATSKI PLAN RS

Vlada Republike Slovenije je 27. veljače 2020. godine donijela sveobuhvatni Nacionalni Energetski i klimatski Plan Republike Slovenije (NEPN), koji je također podnesen evropskoj komisiji u skladu s Uredbom EU 2018/1999. o upravljanju energetske unijom i klimatskih mjerama.



(pouzdanost i sigurnost, konkurentnost, okoliš i socijalna kohezija (energetsko siromaštvo i dr.)  
Slika 3: Nacionalni energetski i klimatski plan [1]

Sveobuhvatni Nacionalni Energetski i klimatski Plan (NEPN) je strateški dokument za razdoblje od 2030. godine s pogledom do 2040. godine, koji postavlja ciljeve, politike i mjere na pet dimenzija energetske unije:

1. dekarbonizacija (emisija stakleničkih plinova),
2. energetska učinkovitost,
3. energetska sigurnost,
4. unutarnje tržište i
5. istraživanje, inovacije i konkurentnost.

### DEKARBONIZACIJA - KLJUČNI CILJ:

- Doprinosa ka ostvarenju neto nula emisija stakleničkih plinova na razini EU do 2050. godine što je osnova za ciljeve planiranja, politika i mjera koje treba poduzeti do 2030. godine;
- Učinkovito lociranje u prostor te ubrzanje korištenja obnovljivih izvora energije;
- Smanjivati emisije stakleničkih plinova do 2030. godine najmanje za 20% u odnosu na 2005. godinu;
- Najmanje 43% udjela obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije do 2030. godine;
- Dekarbonizacija (razugljichenje) proizvodnje električne energije - postupno opustiti uporabu ugljena: barem za - 30% do 2030. godine;
- Veća ulaganja u ljudske resurse i nove vještine potrebne za prijelaz prema klimatskim neutralnom društvu.

### ENERGETSKA UČINKOVITOST:

- Cilj Republike Slovenije je poboljšanje energetske učinkovitosti do 2030. godine barem za 35%;
- Učinkovito korištenje energije i prirodnih resursa je prioritet i ključ razvojne i energetske politike za povećanje konkurentnosti i dekarbonizacije slovenske industrije i društva.

## ENERGETSKA SIGURNOST:

- Zajamčiti pouzdanu i konkurentnu opskrbu energijom;
- Održavati visoku razinu elektroenergetske povezanosti sa susjednim zemljama;
- Barem 75 % opskrba sa električnom energijom iz izvora u Sloveniji do 2030;
- Povećanje otpornosti elektrodistribucijske mreže protiv smetnji - povećati udio podzemne mreže srednjeg napona iz sadašnjih 35% na barem 50%.

## UNUTARNJE TRŽIŠTE:

- Zajamčiti dodatne financijske, ljudske i tehničke resurse za ubrzanje sveobuhvatnog razvoja i upravljanje mrežom za distribuciju električne energije za veći kapacitet, otpornost protiv smetnji;
- Povezanost i fleksibilnost, što će omogućiti iskorišćenje fleksibilnosti resursa, uključivanje toplinskih pumpi, ubrzanje uvođenja e-mobilnosti, uključivanje naprava za proizvodnju i skladištenje električne energije iz obnovljivih izvora energije;
- Dugoročni cilj Republike Slovenije je daljnje poboljšanje elektroenergetskog povezivanja u regiji;
- Elektroenergetska međusobna povezanost Republike Slovenije je bila u 2017. 83,6%, s čime je Slovenija prekoračila cilj 10% za 2020. godinu i cilj 15% za 2030. godinu.

## ISTRAŽIVANJE, INOVACIJE I KONKURENTNOST:

- Povećanje ulaganja u istraživanje i razvoj - najmanje 3% BDP-a u 2030. godini;
- Veća ulaganja u razvoj ljudskih resursa i nove vještine potrebne za prijelaz u klimatski neutralno društvo;
- Podrška poduzećima za učinkovit i konkurentan prijelaz u klimatski neutralno gospodarstvo i promicanje ciljnih projekata istraživanja i multidisciplinarnih razvojnih istraživačkih programa. [1]

## PREDNOSTI VIŠENAMJENSKE GRADNJE HE

- Zaštita vode,
- Zaštita od poplave,
- Poboljšanje opskrbe vodom,
- Regulacija energetske i prometne infrastrukture,
- Turizam i rekreacija,
- Ekonomski razvoj, veći BDP,
- Bolji uvjeti za preradu hrane,
- Zadržavanje vode u svjetlu klimatskih promjena,
- Električna energija za više generacija,
- Pružanje sistemskih usluga EES-u.

## EKONOMSKI INTERESI

- Gospodarstvu je potrebna dugoročno pouzdana, kvalitetna i pristupačna optimalna opskrba sa električnom energijom;
- Visok udio domaće proizvodnje, pri HE se postiže najveći udio od oko 90%;
- Nova radna mjesta s većom dodanom vrijednošću;
- Reference za nastup na stranim tržištima,
- Međunarodna suradnja u slivu rijeke Save i dunavske regije.

## DOPRINOS HE NA E-MOBILNOST

- Ciljevi smanjenja emisija do 2030. godine:
- Među osobnim automobilima 17% električnih vozila ili priključnih hibrida (200.000 vozila);
- 12% električnih lakih gospodarskih vozila (11.000 vozila);
- Električna vozila do 2030. godine trebaju 22.300 punjača,
- 200.000 vozila predstavlja godišnju potrošnju od 750 GWh.

## ENERGIJA IZ VODNIH RESURSA NA RIJECI SAVI

- E-mobilnost će biti pokrivena isključivo iz OIE;
- Ovisno o stupnju razvoja tehnologije su najprikladnije HE;
- Proizvodnja električne energije na "Spodnji i Srednji" Savi pokriva sve potrebe za e-mobilnošću do 2030. godine;
- HE mogu poslužiti i kao skladišta energije postojeće ČHE Avče 200 MW na rijeci Soči, i planiranih ČHE Kozjak 400 MW na rijeci Dravi i ČHE Požarje 200 MW na rijeci Savi.

## TEŠKOĆE U ENERGETSKOJ TRANZICIJI

- Premalo energije iz OIE;
- Nedostatak tehnološke zrelosti;
- Tehnologija skladištenja električne energije;
- Nedostatak ključnih inovacija i znanja;
- Ptrebni novi pristupi planiranju;
- Premalo ulaganja u istraživanje,
- Zastarjeli razvojni način razmišljanja.

## KOLIČINA VODE U AKUMULACIJAMA (PO ARSO I ATLAS OF HYDROPOWER & DAMS, 2018):

- Slovenija 0,30 km<sup>3</sup> (1,8% godišnjeg odliva 17 km<sup>3</sup>),
- Hrvatska 1,07 km<sup>3</sup> (4,0% godišnjeg odliva 27 km<sup>3</sup>),
- Austrija 3,03 km<sup>3</sup> (5,3% godišnjeg odliva 56,20 km<sup>3</sup>),
- Švajcarska 4,02 km<sup>3</sup> (7,5% godišnjeg odliva 53,50 km<sup>3</sup>),
- Srbija 6,33 km<sup>3</sup> (7,4% godišnjeg odliva 84,91 km<sup>3</sup>),
- Italija 13,00 km<sup>3</sup> (11,8% godišnjeg odliva 110,0 km<sup>3</sup>),
- Slovačka 1,94 km<sup>3</sup> (15,4% godišnjeg odliva 12,60 km<sup>3</sup>),
- Češka 3,94 km<sup>3</sup> (30,8% godišnjeg odliva 12,80 km<sup>3</sup>).

Republika Slovenija zadržava najmanji udio prirodnih tokova u Europi. [1]

## ULOGA HIDROELEKTRANA NA EES SLOVENIJE

- Smanjenje ovisnosti o uvozu od opskrbe električnom energijom u Sloveniji;
- Pružanje sistemskih usluga;
- Regulacija frekvencije;
- Regulacija napona;
- Minutna rezerva (tercijarna regulacija);
- Skladišta energije (ČHE Avče na rijeci Soči),
- Danas ovisimo o uvozu od 18%.

## ZAKLJUČAK

Zbog adekvatnog upravljanja vodama, od ključnog strateškog značaja za Republiku Sloveniju, kod prilagođavanja na klimatske promjene za prijelaz u klimatski neutralno društvo, potrebno je uzeti u obzir pozitivne učinke višenamjenskih strateških državnih infrastrukturnih i energetske postrojenja na rijekama.

Među socijalnim i ekonomskim trendovima koji imaju prostorne i regionalne učinke na razini EU kao i u Republici Sloveniji su:

- Smanjivanje energetske ovisnosti Republike Slovenije na fosilna goriva i prijelaz u nisko ugljično društvo;
- Nacionalni energetski i klimatski plan (NEPN) pokazuje da će Republika Slovenija smanjiti ukupne emisije stakleničkih plinova do 36% do 2030. godine u odnosu na 2005. godinu;
- Postupni prestanak uporabe ugljena (- 30% do 2030. godine; - 50% do 2040. godine i 100% do 2050. godine);
- Cilj energetske i klimatske politike Republike Slovenije je pružiti pouzdanu, sigurnu i konkurentnu opskrbu energijom na održiv način, tako da se osigura prijelaz na klimatski neutralno društvo;
- Postići ciljeve održivog razvoja koji su između ostalog, stvaranje poticajnog okruženja za gospodarski razvoj i otvaranje novih radnih mjesta s visokom dodanom vrijednošću. Time će se poboljšati kvaliteta života sa povećanjem odgovornosti prema okolišu i osigurati prihvatljive energetske usluge za građane i gospodarstvo;
- Osigurati ravnotežu između tri temeljna stupa energetske politike koji su neraskidivo isprepleteni: klimatska održivost, energetska sigurnost i konkurentnost opskrbe energijom.

## LITERATURA:

1. "Nacionalni energetski in podnebni načrt RS", vlada RS, veljača, 2020.
2. Ivan Iveta, univ.dipl. inž.el. "Izgradnja HE na ,Spodnji Savi, HE Brežice', EDZ, 39.
3. Međunarodno savjetovanje, Planiranje i projektiranje, P&P 2019, Zagreb, studeni 2019.



# MEEC - NACIONALNI SOFTVER ZA PRORAČUN ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA ZGRADA U CRNOJ GORI

**Božidar Pavlović**

**Marija Vujadinović Kulinović**

Ministarstvo kapitalnih investicija, Vlada Crne Gore

## KRATAK SADRŽAJ

Direktiva 2010/31/EU o energetske karakteristika zgrada (EPBD) je glavni zakonodavni instrument za poboljšanje energetske efikasnosti u zgradama na nivou EU. Shodno preuzetim međunarodnim obavezama, prije svega po osnovu članstva u Energetskoj zajednici, odredbe EPBD direktive su obavezujuće i za Crnu Goru. U praksi ovo znači da je Crna Gora u obavezi da uspostavi okvir kojim će se obezbijediti sertifikovanje energetske karakteristika zgrada na osnovu standardizovanog metoda proračuna.

Proračun energetske karakteristika zgrada obično se vrši pomoću softverskog programa koji predstavlja osnovni alat za sprovođenje energetske pregleda zgrada, odnosno njihovo sertifikovanje. Razvoj ovog softvera za Crnu Goru je u završnoj fazi i za njega je zadužen njemački institut za građevinsku fiziku Fraunhofer IBP. Softver je nazvan MEEC (Montenegrin Energy Efficiency Certification) i baziran je na standardu DIN V 18599, s tim što su napravljena određena prilagođavanja kako bi metodologija bila usaglašena sa važećim propisima o energetske efikasnosti zgrada u Crnoj Gori. Softver je primjenljiv za rezidencijalne i nerezidencijalne zgrade, kao i za nove i postojeće zgrade.

Osnovna namjena MEEC softvera je energetske sertifikovanje zgrada, ali može biti korišćen od strane drugih stručnih lica koja se bave problematikom izgradnje objekata (projektanti, inženjeri, studenti, itd.).

**Ključne riječi:** Energetske efikasnost, Energetske karakteristike zgrada, Energetske klase, Energetske pregled, Energetske sertifikate, Sertifikovanje zgrada.

## 1. UVOD

Osnovni instrument politike Evropske unije u oblasti energetske efikasnosti zgrada predstavlja Direktiva o energetskim karakteristikama zgrada (Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings - EPBD), koja propisuje značajne obaveze za njene zemlje članice. EPBD Direktiva zahtijeva sistematski pristup u ocjeni energetskih karakteristika zgrada i jedan od njenih osnovnih zahtjeva je uspostavljanje sistema sertifikovanja energetskih karakteristika zgrada.

Crna Gora je, kao članica Energetske zajednice, takođe, u obavezi da odredbe EPBD Direktive prenese u svoje nacionalno zakonodavstvo, što je i urađeno kroz donošenje Zakona o efikasnom korišćenju energije i relevantnih podzakonskih akata. Međutim, primjena odredaba EPBD Direktive koje se odnose na sertifikovanje zgrada nije bila omogućena u praksi usljed nepostojanja nacionalnog softvera za proračun energetskih karakteristika zgrada.

Naime, ključni podatak sadržan u sertifikatu koji "oslikava" energetske karakteristike zgrada je energetska klasa zgrade. Energetska klasa zgrade se određuje na osnovu podatka o potrošnji energije na godišnjem nivou, proračunate u skladu sa propisom kojim se uređuju energetske karakteristike zgrada. Sam proračun je prilično složen, jer uključuje analizu načina korišćenja zgrade, toplotne karakteristike omotača zgrade, zatim sisteme grijanja, hlađenja, ventilacije, pripreme sanitarne tople vode, rasvjete, itd. Proračun je baziran na algoritmima propisanim odgovarajućim međunarodnim standardima, te se zbog kompleksnosti vrši primjenom odgovarajućih softverskih alata.

Ministarstvo kapitalnih investicija, kao nadležni državni organ za implementaciju politike u oblasti energetske efikasnosti je u obavezi da uspostavi nacionalni okvir za sertifikovanje energetskih karakteristika zgrada u Crnoj Gori. Ključni korak u ovom procesu je uspostavljanje nacionalnog softvera za proračun energetskih karakteristika zgrada. Podrška za razvoj ovog softvera je obezbijedena u okviru projekta "Program energetske efikasnosti u javnim zgradama (EEPPB)", koji Ministarstvo sprovodi u saradnji sa Njemačkom razvojnom bankom (KfW). Softver je nazvan MEEC (Montenegrin Energy Efficiency Certification) i za njegov razvoj je zadužen njemački Institut za građevinsku fiziku Fraunhofer IBP iz Štutgarta. Iako je osnovna namjena MEEC softvera energetske sertifikovanje zgrada, on može biti korišćen od strane drugih stručnih lica koja se bave problematikom izgradnje objekata (projektanti, inženjeri, studenti, itd.). MEEC softver se može preuzeti besplatno sa web sajta: [www.meec.me](http://www.meec.me).

## 2. ENERGETSKO SERTIFIKOVANJE ZGRADA

Postojanje energetske sertifikata kao dokumenta koji svjedoči o energetske efikasnosti zgrade je važno za sve zainteresovane strane vezane za taj objekat. Za vlasnika objekta energetske sertifikati ukazuju na moguća unapređenja energetske efikasnosti u zgradi, što za krajnji ishod ima nižu potrošnju energije. Za kupce ili zakupce objekta energetske sertifikati pruža informaciju o potencijalnim troškovima električne ili toplotne energije.

Sertifikat o energetskim karakteristikama zgrada (energetske sertifikati ili energetske pasoši) je dokument koji prikazuje energetske karakteristike zgrade i obavezno ga moraju imati sve nove zgrade, kao i postojeće zgrade koje se rekonstruišu, prodaju ili daju u zakup. Pored investitora koji grade, odnosno rekonstruišu zgrade, kao i vlasnika koji prodaju ili daju u zakup zgrade ili djelove zgrada, energetske sertifikati su u obavezi da pribave državni organi i jedinice lokalne samouprave za zgrade u svojoj nadležnosti, kao kao i vlasnici zgrada koje su u funkciji okupljanja većeg broja ljudi, kao što su: hoteli, pozorišta, bioskopske, sportske i izložbene dvorane, tržni centri i sl. Postoje i zgrade koje su izuzete od obaveze sertifikovanja, kao što su: nove i postojeće zgrade koje imaju korisnu površinu manju od 50 m<sup>2</sup>, zgrade koje su pod zaštitom, vjerski objekti, privremene zgrade u okviru gradilišta, skladišta, radionice, proizvodne hale i sl.

Energetska klasa predstavlja ključni podatak koji opisuje energetske performanse zgrade, a koji je iskazan na energetskom sertifikatu. Energetska klasa zgrade određuje se na osnovu indikatora energetske efikasnosti koja predstavlja količnik ukupne izračunate godišnje primarne energije koju treba isporučiti zgradi

za grijanje, hlađenje, ventilaciju, sanitarnu toplu vodu, rasvjetu, prateću opremu i uređaje i referentne površine poda (neto površina poda termički kondicionirana). Na osnovu dobijene vrijednosti indikatora energetske efikasnosti zgrade se svrstava u neku od energetskih klasa, koje se prikazuje u vidu skale u bojama sa slovnom oznakama od A, sa najmanjom, do G sa najvećom specifičnom potrošnjom energije.

Shodno Zakonu o efikasnom korišćenju energije, energetske sertifikate će izdavati lica koja imaju ovlaštenje za vršenje energetskih pregleda. Energetski pregled je postupak koji se sprovodi u cilju analize energetskog stanja zgrade (uključujući izračunavanje indikatora energetske efikasnosti) i utvrđivanja mogućih mjera za povećanje energetske efikasnosti u postojećim zgradama.

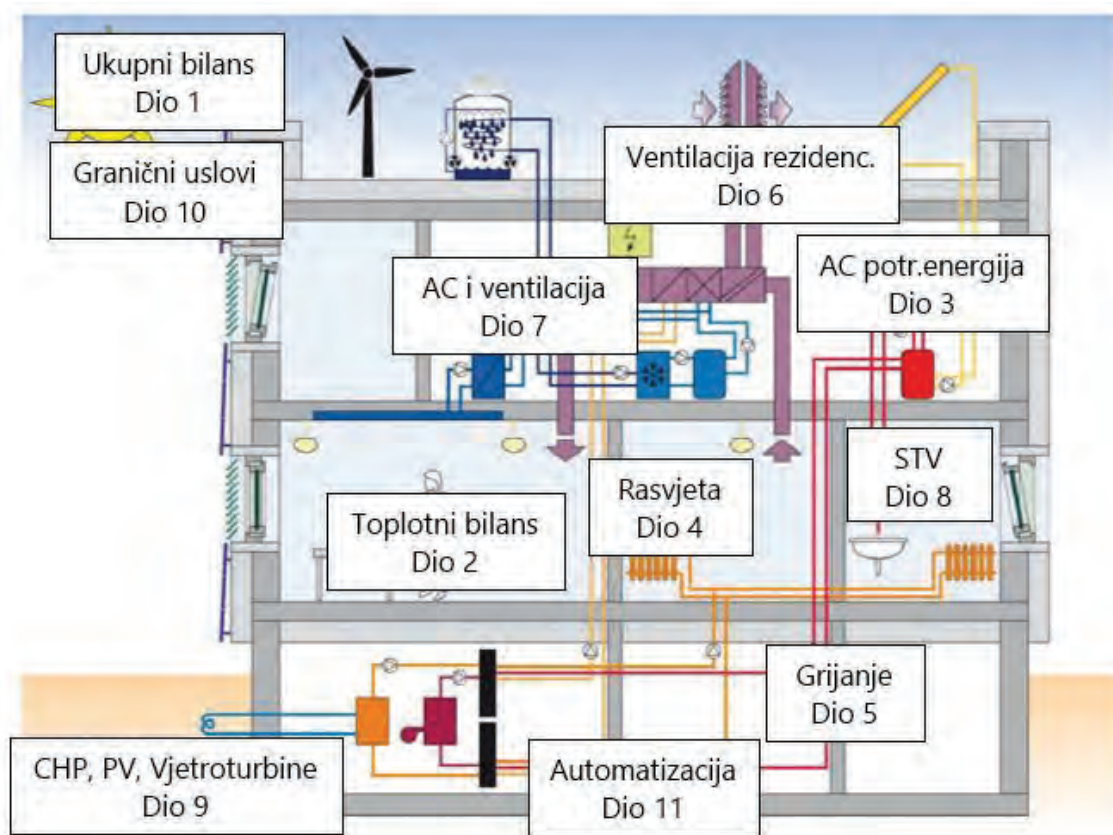
Energetski sertifikat nove zgrade izdaje se nakon izgradnje zgrade (obaveza investitora da obezbijedi sertifikat i dostavi ga stručnom nadzoru prije izrade konačnog izvještaja o izvršenom stručnom nadzoru), i sadrži preporuke za korišćenje zgrade vezano za ispunjenje bitnih zahtjeva uštede energije i toplotne zaštite. Energetski sertifikat postojeće zgrade se izdaje na osnovu sprovedenog detaljnog energetskog pregleda i sadrži predlog mjera za poboljšanje energetskih karakteristika zgrade.

Ministarstvo kapitalnih investicija će voditi registar izdatih energetskih sertifikata.

### 3. PRORAČUN ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA ZGRADA

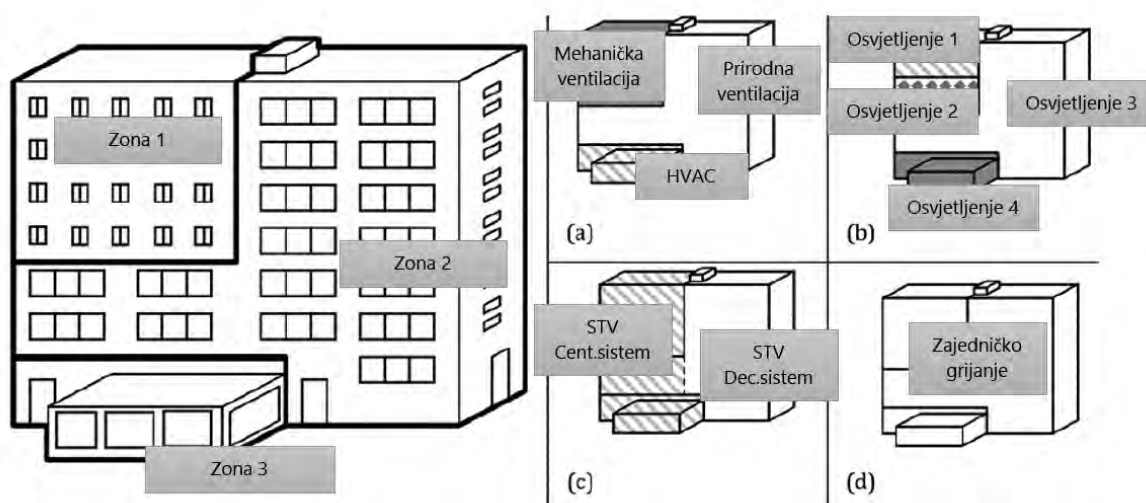
#### 3.1 METODOLOGIJA PRORAČUNA – STANDARDI

MEEC softver se bazira na standardu DIN V 18599, što znači da se prilikom izračunavanja energetskog bilansa zgrade primjenjuje integrativni pristup, tj. uzima se u obzir interakcija između omotača zgrade i tehničkih sistema u zgradi. Algoritam baziran na DIN V 18599 primjenljiv je za rezidencijalne i nerezidencijalne zgrade, kao i za nove i postojeće zgrade. Proračun energetskog bilansa uključuje energiju za grijanje, hlađenje, ventilaciju, pripremu sanitarne tople vode, rasvjetu i potrošnju ostalih uređaja i opreme (Slika 1). Metodologija DIN V 18599 je usaglašena sa standardima EPBD Direktive.



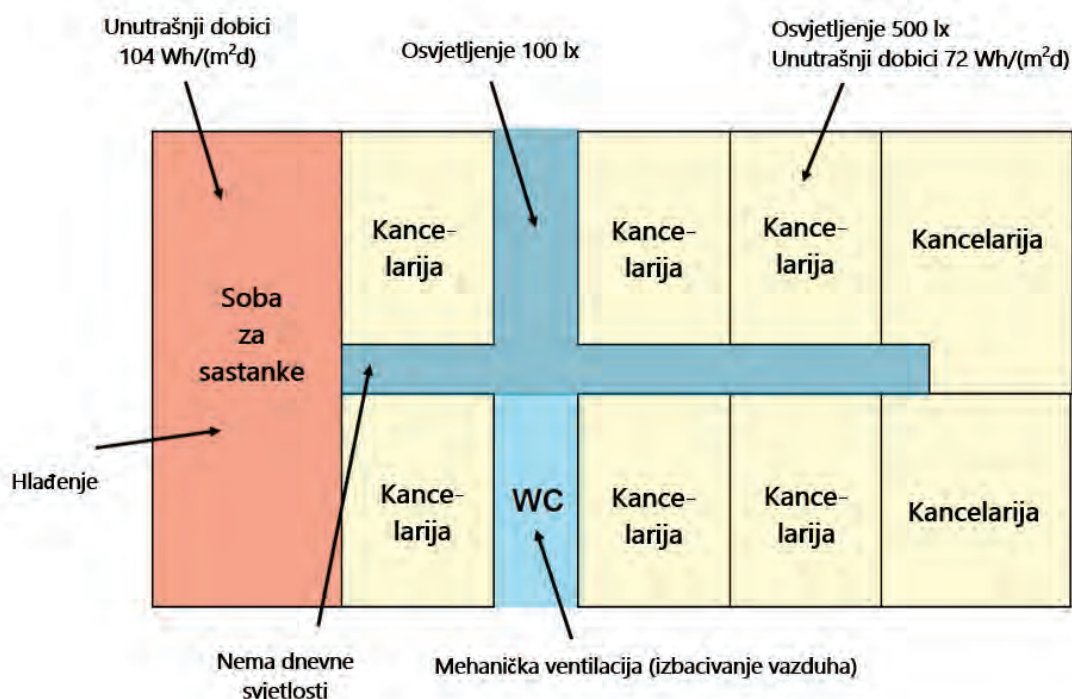
Slika 1: Struktura standarda DIN V 18599 (izvor DIN V 18599)

Proračun prema DIN V 18599 predviđa korišćenje različitih zona koje se definišu u zavisnosti od primijenjenih tehničkih sistema u zgradi, kao i načina korišćenja prostora unutar objekta (Slika 2). Ova mogućnost je u MEEC softveru ostavljena u slučaju nerezidencijalnih zgrada, dok je za proračune rezidencijalnih objekata predviđen pojednostavljeni pristup koji podrazumijeva da se čitava zgrada posmatra kao jedna zona. Opcija izbora pojednostavljenog pristupa je ostavljena i za nerezidencijalne objekte za koje se smatra da ova simplifikacija neće bitnije uticati na rezultate (udio pojedinih zona nije veliki, sistem grijanja/hlađenja je zajednički za cijeli objekat, itd.).



Slika 2: Principi zoniranja objekata prema DIN V 18599 (izvor DIN V 18599)

Standard DIN V 18599 definiše tzv. korisničke profile, koji predstavljaju skup podataka koji karakterišu određene prostore u zavisnosti od njihove namjene i načina korišćenja (Slika 3). Ovi podaci uključuju unutrašnje temperature grijanja/hlađenja, vrijednosti za infiltraciju/ventilaciju, vrijeme rada tehničkih sistema, nivoe osvjetljenja, itd. U posljednjoj verziji DIN standarda iz 2018. godine definisana su 42 korisnička profila.



Slika 3: Zoniranje i način korišćenja prostora u objektu (izvor DIN V 18599)



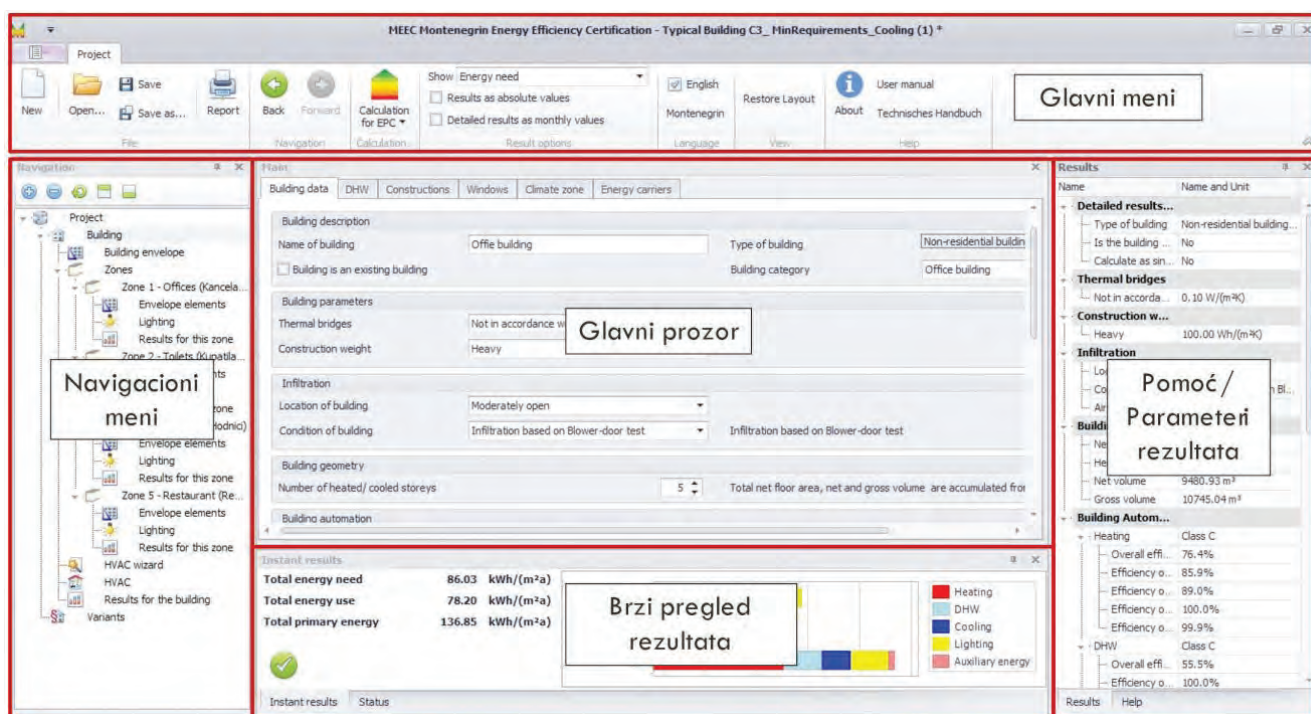
Određene izmjene i prilagođavanja metodologije proračuna prema DIN V 18599 su napravljena za MEEC softver u cilju usaglašavanja sa važećim pravilnikom kojim je utvrđena metodologija izračunavanja energetskih karakteristika zgrada u Crnoj Gori (Pravilnik o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti zgrada). Ovdje se prvenstveno misli na klimatske podatke, kao i na podatke koji su sadržani u pomenutim korisničkim profilima.

### 3.2 KORISNIČKI INTERFEJS

MEEC softver je razvijen kao standalone aplikacija koja se instalira na personalnom računaru. Trenutno je razvijena samo za Windows operativni sistem. Softver je dvojezični i nudi mogućnost odabira engleskog i crnogorskog jezika, a što se odnosi kako na korisnički interfejs, tako i na rezultate proračuna (tabele i grafici), izvještaje koje softver generiše, korisničko i tehničko uputstvo.

Korisnički interfejs je dizajniran na način da korisniku pruži maksimalnu fleksibilnost u radu (Slika 4). U gornjem dijelu interfejsa se nalazi glavni meni koji omogućava opcije: odabira moda korišćenja, odabira jezika, kao i pristup korisničkom uputstvu (User manual) i tehnikom uputstvu (Technical manual) u kojem je opisana metodologija na kojoj se bazira algoritam proračuna.

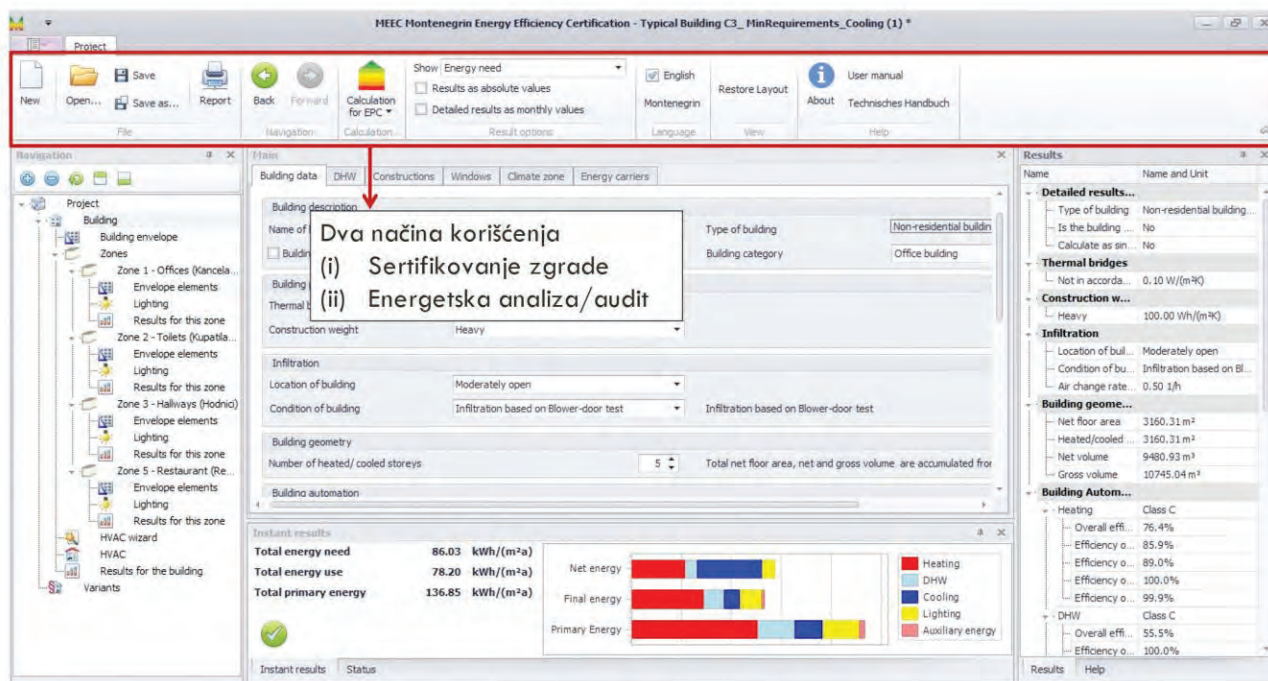
U centralnom dijelu aplikacije nalazi se glavni prozor koji služi za unos i odabir pojedinih parametara za zgradu za koju se vrši proračun. Lijevi navigacioni meni je ključan za odabir pojedinih elemenata zgrade koji se uređuju. Na desnoj strani korisnik na raspolaganju ima tzv. "help" sekciju u kojoj se prikazuju pojašnjenja određenih parametara, kao i vrijednosti koje su relevantne za proračun. U donjem dijelu ekrana dat je brzi pregled ključnih vrijednosti rezultata i njihov grafički prikaz.



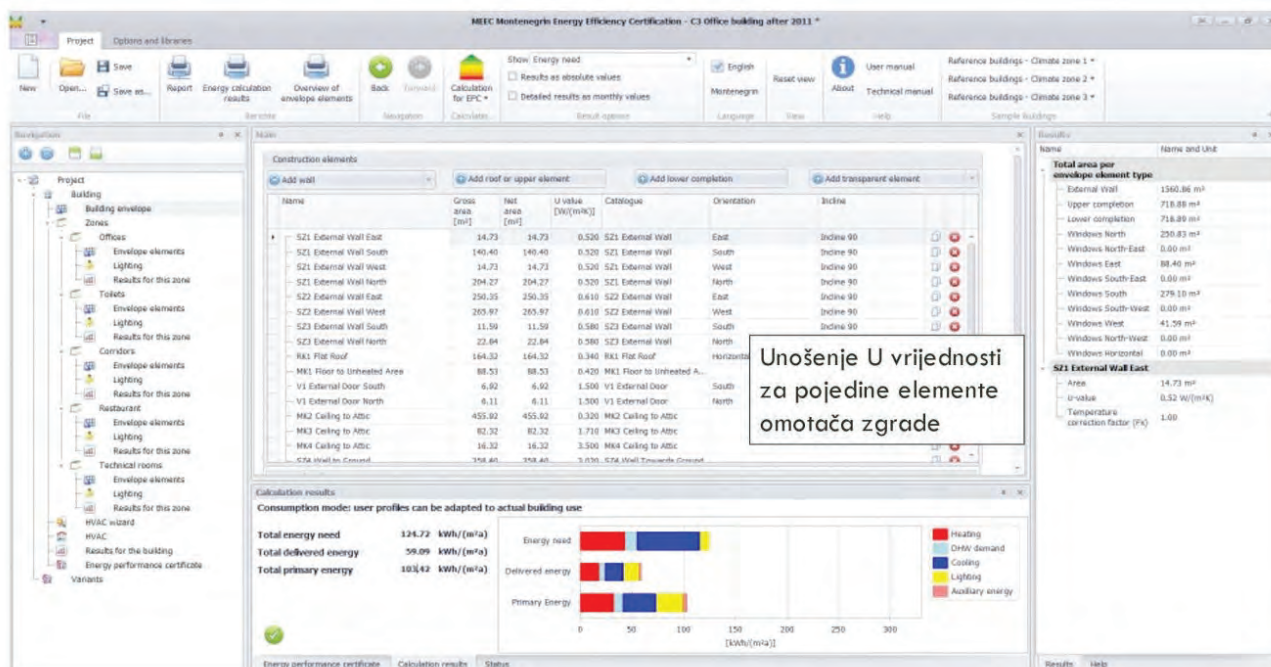
Slika 4: MEEC - korisnički interfejs

### 3.3 ODABIR MODA KORIŠĆENJA

MEEC softver podržava dva načina rada: (I) proračun za sertifikovanje energetskih karakteristika zgrade, koji podrazumijeva proračun pri standardizovanim uslovima, odnosno onemogućena je izmjena podataka koji su predefinisani u korisničkim profilima, (II) proračun potrošnje energije, koji podrazumijeva mogućnost izmjene podataka predefinisanih u korisničkim profilima u skladu sa stvarnim načinom korišćenja zgrade (Slika 5).



Slika 5: MEEC - Mogući načini korišćenja softvera



Slika 6: MEEC - Unošenje elemenata oмотача objekta



### 3.4. MODELOVANJE ZGRADE

Proces izrade modela zgrade ili njenog dijela podrazumijeva definisanje određenih parametara koji su od uticaja na potrošnju energije, a koji se prije svega odnose na:

- definisanje elemenata omotača zgrade prema spoljašnjoj sredini ili prema drugom grijanom ili ne-grijanom prostoru;
- definisanje tehničkih sistema u zgradi koji su relevantni sa aspekta proizvodnje ili potrošnje energije u cilju zadovoljavanja potreba za grijanjem, glađenjem, pripremom tople vode, osvjetljenjem i dr.

MEEC softver omogućava jednostavan unos podataka o elementima omotača zgrade i automatski distribuirane površine poništi i da sâm detaljnije specificira elemente omotača zgrade, ukoliko je neophodno. Konstrukcije zidova, podova, krovova, prozora se mogu definisati ili direktnim unošenjem U-vrijednosti ili kombinovanjem različitih slojeva konstrukcije pri čemu softver sâm vrši izračunavanje U-vrijednosti.

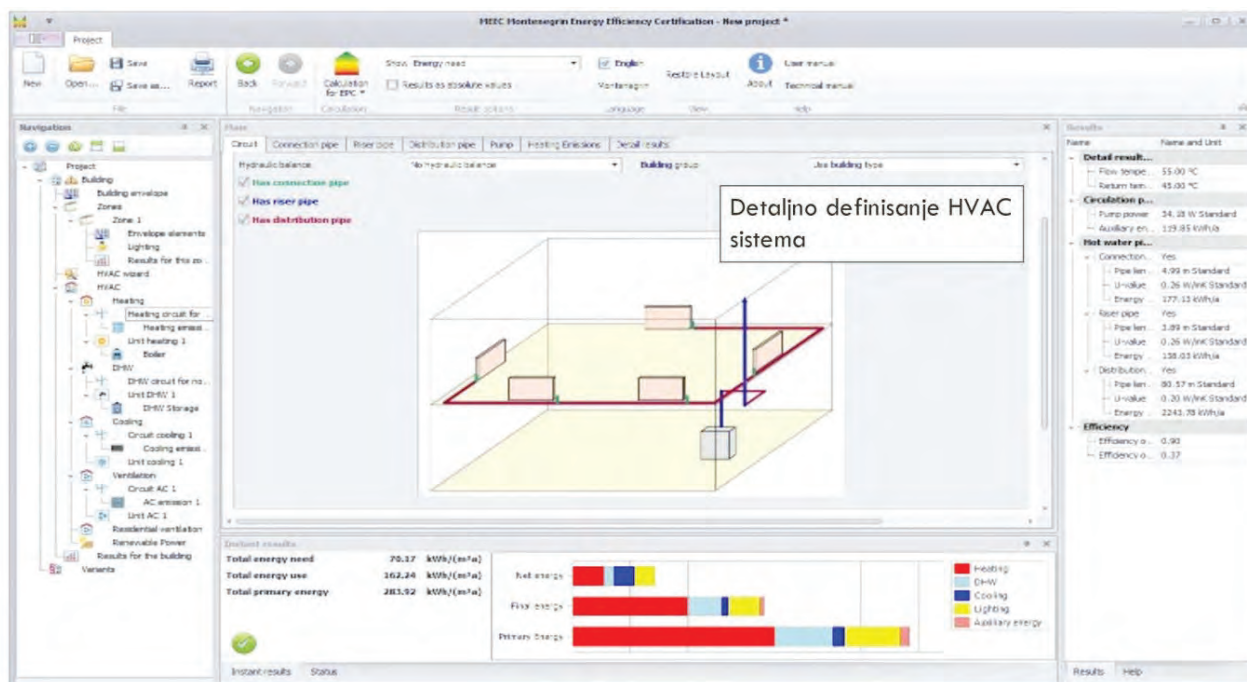
Kada su u pitanju tehnički sistemi, MEEC softver nudi mogućnost korišćenja “asistenta” (HVAC wizard), što predstavlja pojednostavljeni pristup, jer se sistemi automatski konfigurišu na osnovu svega nekoliko izabranih opcija, koje se odnose na neke osnovne informacije o sistemima i djelovima sistema, kao što su izvor toplote, nosilac energije, tip grejnih tijela itd. Modelovanje tehničkih sistema se u potpunosti odvija “u pozadini”, korišćenjem podrazumijevanih (default) vrijednosti za parametre sistema. U HVAC wizard modu, sistemi nisu vidljivi u navigacionom meniju (Slika 7).



Slika 7: MEEC - Pojednostavljeni pristup za definisanje tehničkih sistema (HVAC wizard)

Tehnički sistemi se mogu definisati i korišćenjem “asistenta” (HVAC wizard) kako bi se otpočelo sa detaljnijim definisanjem parametara sistema. U ovom slučaju tehnički sistemi se pojavljuju u navigacionom meniju i mogu se vršiti izmjene.

Pored ove dvije mogućnosti, MEEC omogućava i detaljan opis svih sistema u objektu, što zahtijeva dostupnost većeg skupa podataka o sistemima i unošenje većeg broja parametara (Slika 8). U ovom slučaju HVAC Wizard se uopšte ne koristi.



Slika 8: MEEC - Pristup sa detaljnim definisanjem tehničkih sistema (HVAC wizard)

Dodatno MEEC omogućava i modelovanje sistema za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, kao što su fotonaponski sistemi i vjetrogeneratori. Električna energija proizvedena na samom objektu se uzima u obzir pri proračunu isporučene energije.

Modelovanje fotonaponskih sistema se može vršiti na dva načina:

Proračun se vrši prema površini solarnih panela, što podrazumijeva definisanje sljedećih parametara (Slika 9):

- ukupna površina solarnih modula (bez rama),
- godina proizvodnje solarnih modula,
- orijentacija solarnih modula (ukupno 9 orijentacija: horizontalna, jug, jugoistok, jugozapad, istok, zapad, sjever, jugozapad, sjeveroistok, sjeverozapad),
- nagib (inklinacija),
- izbor tehnologije (monokristalni ili polikristalni silikonski moduli),
- ventilacija fotonaponskih modula (neventilirani, umjereno ventilirani, jako ventilirani).

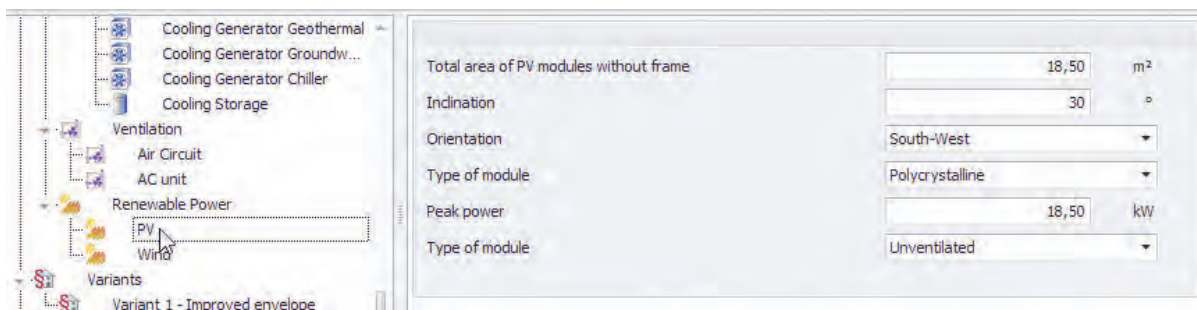
Proračun se vrši prema maksimalnoj snazi što podrazumijeva definisanje sljedećih parametara:

- izbor tehnologije (monokristalni ili polikristalni silikonski moduli),
- nagib (inklinacija),
- ventilacija fotonaponskih modula (neventilirani, umjereno ventilirani, jako ventilirani),
- maksimalna snaga u kW.

Modelovanje vjetrogeneratora se vrši definisanjem sljedećih parametara (Slika 10):

- visina stuba vjetrogeneratora,
- površina rotora,
- brzina vjetra (unošenje srednjih mjesečnih vrijednosti za brzinu vjetra ili, ukoliko ove vrijednosti nisu poznate, korišćenjem default vrijednosti).





Slika 9: MEEC - Modelovanje fotonaponskih sistema



Slika 10: MEEC - Modelovanje vjetrogeneratora

Pored pomenutih načina za modelovanje fotonaponskih sistema i vjetrogeneratora, postoji mogućnost njihovog definisanja unošenjem vrijednosti o proizvodnji energije na mjesečnom nivou u toku godine.

### 3.5 PRIKAZ REZULTATA

Rezultati proračuna se prikazuju na nivou zgrade, kao i za pojedine zone (Slika 11). Potrebna energija, isporučena energija (ukupna i po nosiocima energije) i primarna energija mogu biti prikazane kao apsolutne vrijednosti (u kWh), a mogu se iskazati i po jedinici referentne površine (u kWh/m<sup>2</sup>). U oba slučaja, sa grafika se može očitati i udio pojedinih bilansnih stavki (grijanje, hlađenje, STV, ventilacija, rasvjeta) u ukupnoj potrošnji energije.

Transmisioni toplotni gubici za različite kategorije elemenata omotača zgrade, emisije CO<sub>2</sub>, kao i detaljni rezultati na mjesečnom nivou za sve bilansne stavke, takođe se nalaze u rezultatima proračuna.

Sve tabele i grafikoni prikazane u rezultatima proračuna se mogu eksportovati u različite formate. MEEC softver ima mogućnost generisanja izvještaja koji se može dalje uređivati.



Slika 11: MEEC - prikaz rezultata proračuna

Pored konačnih rezultata, MEEC softver prikazuje i međurezultate tokom čitavog procesa unošenja podataka, što korisniku omogućava kontinuirano praćenje uticaja određenih inputa na rezultate proračuna.

MEEC softver ima mogućnost generisanja energetskog sertifikata, a planira se i realizacija opcije otpremanja sertifikata u centralni registar.

Izrada sertifikata u MEEC softveru biće omogućena kako za kompletan objekat, tako i za djelove objekata koji ispunjavaju odgovarajuće kriterijume (npr. odvojeni tehnički sistemi).

Ukoliko se MEEC softver koristi za proračun potrošnje energije u cilju analize energetskog stanja zgrade moguće je izvršiti modelovanje mjera za poboljšanje energetskih karakteristika zgrada. Naime, MEEC sadrži bazu podataka sa mjerama energetske efikasnosti koje se mogu kombinovati u različite pakete mjera. Softver proračunava neophodne ekonomske parametre i profitabilnost mjera, odnosno paketa mjera, i primjenjuje se u oba moda korišćenja (energetski proračuni/auditi i sertifikovanje zgrada).

## 4. ZAKLJUČAK

Obezbjedenje sistema za sertifikovanje energetskih karakteristika zgrada u Crnoj Gori predstavlja jednu od značajnijih obaveza u oblasti zgradarstva. Ključni korak u ovom procesu predstavlja stavljanje u funkciju softvera za proračun energetskih karakteristika - MEEC. MEEC softver je baziran na algoritmi-ma propisanim odgovarajućim međunarodnim standardima i uzima u obzir analizu načina korišćenja zgrade, toplotne karakteristike omotača zgrade, zatim sisteme grijanja, hlađenja, ventilacije, pripreme sanitarne tople vode, rasvjete, itd.

U toku razvoja MEEC softvera otvoreno je niz pitanja od kojih su se najvažnija odnosila upravo na prilagođavanje metodologije proračuna uslovima u Crnoj Gori. Takođe, u toku razvoja softvera je bilo potrebno donijeti odluke o nivou detaljnosti prilikom modelovanja pojedinih elemenata ili sistema zgrada, kako bi se na pravi način odgovorilo potrebama proračuna neophodnih za sertifikovanje zgrada i kako softver ne bi bio previše komplikovan za korišćenje.

Sljedeći korak je finalizacija softvera i njegovo stavljanje u upotrebu, a što podrazumijeva sprovođenje pilot sertifikovanja zgrada u Crnoj Gori, kao i realizaciju obuka budućih korisnika: stručnih lica, inženjera i drugih zainteresovanih strana.

U narednom periodu pažnja će biti posvećena daljem razvoju sistema za sertifikovanje zgrada u Crnoj

Gori, a naročito u pogledu uspostavljanja registra izdatih energetske sertifikata, kao i obezbjeđenje kontrole kvaliteta izdatih sertifikata.

*Napomena: U toku pripreme ovog rada nije bila dostupna verzija MEEC softvera na crnogorskom jeziku, te su korišćeni izgledi ekrana iz verzije softvera na engleskom jeziku.*

## LITERATURA

1. DIN V 18599: 2018-09: Energy efficiency of buildings – Calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting
2. Pravilnik o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti, Crna Gora, decembar 2015.
3. Direktiva 2010/31/EU Evropskog parlamenta i Evropskog savjeta od 19. maja 2010. o energetskim karakteristikama zgrada
4. Direktiva 2018/844/EU Evropskog parlamenta i Evropskog savjeta od 30. maja 2018. o izmjeni Direktive 2010/31/EU o energetskim karakteristikama zgrada i Direktive 2012/27/EU o energetske efikasnosti
5. [www.energetska-efikasnost.me](http://www.energetska-efikasnost.me)
6. [www.meec.me](http://www.meec.me)





# PRIMJENA SISTEMA AUTOMATIKE U CILJU POBOLJŠANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U JAVNIM ZGRADAMA

Ognjen Lukačević  
Snežana Mihailović  
Elkon d.o.o

## KRATAK SADRŽAJ

Energetska efikasnost u javnim zgradama ima za cilj smanjenje potrošnje električne energije, a sa druge strane poboljšanje uslova za boravak korisnika u njima. Ranijih godina nije se vodilo računa o potrošnji električne energije u javnim zgradama što je dovelo do povećanja potrošnje iste. Razvojem automatike omogućilo se efikasnije upravljanje sa sistemima klimatizacije, ventilacije, opšte potrošnje i slično. U prvom dijelu, ovaj rad ima za cilj da osvrta na trenutno aktuelne regulative i zakone u Crnoj Gori koji su vezani za energetska efikasnost. Sa druge strane, u radu će biti prikazano kako se uz pomoć automatike, tj. BMS-a (Building Management System) i EMS-a (Energy Management System) sistema može povećati energetska efikasnost u javnim zgradama. Posljednje poglavlje je rezervisano za neke od karakterističnih projekata BEMS-a koji su realizovani od strane firme Elkon na teritoriji Crne Gore, u cilju promovisanja i poboljšanja razvijanja energetske efikasnosti.

**Ključne riječi:** Energetska efikasnost, BEMS.

## 1. UVOD

Visoka energetska potrošnja, zastareli sistemi grijanja i hlađenja kao i ograničena mogućnost regulacije su česta pojava u javnim zgradama. Prema izvještaju iz [1], širom svijeta, 30%-40% primarne energije koristi se u zgradama. Po sadašnjim obrascima, potrošnja je intenzivna i ne očekuje se da će se nešto krucijalno promijeniti u bliskoj budućnosti, bez odgovarajućih intervencija sa aspekta tehnološkog poboljšanja. Prvi digitalno kontrolisani sistemi primijenjeni u javnim zgradama pojavili su se u 80-tim godinama. Danas, BEMS (Building Energy Management System) su široko rasprostranjeni sistemi koji se koriste u javnim zgradama. BEMS podrazumijeva centralni sistem za nadzor, kontrolu i optimizaciju potrošnje energije u

stambenim i poslovnim objektima. Bitno je napomenuti da u cilju maksimalne energetske efikasnosti pored BEMS-a, značajnu ulogu imaju i drugi faktori. Energetska efikasnost se može postići u svim fazama u toku same izgradnje objekta, počevši od upotrebe kvalitetnijih materijala, bolje izolacije, preko implementiranih komponenti na objektu (štedljive/LED sijalice, pumpe sa visokim koeficijentom korisnog dejstva), pa sve do uvođenja automatske kontrole i upravljanja. Prvobitno, BEMS je korišćen za upravljanje HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) sistema. Kasnije, pomoću komunikacionih protokola BEMS je proširen i pomoću njega se upravlja sa različitim sistemima. Današnji BEMS upravlja pored HVAC sistema i sa sistemima rasvjete, protivpožarnim i sigurnosnim sistemima itd. BEMS se može opisati kao kombinacija strategija i metoda potrebnih za poboljšanje performansi, efikasnosti i korišćenja energije [2]. Postoje brojne publikacije koje opisuju napredne upotrebe BEMS-a za upravljanje javnim zgradama [3,4]. Generalno, upravljanje sa HVAC sistemima i rasvetom zasniva se na upravljanju prema vremenskim rasporedima. Međutim, u radu [5] pokazano je da se takav način upravljanja značajno razlikuje od stvarne potrebe za radom ovih sistema, na osnovu prisustva korisnika, uzrokujući nepotrebno rasipanje energije. U literaturi se mogu naći i radovi koji se bave strategijama upravljanja BEMS-a [6].

Iz svega prethodno rečenog, ovaj rad ima za cilj da pokaže kako je uz pomoć automatike omogućeno poboljšati energetska efikasnost javnih zgrada u Crnoj Gori. U tom cilju, ovaj rad je organizovan u nekoliko poglavlja. U drugom poglavlju biće prikazan kratak pregled regulativa u Crnoj Gori u vezi energetske efikasnosti. Treće poglavlje je rezervisano za princip rada BEMS-a i njegove karakteristike. U četvrtom poglavlju će biti kratak prikaz nekih od projekata na kojima je firma Elkon imala učešća. Zaključak ovog rada će biti dat u posljednjem poglavlju.

## **2. REGULATIVE U CRNOJ GORI**

Shodno Zakonu Crne Gore o energetske efikasnosti ("Sl. list CG", br. 29/2010), uvedene su obaveze po pitanju energetske efikasnosti. U vezi s tim, nadležne institucije su donijele niz od pet pravilnika koji bliže uređuju ovu oblast [7].

Pravilnik o minimalnim zahtjevima energetske efikasnosti zgrada kojim se utvrđuju minimalni zahtjevi po pitanju energetske efikasnosti zgrada, vrste zgrada koje u skladu sa namjenom ne moraju da ispunjavaju minimalne energetske karakteristike i metodologiju izračunavanja energetske karakteristika zgrada.

Pravilnik o sertifikovanju energetske karakteristika zgrada kojim se utvrđuje bliži način sertifikovanja zgrada, način utvrđivanja energetske klase zgrade, izgled i sadržaj table sa osnovnim energetske karakteristikama zgrada javne namjene, sadržaj sertifikata i registra izdatih sertifikata o energetske karakteristikama zgrade i vrste zgrada koje se u skladu sa namjenom ne sertifikuju.

Pravilnik o metodologiji vršenja energetske pregleda zgrada kojim se utvrđuje metodologija za vršenje energetske pregleda zgrada.

Pravilnik o programu obuke za energetske preglede, sadržaju zahtjeva za izdavanje ovlašćenja i registra ovlašćenih kojim se utvrđuje program obuke za energetske preglede zgrada i redovne energetske preglede sistema za grijanje i sistema za klimatizaciju, sadržaj zahtjeva za izdavanje ovlašćenja za vršenje energetske pregleda i bliži sadržaj registra ovlašćenih lica za vršenje energetske pregleda.

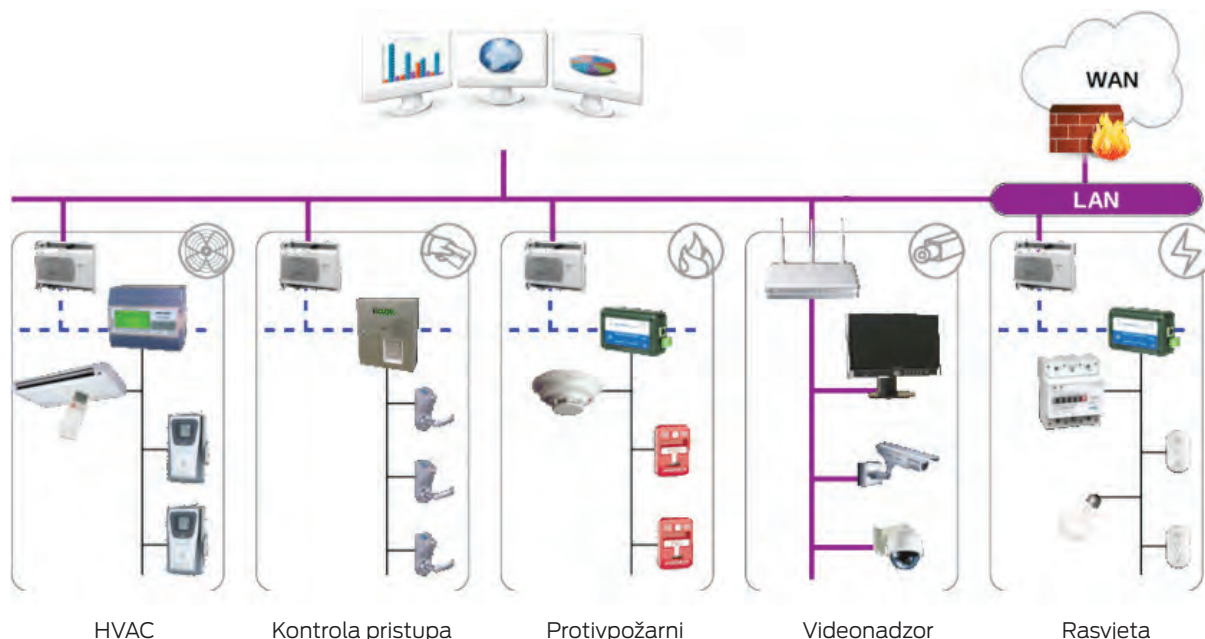
Pravilnik o redovnim energetske pregledima sistema za klimatizaciju i grijanje kojim se utvrđuje način i rokovi za vršenje redovnih energetske pregleda sistema za klimatizaciju nominalne snage 12 kW i veće i sistema za grijanje na gas, tečna ili čvrsta goriva nominalne snage 20 kW i veće.

## **3. BUILDING ENERGY MANAGEMENT SYSTEM - BEMS**

### **3.1. UVOD**

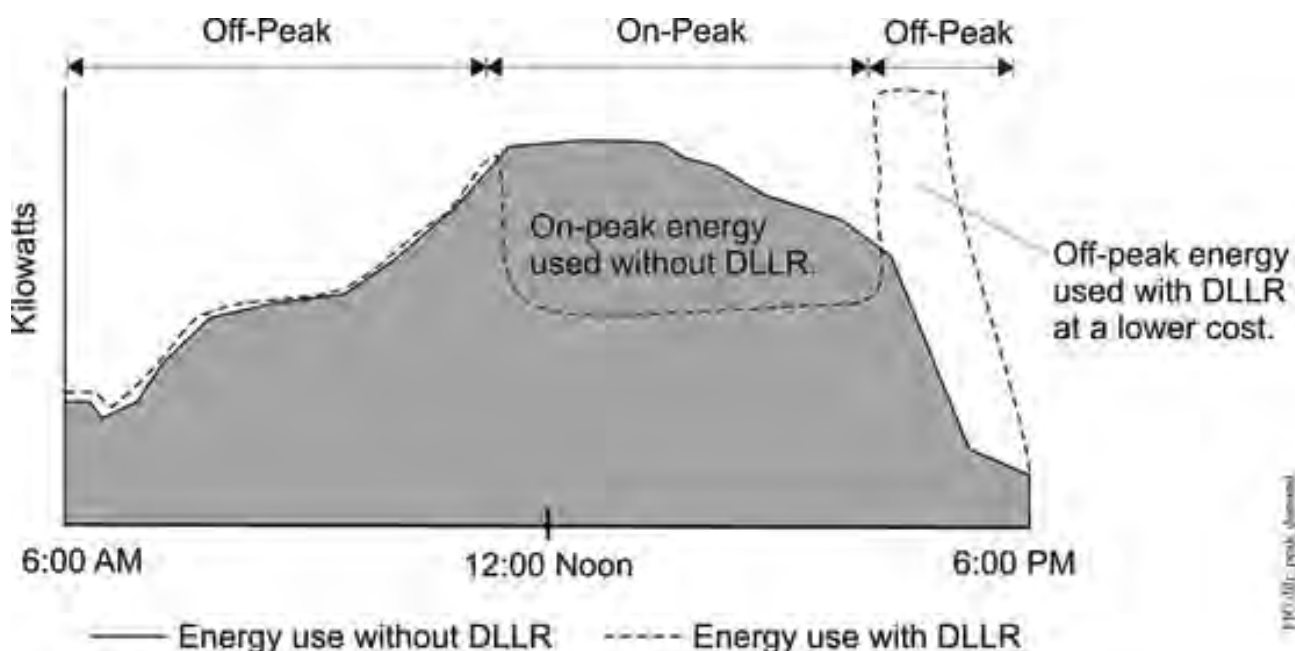
BEMS je kontrolni sistem, zasnovan na PLC-u (Programabilno Logičkim Kontrolerima), pomoću koga se upravlja i vrši nadzor nad mašinskom i električnom opremom različitih podsistema.

Topologija BEMS-a zavisi kako od mašinske, elektro i ostale opreme, tako i od namjene objekta, zahtjeva investitora i slično. Primjer jednog ovakvog sistema prikazan je na slici 1. Neki od sistema koji se često sreću u praksi jesu ventilacioni, sigurnosni i protivpožarni sistemi, rasvjeta, HVAC itd. U cilju integracije pomenutih podsistema, koriste se komunikacioni protokoli, od kojih su najčešći: BACnet, Modbus, KNX, LON, M-bus itd.



Slika 1. Blok šema BEMS-a

Jedna od jako bitnih karakteristika BEMS-a jeste i upravljanje sa vršnim opterećenjem. Naime, BEMS prati potrošnju električne energije u realnom vremenu i upravlja sa napajanjem prioriternih i neprioritetnih potrošača. U slučaju potrebe se isključuju neprioritetni potrošači (pri tom vodeći računa da se minimalno naruši komfor gostiju i glavne tehnološke operacije). Implementacija DLLR strategije (eng. Demand Limiting Load Rolling) je prikazana na slici 2.



Slika 2. Demand Limiting Load Rolling

### 3.2. ZADATAK SISTEMA

Osnovni zadatak BEMS-a je, zapravo, stvaranje uslova za donošenje strateških odluka u cilju postizanja ušteta u različitim podsistemima na objektima, pri čemu se sam proces ogleda u sljedećim stavkama:

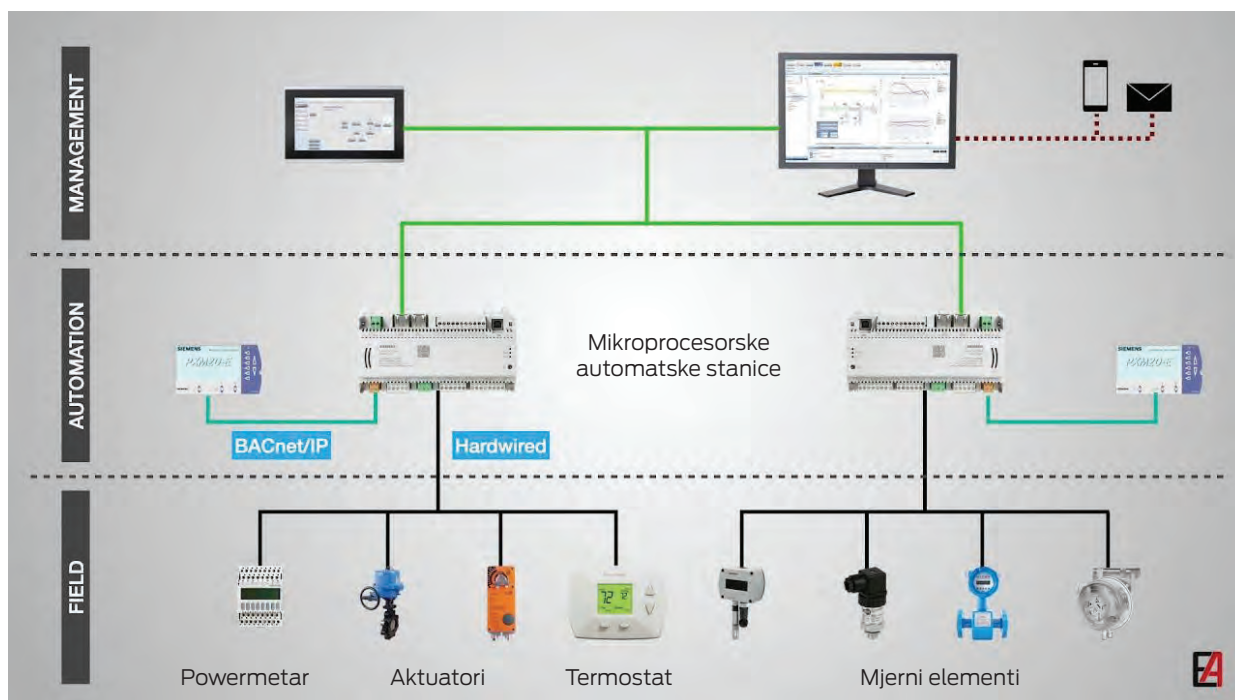
- Automatsko vođenje, praćenje i regulisanje procesa rada tehnoloških cjelina u realnom vremenu sa jednog ili više radnih mjesta-računara.
- Prikupljanje svih bitnih parametara iz postrojenja i prikazivanje istih operateru na računaru kao što su: temperature, pritisci, alarmi, prikaz potrošača koji rade, prikaz vrijednosti analognih signala koji se vode ka izvršnim regulacionim organima, itd.
- Pri pojavi kvara na nekom dijelu opreme, senzoru, ili prekoračenju unaprijed zadatih vrijednosti temperature, dolazi do prikazivanja alarma operateru sa opisom događaja.
- Brojanje časova rada svakog motornog potrošača sa porukama za potrebe servisiranja poslije unaprijed definisanog vremena rada, a na bazi uputstava isporučioaca tehnološke opreme.
- Realizacija daljinskog upravljanja radom el. potrošača, bilo po želji operatera putem izdavanja pojedinačnih upravljačkih naloga ili automatski prema vremenskom programu ili zadatim vrijednostima za svakog pojedinačnog potrošača, ili grupu potrošača, koji čine tehnološku cjelinu-sistem.
- Centralni (jedna komanda) izbor režima hlađenje/grijanje za čitav objekat, pri čemu se automatski kroz aplikativni softver izvršava niz komandi koje dovode sve sisteme u izabrani režim rada, ali i mogućnost lokalnog izbora režima grijanje/hlađenje po potrebi.
- Upravljanje sistemom prilikom nestanka napajanja iz gradske mreže kao i pri ponovnom dolasku napona u cilju sprečavanja strujnih udara.
- Arhiviranje na disku prikupljenih podataka iz postrojenja (mjerjenja), njihovog prikaza u vidu vremenski orjentisanih dijagrama, grafikona i slično, u cilju analiziranja rada sistema u određenom vremenskom periodu.
- Definisane različite nivoe pristupa sistemu, zavisno od nivoa nadležnosti i stepena obučenosti, primjenom odgovarajućih šifri za svakog operatera i praćenje svake izvršene akcije od strane dežurnog operatera sa trajnim zapisom istih u posebnom fajlu.
- Upravljanje sistemom termotehničkih instalacija u slučaju pojave požara.
- Nadzor i kontrola energetske bilansa na objektu
- Analiza utrošaka, upotrebom odgovarajućih alata, uz trajno arhiviranje mjerenih veličina
- Alarmiranje u slučaju značajnih odstupanja od očekivanih vrijednosti potrošnje.
- Sistem obezbjeđuje kontrolu kvaliteta napajanja električnom energijom.

### 3.3. ELEMENTI SISTEMA

Svaki BEMS sistem se sastoji od: centralnog računara, mikroprocesorske automatske stanice tj. PLC-a, mjernih elemenata i izvršnih regulacionih organa.

- Centralni računar omogućava operateru da vrši upravljanje i nadzor nad cjelokupnim sistemom.
- Mikroprocesorske automatske stanice-AS se nalaze u lokalnim ormanima automatike i zadužene su za automatsko upravljanje i regulaciju sistema. Ove stanice su povezane međusobno kako bi mogle da razmjenjuju informacije, a takođe su povezane i sa centralnim računarom.
- Mjerni elementi služe za prikupljanje podataka iz postrojenja (senzori, termostati, presostati, itd.)
- Izvršni regulacioni organi, služe za regulaciju parametara sistema na željenu vrijednost.

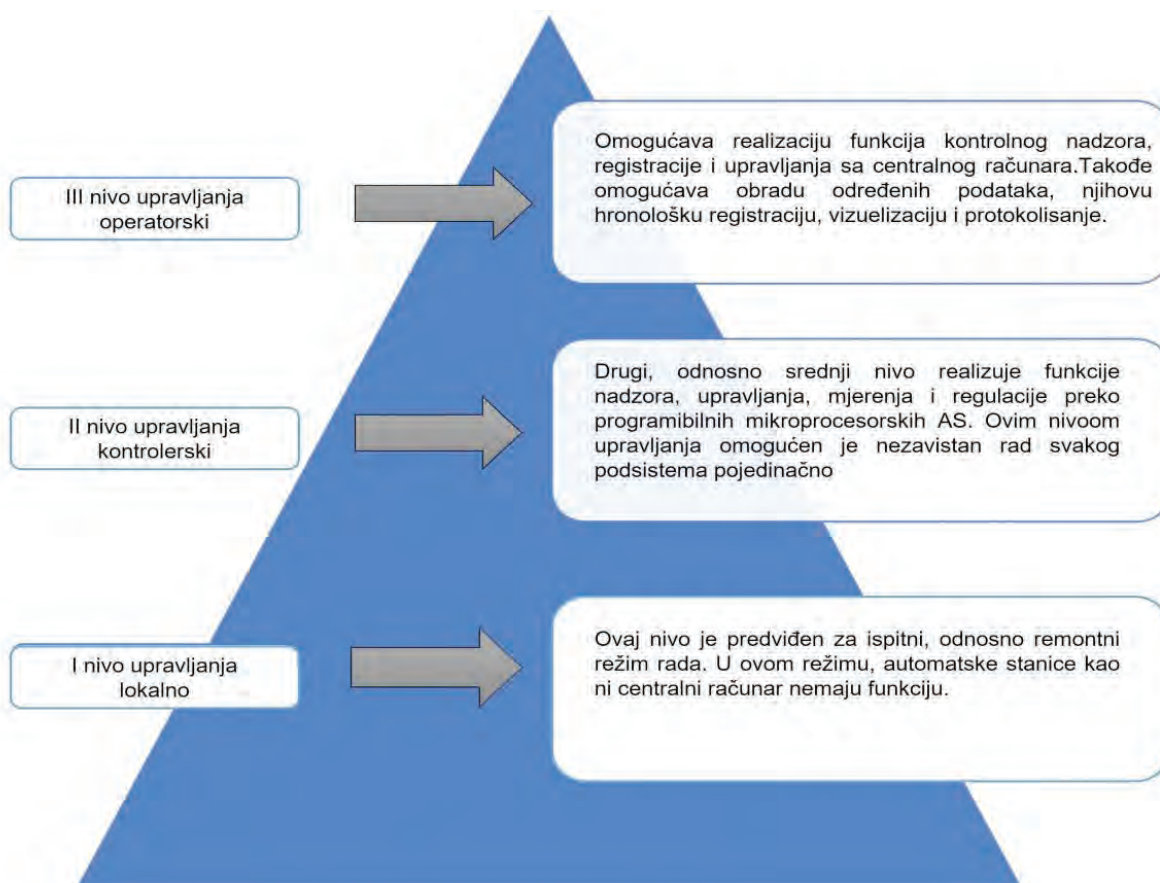




Slika 3. Elementi BEMS-a

### 3.4. NIVOI UPRAVLJANJA

Najčešće, nadzorno upravljački sistem je organizovan u tri nivoa, svaki različitog stepena automatizacije, slika 4. U zavisnosti od sistema, ovi nivoi mogu biti korigovani i dopunjeni.



Slika 4. Nivoi upravljanja

### 3.4. PREDNOSTI BEMS-A

Pored uticaja na energetska efikasnost, BEMS ima i sljedeće prednosti:

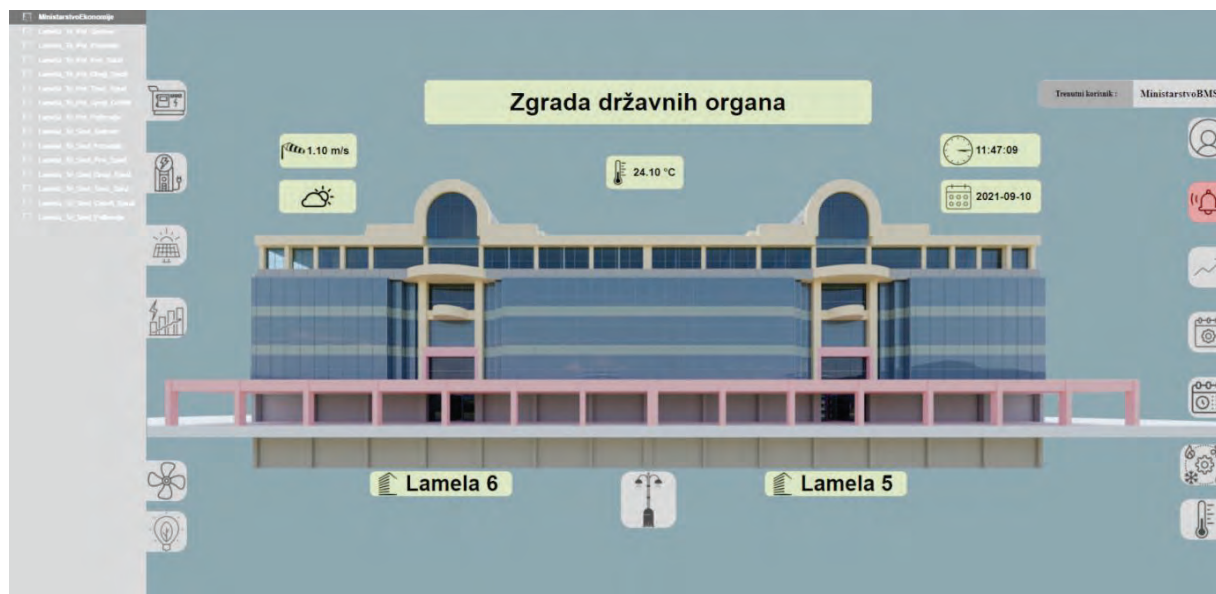
1. Centralizovano praćenje rada svih sistema sa jednog mjesta u realnom vremenu.
2. Trenutno otkrivanje kvarova i prekoračenja parametara važnih za rad objekta.
3. Blagovremeno upozorenje za potrebe servisiranja opreme na bazi brojača časova rada.
4. Generisanje baze podataka o radu sistema neophodnih za tehno-ekonomske analize.
5. Smanjenje radne snage.
6. Promjene u aplikativnom softveru kontrolera sa centralnog računara bez ikakvog prevezivanja u ormarima.
7. Pojednostavljenje ormara smanjivanjem klasične relejne tehnike na minimum, što za posljedicu ima smanjivanje njihovog gabarita i uprošćavanje održavanja.
8. Periodično uključenje motornih potrošača u dužem periodu kada oni ne rade po tehnološkim zahtjevima u cilju njihove pogonske spremnosti za rad.

## 4. REALIZOVANI PROJEKTI

Kao što je navedeno u samom uvodu, ovo poglavlje je rezervisano za praktične primjere koje je realizovala kompanija Elkon d.o.o, a u cilju promocije BEMS-a u i energetske efikasnosti u javnim zgradama.

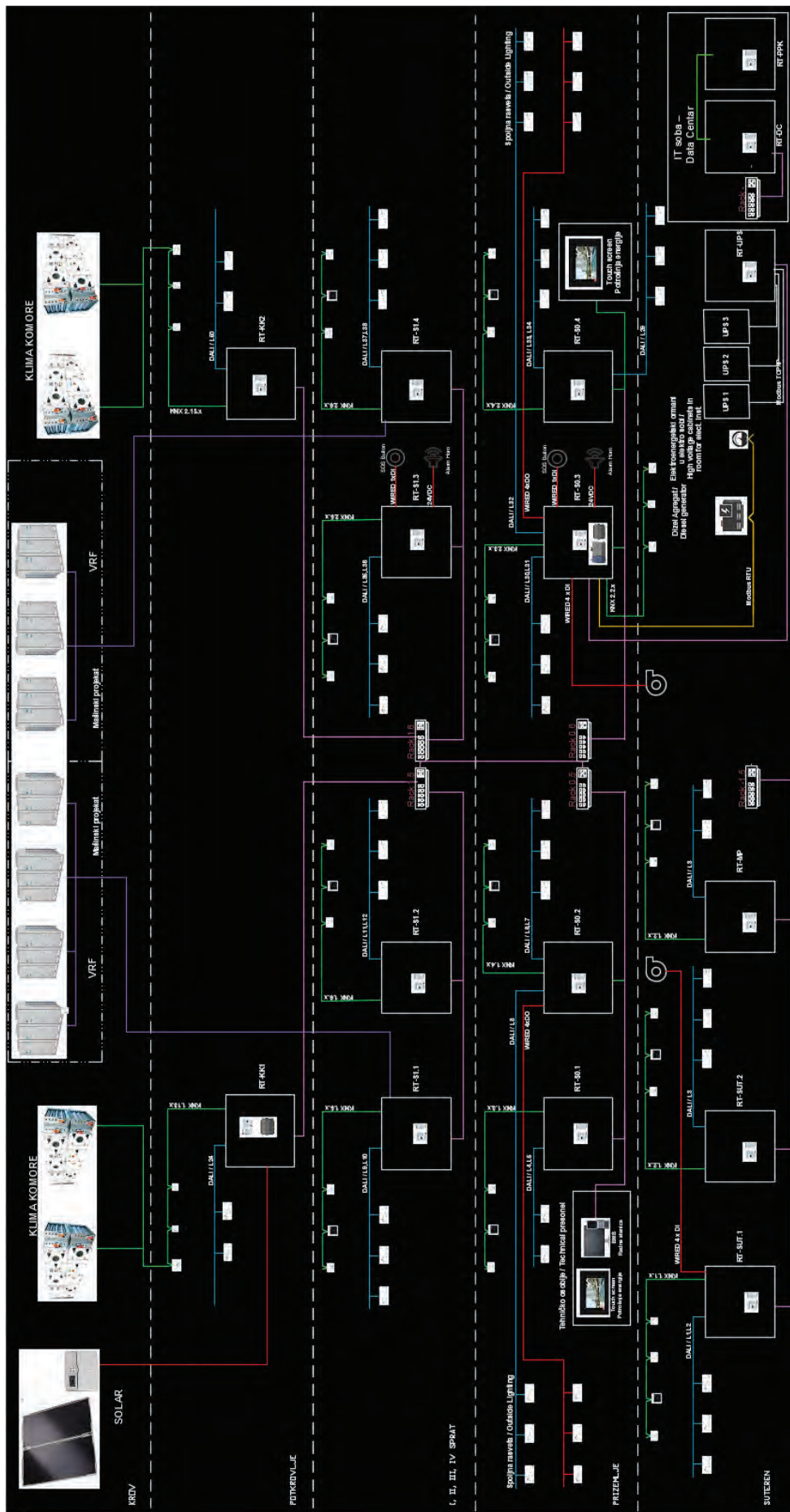
### 4.1. ADMINISTRATIVNI OBJEKAT GB02 ZGRADA MINISTARSTAVA

U sklopu programa energetske efikasnosti u javnim zgradama u Crnoj Gori, Elkon je imao svoje učešće u projektu “Administrativni objekat GB02 Zgrada Ministarstava”, slika 5.



Slika 5. BEMS “Administrativni objekat GB02 Zgrada Ministarstava”

Centralni sistem nadzora i upravljanja funkcioniše primarno preko KNX, Modbus i DALI protokola. Sistem za nazor i upravljanje pametnom KNX instalacijom je koncipiran na principu DDC (Digital Direct Control) regulacije sa lokalno distribuiranom logikom. Sistem je baziran na Eelectron posljednjoj generaciji KNX uređaja i Distech Controls integratorima sa EC-Net SCADA softverom. Topologija ovog sistema je prikazana na slici 6.



Slika 6. Topologija BEMS-a “Administrativni objekat GB02 Zgrada Ministarstava”



Na prikazanoj topologiji, pomoću BEMS-a su integrisani sljedeći podsistemi:

- VRV jedinice,
- Klima Komore,
- Dizel agregat,
- UPS,
- Rasvjeta,
- Powermetri,
- Solar,
- Meteo stanica.

Ovakav pristup sistemu omogućava dugoročno kvalitetnu politiku racionalne potrošnje energije, lake i brze dijagnostike eventualnih kvarova i dugoročno održivo rješenje u eksploataciji objekta.

Pomoću KNX tehnologije, u ovom sistemu su implementirane sljedeće funkcionalnosti:

- Regulacija ventilacije, grijanja i hlađenja - ručna i automatska, na osnovu temperatura, vremenskog rasporeda i prisustva lica u prostoru;
- Upravljanje osvjtljenjem po svjetlosnim grupama, scenarijima i automatski na osnovu vremenskog rasporeda, prirodnog svijetla i prisustva lica u prostoru;
- Upravljanje roletnama - ručno po želji lica u prostoru;
- Lokalni i daljinski nadzor i upravljanje sistemom preko centralnog računara;
- Izvještavanje i alarmiranje u slučaju tehničke neispravnosti nekog od elemenata u sistemu.

Centralnim softverom za upravljanje i vizualizaciju KNX sistema obuhvaćene su sljedeće funkcije:

- Praćenje i upravljanje termotehničkim instalacijama (VRV i klima komore);
- Praćenje i upravljanje rada svjetiljki po grupama (on/off i status u procentima);
- Praćenje vrijednosti osvjtljaja u lux-ima na nivou senzora;
- Praćenje grešaka na DALI sistemu na nivou svjetiljke odnosno balasta, kao i na nivou DALI linije.

Kod upravljačkih funkcija obuhvaćena je sljedeća funkcionalnost:

- Mogućnost deaktivacije senzora i upravljanja grupama putem centralne vizualizacije, bilo on/off ili u procentima;
- Mogućnost zadavanja različite zahtijevane vrijednosti osvjtljenja na nivou senzora putem centralne vizualizacije;
- Grupne komande uključivanja/isključivanja svih grupa svjetiljki u pojedinim djelovima objekta.

Ukoliko korisnik zahtijeva moguće je kreirati vremenske programe koji će uključivati ili isključivati određene grupe prema definisanoj dnevnoj ili nedeljnoj dinamici.

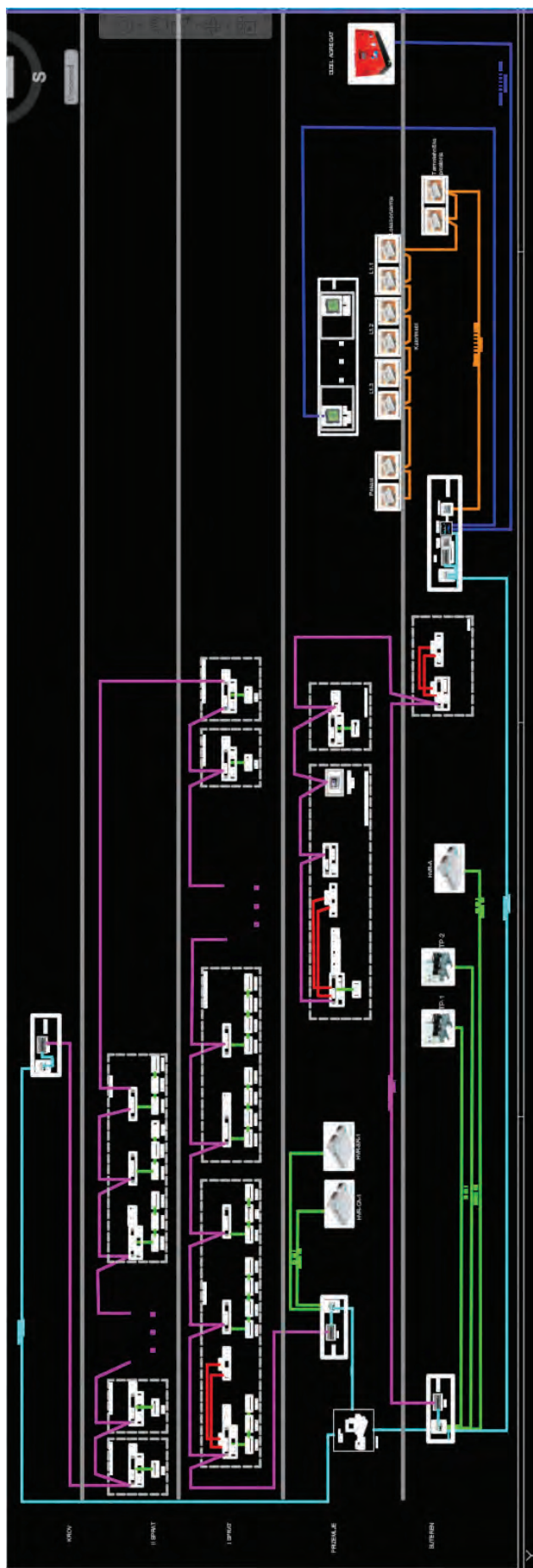
Upravljanje rasvjetom je podijeljeno u dvije kategorije, upravljanje rasvjetom u kancelarijama i salama za sastanke i upravljanje rasvjetom u javnim prostorijama. Upravljanje rasvjetom u koridorima i hodnicima je realizovano takođe preko DALI protokola i KNX detektora. U slučaju niskog nivoa osvjtljenosti, DALI svjetiljke će biti regulisane kako bi se postigla željena zadata vrijednost. U cilju energetske uštede, rasvjeta se automatski isključuje kada senzori ne detektuju nikoga i po potrebi uključuje samo u slučaju detektovanog pokreta. Sa centralnog računara postoji mogućnost, definisanje nivoa osvjtljenosti. BEMS pruža mogućnost zonskog uključivanja unutar DALI linija prema detekciji senzora.

Sa druge strane, u kancelarijama i salama za sastanke je pored već opisanog automatskog režima moguće i upravljati sa rasvjetom u manuelnom režimu pomoću zidnih modula. Korisnik je u mogućnosti da dimuje rasvjetu po sopstvenoj želji. Takođe i u manuelnom režimu, kada se u kancelariji niko ne nalazi, rasvjeta će se isključiti i vraća se na automatski režim. Upravljanje rasvjetom je moguće i sa centralnog računara gdje je moguće ručno podesiti nivo osvjtljenja kao i setpoint koji će biti praćen u automatskom režimu.

U cilju energetske efikasnosti i konformnosti korisnika, informacija o prisustvu u kancelarima je iskorišćenja prilikom upravljanja sa VRV sistemom. Naime, primarno upravljanje sa VRV sistemom se obavl-







Slika 8. Topologija BEMS-a "Upravna zgrada Čelebić"

Pored opisanog načina upotrebe, a u cilju energetske efikasnosti, na samim touch panelima je prikazana informacija korisnicima koliko “efikasno” su podesili parametre na pomenutim termostatima, slika 9. U koliko korisnik podesi temperaturu previsokom ili preniskom, u zavisnosti u režimu grijanja ili hlađenja, broj listova koji predstavljaju “efikasnost” će se smanjivati.



Slika 9. Prikaz ekrana touch panela

Upravljanje rasvjetom u kancelarijama je takođe omogućeno sa touch panela. Rasvjeta u pojedinim prostorijama je i dimabilna pa je moguće pomoću termostata podesiti i nivo osvjetljenja. Sa druge strane, u zajedničkim prostorijama kao što su toaleti i slično, nalaze se i senzori prisustva koji upravljaju sa rasvjetom. Na ovaj način se takođe doprinosi energetske efikasnosti jer se ne dozvoljava rad rasvjete kada se u pomenutim prostorijama ne nalaze korisnici. Rasvjetom u hodniku se upravlja pomoću vremenskog rasporeda, a nakon isteka istog, sa rasvjetom hodnika se upravlja pomoću senzora pokreta. Spoljašnjom rasvjetom upravlja solarni sat pa tako nije potrebno mijenjati vremenski raspored iste u zavisnosti od godišnjeg doba.

Na centralnom računaru, omogućen je kontinualan prikaz potrošnje električne energije kao i potrošnje tople vode u izdatim lokalima. Takođe, omogućeni su izvještaji ukupne potrošnje na različitim obračunskim periodima, kao i praćenje potrošnje pojedinačnih podsistema.

U cilju postizanja što veće energetske efikasnosti i uštede, prema zahtjevu investitora, za potrebe upravljanja različitim podsistemima korišćeni su vremenski rasporedi. Naime, nakon isteka radnog vremena, pomoću BEMS-a se isključuju sistemi grijanja i hlađenja, klima komore, kao i rasvjete u objektu.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je imao za cilj da predstavi princip rada BEMS-a. Takođe, imao je zadatak da predstavi prednosti BEMS-a, a naročito njegov uticaj na energetske efikasnost. U tom cilju su predstavljene i trenutne regulative koje važe u Crnoj Gori, vezane za energetske efikasnost. U glavnom dijelu ovog rada, predstavljene su i praktični primjeri BEMS-a, u javnim zgradama na teritoriji Crne Gore, koje je realizovala firma Elkon.

## LITERATURA

1. Huovila P. (2007). Buildings and climate change: status, challenges and opportunities: Status, Challenges and Opportunities. United Nations Environment Programme, Paris, ISBN:9789280727951, <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7783>.
2. D. Bonilla, M.G. Samaniego, R. Ramos, H. Campbell, Practical and low-cost monitoring tool for building energy management systems using virtual instrumentation, *Sustainable Cities and Society* 39 (2018) 155–162, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.009>
3. S. Rotger-Griful, Implementation of a building energy management system for residential demand response, *Microprocess. Microsyst.* 55 (2017) 100–110, <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2017.10.006>
4. F. Wang, et al., Multi-objective optimization model of source–load–storage synergetic dispatch for a building energy management system based on TOU price demand response, *IEEE Trans. Ind. Appl.* 54 (2018) 1017–1028, <https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2781639>
5. S. Naylor, M. Gillott, T. Lau, A review of occupant-centric building control strategies to reduce building energy use, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 96 (2018) 1–10, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.019>
6. D. Mariano-Hernández, L. Hernández-Callejo, A. Zorita-Lamadrid, O. Duque-Pérez, F. Santos García, A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis, *Journal of Building Engineering*, Volume 33, 2021, 101692, ISSN 2352-7102, <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101692>
7. <http://energetska-efikasnost.me/energetska-efikasnost-zgrada/>



# AUTOMATSKO UPRAVLJANJE GUMENIM BRANAMA I SISTEM ZA DETEKCIJU VIBRACIJA I PRAĆENJA OBLIKA BRANE

**Nemanja Kovačević**  
**Nebojsa Šolaja**  
**Pavle Asanović**  
Elkon d.o.o, Podgorica

## KRATAK SADRŽAJ

Gumene brane zbog jednostavne konstrukcije, ekonomičnosti i izdržljivosti imaju sve češću upotrebu u praksi. Primjena ovakvih brana je višestruka, najčešće za formiranje vještačkih jezera za potrebe malih hidrocentrala, ali i za zaštitu od poplava, potrebe navodnjavanja ili za sisteme za prečišćavanje otpadnih voda. Da bi se u potpunosti iskoristio njihov potencijal, neophodano je razviti odgovarajući sistem upravljanja i nadzora istih. Primarni zadatak sistema automatskog upravljanja je regulacija nivoa vode pomoću radnog fluida koji podiže ili spušta branu. Upumpavanje fluida u branu se ostvaruje upravljanjem motorima i regulacionim ventilima, a na osnovu očitvanja senzora. Pored toga automatika je odgovorna za bezbjednost sistema te mora da preduzme odgovarajuće akcije u slučaju ekstremnih situacija kao što su naglo povećanje nivoa vode, povećanje pritiska u brani, akcidentnih tehnoloških situacija i ostalo. Zbog sprečavanja potencijalnih havarija uzrokovanih vibracijama razvijen je sistem za detekciju vibracija i praćenja oblika brane. Pored principa rada sistema automatike, ovaj rad će dati osvrt na izvedene projekte firme Elkon u ovoj oblasti.

**Ključne riječi:** Automatika, Gumena brana, HMI, IMU senzori, Mjerenje oblika, PLC, Regulacija, SCADA, “spillway gate”.

## UVOD

Gumene brane na naduvavanje koriste se kao strukture za kontrolu vode više od pedeset godina. Prva brana na naduvavanje na svijetu postavljena je u okrugu Los Angeles u SAD-u sredinom 1950-ih. U

to vrijeme, gumene brane na naduvavanje smatrane su u velikoj mjeri kao i danas, relativno jeftinim, univerzalnim strukturama, sposobnim da stvore akumulaciju i/ili da kontrolišu protok u određenom vodotoku.

Postoje dvije osnovne konstrukcije:

- Gumena brana ( slika 1.)
- Obermejer “Spillway gate“ ( slika 2.) [1].

Gumena brana je trajna konstrukcija koja se sastoji od gumenog materijala (gumenog tijela) koji je pričvršćen na armirano-betonski temelj pomoću stezaljki i sidrenih vijaka. Gumena brana se naduvava pumpanjem vazduha ili vode unutar gumenog tijela sve dok se ne postigne projektovana visina ili pritisak. Izduvava se tako što omogućuje izlaz vazduha ili vode iz gumenog tijela. [1]



Slika 2. “Spillway gate” u izgradnji



Slika 1. Gumena brana na naduvavanje

Obermejerove kapije prilagođene su tako da odgovaraju bilo kojem postojećem ili željenom presjeku preliva s minimalnim profilom kada su vrata u spuštеноm položaju. Obermejer je svoju prvu prelivnu kapiju postavio u Sjedinjenim Američkim Državama 1988. godine, a u Evropi 1997. Najviša Obermejerova prelivna kapija koja trenutno radi je visoka 6,5 m i široka 10,0 m. Četiri takve kapije ugrađene su u male hidroelektrane Lakatnik i Svragen u Bugarskoj. Instalacija je završena 2007 [1].

Namjena ovakvog tipa brana je formiranje akumulacionih jezera za hidroelektrane, preusmjeravanje vodenih tokova, formiranje akumulacija za hidromelioracije, zaštita od poplava te formiranje akumulacija na sistemima za prečišćavanje otpadnih voda.

Osnovne prednosti gumenih brana u odnosu na druge strukture za kontrolu vodenih akumulacija su:

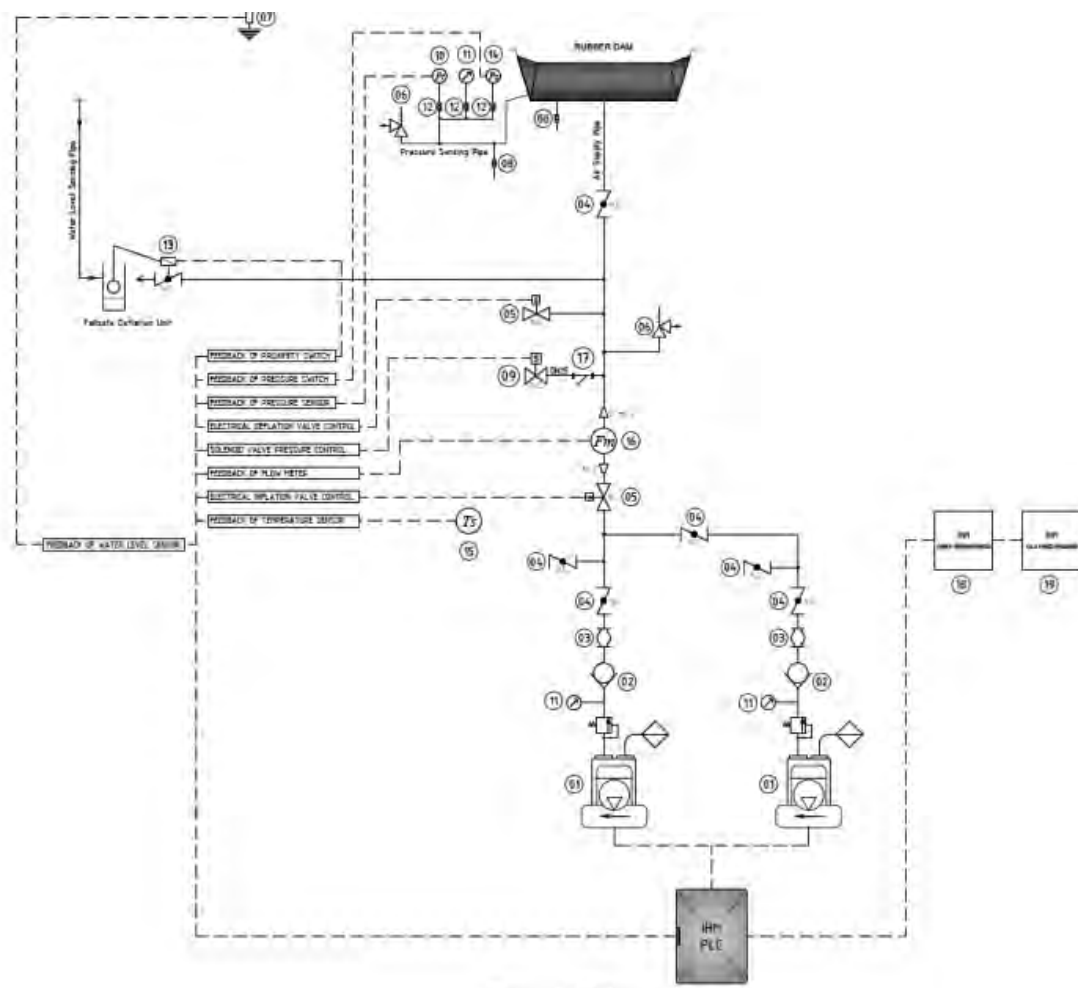
- Niska cijena,
- Relativno jednostavan i jeftin sistem za kontrolu i upravljanje,
- Dug rok eksploatacije uz relativno jeftino održavanje,
- Mogućnost izgradnje struktura i do 100m dužine,
- Kratko vrijeme potrebno za ostvarivanje minimalnog i maksimalnog nivoa,
- Mogućnost upravljanja na daljinu (rad bez ljudske posade), itd. [1]

Sistem upravljanja branom ima dva osnovna načina rada: ručni i automatski. Pri tome je uobičajeni način rada automatski ili regulacioni, gdje automatika reguliše nivo naduvanosti brane na osnovu osnovnih parametara kao što su pritisak u brani, nivo vode te sigurnosni protokoli. Ručni režim se koristi radi inspekcije, održavanja ili slično. Ovaj rad opisuje primjere realizacije automatike koja omogućuje oba navedena načina rada. Osim toga, u toku eksploatacije je primijećeno da brana usljed promjene temperature kao i pritisaka vode i drugih faktora mijenja svoj oblik ali i, posebno opasno, bude izložena stalnim vibracijama. Firma Elkon, je u saradnji sa partnerima iz Dyrhoff Ujedinjeno Kraljevstvo (UK) u fazi razvoja inovativnog rješenja za praćenja oblika brane i detekciju vibracija, što će takođe biti prezentovano u radu.

# AUTOMATIKA BRANA

## OSNOVI ELEMENTI SISTEMA

Na slici 3. je prikazana uprošćena strukturna šema sistema za upravljanje branom. Sistem se sastoji od najčešće dva motora, “blower-a”, kompresora, ili pumpi, zavisno o kojem radnom fluidu je riječ. Elektro motori imaju zadatak da obezbjede protok fluida, a uz pomoć odgovarajućih elektromotornih ventila za kontrolu podizanja i spuštanja brane, čime se obezbjeđuje pravilan rad sistema. U sistemu se takođe nalaze i ručni ventili koji služe za izolaciju pojedinih elemenata za potrebe servisiranja ili pri havarijskim situacijama, senzora (temperature, pritiska, nivoa, protoka..), kontrolnog ormara za pneumatiku, sigurnosnih prekidača (nivostata, presostata i detekciju protoka) i drugo. Napajanje i upravljanje sistema je realizovano pomoću glavnog ormara automatike u kom je smješten programabilni logički kontroler (PLC) sa odgovarajućim periferijama putem kojih se primaju povratne informacije iz sistema i zadaju odgovarajuće komande, razmjenjuju informacije sa nadzornim SCADA sistemom i drugo. U ormaru se nalazi i sva ostala neophodna elektro oprema koja omogućava ispravan i bezbjedan rad pojedinačnih uređaja u sistemu. Uobičajeno je da se na vratima ormara nalazi i ekran osjetljiv na dodir (HMI) u odgovarajućoj IP zaštiti, putem kojeg se prate procesni parametri, definišu setpointi i vrši upravljanje [1].



Slika 3. Osnovni elementi sistema za upravljanje branom [1]

Zavisno od funkcije sistema koriste se dva ili više mjerača nivoa vode. Signali se uvode u PLC koji ih upoređuje, a u algoritmu koristi usrednjenu vrijednost te u slučaju velikog međusobnog odstupanja u mjerenju generiše alarm.

Za “spillway gate” se koriste i inklinometri za mjerenje zakošenosti kapije te daju odgovarajući signal

4-20 mA zavisno o uglu. Ovaj signal se u PLC-u obrađuje kroz odgovarajuće trigonometrijske formule i "look-up" tabele čime se dobija precizan podatak o visini vrha kapije. Inklinometri moraju biti visokog stepena zaštite - IP 68+ jer su većinom vremena potpoljeni u vodi. Kada je brana jako široka onda se sastoji od više grupa kapija kojima se upravlja paralelno. Tada tačnost mjerenja inklinometrima postaje jako važna kako bi nivo akumulisane vode rastao i spuštao se ravnomjerno i ne bi došlo do prelijevanja samo na jednoj strani brane. U takvim slučajevima algoritam proračuna visine brane i upravljanje se znatno usložnjava. Inklinometri se obično postavljaju sa svake strane grupe pa se njihovo očitavanje upoređuje. Pored preciznog upravljanja branom inklinometri se koriste i za detekciju nepravilnog kretanja brane, gdje je jedna strana kapije niža u odnosu na drugu čime se na vrijeme detektuje potencijalni mehanički problem ili prisustvo vazduha u sistemima koji se pune vodom. U slučaju značajnijeg odstupanja generiše se odgovarajući alarm [1].

Za očitavanje pritiska u brani instalira se transmiter pritiska odgovarajućeg mjernog opsega sa izlazom 4-20 mA, dok se za sigurnost koriste odgovarajući presostati.

Sistem takođe sadrži i odgovarajuće nepovratne ventile kako bi fluid uvijek imao pravilan tok.

## UPRAVLJAČKI ORMARI

Napojno upravljačka oprema se smješta u odgovarajuće upravljačke ormare (Slika 4.). Osnovu sistema upravljanja čini PLC. Za upravljanje i napajanje elektromotora većih snaga koriste se soft starteri, a za potrebe regulacije, gdje se zahtjeva precizan protok fluida, koriste se i frekventni regulatori. Na vratima ormara se smještaju prekidači, tasteri, HMI i odgovarajuća signalizacija [1].

Specifičnost na koju se posebno mora obratiti pažnja jeste geografska lokacija ugradnje, prije svega zbog izbora odgovarajuće opreme za karakteristike lokalne mreže (napon, frekvencija), ali i zbog specifičnih klimatskih uslova. Za tropske i pustinjske uslove, zahtjevi po pitanju zaštite elektronskih komponenti i sklopova su veoma strogi i po pitanju temperaturh limita, vlažnosti vazduha i prisustva saliniteta, te je potrebno koristiti opremu koja je pogodna sa teške uslove. Naravno, mora da se vodi računa i o tehničkim standardima koji važe u pojedinim zemljama.



Slika 4. Upravljački ormari za branu u Dubajju

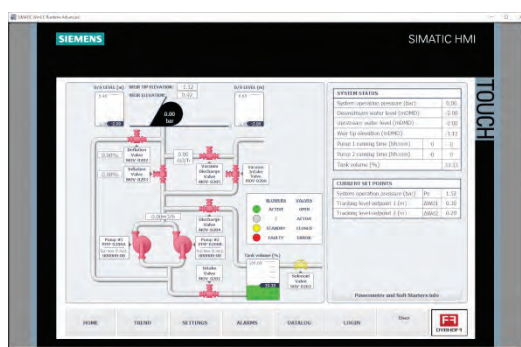


Kako bi se osoblje zaštitilo od direktnog dodira sa neizolovanim djelovima u upravljačkom ormaru kao što su sabirnice, a i kako bi se određene funkcionalne cjeline izolovale, koriste se odgovarajuće forme separacije (1-4b).

Često se ovakvi ormari napajaju sa uređaja koji omogućavaju besprekidno napajanje, tako da i u slučaju ispada mreže sistem može nesmetano funkcionisati određeno vrijeme.

## HMI

Osnovni interfejs za upravljanje branom je HMI uređaj na vratima ormara. Na njemu se očitavaju statusni i procesni podaci, ispisuju alarmi, podešavaju željene vrijednosti procesnih parametara, ali i vrši manuelno upravljanje branom kada je odabran taj režim rada. Ovdje je kao primjer prikazano rješenje a branu u Dubajju.



Slika 5. Osnvni HMI ekran

Osnovni ekran (Slika 5.) daje prikaz sistema, omogućava prelaz na sljedeće ekrane, a zavisno od odabranog režima daje uvid o trenutno aktivnoj sekvenci u automatskom, odnosno odabir komande “Podigni-Zaustavi-Sпусти-Vakumiraj” u ručnom režimu.

Osim ovoga postoje ekrani za ispis alarma, ispis trendova važnijih procesnih veličina, zatim ekran za setovanje parametara, za kalibraciju mjernih uređaja itd. ( Slika 6.).



Slika 6. Prikazi HMI ekrana

## PRINCIP RADA

### 2.4.1. AUTOMATSKI REŽIM RADA

Nivoom vode tj. visinom brane se može upravljati automatski ili ručno. Automatski režim rada podrazumijeva izvršavanje odgovarajućih algoritama, ili sekvenci, zavisno od stanja sistema i povratnih informacija iz polja. Jedna sekvenca podrazumijeva izvršavanje određenih akcija kako bi odgovarajućom kombinacijom rada motora i ventila dovela branu u željeno stanje. Ovdje će kao primjer biti opisan uprošćen rad nekih od sekvenci.

Na osnovu kontinuiranog praćenja nivoa vode uzvodno i nizvodno, pritiska u brani te očitavanja vrijednosti sa IMU senzora PLC prilagođava zadate procesne parametre u automatskom režimu rada. Pri tome se svi paramteri mogu pratiti na HMI ekranu ili SCADA sistemu.

Sistem startuje kada operater na grebenastom prekidaču izabere režim rada "Automatski". Time je poslat signal na digitalni ulaz PLC-a a koji odlučuje, zavisno od mjerenih procesnih veličina, i podešenih parametara sistema koju akciju treba preduzeti, odnosno sekvencu koju treba aktivirati.

Na primjer, za situaciju kada je brana u potpunosti izduvana PLC daje komandu za otvaranje ventila za naduvavanje (inflaciju) i pokreće motor kako bi se vazduh nesmetano uduvavao u branu. Motor radi sve dok se ne postigne zadati pritisak u brani, zatim se zaustavlja, a ventil zatvara. Kada brana dostigne zadati pritisak tada automatika prelazi na sekvencu održavanja i za to vrijeme se pritisak održava u odgovarajućim granicama. Ukoliko pritisak opadne, ponovo se otvara inflacioni ventil, a motor startuje. Ukoliko usljed povećanja nivoa vode ili temperature poraste pritisak u brani, otvara se odgovarajući ventil kako bi se ispustio višak vazduha iz brane, a samim tim i smanjio pritisak na zadatu vrijednost. Kada se postigne definisani nivo uzlazno od brane tada se prelazi u sljedeću sekvencu. Zavisno od potrebe sistema sekvenca ima zadatak da obezbijedi odgovarajuću visinu brane čime se omogućava preliv vode preko nje, ili da isti održava u nekim definisanim granicama.

Isuviše visok nivo vode, i visok nivo pritiska su samo neka od neželjenih stanja sistema koja mogu štetiti istom i tretiraju se kao alarmi. Ukoliko dođe do pojave alarma prekida se izvršavanje sekvenci i PLC preduzima odgovarajuće korake kako bi sistem doveo u bezbjedno stanje i sačuvao ga od havarija.

### 2.4.2. RUČNI REŽIM RADA

Osim automatskog predviđeno je i ručno upravljanje radom brane. Ovaj režim rada se koristi za potrebe održavanja, tehničkih proba ili nekih havarijskih situacija. Ručni režim rada se odabira okretanjem prekidača za izbor režima rada na vratima ormara u položaj "Ručno". U tom slučaju na osnovnom ekranu HMI-a se pojavljuju potrebni komandni tasteri za ručno upravljanje branom kao što su "Podigni", "Spusti" i "STOP". Pritiskom na taster "Podigni" se otvara ventil za naduvavanje i startuje motor. Ručni režim rada predstavlja jednostavne komande koje omogućavaju korisniku da na jednostavan i bezbjedan način podigne ili spusti branu, odnosno zaustavi u nekom međupoložaju. U ručnom režimu rada se takođe vodi računa da se branom upravlja unutar bezbjednih granica popitanju pritiska ili visine, tako da na primjer ukoliko je već postignuta nominalna vrijednost pritiska, ili visine brane, ponovnim pritiskom na dugme podigni, sistem neće reagovati na komandu.

Ako se prilikom ručnog naduvavanja brane pojavi alarm koji može uticati na bezbjednost sistema PLC će se automatski prebaciti u stanje "STOP" a taster "STOP" na ekranu HMI se boji u crvenu boju. Ovo ne važi za alarm za pritisak jer bi PLC trebao da ignoriše alarm za pritisak unutar ovog perioda ali ako je P veće od P0 akcija naduvavanja ne bi počela.

Ploče gejtova se mogu spustiti pritiskom na taster "SPUSTI" i tada se otvara ventil za deflaciju. Ovaj ventil ostaje otvoren sve dok se ne pritisne taster "Podizanje" ili "STOP". Ne smije se dozvoliti da testeri za podizanje i spuštanje budu aktivni u isto vrijeme.

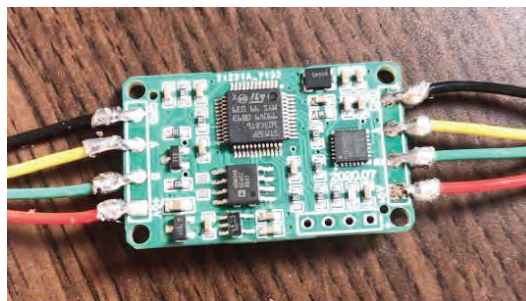
Pritiskom na taster "STOP" poništavaju se komande za dizanje i spuštanje.

# DETEKCIJA OBLIKA I VIBRACIJA BRANE

## UVOD - IMU SENZORI

Kao što je prethodno navedeno, inklinometri se koriste za precizno očitavanje ugla, odnosno visine brane te omogućavaju precizno upravljanje u Obermajerovim sistemima kapija. Međutim, u slučaju gumenih brana, inklinometri ne mogu biti korišteni u iste svrhe zbog nemogućnosti montaže na samu branu. Ovo zahtijeva drugačije rješenje kako bi bilo moguće očitavanje visine brane. Mjerenje oblika brana moguće je putem posebnih senzora - Inercijalnih mjernih jedinica (IMU). Fleksibilnost gumenih brana zahtijeva kontinualno praćenje i upravljanje samim procesom. Oblik poprečnog presjeka i visina brane se konstantno mijenjaju zavisno od nivoa vode i unutrašnjeg pritiska u brani. Interakcija oblika brane predstavlja, svojevrsan izazov za samo projektovanje, upravljanje gumenih brana. Na primjer, gumene brane su podložne vibracijama u zavisnosti od hidrauličnih smetnji, koje mogu oštetiti ili čak uništiti gumenu membranu. Zbog ovog problema je izuzetno bitno pratiti vibracije i oblik brane, a kako je to najbolje moguće uraditi biće opisano u narednom dijelu rada [2].

Postoji nekoliko različitih tehnika koje omogućavaju mjerenje i praćenje oblika brane. Bezkontaktna metoda bazirana na stereo kamerama i svjetlosnom detekcijom (non-contact methods based on stereo cameras and light detection and ranging - LiDAR) može prikazati složene trodimenzionalne površine sa visokom rezolucijom. Ovaj sistem zahtijeva redovno skeniranje mjernog objekta ili instalaciju više kamera, što je veoma teško postaviti na terenu. Fiber Bragg grating (FBG) senzori se sve više primjenjuju za mjerenje oblika lopatica vjetro-turbina, krila aviona, manjih robota zbog prednosti male veličine, male težine te otpornosti na elektromagnetne smetnje, koroziju i mogućnosti da mjere više mjernih vlakana u jednoj tački. Međutim, ni ovi senzori nisu pouzdani, zbog visokih temperatura, sofisticiranosti sistema ne mogu garantovati tačnu detekciju vibracija brane koja je potrebna u projektu. Stoga se kao idealni za projekat detekcije nivoa i vibracija brana pojavljuju senzori koji su savitljivi i prilagodljivi terenskim zahtjevima za implementaciju na gumenim branama - IMU senzori. Senzori mjere tangente uglove brane perifernim mjerenjem uz pomoć akcelerometara i žiroskopa (slika 7.) [3].



Slika 7. Izgled IMU senzora

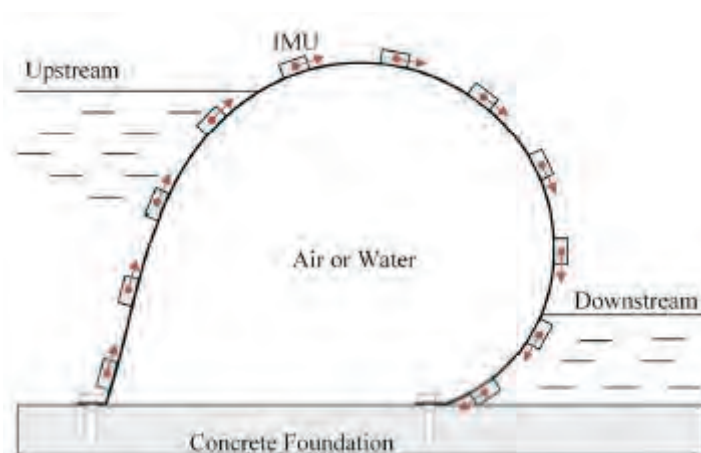
IMU senzori se uglavnom koriste kao uređaji koji mjere vibraciju, orijentaciju i silu gravitacije. Mogu se podijeliti u dva tipa senzora:

- Akcelerometri,
- Žiroskopi [3].

Akcereometri se koriste za mjerenje inercijalnih ubrzanja, dok se žiroskopi uglavnom koriste za mjerenje ugaonih rotacija. Oba tipa senzora imaju tri stepena slobode za mjerenje osa. IMU senzori koje se koriste u ovom radu sadrže i acelerometar i žiroskop. Uglovi se mjere sa oba senzora, a podaci se prikupljaju, kalibrišu i dalje prosljeđuju na detaljnu analizu i obradu, ili u ovom slučaju do SCADA sistema [3].

## INSTALACIJA IMU SENZORA NA GUMENU BRANU

Gumene brane se sastoje od gumene tkanine koja se pričvršćuje na armirani beton. Kao što je opisano u prvom dijelu rada, u zavisnosti od izvršavnja programske logike, brana može ući u stanje inflacije ili deflacije. Kada je u pitanju inflacija, gumena brana formira oblik “suze“ (teardrop), koji zavisi od nivoa vode i vrijednosti pritiska u samoj brani. Da bi se utvrdio tačan oblik brane, na njenoj površini se postavlja niz IMU senzora, sa jasno definisanim rastojanjem između senzora. Bazirano na tangentnim uglovima, koji su u sirovim vrijednostima očitani sa IMU senzora, oblik brane se može prikazati numerički, korišćenjem odgovarajućeg algoritma. Na slici je prikazan, primjer instalacije IMU senzora na branu.

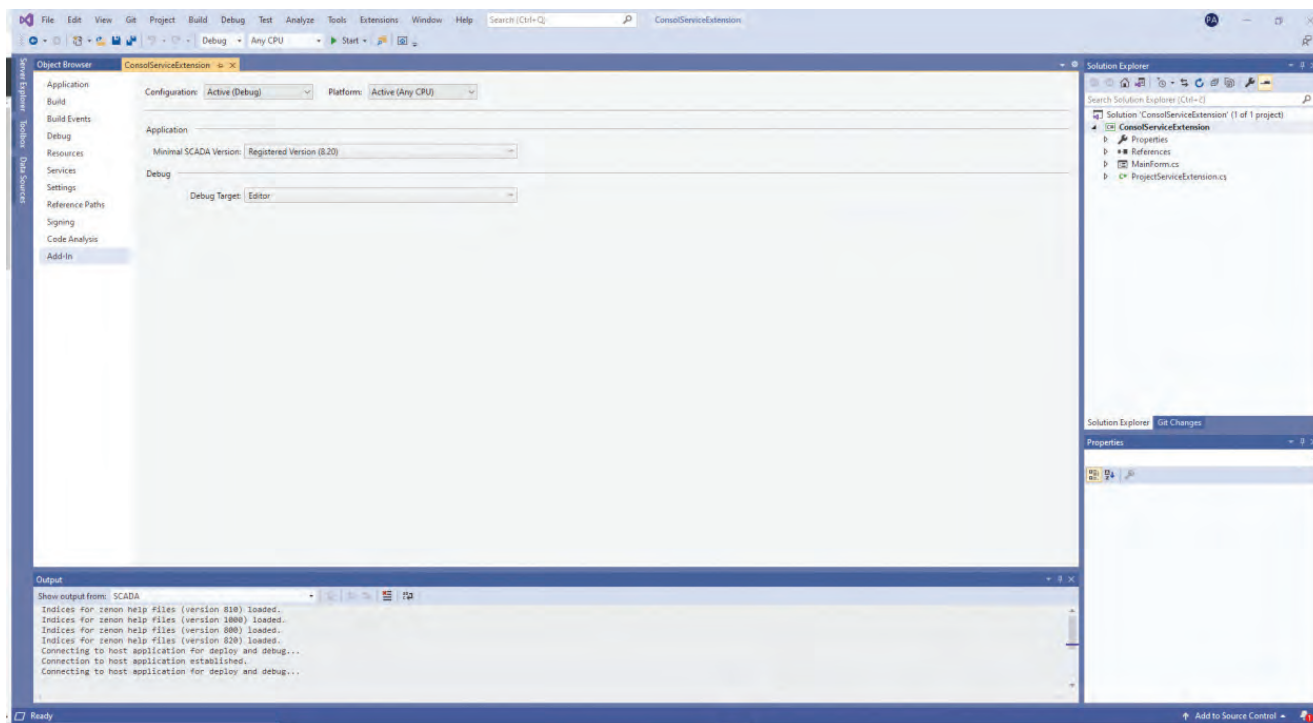


Slika 8. Primjer povezivanja IMU senzora na branu [2]

## IZRADA SISTEMA I NJEGOVA IMPLEMENTACIJA

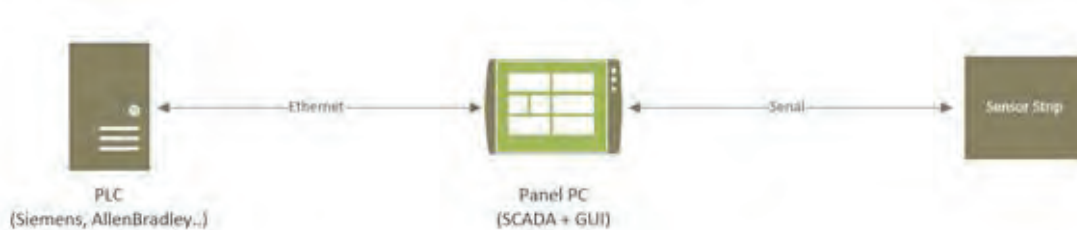
Mjerni sistem se sastoji od niza IMU senzora a preko USB porta SCADA računar očitava podatke. Broj senzora koji se montiraju na branu zavisi od veličine i samog obima brane. Kako senzori imaju pinove za RS485 komunikaciju, odgovarajućim adapterom RS485 na USB moguće je napojiti i očitavati sirove podatke sa samih senzora koristeći Modbus RTU drajver. Na računaru će biti implementiran Zenon SCADA sistem, proizvođača COPA DATE. SCADA ima zadatak da sirove podatke obradi na pravilan način i da ih kao takve prosljedi PLC-u kako bi se koristili u samoj logici upravljanja branom. Najprije je bilo potrebno implementirati konzolni program, kao dodatnu funkcionalnost SCADA sistema koji bi mogao izvršavati programski kod razvijen u Microsoft Visual Studiu, i na odgovarajući način proračunate podatke prenosio dalje u SCADA sistem. Ovaj program, proračunava uz pomoć adekvatnog algoritma, oblik brane kroz spekar X i Y koordinata svih senzora u nizu. Na slici su prikazana podešavanja koja omogućavaju komunikaciju između Zenona i Microsoft Visual studia (slika 9.)





Slika 9. Veza između Visual Studia i Zenon SCADA sistema

Na slici 10. prikazana je topologija sistema koji se sastoji od niza senzora, PLC-a i SCADA sistema.



Slika 10. Topologija sistema

Kao što se može vidjeti sa slike, PLC je uvezan sa SCADA sistemom preko Ethernet kabla. Zavisno od izbora PLC-a i komunikacionih protokola koje on podržava za samu komunikaciju između PLC-a i SCADA-e se koriste i odgovarajući drajveri: Modbus TCP/IP, Ethernet-IP, Modbus RTU i drugi. Na ovaj način je omogućena razmjena podataka između SCADA sistema i PLC-a.

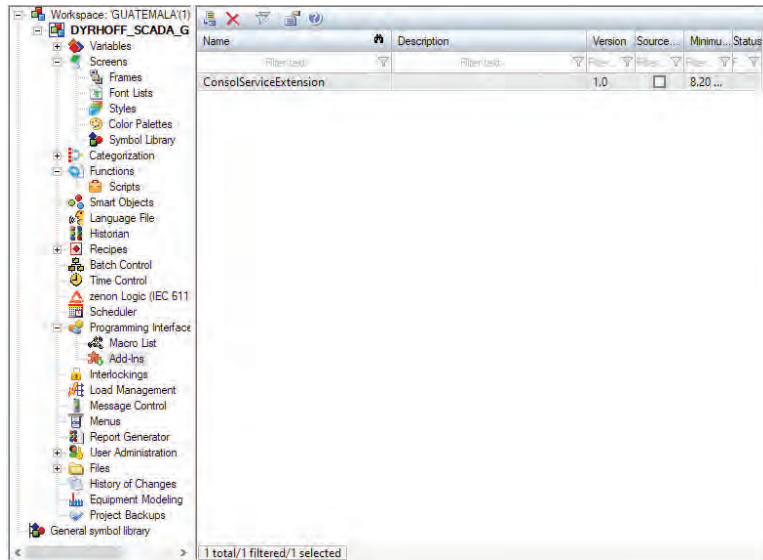
Kako je programski kod za IMU senzore razvijen u Microsoft Visual Studiu, nije bilo moguće senzore direktno povezati na sami PLC jer oni ne koriste isti programski jezik, te kod nije bilo moguće izvršavati na samom PLC-u. Iz tog razloga IMU senzori su putem serijske komunikacije, a preko adaptera RS485 na USB povezani na SCADA računar, gdje se podaci obrađuju. U krajnjem, podaci se koriste u kontrolnoj logici PLC-a koje isti dobija obrađene od SCADA sistema.

## ADRESIRANJE VARIABLI I POZIVANJE CONSOL SERVICE EXTENSION-A U ZENONU

Na osnovu algoritma za praćenje oblika brane pomoću IMU senzora, Elkon firma je realizovala projekat za komunikaciju ovih senzora sa SCADA sistemom. SCADA će od proračunatih podataka dva ključna prosljeđivati PLC-u, a to su visina brane i signal kada su detektovane neželjene vibracije. Svi ostali podaci kao što su koordinate, mjereni uglovi sa senzora i drugo će biti prikazani samo na SCADA sistemu. Sami kod, koji obrađuje očitavanja sa senzora, se neprekidno izvršava kao jedan od servisa u pozadini SCADA

sistema. Jednostavnim klikom na taster na ekranu moguće je otvoriti konzolni prozor koji prikazuje oblik bane i neke osnovne parametre za podešavanje niza senzora i serijske komunikacije.

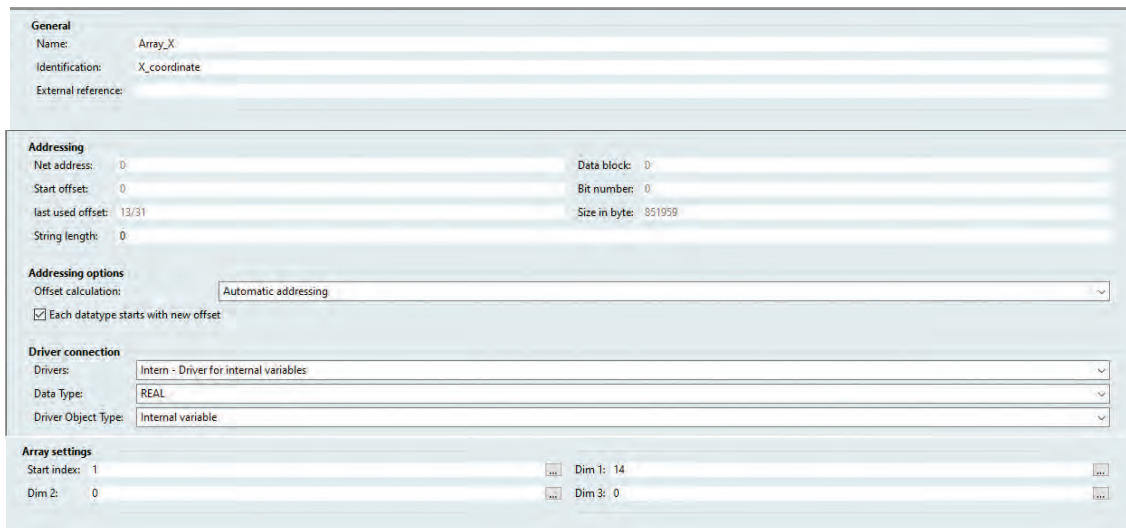
U sklopu programskog drveća za izradu SCADA sistema (project tree) - programming interface, se nalazi podfunkcija za import add in-a, odnosno servisa koji SCADA treba da izvršava. Ovaj add-in je napravljen pomoću Microsoft Visual Studia, i predstavlja link za pozivanje koda koji obrađuje podatke (slika 11, ConsolServiceExtension).



Slika 11. Consol Service Extension

Nakon što je add in importovan u Zenon SCADA sistem, potrebno je definisati i varijable koje će SCADA očitavati iz samog Add-ina. Kako su varijable simbolički adresirane, između ostalog, potrebno je nazive uskladiti sa onima u programskom kodu u Microsoft Visual Studiu kako bi se dobila tačna očitavanja. Kao primjer su uzete X i Y koordinate.

Naziv promjenljive je Array\_X (Array\_Y), tip podatka je Real, dužina niza je 14. (Slika 12.)

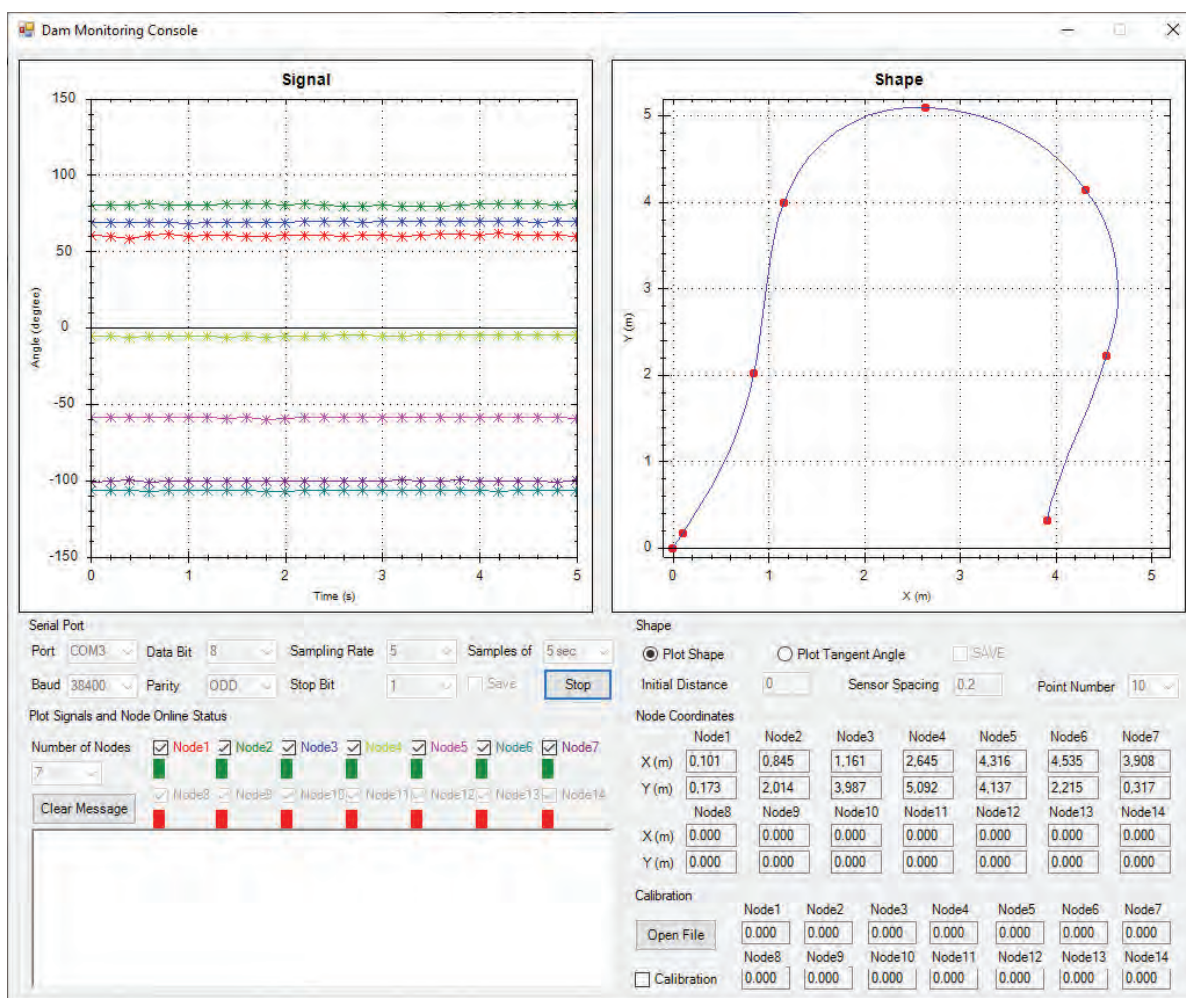


Slika 12. Adresiranje varijabli za koordinate X i Y u Zenonu

## POLOŽAJ BRANE U REALNOM VREMENU PRIKAZAN U ZENON RUNTIM-U

Ukoliko su uspješno ispunjeni gore navedeni koraci, u Zenon SCADA sistemu će biti prikazane realne vrijednosti koordinata, na osnovu podataka dobijenih od IMU senzora. Na slici 13. je prikazan oblik

brane u realnom vremenu u sklopu SCADA sistema.



Slika 13. Prikaz oblika brane na SCADA sistemu

Za fazu testiranja je korišćen Allen Bradley PLC, serije Compact Logix. Veza između PLC-a i SCADA sistema je Ethernet-IP, dok su sa SCADA sistemom preko USB-a povezani i senzori za očitavanje položaja brane. Na početnom ekranu SCADA sistema, postoji taster za koji je vezana funkcija za pozivanje konzolnog prozora. Klikom na taster se otvara prozor kao što je prikazano na slici 13.

Ovakav način monitoringa je od velikog značaja, samim tim što korisnik ima uvid u svakom trenutku u kojem se oblika brana nalazi. Dobijeni rezultati u stvari predstavljaju čitav niz matematičkih kalkulacija i ne mogu predstavljati realno stanje već približno. Zavisno od broja senzora koji se koriste u aplikaciji i njihovom međusobnom rastojanju, rezultati će varirati. Veći broj senzora, raspoređenih na manjem rastojanju će gotovo biti realan prikaz stvarnog oblika brane. Važi i obrnuto, manji broj senzora, ili veće rastojanje će davati lošije rezultate. Zavisno od primjene brane, i potrebe za odgovarajućim stepenom preciznosti projektuju se IMU senzor nizovi sa različitim brojem samih senzora u nizu. Kako se radi o univerzalnoj aplikaciji potrebno je samo kroz SCADA sistem unijeti odgovarajuće parametre o broju senzora, međusobnom rastojanju, korekcionim faktorima i drugo, kako bi se IMU senzor niz kalibrisao na adekvatan način. Mjerni sistem može raditi u teškim vodenim uslovima, što je od izuzetne važnosti znajući za šta se pretežno koriste gumene brane.

## PREGLED DOSADAŠNJIH PROJEKATA

Dosadašnji važniji projekti firme Elkon u ovoj oblasti su: Ujedinjeni Aarapski Emirati (Dubai), Španija (Segur River), Brazil (Santarem), Italija (Le Bosche), Turska (Bursa, Duzce, Tuzkoj, Azmak, Ankara),



Portugalija (Pretarouca), Rumunija (Sebes I, Sebes III), Obala Slonovače (River N Zi), Gvatemala (Los Esclavos), Čile (San Enrique), Hrvatska (Ilovac) itd. Evo nekih od njih:

Lokacija: Dubai  
Naziv projekata: Deep Tunnel Storm Water System Terminal Pumping Station and Sea Outfall Project  
Tip: Gumena brana  
Namjena: Sistem za drenažu atmosfersih padavina  
Godina instalacije. Projekat u toku  
Dimenzije: 5x 25 m



Lokacija: Brazil  
Naziv projekta: Santarem  
Tip: Gumena brana  
Namjena: Jalovište rudnika  
Godina instalacije: 2014.  
Dimenzije: 1 x 30 m



Lokacija: Portugalija  
Naziv projekata: Pretarouca  
Tip: Spillway gate  
Namjena: Vodena akumulacija  
Godina Instalacije: 2020.  
Dimenzije: 2,4 x 15,5 m



Lokacija: Hrvatska  
Naziv projekata: Ilovac  
Tip: Gumena brana  
Namjena: Hidroelektrana  
Godina Instalacije: 2019.  
Dimenzije: 2,6 x 31 x 2





Lokacija: Dubai  
Naziv projekata: Deep Tunnel Storm Water System  
Terminal Pumping Station and Sea Outfall Project  
Tip: Spillway gate  
Namjena: Sistem za drenažu atmosfersih padavina  
Godina instalacije: projekat u toku  
Dimenzije: 2.7 x 27 m



## ZAKLJUČAK

U radu je dat kratak pregled tipova gumenih brana, sa osnovnim elementima upravljačkog sistema. Navedene su moguće primjene ovakvih struktura za formiranje vodenih akumulacija za hidroelektrane, sisteme za zalivanje, zaštitu od poplava, sisteme za prečišćavanje otpadnih voda, usmjeravanja vodenih tokova i dr. Opisan je sistem za automatsko upravljanje gumenim branama i njegovi različiti modovi rada. Date su prednosti ovih brana u odnosu na slične sisteme, što ih preporučuje za sve veću upotrebu u formiranju akumulacija za hidroelektrane, usmjeravanje riječnih tokova, ali i za sisteme za navodnjavanje i zaštitu od poplava.

U radu je opisan sistem za detekciju oblika i vibracija brana koji je od velikog značaja za bezbjedno upravljanje branama. Prikazane su inercijalne mjerne jedinice i način njihovog postavljanja na branu kao i povezivanje sa SCADA sistemom. Ovakav vid monitoringa sa SCADA sistema je od izuzetnog značaja, jer će krajnjem korisniku uvijek biti dostupan položaj brane, što je jako bitno znajući kakve posljedice mogu izazvati vibracije u samoj brani.

Prikazana su neka rješenja, u ovoj oblasti firme Elkon, na relativno složenim projektima realizovanim sa partnerima širom svijeta. Tim inženjera Elkon-a je razvio sisteme automatskog upravljanja branama od faze projektovanja preko izrade upravljačkih ormara, aplikativnih softvera do podešavanja i puštanja u rad na terenu. Posebno je istaknut projekat sistema za mjerenje vibracija i oblika brane, koji predstavlja primjer učešća inženjera Elkon-a u razvoju novog rješenja sa razvojnim timovima drugih svjetskih kompanija.

## LITERATURA

1. <http://www.dyrhoff.co.uk/>
2. Yonghui Hu, Christos Efstratiou, Young Yan, Davide Vela-Orte, "Quantitative Shape Measurement of An Inflatable Rubber Dam Using Inertial Sensors", IEE Instrumentation and Measurement prior to acceptance and publication
3. Norhafizan Ahmad, Raja Ariffin Raja Ghayila, Nazirah M. Khairi, "Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications", International Journal of Signal Processing Systems Vol. 1, No. 2 December 2013.



# KVALITET INTERNETSKE GOVORNE VEZE - FAKTORI DEGRADACIJE

**Aleksandar Lebl**  
**Žarko Markov**  
**Dragan Mitić**  
IRITEL a.d. Beograd

## KRATAK SADRŽAJ

U ovom radu prikazani su glavni faktori koji utiču na degradaciju kvaliteta Internetske govorne veze. Ti faktori su brojni, a posebna pažnja u radu posvećena je onim najvažnijim: kašnjenju, džiteru kašnjenja, gubitku paketa, nadoknadi izgubljenih paketa, ehui primeni raznovrsnih koderai kompresora. Detaljno je analiziran E-model - proračunski postupak za određivanje kvaliteta Internetske govorne veze. Posebno je prikazana primena E-modela u mrežama sa više čvorova, što je najveći doprinos ovog rada. Date su osnovne smernice za očuvanje kvaliteta Internetske govorne veze kao uputstvo za projektovanje. Na kraju, primena E-modela ilustrovanaje na nekoliko praktičnih projektantskih primera, prvenstveno vezanih za Internetsku mrežu u Elektroprivredi.

**Ključne reči:** Kvalitet Internetske govorne veze, E-model, Gubitak paketa, Kašnjenje paketa, Koder/kompresor.

## 1. UVOD

Kvalitet paketske telefonije u širem smislu se odnosi na sve faze telefonske veze. Tu se, pre svega, misli na kvalitet govornog signala tj. na razliku ovog signala između odredišta i izvora [1]. Karakteristike slanja govornog signala preko Interneta uslovljene su uticajem čitavog niza činilaca, koji su bili nepoznati u klasičnoj telefoniji, ili je njihov uticaj bio daleko manje izražen nego kod prenosa preko Interneta. Ti činoci su brojni: primena raznovrsnih tipova koderai kompresora), formiranje paketa koji udružuju veći broj kodovanih odbiraka signala, kašnjenje paketa, džiter kašnjenja paketa, gubitak paketa, postupak nadoknade izgubljenih paketa, odjek u vezi, itd. Među ovim činociama značajan je uticaj kašnjenja paketa, verovatnoće gubitka paketa i odjeka. Uticaj ovih činilaca, kao i drugih ovde prethodno pomenutih, je takav da se njihov efekat sabira, dovodeći zajedničkim dejstvom do umanjenja kvaliteta veze. Ako jedan činilac znatno umanjuje kvalitet veze, drugi (ili ostali) činoci ne smeju značajnije umanjivati kvalitet

veze [2].

Kvalitet prenosa u Internet telefoniji određuje se objektivnim, subjektivnim i proračunskim metodama. Objektivni metodi se zasnivaju na merenju fizičkih veličina vezanih za prenos govornog signala (snaga signala, snaga šuma, kašnjenje signala, signal odjeka, itd). Subjektivne metode daju ocenu kvaliteta na osnovu mišljenja korisnika. Za sprovođenje subjektivnog ocenjivanja potrebno je imati i dovoljno veliki skup ocenjivača i dovoljno veliki skup različitih govornika. Proračunske metode se zasnivaju na poznatim ocenama koje su utvrđene više puta i smatraju se dovoljno pouzdanim tako da se u oceni uzimaju kao veličina koja umanjuje kvalitet za neki deo.

U ovome radu bavimo se proračunskim metodama za procenu kvaliteta Internet veze. Proračuni se baziraju na primeni E-modela koji je definisan ITU-T preporukama [3]. Osnovno svojstvo postupka ocene kvaliteta prenetog telefonskog signala je objedinjena ocena kvaliteta koja uzima u obzir sasvim različite uticaje: šumove, odjek, kašnjenje, kompresiju, itd, pa čak i neke psihološke činioce kao što je očekivanje delotvornosti veze. Ovaj model ima poseban značaj u ocenjivanju savremenih paketskih telefonskih veza jer uzima u obzir delove digitalne obrade signala kao što su koderi, kompresori, potiskivači tišine i odjeka, postupci nadoknade izgubljenih poziva i sl.

## 2. PRORAČUN KVALITETA INTERNETSKE GOVORNE VEZE E-MODELOM

Osnovu E-modela čini referentni model telefonske veze i usvojene vrednosti veličine uticaja pojedinih činilaca na kvalitet telefonske veze. Rezultat primene E modela je ocena kvaliteta prenetog telefonskog signala planiranom vezom od početka do kraja (od usta do uha). Ova ocena je veoma pogodna zato što je razumljiva i ekspertima i korisnicima, za razliku od objektivnih ocena koje su razumljive samo ekspertima. Osnovni element u proračunu kvaliteta govorne veze predstavlja svojstvo da se svaki uticaj na telefonsku vezu može predstaviti bezdimenzionim brojem i da se ovi brojevi mogu sabirati i oduzimati, dajući zbirnu ocenu kvaliteta telefonskog signala na prijemnoj strani zamišljene veze. Dakle, za razliku od objektivnih kriterijuma gde svaka fizička veličina ima svoju specifičnu dimenziju tako da nije moguće dimenzionisati njihov zajednički uticaj, dimenzije veličina kod E-modela su jedinstvene i fizički različiti uticaji mogu se sabirati. To, dalje, znači da se E-model vrlo efektno može koristiti za planiranje internetske telefonske mreže: na primer, u kratkim vezama, gde je kašnjenje malo, može se dozvoliti veći gubitak paketa a da kvalitet veze ostane u prihvatljivim granicama.

Kod primene E-modela za proračun kvaliteta Internetske veze, cilj je da se izračuna ukupni činilac dobrote (Rating factor, R). Jednačina koja se koristi da se odredi R glasi:

$$R = R0 - I_s - I_d - I_e + A \quad (1)$$

gde je:

$R0$  - kvalitet idealne veze umanjen za osnovni šum prostorije govornika i osnovni šum kola. Ova vrednost se uzima da je oko 94 i smatra se da predstavlja kvalitet lokalne ISDN veze u kojoj su svi drugi činioći degradacije kvaliteta zanemarljivi. Šumovi koji umanjuju kvalitet veze su oni stvoreni u kolima kojima je ostvarena veza, te šum prostorija na predajnoj i prijemnoj strani;

$I_s$  - činilac koji objedinjuje istovremene ometajuće pojave, kao što su odstupanja korisničkih strana od standardnih vrednosti, preveliki uticaj sopstvenog glasa govornika i šum kvantizacije;

$I_d$  - činilac koji iskazuje uticaj kašnjenja govornog signala i odjeka (kod govornika i kod slušaoca) na umanjenje kvaliteta veze;

$I_e$  - činilac koji iskazuje uticaj kompresora, gubitka paketa i postupaka nadoknade paketa;

$A$  - činilac unapređenja kvaliteta veze koji je psihološki činilac i pokazuje subjektivni osećaj poboljšanja veze ukoliko se očekuje loša veza ili se ne očekuje njeno ostvarenje.



Među ovim činiocima  $I_s$ ,  $I_d$  i  $I_e$  umanjuju kvalitet veze a samo činilac  $A$  može povećati kvalitet veze. Ovaj činilac nema utemeljenje u tehničkim uzrocima već su uzroci psihološki. Preporučene vrednosti činioca  $A$  zavise od uslova u kojima se ostvaruje veza i najviše iznosi  $A=20$  u slučaju da se veza ostvaruje do teško dostupnih područja.

Korespodencija između dobijenih vrednosti  $R$  i zadovoljstva korisnika je sledeća:

- $90 \leq R \leq 94$  - korisnici vrlo zadovoljni;
- $80 \leq R < 90$  - zadovoljavajući kvalitet veze;
- $70 \leq R < 80$  - neki korisnici nezadovoljni;
- $60 \leq R < 70$  - mnogi korisnici nezadovoljni;
- $50 \leq R < 60$  - granični slučaj;
- $0 < R < 50$  - nezadovoljavajući kvalitet veze.

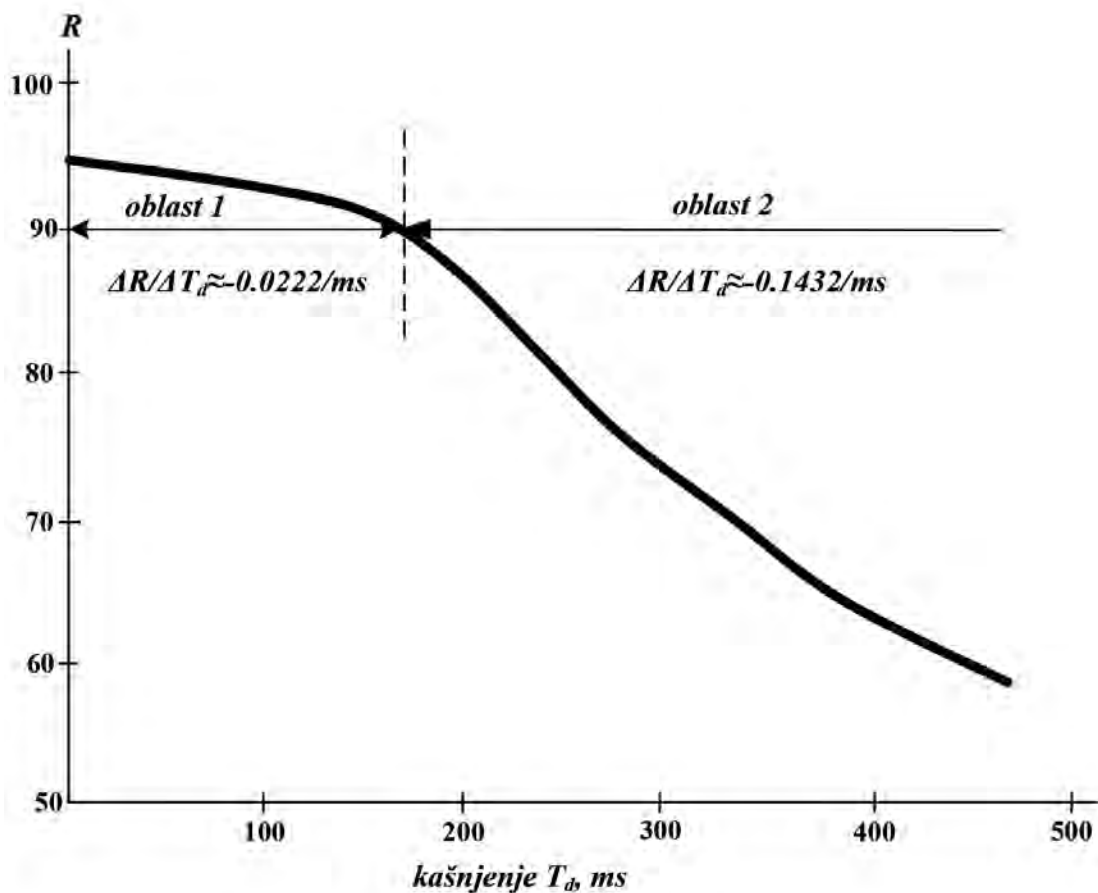
## 3. FAKTORI KOJI UMANJUJU KVALITET GOVORNE VEZE

### 3.1. KAŠNJENJE I DŽITER KAŠNJENJA

Kašnjenje (delay) u telefonskoj tehnici je vremenski interval između trenutka kada govornik izgovori reč i trenutka kada je slušalac čuje. Kašnjenje u paketskim mrežama se razlikuje od kašnjenja u klasičnim telefonskim mrežama po broju uzroka, po mestu nastanka i vrednosti. Od zanemarljivog činioca u klasičnim mrežama kašnjenje je postalo ključni činilac kvaliteta paketskih telefonskih veza.

Kašnjenje je jedno od svojstava paketskih telefonskih mreža koje, praktično, nije postojalo u klasičnim telefonskim tehnikama. U klasičnim tehnikama kašnjenje je imalo veličinu uporedivu sa veličinom vremena prostiranja (propagation time).

U jednoj internetskoj govornoj vezi praktično svi elementi obrade signala mogu uticati na pojavu kašnjenja. Na polaznoj strani veze izvori kašnjenja su koder - kompresor, paketizer, polazni bafer i primena algoritma čiji je cilj da se otkriju pauze u govoru (voice activity detection - VAD). U paketskoj mreži izvor kašnjenja su polazni i dolazni periferijski i magistralni ruter, kao i konačna brzina prostiranja signala na polaznom i dolaznom periferijskom i magistralnom linku. Što se tiče kašnjenja u ruterima, ono nastaje zbog toga što se pravac upućivanja određuje za svaki paket posebno. Najveće je za prvi poslati paket jedne govorne veze, dok se za upućivanje ostalih paketa koristi već određena putanja. Pri tome je izvor kašnjenja i činjenica da se putanja određuje i za pakete mnogih drugih veza i službi, a ti paketi mogu imati viši prioritet u prenosu. Što se tiče fizičke brzine prostiranja signala na linku, trajanje samog paketa poruke (serialization time) takođe doprinosi kašnjenju usled prostiranja signala. Na dolaznoj strani kašnjenju doprinose bafer za izgladivanje džitera kašnjenja, dekodeer i primena algoritma za nadoknadu izgubljenih paketa.



Slika 1. Kvalitet govornog signala u zavisnosti od kašnjenja paketa

Tipična karakteristika kvaliteta govornog signala ( $R$ ) u zavisnosti od kašnjenja prenosa paketa prikazana je na Slici 1. Za ovakav prikaz zanemaren je uticaj svih ostalih faktora koji utiču na kvalitet veze. Na slici se uočavaju dve oblasti: prva do kašnjenja od 180ms gde je mali pad  $R$  i druga oblast za kašnjenja veća od 180ms, gde je taj pad znatno izraženiji. Interesantno je napomenuti da za kašnjenja veća od 50ms govorniku počinje da smeta sopstveni odjek dok za kašnjenja preko 250ms govornici počinju istovremeno da govore misleći da sagovornik sluša.

Džiter (jitter) kašnjenja predstavlja razliku najmanje i najveće vrednosti vremena kašnjenja. Uzroci džitera su različiti putevi različitih paketa, vremenski promenljivo opterećenje mrežnih tačaka i zagušenje delova mreže. Na mestu prijema se mora uspostaviti jednak vremenski odnos paketa tj. kašnjenje treba da se izgladi. To se može postići samo dodatnim zakašnjenjem svih paketa kako bi se dostiglo kašnjenje paketa sa najvećim kašnjenjem. Ovo se najjednostavnije realizuje u baferu za izgladivanje džitera (de-jitter buffer). Međutim, ovakav pristup ima dva nedostatka: 1. izgladivački bafer koji bi eliminisao sva kašnjenja u mreži bio bi isuviše velik; 2. kašnjenje paketa na prijemu bi bilo preveliko. Zbog toga se obično usvaja optimalna veličina kašnjenja u izgladivačkom baferu i paketi sa većim kašnjenjem od ovog se odbacuju kao suviše zakasneli (late and lost packets). Kao optimalna vrednost kašnjenja izgladivačkog bafera kod projektovanja mreže najčešće se uzima vrednost pri kojoj se odbacuje 0.1% paketa, tj. 0.1% paketa ima veće kašnjenje od optimalnog.

Kod projektovanja mreže u odnosu na kašnjenje polazi se od grafika na Slici 1. Na osnovu željenog kvaliteta veze sa grafika na Slici 1 nalazi se ukupna vrednost kašnjenja (tzv. budžet kašnjenja). Zadatak projektanta je da ovo ukupno kašnjenje rasporedi na pojedine elemente paketske mreže.

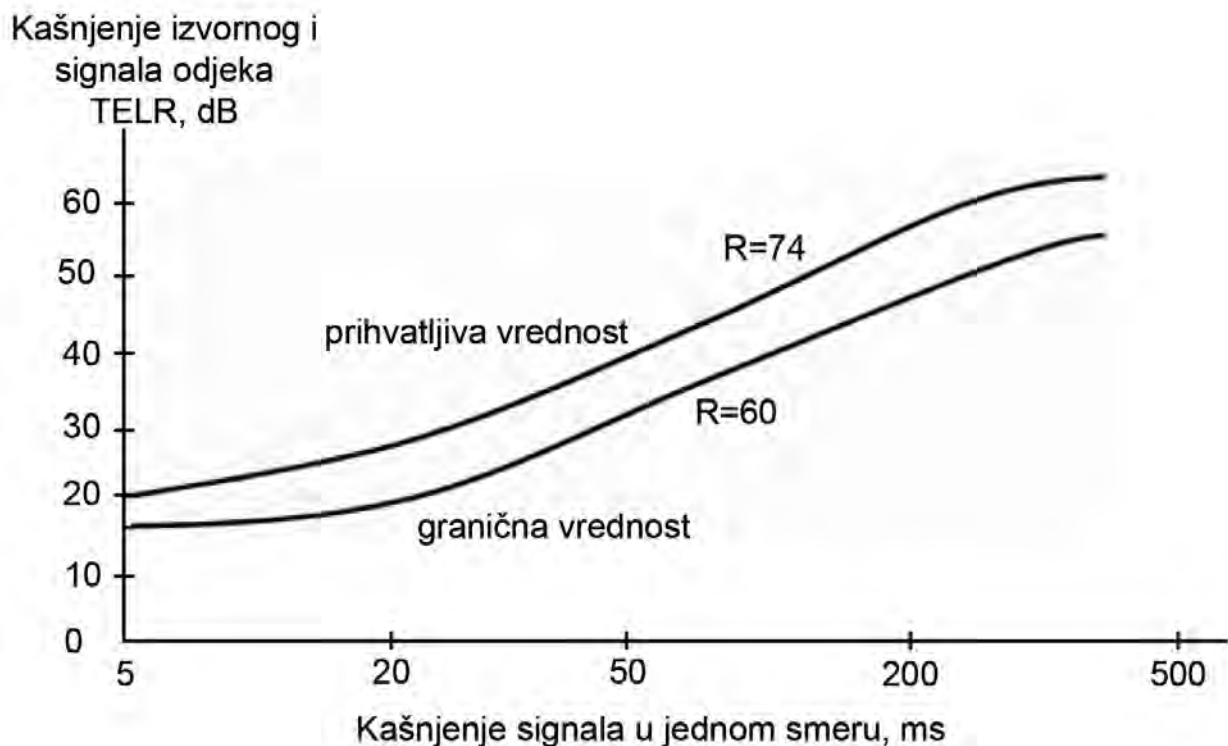
## 3.2. ODJEK

Odjek (echo) je ometajuća pojava kada govornik ili slušalac čuju ponovljeni signal. Javlja se i u klasičnim telefonskim mrežama (analognim i digitalnim), ali nije od značaja s obzirom da je posledica uglavnom vremena prostiranja signala koje u zemaljskim vezama ne može da dostigne graničnu vrednost od 50ms. S obzirom na značajan broj izvora kašnjenja u internetskim vezama, odjek dobija na značaju.

Dva osnovna svojstva smetnje zbog odjeka su:

1. Smetnja zbog odjeka je direktno zavisna od snage signala odjeka tj. obrnuto zavisna od razlike snaga primarnog signala i signala odjeka, pri konstantnom kašnjenju;
2. Smetnja zbog odjeka je direktno zavisna od vremena kašnjenja odjeka za primarnim signalom ako je snaga signala odjeka konstantna.

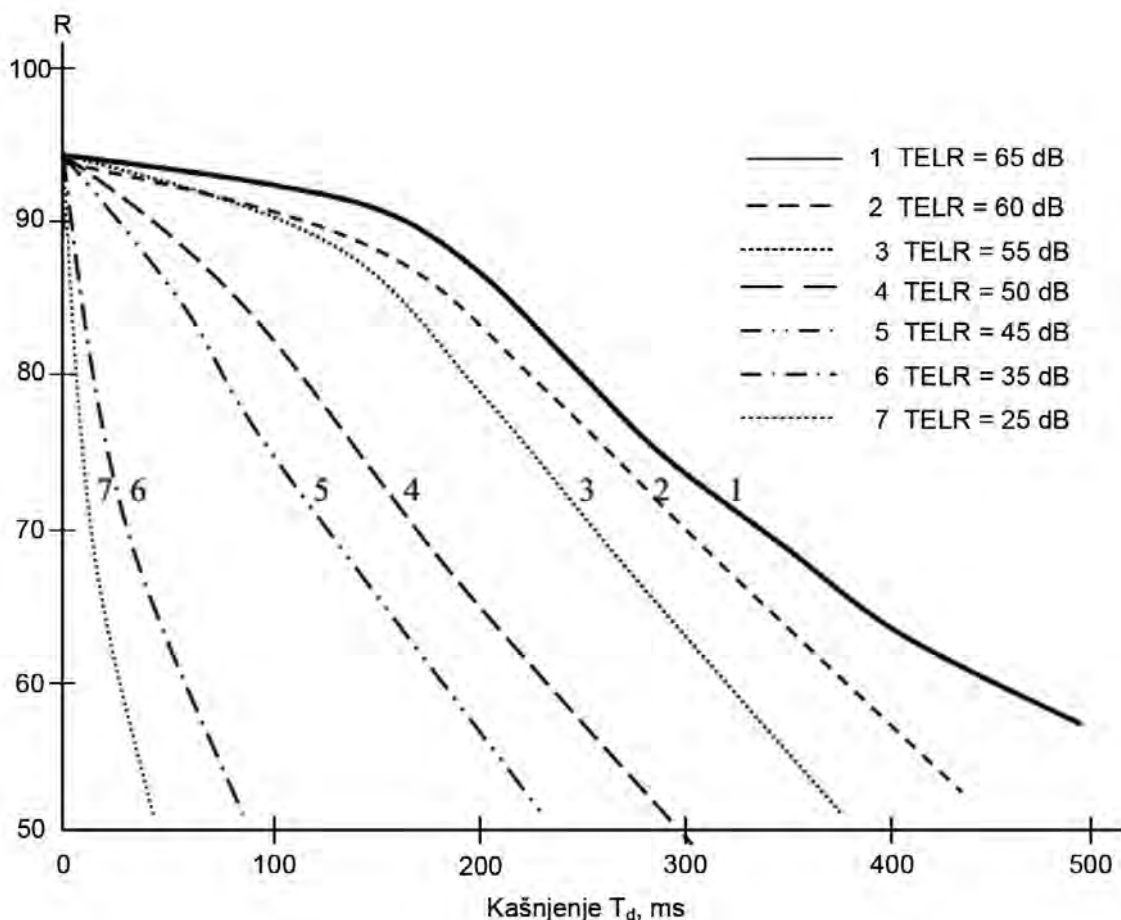
Ove zavisnosti su takve da se jedna veličina može povećati a druga smanjiti, a da ometajući efekat ostane isti. Odnosno, postoje parovi vrednosti signala odjeka i kašnjenja koji izazivaju isti efekat. Ovo je prikazano na Slici 2 [4]. Sa ovih slika moguće je očitati vrednosti parova veličina: a) razlika nivoa izvornog signala i signala odjeka (Talker Echo Loudness Rating - TELR); b) kašnjenje signala u jednom smeru, a da se dobije ista vrednost kvaliteta govornog signala (R). Grafici su dati za vrednosti  $R=74$  (što je prihvatljiva vrednost kvaliteta govornog signala kada 1% govornika oseća primetan eho) i za  $R=60$  (što je granična vrednost ispod koje se smatra da kvalitet veze ne zadovoljava). Valja napomenuti da je kod grafika na Slici 2 u obzir uzet samo uticaj odjeka kao faktora degradacije kvaliteta veze.



Slika 2. Kvalitet govornog signala u zavisnosti od kašnjenja paketa

Grafika na Slici 3. prikazuje zajednički uticaj odjeka i kašnjenja na činilac dobrote (R) na prijemu. Vrednost TELR je parametar na ovoj slici. Za vrednosti  $TELR=25$  i  $TELR=35$  moguće je sasvim malo kašnjenje a da R ima još prihvatljivu vrednost, tako da ove vrednosti TELR ne obezbeđuju praktično zadovoljavajući kvalitet veze. Nasuprot tome, karakteristika za  $TELR=65$ dB je približno jednaka karakteristici na Slici 1, odnosno u tom slučaju odjek praktično ne utiče na kvalitet veze.

Postupci koji se koriste za smanjenje odjeka su prigušenje odjeka (echo suppressor) i poništavanje odjeka (echo canceller). Cilj primene ova dva postupka je da se postigne vrednost odjeka što približnija  $TELR=65$ dB. U slučaju da to nije moguće, potrebno je da bude bar  $TELR \geq 52$ dB.



Slika 3. Zajednički uticaj kašnjenja i odjeka na kvalitet veze

### 3.3. UTICAJ KODERA I KOMPRESORA NA KVALITET GOVORNOG SIGNALA

Koderi i kompresori umanjuju kvalitet govorne veze po dva osnova. Prvi je baziran na samom primenjenom algoritmu obrade signala, dok je drugi vezan za dodatno kašnjenje koje unosi primena koder/kompresora.

Vrednosti umanjenja kvaliteta govorne veze ( $I_c$ ) prikazane su u Tabeli I [5]. Prikazane vrednosti odnose se na jedan postupak kodovanja - dekodovanja odnosno komprimovanja - dekomprimovanja. Među ovim koderima/kompresorima najčešće je korišćen G.711, a pored toga G.723.1 i G.729. Ova tabela ne sadrži kodere/kompresore koji se koriste pri prenosu signala mobilne telefonije preko Interneta.

Tabela II prikazuje kašnjenja paketa kod primene pojedinih koder/kompresora. U ovoj tabeli  $T_0$  je vreme obrade odsečka govornog signala, dok je  $T_{1a}$  vreme koje se utroši na upoznavanje svojstava sledećeg govornog odsečka da bi komprimovani signal bio što verniji. Ukupno polazno kašnjenje nalazi se u granicama između  $2T_0 + T_{1a}$  i  $3T_0 + T_{1a}$ . Ovako dobijene granične vrednosti prikazane su zatim u poslednje dve kolone Tabele II.



Tabela I: Umanjenje kvaliteta govorne veze kod primene različitih kodera

Koder	Protok, kb/s	Umanjenje kvaliteta, I <sub>e</sub>
G.711	64	0
G.726, G.727	40	2
G.721, G.726, G.727	32	7
G.726, G.727	24	25
G.726, G.727	16	50
G.728	16	7
G.728	12,8	20
G.729	8	10
G.729A+VAD	8	11
G.723.1	6,3	15
G.723.1	5,3	19

Tabela II: Kašnjenja za pojedine tipove kodera/kompresora

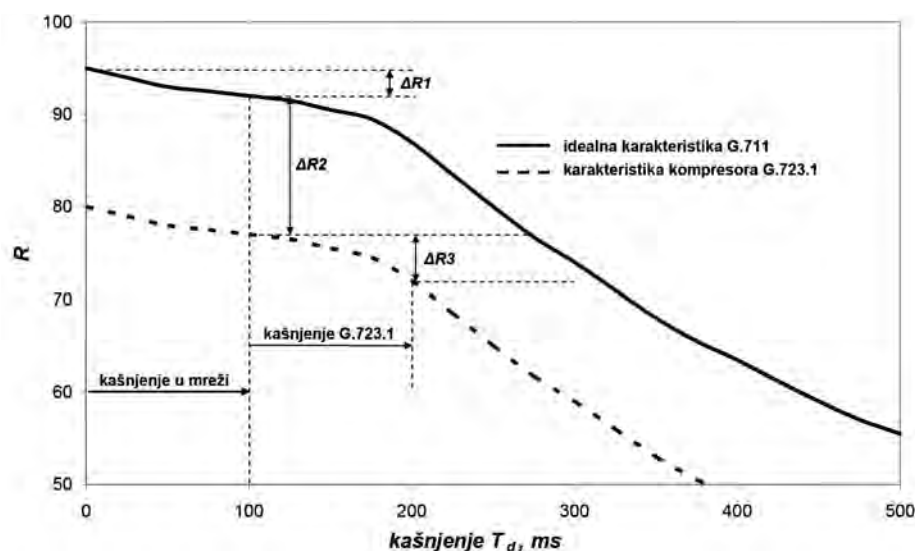
Koder	Protok, kb/s	T <sub>o</sub> ms	T <sub>la</sub> ms	Polazno kašnjenje, ms	
				od	do
G.711	64	0,125	0	0,25	0,375
G.726, G.727	40	0,125	0	0,25	0,375
G.721, G.726, G.727	32	0,125	0	0,25	0,375
G.726, G.727	24	0,125	0	0,25	0,375
G.726, G.727	16	0,125	0	0,25	0,375
G.728	16	0,625	0	1,25	1,875
G.728	12,8	0,625	0	1,25	1,875
G.729	8	10	5	25	35
G.723.1	6,3	30	7,5	67,5	97,5
G.723.1	5,3	30	7,5	67,5	97,5

Proračun umanjena kvaliteta veze zbog primene kompresora prikazan je na Slici 4. Ilustracija se odnosi na kompresor G.723.1. U ovom slučaju degradaciju kvaliteta veze izazivaju:

kašnjenje u mreži → umanjene kvaliteta  $\Delta R1$ ;

algoritam obrade signala u kompresoru → umanjene kvaliteta  $\Delta R2$ ;

kašnjenje zbog primene samog kompresora → umanjene kvaliteta  $\Delta R3$ .



Slika 4. Primer proračuna umanjena kvaliteta veze kod primene G.723.1 kompresora

### 3.4. UTICAJ GUBITKA PAKETA NA DEGRADACIJU KVALITETA VEZE

Gubitak paketa predstavljaju oni paketi koji uopšte ne stignu do odredišta, stignu oštećeni ili stignu suviše kasno. Uzrok gubitka paketa može biti:

1. Zagušenje u mreži, u tom slučaju mrežni čvorovi eliminišu neke pakete kako bi se zagušenje smanjilo;
  2. Previše zakasneli paketi tako da se ne može zadovoljiti rad sistema u realnom vremenu, ovi paketi su praktično izgubljeni (late and lost packets);
  3. Kvarovi u paketskoj mreži kao i proces preusmeravanja pri upućivanju paketa.
- Umanjenje kvaliteta govorne veze usled gubitka paketa može se izraziti formulom [3]:

$$I_{e-eff} = I_e + \frac{(95 - I_e) \times P_{pl}}{B_{pl} + \frac{P_{pl}}{BurstR}} \quad (2)$$

gde je značenje pojedinih promenljivih:

$I_{e-eff}$  - efektivni činilac umanjena kvaliteta veze. To je vrednost  $I_e$  iz Tabele I korigovana zbog uticaja gubitka paketa;

$P_{pl}$  - verovatnoća gubitka paketa (u procentima);

BurstR - faktor grupisanosti, prikazuje uticaj grupnih gubitaka paketa. Vrednost ovog faktora za slučajne gubitke paketa je 1;

$B_{pl}$  - faktor robustnosti, koji predstavlja otpornost na gubitke paketa, vrednost specifična za svaki kod-er/kompresor.

Neke karakteristične vrednosti  $B_{pl}$  za pojedine vrste kodera/kompresora prikazane su u Tabeli III.

Tabela III: Vrednosti faktora robustnosti ( $B_{pl}$ ) za pojedine kodere/kompresore

Vrsta kodera ili kompresora	G.729+VAD	G.723.1+VAD	G.711	G.711+PLC
Otpornost na gubitak paketa ( $B_{pl}$ )	19	16,1	4,3	25,1

Kao posledica uticaja faktora  $I_{e-eff}$  umesto  $I_e$  dolazi i do promene u jednačini (1) i ona sada glasi:

$$R = R0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A \quad (3)$$

U slučaju slanja govornih paketa ne vrši se retransmisija govornih paketa, jer dobitak na kvalitetu zbog ponovljenog prenosa pogrešno primljenih paketa bio bi anuliran (ili čak više od toga) zbog prevelikog kašnjenja.

Mere koje se preduzimaju radi umanjena uticaja gubitka paketa dele se na one koje umanjuju verovatnoću gubitka paketa i na one koje vrše nadoknadu izgubljenih paketa. Prvi način za smanjenje posledica gubitka paketa je grupisanje nesusednih uzoraka signala u jedan paket (prvi paket sadrži uzorke 1 i 3, a drugi uzorak 2 i 4). Kako se to može i zaključiti iz (2), gubitak ovakvog paketa, koji sadrži nesusedne uzorke govornog signala, ostavlja manje posledice na kvalitet nego gubitak susednih uzoraka jer BurstR ima manju vrednost (1 umesto 2).

Drugi način za umanjeno uticaja gubitka paketa je preventivno višestruko slanje uzoraka govora. U slučaju da se uzorak govora šalje n puta, dozvoljen je gubitak n-1 paketa a da se sadržaj signala još uvek ispravno prenese.

Mere nadoknade izgubljenih paketa (Packet Loss Concealment - PLC) na prijemu mogu biti manje ili više složene. Najjednostavnija mera je ponavljanje poslednjeg paketa umesto nedostajućeg. Ova mera zadovoljava kod gubitka pojedinačnih paketa ali ne i kod gubitka uzastopnih paketa. Složenije mere se

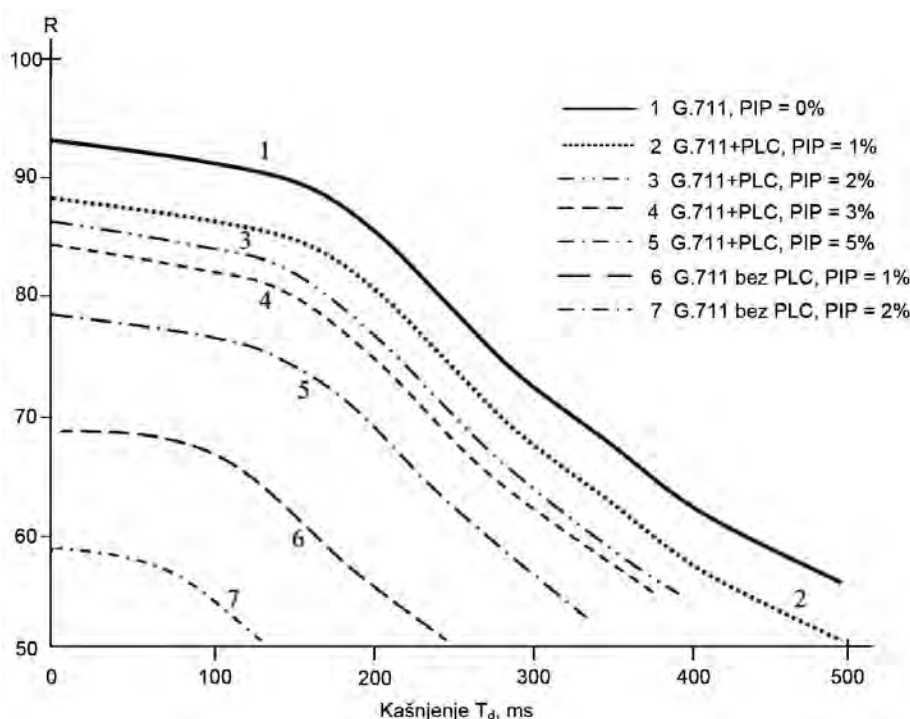
sastoje u proceni svojstava govornog signala u toku njegovog trajanja. Ova svojstva se čuvaju za period neposredne prošlosti. U slučaju gubitka paketa moguće je, na osnovu ovih svojstava, sintetizovati izgubljene uzorke govora. Kada pravi paketi ponovo počnu da stižu na određite potrebno je izvršiti postepeni prelaz sa sintetizovanog govora na pravi. Postupak PLC unosi dodatno kašnjenje (tipično 5ms). Izuzetak je ponavljanje prethodnog paketa koje ne unosi dodatno kašnjenje.

Doprinos postupka PLC najbolje se može ilustrovati na primeru G.711 koder prema Tabeli IV [6]. Vrednosti u tabeli IV mogu se (preciznije) dobiti i proračunom na osnovu (2). Bez primene PLC kvalitet signala postaje nezadovoljavajući u slučaju da je verovatnoća gubitka paketa 5% ( $I_{e-eff}$  dostiže 55). U slučaju da se koristi PLC, može se dozvoliti gubitak paketa reda 10-15%, pri čemu podaci u tabeli ilustruju da je bolji kvalitet veze kad su gubici paketa slučajni nego kad su grupisani, a za istu verovatnoću gubitaka paketa.

Tabela IV: Umanjenje kvaliteta veze za G.711 koder sa i bez PLC

Procenat izgubljenih paketa (PIP)	$I_{e-eff}$ G.711 bez PLC	$I_{e-eff}$ G.711 sa PLC slučajni gubici	$I_{e-eff}$ G.711 sa PLC grupisani gubici
0	0	0	0
1	25	5	5
2	35	7	7
3	45	10	10
5	55	15	30
7		20	35
10		25	40
15		35	45
20		45	50

Zajednički uticaj kašnjenja i gubitka paketa na kvalitet veze za G.711 koder prikazan je na Slici 5. Može se uočiti da pri verovatnoći gubitka paketa (procenat izgubljenih paketa - PIP) od samo 2%, kvalitet veze postaje nezadovoljavajući ako ne postoji PLC. PLC poboljšava kvalitet veze za  $\Delta R \approx 20$  pri verovatnoći gubitka paketa 1% i za  $\Delta R \approx 28$  pri verovatnoći gubitka paketa 2%.



Slika 5. Uticaj kašnjenja i gubitka paketa na kvalitet veze za G.711 koder

## 4. PRORAČUN KVALITETA VEZE ZA MREŽU SA VIŠE ČVOROVA

Osnovni proračun kvaliteta veze baziran je na formuli (2). U slučaju da imamo mrežu sa  $n$  čvorova, potrebno je odrediti kolika je verovatnoća gubitka paketa u njoj. Mi ćemo pretpostaviti da je verovatnoća gubitka paketa u svakom čvoru jednaka i da iznosi  $P_{pl1}$ .

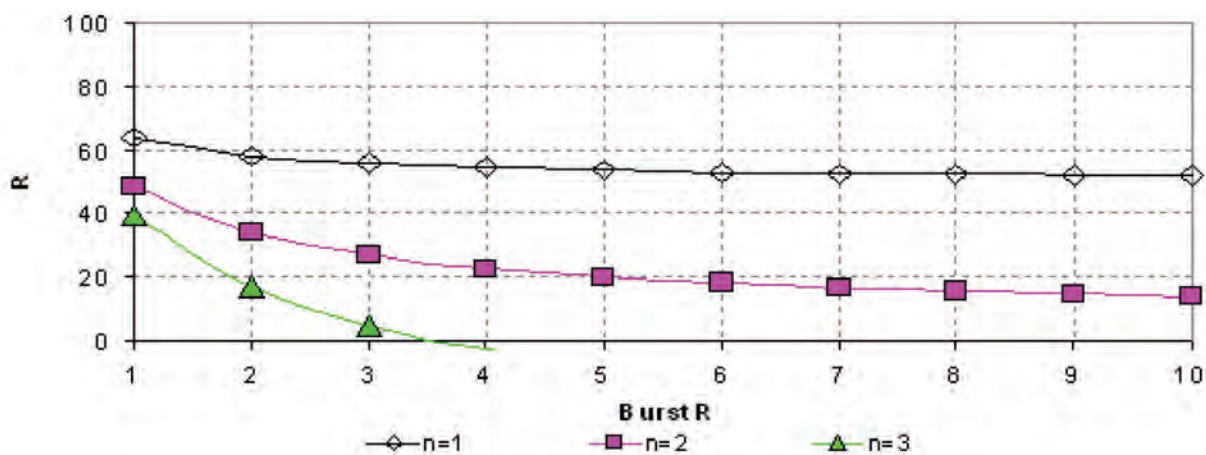
Poruka neće biti izgubljena u mreži sa dva čvora ukoliko uspešno prođe kroz oba čvora. Prema tome, verovatnoća gubitka paketa u mreži sa dva čvora iznosiće:

$$P_{pl}(2) = 1 - (1 - P_{pl1}) \cdot (1 - P_{pl1}) = 1 - (1 - P_{pl1})^2 \quad (4)$$

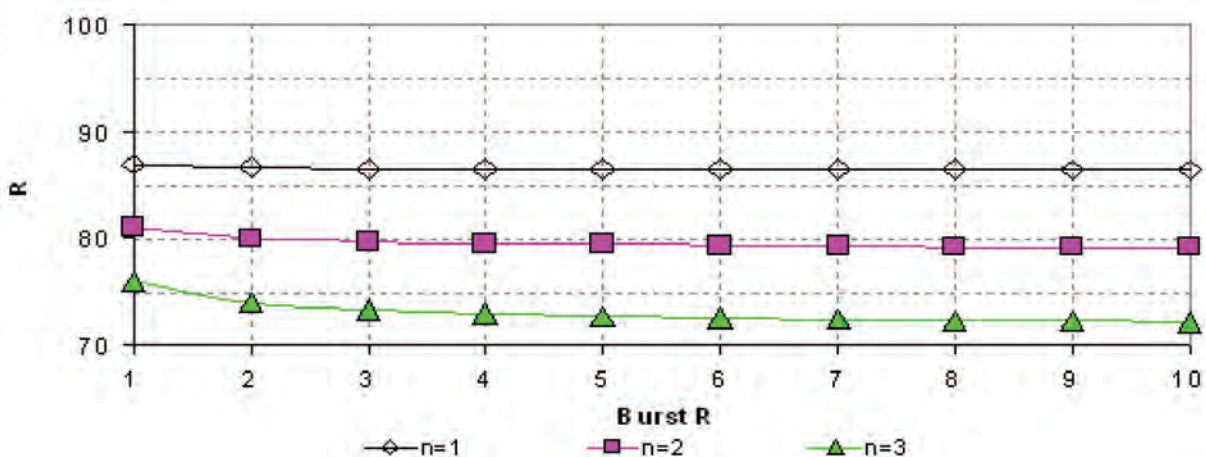
odnosno kad imamo  $n$  čvorova:

$$P_{pl}(n) = 1 - (1 - P_{pl1})^n \quad (5)$$

Na Slikama 6 i 7 prikazana je zavisnost činioca dobreće ( $R$ ) od faktora grupisanosti paketa ( $BurstR$ ) za G.711 koder bez nadoknade izgubljenih paketa (Slika 6) i sa nadoknadom izgubljenih paketa (Slika 7). Grafici su nacrtani za slučaj kada je gubitak paketa u jednom čvoru  $P_{pl1} = 2\%$ . Parametar na ovim graficima je broj čvorova ( $n$ ). Grafici na ovim slikama su dobijeni koristeći formule (2), (4) i (5).



Slika 6. Činilac dobreće ( $R$ ) u funkciji faktora grupisanosti paketa ( $BurstR$ ) za verovatnoću gubitka paketa u jednom čvoru  $P_{pl1} = 2\%$  i  $n = 1, 2$  i  $3$  čvora u slučaju primene G.711 kodera bez nadoknade izgubljenih paketa



Slika 7. Činilac dobreće ( $R$ ) u funkciji faktora grupisanosti paketa ( $BurstR$ ) za verovatnoću gubitka paketa u jednom čvoru  $P_{pl1} = 2\%$  i  $n = 1, 2$  i  $3$  čvora u slučaju primene G.711 kodera sa nadoknadom izgubljenih paketa



## 5. OSNOVNA PRAVILA OČUVANJA KVALITETA GOVORNE VEZE U INTERNETSKOJ TELEFONIJI

Koristeći osnovne zaključke ovoga rada, mogu se postaviti osnovna pravila za projektovanje Internetske mreže:

1. Koristiti koder G.711 jer on ima najmanje vrednosti  $I_e$  činilaca i ostavlja mogućnosti za najveće kašnjenje kroz mrežu a da se pri tome održi kvalitet.
2. Treba težiti što kratkotrajnijim odsečcima govornog signala.
3. Treba prenositi jedan govorni odsečak u jednom paketu.
4. Što više smanjiti kašnjenje izgladivačkog (de-jitter) bafera.
5. Težiti što manjem kašnjenju od govornika do slušaoca.
6. Koristiti rezultate koje daje E - model.
7. Koristiti sve tehnike prioritnog upućivanja govornih paketa.
8. Koristiti fragmentaciju u prenosu ostalih podataka, u cilju smanjenja čekanja tj. kašnjenja govornih paketa.
9. Kodere različite od G.711 tj. kompresore koristiti jedino ako propusnost linkova to zahteva - danas sve manje aktuelno.
10. Održavati procenat izgubljenih paketa ispod 1%.
11. Koderima G.711 obavezno pridruživati PLC-ove.

## 6. KVALITET U OSTVARIVANJU VEZE

Kvalitet u ostvarivanju veze podrazumeva verovatnoću uspostave (ili neostvarivanja) veze i brzinu uspostave veze. Pri tome ova karakteristika u Internetskoj mreži ne sme zaostajati za zahtevima postavljenim za sisteme klasične telefonije [7].

Što se tiče verovatnoće neostvarivanja veze, u klasičnoj telefoniji dozvoljena je verovatnoća blokade 0,005 za lokalne veze, 0,01 za veze u nacionalnoj mreži i 0,05 za međunarodne veze [8]. Preporuke za brzinu uspostave veze date su kroz dve vrednosti vremena za koje treba da se završi neka faza uspostave veze. Jedna je najveća srednja vrednost vremena neke faze ( $t_{mean}$ ) a druga je najveća vrednost vremena u kome će bar 95% zahteva biti usluženo ( $t_{0,95}$ ). Preporučene vrednosti za pojedina vremena date su u Tabeli V i to posebno za lokalnu vezu, za vezu u nacionalnoj mreži i za međunarodne veze [8]. Date su vrednosti za vreme od završetka biranja do kontrole poziva (post selection delay - PSD), vreme od javljanja traženog korisnika do trenutka kad se ovo registruje na pozivajućoj strani (answer signal delay - ASD) i vreme od prekidanja veze do trenutka kada se to registruje (release signal delay - RSD). Smatra se da ovi zahtevi, koji su postavljeni za sisteme klasične telefonije, treba da budu zadovoljeni i za Internetske sisteme.

Tabela V: Brzina realizacije pojedinih faza veze:

Vreme od biranja do signala uspešnog biranja (post selection delay) - PSD;

Kašnjenje signala odgovora (answer signal delay) - ASD;

Kašnjenje signala prekida veze (release signal delay) - RSD.

Vrsta veze	PSD		ASD		RSD	
	$t_{mean}$ (s)	$t_{0,95}$ (s)	$t_{mean}$ (s)	$t_{0,95}$ (s)	$t_{mean}$ (s)	$t_{0,95}$ (s)
Lokalna	0,5	1	0,2	0,4	0,1	0,2
nacionalna	1	2	0,4	0,8	0,1	0,2
međunarodna	2	4	0,8	1,5	0,1	0,2

## 7. PRIMERI PRORAČUNA KVALITETA VEZE

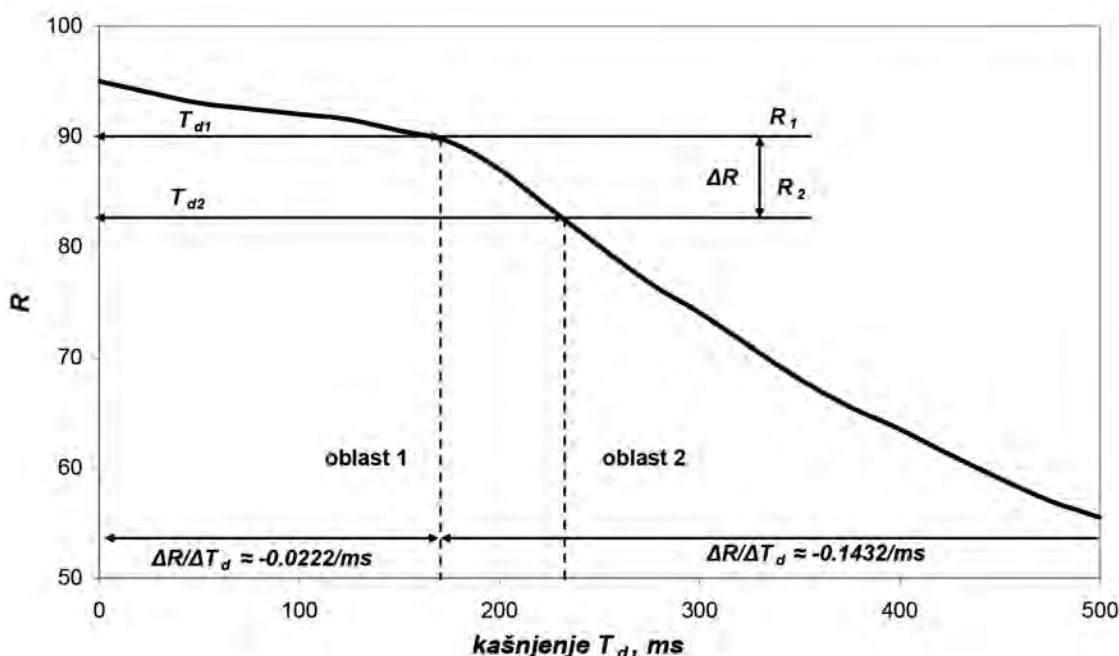
Postupak proračuna kvaliteta govorne veze koji je prikazan u ovom radu može se primeniti u mnogim slučajevima. Jedno moguće mesto primene je za proračun kvaliteta veze u telefonskoj mreži Elektroprivrede [9], [10]. Specifičnost mreže Elektroprivrede je pojava dugotrajnih smetnji kao posledica manipulacija na energetske opremi. Smetnje trajanja 50ms ili i više nisu ovde neobične, a mogu ići i do nekoliko stotina ms. Iz tog razloga potrebno je primeniti paketizaciju govornog signala u duže segmente od 10ms, kako se to obično radi u drugim tipovima mreža.

**Primer 1:** Na osnovu merenja izvršenih u mreži i projektantskih zahteva može se reći da je suma ukupnog kašnjenja u mreži i kašnjenja de-jitter bafera 170ms. U mreži je primenjen G.711 kodek bez nadoknade izgubljenih paketa, a period paketizacije je 10ms. Koliko je umanjeno kvaliteta idealne veze uzimajući u obzir sva ova kašnjenja?

**Rešenje 1:** Odgovor na ovo pitanje ilustrovan je na Slici 8. Tu je prikazan grafik zavisnosti kvaliteta veze od kašnjenja paketa za G.711 kodek. Ukupno kašnjenje koje uzima u obzir sve 3 komponente kašnjenja iznosi  $T_{d1}=180\text{ms}$ . Odgovarajući činilac dobrote je  $R_1=90$  tj. kvalitet idealne veze umanjeno je za  $\Delta R=4$  jedinice.

**Primer 2:** U mreži prikazanoj u primeru 1 period paketizacije produžen je na 50ms. Kako ova izmena utiče na kvalitet govorne veze?

**Rešenje 2:** Ukupno kašnjenje u mreži iznosiće sada  $T_{d2}=220\text{ms}$ . Odgovarajući činilac dobrote je sada  $R_2=83$  tj. kvalitet veze umanjeno je još za  $\Delta R=7$  jedinica (Slika 8).



Slika 8: Uticaj perioda paketizacije na kvalitet govorne veze

**Primer 3:** Prosečno trajanje smetnji u mreži Elektroprivrede je 50ms i one izazivaju smetnje u prenosu govornog signala. Verovatnoća gubitka paketa je 2%. Ostale performanse telefonske mreže odgovaraju onima iz primera 1 i 2. Koliko se efektivno poboljšanje kvaliteta veze postiže povećanjem perioda paketizacije sa 10ms na 50ms?

**Rešenje 3:** S obzirom da je prosečno trajanje smetnji 50ms, vrednost faktora grupisanosti je BurstR=5 u slučaju da je period paketizacije 10ms i BurstR=1 ako je period paketizacije 50ms. Iz Tabele III očitava se vrednost faktora robustnosti  $B_{pl}=4,3$  za G.711 kodek bez nadoknade izgubljenih paketa. Dalje, iz početnih uslova za gubitke imamo  $P_{pl}=2$ . Stavljanjem svih ovih vrednosti u formulu (2), dobija se da je umanjeno kvaliteta veze  $I_{e-eff1}=39,6$  kada je period paketizacije 10ms, odnosno da je  $I_{e-eff2}=30,2$  kada je

period paketizacije 50ms. Prema tome, poboljšanje kvaliteta veze zbog produženja perioda paketizacije uzimajući u obzir gubitke paketa je  $\Delta I_{e\text{-eff}} = I_{e\text{-eff1}} - I_{e\text{-eff2}} = 9,4$  jedinice. U primeru 2 već smo konstatovali da produženje perioda paketizacije u idealnoj vezi bez gubitaka unosi pogoršanje kvaliteta za 7 jedinica. Ukupan efekat je onda poboljšanje kvaliteta veze za 2,4 jedinice kao rezultat produženja perioda paketizacije.

**Primer 4:** U Internetskoj telefonskoj mreži Elektroprivrede planirana je primena G.711 kodera sa nadoknadom izgubljenih paketa. Prosečna verovatnoća gubitka paketa u svim čvorovima mreže je  $P_{pl1}=2\%$ . Željeni kvalitet govornog signala u ostvarenoj vezi je  $R=75$ . Koliko se najviše čvorova može planirati u ovoj mreži?

**Rešenje 4:** Na bazi grafika prikazanog na Slici 7 vidi se da je moguće planirati 3 čvora u mreži, ali je neophodno da bude  $BurstR=1$ . Dakle, potrebno je planirati dužinu paketa poruke u nivou sa prosečnom dužinom smetnje.

Razmatranje u primeru 4 ne uzima u obzir umanjenoj kvalitetu veze zbog kašnjenja u slanju paketa.

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom radu detaljno su prikazani faktori koji utiču na kvalitet Internetske govorne veze. Broj ovih faktora je daleko veći nego za veze u klasičnim telefonskim sistemima. Među ovim faktorima najvažniji su kašnjenje, džiter kašnjenja, eho, gubitak paketa, nadoknada izgubljenih paketa i primena različitih kodera/kompresora. Uticaj svih faktora koji doprinose degradaciji kvaliteta Internetske govorne veze objedinjen je u E-modelu. E-model je proračunski metod za proračun kvaliteta veze koji kao izlaz daje jedan bezdimenzioni broj i kao takav lako razumljiv svima, a ne samo stručnjacima.

Primena E-modela ilustrovana je korišćenjem 4 projektantska primera primenljiva u praksi. Ovi primeri odnose se prvenstveno, ali ne i jedino na Internetsku mrežu Elektroprivrede.

## LITERATURA

1. Ž. Markov, "Savremena telefonska tehnika (600 pitanja i odgovora)", Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Beograd, 2010.
2. Aleksandar Lebl, Dragan Mitić, Predrag Petrović, Vladimir Matić, Mladen Mileusnić, Žarko Markov, "Primena karakteristika jednakog kvaliteta 'kašnjenje-eho-gubitak-paketa' u projektovanju Internetskih govornih veza", XV međunarodni naučno-stručni simpozijum "INFOTEH Jahorina 2016", 16-18. Mart 2016, pp. 284-289., ISBN 978-99955-763-9-4.
3. ITU-T Recommendation G.107, "The E-model, a computational model for use in transmission planning", June 2015.
4. ITU-T Recommendation G.131, "Talker-echo and its control", November 2003.
5. ITU-T Recommendation G.113, "Transmission impairments due to speech processing", November 2007.
6. ITU-T Recommendation G.113 Appendix I, "Provisional planning values for the equipment impairment factor  $I_e$ ", December 2001.
7. ITU-T Recommendation Q.543, "Digital exchange performance design objectives", March 1993.
8. ITU-T Recommendation Q.726, "Network grade of service parameters and target values for B-ISDN", March 2000.
9. A. Lebl, D. Mitić, Ž. Markov: "Influence of connection length on speech signal quality in packet network of electric power utility", *Revue Roumaine des Sciences Techniques – Serie Electrotechnique et Energetique*, Number 3, September 2011., pp. 295-304.
10. A. Lebl, D. Mitić, V. Matić, Ž. Markov: "Model for Speech Signal Quality Estimation in Packet Network of Electricity Supply Industry", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 16, No. 3, October 2019., pp. 405-417, UDC: 621.395.31/.38:621.316, DOI: <https://doi.org/10.2298/SJEE1903405L>.





# IMPLEMENTACIJA SAVREMENOG PUTNOG SEMAFORA KORISTEĆI ESP8266 WI-FI MIKROČIP

Ivan Martinović  
Prof. dr Zoran Mijanović  
Elektrotehnički fakultet UCG

## KRATAK SADRŽAJ

U ovom radu će biti prikazana realizacija mikroracunara baziranog na ESP2866 mikročipu čija je osnovna funkcija upravljanje putnim semaforom. Putni semafor se koristi u cilju kontrolisanja toka saobraćaja koji se odvija naizmjenično jednom kolovoznom trakom. Primjenom ESP2866 čipa omogućiće se razvoj inovativnog rješenja koje će obezbijediti bežičnu kontrolu i monitoring rada semafora. Na ovaj način se stvara pametni uređaj koji se može uklopiti u IoT koncept.

**Ključne riječi:** Kvalitet, ESP 8266 modul, Hardver, Softver, Bežična komunikacija.

## 1. UVOD

Saobraćajna signalizacija predstavlja nezamjenjivo sredstvo za postizanje optimalne bezbjednosti u saobraćaju. Regulisanje saobraćaja prvi put je zabilježeno u Londonu 1722. godine kada su trojica saobraćajnih policajaca određivala prvenstvo prolaza na London Bridžu. Tema ovog rada jeste implementacija savremenog putnog semafora. Međutim, mali broj ljudi zna da se prvi semafor nije upotrebljavao za regulisanje saobraćaja već da se koristio za optički prenos poruka sa jednog mjesta na drugo (slika 1.). [1],[2]

Za ovaj izum je zaslužan francuski inovator Klod Šap. On je konstruisao stub na kojemu je položaj mehanički pokretljivih djelova u obliku ruke imao određeno značenje. Postavljanjem niza semafora širom Francuske omogućen je bio brz prenos poruka na ve-



Slika 1. Šapov "semafor" [3]

like udaljenosti. Ovaj izum je svoju najveću upotrebnost imao tokom Napoleonovih ratova. Prvi "semafori" prestaju da se koriste 1852. godine usljed razvoja električne telegrafije. Četrnaest godina kasnije ostvarena je prva upotreba svjetlosne signalizacije na ulicama. Davač svjetlosnih znakova osvijetljenih gasnom lampom bio je postavljen ispred Britanskog parlamenta. Konstruktor prvog semafora je bio željeznički inženjer Džon Pik Najt koji je dotadašnju željezničku svjetlosnu signalizaciju prilagodio drumskom saobraćaju. Semaforom je upravljao policajac. Nažalost, niko nije slutio da će jedan takav izum samo nakon mjesec dana korišćenja izazvati smrtonosne posljedice za policajca koji je upravljao njime. Nezgoda se desila kada je gas koji se nalazio u semaforu izazvao eksploziju. Ovaj nesrećan slučaj je rezultirao prekidom upotrebe semafora u regulaciju drumskog saobraćaja od skoro pola vijeka. Tako se 1912. godine pojavio prototip modernog semafora koji je podsjećao po izgledu na današnje. Postavljen je u Solt Lejk Sitiju, SAD, a izumio ga je policajac Lester Vajl. Ovim semaforom se takođe upravljalo ručno, posjedovao je crveno i zeleno svjetlo i zujalice koje su učesnicima u saobraćaju nagovještavale promjenu svijetla. Drugu deceniju 20. vijeka su obilježila i značajna unapređenja svjetlosne signalizacije. Počinju da se postavljaju sistemi od više semafora. Godine 1920. uvode se u upotrebu semafori sa tri boje i ubrzo nakon toga se utvrđuju osnovne kombinacije svjetala koje su se zadržale do danas (tabela 1.). U Evropi se prvi ovakvi semafori pojavljuju 1925. godine u Londonu a samo tri godine nakon toga u upotebu ulaze automatizovani semafori sa tajmerom.[1]-[4]

Tabela 1. Kombinacija svjetala i njihovo značenje

Kombinacija svjetala	Značenje
Crveno	Stoj
Crveno+Žuto	Priprema za polazak
Zeleno	Dozvoljen prolazak
Žuto	Nagovještaj zabrane prolaska
Žuto treptuće	Oprez
Zeleno treptuće	Skori prelazak na žuto

Dalja značajna unapređenja u ovoj oblasti su se desila krajem šesdesetih godina prošlog vijeka kada se u praksi uvodi pojam "zeleni talas". Ovo je značilo da sistem semafora ne čine samo semafori koji pripadaju jednoj raskrsnici već da su umreženi sa narednim raskrsnicama, odnosno da promjena svijetla na svakoj narednoj raskrsnici zavisi od stanja na prethodnoj. Takođe je značajno napomenuti uvođenje halogenih sijalica u upotrebu koje su semaforima omogućile davanje jače i jasnije svjetlosti. Ove sijalice su zamijenile do tada korišćene klasične sijalice sa užarenim vlaknom. Upotreba ovih sijalica se zadržala sve do devedesetih godina prošlog vijeka kada u upotrebu ulaze led-diode. Led diode su omogućile manji utrošak energije i značajno duži vijek trajanja. Prvi semafor u Crnoj Gori se pojavio krajem sedamdesetih godina prošlog vijeka i bio je postavljen ispred Hotela Crna Gora. [1]-[5]

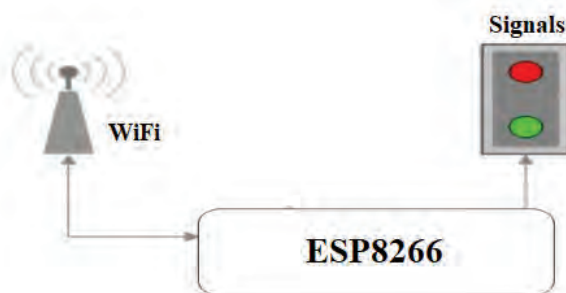
Tema ovog rada jeste implementacija semafora koji se koristi za regulisanje saobraćaja koji se odvija jednom trakom naizmjenično. Ovi uređaji se smatraju za jednim od najboljih uređaja za kontrolu protoka saobraćaja u radnoj zoni. Automatizovani prenosni sistem semafora mogu smanjiti direktne troškove u korišćenju radne snage i povećati bezbjednost učesnika u saobraćaju i građevinskih radnika eliminišući potrebu za zastavnicima. Saobraćajne nesreće na gradilištima puteva su stalni problem u mnogim zemljama širom svijeta. Odgovorne vlasti povremeno revidiraju sigurnosne propise u nastojanju da stvore bezbjednije radno okruženje na gradilištu za puteve. Glavna briga na gradilištu puteva je bezbjednost učesnika u saobraćaju i građevinskih radnika. Saobraćajnu signalizaciju koja se koristi u ove svrhe karakterišu značajni nedostaci. Jedan od glavnih nedostataka je sinhronizacija između dva semafora koja se nalaze na dva kraja jednog puta. Ovo predstavlja veliki problem jer usljed nesinhronizacije može doći do saobraćajnih nesreća koje mogu biti kobne, kako za vozače tako i za građevinske radnike. Sinhronizacija ovih sistema se ranije vršila na način što su se kontrolne jedinice na oba semafora morale aktivirati u isto vrijeme. Inovativnim rješenjem, koje je predstavljeno u ovom radu, problemi sa sinhronizacijom su riješeni i bezbjednost saobraćaja je podignuta na veći nivo.[6]

## 2. ARHITEKTURA SAVREMENOG PUTNOG SEMAFORA

U ovom radu prikazana je realizacija mikroračunara baziranog na ESP2866 mikročipu čija je osnovna funkcija upravljanje putnim semaforom. Putni semafor (slika 1.) se koristi u cilju kontrolisanja toka saobraćaja koji se odvija naizmjenično jednom kolovoznom trakom. Primjenom ESP2866 čipa omogućiće se razvoj inovativnog rješenja koje će obezbijediti bežičnu kontrolu i monitoring rada semafora.



Slika 2. Izgled putnog semafora



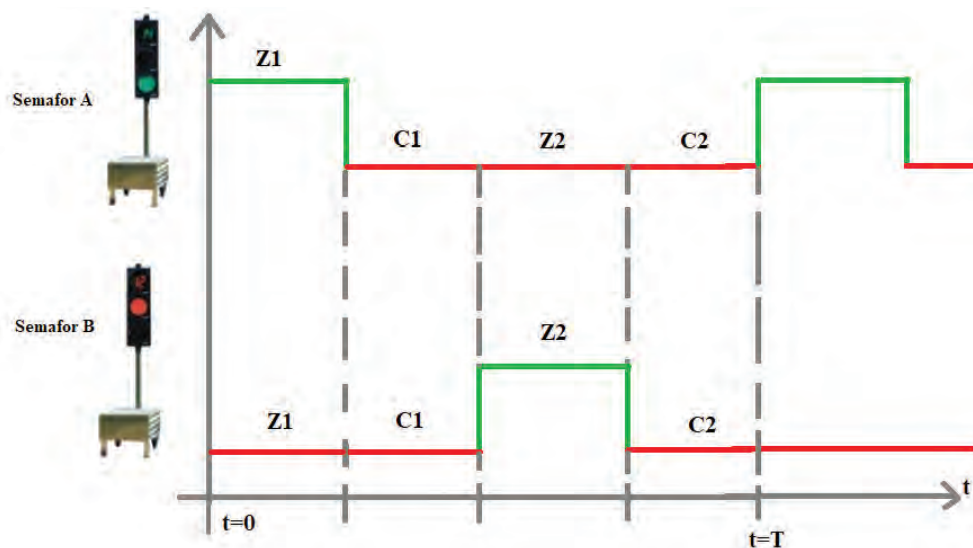
Slika 3. Šematski prikaz realizovanog sistema

Na slici 3. prikazana je šema sistema koji je realizovan. Centralni dio sistema zauzima Wi-Fi modul koji se bazira na ESP8266 mikročipu. Primjenom ovog modula omogućila se kontrola i monitoring rada semafora na daljinu. Glavni izazov u realizaciji ovog rješenja predstavlja sinhronizacija rada dva semafora koja kontrolišu tok saobraćaja na jednoj kolovoznoj traci.

Sinhronizacija za dva semafora (A i B) će biti implementirana koristeći graf prikazanog na slici 3. Ovo je obezbijeđeno definisanjem 4 vremena (Z1, C1, Z2, C2 čiji zbir predstavlja periodu T. Princip sinhronizacije se zasniva na formuli

$$t = TIMEcurrent \% T \dots (1)$$

tj. prilikom podešavanja semafora pored definisanja pomenutih vremena odabira se tip semafora i memoriše se vrijeme podešavanja (hh:mm:ss). Vrijeme u kojem je izvršeno podešavanje (hh:mm:ss) konvertuje se u sekunde i ubaca u formulu (1). Na ovaj način se pronalazi vrijeme t koje odgovara određenoj vrijednosti signala, a sve na osnovu sinhronizacionog grafika (slika 4.). Znajući ove osnovne informacije pristupilo se realizaciji sistema.



Slika 4. Sinhronizacioni grafik

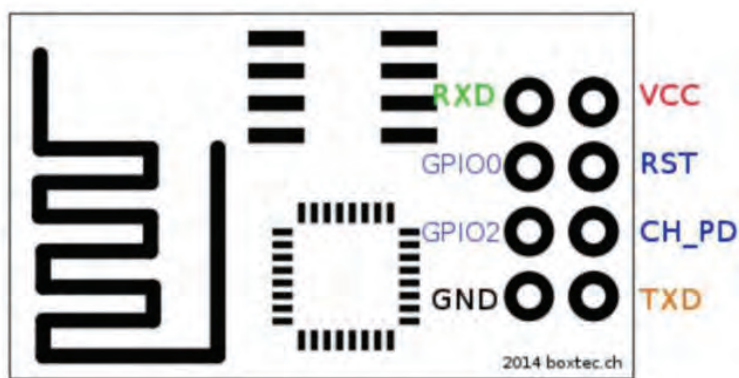
### 3. REALIZACIJA SAVREMENOG PUTNOG SEMAFORA

U ovom dijelu rada će biti izložen postupak realizacije mikroročunara baziranog na ESP2866 mikročipu čija je osnovna funkcija upravljanje putnim semaforom. Realizacija sistema je podijeljena u dva segmenta i to realizaciju hardvera i realizaciju softvera.

#### 3.1. REALIZACIJA HARDVERA

Pošto je realizacija bazirana na upotrebi Wi-Fi modula ESP8266 u nastavku će biti opisana njegova struktura i osnovne osobine neophodne za realizaciju ovog projekta. Tekst koji slijedi je preuzet iz rada [7] u kojem je realizovana digitalna kombinaciona brava čiji centralni dio takođe predstavlja Wi-Fi modul ESP8266.

“ESP8266EX predstavlja zanimljiv čip baziran na 32-bitnoj RISC arhitekturi pod nazivom Xtensa LX106 Diamond koji radi na (za mikrokontrolere) vrlo pristojnih 80 megaherca. Omogućava da se overklokuje do 160 megaherca, ali se nakon toga stabilnost ne garantuje. Posjeduje 96 kilobajta radne memorije i 64 kilobajta memorije za instrukcije. Uz mikrokontroler ide eksterni čip fleš memorije kapaciteta od 512 kilobajta. Radna temperatura ovog modula je od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $125^{\circ}\text{C}$ . Prvi modeli pojavili su se na tržištu 2014. godine uz najavu da se radi o zaokruženom rješenju za Wi-Fi komunikaciju. Ovi moduli mogu da se koriste samostalno, ali i kao sredstvo za povezivanje mikrokontrolera bežičnom Wi-Fi vezom. Osim što je dobro rasprostranjen i popularan, ESP8266 je učinio mnogo za celokupno IoT tržište.



Slika 5. ESP8266 ESP-01 modul



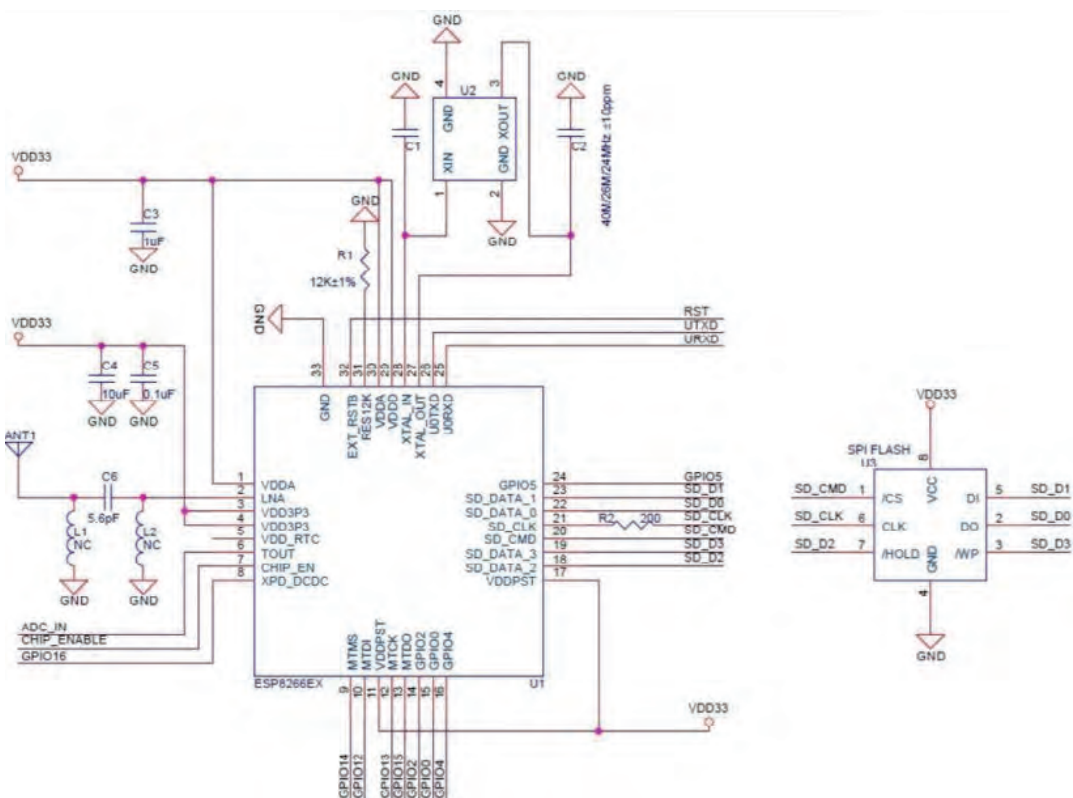
Slika 6. Raspored pinova ESP8266 ESP-01 modula

Modul ESP-01 predstavlja prvi modul proizvođača AI-Thinker sa čipom ESP8266 koji se pojavio na tržištu. Ovaj modul je najpopularniji i najčešće korišćen modul, zahvaljujući cijeni koja je niža od svih predstavnika u toj kategoriji. Omogućuje pristup do dva GPIO porta, što znači da može da se koristi za prikupljanje senzorskih podataka nezavisno od drugog mikrokontrolera. Dobar su izbor zbog toga što se često koriste u primjerima koji se mogu naći na internetu, pa nije teško doći do gotovih rešenja. Međutim, nisu bez nedostataka. Pojedini izvodi glavnog čipa, zbog loših inženjerskih rješenja, nisu nigdje priključeni, pa se nalaze u takozvanom ‘plutajućem’ stanju, koje može prouzrokovati razne nepravilnosti u radu. Osim toga, ovi moduli nemaju mogućnost dovođenja elektronike u stanje takozvanog ‘dubokog sna’, koje je vrlo važno za ekonomičan utrošak električne energije. Najčešća veličina fleš memorije za module crne boje iznosi jedan megabajt. Ovaj modul posjeduje dva načina rada Access mode i Station mode. Access mode omogućava stvaranje sopstvene access point-a koji omogućava bežičnu konekciju modula sa drugim pametnim uređajima. Ovaj modul je veoma značajan jer se primjenjuje u realizaciji ovog projekta. Drugi manje bitan mode je Station mode koji omogućava povezivanje ESP-01 modula na access point.”



Tabela 2: Raspored i funkcije pinova ESP8266 ESP-01 modula

R.b.	Pin	Funkcija
1.	GND	Uzemljenje
2.	TX	UART slanje podataka
3.	GPIO2	GPIO port 2
4.	CH_PD	Aktiviranje modula
5.	GPIO0	GPIO port 0
6.	RST	Eksterni reset signal
7.	RX	UART prijem podataka
8.	Vcc	Konektor napajanja



Slika 7. Šematski prikaz ESP-01 modula

### 3.2. REALIZACIJA SOFTVERA

Realizacija softvera bazira se na Arduino IDE okruženju u kojem je dodata mogućnost programiranja modula ESP01. Kao što je već rečeno, iskoristili smo Access mode način rada ovog modula kako bi obezbijedili da se pametni uređaji mogu povezati na modul i na taj način vršiti monitoring i setovanje određenih parametara. Komanda koja nam omogućava podešavanje Access mode način rada je:

```
WiFi.begin ("APConfig", "", 1, false, 1);
const char* SSID_AP = "ESP_01-192.168.33.1";
const char* PASSWORD_AP = "esp01234".
```

Na osnovu sinhronizacionog grafika (slika 3.) može se uočiti da su definisana dva načina rada semafora (semafor A i semafor B). Prilikom konfigurisanja semafora odabira se tip semafora i unose se četiri vremena (Z1, C1, Z2 i C2). Unošenje ovih parametara omogućeno je u pregledniku unošenjem odgovarajuće IP adrese.

```
IPAddress Ip (192, 168, 33, 1);
IPAddress Nmask (255, 255, 255, 0);
WiFi.softAPConfig (Ip, Ip, NMask).
```

Nakon unosa ove adrese u pregledniku se otvara odgovarajuća html stranica koja je definisana kodom.

```
String infoData() {
String htmlPage =
"<html><head>"
"<style>input {font-size: 1.2em; width: 100%; max-width: 350px; display: block; margin: 5px auto; } </style>"
"<p><b>POCETNA STRANICA-PREGLED POSTOJECIH PODESAVANJA</b></p>"
"<br></br>"
"<p><b>Setovano vrijeme:</b> " + String(config.tim) + "</p>"
"<p><b>Z1:</b> " + String(config.Z1) + "</p>"
"<p><b>C1:</b> " + String(config.C1) + "</p>"
"<p><b>Z2:</b> " + String(config.Z2) + "</p>"
"<p><b>C2:</b> " + String(config.C2) + "</p>"
"<p><b>Tip:</b> " + String(config.tip) + "</p>"
"<p><b>id:</b> " + String(config.id) + "</p>"
"<br></br>";
/* "<p><b>Brojaci:</b>";
for(int i=0; i<5; ++i) htmlPage += "</p><p><b>Brojac_0:</b>" +String(counter[i]);
htmlPage += "</p></body></html>";*/
return htmlPage;
}
```

Nakon unosa parametara pokreće se glavni program koji se zasniva na mehanizmu prekida (interrupt). Interrupt je signal koji primi mikrokontroler i tada prekida izvršenje koda koji je do tada izvršavao i izvršava posebnu funkciju koja odgovara različitim tipovima semafora (A i B).

```
void setup(){
.....
if(String(config.tip).equals("A")){
sec.attach(1, oneseaA);
}

else if(String(config.tip).equals("B")){
sec.attach(1, oneseaB);
}
}

//interupt za semafor A
void oneseaA() {
//Serial.println("A");
//Serial.println(num);
//Serial.println("A");

if(num<valZ1){
//Serial.println("MANJE JE OD Z1");
digitalWrite(GREENLED, HIGH);
digitalWrite(REDLED, LOW);
}
else{
//Serial.println("VECE JE OD Z1");
digitalWrite(GREENLED, LOW);
digitalWrite(REDLED, HIGH);
}
}
```

```

if(num==T){
num=0;
}
else{
num=num+1;
}

}

//interupt za semafor B
void oneseCB() {
//Serial.println(num);
//Serial.println("B");
if(num>=(valZ1+valC1) && num<(valZ1+valC1+valZ2)){
// Serial.println("num>(valZ1+valC1) && num<(valZ1+valC1+valZ2)");
digitalWrite(GREENLED, HIGH);
digitalWrite(REDLED, LOW);
}
else{
// Serial.println("U MEDJU INTERVALU JEnum>(valZ1+valC1) && num<(valZ1+valC1+valZ2)");
digitalWrite(GREENLED, LOW);
digitalWrite(REDLED, HIGH);
}

if(num==T){
num=0;
}
else{
num=num+1;
}
}
}

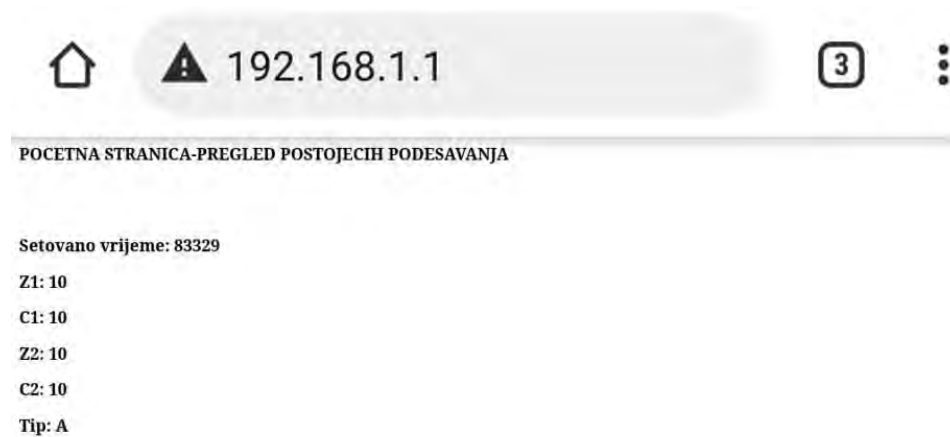
```

### 3.4. TESTIRANJE REALIZOVANOG SISTEMA

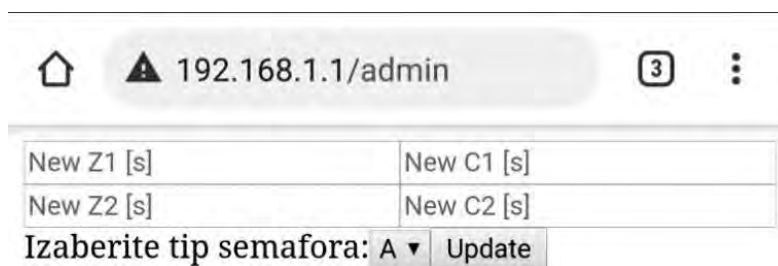
Testiranje realizovanog sistema sprovedena je u više faza. Prva faza se sastojala od provjere Access mode načina rada Wi-Fi modula (slika 7.). Ova faza je podrazumijevala provjeru mogućnosti ostvarenja konekcije između Wi-Fi modula i mobilnog telefona. Drugu fazu testiranja predstavljaju provjeru web servera. Ova provjera se ostvaruje uz pomoć preglednika (web browser-a) gdje se unosi putanja koja nam omogućava bežični monitoring i setovanje parametara realizovanog sistema (slika 8. i slika 9.). Treću fazu testiranja predstavlja praćenje promjena vrijednosti signala koji definiše slobodan ili zabranjen prolaz. Ova faza je realizovana koristeći mogućnosti koje nam pruža programsko okruženje Arduino IDE. Prije svega ovo se odnosi na serijsku komunikaciju koja se može pratiti pomoću serijskog monitora (Serial Monitor). Podaci koji se setuju u drugoj fazi testiranja prikazuju se na serijskom monitoru (slika 10.). Nakon setovanja podataka a sve na osnovu dijela opisanog u Razradi prati se način funkcionisanja sistema (slika 11.). Na osnovu setovanih podataka može se uočiti da su vrijednosti vremena Z1, C1, Z2, C2 identične i da iznose 10s. Perioda na grafiku sinhronizacije iznosi  $T=Z1+C1+Z2+C2=4*10s=40s$ . Kako je izabran tip A semafora vrijednost signala koji omogućava prolaz kolovoznom trakom mijenja se u 10s, kada se zabranjuje prolaz. Ispravnost funkcionisanja ovog programa potvrđuje se slikom 11. koja je kreirana uz pomoć serijskog monitora.



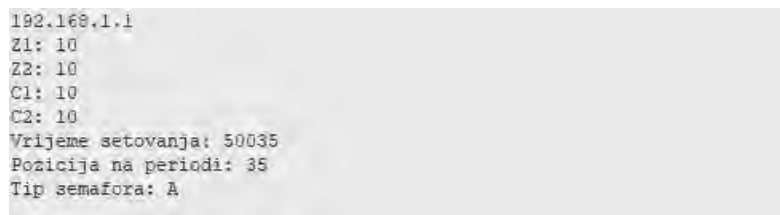
Slika 8. Access point mode Wi-Fi modula



Slika 9. Monitoring aktivnih podešavanja



Slika 10. Setovanje podešavanja



Slika 11. Setovani podaci prikazani na serijskom monitoru



Slika 12. Način funkcionisanja sistema-serijski monitor



## 4. ZAKLJUČAK

Saobraćana signalizacija predstavlja nezamjenjivo sredstvo za postizanje optimalne bezbjednosti u saobraćaju. U ovom radu je prikazana realizacija mikroracunara baziranog na ESP2866 mikročipu čija je osnovna funkcija upravljanje putnim semaforom. Putni semafor se koristi u cilju kontrolisanja toka saobraćaja koji se odvija naizmjenično jednom kolovoznom trakom. Realizacijom sistema namijenjenog kontroli saobraćaja omogućen je prikaz na koji način se savremene tehnologije mogu upotrijebiti u unapređenju postojećih rješenja. Inovativno rješenje koje je predstavljeno u ovom radu riješen je problem sinhronizacije semafora koji se nalaze na dva kraja jednog puta podižući bezbjednost saobraćaja na veći nivo.

Ovaj projekat može poslužiti kao laboratorijska vježba koja rezultira realizacijom jednog cjelokupnog sistema, hardver + softver. Takođe kao sljedeći korak moguće je sve semafore povezati na internetu i na taj način omogućiti njihovu kontrolu iz komandne sobe.

## 5. POJAŠNJENJE POJMOVA I IZRAZA

**RISC arhitektura (engl. Reduced Instruction Set Computer architecture)** - predstavlja paketni prenos i hardversko izvršavanje pojedinačnih instrukcija. Instrukcije kod ove arhitekture su direktno zavisne od hardvera tj. "ugrađene su u hardver" i samim tim se izvršavaju relativno brzo ("trenutno"). [8], [9] Overklokovanje (engl. Overclocking) - predstavlja proces podizanja frekvencije neke komponente iznad njene fabričke vrijednosti.

**GPIO (general-purpose input/output)** - Ulaz/izlaz opšte namjere predstavlja digitalni signalni pin sa kojim korisnik upravlja tokom programiranja i on može biti ili ulazni, ili izlazni ili oboje.

**UART (engl. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)** - Predstavlja hardversku jedinicu koja se nalazi unutar mikrokontrolera a zadužena je za serijsku komunikaciju. UART za ostvarivanje serijske komunikacije koristi Tx, Rx i GND signale. [10]

**IDE (engl. Integrated Development Environment)** - Integrisano razvojno okruženje predstavlja softversku aplikaciju koja pruža sveobuhvatne pogodnosti programerima za razvoj softvera.

**HTML (Hyper Text Markup Language)** - predstavlja opisni jezik specijalno namenjen opisu web stranica. Pomoću njega se jednostavno mogu odvojiti elementi kao što su naslovi, paragrafi, citati i slično.

## LITERATURA

1. <http://www.planeta.rs/34/12%20saobracaj.html>, pristupljeno: 03.08.2021.
2. <https://www.ekspres.net/istorija/neobicna-prica-o-nastanku-semafora-prvi-se-pojavio-u-londonu-a-u-beograd-stigao-pred-sami-drugi-svetski-rat>, pristupljeno: 03.08.2021.
3. <https://sr.wikipedia.org/srel/%D0%A2%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84>, pristupljeno:03.08.2021.
4. <https://www.nezavisne.com/automobili/recenzije/Istorija-semafora-Prvi-eksplodirao-i-ubio-policajca/535058>, pristupljeno: 03.08.2021.
5. <https://www.idrivesafely.com/defensive-driving/trending/history-and-meaning-colored-traffic-lights>, pristupljeno: 03.08.2021.
6. S. K. Subramaniam, V. R. Ganapathy, S. Subramonian, A. H. Hamidon, "Automated traffic light system for road user's safety in two lane road construction sites", wseas transactions on circuits and systems, Issue 2, Volume 9, February 2010.
7. I. Martinović, "Implementacija digitalne kombinacione brave", Inženjerska komora Crne Gore, 2019.
8. <https://sites.google.com/view/uvod-u-arhitekturu-racunara/home/ii-modul-arhitektura-mikroprocesora/arhitektura-mikroprocesora-cisc-i-risc>
9. <http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/Pseudo%20instrukcije%20MIPS%20arhitekture%20.pdf>
10. <https://www.elektronika.ftn.uns.ac.rs/razvoj-softvera-za-digitalne-mikrokontrolere/wp-content/uploads/sites/122/2018/03/RSZDMK-V4.pdf>.



# STANDARDNA DEVIJACIJA GROMOBRANSKE HVATALJKE SA UREĐAJEM ZA RANO STARTOVANJE (JUS N.B4.810) KAO MERA POUZDANOSTI NJENE NAMENE

Prof. dr **Svetislav Smiljanić**

Istraživačko-razvojni institut NIRI doo, Niš

Mr **Miodrag Saveljić**

Elettroengineering doo, Tivat

## KRATAK SADRŽAJ

Izvršena su merenja vremena reagovanja običnog Franklinovog štapa i familije hvataljki sa uređajem za rano startovanje (GRS), postavljenim na Franklinovom štapu, shodno zahtevima NFC 17 102:2011, Aneks C [1]. Merenja su vršena sa po 100 pražnjenja u svaku varijantu ispitivanog prihvatnog sistema. Pokazala su [2] osetno zaostajanje pražnjenja običnog Franklinovog štapa i u jačem električnom polju u odnosu na hvataljku sa uređajem za rano startovanje, ali i svi ispitivani uzorci svoja ponašanja, ostavljajući u "tragu za sobom", svoju standardnu devijaciju [ $\sigma(\mu\text{s}, \%)$ ]. Nalaze su potvrdile i državne laboratorije [USA: Underwriter Laboratories (UL), UL Certified E478687. Rusije: ПОСТЕКХАДЗОР (PTH РОССИЯ) - No RRS 00-05003. Francuske: Bureau Veritas No 6275241/2/1/1], dajući istovremeno svoje pozitivno mišljenje o upotrebi ispitivanih hvataljki.

**Ključne reči:** Faradejev kavez, Franklinov štap, Hvataljka sa uređajem za rano startovanje, Silazni traser, Standardna devijacija [ $\sigma(\mu\text{s}, \%)$ ], Uzlazni traser, Vreme prednjačenja [ $\Delta t(\mu\text{s})$ ],

## 1. UVOD

Gromobranskoj instalaciji, od koje se zahteva vrlo visoka efikasnost, predstavljenoj u tabeli 1, potrebno je obezbediti pouzdani prihvatni sistem (da sigurno navede pražnjenje groma na sebe), odgovarajuće spustne vodove i zemne uvodnike (da pouzdano dovedu struju groma do uzemljivača) i kvalitetan uzemljivač koji će imati dvojak ulogu: da sigurno odvede struju groma u zemlju a da pritom ne formira opasne napone koraka i dodira, u prisustvu bazena na otvorenom i “napone plivanja”, ali da pritom ne prouzrokuje i neželjene požare.

Tabela 1: Računska efikasnost po klasama zaštite [3]

KLASA ZAŠTITE	RAČUNSKA EFIKASNOST E
prva klasa sa dodatnim merama zaštite	$E > 0,98$
I	$0,98 > E > 0,95$
II	$0,95 > E > 0,90$
III	$0,90 > E > 0,80$
IV	$0,80 > E > 0$

Standardi (IEC-Međunarodne elektrotehničke komisije: IEC 1024-1, IEC 1024-1-1 i EN-Evropske norme: EN 62305...) su u prihvatne sisteme svrstali: Faradejev kavez i Franklinov štap, sa pretpostavkom da će ovi sistemi biti pouzdano pogođeni gromom. Autorima ovoga rada je poznata “nemoć” Faradejevog kaveza na primeru pražnjenja groma na hidroelektričnoj centrali “Sveta Petka” na Nišavi, koja još uvek radi od 1908. godine. Grom je udario u sabirnice 8,3kV, prethodno zanemarujući uzemljeni metalni visokonaponski stub na 10 metara rastojanja od mesta kuda je prošao, protutnjao i celom dubinom stabla velike rascvetale jabuke, zanemario nekakve stare Franklinove štapove na krovu centrale, prosekao izvanredno pravilan okrugli otvor na staklu jednog od nekoliko desetina prozorčića ukomponovanih u metalnom ramu starih okana pojedinačnih dimenzija 0,2m x 0,3m i na 2,5 metra rastojanja ispraznio se u navedene sabirnice. Kako se elektroenergetski objekti [4] štite gromobranskim instalacijama prve klase zaštite, recimo Faradejevim kavezom, okca kaveza moraju biti 5x5 metara. U ovom primeru, hidroelektrična centrala je bila 416 puta “kvalitetnije zaštićena” Faradejevim kavezom a ipak pretrpela značajne havarije od udara groma.

Nauci je odavno bilo jasno, od Franklina (Benjamin Franklin) i Dalibara (François Dalibard), da će pojačana igra lavine elektrona i jona iznad vrha Franklinovog štapa pojačati električno polje, pa je tako profesor budimpeštanskog Univerziteta Leo Silar (Leó Szilárd), pronalaskom radioaktivnosti, mislio da je našao rešenje zaštite od groma zauvek. Prevario se, ali samo u predlogu vrste jonizatora. Tako je rođena hvataljka sa uređajem za rano startovanje. Naučni svet današnjice je podeljen u prihvatanju ovog rešenja kao pouzdane zaštite od direktnog atmosferskog pražnjenja. Jedni “misle”, drugi se javljaju iz ispitnih laboratorija ili laboratorija na otvorenom.

Interesantno je ponašanje EU. Nekoliko zemalja (Francuska, Španija, Portugalija, Grčka, Rumunija, Bugarska, Slovačka), članica EU, u svojim standardima usvojilo je upotrebu hvataljki sa uređajem za rano startovanje, među njima i Srbija i Crna Gora (SR Jugoslavija) i Severna Makedonija. Po propisima EU u toj Zajednici niko ne sme osporavati ovu vrstu gromobranske zaštite, pa je tako u nekim zemljama EU koje nemaju svoje propise o ovoj vrsti zaštite, više ugrađeno gromobranskih hvataljki sa ranim startovanjem od zemalja u kojima postoje ovi standardi. Interesantno je i ponašanje Slovenije, koja je zbog odbijanja da prihvati ovu vrstu zaštite, nakon tužbe Francuske, morala da se brani situacijom raspada Jugoslavije, ali ipak uz izvinjenje i donošenjem svog novog Pravilnika [5], sa deklaracijom u članu 6 “... Mere iz prethodnog stava znače primenu najnovijeg stanja tehnike...”.

Interesantan je i primer SAD. Njihovi propisi [6] ne obuhvataju ovu vrstu zaštite, ali je njihova UL laboratorija iz Ilinojsa, Underwriter Laboratories (UL-USA), sa svojim prisustvom u svetu dva stoleća i

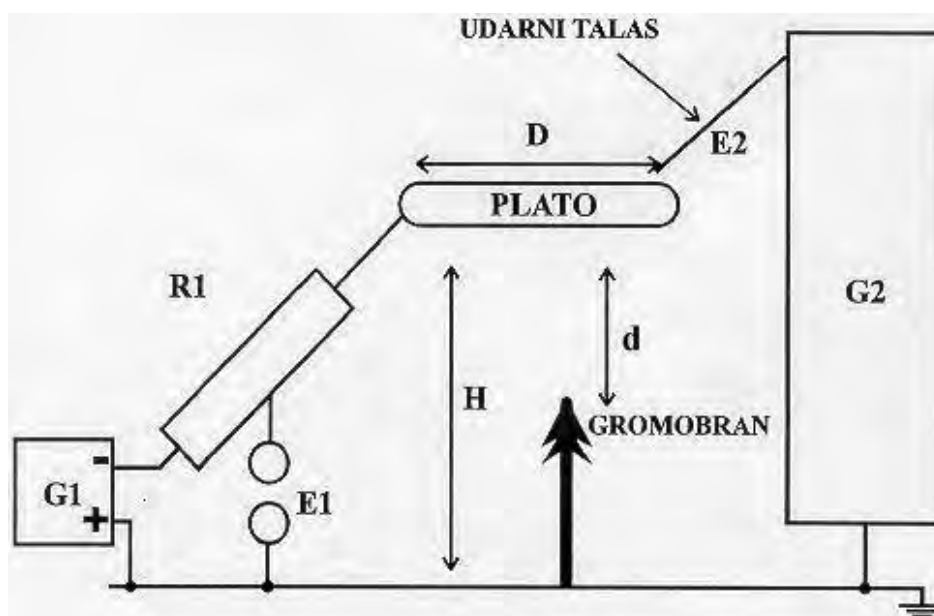


ogromnim autoritetom, dala pozitivno mišljenje o kvalitetu ovih gromobranskih hvataljki (UL Certified E478687), koji se i u ovakvoj situaciji ugrađuju po celoj teritoriji Sjedinjenih Američkih Država. Laboratorija UL dala je i svoje pozitivno mišljenje i na francuske norme NF C 17 102.

## 2. PODACI IZ LABORATORIJE

### 2.1. PRINCIPIJELNA ŠEMA OPREME LABORATORIJE

Principijelna šema opreme koja je korišćena za ispitivanja data je na slici 1. Opremanje laboratorije vršeno je prema zahtevima normi NF C 17 102.



Slika 1. Šema opreme laboratorije

Jednosmerni generator G1 proizvodi stalno električno polje ambijenta jačine 10 do 25 kV/m, negativnog polariteta (s obzirom da je u prirodi oko 95% pražnjenja negativnog polariteta), koje treba da simulira prisustvo ovog polja u prirodnim uslovima pred nailazak nevremena ali i da bi se formirao efekat korone na vrhu šiljka hvataljki. Prisustvo ovog polja je vrlo važno za ispitivani tip gromobranske hvataljke, koja koristi taj nivo polja da bi se izazvalo pražnjenje i treba ga održavati za sve vreme eksperimenta.

Marksov generator G2 će omogućiti simulaciju promene električnog polja ambijenta, promenljivog u prirodnim uslovima sa približavanjem čela silaznog trasera. Oblik udarnog talasa ovog generatora imaće vreme čela tč između 100 i 1200  $\mu$ s. U zoni u kojoj će se inicirati uzlazni traser, strmina talasa će iznositi 2.108 do 2.109 V/m/s.

Oba ova generatora priključena su na plato ("oblak") koji je postavljen iznad ispitivanog gromobrana. Generator G1 priključen je na plato preko otpora R1 i varničara E1 kako bi se obezbedila njegova zaštita od udarnog talasa. Rastojanje plata od šiljka gromobrana mora biti dovoljno veliko da bi se ostvarilo pražnjenje u slobodnom prostoru ( $d > 1$ m), odnosno dobile varnice duže od jednog metra, shodno zahtevima NF C 17 102.

Temperatura okoline, relativna vlažnost i atmosferski pritisak moraju ostati nepromenjeni za sve vreme ispitivanja, kako bi kasnije bilo moguće korektno upoređivanje dobijenih rezultata.

## 2.2. STANDARDNA DEVIJACIJA

Da podsetimo: standardna devijacija je apsolutna mera disperzije u osnovnom skupu, koliko u proseku elementi skupa odstupaju od aritmetičke sredine skupa. Što je veća, opada poverenje u funkcionalnost elementa skupa i obrnuto. Računa se po izrazu

$$\sigma(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$\bar{x}(x_1, x_2, \dots, x_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

gde je:  $x_1, x_2, \dots, x_N$  skup N izmerenih vrednosti vremena startovanja, pokazala vrlo specifične karakteristike svakog od njih pojedinačno: što je jača jonizacija na nivou šiljka, odnosno što je veći broj elektroda za generisanje jona i elektrona na hvataljci, to je standardna devijacija manja, odstupanja od deklarisanе vrednosti ispitivane hvataljke su manja.

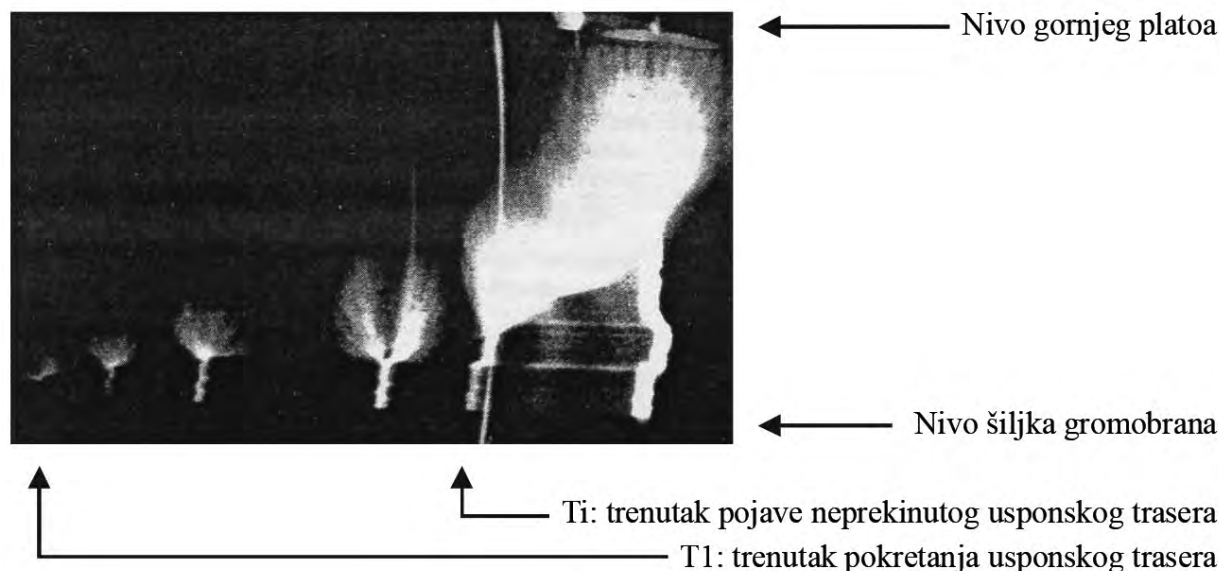
Od hvataljke sa uređajem za rano startovanje se očekuje da svojim uzlaznim traserom prva uspostavi kontakt sa silaznim traserom iz oblaka, pre bilo koje druge iritirane tačke šticeenog prostora na zemlji, i tako usmeri pražnjenje groma prema postavljenoj gromobranskoj instalaciji (prihvatni sistem, spustni vod, uzemljivač), ne dozvoljavajući da grom sam bira tačku pražnjenja na ugroženom prostoru. To je glavni zadatak i doprinos funkcionisanju zaštite ovom hvataljkom.

Kako odrediti vreme pražnjenja?

Prvo je 100 puta provocirano [2] pražnjenje preko uzemljenog Franklinovog štapa, da bi bila snimljena jačina električnog polja i vreme u kome je došlo do ovog pražnjenja a zatim izračunata vrednost standardne devijacije Franklinovog štapa u ovim uslovima.

Prosečno vreme koje je bilo potrebno da dođe do pražnjenja iznosilo je  $T_i = 119,4\mu s$ .

Na slici 2. se vidi koliko je vremena trebalo da se uspostavi neprekidni luk pražnjenja ili drugačije rečeno, koliko je vremena  $T_i$  "izgubljeno" da bi se uspostavilo neprekinuto pražnjenje u Franklinov štاپ.

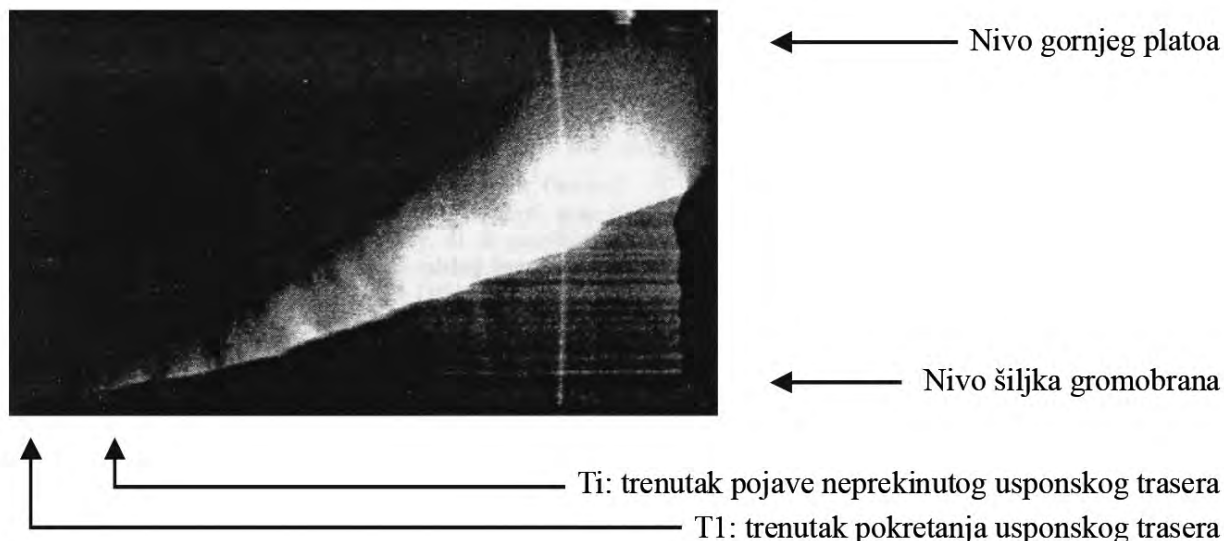


Slika 2. Pražnjenje preko Franklinovog štapa

Zatim su na ovaj Franklinov štاپ, pri istim mikroklimatskim uslovima, postavljane pojedinačne hvataljke sa uređajem za rano startovanje ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ) i merena vremena  $T_i$ . Na fotografiji sa slike 3. se vidi koliko je kod ovih hvataljki kraće vreme pojave neprekinutog pražnjenja od trenutka pokretanja usponskog trasera u odnosu na običan Franklinov štاپ.

Ova vremena su prikazana u tabeli 2.

Ispitivane hvataljke se međusobno razlikuju po broju svojih Marksovih generatora za formiranje korone iznad šiljka svake hvataljke, pa je tako hvataljka  $S_1$  sa dva generatora, hvataljka  $S_2$  sa tri generatora,  $S_3$  sa četiri i hvataljka  $S_4$  sa šest generatora. U prirodnim uslovima za svoj rad ovi generatori energiju dobijaju iz prisutnog električnog polja okruženja pred pražnjenje groma, odnosno generatora  $G_2$  sa slike 1, za potrebe zadanih merenja.



Slika 3. Pražnjenje preko hvataljke sa uređajem za rano startovanje

Tabela 2: Standardna devijacija ispitivanih hvataljki [2]

	prosečno vreme $T_i$ ( $\mu s$ )	prednjačenje prema običnom štapu ( $\mu s$ )	izračunata standardna devijacija ( $\mu s$ )
Franklinov običan štap	119,4		25,42
hvataljka $S_1$	96,3	23,1	21,52
hvataljka $S_2$	84,6	34,8	14,15
hvataljka $S_3$	79,5	39,9	8,71
hvataljka $S_4$	70,6	48,8	6,19

U tabeli 2 unete su i izračunate vrednosti standardne devijacije za ponašanje običnog štapa i četiri ispitivane hvataljke sa uređajem za rano startovanje. Ni jedno od ovih 100x5 izvršenih pražnjenja iz udarnog generatora [2] nije se odigralo pri istom vremenu  $T_i$  i električnom polju iste jačine.

Standardna devijacija ispitivanih hvataljki sa uređajem za rano startovanje  $\sigma_{GRS}$ , upoređena sa standardnom devijacijom običnog Franklinovog štapa  $\sigma_{FS}$  kretala se u odnosu datom u tabeli broj 3.

Tabela 3: Odnos standardnih devijacija hvataljki i Franklinovog štapa

HVATALJKA	ODNOS DEVIJACIJA
hvataljka $S_1$	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,65 \sigma_{FS} (\mu s, \%)$
hvataljka $S_2$	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,57 \sigma_{FS} (\mu s, \%)$
hvataljka $S_3$	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,53 \sigma_{FS} (\mu s, \%)$
hvataljka $S_4$	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,44 \sigma_{FS} (\mu s, \%)$

Težeći što pouzdanijem ponašanju hvataljke sa ranim startovanjem nauka je skraćivala vrednost startovanja hvataljke povećavanjem lavine elektrona i jona na šiljku hvataljke, obarajući tako, istovremeno i standardnu devijaciju pri reagovanju hvataljke. Ako bi se "ohrabrili" da postavimo još neke uslove, pored

vremena prednjačenja u reagovanju ove hvataljke, to bi bile relacije ponašanja hvataljke prema običnom Franklinovom štapu, date u tabeli 4.  $\sigma_{GRS}$  hvataljke sa uređajem za rano startovanje,  $\sigma_{F\check{S}}$  običnog Franklinovog štapa.

Tabela 4: Predlog dopune regulative

KLASA ZAŠTITE	ODNOS DEVIJACIJA
prva i prva sa dodatnim merama	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,4 \sigma_{F\check{S}} (\mu s, \%)$
druga i treća	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,5 \sigma_{F\check{S}} (\mu s, \%)$
četvrta	$\sigma_{GRS} (\mu s, \%) < 0,6 \sigma_{F\check{S}} (\mu s, \%)$

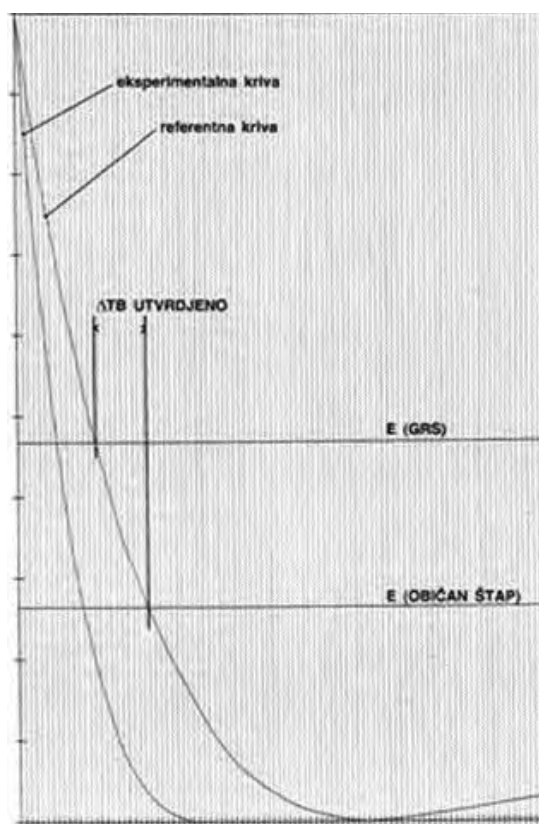
Što je duže vreme prednjačenja i što je manja standardna devijacija, hvataljka je pouzdanija da će uspešno obaviti svoju namenu i obrnuto. Ovu činjenicu moraju uvažavati konstruktori hvataljki ali ove činjenice bi trebalo sankcionisati i standardima.

### 2.3. UTVRĐENO VREME PREDNJAČENJA $\Delta TB(\mu s)$

Kako se došlo do podatka o vremenu prednjačenja svake od ove četiri ispitivane hvataljke prema običnom Franklinovom štapu?

Odgovor na ovo pitanje daće najbolje slika 4.

Prethodno su dobijeni podaci [2] o ponašanju običnog Franklinovog štapa (FŠ) napadnutog udarnim prenaponskim talasom iz udarnog generatora (oblika, jačine električnog polja i vremena pražnjenja), čija je eksperimentalna kriva data na slici 4. Zatim je pražnjenje ponovljeno na hvataljkama (GRS) i dobijene nove vrednosti jačine električnog polja koje je prouzrokovalo pražnjenje i potrebno vreme za to pražnjenje. Upoređujući vremena ovih pražnjenja došlo se do utvrđenog vremena prednjačenja ispitivanih hvataljki prema običnom Franklinovom štapu  $\Delta TB(\mu s)$ .



Slika 4. Utvrđivanje vremena prednjačenja



Tabela 5: Izmereno i usvojeno vreme prednjačenja

	$\Delta TB$ ( $\mu s$ ) u odnosu na običan štapa	$\Delta TB$ ( $\mu s$ ) na osnovu referentnog talasa	$\Delta t$ ( $\mu s$ ) usvojeno vreme prednjačenja
hvataljka $S_1$	23,1	45	25
hvataljka $S_2$	34,8	65	40
hvataljka $S_3$	39,9	80	50
hvataljka $S_4$	48,8	95	60

Grupa francuskih proizvođača električne opreme, kontrole, upravljanja i srodnih usluga GIMÉLEC [7], je svojim proizvođačima hvataljki sa uređajem za rano startovanje ograničila deklarisanje maksimalnog vremena prednjačenja  $\Delta t$  na 60 $\mu s$ . Istovremeno, da bi obezbedili što veće poverenje u zaštitu ovim hvataljkama, skratila je dobijene vrednosti ovih veličina, na vrednosti prikazane u zadnjoj vertikalnoj koloni tabele 5. Ovo ograničenje prisutno je i u tački 5.2.2 francuskih normi [1].

Još jedna važna činjenica je prisutna: vreme startovanja hvataljke sa uređajem za rano startovanje u laboratorijskim uslovima upoređivano je sa vremenom startovanja Franklinovog štapa, koji je na svome vrhu koncentrisao bogatu skupinu jona i elektrona. U prirodnim uslovima, hvataljci sa uređajem za rano startovanje “konkurisaće” u privlačenju groma najraznorniji oblici objekata (dimnjaci, stabla drveća, obeležja na sakralnim objektima i spomenicima, cisterne petrolejskih kompanija, svi ostali istureni objekti na zemlji...), koji su formirali daleko slabija električna polja od Franklinovog štapa u laboratorijskim uslovima, pa radi toga, ovo vreme u četvrtoj vertikalnoj koloni tabele 5, još više potvrđuje pojavu da pražnjenje groma bude isključivo izvedeno u hvataljku sa uređajem za rano startovanje. Ipak, ne može se reći da su predlagači ovih vremena [1] i [7] bili prestrogi. Težili su većoj i pouzdanijoj zaštiti od groma hvataljkama sa uređajem za rano startovanje. Vrednosti date u tabelama 3 i 4 će u prirodnim uslovima znatno popraviti i povećati razliku standardnih devijacija FŠ u odnosu na GRS, u korist GRS.

### 3. ZAKLJUČAK

U projektovanju zaštite od direktnih udara groma treba rešiti dva osnovna problema. Prvi je, pražnjenje groma ostvariti na projektovanoj i izvedenoj gromobranskoj instalaciji štice prostora. Ne dozvoliti da grom sam bira tačku u kojoj će se isprazniti. Ako je tako, taj prostor nije zaštićen od udara groma. Drugi je, ne dozvoliti da pražnjenje groma pali i ubija u štice prostoru.

Kako “uhvatiti” pražnjenje groma? Dosta vekova unazad, čovek je tražio odgovor na ovo pitanje, ali i došao do rešenja kako, ako ga “uhvati”, da ga odvede u zemlju. Izmislio je Franklinov štapa i Faradejev kavez. Svetska regulativa (IEC i EN) ova dva sistema prihvata kao “nepogrešive”. Od pronalaska radioaktivnosti, nauka je počela ozbiljnije da razmišlja o pojačanoj jonizaciji iznad šiljka Franklinovog štapa, pala na prvom ispitu sa radioaktivnim gromobranom, ali ostala pri mišljenju, da će se samo dovoljno jakom jonizacijom iznad Franklinovog štapa, grom pouzdano navući na gromobransku instalaciju i bezbedno odvesti u zemlju.

Rešavajući drugi navedeni problem, da spreči izbijanje eventualnog požara u nekim uslovima i eksplozije, onemogućiti pojavu povišenih potencijala između metalnih masa za vreme proticanja struje groma, nije bilo većih problema. To je lako rešeno međusobnim galvanskim povezivanjem tih metalnih masa. Problem pojave napona koraka, dodira i “napona plivanja” moraju projektant i izvođači gromobranskih instalacija rešavati od slučaja do slučaja. Ovaj problem će naročito zahtevati dodatna rešenja od izvođača radova, kada se uzemljivač postavlja u kamenitom terenu.

U radu su konstatovane činjenice, upoređujući ponašanja Franklinovog štapa (FŠ) sa Franklinovim štatom sa hvataljkom sa uređajem za rano startovanje montiranoj na vrhu toga štapa (GRS), u laboratorijskim uslovima, da je:

- Za aktiviranje hvataljke (GRS) potrebno električno polje znatno manje vrednosti od električnog polja za aktiviranje hvataljke (FŠ);
- Za aktiviranje hvataljke (GRS) potrebno znatno kraće vreme od vremena za aktiviranje hvataljke (FŠ);
- Standardna devijacija (FŠ) u laboratorijskim uslovima dosta veća u odnosu na (GRS).

U ovom primeru laboratorijskih ispitivanja i upoređivanja ova dva sistema zaštite od groma, mora se konstatovati da su daleko strožija od ispitivanja u prirodnim uslovima (in situ). U laboratorijskim ispitivanjima su vršena na Franklinovom štapu, dok u prirodnim uslovima, ponašanje (GRS) možemo upoređivati sa dimnjacima objekata, obeležjima na verskim objektima, drvećem, na čijim vrhovima su, u vreme nevremena, daleko slabija električna polja od polja iznad Franklinovog štapa u laboratorijskim uslovima. Tu činjenicu bi najbolje potvrdile veličine standardnih devijacija.

Kao činjenice koje otežavaju primenu (GRS) mogu biti:

Periodična provera [8] ispravnosti hvataljke sa uređajem za rano startovanje postavljenoj na lokaciji izvan dohvata. Neke firme su počele proizvodnju uređaja za daljinsku proveru ispravnosti svojih hvataljki.

Danas je na svetskom tržištu veliki broj proizvođača hvataljki sa uređajem za rano startovanje.

Polazeći od činjenice da kvaliteti ove hvataljke potiču iz sposobnosti da pred pražnjenje groma obrazuje jako električno polje iznad svoga šiljka, izvrši jaku jonizaciju iznad šiljka, jaku koronu, što nije ni malo jednostavan problem i zbog svog udela u zaštiti živih bića i imovine, zaslužujući najveća ljudska priznanja, nameće se pitanje:

Da li su sve izjave koje prilažu proizvođači uz svoje hvataljke valjane. Da li je moguće da je svaki od proizvođača hvataljki na svoj način rešio uvećanu jonizaciju iznad šiljka svoje hvataljke? U postojećoj situaciji, to znači veliki broj vrsta jonizatora koji za svoj rad koriste koju raspoloživu energiju? Kako izgledaju i na kom principu radi toliki broj jonizatora?

U radu se predlaže da hvataljka sa uređajem za rano startovanje bude deklarirana sa dva svoja lična podatka:

Prvi je, kao i do sada, vremenom prednjačenja  $\Delta t(\mu s)$ , kao sposobnosti hvataljke da za toliko vremena ranije izbacij svoj uzlazni traser u susret silaznom iz oblaka u odnosu na običan Franklinov štap.

Drugi je, podatak o standardnoj devijaciji  $\sigma(\mu s, \%)$ , kao kvalitetu hvataljke u odnosu na običan Franklinov štap, na primer, u predloženim granicama datim u tabeli 4. Ovaj postupak je veliko pomagalo u izjašnjavanju o kvalitetu hvataljke i zbog toga bi morao biti uveden u standarde koji se bave zaštitom od groma ovom hvataljkom.

Još nešto, ponavljamo: štićeni prostor od groma nije i zaštićen prostor od udara groma!

## LITERATURA

1. Norme française. Protection contre la foudre. NF C 17 102:211, Aneks C
2. S. Smiljanić: Ponašanje gromobrana sa uređajem za rano startovanje tip PREVECTRON 2 u laboratorijskim i prirodnim uslovima, Zbornik radova: Atmosferska pražnjenja i zaštita, Vrnjačka Banja, 25. i 26.10.2001.
3. IEC 1024-1-1:1996., tabela 3
4. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskog pražnjenja, Službeni list SRJ, broj 11/1996.
5. Pravilnik o zaštiti stavb pred delovanjem strele, člen 6 in 12. Št. 0071-68/2006, Ljubljana, dne 23. februar 2008. K. Erjavec, minister za okolje in prostor R. Slovenije.
6. NFPA 780, NFPA 781: Standard for the Installation of Lightning Protection Systems
7. Groupement des industries de l'équipement électrique, du contrôle-commande et des services associés. GIMÉLEC: 2001.
8. European Standard EN 62305-3:2011, glava 7.

# STATIČKI KOMPENZATORI REAKTIVNE ENERGIJE

Doc. dr **Martin Čalasan**  
Elektrotehnički fakultet UCG

## KRATAK SADRŽAJ

U elektroenergetici razlikuje se aktivna, reaktivna, prividna i snaga distorzije. Aktivna snaga je onaj dio snage koji se troši na obavljanje rada; snaga distorzije je snaga koja je posljedica postojanja viših harmonika, a reaktivna snaga je onaj preostali dio prividne snage koji se ne pretvara u koristan rad niti u gubitke. Međutim, reaktivna snaga je apsolutno neophodna za funkcionisanje samog energetskeg sistema, iako sa sobom povlači brojne probleme pa je istu potrebno kompenzovati. Ovaj rad se bavi opisom statičkih kompenzatora reaktivne energije (SVC - Static Var Compensator) koji su jedni od najčešće korišćenih uređaja za kompenzaciju reaktivne energije bazirani na elementima energetske elektronike. U radu će se opisati njihov značaj, konekcija sa mrežom, nedostaci, kao i primjeri instalacije ovih uređaja u realnim elektroenergetskim sistemima.

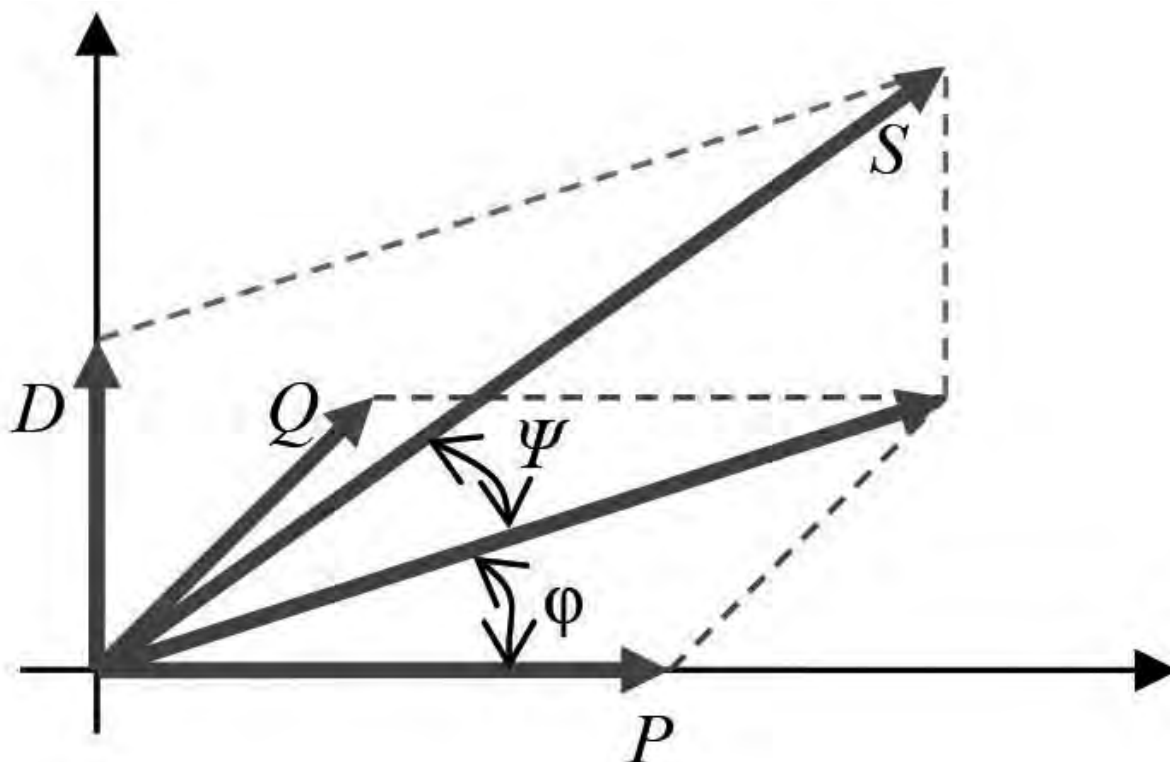
**Ključne riječi:** Reaktivna energija, Kompenzacija, Kondenzatori, Prigušnice.

## 1. UVOD

Aktivna snaga ( $P$ ) je onaj dio ukupne električne snage koja se troši na obavljanje korisnog rada. Na primjer, koristan rad je podizanje nekog tereta, okretanje rotora ventilatora i slično. Međutim, u aktivnu snagu spadaju i svi gubici koji su prisutni u procesu pretvaranja energije u rad. Sa druge strane, kao posljedica prisustva velikog broja potrošača, koji u sebi sadrže elemente energetske elektronike, dolazi do pojave viših harmonika u talasnom obliku napona i struja. Takođe, poznat fenomen generisanja viših harmonika postoji i kod priključivanja transformatora na mrežu u praznom hodu. Kao posljedica viših harmonika dolazi do pojave odgovarajućih gubitaka, nazvanih snaga distorzije ( $D$ ) [1].

Reaktivna snaga ( $Q$ ) je najveći dio preostale ukupne snage ( $S$ ), koja se ne pretvara u rad niti u gubitke tokom pretvaranja energije u rad, niti u gubitke kao posljedica viših harmonika. Međutim, reaktivna snaga je apsolutno neophodna za funkcionisanje električnih mašina, jer se uz pomoć iste vrši prenos električne energije tj. pretvaranje električne energije u mehanički rad. Takođe, reaktivna snaga se koristi za

formiranje i održanje elektromagnetskog polja u transformatorima i obrtnim mašinama, kao i na održanje stabilnog nivoa napona u dalekovodima i kablovima. Drugim riječima, da bi se proizvela, prenosila i isporučivala aktivna snaga korisnicima, mora se obezbijediti i određena "količina" reaktivne snage [1-2]. Iz prethodne tvrdnje slijedi da su najveći potrošači reaktivne energije elektromotori i transformatori. Ostali veliki potrošači reaktivne energije su elektrolučne i indukcione peći, elektrovučna postrojenja, fluorescentna rasvjeta itd. Međutim, ista se javlja i kod potrošača kao što su: frekventni regulatori, soft starteri, jednosmjerni pogoni, ispravljači, itd. Grafički dijagram svih snaga prikazan je na slici 1.



Slika 1. Grafički prikaz snaga u EES

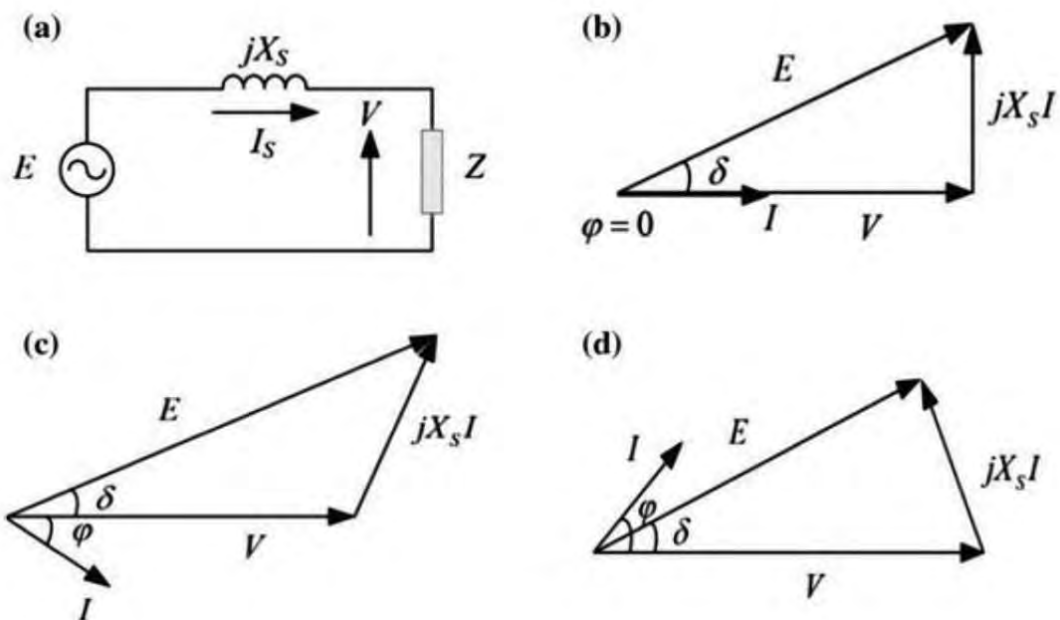
Dobiti kompenzacije reaktivne energije mogu se posmatrati sa aspekta potrošača i sa aspekta samog elektroenergetskog sistema - EES. Potrošači koji u svom računu imaju stavku za reaktivnu energiju imaju direktnu finansijsku dobit - nakon izvršene kompenzacije reaktivne energije iz računa se eliminiše stavka koja se odnosi na reaktivnu energiju ili se značajno umanjuje. Danas se smatra da su cijene opreme za kompenzaciju takve da se ova investicija isplati u roku od šest mjeseci do dvije godine. S druge strane, kompenzacijom reaktivne energije se smanjuje ukupna struja u mreži za vrijednost reaktivne struje, pa se samim tim smanjuje i opterećenje transformatora, dok se povećava stabilnost elektroenergetskog sistema, poboljšavaju naponske prilike u mreži i povećava sigurnost snabdijevanja potrošača. Na kraju, kompenzacijom reaktivne energije smanjuju se tehnički gubici aktivne energije u cijelom EES-u.

Ovaj rad se bavi kompenzacijom reaktivne energije primjenom statičkih kompenzatora reaktivne snage (SVC - Static Var compensator). Osim toga, u radu je dat i osvrt na teorijsku osnovu paralelne i serijske kompenzacije. Na kraju rada je dat i opis nekih od konkretno realizovanih SVC sistema u svijetu.

## 2. TEORIJSKA OSNOVA PARALELNE I SERIJSKE KOMPENZACIJE

Pod kompenzacijom reaktivne energije podrazumijeva se instalacija opreme koja generiše reaktivnu energiju na mjestu montaže. Da bi se razumjela teorija kompenzacije reaktivne snage potrebno je krenuti od osnovnih veza između izvora energije i opterećenja [1, 2].

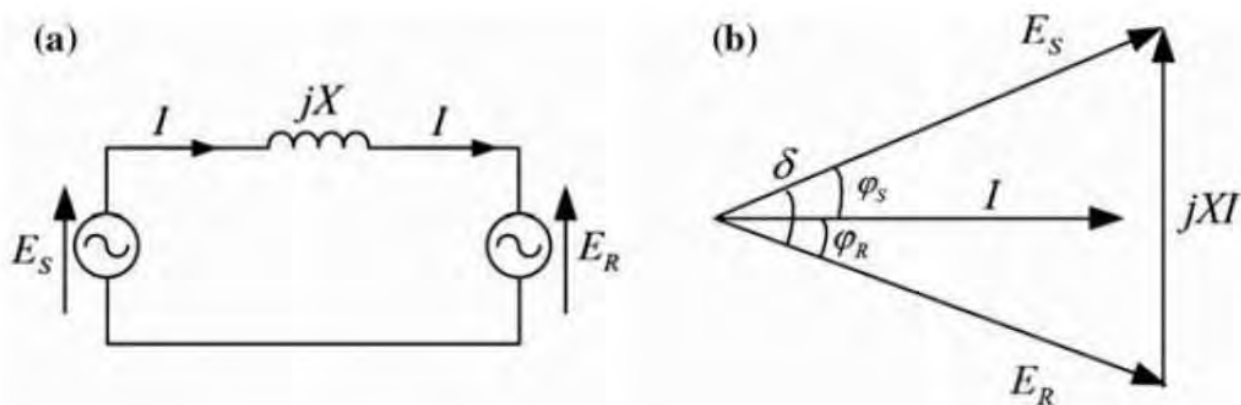




Slika 2. a) Šema opšteg sistema impedanse  $Z$ , b) čisto omsko opterećenje, c) induktivno opterećenje, d) kapacitivno opterećenje

Opšta šema sistema kada se napaja potrošač impedanse  $Z$  prikazana je na slici 2. Kod čisto omskog opterećenja, izlazni napon je u fazi sa strujom (slika 2b). U induktivno opterećenom sistemu (slika 2c) fazni ugao između struje i napona na potrošaču je negativan, pa se može reći da elektroenergetski sistem radi sa zaostalim faktorom snage što zahtijeva veću vrijednost napona izvora  $E$  za određenu vrijednost napona potrošača  $V$ . U trećoj opciji, kod dominantno kapacitivnog opterećenja (slika 2d), javlja se vodeći faktor snage što znači da vektor napona potrošača kasni za vektorom struje. U ovom slučaju, napon na izlazu je generalno veći od napona izvora. Prema tome, kod pretežno induktivnog opterećenja kompenzacija se ostvaruje preko kondenzatora, a kod pretežno kapacitivnog opterećenja preko induktivnosti.

Struktura dva sistema, gdje se sa obje strane dalekovoda nalaze generatorski sistemi, prikazana je na slici 3a. U ovom slučaju, odgovarajući fazorski dijagram je prikazan na slici 3b.



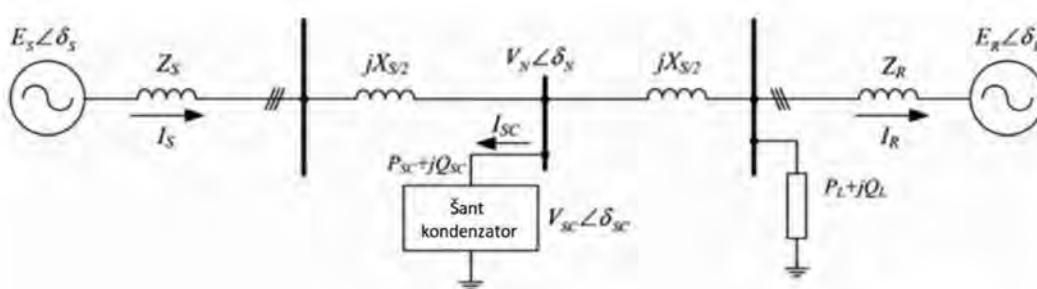
Slika 3. a) Šema simetričnog dvogeneratorskog sistema, b) fazorski dijagram

Ovaj jednostavan model može se posmatrati i kao sistem od dvije proizvodne stanice povezane preko linije sa reaktansom  $X_s$ . Ako se sa  $\delta$  označi fazni pomjeraj između napona na krajevima voda, vrijednost snage koja se prenosi sa jednog na drugi sistem može se izračunati na sljedeći način:

$$P = \frac{E_s E_r}{X} \sin(\delta) \quad (1)$$

Pored faznog ugla  $\delta$ , postoje još i dva ugla za faktore snage za svaki terminalni napon -  $\phi_s$  koji označava fazni ugao između napona izvora  $E_s$  i fazora struje  $I$ , i  $\phi_r$  koji prikazuje fazni ugao između napona potrošača  $E_r$  i fazora  $I$ .

Osnovna ideja kompenzacije zasniva se na upotrebi idealnih paralelno vezanih i serijski vezanih kompenzatora. Kompenzacija primjenom paralelno vezane kapacitivnosti (šant kondenzatora) prikazana je na slici 4. Na ovoj slici je prikazan simetrični sistem zajedno sa šant kondenzatorom konektovanim na sredini voda. Šant kondenzator u stvari predstavlja naponski izvor koji se kontinualno reguliše, dok su naponi izvora  $E_s$  i  $E_r$  okarakterisani sa faznim pomjerajima  $\delta_s$  i  $\delta_r$ . Sabirnica u kojoj je priključen šant kondenzator ima napon  $V_{sc}$  sa faznim stavom  $\delta_{sc}$ . Ukupna reaktansa voda je podijeljena na dva dijela [1, 2].



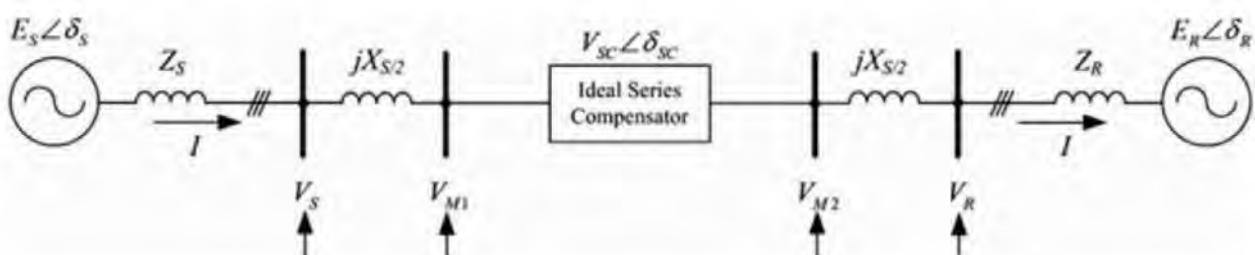
Slika 4. Primjena šant kondenzatora

Ako ne postoji razmjena aktivne snage između šant kondenzatora i mreža, aktivna snaga u ovom slučaju se računa na sljedeći način:

$$P = \frac{E \cdot E}{X_s / 2} \sin(\delta / 2) = \frac{2E^2}{X_s} \sin(\delta / 2) \quad (4.2)$$

Pošto je  $2\sin(\delta/2)$  uvijek veće od  $\sin(\delta)$  jasno je da je kapacitet prenosa povećan. Štaviše, maksimalna vrijednost snage koja se prenosi sa jednog kraja voda na drugi kraj voda primjenom šant kompenzatora je duplirana. Ovo se postiže pri uglu  $\delta/2 = \pi/2$ .

Serijska kompenzacija podrazumijeva upotrebu kondenzatorskih baterija u cilju minimizacije reaktanse voda. Fazorski dijagram simetričnog sistema sa serijskom kompenzacijom je prikazan na slici 5. Na ovoj šemi je podrazumijevano da  $E_s$  i  $E_r$  imaju fazne stavove  $+\delta/2$  i  $-\delta/2$ , respektivno.



Slika 5. Serijska kompenzacija

Serijska kompenzacija ne generiše, niti uzima bilo koju vrijednost aktivne snage ako je fazor napona na kondenzatoru normalan na fazor struje  $I$ . Ekvivalentna impedansa voda se može izračunati kao

$$X_{eq} = X_s(1 \pm k) \quad (4.10)$$

gdje je

$$k = \frac{X_c}{X_s}, \quad 0 \leq |k| \leq 1 \quad (4.11)$$

a gdje je  $X_c$  serijska kompenzaciona reaktansa. Koeficijent  $k$  je pozitivan za induktivnu, a negativan za kapacitivnu reaktansu. Snaga koja se predaje prijemniku ima oblik:

$$P_s = \frac{V^2}{X_s(1-k)} \sin(\delta) \quad (4.12)$$

Shodno prethodnim izrazima, jasno je da vrijednost aktivne snage koja se prenosi preko vodova zavisi od konstante  $k$ , tj. od stepena kompenzovanosti vodova.

### 3. STATIČKI KOMPENZATOR REAKTIVNE ENERGIJE

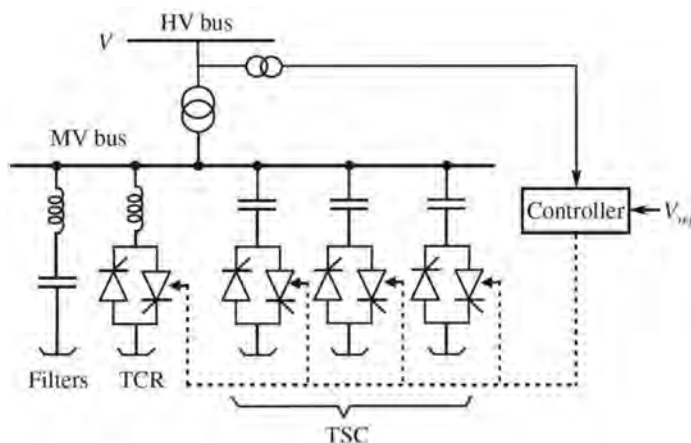
Statički kompenzatori reaktivne energije - SVC je prvi razvijeni uređaj na bazi energetske elektronike koji pruža mogućnost kompenzacije reaktivne energije (slika 6). Ovaj uređaj se nazive “statički” jer ne sadrži neke rotirajuće djelove. Isti se priključuju paralelno sistemu i u suštini predstavlja kombinaciju paralelno priključenih kondenzatora (fiksno ili promjenjivo kapaciteta) i prigušnica, tako da mogu raditi i u induktivnom i u kapacitivnom režimu [3-5].

Primarna uloga SVC-a je obično brza kontrola napona na “slabim” tačkama mreže. Instalacija ovih uređaja može biti na srednjoj tački interkonektivnih vodova ili u oblastima opterećenja. Glavna primjena SVC uređaja jeste u cilju povećanja prenosnog kapaciteta sistema. Ovim se postiže i poboljšavanje naponskih prilika u mreži i poboljšanje stabilnosti iste.

SVC se sastoji od sljedećih komponenti:

- Tiristorski kontrolisana prigušnica (TCR), koja predstavlja kontinuirano kontrolisanu induktivnost;
- Tiristorski uklopiv kondenzatori (TSC), koji se uključuje/isključuje poluprovodničkim, najčešće tiristorskim, uređajima;
- Fiksni filteri, posebno korišćeni za filtriranje harmonika niskog reda.

Odgovarajućom kontrolom komponenti SVC-a postiže se neprekidni kontrolni domen između maksimalnog induktivnog i maksimalnog kapacitivnog režima rada. Ova kombinacija omogućava SVC-u da apsorbira/proizvede tačno potrebnu količinu reaktivne energije. Parovi anti-paralelno povezanih tiristora koriste se kako bi se osigurala provodljivost u toku oba ciklusa talasnog oblika napona.



Slika 6. Struktura SVC uređaja

### 3.1 TIRISTORSKI KONTROLISANA PRIGUŠNICA - TCR

Elementarna tiristorski kontrolisana prigušnica (Thyristor-controlled reactor - TCR) se sastoji od fiksne prigušnice induktivnosti  $L$  i dva antiparalelno vezana tiristora. U današnjim izvedbama, TCR se dimenzionišu i za napone od 4-9kV i za struje od 3-6kA. Prema tome, u praktičnim aplikacijama, TCR čine veći broj redno vezanih tiristora da bi se postigao odgovarajući napon.

Struja u prigušnici može se kontinualno mijenjati od maksimalnog provođenja do nule kontrolišući ugao paljenja tiristora (slika 7). Varijacije u vrijednosti struje prigušnice se regulišu uglom paljenja tiristora, pri čemu je u toku jedne poluperiode aktivan jedan, a u toku druge, drugi tiristor.

Efektivna vrijednost osnovnog harmonika struje TCR-a ima oblik:

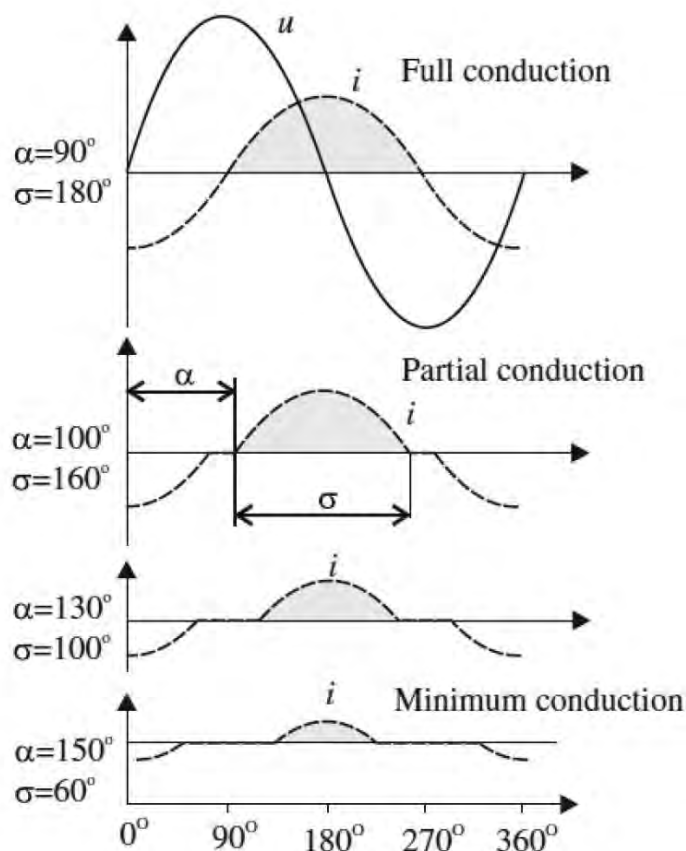
$$I_{T1} = \frac{V}{X_L} \left[ 1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin(2\alpha)}{\pi} \right], \quad (5.8)$$

gdje je  $V$  efektivna vrijednost faznog napona na TCR-u. Jasno je da TCR može kontinualno da mijenja vrijednost struje od vrijednosti 0 do maksimalne vrijednosti. Na taj način formiran je kalem varijabilne induktivnosti. Efektivna vrijednost admitanse TCR-a u funkciji ugla  $\alpha$  može se napisati u sljedećem obliku:

$$B_{TCR} = \frac{1}{\omega L} \left[ 1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin(2\alpha)}{\pi} \right], \quad (5.9)$$

Međutim, talasni oblik struje TCR-a sadrži i brojne više harmonike.  $N$ -ta komponenta talasnog oblika struje TCR-a se može izračunati na sljedeći način:

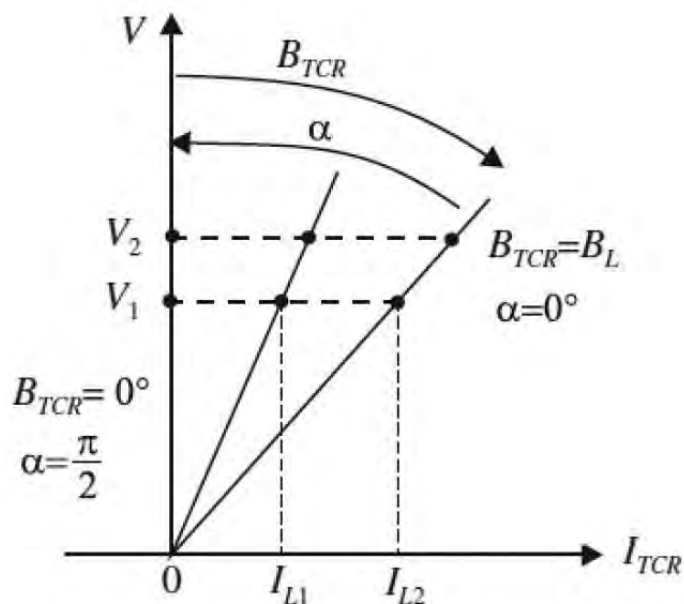
$$I_{Ln-\max} = \frac{\sqrt{2}V}{X_L} \frac{4}{\pi} \left[ \frac{\sin(\alpha)\cos(n\alpha) - n\sin(n\alpha)\cos(\alpha)}{n(n^2-1)} \right] \quad (5.15)$$



Slika 7. Promjena osnovne komponente struje TCR-a za razne vrijednosti ugla paljenja tiristora



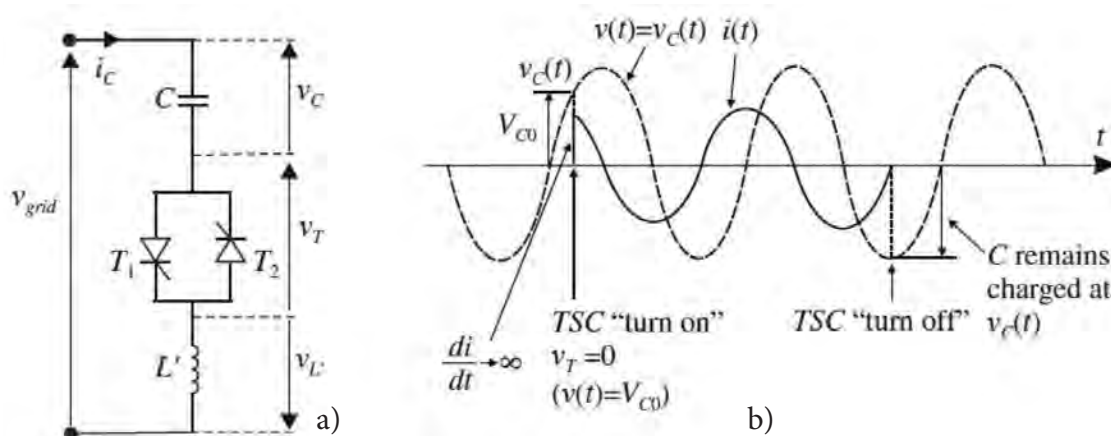
Promjenom ugla paljenja tiristora mijenjaju se strujno-naponske karakteristike TCR-a. Ove karakteristike, za razne vrijednosti ugla paljenja tiristora, su prikazane na slici slici 8. Prema tome, promjenom ugla paljenja tiristora prebac se sistem sa jedne V-I karakteristike na drugu.



Slika 8. Različite V-I karakteristike TCR-a

### 3.2 TIRISTORSKI UKLOPIV KONDENZATOR – TSC

Jednofazni tiristorski uklopiv kondenzator (Thyristor-Switched Capacitor - TSC) je prikazan na slici 9, a isti se sastoji od kondenzatora, 2 tiristora, i male induktivnosti koja se koristi da se ograniči vrijednost struje u toku komutacionog procesa, kao i za slučaj sprečavanja rezonanse sistema pri određenim frekvencijama. Ovo kolo može dodatno da sadrži i RC kola priključena paralelno svakom tiristoru u cilju sprečavanja nedozvoljeno velikih vrijednosti struja u trenucima blokiranja tiristora.

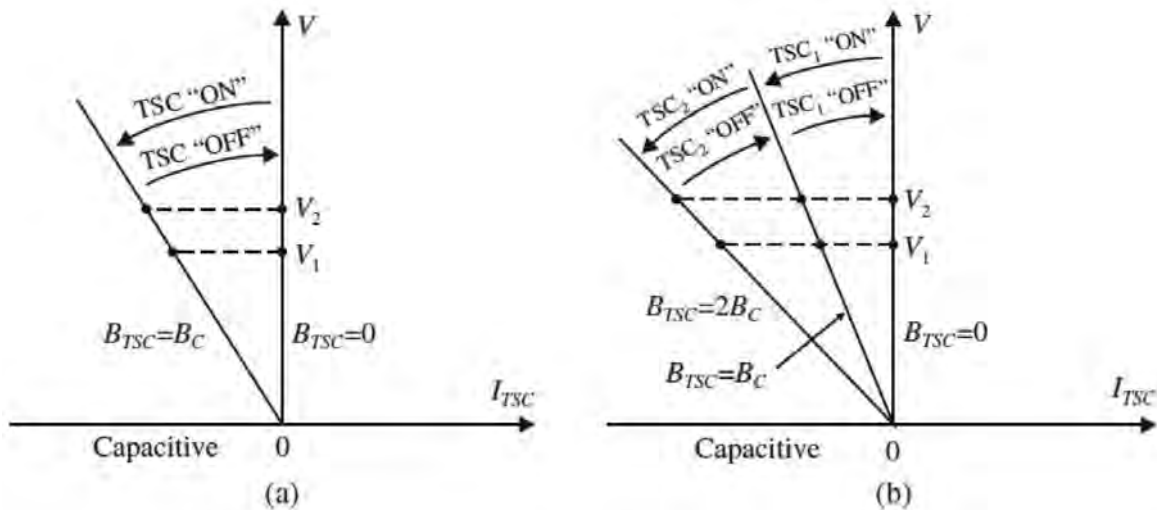


Slika 9. TCR kolo i odgovarajući talasni oblici

Glavni problem upravljanja TCR kolom jeste u definisanju termina dovođenja kontrolnog signala na tiristore. Naime, najbolja situacija bi bila kada bi naponi na tiristorima bili bliski nuli jer je u tom slučaju ulazni napon približno jednak naponu na kondenzatoru. Zbog toga, ovaj dio SVC kola ima posebnu kontrolu i zaštitu.

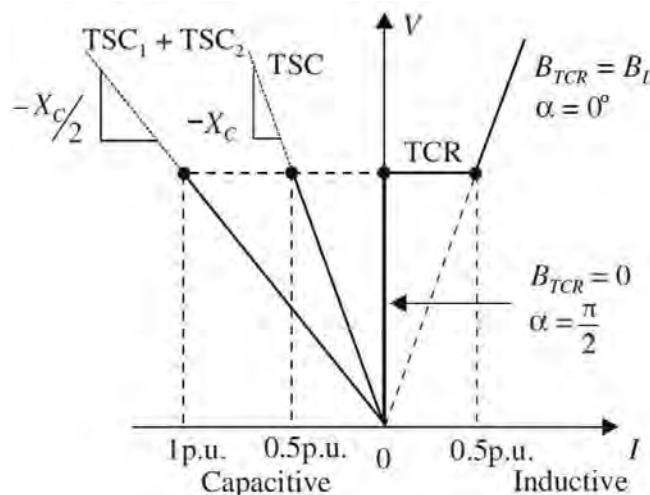
Karakteristike TSC, kao i karakteristike TCR-a, su prave linije koje imaju dva stanja - stanje kada su uključeni tiristori i samim tim u kolu je dodat kondenzator, i stanje kada su isključeni tiristori odnosno

kada je kondenzator diskonektovan. Kontrolabilnost TSC-a se može postići dijeljenjem kapacitivnosti kondenzatora, tj. koristeći dva kondenzatora koji se kontrolišu nezavisnim prekidačima. Na taj način se mogu dobiti radne karakteristike kao što je prikazano na slici 10.



Slika 10. Radne karakteristike TSC-a sa a) jednim kondenzatorom, b) dva kondenzatora

Zajedničke V-I karakteristike TCR i TSC uređaja su prikazane na slici 11. U ovom slučaju, ukupna struja je jednaka zbiru struja TCR-a i TSC-a. Ako je TSC isključen (stanje OFF) ukupna struja je jednaka induktivnoj struji prigušnice. Prema tome, isključujući kondenzator, rezultatna karakteristika SVC-a je jednaka karakteristici TCR-a i struja se može kontrolisati u rasponu od maksimalno induktivne do nule, mijenjajući vrijednost ugla uključenja tiristora od 00 do 900. Kontrolni opseg TCR-TSC sistema se može dodatno proširiti upotrebom većeg broja TSC elemenata. Na primjer, ako se koristi jedan TCR čija je maksimalna struja 0.5pu, sa dva TSC-a maksimalnih struja od po 0.5pu, tada je opseg kontrole reaktivne snage od 1pu u kapacitivnom režimu do 0.5pu u induktivnom režimu. Individualne i kombinovane karakteristike TSC i TCR sistema su prikazane na slici 11.



Slika 11. Karakteristike TCR-TSC uređaja za dvije vrijednosti TSC-a

### 3.3 RADNI DOMEN SVC UREĐAJA

Radni V-I domen SVC uređaja je definisan maksimalnom kapacitivnom i induktivnom reaktansom (admitansom), kao i maksimalnim strujnim i naponskim naprezanjima svih komponenti (slika 12). Rezultujuće radne karakteristike SVC uređaja se dobijaju kombinacijom karakteristika TCR-a i TSC-a. Ove

karakteristike se mogu podijeliti na tri dijela:

#### REGION OA

U ovom regionu napon je manji od minimalno dozvoljenog napona, tako da SVC radi kao fiksni kondenzator čija reaktivna snaga se može proračunati kao:

$$Q_{C-\max} = -B_C V^2 \quad (5.29)$$

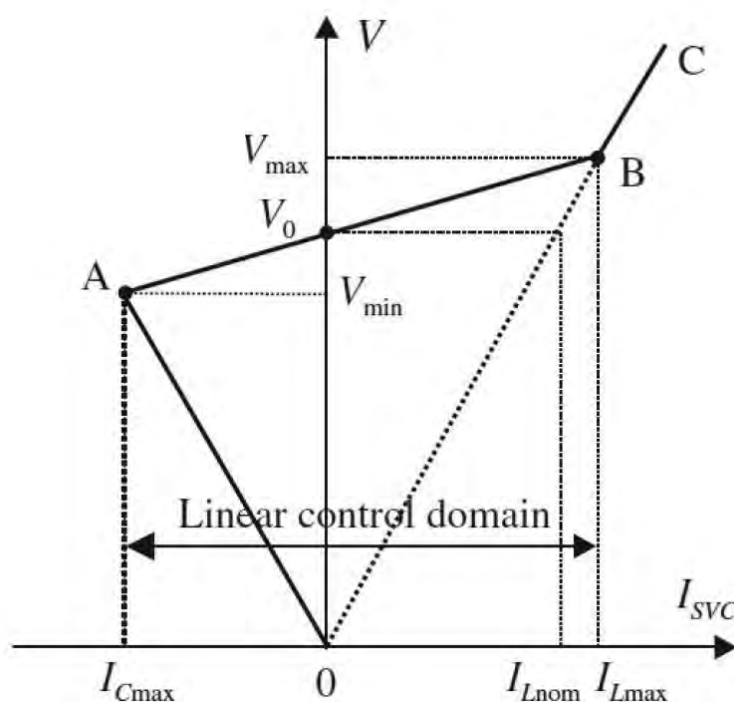
#### REGION BC

U ovom regionu napon je veći od maksimalno dozvoljenog napona tako da SVC radi kao fiksna prigušnica maksimalne induktivnosti čija se reaktivna snaga može proračunati kao:

$$Q_{L-\max} = (B_{LMAX} - B_C) V^2 \quad (5.30)$$

#### REGION AB

Region AB predstavlja linearni kontrolni region. Ovaj region je ograničen maksimalnom kapacitivnom snagom QC-MAX i maksimalnom induktivnom snagom definisanom QL-MAX preko ekvivalentne admitanse BLMAX-BC.



Slika 12 Regioni rada SVC-a

U linearnom domenu SVC karakteristika se može predstaviti kao:

$$0V = V_0 \pm X_{SL} I_S \quad (5.31)$$

gdje je  $V_0$  referentni napon  $V_{ref}$  za slučaj  $I_S = I_{SVC} = 0$ , dok je reaktansa SVC označena sa  $X_{SL}$ .

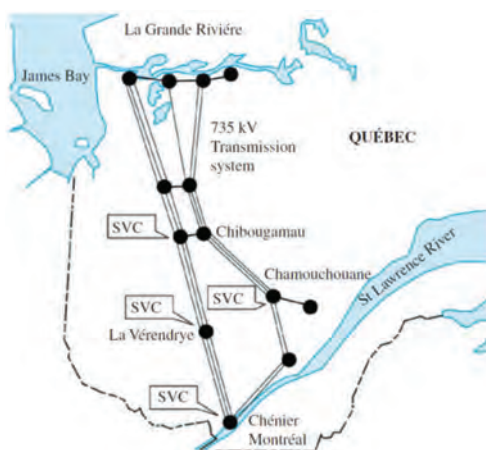
## 4. PRIMJERI INSTALACIJE SVC UREĐAJA U SVIJETU

Na globalnom nivou, iskustva sa primjenom SVC uređaja stara su preko 40-ak godina. Trenutno u svijetu ima oko 1500 aplikacija SVC uređaja, čija je ukupna instalisana snaga preko 100000MVar. Glavni proizvođači SVC uređaja su ABB, Alstom, Siemens i drugi.

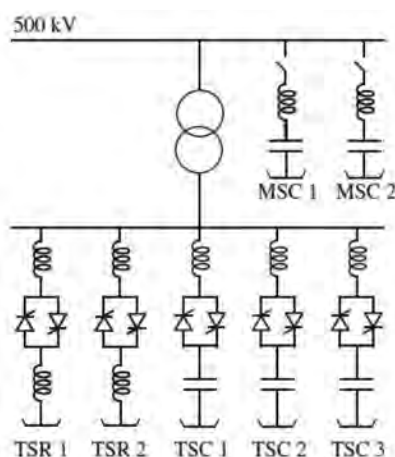
Neki od primjera SVC instalacija su sljedeći:

Prva šant kompenzacija, koja se sastoji od zasitljive prigušnice i fiksnih kondenzatora instalirana je u Zambii 1969. godine na 420km dugom 330kV dalekovodu.

Prva kombinacija TCS-TCR uređaja instalirana je 1979. godine u Kanadi, u hidroelektrani Quebec na 735kV dalekovodu, Ukupna instalisana snaga ovog SVC uređaja je 450MVar. Nakon toga, četiri SVC uređaja su instalirana na 735kV dalekovodu koji povezuje elektranu James Bay i oblast Montreala (slika 13).



Slika 13. Instalacija SVC uređaja u Kanadi

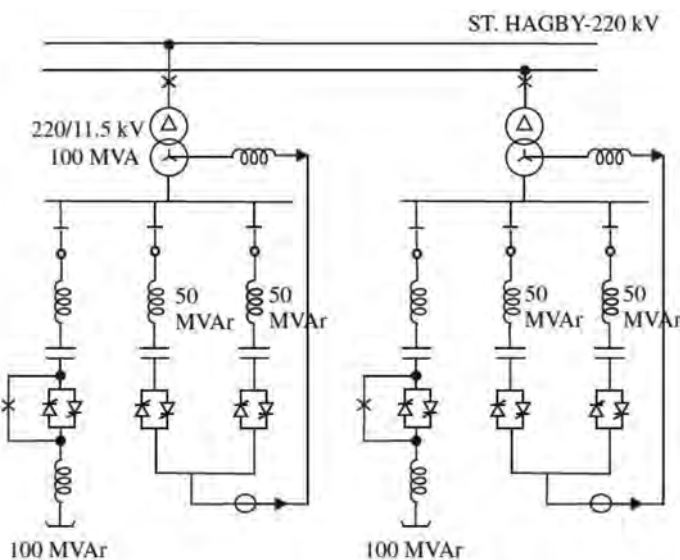


Slika 14. Instalacija SVC uređaja u Britaniji

Dva najveća SVC uređaja pojedinačne snage od po 580MVar su instalirana u Venecueli na 800kV dalekovodu u blizini hidroelektrane Guri.

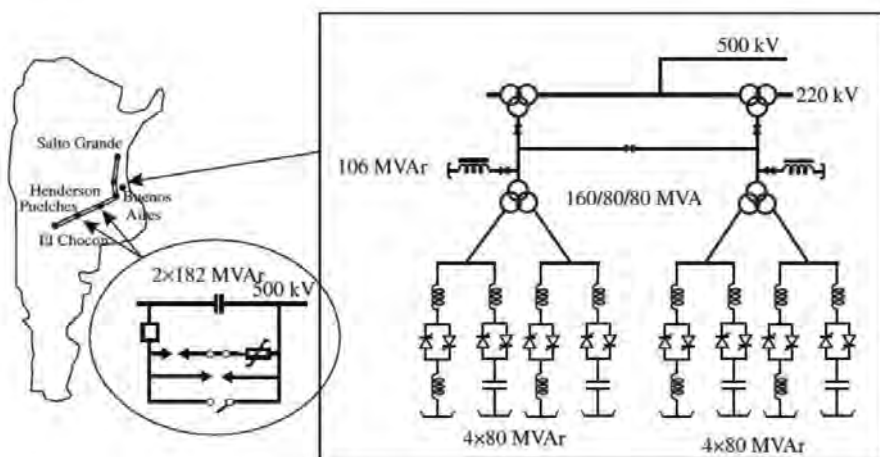
U Evropi, najveći SVC sistem je u Velikoj Britaniji, na 500kV dalekovodu. Sistem ima dinamički opseg od 450MVar induktivno i 1000MVar kapacitivno. Sistem se sastoji od 2 TSR-a, 190MVar+260MVar i tri TSC-a od po 55 MVar + 110 MVar + 235 MVar (slika 14).

Drugi najveći sistem u Evropi instaliran u Švedskoj, u Hagby na 220kV dalekovodu, a koji ima mogućnost isporučivanja 100MVar kapacitivne snage i 50MVar induktivne snage (slika 15).

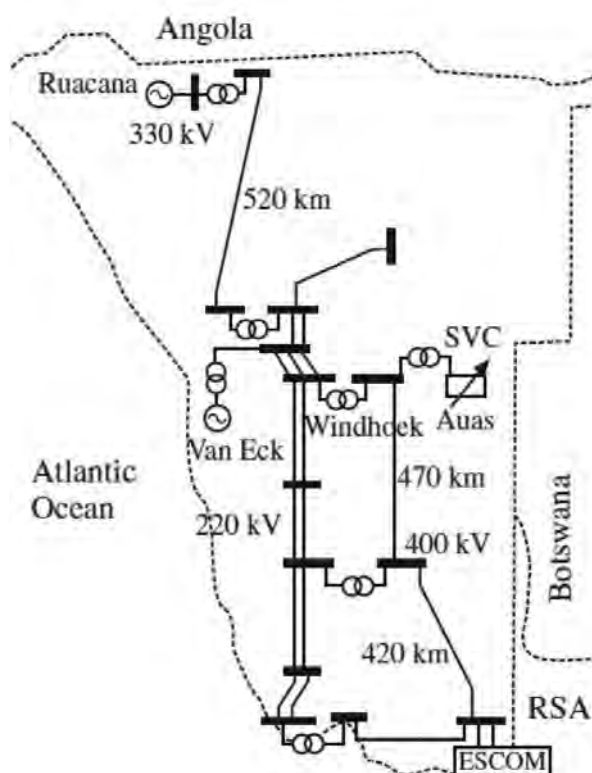


Slika 15. Instalacija SVC uređaja u Švedskoj





Slika 16. Instalacija SVC uređaja u Argentini



Slika 17. Instalacija SVC uređaja u Namibiji

Još dva interesantna primjera primjene SVC uređaja tiču se Argentine i Namibije. U Argentini, dva glavna proizvodna centra električne energije su El Chocon i the Salto Grande, a glavni centar zemlje je oblast oko glavnog grada Buenos Aires (slika 16). U ovoj zemlji je instalirano nekoliko SVC uređaja u cilju održavanja naponskog nivoa baš u glavnoj industrijskoj oblasti. Slično, u Namibiji, glavni potražnjački centri su u Windhoek, dok je prenosna mreža radijalnog karaktera (slika 17). Međutim, glavni problemi EES ove zemlje su bile rezonanse koje su se pojavljivale u opsegu od 50 do 75Hz. Zbog toga je, ali i zbog kompenzacije i poboljšanja naponskih prilika, u Auasu instaliran SVC uređaj snage 250MVAR u induktivnom i 80MVAR u kapacitivnom režimu rada.

## UMJESTO ZAKLJUČKA

Elektroenergetski sistem (EES) predstavlja složeni, izuzetno dinamični sistem velike dimenzionalnosti, čija je funkcija da sigurno, pouzdano, kvalitetno i ekonomično snabdijeva potrošače sa dovoljnim količinama električne energije. Za razliku od klasičnih EES, savremeni, ali i budući, EES imaju značajno drugačiju konfiguraciju i tok energije. Štaviše, kod savremenih EES se sve više pažnje poklanja sve većoj upotrebi elemenata energetske elektronike koji će da izvrše sinhronizaciju proizvodnje sa energetskom mrežom, da regulišu skladištenje energije i da vrše kompenzaciju reaktivne energije. Ovaj rad se bavio jednim od najstarijih, ali najčešće korišćenih sistema za kompenzaciju reaktivne energije baziranih na elementima energetske elektronike.

## LITERATURA

1. Hingorani, N. G., and Gyugyi, L. Understanding FACTS. Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. IEEE Press, New York, 2000.
2. Mathur, R. M., and Varma, R. K. Thyristor – Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems. IEEE Press, Wiley Interscience, New York, 2002.
3. B., Mc Nabb, D., Arabi, S., Martin, D., Thanawala, H. L., Luini, J., Gonzalez, R., Concordia, C. Static VAR compensator models for power flow and dynamic performance simulation. IEEE Special Stability Controls Working Group, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 9, no. 1, pp. 229–239, February 1994.
4. Erinmez, I. A. (chairman), Jervis, W. B., Gavrilovic, M., Gyugyi, L., Pasternack, B., McGranaghan, E., Lasseter, R. H., Norman, H. B., Suzuki, H., Christensen, J. F., Leost, J. Y., Compagnion, C., Reichert, K., Meringdal, P., Olsen, K., Frank, H., Engberg, K., Testi, G., Nicola, G., Thanawala, H. L., and Petry, L. Static VAR compensators. CIGRE Working Group 38-01, Task Force No. 2 on SVC, Paris, 1986.
5. Aboytes, F., Arroyo, G., and Villa, G. Application of static VAR compensators in longitudinal power systems. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, no. 10, pp. 340–3466, October 1983.
6. Lindström, C. O., Walve, K., Waglund, G., Frank, H., and Ivner, S. The 200MVAR static compensator in Hagby, Sweden. Report 38.02, CIGRE, SC 38, 1984.
7. ABB. SVC for increased power interchange capability between Canada and USA. ABB Technical Brochure, A02-0147 E, 2011-03.
8. ABB. SVC to increase the transmission capacity and stability of the Mexican 400 kV system. ABB Technical Brochure, A02-0105 E, 2011-01.
9. Grünbaum, R., Halonen, M., and Rudin, S. Power factor, ABB static VAR compensator stabilizes Namibian grid voltage. ABB Review (Special report on Power Technologies), pp. 19–24, 2003.
10. M. Eremia, C.-C. Liu, A.-A. Edris, “Advanced solutions in power systems - HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence”, IEEE Press – Wiley, 2016.

# ZELENA ENERGETSKA TRANZICIJA I EPCG

## PROJEKAT SOLARI PO PLANU

Crna Gora ima potencijala da do 2030. godine sprovede zelenu energetska tranziciju i dostigne nultu stopu emisije ugljen-dioksida.

Ključna uloga u procesu zelene energetske tranzicije pripada Elektroprivredi Crne Gore, a kao nacionalna elektroenergetska kompanija, EPCG je zainteresovana za razvoj i izgradnju novih izvora zelene energije kroz investiciono-razvojne prijekte u solarnoj, vjetro i hidro energiji.

Raspisivanjem Javnog poziva za građane te vlasnike poslovnih objekata, koji mogu biti pravna i fizička lica i faktički je počela realizacija projekta Solari 3000+ i Solari 500+ od strateške važnosti za kupce električne energije, EPCG i razvoj elektroenergetskog sistema. Intenzivni pregovori sa Investiciono-razvojnim fondom, prvorangiranim ponuđačem, u vezi sa preciznim definisanjem svih detalja budućeg ugovora o finansiranju ušli su u završnu fazu, dok je Sporazum o suvlasništvu nad Projektom sa Eko fondom

Elektrana	Instalisana snaga (MW)	Proizvodnja (GWh/g)	Godina puštanja u pogon
VE Gvozd	54,6	150	2023
SE Briska Gora	50 + 200	90+360	2024/2026*
HE Komarnica	171,9	213	2028
HE Perućica – Agregat A8	58,5	do 50	2024
mHE Otilovići	3,3	11,4	2024
HE Kruševo	90	235	2030
SE Velje Brdo	50 + 100	80 + 160	2024*/2026*
SE Vilusi I	30	45	2024
SE Dragalj/Vilusi II	80	140	2026
SE Čevo	100	160	2025
SE Slano – plutajući solar	33,6	65	2023*
SOLARI 3000+ i 500+	28,6	47,2	2022*
SOLARI 5000+	50	cca 80	2022*
SE brana Slano i brana Vrtac	2,2 + 1,5	3,3 + 2,3	2022/2023
UKUPNO	1104,2	1892,2	

LEG: Plan izgradnje elektro energetska objekata ( izvor: Direkcija za razvoj i inženjering EPCG)





potpisan 22. oktobra. Eko fond je preuzeo obavezu subvencioniranja projekta u iznosu od 20 odsto ukupne fakture za nabavku i ugradnju fotonaponskog sistema.

Tenderom za nabavku opreme, u četiri partije, predviđena je nabavka: monokristalnih fotonaponskih modula, invertora i smart meter trofaznih brojila, potkonstrukcija fotonaponskog sistema, energetske infrastrukture i zaštitne opreme.

Elektroprivreda Crne Gore i Investiciono razvojni fond potpisali su ugovor vrijedan 30 miliona eura za finansiranje projekta SOLARI 3000+ i SOLARI 500+. Ugovor su, u ime IRF-a potpisali predsjednik upravnog odbora Investiciono razvojnog fonda Velizar Kaluđerović, izvršna direktorica Irena Radović i Nikola Milosavljević, direktor sektora za kredite a u ime EPCG predsjednik odbora direktora Milutin Đukanović, izvršni direktor Nikola Rovčanin i glavni finansijski direktor Miro Vračar.

„Potpisivanje ugovora za finansiranje projekta SOLARI 3000 i 500+ sa Investiciono razvojnim fondom veoma je značajno za našu kompaniju. Podsjećam, da će u okviru ovog projekta biti otvoreno na stotine novih radnih mjesta, dok će na hiljade naših potrošača imati manje račune za utrošenu električnu energiju. Koristim ovu priliku da još jednom pozovem građane Crne Gore da konkurišu za projekat SOLARI, jer smatramo da će u zelenoj tranziciji pobjednik biti onaj koji će moći da proizvodi električnu energiju. Čestitam poslovodstvu EPCG, jer je odrađen veliki i dobar posao“, rekao je prilikom potpisivanja ugovora predsjednik odbora direktora EPCG Milutin Đukanović.

„Investiciono razvojni fond je, kao državna institucija, prepoznao veliki značaj ovog projekta. Izuzetno je važno da pratimo efekte projekta SOLARI koji će doprinijeti snaženju standarda građana naše države, a i doprinijeti novom zapošljavanju. IRF je zato podržao projekat Solari sa najnižom kamatnom stopom u istoriji ove institucije. Na ovaj način mi smo, pored podrške EPCG kao državnoj kompaniji, dali jasnu podršku i brojnim malim i srednjim preduzećima koja će kroz učešće u projektu Solari ostvariti značajne benefite. Nadam se da će u narednom periodu biti puno novih projekata gdje će IRF sa zadovoljstvom partnerski učestvovati“ istakla je, prilikom potpisivanja ugovora, izvršna direktorica IRF-a, Irena Radović.

Izvršni direktor EPCG, Nikola Rovčanin, istakao je da je ovo istorijski trenutak ne samo za EPCG, već





i za cjelokupno društvo. Izrazio je zadovoljstvo što je partner u projektu baš IRF, uz nadu da u budućnosti zajedno razvijati i brojne druge projekte zelene energije: „Mi smo u protekloj godini uspjeli da obezbijedimo energetska stabilnost, a nadam se da ćemo uz razvoj ovakvih projekata, vezanih za proizvodnju solarne energije, uspjeti da postanemo i regionalni gigant kada su u pitanju preduzeća koja se bave proizvodnjom i isporukom električne energije. Zahvaljujem se IRF i nadam se da je ovo početak naše uspješne saradnje. Pozivam još jednom građanje Crne Gore da se uključe u ovaj projekat , jer je on projekat budućnosti“, naveo je Rovčanin.

Svoje zadovoljstvo partnerstvom sa IRF-om iskazao je i glavni finansijski direktor EPCG, Miro Vračar: „Ovo je dan od istorijskog značaja za energetska sektor kao i za sve građane Crne Gore, jer projekat SOLARI predstavlja investicija koja doprinosi poboljšanju standarda u državi, zato pozivam potrošače da se uključe i postanu proizvođači-potrošači“, istakao je Vračar.

Podsjećanja radi, projekat Solari 3000+ i Solari 500+, ukupno vrijedan oko 30 miliona eura, predstavlja početak energetska tranzicija u Crnoj Gori i jednu od najznačajnijih investicija u energetska sektoru u poslednjih 40 godina. Omogućiće da se u 3000 domaćinstava, koja stanuju u individualnim stambenim objektima, instalira fotonaponski, odnosno solarni sistem i da od potrošača, odnosno kupca postanu proizvođači i prodavci električne energije. Takođe, investicija će omogućiti da se i na krovu 500 malih proizvodnih pogona, u vlasništvu pravnih i fizičkih lica, i javnih ustanova ugradi fotonaponski sistem, koji će im, pored ostalih prednosti, donijeti i određene uštede, a jedan od važnijih ciljeva projekta, jeste

Foto: epcg.me



da se, kroz energetska tranzicija, emisija SO<sub>2</sub> svede na najmanju moguću mjeru i doprinese očuvanju životne sredine.

Predsjednik Odbora direktora EPCG, Milutin Đukanović, podsjeća da će se projektom Solari 3000+ i Solari 500+, proizvodnja električne energije orijentisati na obnovljive izvore energije, a potrošačima električne energije omogućiti da, po najpovoljnijim uslovima, sami proizvode zelenu energija bez emisije ugljen-dioksida.

„Građani će na ovaj način biti u prilici da sami proizvode električnu energija za svoje potrebe i, eventualno, proizvedeni višak energija prodaju Elektroprivredi Crne Gore. To znači da, osim vraćanja dodijeljenih sredstava za nabavku i ugradnju solarnih panela, osim fiksnih, korisnici solarnog sistema neće imati druge troškove za električnu energija, jer će je sami proizvoditi, a mjesečni anuitet će biti približan prosječnom računu koji su do tada imali. Dakle, kad građani otplate opremu, a predviđeni period otplate je od šest do osam godina, dobiće mogućnost da za svoje domaćinstvo obezbjeđuju besplatnu električnu energija, djelimično ili u cjelosti“, naglasio je Đukanović.

I izvršni direktor EPCG Nikola Rovčanin vjeruje u Projekat koji će, kako je istakao, potrošaču koji



se opredijeli za ugradnju fotonaponskog sistema obezbijediti brojne povoljnosti i znatno rasterećenje kućnog budžeta u dijelu troškova za električnu energiju. Objasnio je da će tokom ljetnjih mjeseci kada sva proizvodnja električne energije bude dovoljna da podmiri potrebe domaćinstva i ostane višak, potrošač će moći da taj određeni višak preda u distributivnu mrežu, a u zimskom periodu manjak električne energije koji bude potreban za podmirivanje potreba domaćinstva moći će da otkupi od mreže.

Pored svih povoljnosti i logistike koju će učesnicima tokom realizacije Projekta pružati EPCG, veliki benefit za korisnike biće i subvencija Eko fonda u iznosu od 20 odsto ukupne vrijednosti fakture za nabavku i ugradnju solarnog sistema, što već na samom početku budućim korisnicima solarnog sistema obezbjeđuje veliku finansijsku uštedu.

Kako je odziv zainteresovanih fizičkih i pravnih lica bio veliki, rok za prijavu je prolongiran do 28. februara.

S obzirom na odziv, 13.646 prijavljenih do 14. februara 2022, pokrenuli smo i projekat Solari 5000+ čija je vrijednost 70 miliona eura, ukupne instalisane snage 100 MW. Projektom će biti obuhvaćeno 4000 objekata za individualno stanovanje, 500 stambenih zgrada i 500 preduzeća i javnih ustanova, ističe menadžer projekta Mihailo Gluščević.

On je istakao da su terenski promotori projekta Solari 3000+ i 500+ uveliko doprinijeli velikom odzivu građana.

“Direktna komunikacija agenata i stručna pojašnjenja na terenu, riješili su brojne nedoumice potrošača”, istakao je Gluščević.

Na konstataciju da je sigurno najveće interesovanje za projekat Solaru na Crnogorskom primorju, s obzirom na broj sunčanih dana kao i činjenicu da vlasnici turističkih objekata mogu značajno uštedjeti ugradnjom solarnih panela, Gluščević je naglasio da je od ukupnog broja prijavljenih potrošača - njih 40% sa primorja - najviše iz Herceg Novog, potom iz Bara, Budve, Kotora, Tivta i Ulcinja.

Gluščević je ukazao i na probleme, odnosno barijere sa kojima se susreću u pojedinim opštinama na Crnogorskom primorju. Riječ je o poteškoćama prilikom dobijanja dozvola jer, kako ističe Gluščević, pojedine lokalne samouprave nijesu uskladile svoje podzakonske akte, koje uređuju ovu oblast, sa važećim zakonskim rješenjima. On je dodao da se intezivno radi na prevazilaženju ovih ograničenja. Da dodamo i to da je EPCG-Solar Gradnja, formirala timove inženjera koji će obilaskom terena dobiti potpunije i detaljnije informacije o profilu objekata i potrošača. Nakon pripremljene ponude i isporuke opreme, desiće se i prva ugradnja fotonaponskih sistema.