



ZBORNİK RADOVA

DRUGI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG



INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE
STRUKOVNA KOMORA ELEKTRO INŽENJERA

DRUGI DANI

ELEKTRO INŽENJERA
IK CG



ZBORNİK RADOVA

PODGORICA, 15. - 17. NOVEMBAR 2018.



INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE
STRUKOVNA KOMORA ELEKTRO INŽENJERA

DRUGI DANI

ELEKTRO INŽENJERA IKCG

PODGORICA, 15. - 17. NOVEMBAR 2018.

Imanje KNJAZ

IZDAVAČ

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

ZA IZDAVAČA

Boris Ostojić, dipl. ing. el.

ODGOVORNI UREDNICI

Željko Maraš, dipl. ing. el.
Prof. dr Milovan Radulović, dipl. Ing. el

ORGANIZACIONI ODBOR

Željko Maraš, dipl. ing. el., Predsjednik
Ratko Vujović, dipl.ing.el., Potpredsjednik
Prof. dr Milovan Radulović, dipl. ing. el., Predsjednik Programskog odbora
Šeljko Redžepagić, dipl.ing.el.
Rajko Radusinović, dipl. ing. el.
Sandra Šipčić, dipl. ing. el.
Mićun Nikitović, dipl.ing.el.
Hajdana Božović, dipl.ing.el.
Srđan Laković, dipl.ing.el.
Mira Radunović, dipl.ing.el.
Prof. dr Gojko Joksimović, dipl. ing. el.
Mr Miodrag Saveljić, dipl. ing. el.
Ana Grbović, dipl.ing.el.

TEHNIČKI UREDNIK

Blažo Veljović

ŠTAMPA I POVEZ

Grafo Group, Podgorica

TIRAŽ

300 primjeraka

IZLAGAČI

Čikom d.o.o.

Podgorica

ELECTRO GROUP

Društvo za proizvodnju, promet, usluge i inženjering

CIP - Каталогизација у публикацији
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

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

Zbornik radova

DRUGI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG

Podgorica, 2018.

UVODNA RIJEČ PREDSDJEDNIKA STRUKOVNE KOMORE ELEKTRO INŽENJERA IKCG



Poštovane kolegice i kolege,

Pred Vama se nalazi Zbornik radova koji će biti prezentovani na stručnom skupu “DRUGI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG“, koji se i ove godine održava u Podgorici.

Prošle godine, polovinom mjeseca oktobra, bili smo u prilici da, po prvi put, organizujemo ovakav stručni skup na kojem je bilo prisutno gotovo 400 učesnika, predavača i gostiju.

Poučeni iskustvom stečenim prilikom organizacije prošlogodišnjeg skupa, iako se Inženjerska komora, a samim tim i Strukovna komora elektro inženjera, tokom ove godine našla u izmijenjenoj poziciji, u odnosu na nova zakonska rješenja, potrudili smo se da i ovoga puta obezbijedimo 12 kvalitetnih referata, odnosno predavača, članove/ice Strukovne komore i eminentne stručnjake iz Crne Gore i iz inostranstva.

Ubijeđeni smo da je, uz obavezni dio vezan za stručno usavršavanje, što je i novim zakonskim rješenjima definisano kao osnovna nadležnost IKCG i Strukovnih komora, današnji stručni skup prije svega namijenjen druženju i obnavljanju postojećih i uspostavljanju novih međusobnih kontakata članova/ica Strukovne komore elektro inženjera, kao i kontakata sa svim njihovim i našim prijateljima i poslovnim partnerima iz zemlje i inostranstva.

Želim da se zahvalim svim učesnicima: gostima iz Crne Gore i inostranstva, kao i svim bivšim i sadašnjim članovima/icama IKCG i Strukovne komore elektro inženjera, koji su svojim prisutvom uveličali ovogodišnji stručni skup; predavačima koji su se odazvali našem pozivu i uložili trud na pripremi i prezentovanju kvalitetnih referata; Sekretarijatu IKCG na pomoći u organizaciji i osoblju „Imanja Knjaz“ na gostoprimstvu.

Posebnu zahvalnost iskazujem svim članovima/icama Organizacionog odbora na uloženom vremenu i trudu, kako bi ovogodišnji stručni skup bio uspješno organizovan.

Kao što smo prošle godine najavili prilikom zatvaranja prvog, a što smo organizacijom ovogodišnjeg ispunili, ovoga puta obećavamo da će održavanje ovog stručnog skupa preći u tradiciju i da ćemo se potruditi da sve naredne skupove poboljšavamo, kako u organizacionom, tako i u programskom dijelu.

Nadam se da ćemo u tome, kao i do sada, imati i Vašu podršku, kao i podršku nadležnih državnih institucija i naših poslovnih prijatelja i partnera. Uz poziv da se i sljedeće godine u ovo vrijeme sretnemo na stručnom skupu „TREĆI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG“, sve Vas pozdravljam i želim Vam ugodan boravak i uspješan rad.

Dobro došli!

Željko Maraš, dipl. ing. el.

Predsjednik Strukovne komore elektro inženjera IKCG

Sadržaj:

POTENCIJAL ENERGIJE SUNCA I VJETRA U CRNOJ GORI – PREGLED STUDIJA I UPOTREBA SPECIJALIZOVANIH SOFTVERA	11
Dr Martin Čalasan	
UTICAJ VJETROELEKTRANA NA OPTIMIZACIJU I PLANIRANJE PROIZVODNJE U PORTFOLIJU ELEKTROPRIVREDE CRNE GORE	23
Novica Daković Vladimir Kostić	
DIGITALIZACIJA TRAFOSTANICA I ZNAČAJ STANDARDIZACIJE PROCESNIH INFORMACIJA U SEKUNDARNIM SISTEMIMA CGES-A.....	35
Mr Mimo Mirković, dipl.el.ing.	
LOKALNA KOMPENZACIJA REAKTIVNE ENERGIJE.....	43
Gojko Joksimović	
PRIMJENA ARDUINA U INDUSTRIJI.....	55
Ivan Martinović Zoran Mijanović Rada Dragović Ivanović	
MODERNIZACIJA SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA KOMBINOVANOM MAŠINOM (ODLAGAČ-UZIMAČ) U TERMO-ELEKTRANI KOSTOLAC A	67
Kosta Strunjaš	
MAGNETSKO POLJE ENERGETSKOG KABLOVSKOG VODA.....	79
Milutin Ostojić	
UPOREĐENJE KLJUČNIH AMBIJENTALNIH TEHNIČKIH I EKONOMSKIH PARAMETARA KLASIČNIH HE I RHE NA PRIMJERU VALORIZACIJE HIDRO POTENCIJALA RIJEKE PIVE	89
Dr Miodrag Kaluđerović	
KLJUČNA PITANJA USKLAĐIVANJA METODOLOGIJE ZA IZRADU I OCJENU INVESTICIONIH PROJEKATA U HIDROENERGETICI SA SAVREMENIM TOKOVIMA KOD NAS I U SVIJETU	105
Mr Slobodan Perović	
UMREŽENO OSVJETLJENJE.....	115
Igor Strugar	
KONCEPTI RAZVOJA PROFESIONALNIH MOBILNIH KOMUNIKACIONIH SISTEMA	125
Ranko Vojinović	
BUDUĆNOST I RAZVOJ TEHNOLOGIJE DATA CENTARA	133
Dejan Dokmanović	

POTENCIJAL ENERGIJE SUNCA I VJETRA U CRNOJ GORI – PREGLED STUDIJA I UPOTREBA SPECIJALIZOVANIH SOFTVERA

Dr Martin Čalasan
Elektrotehnički fakultet Podgorica

Kratak sadržaj: Porast broja stanovnika na Zemlji, kao i porast životnog standarda, uzrokuju povećanu potrebu za električnom energijom. Uzimajući u obzir da neobnovljivi izvori energije imaju ograničene zalihe jasno je da će u budućnosti obnovljivi izvori energije biti jedan od glavnih izvora električne energije. Upravo zbog toga ovaj rad se bavi analizom potencijala energije sunca i energije vjetra u Crnoj Gori. Konkretno, u radu će biti prikazan pregled svih studija koje su se bavile procjenom potencijala ovih obnovljivih izvora energije. Takođe, ukazaće se na bilans električne energije sa posebnim osvrtom na proizvodnju iz obnovljivih izvora energije. Sa druge strane, u radu će biti prikazan značaj, ali i ukazani potencijalni nedostaci, upotrebe specijalizovanih softvera koji se bave optimizacijom i dizajnom energetske mreže sa obnovljivim izvorima energije. U radu će biti pokazano da pri projektovanju energetske mreže sa fotonaponskim izvorom energije posebno treba voditi računa o izvoru podataka koji koriste specijalizovani softveri.

Ključne riječi: Energija sunca, energija vjetra, stručne studije, specijalizovani softveri.

1. UVOD

Posljednjih decenija potrošnja električne energije u svijetu značajno raste. Iako veliku ulogu u tome igraju kako ubrzan tehnološki razvoj tako i porast životnog standarda, činjenica je da je ipak najbitniji faktor porast svjetske populacije [1-2].

Intenzivna upotreba fosilnih goriva za proizvodnju električne energije dovela je do smanjenja njihovih rezervi. Sa druge strane, osim pitanja globalne raspoloživosti fosilnih energenata, ništa manji problem ne predstavljaju ni klimatske promjene izazvane upotrebom istih. Zbog toga, vizija razvoja energetike preporučuje sve veće korišćenje obnovljivih izvora energije, [1-2]. Strategija razvoja ener-

getike Crne Gore i prateći dokumenti takođe definišu razvoj energetike baziran na upotrebi obnovljivih izvora energije uz povećanje energetske efikasnosti [3-4].

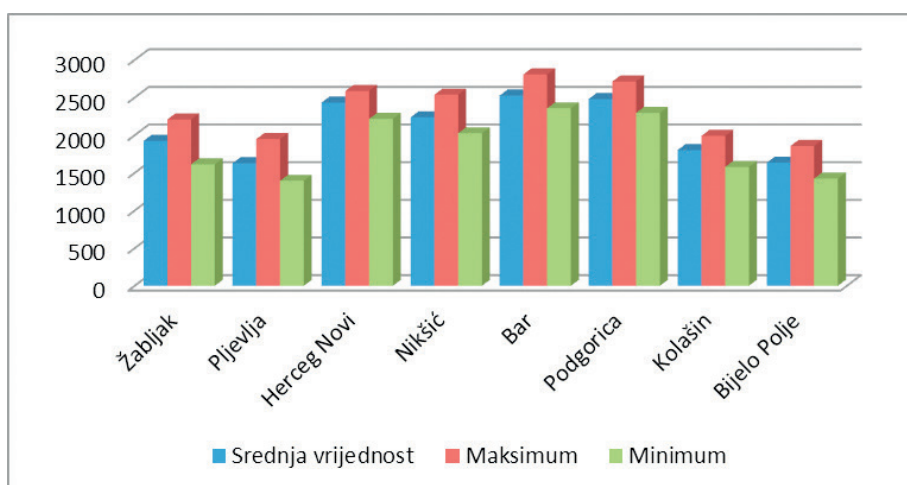
U ovom radu dat je pregled studija koje se bave procjenom potencijala energije sunca i vjetra u Crnoj Gori. Takođe, ukazano je na regije koje su pogodne sa aspekta korišćenja ovih obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije.

Takođe, dat je osvrt na elektro-energetski bilans Crne Gore, kao i stanje u proizvodnje električne energije iz obnovljivih i neobnovljivih izvora energije. Na kraju rada, dat je osvrt na potencijalne greške, po pitanju sunčevog zračenja, u bazama podataka kod specijalizovanih softvera koji se koriste za energetske-ekonomske analize o upotrebi obnovljivih izvora energije. Upravo, svi ovako definisani ciljevi rada su opisani kroz pojedinačna poglavlja.

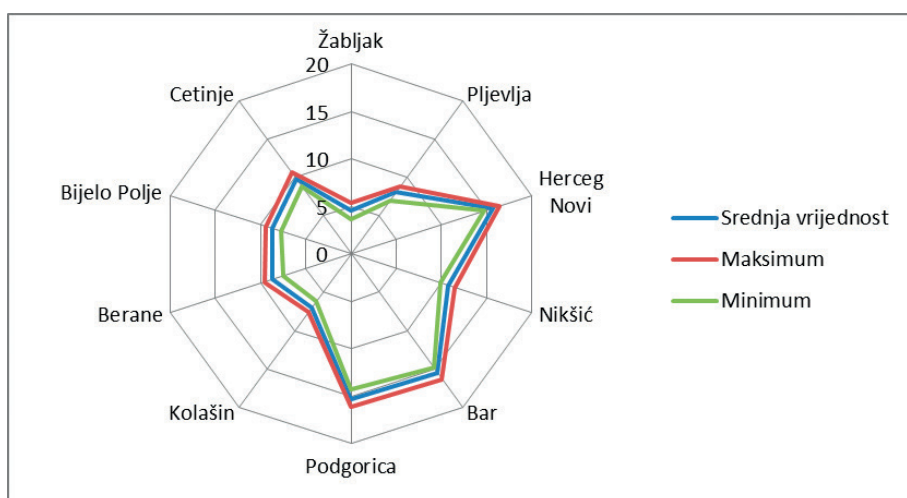
2. POTENCIJAL ENERGIJE SUNCA U CRNOJ GORI

Sunce je najveći izvor energije na Zemlji. Energiju Sunca, njegovu svjetlost i toplotu, ljudi koriste od davnina na različite načine i uz pomoć različitih tehnologija.

Crna Gora se nalazi u Jugoistočnoj Evropi i, upravo zbog svog položaja, vrijednost dužine sisanja sunca, prosječne temperature, vrijednost oblačnosti i drugo je u opsegu sličnom drugim južno-evropskim zemljama [3-7]. Podaci o srednjoj godišnjoj dužini sisanja sunca u časovima, kao i o srednjim godišnjim temperaturama vazduha u 0C, u najvećim gradovima centralne, sjeverne i južne regije Crne Gore, dati su na slikama 1 i 2.



Slika 1. Srednja godišnja dužina sisanja sunca u časovima [7]



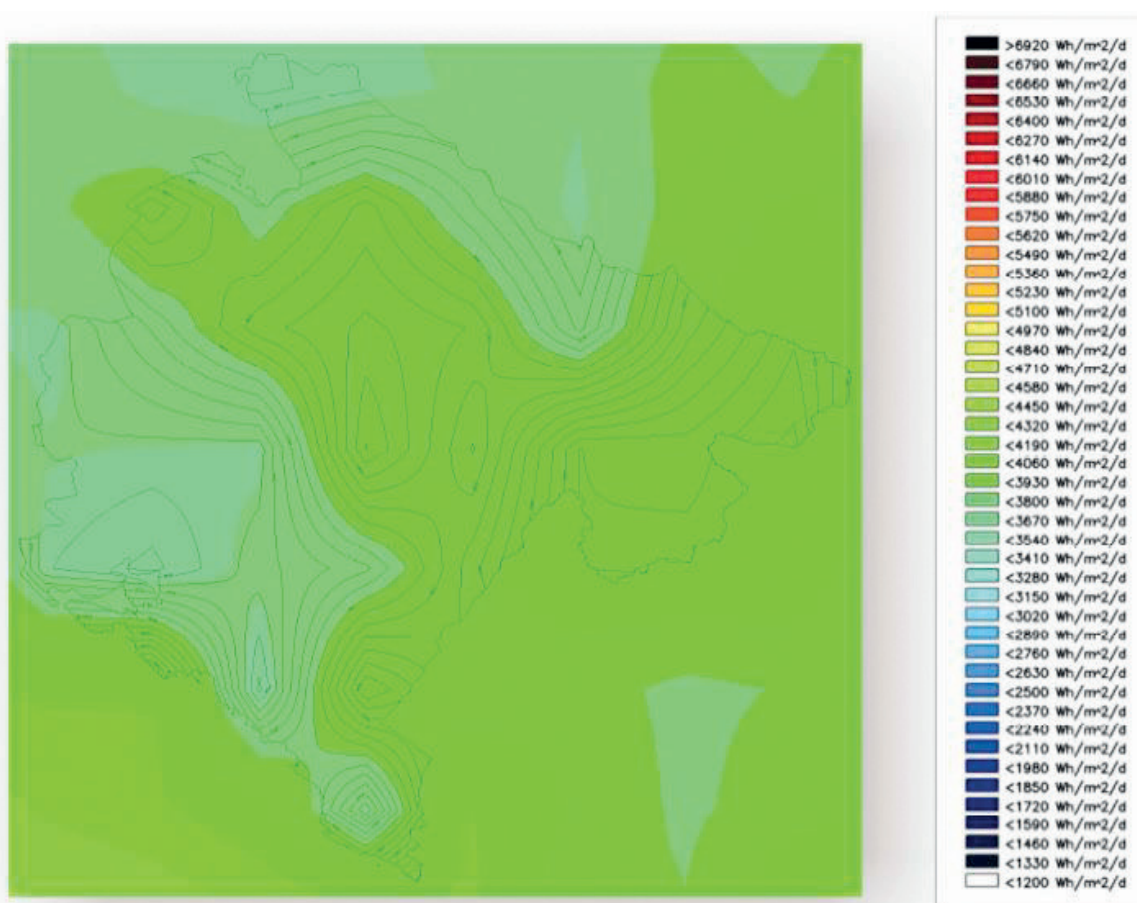
Slika 2. Srednje godišnje temperature vazduha u 0C [7]

Ovdje je posebno važno uočiti da dužina sisanja sunca u časovima iznosi preko 2.000 časova godišnje za veći dio teritorije Crne Gore i skoro 2.500 časova godišnje duž morske obale. Količina sunčevog zračenja u Crnoj Gori, posebno u priobalnom i centralnom području, može se uporediti sa količinom sunčevog zračenja u Grčkoj ili Južnoj Italiji. Konkretno, Podgorica ima veću godišnju količinu solarne energije u odnosu na druge gradove Jugoistočne Evrope (kao što su Rim ili Atina) [3-6].

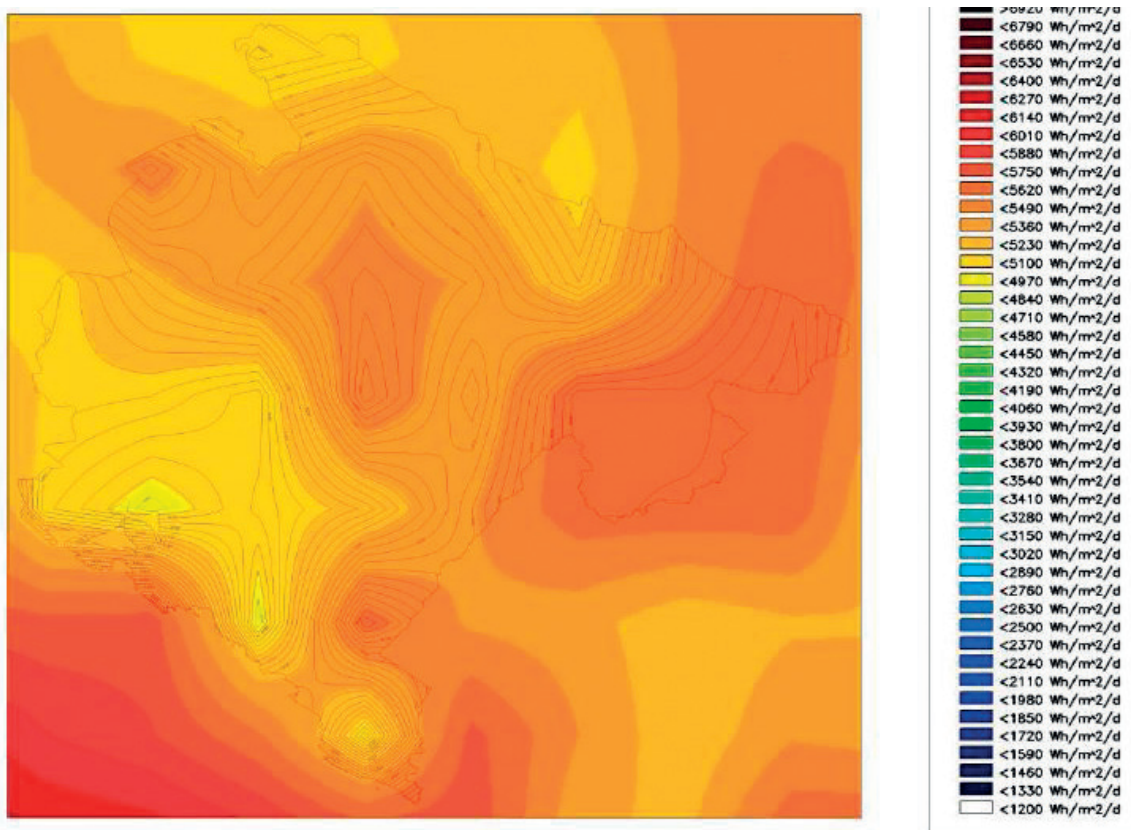
Globalno sunčevo zračenje – srednje dnevne vrijednosti na godišnjem nivou i globalno sunčevo zračenje – srednje dnevne vrijednosti na mjesečnom nivou (konkretno za mjesec maj) prikazane su na slikama 3 i 4. Na osnovu ovih slika se jasno vidi da region oko Podgorice, region primorja (zona oko Budve i zona oko Ulcinja), kao i sjevero-istočni djelovi Crne Gore imaju izuzetan solarni potencijal. Isto tako, sa slike 4 se jasno vidi da su srednje dnevne vrijednosti globalnog sunčevog zračenja za mjesec maj izuzetno velike, što ukazuje na izuzetan solarni potencijal u ljetnjem periodu. Štaviše, i na ovoj slici je uočljiv značajan potencijal sunčevog zračenja kod obalnog područja i južnog dijela Crne Gore.

Na kraju, ukoliko se pretpostavi da je prosječna sunčeva insolacija 1.450 kWh/m²god u Crnoj Gori, teorijski potencijal sunčevog zračenja se može procijeniti na oko 20 PWh/god [5-6].

Konkretna procjena proizvodnje električne energije iz solarnih elektrana radjena je u dvije studije. Prva studija je rađena 2007. godine od strane Italijanskog ministarstva za životnu sredinu, zemljište i more i usmerena je na solarnu energiju za domaćinstva [5]. Druga studija je urađena 2011. godini od strane Crnogorskog centra za energetska efikasnost (CCEE) i orjentisana je na sektor turizma (Tabela 1). Obje studije su ukazale na veliki solarni potencijal i mogućnost njegovog korišćenja.



Slika 3. Globalno sunčevo zračenje – srednje dnevne vrijednosti na godišnjem nivou [5-6]



Slika 4. Globalno sunčevo zračenje – srednje dnevne vrijednosti na mjesečnom nivou (za mjesec maj) [5-6]

Međutim, i pored izuzetnih raspoloživih mogućnosti za korišćenje neposrednog sunčevog zračenja u Crnoj Gori je tek nakon 1980. godine došlo do značajnije primjene pojedinih uređaja za korišćenje ove energije (prije svega se misli na sisteme za pripremu tople vode). Najveći broj solarnih sistema za pripremu tople vode je ugrađen na turističkim objektima, i to na području Crnogorskog primorja i Podgorice. Određeni, manji broj, ovih instalacija je izveden i na porodičnim kućama i manjim stambenim objektima. Iako je sami početak bio veoma obećavajući, razvoj i primjena sunčeve energije, u poslednjih par decenija se odvijao znatno manjim intenzitetom od predviđenog. Trenutno, Vlada Crne Gore je raspisala koncesione akte za realizaciju izgradnje velike solarne elektrane na teritoriji opštine Ulcinj.

Tabela 1: Procijenjena vrijednost proizvodnje električne energije iz solarne energije [6]

	Primorski region	Centralni region	Sjeverni region
Proizvodnja [kWh/godišnje]	1690	1650	2670
Proizvodnja [kWh/m ²]	703	688	688
Procenjena solarna energija za turistički sektor			
Proizvodnja [kWh/ godišnje]	74350		
Proizvodnja [kWh/m ²]	323		

3. POTENCIJAL ENERGIJE VJETRA U CRNOJ GORI

Do prije nekoliko godina, u Crnoj Gori, energija vjetra se još uvijek nije koristila za proizvodnju električne energije. Međutim, sa druge strane, mora se istaći da su ozbiljnija istraživanja vjetropotencijala počela još 2002. godine. Zbog toga, danas u CG imamo nekoliko studija koje se bave potencijalom energije vjetra u Crnoj Gori [6]:

- Studija Univerziteta u Nišu (UN), 2006. godine,
 - Studija CETME, 2007. godine,
 - VESTAS mapa vjetrova, 2010. godine,
 - Projekat POWERED, 2015. godine i
 - Projekat SEEWIND, 2015. godine,
- ali i jednu veliku vjetroelektranu – VE Krново.

3.1. STUDIJA UNIVERZITETA U NIŠU (UN), 2006. GODINE

Prilikom izrade studije koju je radio Univerzitet u Nišu korišćeni su podaci mjerenja brzine vjetra koje je sproveo Hidrometeorološki zavod Crne Gore (HMZCG). Da bi se poboljšala tačnost procjene, razmotreni su samo podaci iz mjernih stanica koji prelaze prosječnu vrijednost od 5.1 m/s. Pored prosječne brzine vjetra, uzeti su u obzir i brojni drugi parametri, kao što su gustina naseljenosti, ukupna instalisana snaga, ukupna proizvodnja električne energije, ukupna potrošnja električne energije, ukupna instalisana energija vjetra, kao i udio energije vjetra u ukupnoj proizvodnji električne energije.

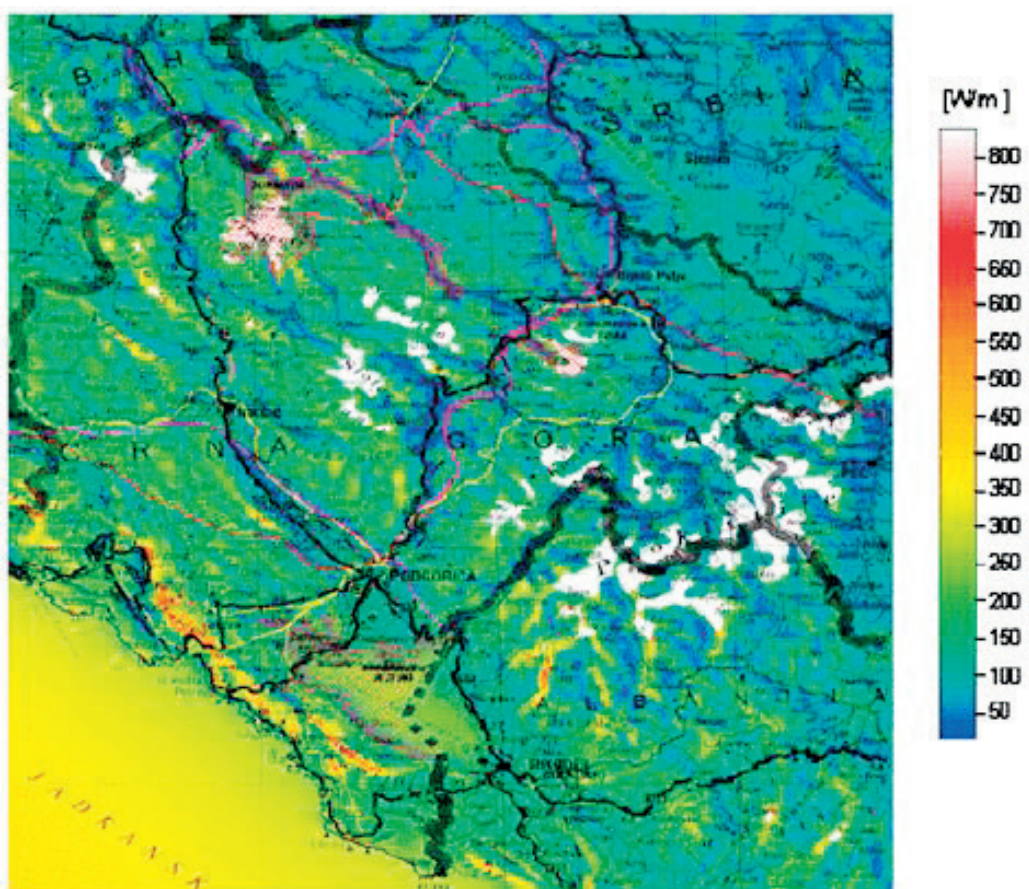
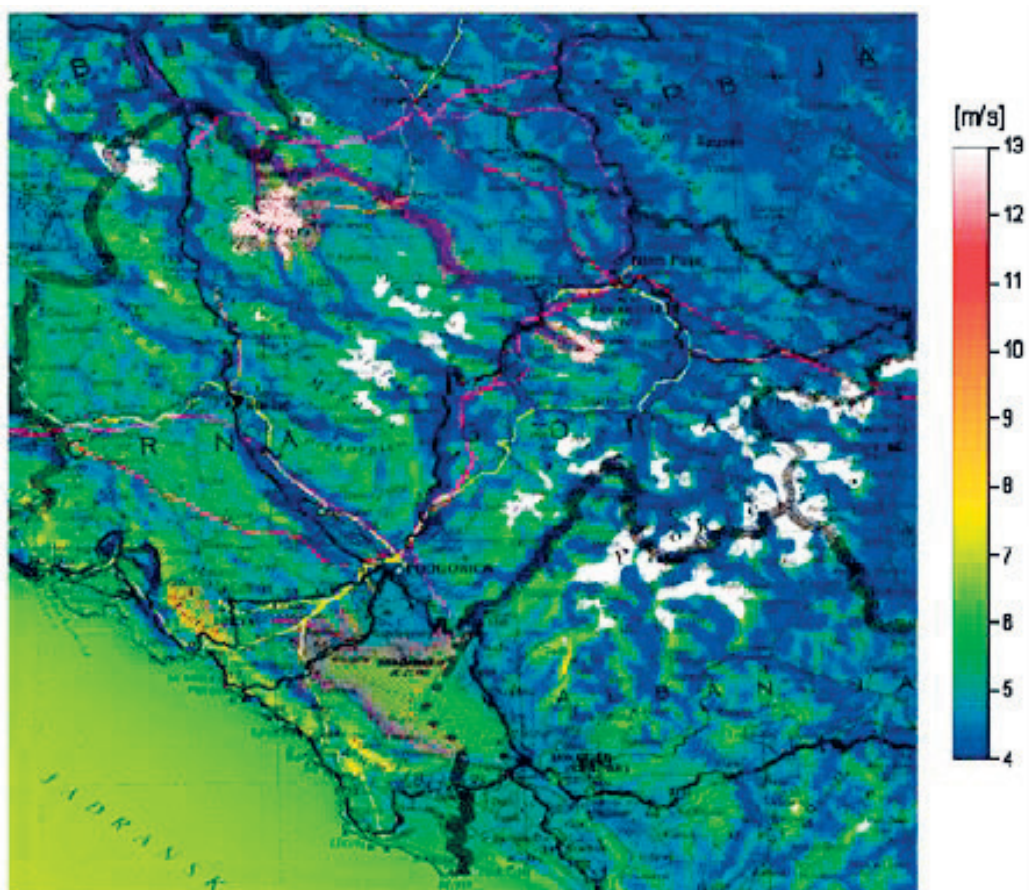
Rezultati ove studije su koncentrisani samo na region primorja. Zaključci studije su sljedeći:

- za pojas obale od Ulcinja do Herceg Novog, koji je širok 20 km i prostire se na površini od oko 1000 km², prosječna brzina vjetra je >7m/s, a prosječna snaga vjetra je od 400 W/m² do 600 W/m².
- na planinskim grebenima i brdima duž crnogorskog primorja (lokacije iznad Budve, Tivta, Kotora i dr.), prosječna snaga vjetra na visinama od 50m može biti i preko 1000 W/m².

Prema tome, prema ovoj studiji, pojas uz obalu od Ulcinja do Herceg Novog nije samo pogodan u pogledu teorijskog potencijala vjetra, već i iz drugih aspekata izgradnje vjetrogeneratora (nije šumovit, blizina elektro-energetske mreže, odsutnost problema vezanih za vizuelni uticaj na životnu sredinu i drugo). Zaključak studije je da bi se u primorskom regionu mogla iskoristiti snaga vjetra u opsegu od 1000MW do 1.500MW.

3.2. STUDIJA CETME, 2007. GODINE

CETMA, italijanski konzorcijum javnih i privatnih istraživačkih organizacija i malih i srednjih preduzeća, objavio je sveobuhvatnu procjenu potencijala energije vjetra u Crnoj Gori, u 2007. godini [5-6]. Studiju je finansirala italijansko ministarstvo za životnu sredinu, zemlju i more i preduzelo je u bliskoj saradnja sa odgovornim crnogorskim ministarstvima.



Slika 5. a) Prosječna brzina vjetrova u [m/s] b) Prosječna gustina snage u [W/m²] na 50m iznad površine tla [5-6]

Tokom ove studije procijenjen je teorijski potencijal vjetra u cijeloj Crnoj Gori, zasnovan na modelu koji kombinuje statističke analize podataka sa numeričkim modelovanjem vjetrova na kompleksnom terenu. Mape potencijala energije vjetra dobijene simulacijama naknadno su korigovane na osnovu prosečnih brzina vjetra mjerenih na 10 m iznad nivoa tla na postojećim mjernim mjestima lociranim unutar ciljnog područja. Podatke o mjerenjima obezbedio je Hidrometeorološki zavod Crne Gore (HMZ).

Kao konačni rezultat studije objavljen je skup mapa crnogorske teritorije koji pokazuju prosječnu brzinu vjetra u [m/s] i prosječnu gustinu snage u [W/m²] na visini od 50m iznad površine tla (slika 5). Prema ovoj studiji, Crna Gora ima veoma dobar potencijal za vjetroenergetske sisteme u određenim regionima. Izračunate vrednosti brzine vjetra se kreću u rasponu od 5-7 m/s, dostižući brzine od 7-8 m/s u pojedinim zonama duž morske obale. U pogledu gustine snage, tipične vrijednosti su u opsegu od 100-300 W/m², a za vjetrovita područja, koja se nalaze na grebenima i vrhovima planinskih područja, gustine snage dostižu vrijednosti i od 400 W/m².

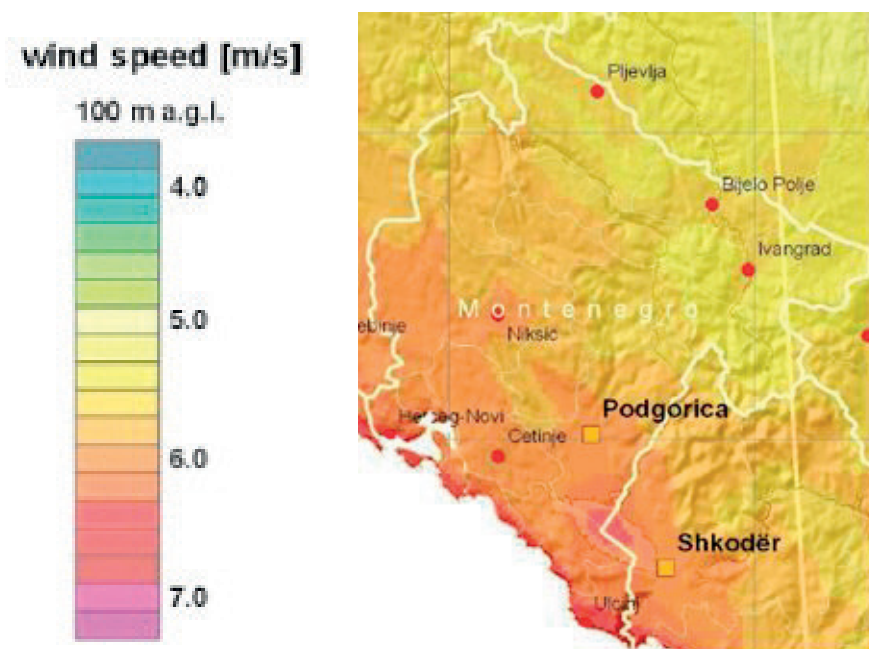
Prema studiji CETMA, Crna Gora ima potencijal vjetra od 100 MW u područjima gdje su velike brzine vjetra (brzine vjetra iznad 7 m/s). Potencijal se povećava na 400 MW ako se uzmu u obzir i srednje potencijalne zone. Međutim, u pogledu ekonomskog potencijala, studija CETMA zaključuje da čak i na najboljim lokacijama nije moguće upravljati vjetro-parkovima bez podsticaja vlade.

3.3. VESTAS MAPA VJETROVA, 2010. GODINA

U 2010. godini proizvođač vjetro-turbina VESTAS objavio je jedan atlas vjetrova za Crnu Goru sa rezolucijom 1kmx1km, za visinu od 80 m iznad nivoa zemlje. Izračunavanje je izvršeno numeričkim simulacijama, pri čemu nijesu uzeta u obzir mjerenja brzine vjetra. Ova studija nije dala konačno mišljenje o potencijalu energije vjetra u Crnoj Gori.

3.4. PROJEKAT SEEWIND, 2015. GODINA

Projekat vjetroenergetike u jugoistočnoj Evropi - SEEWIND bio je projekat koji se završio 2015. godine. Glavni cilj ovog projekta bio je postavljanje pilot vjetro-turbina u Srbiji, Bosni i Hercegovini i Hrvatskoj.



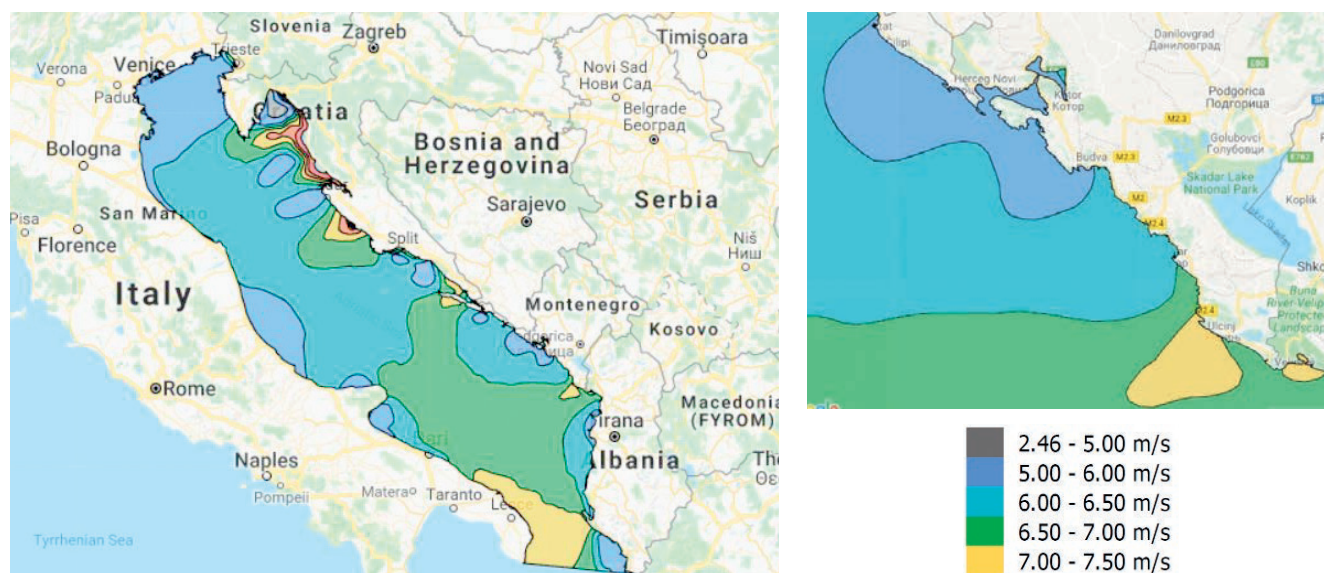
Slika 6. Mapa vjetra na 100m iznad površine tla izračunata u okviru SEEWIND projekta

Tokom ovog projekta, Njemački institut za energiju vjetra (German Wind Energy Institute - DEWI) je uspostavio mapu vjetra na cijeloj teritoriji Crne Gore. Kao glavni rezultat ovog radnog dijela projekta proračunate su mape vjetra na tri različita nivoa iznad zemlje (50, 70, 100m). Na slici 6. prikazana je mapa vjetra na teritoriji Crne Gore na 100m iznad površine tla. Rezolucija karti vjetra koje su objavljene nakon završetka ovoga projekta od 3km x 3km je gruba u odnosu na CETMA studiju. Zbog toga, ove karte mogu dovesti do većih nejasnoća posebno na složenim terenima. Sa druge strane, isto kao i kod VESTAS mapa vjetra, prilikom izrade mapa vjetra u ovom projektu nisu uzeti u obzir nikakvi podaci o mjerenjima brzine vjetra na zemlji.

3.5. PROJEKAT POWERED, 2015. GODINA

Projekat POWERED se bavio istraživanjem potencijala vjetra u Jadranskom moru. Naime, ovaj projekat je istražio potencijal vjetra s mrežom anemometara duž jadranske obale. Ovi anemometri postavljeni su na otvoreno more, na stubovima čije su visine bile između 40 i 60 metara. Prikupljeni podaci su obrađeni u italijanskom Aeronautičkom meteorološkom centru (slika 7).

Prema završnom izveštaju Projekta POWERED obalna linija na jugu Crne Gore je veoma pogodna za izgradnju offshore vjetroelektrana, s obzirom da bi uslovi na dnu mora mogli omogućiti postavljanje i instalaciju vjetroelektrana, kao i zbog relativno male udaljenosti luka i energetske infrastrukture.

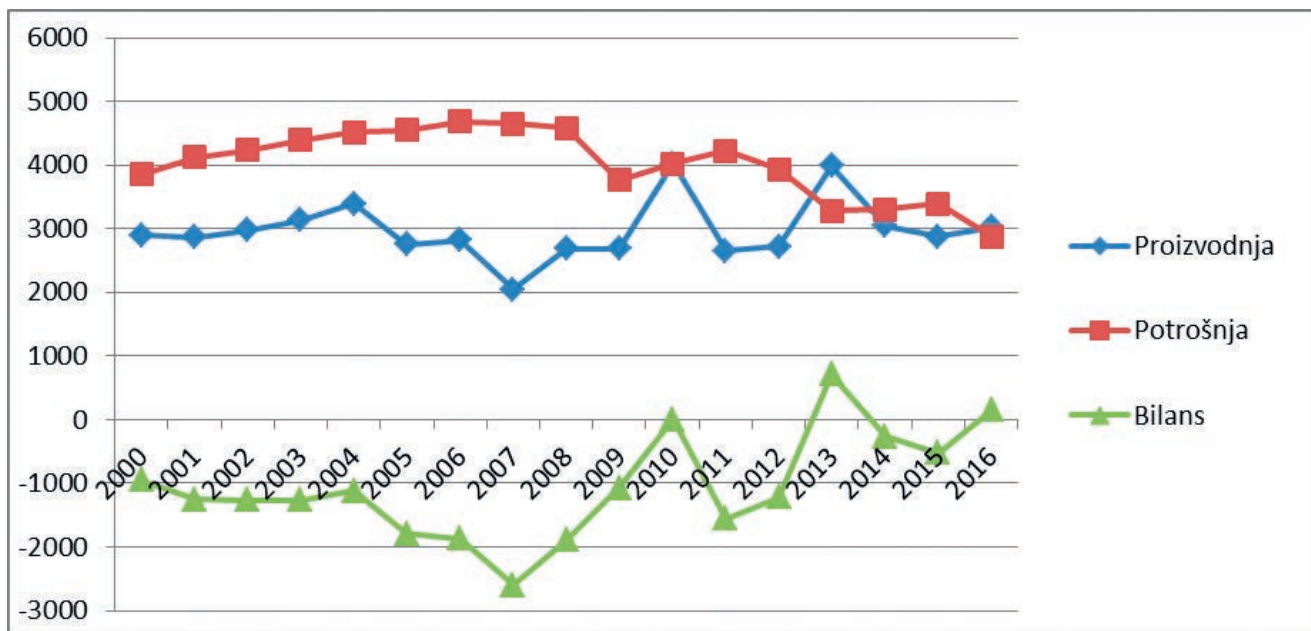


Slika 7. Brzine vjetra na Jadranskom moru [6]

Međutim, na osnovu raspoloživih informacija, mogu se pojaviti određena ograničenja vezana za zaštitu morskog okruženja. Na kraju se ipak mora naglasiti da ovom studijom ipak nije konkretizovana vrijednost snage koja se može dobiti iz offshore vjetroelektrana.

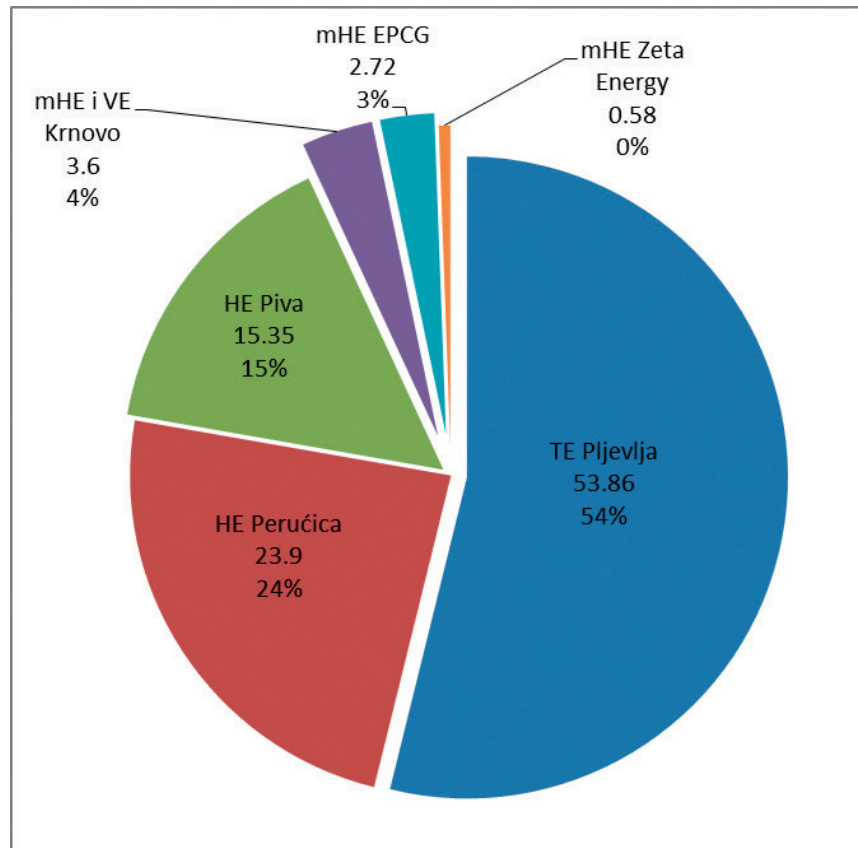
4. ENERGETSKI BILANS CRNE GORE

Proizvodnja, potrošnja i bilans električne energije u EES Crne Gore, u periodu od 2000. do 2017. godine data na slici 8 [9]. Što se tiče proizvodnje, potrošnje i bilansa električne energije, jasno se vidi da je Crna Gora uvoznik električne energije. Međutim, zaključuje se da je Crna Gora u poslednje četiri godine ili mali uvoznik ili mali proizvođač električne energije u ukupnom energetsom bilansu. Razlog za to je smanjena potrošnja glavnih potrošača električne energije, ali i uključivanje obnovljivih izvora energije u EES Crne Gore.



Slika 8. Bilans električne energije u kWh u Crnoj Gori u periodu od 2000. do 2017. godine

Procentualno učešće pojedinih izvora u ukupnoj proizvodnji električne energije u 2017. godini dato je na slici 9. Jasno je da se dominantna proizvodnja električne energije odvija u TE Pljevlja, tj. da se bazira na proizvodnji električne energije iz energije uglja. Međutim, posljednjih godina Vlada Crne Gore, kroz status povlašćenog proizvođača, podstiče proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije. Tabela prikaz proizvodnje električne energije u objektima povlašćenih proizvođača dat je u Tabeli 2 [10].



Slika 9. Procentualno učešće pojedinih izvora u ukupnoj proizvodnji električne energije u 2017. godini

Tabela 2: Proizvodnja električne energije u objektima povlašćenih proizvođača u 2017. godini u kWh [10]

Proizvodni objekat	mHE Bradavec	mHE Šekular	mHE Jara	mHE Babino polje	mHE Piševska rijeka	VE Krново
Januar	101.61	156.862	373.1			
Februar	135.855	403.316	538.721			
Mart	300.915	903.156	1.704.360			
April	403.725	833.356	2.612.120			
Maj	464.175	804.65	3.074.540			
Jun	305.804	315.222	964.174		29.226	
Jul	116.923	23.642	229.234		75.483	
Avgust	56.253	91	23.132		10.955	
Septembar	55.619	71	23.965		4.348	
Oktobar	94.665	54.711	208.82		39.628	
Novembar	315.342	300.305	999.441	395.019	133.62	14.192.888
Decembar	545.903	888.26	1.942.017	793.694	438.797	23.788.430
Ukupno (kWh)	2.896.789	4.683.642	12.693.624	1.188.713	732.057	37.981.318

5. UPOTREBA SPECIJALIZOVANIH SOFTVERA ZA PROCJENU POTENCIJALA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

U cilju dobijanja realne slike o energetske i ekonomske isplativosti upotrebe obnovljivih izvora energije na određenoj lokaciji moguće je koristiti različite specijalizovane programe, kao što su program SAM, program HOMER i slično [11-12]. Pomoću ovih programa moguće je uraditi procjenu isplativosti instalacije nekog od modela obnovljivih izvora energije na osnovu operativnih troškova i unijetih parametara sistema. Isto tako, neki od ovih programa pružaju mogućnost izračunavanja kako energetskih tako i ekonomskih parametara sistema, dok drugi omogućavaju modelovanje, optimizaciju i simulaciju rada sistema, procjenu proizvodnje električne i toplotne energije, izračunavanje energetske efikasnosti sistema i slično. Međutim, sa stanovišta solarne energije, zanimljivo je da većina ovakvih programa, kao podrazumijevane vrijednosti, koriste NASA solarnu bazu podataka o globalnom Sunčevom zračenju. Isto tako, podaci o solarnom zračenju se mogu unijeti i ručno.

Tabela 3: Poređenje globalnog sunčevog zračenja na horizontalnoj površini na teritoriji tri grada u Crnoj Gori

Mjesec	Ukupno zračenje na horizontalnu površinu [kWh/m ²]								
	Pljevlja			Podgorica			Herceg Novi		
	NASA	ZHMCG	Razlika	NASA	ZHMCG	Razlika	NASA	ZHMCG	Razlika
Januar	1640	984	656	1730	1488	242	1780	1392	388
Februar	2430	2100	330	2450	2016	434	2570	2232	338
Mart	3430	2928	502	3560	3792	-232	3850	4032	-182
April	4120	4812	-692	4300	5760	-1460	4820	6180	-1360
Maj	4940	4848	92	5400	6504	-1104	6090	6912	-822
Jun	5670	5772	-102	6410	6780	-370	7080	7848	-768
Jul	5970	6408	-438	6640	6528	112	7200	7452	-252
Avgust	5280	5772	-492	5810	6192	-382	6270	6768	-498
Septembar	3900	4056	-156	4290	4224	66	4710	4584	126
Oktobar	2620	2856	-236	2880	3000	-120	3030	3192	-162
Novembar	1580	1488	92	1730	1758	-28	1840	1752	88
Decembar	1330	1104	226	1400	1782	-382	1480	1764	-284

U Tabeli 3 dato je poređenje globalnog sunčevog zračenja na horizontalnoj površini u tri grada u Crnoj Gori (Pljevlja, Podgorica i Herceg Novi). Podaci NASA su podaci koje po default-u koristi program HOMER, dok su podaci ZHMCG – srednja vrijednost podataka Zavoda za hidrologiju i meteorologiju Crne Gore, koji su dobijeni dugogodišnjim mjerenjem na teritoriji ovih gradova [13]. Na osnovu prikazanih rezultata jasno je da su vrijednosti podataka o globalnom sunčevom zračenju za prva dva mjeseca (januar i februar) koje daje NASA, za sva tri posmatrana grada, veće od stvarnih-izmjenjenih vrijednosti. Ove razlike su značajne posebno za sjeverni region Crne Gore. Sa druge strane, vrijednosti globalnog sunčevog zračenja koje daje NASA u toku ostalih mjeseci su manje od izmjerenih vrijednosti. Za slučaj grada Podgorica, te razlike mogu biti izuzetno velike (pogledati mjesec april i maj) i dostizati i do 20%. Prema tome, u cilju sveobuhvatne i konkretne energetske-ekonomske analize mogućnosti korišćenja obnovljivih izvora energije nije dovoljno samo koristiti podatke koje specijalizovani softveri daju kao podrazumijevane vrijednosti.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad se bavi analizom potencijala energije sunca i vjetra u Crnoj Gori koji je obrađen u nekoliko studija koje se bave predmetnom oblašću. U radu je dat osvrt na sve aspekte koji su uzeti u obzir prilikom izrade studija i ukazano na zaključak istih. Osim toga, u radu je dat osvrt na stanje energetske bilansa Crne Gore i ukazano na trenutni odnos korišćenja obnovljivih i neobnovljivih izvora energije. Na kraju rada analizirane su vrijednosti globalnog sunčevog zračenja u tri grada u Crnoj Gori, dobijene iz NASA baze podataka i dobijene od strane Zavoda za hidrologiju i meteorologiju Crne Gore. Ukazano je da između odgovarajućih podataka postoje razlike, koje itekako mogu uticati na tehnološko-ekonomsku analizu upotrebe obnovljivih izvora energije.

ZAHVALNICA

Istraživanje prikazano u ovom radu dio je aktivnosti Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici na aktuelnom projektu „Cross border management of variable renewable energies and storage units enabling a transnational wholesale market (Prekogranično upravljanje promjenljivim obnovljivim izvorima energije i jedinicama za skladištenje, u cilju obezbjeđivanja internacionalnog tržišta električne energije na veliko) – CROSSBOW,“ koje finansira Ministarstvo nauke Crne Gore.

LITERATURA

- [1] „International Energy Outlook”, Energy Information Administration’s, Department of Energy, USA (<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>)
- [2] Dr. Ian Mead, “International Energy Outlook 2017”, Center for Strategic and International Studies, September 14, 2017
- [3] Ministarstvo ekonomije, „Strategija razvoja energetike do 2030. godine – Bijela Knjiga,“ Podgorica, maj 2014. godine
- [4] Ministarstvo za ekonomski razvoj Crne Gore „Strategija razvoja energetike Crne Gore do 2025. godine - Zelena knjiga“, Podgorica, decembar 2007. godine
- [5] C. Barbieli, G. Cassulo, „Procjena potencijala obnovljivih izvora energije u Republici Crnoj Gori, Ministarstvo za zaštitu životne sredine, kopna i mora Republike Italije“, Februar 2007.g.
- [6] A. Krenn, et. all, “Status quo of the Renewable Energy Sector in Montenegro”, Prepared for OeEB by Posch & Partners Consulting Engineers in cooperation with Energiewerkstatt Consulting and ASiC - Austria Solar Innovation Center, august 2016.
- [7] M. Burić, M. Micev, L. Mitrović, „Atlas klime Crne Gore“, CANU, 2012.
- [8] I. Bulatovic, „Aktuelni trendovi u vjetroenergetici u svijetu i Crnoj Gori“, Seminar u okviru projekta CROSBOW, maj 2018, Podgorica
- [9] Izvorna dokumentacija Elektroprivrede Crne Gore - EPCG - Izvještaji EPCG o ostvarenju elektroenergetskog bilansa
- [10] COTE - Izvještaj za 2017. godinu Crnogorskog operatora tržišta električne energije, Služba za OIE i VEK, Februar 2018.
- [11] I. Babić, “Modelovanje uticaja vremenskog profila solarnog zračenja na efekte rada fotonaponskih sistema u elektroenergetskom sistemu”, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2016.
- [12] A. Gegić-Petrović, B. Savić, B. Ilić, “Analiza uticaja različitih faktora na efikasnost rada fotonaponskih panela”, Infoteh, Jahorina, mart 2014.
- [13] <http://meteo.co.me/sektori.php?sektor=1>

UTICAJ VJETROELEKTRANA NA OPTIMIZACIJU I PLANIRANJE PROIZVODNJE U PORTFOLIJU ELEKTROPRIVREDE CRNE GORE

Novica Daković | Vladimir Kostić
Elektroprivreda Crne Gore AD Nikšić

Kratak sadržaj: U poslednjoj deceniji vjetroelektrane imaju sve značajniji udio u evropskom elektroenergetskom proizvodnom miksu. Sve veća snaga iz ovih neupravljivih proizvodnih objekata značajno utiče na energetska situaciju u Evropi i na tržište električne energije. U radu će biti opisana uzročna posljedična veza između rastućeg trenda proizvodnje iz vjetroelektrana, cijena na tržištu električne energije i optimizacije fleksibilnih i tržišno orijentisanih proizvodnih objekata Elektroprivrede Crne Gore. U radu će se takođe napraviti osvrt i analiza jednogodišnje eksploatacije Vjetroelektrane „Krnovo“ (VEK), sa energetske i tržišnog aspekta. Pokazaće se koliki je uticaj elektrana imala na portfolio EPCG, zatim koliko je odstupanje realizovane od planirane proizvodnje VE „Krnovo“ imalo udjela u ukupnom debalansu i da li je pružanje pomoćnih usluga operatoru sistema omogućilo efikasno balansiranje sistema.

Ključne riječi: Vjetroenergetika, tržište, balansiranje, električna energija.

Summary: In the last decade, wind production has had a significant penetration in the European generation mix. Increasing power from these unmanageable production facilities significantly affects the energy situation in Europe and the electricity market. This paper describes connection between the increasing production trend from Wind power, prices on the electricity market, and optimization of the flexible market-oriented production facilities of Montenegrin Electric Enterprise (EPCG). It has been also made a review of the single year's exploitation of WPP „Krnovo“, from energy and market aspects. It has been shown how much the power plant affected EPCG's portfolio, then how much plan/realization deviation of WPP „Krnovo“ had share in a total imbalance and whether providing ancillary services to the system operator was enabling efficient balancing.

Key words: Wind power, market, balancing, electricity.

1. UVOD

Vjetroenergetika je jedan od najbrže rastućih obnovljivih izvora energije i predstavlja glavnu alternativu fosilnim izvorima. Međutim, sve veći udio u proizvodnji može uzrokovati pojavu nestabilnosti u sistemu, fluktuaciju cijena na elektroenergetskom tržištu, a kod učesnika potrebu za primjenom novih strategija koje obuhvataju sve snažniju zavisnost tržišta od energije vjetra.

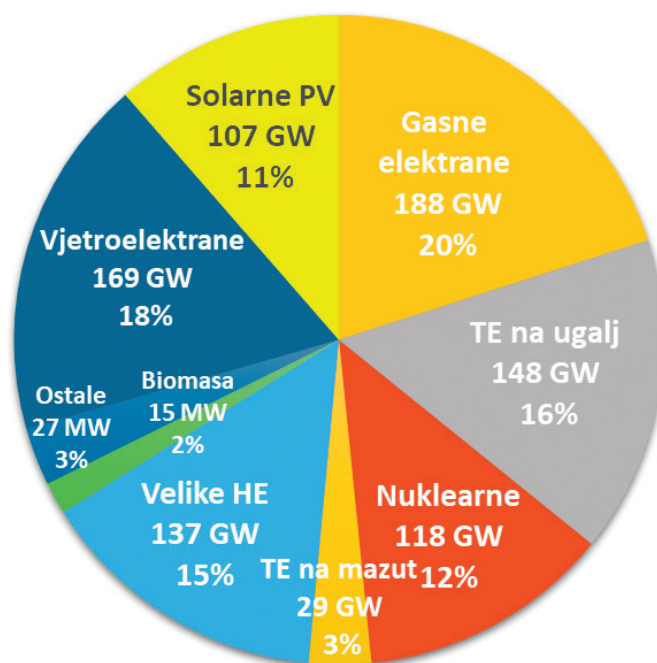
Veliki upliv ovih izvora je ubrzao liberalizaciju, razvoj i povezivanje kratkoročnih elektroenergetskih tržišta u čitavoj Evropi, kao i razvoj regionalnih balansnih tržišta koja će omogućiti saradnju među sistemima u pružanju pomoćnih usluga.

U pogledu balansiranja, a i sa tržišnog aspekta, povoljno je kombinovati vjetroelektrane sa akumulacionim hidro izvorima (pogotovo reverzibilnim elektranama) koje posjeduju mogućnost brzog ulaska/izlaska iz pogona i tako omogućavaju operatoru da efikasno nadoknadi potencijalni debalans u sistemu, a proizvođaču da se nosi sa cjenovnim promjenama. Takav primjer postoji i u Crnoj Gori, a u radu će biti opisano na koji način se to može valorizovati.

2. RASTUĆI TREND VJETROENERGIJE U EVROPI

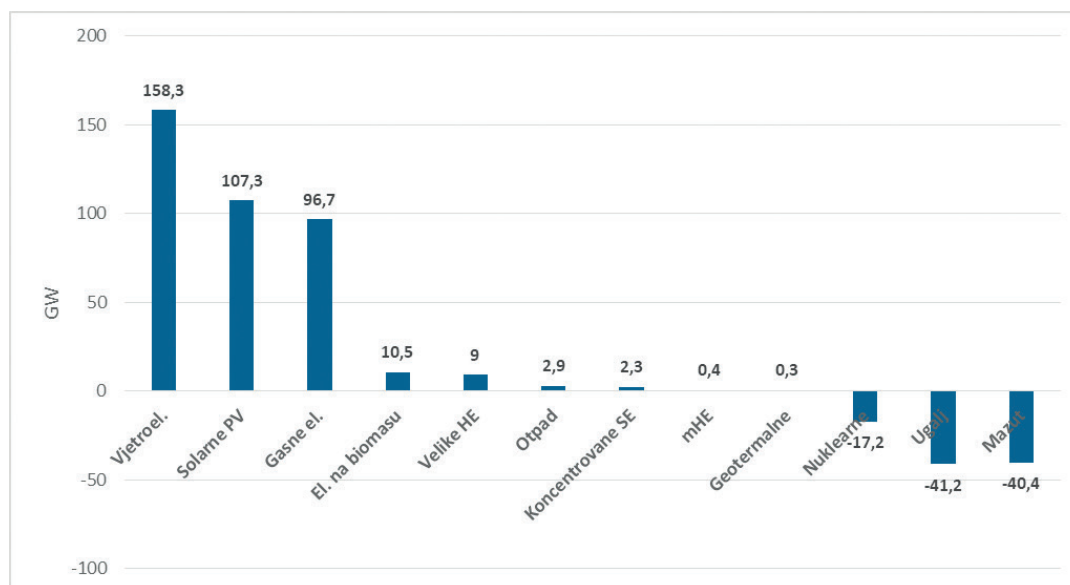
Elektroenergetsko tržište Crne Gore je snažno naslonjeno na tržište Evropske unije (EU). Time, dešavanja koja utiču na EU tržište su glavni pokretači promjene trenda cijena električne energije i na veleprodajnom tržištu Crne Gore. Usled toga, od suštinskog je značaja pratiti kako se razvijaju uticajni faktori u cjelokupnoj Evropi.

U slučaju vjetroenergije, ista zauzima sve značajniji udio u evropskom proizvodnom miksu i snažno utiče na energetske prilike i kretanje cijena na evropskim tržištima. Sa novoizgrađenih 298 GW od 1995. godine u EU, obnovljivi izvori energije (OIE) imaju centralnu ulogu u dekarbonizaciji evropskog elektroenergetskog sektora, a individualno, vjetroenergetika je dala najveći doprinos. Godišnje instalacije vjetroelektrana u EU su se u proteklih 12 godina stalno povećavale (sa 6,6 GW u 2005. godini na 15,6 GW u 2017. godini), što za rezultat ima današnjih 168,8 GW vjetro - kapaciteta. U istom periodu udio instalisanog kapaciteta vjetroelektrana u ukupnom elektroenergetskom kapacitetu u EU povećao se sa 6% na 18%, čime, po snazi, ima najveći udio među obnovljivim izvorima energije, čak veći i od termoelektrana na uglj, Slika 1.



Slika 1. Udio instalisanih kapaciteta u EU (2017.g.)

Od 2000. godine neto rast snage vjetro, solarnih PV i gasnih elektrana prati neto smanjenje elektra- na na mazut, ugalj i nuklearni izvor, Slika 2. i time počinju da obuhvataju sve značajniji udio i u ukup- noj proizvodnji. U 2017. instalirano je više vjetroelektrana nego bilo kog drugog oblika proizvodnje električne energije u Evropi. Iste godine energija vjetra je generisala dovoljno električne energije da zadovolji 11,6% ukupne potražnje za električnom energijom u EU.



Slika 2. Neto snaga novoizgrađenih/zatvorenih pogona u Evropi od 2000 do 2017

Prognoze za budući period su takođe optimistične, jer sa prosječnom godišnjom stopom izgradnje od 12,6 GW, izgleda da će vjetro kapaciteti ostati prilično jaki do 2020. godine. Očekuje se da će se instalirati još oko 40 GW u trogodišnjem periodu 2018-2020, što će dovesti EU na ukupni instalisani kapacitet VE od cca. 208 GW. Predviđanja su da bi toliki kapacitet mogao zadovoljiti 16,5% potreba za električnom energijom u Evropi do 2020. godine, premašiti hidroelektrane po proizvodnji i postati najveći izvor obnovljive energije [1], [2].

3. UTICAJ VJETROELEKTRANA NA TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Iz prethodnog poglavlja se da zaključiti da vjetroenergija, već sada, a posebno u budućnosti, igra veoma važnu ulogu u proizvodnom miksu i značajno utiče na tržište električne energije. Sve zastupljenija proizvodnja iz vjetra, osim velikog broja pozitivnih efekata koji su vezani za dekarbonizaciju energetskog sektora, sa sobom nosi i određene negativne efekte. Ti efekti se odnose na zagušenja u prenosu, optimalni tok energije, stabilnost sistema, kvalitet energije, ekonomičnost i dispečing sistema. Isto tako veliki udio energije iz obnovljivih izvora utiče i na čestu promjenu cijena na tržištu električne energije.

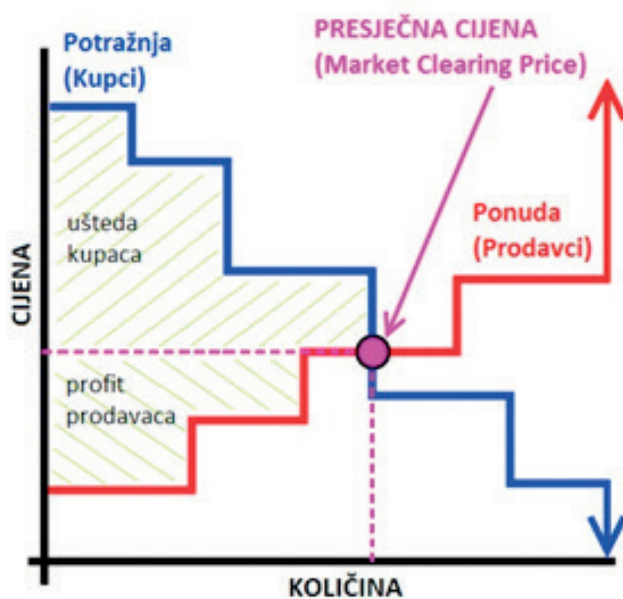
Cijena na tržištu je definisana ponudom i potražnjom. Ponuda i potražnja u datom momentu su samo odraz drugih ključnih faktora koji predstavljaju glavne pokretače. Ovi faktori su najčešće:

- **Troškovi goriva:** Postoji jasna veza između tržišta električne energije sa tržištima primarnih energenata kao što su ugalj, gas, nuklearna goriva i nafta.
- **Troškovi emisija CO2:** Elektrane na fosilna goriva (ugalj, gas, nafta) kao i iz neobnovljivih izvora dužni su da kupe određene sertifikate za svaku tonu emitovanog CO2 gasa, što je u skladu sa međunarodnom politikom koja teži smanjenju koncentracije gasova staklene bašte.
- **Industrijski razvoj:** Porast industrijske proizvodnje utiče na zahtjev za većim snabdijevanjem. Ovo utiče na povećanje troškova za proizvodnju električne energije zbog angažmana manje

ekonomičnih elektrana koje trebaju da pokriju nastali deficit.

- **Proizvodna ograničenja:** Jedan od važnih faktora je i raspoloživost proizvodnih kapaciteta koji treba da se poklope sa potražnjom. Ispadi starih, nepouzdanih i neefikasnih proizvodnih jedinica su uobičajen problem. Isto tako, određene političke odluke kao što je napuštanje nuklearne energije utiču na to da izvore sa baznom isporukom energije zamijene intermitentni obnovljivi izvori.
- **Vrijeme:** Meteorološke promjene utiču na ponudu i potražnju istovremeno. Potrošnja električne energije i proizvodnja iz obnovljivih izvora (hidroenergije, vjetra, sunca) je u direktnoj vezi sa sezonskim, mjesečnim i dnevnim klimatskim promjenama.

Na slici 3. je prikazan princip formiranja cijene na tržištu, koja predstavlja presječnu tačku krive potražnje (sa ponuđenim cijenama u opadajućem redosledu) i krive ponude (sa ponuđenim cijenama u rastućem redosledu). Posmatrajući sliku 3. ekonomski benefit se može tumačiti na sljedeći način: svi kupci koji su tražili energiju po cijeni većoj od presječne su uštedjeli na razlici između te dvije cijene.

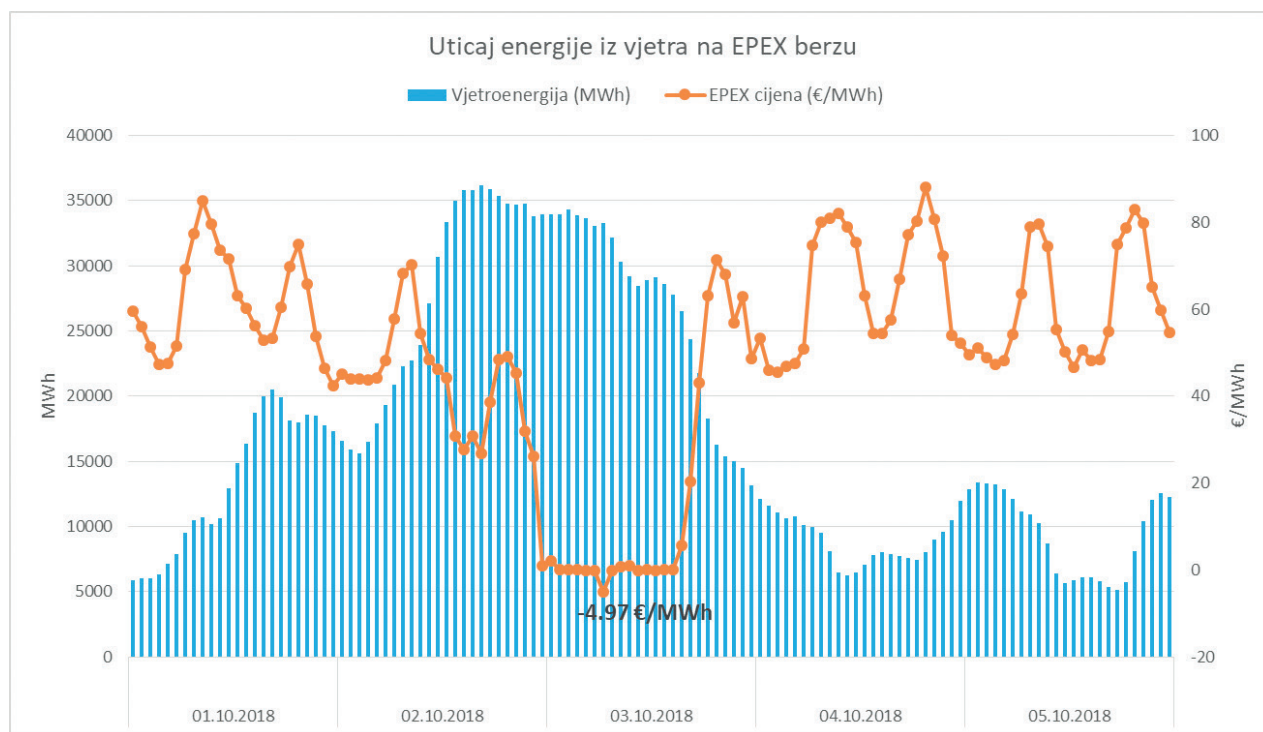


Slika 3. Prikaz formiranja cijene na organizovanim tržištima

Slična logika je i za prodavce koji su nudili energiju po nižoj cijeni od presječne i profitirali na toj razlici. Ovo dalje znači da se ponude prodavaca sa cijenom većom ili ponude kupaca sa cijenom manjom od presječne cijene nijesu kvalifikovale.

U tržišnim oblastima gdje je vjetroenergija zastupljena sa značajnim kapacitetom, u trenutku kada se očekuje veliki plasman ove energije na tržište može se primijetiti pad cijena električne energije. Kao reprezentativan primjer ovog efekta može se uzeti dan-unaprijed berza Njemačke EPEX SPOT. Dan-unaprijed berza funkcioniše na gorenavedenom principu ponude i potražnje, s tim da se trguje svaki sat posebno za naredni dan, tj. ponude za berzu se šalju dan prije dana isporuke. Obnovljivi izvori u Njemačkoj predstavljaju jednu trećinu ukupne proizvodnje. Od toga najveći udio je vjetroenergija. Na slici 4. je dato poređenje cijena na EPEX SPOT berzi sa proizvedenom energijom iz vjetroelektrana za period 01.10.- 05.10.2018. godine.

Sa slike 4. se vidi da u satima sa visokom proizvodnjom iz vjetroelektrana cijena na EPEX berzi drastično pada. To se najbolje primjećuje za 03.10.2018. gdje su satne cijene oko nule, a u sedmom satu cijena je čak -4,97 €/MWh. Negativna cijena je odraz ponuda prodavaca koji žele da plate za predatu energiju. Iako se čini paradoksalno, ovo je upravo posljedica velikog upliva energije iz obnovljivih izvora koji čine nekonkurentnim nefleksibilne izvore, kao što su nuklearne i termoelektrane i potiskuju ih sa tržišta. Na ovaj način proizvođači žele da plate samo da bi elektrana bila aktivna u sistemu. U suprotnom, njihovo gašenje (kasnije ponovno startovanje) proizvodi mnogo veću finansijsku štetu.



Slika 4. Grafički prikaz zavisnosti proizvodnje iz vjetra i cijena na Njemačkom spot tržištu

Usled velike promjenjivosti vjetra i nemogućnosti pravljenja dugoročne prognoze, veoma je važno raspolagati likvidnim kratkoročnim tržištem. U Evropi su ovakva tržišta organizovana u vidu berzi koje više nijesu izolovane, već su omogućeni komercijalni tokovi između država (Market Coupling), tako da se tokovi električne energije ovih zemalja sada zajednički optimizuju na način da se električna energija izvozi iz područja sa niskom cijenom u oblastima sa visokim cijenama.

Tako povezana tržišta će omogućiti prelivanje „jeftine“ energije iz pojedinih oblasti koje obiluju vjetroelektranama, u oblasti gdje je veća potražnja i višocija otkupna cijena. Time će se cijene između oblasti ujednačavati, a potencijalna pojava veoma niskih ili čak negativnih cijena svesti na minimum.

Koliko će snažno tržišta biti povezana, tj. koliko će se tokovi moći optimizovati, najviše zavisi od raspoloživog prekograničnog prenosnog kapaciteta, koji predstavlja osnovni preduslov za efikasno povezivanje tržišnih oblasti unutar Evrope.

4. OPTIMIZACIJA I PLANIRANJE PROIZVODNJE EPCG NA OTVORENOM TRŽIŠTU

EPCG kao proizvođač i snabdijevač teži da smanji operativne troškove proizvodnje i maksimizuje profit u novonastalim tržišnim uslovima. Dakle, potrebno je planirati rad elektrana tako da se postigne najbolji finansijski efekat [3]. Kako je EPCG u uslovima dobre hidrologije dominantan hidro proizvođač, izvršice se finansijska optimizacija rada HE „Perućica“ na mađarskom dan-unaprijed tržištu - HUPX. Takođe, biće prikazan i uticaj proizvodnje VE „Krnovo“ na samu optimizaciju.

Metoda optimizacije koja će se primijeniti je linearno programiranje. Linearno programiranje je popularna matematička metoda za optimizaciju kojom se želi postići najbolji rezultat (u ekonomskom smislu maksimalni profit ili minimalni trošak), a gdje su uslovi predstavljeni linearnim relacijama. Postoje razni algoritmi za rješavanje ovog problema tj. pronalaženje optimuma [4], [5], [6]. Ovdje će se koristiti tzv. SIMPLEX algoritam koji je inače podržan u Excel-ovom alatu za optimizaciju - Solver Add-in.

Da bi se izvršila optimizacija potrebno je definisati sve potrebne varijable kao i uslove. Varijable koje algoritam treba da optimizuje su:

HE_i – proizvodnja HE „Perućica“ u satu i (MWh)

K_i – kupovina energije u satu i (MWh)

P_i – prodaja energije u satu i (MWh)

Takođe, veličine koje su unaprijed poznate su:

VE_i – prognozirana proizvodnja iz VE „Krnovo“ u satu i (MWh)

C_i – prognozirana cijena na HUPX berzi u satu i (€/MWh)

S_i – snabdijevanje u satu i (MWh)

HE_{\max} – maksimalna satna proizvodnja HE „Perućica“ (MWh)

W_{\max} – maksimalna dnevna proizvodnja HE „Perućica“ (MWh)

$K_{\max,i}$ – maksimalno dozvoljena kupovina u satu i (MWh)

$P_{\max,i}$ – maksimalno dozvoljena prodaja u satu i (MWh)

Funkcija cilja koju treba maksimizovati je profit na tržištu tj. prihod od prodaje od koga je oduzet trošak kupovine, što se zapisuje:

$$\text{Max} \left\{ \sum_{i=1}^{24} (C_i P_i - C_i K_i) \right\} \quad (1)$$

Uslovi koji se koriste za optimizaciju su:

$$HE_i + VE_i + K_i - S_i - P_i = 0 \quad (2)$$

$$HE_i \leq HE_{\max} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{24} HE_i \leq W_{\max} \quad (4)$$

$$K_i \leq K_{\max,i} \quad (5)$$

$$P_i \leq P_{\max,i} \quad (6)$$

Uslov je uslov bilansa energije u svakom satu, tj. ukupna proizvedena i kupljena energija treba da se izjednači sa energijom snabdijevanja i prodaje. Uslov se odnosi na maksimalnu raspoloživu snagu HE „Perućica“ dok uslov predstavlja zahtjev za kumulativnom dnevnom proizvodnjom. Uslovi i su ograničenja u pogledu prekograničnih prenosnih kapaciteta. Ulazni podaci za optimizaciju su dati u Tabeli 1.

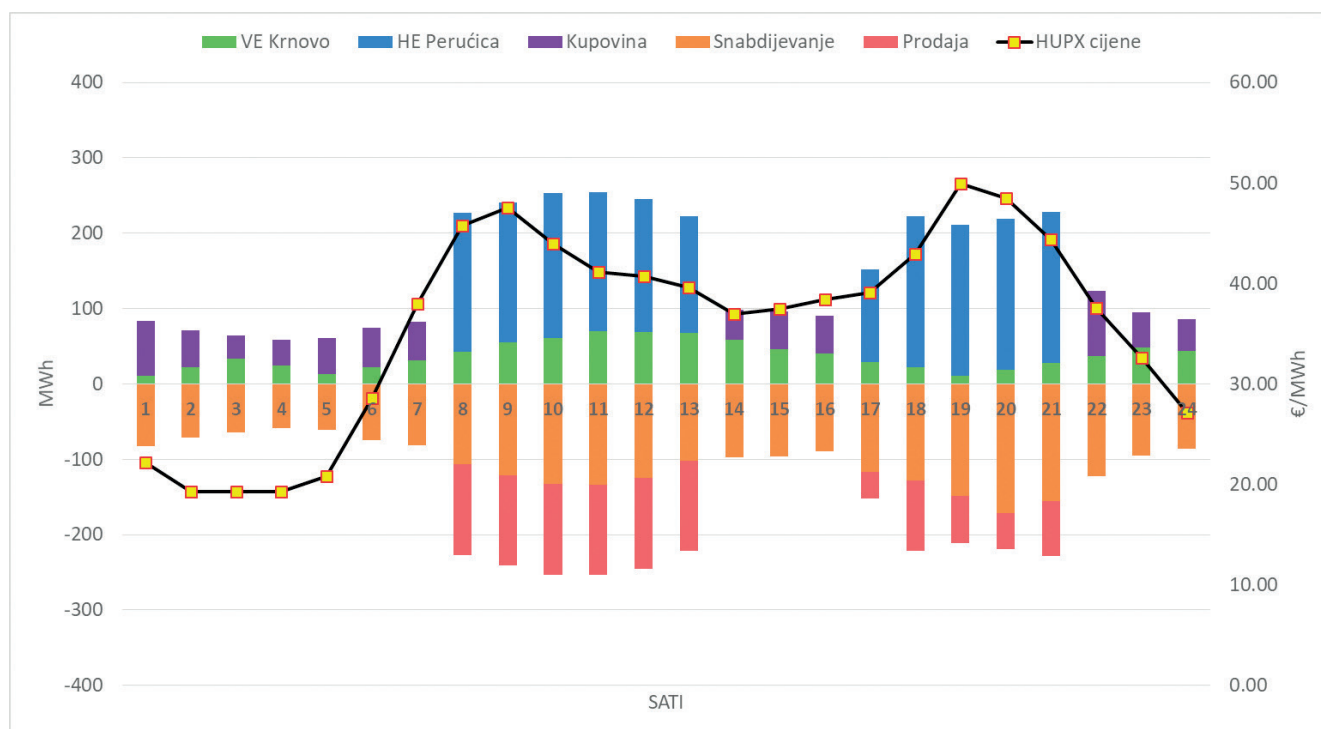
Tabela 1. Ulazni podaci za eksperimentalnu optimizaciju hidro-proizvodnje

Sat	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	HEmax	200
VE Krnovo	11	22	33	24	13	22	31	42	55	61	70	69	68	59	46	40	29	22	11	19	28	37	48	44	Wmax	2000
Snabdijevanje	83	71	64	59	61	75	82	107	121	133	134	125	102	98	96	90	117	128	149	172	156	123	95	86	Kmax	200
HUPX Cijene	22.1	19.3	19.3	19.3	20.8	28.6	38.0	45.8	47.6	44.0	41.1	40.7	39.6	37.0	37.4	38.4	39.1	43.0	50.0	48.5	44.4	37.6	32.6	27.1	Pmax	120

Rezultat optimizacije tj. proračunate varijable koje se dobijaju korišćenjem Solver-a prikazane su u Tabeli 2, a na Slici 5. je i grafički prikaz rezultata.

Tabela 2. Rezultati optimizacije tj. definisanje količina koje je potrebno proizvesti, kupiti i prodati

Sat	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
HE "Perućica"	0	0	0	0	0	0	0	185	186	192	184	176	154	0	0	0	123	200	200	200	200	0	0	0
Kupovina	72	49	31	35	48	53	51	0	0	0	0	0	0	39	50	50	0	0	0	0	0	86	47	42
Prodaja	0	0	0	0	0	0	0	120	120	120	120	120	120	0	0	0	35	94	62	47	72	0	0	0



Slika 5. Grafički prikaz rezultata optimizacije

Na grafičkom prikazu optimizacije se može uočiti ispunjenje uslova bilansa energije u svakom satu, gdje su proizvodnja i kupovina sa pozitivnim, a snabdijevanje i prodaja sa negativnim znakom. Upravo su prikazane i prognoziranje cijene sa HUPX berze. Optimizacija je pokazala da je potrebno angažovati proizvodnju HE „Perućica“ u vremenskim profilima 07-13h i 16-21h. To su ujedno i najskuplji sati na HUPX berzi. Iz Tabele 2. kao i sa Slike 5. se može uočiti da nijesu narušena ograničenja u pogledu proizvodnje (do 200 MWh) i prodaje (do 120 MWh) u pojedinim satima. U satima sa nižim cijenama je kupljena energija za potrebe snabdijevanja. Proračunata funkcija cilja tj. profit iznosi 25,633.64 €. Proizvodnja VE „Krnovo“ je uticala na povećanu prodaju u prijepodnevnim satima. Međutim, proizvodnja iz vjetroelektrana nije upravljiva već zavisi od vremenskih uslova, a to znači i da će i finansijski efekat varirati. Prema tome, poželjna je što veća energija iz vjetroelektrana u trenutku visokih cijena na tržištu.

5. ENERGETSKI PODACI VE „KRNOVO“ ZA 2017. GODINU I UTICAJ NA BALANSIRANJE EES CRNE GORE

Vjetroelektrana „Krnovo“ (VEK) posjeduje 26 vjetroagregata ukupne instalisane snage 72 MW i očekivane godišnje proizvodnje 180 - 200 GWh. Jednogodišnja eksploatacija VEK-a se može podijeliti na dvije faze.

Prva faza se odnosi na probni rad koji je trajao u periodu 04.05.-02.11.2017. kada je proizvedena energija iz elektrane kupovana od strane Elektroprivredi Crne Gore (EPCG), koja je bila i odgovorna za balansno odstupanje realizovane proizvodnje u odnosu na plan.

U toku probnog rada, a usled neiskustva sa funkcionisanjem vjetroelektrana, EPCG je u saradnji sa kompanijom koja je bila odgovorna za prognozu proizvodnje iz VEK-a ugovorila varijabilnu cijenu u

zavisnosti od preciznosti proizvodnih planova. Kvalitet prognoze za dan unaprijed se određivao na temelju plana i stvarno realizovane satne proizvodnje u tom danu. Pokazatelj kvaliteta prognoze, od čijeg iznosa je zavisila otkupna cijena, je bio korijen srednje kvadratne greške prognoze satne proizvodnje normalizovan i izražen u procentu [%] u odnosu na nazivnu snagu VEK-a.

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Postv_j - Pprog_j)^2}{n}}}{72 MW} \times 100\%, \quad (7)$$

P_{ostv_j} – realizovana proizvodnja u satu j (MWh)

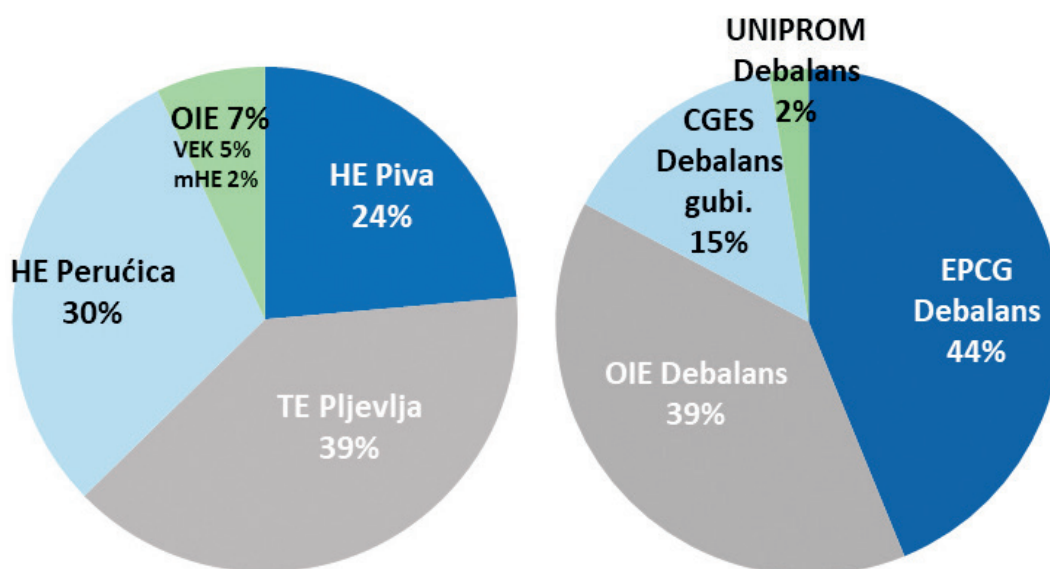
P_{prog_j} – planirana proizvodnja u satu j (MWh)

n – broj sati za posmatrni period

Ovo se pokazalo kao dobra praksa za stimulisanje što preciznije prognoze čime se umanjivala mogućnost da EPCG plaća visoku cijenu za poravnanje obračuna balansnog odstupanja.

Druga faza se odnosi na period kada je VEK dobila status povlašćenog proizvođača i kada je postala dio OIE balansne grupe. EPCG kao jedan od snabdijevača, sada ima obavezu da preuzima dio proizvedene energije shodno svom udjelu u snabdijevanju potrošnje i nije više balansno odgovorna za VEK.

U periodu od 01.07.2017. – 01.07.2018. godine, VE „Krnovo“ je proizvelo 162.985,7 MWh. U poređenju sa proizvodnim portfoliom EPCG, energija preuzeta iz VEK ne zauzima pretjerano značajan udio, Slika 6(a). Međutim, ono na šta VEK ima značajan uticaj jeste odstupanje njene proizvodnje od plana usled nepredvidljivosti i neupravljivosti. U ukupnom debalansu sistema Crne Gore uticaj OIE tj. VEK-a i ostalih povlašćenih proizvođača (mHE) iznosi 39%, Slika 6(b).



Slika 6.a. Udio OIE u ukupnoj proizvodnji u periodu (01.07.2017.-31.06.2018.g.)

Slika 6.b. Udio OIE u ukupnom debalansu sistema CG u periodu (03.11.2017 do 31.08.2018.)

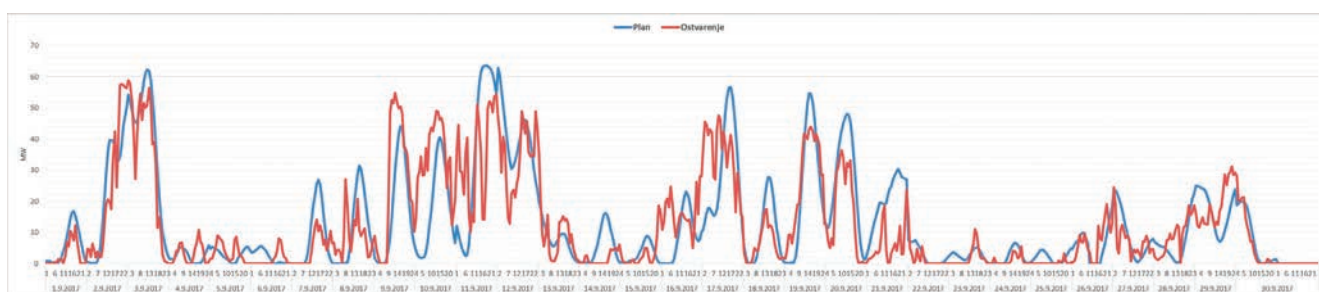
VEK danas kao povlašćeni proizvođač ima zagarantovanu cijenu za otkup cijelokupno proizvedene energije. Ukoliko bi se ta energija plasirala na slobodno veleprodajno tržište, uzimajući za referentne cijene one na mađarskoj berzi HUPX koja je najlikvidnija u ovom regionu (cijene sa HUPX-a se uvažavaju prilikom proračuna maksimalno dozvoljene cijene električne energije na maloprodajnom crnogorskom tržištu), vidi se da prosječna tržišna vrijednost proizvedene energije iz VEK-a u periodu 01.07.'17-01.07.'18. iznosi 42,58 €/MWh, odnosno 94% od prosječne tržišne vrijednosti band energije (00-24h) za posmatrani period.

To govori da se u kumulativnom posmatranju, vrijednost energije iz VEK može približno posmatrati kao i kod nekog band proizvođača, s tim što treba imati na umu da vjetroelektrane imaju dosta veće troškove za balansiranje odstupanja od prognoziranog plana.

Međutim, iako neupravljiva, proizvodnja vjetroenergije na kraći period se može dobro prognozirati, zavisno od iskustva i preciznosti vremenske prognoze kojom se raspolaže.

U toku eksploatacije VEK-a, primjećeno je da su najčešća odstupanja ona po amplitudi, dok se veoma dobro prognozira period ulaska/izlaska VEK u/iz pogona, što je vrlo značajno, jer u slučaju greške po vremenskoj osi, odstupanja mogu biti velika. Na Slici 7. je dat prikaz satnog odstupanja realizovane proizvodnje od planirane (dan unaprijed) u septembru 2017.

Osim potencijalnih grešaka po amplitudi ili vremenu promjene snage, velika opasnost od greške vlada i pri jakim intezitetima vjetra kada se planira da VE radi na približnom maksimumu. Ovo potencijalno može da uzrokuje gašenje agregata zbog tehničkih ograničenja vjetroturbina. Takav primjer se dogodio 29.11.2017. godine kada je prognozirana visoka snaga rada VEK, koja je međutim zbog prejakog vjetra morala biti ugašena, čime je odstupanje bilo ogromno za naš sistem i izazvalo veliki debalans koji je operator sistema morao da pokrije.

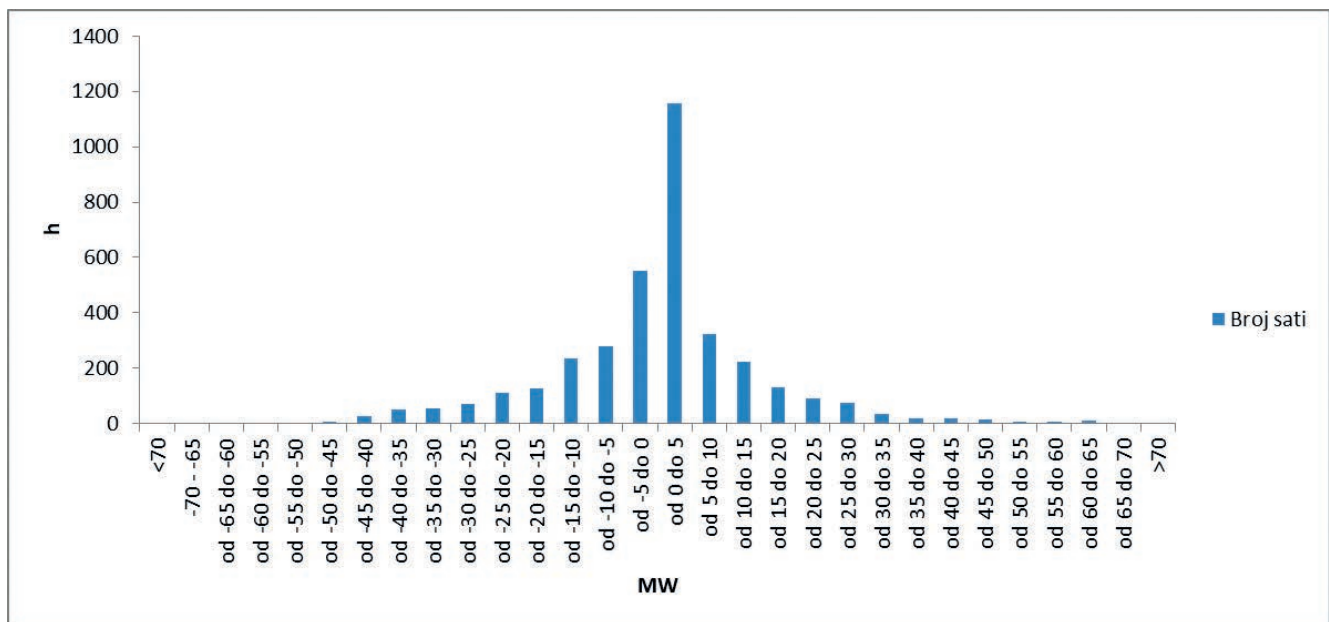


Slika 7. Satno odstupanje realizovane proizvodnje od planirane (dan unaprijed) u septembru 2017.

Posmatrajući histogram koji je dat na slici 8. i koji pokazuje koliki je broj sati u kojem je odstupanje VEK-a bilo unutar određenog opsega, vidi se da u najvećem broju sati se odstupanja nalaze unutar opsega 0 – 10 MW satno. EPCG shodno Ugovoru o pružanju pomoćnih usluga OPS-u pruža usluge sekundarne regulacije u opsegu ± 20 MW i tercijarne regulacije minimum $+50/-60$ MW što je dakle u najvećem broju slučajeva bilo dovoljno za balansiranje VE Krnova u realnom vremenu.

Međutim, nakon pojave novih VE (Možura, Gvozd, itd..) postoji bojazan da postojeća fleksibilnost kojom raspolaže EES Crne Gore neće biti dovoljna za efikasno balansiranje mreže. Time se zajedno sa susjednim zemljama i u saradnji sa Energetskom zajednicom već radi na uspostavljanju mogućnosti prekograničnog (regionalnog) balansiranja. Ovo će omogućiti i drugim državama koje nemaju fleksibilne izvore, a imaju povoljne lokacije za VE, da ih izgrade i koriste pomoćne usluge susjednih sistema kako bi balansirali sopstveni.

Takođe je veoma poželjno, ukoliko postoji neiskorišćenog potencijala, paralelno sa VE graditi i akumulacione HE kao vid optimalnog izvora za brzo i efikasno pokrivanje potencijalnih odstupanja neupravljivih izvora.



Slika 6. Broj sati u kojem je odstupanje unutar definisanog opsega za period 01.01.-31.05.2018.

6. ZAKLJUČAK

Tokom poslednje dvije decenije primjetna je ekspanzija obnovljivih izvora električne energije sa vjetroenergijom kao najdominantnijom. Sa razvojem tržišta električne energije nameću se mnogi izazovi. Plasman energije iz vjetra izaziva fluktuacije cijena na tržištu. U državama sa značajnim instaliranim kapacitetom vjetroelektrana, pojave niskih ili čak negativnih cijena na berzama su sve učestalije.

Crna Gora takođe želi da poveća udio obnovljivih izvora u ukupnoj proizvodnji i redukuje proizvodnju iz tradicionalnih fosilnih goriva. Izgradnja i puštanje u rad VE „Krnovo“, kao i izgradnja novih VE će tom cilju dati značajan doprinos.

Takođe, pojava novih oblika izvora u Crnoj Gori je značajno uticala na strateško poslovanje i portfolio EPCG. U radu je prikazan primjer finansijske optimizacije HE „Perućica“ na mađarskom dan-unaprijed tržištu gdje VE „Krnovo“ učestvuje kao neupravljivi izvor. Pokazana je proizvodnja VE „Krnovo“ za jednogodišnji period rada kao i njen uticaj na debalans sistema. Više od trećine energije debalansa uzrokuju povlašćeni OIE, što operatoru sistema može da predstavlja problem pri balansiranju neželjenih odstupanja. Međutim, EPCG ima velike akumulacione hidroelektrane koje mogu da učestvuju u pružanju pomoćnih usluga za svrhe balansiranja sistema.

U narednom periodu očekuje se izgradnja novih OIE kapaciteta (VE „Možura“, VE „Gvozd“, SE „Briska gora“) što u budućnosti zahtijeva pouzdanije prognoze proizvodnje iz OIE, paralelnu izgradnju dodatnih fleksibilnih izvora, izgradnju dodatnih prenosnih kapaciteta, kao i koordinisanu saradnju između operatora sistema i proizvođača koji pružaju usluge balansiranja sistema.

LITERATURA

- [1] "Wind in power 2017 - Annual combined onshore and offshore wind energy statistics", Wind Europe, Brussels, Belgium, Februar 2018.
- [2] "Breaking new ground – Wind Energy and the Electrification of Europe's Energy System", Wind Europe, Brussels, Belgium, Februar 2018.
- [3] Wood, Wollenberg, Sheblé, „Power Generation, Operation, and Control“, Third edition, John Wiley & Sons, 2014.
- [4] Farhat, El-Hawary, „Optimization Methods Applied for Solving the Short-Term Hydrothermal Coordination Problem“, Electric Power Systems Research 79 1308-1320, 2009.
- [5] Rajšl, „Optimiziranje voznog reda hidroelektrana u tržišnim uvjetima“, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb.Lim, Signal Detection. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [6] Belsnes, Fosso, „Methods for Short-term Generation Scheduling in Hydro Power Dominated Power Systems“, IEEE Xplore, Conference Paper, May 2005.

DIGITALIZACIJA TRAFOSTANICA I ZNAČAJ STANDARDIZACIJE PROCESNIH INFORMACIJA U SEKUNDARNIM SISTEMIMA CGES-A

Mr Mimo Mirković, dipl.el.ing.
CGES AD, Podgorica

Kratak sadržaj: U radu je prikazan hronološki proces rekonstrukcije sistema upravljanja i zaštita u trafostanicama Crnogorskog elektroprenosnog sistema (CGES). Dat je prikaz osnovnih elemenata sekundarnih sistema sa posebnim osvrtom na procesne mreže u trafostanicama.

U radu je posebno opisan značaj standardizacije procesnih informacija sekundarnih sistema gdje je neophodno definisati naprednu listu procesnih informacija, kako u trafostanicama tako i u dispečerskim centrima. Svrha izrade standardizacije procesnih informacija je povećanje efikasnosti procesa inženjeringa u različitim fazama projekta i poslovnim procesima, kao i omogućavanje dalje automatizacije procesa inženjeringa i implementacije novih naprednih rješenja u CGES-u.

Ključne riječi: digitalna trafostanica, IEC 60870-5-104, IEC 61850, procesne mreže, standardizacija

1. UVOD

Prenosna mreža CGES-a se sastoji od dalekovoda naponskih nivoa 110 kV, 220 kV i 400 kV, trafostanica naponskog nivoa 110 kV i većeg, koje pripadaju CGES-u. U okviru nadležnosti upravljanja sistemom nalazi se 5 trafostanica 110/x kV u vlasništvu CEDIS-a, kao i postrojenja u sklopu proizvodnih objekata – elektrana, koje pripadaju Elektroprivredi Crne Gore. Nadzor i upravljanje se vrši iz Nacionalnog dispečerskog centra (NDC) u Podgorici, a u toku je i uspostavljanje Rezervnog dispečerskog centra (RDC) sa redundantnim funkcijama i na drugoj, fizički odvojenoj lokaciji, a sve u skladu sa ENT-SOe regulativom.

Pripremom objekata, ugradnjom RTU-ova (Remote Terminal Unit = krajnja stanica), koja predstavlja prvu fazu projekta implementacije novog SCADA/EMS sistema u redundantnoj konfiguraciji, na lokacijama NDC i RDC, je izgrađena osnova novog sistema za nadzor i upravljanje (završen tokom 2017. godine). Novi sistem je u potpunosti baziran na protokolu IEC 60870-5-104, kad je u pitanju komunik-

acija sa centrima upravljanja. Komunikacija na nivou trafostanice se bazira na IEC61850 standardu. Takođe, kroz ovaj projekat je svaka trafostanica dobila lokalni SCADA sistem sa kompletnom procesnom mrežom. Većina postrojenja CGES-a su kompletno rekonstruisani u dijelu zaštita i upravljanja, a u naredne 2-3 godine svi objekti će biti opremljeni mikroprocesorskim zaštitnim i upravljačkim uređajima. Preko telekomunikacionog sistema CGES-a sve RTU stanice su povezane sa Dispečerskim centrima, a uspostavljena je centralna vremenska sinhronizacija RTU-ova preko postojećeg NTP servera u NDC-u.

U toku su aktivnosti na implementaciji novog SCADA sistema na dvije redundantne lokacije koji će se bazirati na informacijama iz postrojenja koje će se dobijati preko sistema novih RTU-ova.

2. DIGITALIZACIJA TRAFOSTANICA CGES-A

U ovom poglavlju je dat hronološki prikaz procesa digitalizacije trafostanica CGES-a. Takođe je dat opis najznačajnijih rezultata i aktivnosti sprovedenih tokom procesa digitalizacije. Dvije važne karakteristike utiču na sisteme informatizacije: danas lako dostupna velika količina podataka koju omogućuju nove tehnologije s jedne strane, i velike razlike u izvedbi informacija iz sekundarnih sistema zbog različitih pristupa inženjeringu kao i zbog različitih generacija uređaja na kojima su oni realizovani.

2.1. REKONSTRUKCIJE SISTEMA ZAŠTITA I UPRAVLJANJA

Projekat rekonstrukcije/zamjene sistema zaštita i upravljanja započet je 2011.godine i izvodi se kroz tri faze. Uporedo sa zamjenom i ugradnjom novih zaštitnih i upravljačkih uređaja uspostavljena je optička infrastruktura u trafostanicama i kreirane su procesne mreže. Na nivou objekta je implementiran široko prihvaćeni standard IEC 61850, čime je postignut visok stepen interoperabilnosti između proizvođa raznih proizvođača.

Kroz I fazu ovog projekta zamijenjeni su upravljački i zaštitni uređaji za postrojenja naponskog nivoa 400kV (tri trafostanice) i svi potrebni signali uvedeni u postojeće lokalne SCADA sisteme.

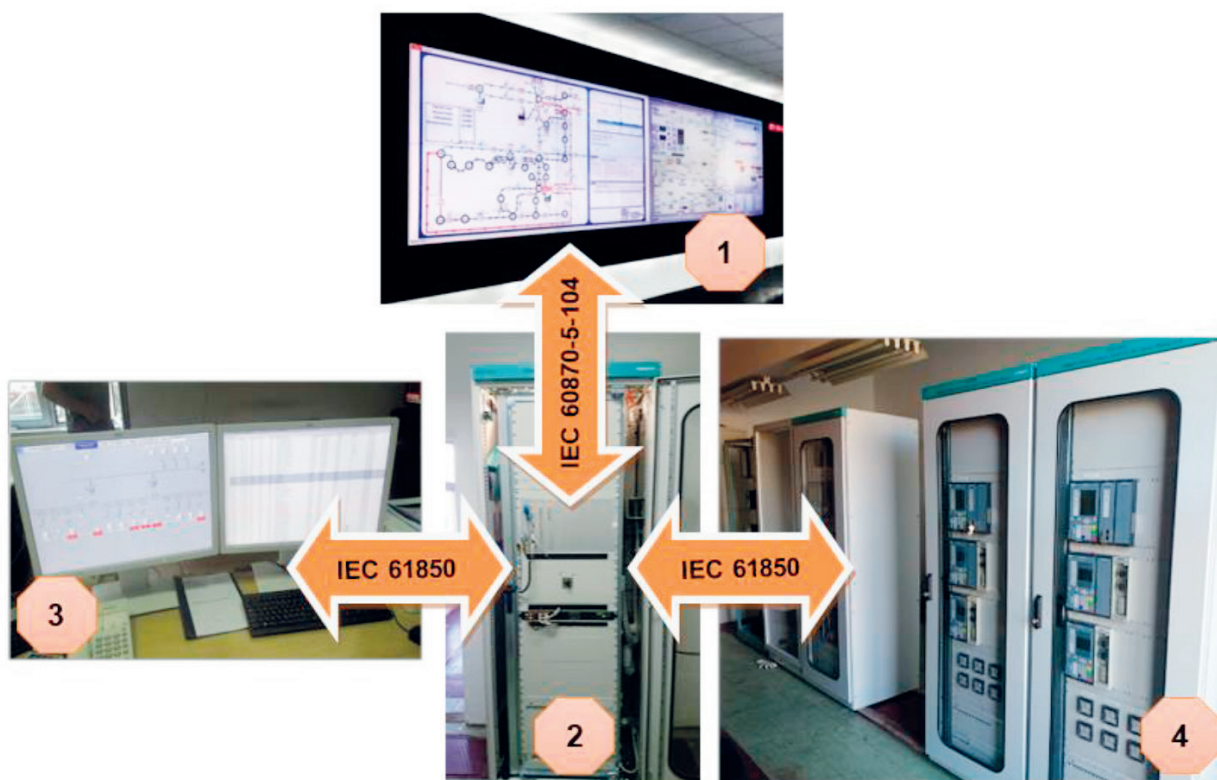
Realizacijom II faze ovog projekta obuhvaćena je preostala sekundarna oprema 220kV i 110kV naponskog nivoa u istim trafostanicama. Dodatno u II fazi projekta u TS Mojkovac 220/110/35 kV je izvršena rekonstrukcija upravljačkih i zaštitnih uređaja i instaliran lokalni SCADA sistem. Uporedo sa gore navedenim radovima u pogon su puštene nove trafostanice Kotor, Kličevo, Brezna. Svi ovi objekti su opremljeni najsavremenijom opremom i u skladu sa ustanovljenom praksom.

Kroz III fazu projekta, koja je u toku, digitalnim zaštitnim i upravljačkim jedinicama biće opremljene sve preostale trafostanice CGES-a (10 trafostanica).

Kao rezultat ovog projekta u narednih par godina očekuje se da svi objekti CGES-a imaju digitalne/mikroprocesorske uređaje za zaštitu i upravljanje, lokalne SCADA sisteme i kompletno funkcionalne procesne mreže na nivou trafostanice. Na ovaj način će se u potpunosti zaokružiti način savremenog lokalnog upravljanja u svim objektima i praktično eliminisati potreba za postojanjem starih komandnih tabli.

2.2. INSTALACIJA LOKALNIH SCADA SISTEMA I RTU/GATEWAY

U CGES-u je postojalo nekoliko lokalnih SCADA sistema koji su prikupljali informacije žičanim putem. Uporedo sa rekonstrukcijom sistema zaštita i upravljanja lokalni SCADA sistemi su unaprijeđeni i na taj način je omogućena komunikacija sa mikroprocesorskim uređajima, po usvojenim protokolima.



Slika 1. Prikaz dijelova novog SCADA/EMS sistema. 1. NDC/RDC, 2. RTU, 3. lokalni SCADA sistem 4. upravljački i zaštitni releji

Kako je već pomenuto, priprema objekata je prva etapa projekta implementacije novog SCADA i EMS sistema u redundantnoj konfiguraciji, kojim je tokom 2016 i 2017. godine izgrađen potpuno novi sistem. U objektima je realizovan uniformni interfejs prema budućoj SCADA-i u nadređenom centru upravljanja (NDC i RDC), koji podržava tekuće i buduće rekonstrukcije sistema zaštite i upravljanja u objektima. Dodatno, kroz Projekat pripreme objekata izvršena je i instalacija i puštanje u rad 14 lokalnih SCADA sistema, čime su svi objekti CGES-a, kao i tri trafostanice CEDIS-a, dobili lokalne SCADA sisteme. Napravljen je koncept da lokalni SCADA sistemi funkcionišu nezavisno od RTU-ova.

2.3. KREIRANJE BAZE PODATAKA I DEFINISANJE TIPSKE LISTE SIGNALA

Tokom projekta opremanja objekata na nivou CGES-a su definisane signal liste za sva polja, to jest kreirana je baza svih signala i definisano koji signali koji signali će se prikazivati lokalno a koji će biti poslani u dispečerske centre, i na koji način (direktno ili kao grupni signal). Osim toga, da bi se dobila kvalitetna baza podataka bilo je neophodno je definisati ujednačavanja tekstova i struktura informacija. To znači da je prilikom zahvata informacija iz postrojenja potrebno jednoznačno definisati način strukturiranja podataka, informacije istog značenja, skraćenice i nazive objekata i informacija. U cilju kvalitetnog rješenja, definisane su i dogovorene sledeće stavke:

- struktura podataka i adresiranje procesnih informacija u budućoj bazi SCADA sistema,
- nazivi vrsta polja postoje u elektroenergetskom sistemu i kakvi su njihovi nazivi,
- nazivi oznake primarne opreme u postrojenjima,
- liste u SCADA sistemu (npr. lista događaja, lista alarma, inženjerska lista, lista za uklopničare,...) i
- koje se sve obrade predviđaju (događaj, alarm, zvučna signalizacija,...),
- koja se mjerenja prosleđuju u centar,
- kakvi su zahtjevi na grupne signale, itd.

Tokom priprema je stavljen akcenat na definisanje svih informacije koje je potrebno prenositi u centre daljinskog upravljanja za potrebe vođenja sistema u realnom vremenu, kako bi se naredni korak u implementaciji SCADA sistema što više pojednostavio i ubrzao.

Koliko je bitno ovaj proces kvalitetno uraditi, govori činjenica da će budući SCADA sistem imati oko 10 puta više informacija nego postojeći. Naime, postojeći NDC SCADA sistem, koji prikuplja informacije žičanim putem, obrađuje iz trafostanica preko 1000 signala, komandi i mjerenja. Sistem novih RTU-ova trenutno ka nadređenim centrima šalje preko 8.500 signala, komandi i mjerenja, od čega oko 5.000 ide kroz formirane grupne signale. S obzirom da je preostala III faza rekonstrukcije sistema zaštite i upravljanja (10 trafostanica), ukupan broj signala i mjerenja koji će se slati prema nadređenim centrima, biće preko 10.000. Veća količina podataka može biti beskorisna ili negativno uticati na proces rada posebno ako nije sistematizovana i prikazana na pravi način.

Na slici 2. je prikazan dio tipske liste signala sa svim neophodnim informacijama o signalima.

TBI	Postrojnjak	Naponski nivo	Poloje	Uređaj	Tekst informacije	Tekst događaja Nazivna vrijednost, prag...	SCC Liste	SCC Grupa	SCC TAG	Binarni Ulazi/izlaz Funkc.	Default	Informacij #	Adresa signala (IEC61850, 103...)	CA.SDU	Telegram address	Grupni signal
I	PG2	400kV	C02	7SD	Diferencijalna zaštita - pobuda	Prestanak/Prorada	DI		3132		SP	Diff. Gen. FR	C02F87L_PROT/PIRC3.Str.general	0	1022056	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Diferencijalna zaštita - isključenje	Prorada	T	X	3141		SP	Diff. Gen. TR	C02F87L_EXTI/pdGGIO50.SPCSO5.stVal	10	1022063	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Struja kvara faze 0 (A)	X.X	O	X	533		VI	IL1 =	C02F87L_EXTI/pdGGIO67.ISCSO5.stVal	10	1022203	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Struja kvara faze 4 (A)	X.X	O	X	534		VI	IL2 =	C02F87L_EXTI/pdGGIO67.ISCSO6.stVal	10	1022204	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Struja kvara faze 8 (A)	X.X	O	X	535		VI	IL3 =	C02F87L_EXTI/pdGGIO67.ISCSO7.stVal	10	1022205	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Kvar komunikacijskog kanala 1	Prestanak/Prorada	A	X	X	009.0101	SP	Fail Ch1	C02F87L_EXTI/pdGGIO32768.SPCSO2.stVal	0	1022300	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Kvar komunikacijskog kanala 2	Prestanak/Prorada	A	X	X	009.0102	SP	Fail Ch2	C02F87L_EXTI/pdGGIO32768.SPCSO3.stVal	0	1023001	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Kvar komunikacije sa AK1	Prestanak/Prorada	A	X	X		SY2		A101CTRL/GGIO00.SPCSO1029114.stVal	10	1029113	
I	PG2	400kV	C02	7SD	Kvar komunikacije sa AK2	Prestanak/Prorada	A	X	X		SY2		A101CTRL/GGIO00.SPCSO1029124.stVal	10	1029123	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Diferencijalni relej za zaštitu transformatora	Prestanak/Prorada	A	X		BI 01	SP	MAIN_400kV	C03A01_CTRL/userGGIO1.SPCSO1.stVal	10	1030304	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Rezervni prekostrujni relej F50B1	Prestanak/Prorada	A	X		BI 02	SP	BACK_LP40	C03A01_CTRL/userGGIO1.SPCSO2.stVal	10	1030314	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Distanтни relej za zaštitu transformatora	Prestanak/Prorada	A	X		BI 03	SP	MAIN_110kV	C03A01_CTRL/userGGIO1.SPCSO3.stVal	10	1030310	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Rezervni prekostrujni relej F50B2	Prestanak/Prorada	A	X		BI 04	SP	BAC_LP110	C03A01_CTRL/userGGIO1.SPCSO4.stVal	10	1030315	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Kvar primarne zaštite	Prestanak/Prorada	A	X		BI 05	SP	PRIMARI FA	C03A01_CTRL/userGGIO1.SPCSO5.stVal	10	1030320	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Prekidni Q0	Medupolozaj/isključen/Uključen/Kvar	O	X		BI 06-07	DP	Q0	C03A01_CTRL/Q0CSW11.Pos.stVal	10	1030000	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Sabirnički rastavljač Q1	Medupolozaj/isključen/Uključen/Kvar	O	X		BI 08-09	DP	Q1	C03A01_CTRL/Q1CSW11.Pos.stVal	10	1030001	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Sabirnički rastavljač Q2	Medupolozaj/isključen/Uključen/Kvar	O	X		BI 10-11	DP	Q2	C03A01_CTRL/Q2CSW11.Pos.stVal	10	1030002	
I	PG2	400kV	C03	6MD	Noževi za uzemljenje Q52	Medupolozaj/isključen/Uključen/Kvar	O	X		BI 12-13	DP	Q52	C03A01_CTRL/Q52CSW11.Pos.stVal	10	1030052	

Slika 2. Dio tipske liste signala

3. SEKUNDARNI SISTEMI I NJIHOVA STANDARDIZACIJA

Razvoj tehnologija koje se koriste u sekundarnim sistemima omogućio je primjenu novih i naprednijih funkcionalnosti, kao i efikasnije i jednostavnije održavanje takvih sistema. Današnji sekundarni sistemi sastoje se od nekoliko podsistema koji su međusobno komunikaciono povezani u jednu cjelinu kroz TCP/IP mreže, a koje na fizičkom sloju koriste Ethernet tehnologiju.

Razvoj i primjena naprednih rješenja u sekundarnim sistemima imaju za cilj uspostavljanje i omogućavanje uzajamnog rada raznih uređaja, razmjenu podataka, redukovanje ožičenja, povećanje brzine prenosa podataka, daljinski pristup i uspostavljanje informatičke sigurnosti sistema. Uz navedeno, primjena takvih tehnologija omogućava jednostavniji nadzor nad radom svih podsistema unutar sekundarnog sistema, efikasniju dijagnostiku i analizu stanja kompletnog EE sistema, kao i brže detektovanje i otklanjanje kvarova.

Procesna mreža transformatorskih stanica bitan je element automatizacije elektroenergetskog sistema (EES) i izgradnje napredne mreže koja omogućava razmjenu svih informacija između procesnih sistema za automatizaciju EES-a kao i razmjenu informacija između različitih korisnika. Unutar procesne mreže postoji generalno dvije vrste aplikacija:

- Aplikacije u realnom vremenu (kritične, zahtijevaju maksimalnu raspoloživost);
- Ostale aplikacije (kontrola, nadzor, dijagnostika, održavanje, prikupljanje i arhiviranje pogonskih događaja)

Kod aplikacija u realnom vremenu razmjenjuju se operativne informacije sa zahtjevom na minimalno kašnjenje prenosa. Operativne informacije su neophodne za implementaciju upravljanja u st-

varnom vremenu, tj. one omogućavaju raspoloživost trenutnog stanja/statusa postrojenja, odnosno trenutnu detekciju o promjeni u postrojenju. Aplikacije u stvarnom vremenu odnose se minimalno na sljedeće sisteme:

- Nadzor, upravljanje, pogonska mjerenja, relejna zaštita
- Sekundarna regulacija (u pojedinim proizvodnim objektima)
- WAMS (Wide Area Monitoring System)

S druge strane, aplikacije koje nijesu vremenski zahtjevne razmjenjuju pomoćne informacije koje daju dodatne informacije o stanju/statusu postrojenja ili nekom događaju, bilo u pogonskom ili hvarijskom režimu. Za ovu vrstu podataka poželjno je da budu raspoloživi odmah po pojavi događaja, ali nije neophodno, tj. nižeg su prioriteta po raspoloživosti nego operativne informacije. Aplikacije koje nijesu vremenski zahtjevne odnose se na sljedeće podsisteme:

- Relejna zaštita (prepodešavanje, čitanje zapisa kvarova i događaja,...),
- Procesna i računarska mreža trafostanice (intervencije, prepodešavanje, čitanje zapisa na RTU-ovima, lokalnim SCADA-ma, ...)
- Nadzor mreže
- Nadzor pomoćnih postrojenja
- Obračunsko mjerenje
- Mjerenje kvalitete električne energije
- Monitoring primarne opreme
- Video nadzor
- Održavanje, prikupljanje i arhiviranje.

U cilju ispunjavanja neophodnih zahtjeva vezanih za „cyber security“ u energetske sistemima neophodno se pridržavati svih važećih standarda kako bi se smanjila mogućnost za bilo kakve neželjene akcije u okviru sistema za nadzor i upravljanje.

Proces standardizacije sekundarnih sistema može se podijeliti na dva dijela. Jedan dio odnosi se na standardizaciju procesnih informacija i drugi dio koji se odnosi na standardizaciju komunikacija odnosno razmjenu informacija između uređaja ili servisa na nivou vertikalne i horizontalne komunikacije unutar sekundarnog sistema.

3.1. STANDARDIZACIJA PROCESNIH INFORMACIJA SEKUNDARNOG SISTEMA

Standardizacija procesnih informacija sekundarnih sistema podrazumijeva proces standardizacije procesnih informacija od nivoa transformatorske stanice pa do nivoa nadređenih centara za nadzor i upravljanje odnosno centara za vođenje EES.

Pod procesnim informacijama u sekundarnim sistemima ubrajamo svu signalizaciju, mjerenja, komande i ostale tipove informacija koji se koriste u EE objektima. Smisao standardizacije procesnih informacija je kreiranje napredne liste procesnih informacija ili kataloga procesnih informacija koji sadrži sve procesne informacije koji se koriste na nivou operatora prenosnog sistema ili nekog EE objekta.

Prvi korak u procesu standardizacije je izrada pravila koja omogućavaju unifikaciju procesnih informacija i definišu sve atribute kojima se procesna informacija opisuje unutar kataloga. Na temelju tih pravila radi se sistematizacija procesnih informacija i generisanje kataloga gdje se uz nazive procesnih informacija definišu i svi ostali njihovi atributi. Sistematizacijom procesnih informacija dobija se njihova struktura unutar EE objekata. Kod sistematizacije treba nastojati da one budu što je više moguće generičke i da pokrivaju sve standardne funkcije postrojenja. Svaka informacija trebala bi barem sadržavati određene atribute koji je jednoznačno definišu unutar sekundarnog sistema.

Uz unifikaciju naziva, opisa i obrade procesnih informacija važan dio kataloga čine adrese procesnih informacija za protokole koji se koriste za razmjenu informacija unutar i između EE objekata. U novijim EE objektima prenosnih sistema uglavnom se koriste komunikacioni protokoli IEC 61850 i IEC 60870-5-104.

Za potrebe adresiranja procesnih informacija prema navedenim protokolima unutar sekundarnih sistema potrebno je prethodno razraditi shemu adresiranja prema kojoj će se pridjeljivati adrese informacijama. Ovdje može biti više različitih pristupa, ali u konačnom je važno da odabrana šema adresiranja može pokriti hijerarhijsku strukturu i sve funkcijske cjeline u EE objektima te da ima dovoljno rezerve za proširenje. Važno je da se što više koriste funkcije i procesne informacije koje su podržane od proizvođača opreme i da se pokuša izbjeći što je više moguće upotreba korisnički definisanih funkcija i procesnih informacija. Kod definisanja korisničkih funkcijskih grupa, procesnih informacija i signala treba voditi računa da se kod pridjeljivanja naziva poštuju standardom određena pravila.

Za komunikaciju između TS i nadređenog centra upravljanja, kroz projekat opremanja objekata definisana je IEC 60870-5-104 adresne šeme koja u svom broju:

- nosi informaciju o hijerarhiji/lokaciji unutar EE objekta kojoj procesna informacija pripada,
- jednoznačno određuje o kojoj se procesnoj informaciji radi za sve tipske informacije,

Sistematizacija i standardizacija procesnih informacija prema prethodno navedenom principu na nivou operatora prenosnog sistema osigurava kvalitetne temelje za buduću automatizaciju i informatizaciju procesa inženjeringa sekundarnih sistema na svim nivoima od faze pripreme do faze implementacije projekta, ali i olakšati održavanje EE objekta.

Glavna prednost takve objedinjene liste ili kataloga procesnih informacija je u tome što on pruža bolju mogućnost pretrage podataka, filtriranja podataka i kreiranja određenih podskupova podataka prema nekom željenom ključu.

3.2. STANDARDIZACIJA KOMUNIKACIJA SEKUNDARNOG SISTEMA

Standardizacija komunikacija jednim dijelom se odnosi na dokumentovanje ažurnog stanja komunikacija poput adresa, parametara komunikacije, komunikacijskih protokola, usmjeravanja saobraćaja, dozvola pristupa i sl. Drugi dio standardizacije komunikacija odnosi se na definisanje sigurnosnih mrežno-računarskih standarda koje je potrebno primijeniti unutar sekundarnog sistema. U transformatorskim stanicama, ali i ostalim elektroenergetskim objektima operatora prenosnog sistema postoje sistemi sa specifičnim zahtjevima na komunikacijsku infrastrukturu koja treba omogućiti komunikaciju unutar objekta, kao i samog objekta s spoljnim svijetom. Značajan dio komunikacijskih zahtjeva odnosi se na automatizaciju EE postrojenja, ali ima i drugih sistema koji takođe daju doprinos raspoloživosti i pouzdanosti prenosne mreže i imaju zahtjeve na komunikacijsku infrastrukturu. Sistemi automatizacije, za razliku od ostalih sistema, imaju relativno niske zahtjeve za kapacitetom, ali izrazito visoke zahtjeve na raspoloživost i brzinu odziva. Uz navedeno danas su kod svih komunikacija pa tako i kod komunikacija koje se primjenjuju u EE postrojenjima vrlo važni zahtjevi na sigurnost komunikacije, kao i pristup podacima i informacijama jer su u tom segmentu rizici sve izraženiji, a štete mogu biti velike.

Standardizaciju komunikacija sekundarnih sistema trebalo bi donositi na nivou firme odnosno operatora prenosnog sistema pri čemu se trebaju primijeniti važeći standardi i propisi kako bi se osigurala sigurnost i raspoloživost komunikacije na svim nivoima, a sama standardizacija treba minimalno dati:

- grupe informacija, grupe korisnika,
- sigurnost sistema, adresiranje,
- raspoloživost mreže, specifikaciju opreme.

Definisanje grupa informacija ili usluga vrlo je važno kako bi se mogao odrediti prioritet komunikacije odnosno koje informacije su kritične za vođenje sistema i koje informacije zahtijevaju maksimalnu raspoloživost telekomunikacijskog sistema. Identifikovane usluge je potrebno razdvojiti u posebne logičke mrežne segmente. Razdvajanje mrežnih segmenata se izvodi u IP mrežama korišćenjem virtualnih lokalnih mreža VLAN, (engl. Virtual Local Area Network). VLAN predstavlja skup IP uređaja koji mogu biti u jednoj ili više odvojenih mreža, a koje su konfigurisane na način da im je omogućena međusobna komunikacija kao da se nalaze u istoj fizičkoj mreži. Identifikacija grupa korisnika u procesu standardizacije komunikacija sekundarnih sistema neophodna je kako bi se na ispravan i jednoznačan način mogao konfigurirati saobraćaj unutar komunikacione mreže i definisati pristup informacijama kao i potrebna propusnost mreže.

4. PLANOVI ZA BUDUĆNOST

Zahtjevi na vođenje EE sistema postaju sve veći i teži. Kako bi se EES vodio na stabilan i efikasan način sistemi upravljanja moraju biti što kvalitetnije organizovani i održavani. Kada se detaljno sagledaju nametnuti zahtjevi i postojeći sistem procesnih informacija, vidi potreba za daljom sistematizacijom sekundarnih sistema.

U cilju daljeg unapređenja inženjeringa u sekundarnim sistemima, izdvajaju se dvije veće planirane aktivnosti koje su opisane u nastavku

daljinski pristup sekundarnim sistemima u cilju bržeg i kvalitetnijeg održavanja sistema kojim se:

- podiže se nivo sigurnosti jer se pristupa opremi s jednog centralnog servera na kojem su instalirani neophodni programi i implementirana odgovarajuća sigurnosna rješenja,
 - centralizuje se pristup konfiguracionih podataka i osigurava centralno skladištenje datoteka,
 - omogućava se automatska izrada sigurnosnih kopija datoteka koje su smještene na serverima i integracija u sisteme za čuvanje kopija (backup),
 - osigurava se dostupnost konfiguracionih alata većem boju korisnika (sve nadogradnje i podešenja komunikacijskih parametara se izvode na jednom centralnom mjestu),
 - omogućava se rad više korisnika istovremeno.
- izrada aplikacije koja bi objedinila sve informacije iz sekundarnih sistema i omogućiti daljinski nadzor odnosno praćenje rada sekundarnih sistema (sistema relejne zaštite i upravljačkih jedinica, lokanih SCADA sistema, sistema obračunskih i kontrolnih brojila,...). Uz navedeno aplikacija bi omogućila arhiviranje svih ključnih podataka, kao i njihovu kasniju pretragu, filtriranje, prikaz i izvoz.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj informacionih tehnologija omogućio je značajno povećanje broja dostupnih signala, a zbog sve većih zahtjeva u EES, povećala se i potreba za sve većim brojem signala za potrebe daljinskog i automatizovanog nadzora. Proces systemske informatizacije, standardizacije informacija u sekundarnim sistemima je usko vezan uz sistematizaciju kompletnog EES. U cilju dobijanja što kvalitetnijeg rješenja neophodno je na nivou kompanije definisati i pratiti standardizovani proces inženjeringa cijelog EES-a.

Glavni motivi za dalju sistematizaciju i razradu informacija iz sekundarnih sistema su:

- potreba za bržom rekonstrukcijom starih i izgradnjom novih postrojenja
- olakšati rad na inženjeringu, izgradnji, korišćenju i održavanju postrojenja.

Standardizacija sekundarnih sistema u EE objektima može se posmatrati kao jedan korak prema naprednim mrežama (engl. Smart Grid). Standardizacija i sistematizacija procesnih informaci-

ja u sekundarnom sistemu može osigurati osnovu za dalju automatizaciju i informatizaciju procesa inženjeringa sekundarnih sistema. Obzirom da je završen značajan dio posla u vezi digitalizacije sekundarnih sistema, i da su implementirana napredna rješenja u sistematizaciji procesnih veličina predložena rješenja bi značajno doprinijela ubrzanju procesa inženjeringa i olakšala održavanje. Informatični sistem u kojem se implementira standardizacija procesnih informacija pruža mnogo mogućnosti kod manipulacija s podacima, njihovo pretraživanje, grupisanje prema željenim funkcijama i sl. Glavna prednost ovakvog sistema je što na jednom mjestu postoji sačuvano izvedeno stanje cijelog sekundarnog sistema što pojednostavljuje rad sa procesnim podacima.

LITERATURA

- [1] Višić, Strnad, Mirković, Mugoša, “ Standardizacija kao temelj modernog sekundarnog sistema“, Cigre Crna Gora, 2017, B5 rad 8.
- [2] Mirković, Asanović, Jovović, Radulović, “Modernizacija sistema za daljinski nadzor i upravljanje u CGES-u“ SKEI 2018
- [3] Jovović, Mirković, „Pregled lokalnih SCADA sistema u CGES-u“, CIGRE Crna Gora, D2, 2015.
- [4] Jovović, Mirković, Asanović, „Upravljanje u trafostanicama CGES-a nakon druge faze rekonstrukcije sistema upravljanja i zaštita, CIGRE Hrvatska, 2015.
- [5] Donković, Žubrinić, Kekelj, Matić, Ananijev, Ilić, Radošević „Priprema procesnih podataka za nove SCADA sisteme u HEP OPS-u“, CIGRE Hrvatska, D2-03, 2009.

LOKALNA KOMPENZACIJA REAKTIVNE ENERGIJE

Gojko Joksimović
Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet, Podgorica

Kratak sadržaj: Kompenzacija reaktivne energije je jedna od mjera koja se preduzima sa ciljem podizanja efikasnosti pri prenosu i distribuciji električne energije. Ova mjera je stimulirana i samim tarifnim sistemom koji donose regulatorne agencije u oblasti elektroenergetike kao i preporukama elektrodistributivnih kompanija. U radu je dat osvrt na pojam reaktivne energije, način njene lokalne kompenzacije a kao primjer je analiziran i slučaj distributivnog transformatora za koji je data relacija za izračunavanje snage baterije kondenzatora koja služi toj svrsi.

Ključne riječi: reaktivna snaga, reaktivna energija, kompenzacija, faktor snage.

1. UVOD

Tokovi reaktivne energije u mreži, koji su neizbježni, za posledicu imaju veće struje pri nepromijenjenoj aktivnoj snazi što za sobom povlači i povećane gubitke električne energije kao i povećane padove napona. Takođe, nekontrolisani i nepotrebni tokovi reaktivne energije u mreži iziskuju potrebu za predimenzionisanjem električne opreme koja je sastavni dio mreže: uvećane poprečne presjeke provodnika, transformatore većih snaga itd. Sa druge strane, treba imati na umu da se reaktivna energija kao prateća pojava pri prenosu aktivne električne energije ne može suzbiti, ali se njenim generisanjem na pravom mjestu, tamo gdje je potrebna, može kontrolisati njen tok.

Ovim člankom se želi postići nekoliko ciljeva: napraviti osvrt na prilično apstraktan pojam reaktivne energije; ilustrovati najprostiji način kompenzacije primjenom statičke baterije kondenzatora; upoznati se sa našim tarifnim sistemom i tarifnim sistemima u okruženju i komentarisati ih sa aspekta načina obračuna prekomjerno preuzete količine reaktivne energije; dati primjer proračuna snage baterije kondenzatora za slučaj distributivnih transformatora.

2. OSVRT NA DEFINICIJU REAKTIVNE SNAGE

Pojam aktivne snage u elektrotehnici, u oznaci P , dobro je poznat i jasno definisan: to je srednja vrijednost trenutne električne snage tokom jedne periode naizmjeničnog napona. Trenutna električna snaga $p(t)$ je proizvod trenutnih vrijednosti napona $u(t)$ i struje $i(t)$ pri čemu su napon i struja, u opštem slučaju, vremenski tj. fazno pomjerene za ugao φ . Trenutna snaga se može prikazati kao zbir dvije komponente,

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = p_1(t) + p_2(t) \quad (1)$$

gdje su:

$$p_1(t) = UI \cos \varphi \cdot (1 + \cos(2\omega t)) \quad (2)$$

$$p_2(t) = UI \sin \varphi \cdot (\sin(2\omega t)) \quad (3)$$

Dakle, aktivna snaga je,

$$P = \langle p(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = UI \cos \varphi \quad (4)$$

gdje su U i I efektivne vrijednosti napona i struje a $\cos \varphi$ je faktor snage.

Faktor snage je kosinus ugla φ koji je definisan kao fazni pomjeraj napona u odnosu na struju. Treba obratiti pažnju na to da definicija ugla φ podrazumijeva njegovu usmjerenost – prednjačenje napona u odnosu na struju odgovara pozitivnoj vrijednosti ugla φ i obratno. Kako je domen ugla φ u opsegu $\varphi \in [-\pi/2, \pi/2]$ a kako je kosinus parna funkcija, podatak o faktoru snage je kompletan samo kada se dodatno navede podatak o tome da li je on induktivan (napon prednjači struji, $\varphi > 0$) ili kapacitivan (napon kasni za strujom, $\varphi < 0$).

Pored ove snage u elektrotehnici se definišu još dvije snage.

Puna ili prividna snaga S je definisana proizvodom efektivnih vrijednosti napona i struje, bez obzira na njihov međusobni fazni stav, $S = UI$.

Reaktivna snaga Q je, po definiciji, amplituda one oscilujuće komponente snage, čija je srednja vrijednost u toku jedne periode naizmjeničnog napona jednaka nuli, a to je komponenta trenutne snage označena sa $p_2(t)$ u (1) i (3). Dakle, reaktivna snaga je,

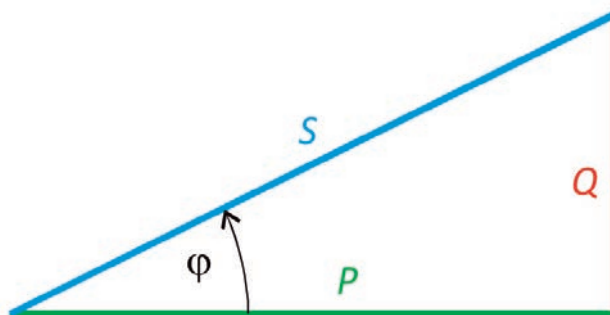
$$Q = \overline{p_2(t)}^{\max} = UI \sin \varphi \overline{\sin(2\omega t)}^{\max} = UI \sin \varphi \quad (5)$$

pri čemu je faktor $\sin \varphi$ poznat kao faktor reaktivnosti.

Sve prethodno definisane snage posmatrane na određenom vremenskom intervalu tj. množene sa vremenom daju odgovarajuće energije: prividnu, aktivnu i reaktivnu.

Uobičajena fizička interpretacija reaktivne energije je sledeća: to je energija koja u jednoj četvrtini periode naizmjeničnog napona teče od izvora električne energije ka reaktivnom elementu, kalemu (kondenzatoru) i tamo se akumulira u magnetskom (električnom) polju da bi u narednoj četvrtini periode smjer toka te energije bio suprotan. Istina, ova fizička interpretacija gubi svoj smisao već kod najprostijeg, simetričnog trofaznog potrošača jer se pokazuje da je trenutna snaga trofaznog simetričnog potrošača konstantna i jednaka njegovoj aktivnoj snazi. Drugim riječima, reaktivna snaga se kod trofaznih potrošača ne može jednostavno definisati već se definiše po analogiji u monofaznom slučaju. Dalja rasprava o definiciji reaktivne snage kod trofaznih potrošača prevazilazi okvire ovog rada.

U cilju dodatnog razlikovanja ove tri snage njihove brojne vrijednosti se opisuju različitim jedinicama iako su sve te tri jedinice u fizičkom smislu iste: jedinica za aktivnu snagu je Vat [W], prividnu snagu je Volt-Amper [VA] a jedinica reaktivne snage je Volt-Amper reaktivni, [VAR]. Između ove tri snage postoji jednostavna veza, opisana trouglom snaga, čije su katete aktivna i reaktivna snaga a hipotenuza je prividna snaga, slika 1. Hipotenuza i kateta koja odgovara aktivnoj snazi zaklapaju ugao φ .



Slika 1. Trougao snaga

3. FIZIČKI OSNOV KOMPENZACIJE REAKTIVNE SNAGE

U slučaju čisto aktivnog potrošača, koji se modelira aktivnom otpornošću, jedina snaga koja postoji je aktivna snaga, jer su u ovom slučaju napon na potrošaču i struja potrošača u fazi, $\varphi=0^\circ$:

$$P = UI \cos \varphi = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (6)$$

Aktivna snaga čisto induktivnog potrošača, idealnog kalema, jednaka je nuli. U ovom slučaju postoji samo reaktivna snaga, koja je pozitivna jer napon prednjači struji za 90° , $\varphi=+90^\circ$:

$$Q_L = UI \sin \varphi = UI = X_L I^2 = \frac{U^2}{X_L} \quad (7)$$

Kako je reaktivna snaga induktivnog potrošača pozitivna to se u skladu sa pasivnom konvencijom, koja je najzastupljenija u upotrebi kod potrošača, smatra da induktivni potrošač troši reaktivnu snagu.

Aktivna snaga čisto kapacitivnog potrošača, idealnog kondenzatora, takođe je jednaka nuli. I u ovom slučaju postoji samo reaktivna snaga, koja je sada negativna jer napon kasni za strujom za 90° , $\varphi=-90^\circ$:

$$Q_C = UI \sin \varphi = -UI = -X_C I^2 = -\frac{U^2}{X_C} \quad (8)$$

U skladu sa ranije pomenutom pasivnom konvencijom znak minus odgovara tumačenju da kapacitivni potrošač generiše reaktivnu snagu.

Upravo suprotan znak reaktivne snage induktivnog i kapacitivnog potrošača predstavlja osnov za mogućnost kompenzacije reaktivne energije. Suprotan znak reaktivnih snaga treba posmatrati na sledeći način: ranije je diskutovano o tome da reaktivna energija naizmjenično osciluje između izvora električne energije i reaktivnog potrošača. Suprotan znak reaktivnih snaga govori o tome da u onim trenucima kada induktivni potrošač preuzima električnu energiju iz izvora kapacitivni je izvoru vraća i obratno.

Naravno, znak reaktivne snage je posledica usvojene, ustaljene konvencije o znaku ugla φ .

4. STATIČKA KOMPENZACIJA REAKTIVNE ENERGIJE – SLUČAJ OPŠTEG PRETEŽNO INDUKTIVNOG POTROŠAČA

Najčešći slučaj realnog potrošača u praksi je pretežno induktivni potrošač. Primjeri takvih potrošača su električni motori, transformatori, fluorescentne sijalice itd. To su potrošači koji se modeliraju rednom ili paralelnom vezom aktivne otpornosti i induktivnosti, i oni, pored aktivne troše i reaktivnu snagu. Drugim riječima, takvi potrošači imaju induktivni faktor snage manji od jedinične vrijednosti, $\cos\varphi < 1$. Potrošnja reaktivne snage kod ovih potrošača je neizbježna što za posledicu ima, pri istoj aktivnoj snazi, veću struju koju potrošač "vuče" iz mreže. Veća struja za sobom povlači veće Džulove gubitke u prenosu električne energije kao i veće vrijednosti padova napona.

Primjera radi, neka je pretežno induktivni potrošač aktivne snage $P_p = 2300\text{W}$ i faktora snage $\cos\varphi = 0.5$ ($\varphi = 60^\circ$) priključen na monofaznu mrežu efektivne vrijednosti napona $U = 230\text{V}$, slika 2a. Efektivna vrijednost struje potrošača je u ovom slučaju,

$$I_p = \frac{P_p}{U \cos\varphi} = 20\text{A} \quad (9)$$

a reaktivna snaga koju potrošač vuče iz mreže je:

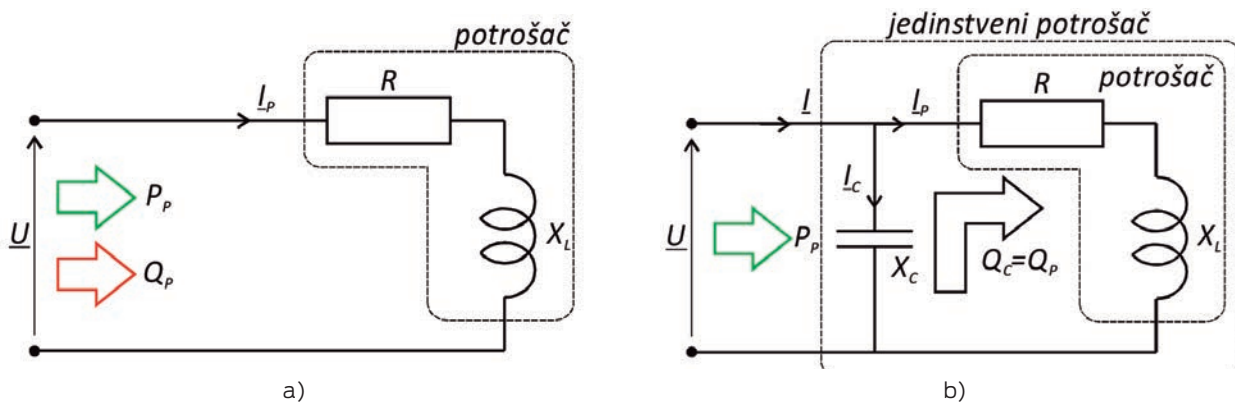
$$Q_p = UI \sin\varphi = 3984\text{VAR} \quad (10)$$

Ukoliko bi se ova reaktivna snaga koju zahtijeva potrošač nadomjestila iz drugog izvora a ne iz izvora električne energije, tada se iz električne mreže ne bi više povlačila reaktivna već samo aktivna energija čime bi se faktor snage povećao na jediničnu vrijednost, $\cos\varphi_{\text{novi}} = 1$, a tim i ulazna struja iz mreže smanjila na najmanju moguću vrijednost, za datu aktivnu snagu:

$$I = \frac{P_p}{U \cos\varphi_{\text{novi}}} = 10\text{A} \quad (11)$$

Opisana mjera je poznata kao kompenzacija reaktivne snage ili reaktivne energije mada je često poznata i kao popravka faktora snage.

Najprostiji način kompenzacije reaktivne snage je tzv. statička kompenzacija koja se vrši paralelnim vezivanjem kondenzatora (baterije kondenzatora) konstantne kapacitivnosti pretežno induktivnom potrošaču, slika 2b, [1]. Postoje i mnogi drugi, sofisticiraniji načini kompenzacije koji podrazumijevaju stalni monitoring faktora snage potrošača i odgovarajuću stalnu promjenu kapacitivnosti baterije kondenzatora u cilju ostvarivanja zadatog faktora snage ali je princip sličan.



Slika 2. Princip potpune kompenzacije reaktivne snage paralelnim vezivanjem baterije kondenzatora pretežno induktivnom potrošaču: a) nekompenzovani potrošač; b) svu reaktivnu snagu potrebnu potrošaču nadoknađuje baterija kondenzatora

U cilju ostvarivanja potpune kompenzacije, tj. popravke faktora snage na jediničnu vrijednost, potrebno je da svu reaktivnu snagu koju potrošač zahtijeva nadoknadi baterija kondenzatora. Drugim riječima, potrebno je da reaktivna snaga baterije kondenzatora bude jednaka reaktivnoj snazi potrošača, $Q_C = Q_p$.

Ukoliko nije potrebno izvršiti potpunu kompenzaciju već samo popraviti faktor snage potrošača na određenu vrijednost, manju od jedinične, tada se snaga baterije kondenzatora najjednostavnije određuje iz trougla snaga.

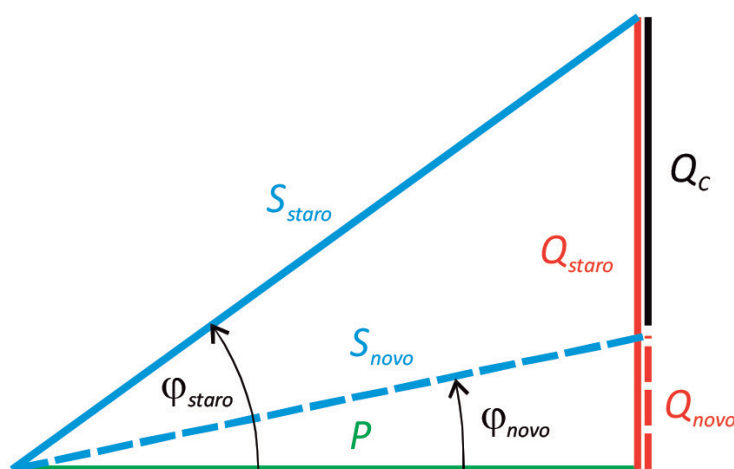
Neka je početno stanje takvo da potrošač ima faktor snage $\cos\varphi_{staro}$ i odgovarajući fazni pomjeraj napona u odnosu na struju φ_{staro} . Potrebno je ugraditi bateriju kondenzatora kojom će se faktor snage podići na novu vrijednost, $\cos\varphi_{novo}$ tj. ostvariti novi, manji fazni pomak između napona i struje, φ_{novo} , slika 3.

Iz trougla snaga sa slike 3. je očigledno da razliku između stare i nove vrijednosti reaktivne snage koju potrošač vuče iz mreže treba da nadoknadi baterija kondenzatora. Snaga ove baterije je,

$$Q_C = Q_{staro} - Q_{novo} = P \cdot (\tan\varphi_{staro} - \tan\varphi_{novo}) \quad (12)$$

ili, preko faktora snaga:

$$Q_C = \left(\frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{staro}}}{\cos\varphi_{staro}} - \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{novo}}}{\cos\varphi_{novo}} \right) \cdot P \quad (13)$$



Slika 3. Određivanje snage baterije kondenzatora u slučaju djelimične kompenzacije

I sa slike 3. je očigledna prednost kompenzacije: usled kompenzacije se prividna snaga smanjila a to, pri stalnom naponu, znači manju efektivnu vrijednost struje koju jedinstveni potrošač (potrošač i baterija kondenzatora) vuče iz mreže. Treba primijetiti da se aktivna snaga ne mijenja u ovom procesu.

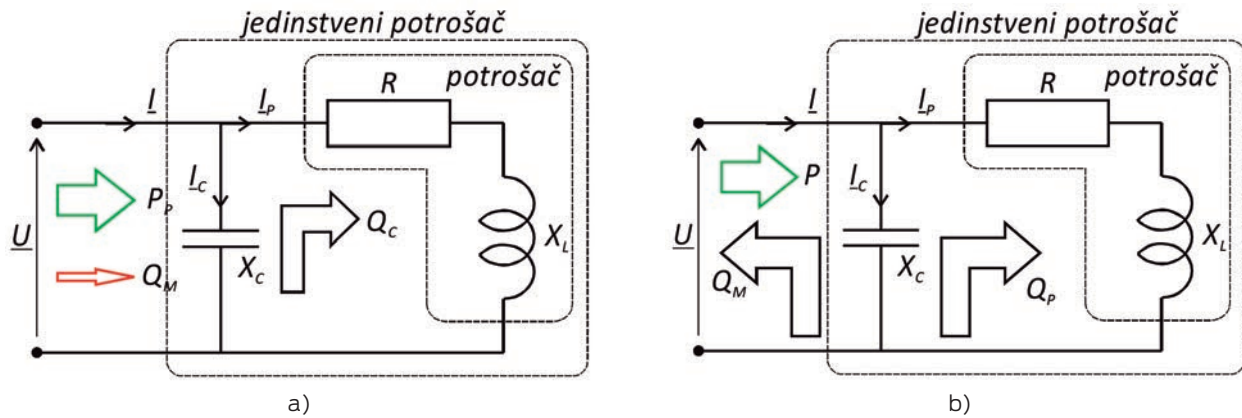
Primjer 1: Cilj je potrošaču aktivne snage $P=2300W$ popraviti faktor snage sa vrijednosti 0.5 na vrijednost 0.95. Naći snagu odgovarajuće baterije kondenzatora.

Direktnom primjenom prethodnog izraza slijedi:

$$Q_C = P \left[\frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{staro}}}{\cos\varphi_{staro}} - \frac{\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{novo}}}{\cos\varphi_{novo}} \right] = 3.2kVAR$$

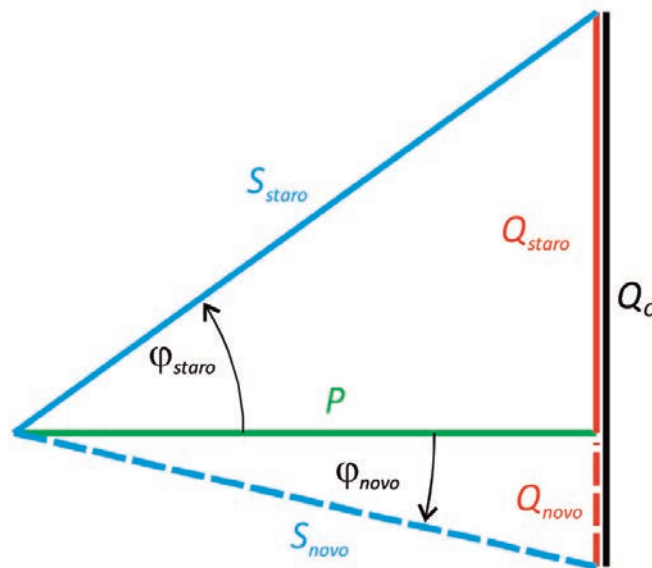
Na opisani način se i dalje jedan dio reaktivne snage povlači iz mreže Q_M dok glavninu reaktivne snage potrošaču obezbjeđuje baterija kondenzatora Q_C , slika 4a. Sada je reaktivna snaga potrošača $Q_P = Q_M + Q_C$.

Može da se desi i slučaj da je snaga baterije kondenzatora neadekvatno izabrana tj. predimenzionisana čime se ulazi u režim prekompenzacije čime faktor snage jedinstvenog potrošača postaje ponovo manji od jedinice ali na drugu, kapacitivnu stranu.



Slika 4. a) djelimična kompenzacija reaktivne energije; b) slučaj neadekvatne kompenzacije - tzv. prekompenzacija

Tada baterija kondenzatora pored reaktivne snage koju obezbjeđuje potrošaču generiše i jedan dio reaktivne snage koji se predaje mreži, $Q_C = Q_P + Q_M$, čime struja koju jedinstveni potrošač vuče iz mreže postaje ponovo veća od najmanje moguće vrijednosti za predefinisane aktivnu snagu, koja odgovara jediničnom faktoru snage. Slučaju prekompenzovanog potrošača odgovara trougao snaga sa slike 5.



Slika 5. Prekompenzovan sistem

5. STATIČKA KOMPENZACIJA REAKTIVNE ENERGIJE – SLUČAJ DISTRIBUTIVNOG TRANSFORMATORA

Preporuka EPCG, [2], definiše snagu baterije kondenzatora za distributivne transformatore standardnih snaga od 630kVA i 1000kVA. Prema ovoj preporuci u oba slučaja u polju NN razvoda treba instalirati trofazni kondenzator 3 ´ 400V, 50Hz, tj. bateriju kondenzatora snage 40kVAR. Ovdje će se radi ilustracije dati postupak računanja snage pomenute baterije kondenzatora, [3], [4].

Pri bilo kom radnom režimu transformatora baterija kondenzatora treba da pokrije potrebu za reaktivnom snagom potrebnom za magnećenje transformatora Q_{μ} i rasipne magnetske flukseve Q_x :

$$Q_c = Q_{\mu} + Q_x \quad (14)$$

Prividna snaga transformatora u režimu praznog hoda je,

$$S_0 = \sqrt{3}U_0 I_0 = \sqrt{3}U_n I_n = \sqrt{P_{Fe}^2 + Q_{\mu}^2} \quad (15)$$

gdje su gubici u gvožđu P_{Fe} . Dakle, reaktivna snaga potrebna za magnećenje transformatora je,

$$Q_{\mu} = \sqrt{3U_n^2 I_0^2 - P_{Fe}^2} = \sqrt{\left(\sqrt{3}U_n I_n \frac{I_0}{I_n}\right)^2 - P_{Fe}^2} = \sqrt{\left(\frac{i_0}{100} S_n\right)^2 - P_{Fe}^2} \quad (16)$$

gdje je $i_0 = (I_0/I_n) \times 100$ procentualna vrijednost struje praznog hoda.

U režimu kratkog spoja prividna snaga transformatora je,

$$S_{ks} = \sqrt{3}U_{ks} I_n = \sqrt{P_{Cun}^2 + Q_{xn}^2} \quad (17)$$

Dakle, reaktivna snaga potrebna za formiranje rasipnih flukseva u transformatoru je, uvodeći relativni napon kratkog spoja u_{ks} :

$$Q_{xn} = \sqrt{\left(\sqrt{3}U_{ks} I_n\right)^2 - P_{Cun}^2} = \sqrt{\left(\frac{u_{ks}}{100} \sqrt{3}U_n I_n\right)^2 - P_{Cun}^2} = \sqrt{\left(\frac{u_{sc}}{100} S_n\right)^2 - P_{Cun}^2} \quad (18)$$

Za bilo koji drugi radni režim, kada je transformator podopterećen, uvođenjem relativnog opterećenja kao $x = I/I_n$, dobija se:

$$Q_x = x^2 Q_{xn} = x^2 \sqrt{\left(\frac{u_{sc}}{100} S_n\right)^2 - P_{Cun}^2} \quad (19)$$

Dakle, u generalnom slučaju, reaktivna snaga baterije kondenzatora je:

$$Q_c = \sqrt{\left(\frac{i_0}{100} S_n\right)^2 - P_{Fe}^2} + x^2 \sqrt{\left(\frac{u_{sc}}{100} S_n\right)^2 - P_{Cun}^2} \quad (20)$$

U slučaju potrebe za brzom, približnom računicom, može se koristiti i sledeći aproksimativni izraz,

$$Q_c = \frac{i_0}{100} S_n + x^2 \left(\frac{u_{ks}}{100} S_n \right) \quad (21)$$

u kom su zanemareni gubici u transformatoru.

Ono što je problem sa obje prethodne relacije jeste, obično, nepoznavanje relativne vrijednosti struje praznog hoda transformatora. Međutim, na osnovu podataka datih u literaturi, [5], moguće je doći do veze između relativne vrijednosti struje praznog hoda i nominalne prividne snage standardnih transformatora, koja je tamo data grafički. Interpolacijom tih podataka se dolazi do sledeće analitičke zavisnosti $i_0=f(S_n)$, [4],

$$i_0 = 0.0421 \cdot (\log S_n)^2 - 0.4384 \cdot \log S_n + 1.6064 \quad (22)$$

gdje je S_n nominalna prividna snaga transformatora u MVA a i_0 je relativna (procentualna) vrijednost struje praznog hoda.

Primjer 2: Dat je trofazni distributivni transformator sledećih podataka, [6]: $S_n=630\text{kVA}$, 10/0.4kV, 50Hz, Dyn5, $P_{Fe}=1.2\text{kW}$, $P_{Cun}=8.7\text{kW}$, $u_{ks}=6\%$. Odrediti potrebnu snagu baterije kondenzatora za kompenzaciju reaktivne snage ovog transformatora u nominalnom radnom režimu.

Kako proizvođač ne daje procentualnu vrijednost struje praznog hoda ona se može procijeniti iz prethodno izvedenog izraza: $i_0=1.82\%$.

Približni izraz daje sledeću vrijednost snage baterije kondenzatora:

$$Q_c = \frac{1.82}{100} 630\text{kVA} + \frac{6}{100} 630\text{kVA} \cong 49\text{kVAr}$$

Tačan izraz daje nešto manju vrijednost: $Q_c=48\text{kVAr}$. Za transformator ove snage, kako je već rečeno, EPCG preporučuje instalaciju baterije kondenzatora snage 40kVAr.

6. REAKTIVNA ENERGIJA U TARIFNIM SISTEMIMA CRNE GORE, SRBIJE I HRVATSKE

Potrebu za kompenzacijom reaktivne energije ilustruju i tarifni sistemi. Tako član 32. pravilnika o tarifama za električnu energiju Regulatorne agencije za energetiku Crne Gore iz 2005. godine definiše prekomjerno preuzetu reaktivnu energiju:

Član 32 - Prekomjerno preuzeta reaktivna energija

32.1. Prekomjerno preuzeta reaktivna energija predstavlja razliku između stvarno preuzete reaktivne energije i reaktivne energije koja odgovara faktoru snage $\cos\varphi=0.95$;

32.2. Potrošač koji preuzima iz mreže veću reaktivnu energiju od one koja odgovara faktoru snage $\cos\varphi=0.95$, dužan je da ugradi odgovarajuće uređaje za kompenzaciju reaktivne energije;

32.3. Prekomjerno preuzetu reaktivnu energiju potrošač plaća po tarifnim stavovima koji iznose 20% od tarifnih stavova za aktivnu energiju;

32.4. Potrošači koji energiju preuzimaju (troše) sa faktorom snage $\cos\varphi\geq 0.95$ ne plaćaju reaktivnu energiju.

32.5. Potrošaču koji je po nalogu operatora prenosne mreže isključivao svoje uređaje za kompen-

zaciju reaktivne energije, ne obračunava se prekomjerno preuzeta reaktivna energija za period dok su ti uređaji bili isključeni po nalogu.

Slične odredbe se mogu naći i u okruženju.

U Tarifnom sistemu za obračun električne energije za tarifne kupce Republike Srbije (Sl. glasnik RS br. 1/2007, 31/2007, 50/2007, 81/2007, 21/2008 i 109/2009) mogu se naći sledeće odredbe:

Član 4.

Za tarifni element “reaktivna energija” se utvrđuju dva tarifna stava:

1. “reaktivna energija”;
2. “prekomerno preuzeta reaktivna energija”.

Ako je faktor snage za obračunski period veći ili jednak 0.95, tarifni stav “reaktivna energija” se primenjuje na iznos izmerene reaktivne energije. Ako je faktor snage za obračunski period manji od 0.95, tarifni stav “reaktivna energija” se primenjuje na iznos reaktivne energije koja odgovara faktoru snage 0.95, a tarifni stav “prekomerno preuzeta reaktivna energija” se primenjuje na iznos prekomerno preuzete reaktivne energije. Prekomerno preuzeta reaktivna energija je pozitivna razlika stvarno preuzete reaktivne energije i reaktivne energije koja odgovara faktoru snage 0.95.

Član 13.

Tarifni element “reaktivna energija” je ukupna reaktivna energija koja se godišnje isporučuje kupcima iz prenosnog i distributivnog sistema. Reaktivna energija jednog kupca je suma reaktivnih energija koje su izmerene na svim mernim mestima tokom obračunskog perioda u okviru iste kategorije i grupe kupaca. Reaktivna energija se izražava u kilovarčasovima (kVARh).

Član 34.

Relativni odnos cena po tarifnim stavovima “reaktivna energija” i “prekomerno preuzeta reaktivna energija” je 1:2. Cena po tarifnom stavu “prekomerno preuzeta reaktivna energija” se određuje na osnovu cene po tarifnom stavu “reaktivna energija” za odgovarajuću kategoriju kupaca, primenom relativnog odnosa iz stava 1. ovog člana.

U Tarifnom sustavu koji je donijela Hrvatska energetska regulatorna agencija 19. 12. 2006. godine u prilogu 4.3. između ostalog, definiše (hrvatski termini za aktivnu i reaktivnu energiju su radna i jalova energija):

1. Prekomjerno preuzeta jalova energija je pozitivna razlika između stvarno izmjerene jalove energije i jalove energije koja odgovara prosječnom faktoru snage manjem od 0.95, što odgovara približno 33% radne energije;
2. Prekomjerno preuzeta jalova energija kupcu se obračunava za mjesečno obračunsko razdoblje;
3. Tarifna stavka za prekomjerno preuzetu jalovu energiju, induktivnu i kapacitivnu, ista je za sve naponske razine;
4. Kupci iz kategorije kućanstva ne plaćaju dio naknade za korištenje mreže koji se odnosi na prekomjerno preuzetu jalovu energiju.

Iz sadržaja navedenih članova je jasno da je kompenzacija reaktivne energije u interesu kako elektrodistributivnih preduzeća tako i samih potrošača. Elektrodistribucijama je u interesu da napajaju potrošače sa, u idealnom slučaju, jediničnim faktorom snage, $\cos\varphi=1$, jer to za njih znači minimalnu moguću struju u distributivnoj mreži, za datu aktivnu snagu. Samim tim, prenosni vodovi, transformatori i ostala rasklopna oprema se mogu birati na optimalan način, gubici električne energije u

distributivnoj mreži su minimalni kao i padovi napona u mreži. Sa druge strane, veliki potrošači električne energije, poboljšavanjem svog faktora snage iznad zakonski propisane vrijednosti ne plaćaju preuzetu reaktivnu energiju, čime svoje poslovanje čine ekonomičnijim.

Ono što je identično u svim analiziranim tarifnim sistemima jeste da se pod prekomjerno preuzetom reaktivnom energijom smatra ona reaktivna energija koja je pozitivna razlika (ovo „pozitivna“ nije naglašeno u našem tarifnom sistemu) između stvarno preuzete reaktivne energije i one reaktivne energije koja odgovara (prosječnom) faktoru snage od 0.95. Jedino je u hrvatskom tarifnom sistemu naglašeno da se radi o prosječnom faktoru snage što je jedino korektno jer se faktor snage određuje iz mjesečnog očitavanja utrošene aktivne i reaktivne energije.

Kako reaktivna energija za faktor snage 0.95 iznosi približno 1/3 preuzete aktivne energije, jer je,

$$\tan(\arccos 0.95) = \frac{Q}{P} = \frac{W_Q}{W_P} \cong \frac{1}{3} \quad (23)$$

to se prekomjerno preuzeta reaktivna energija jednostavno određuje iz potrošnje aktivne i reaktivne energije na mjesečnom nivou. Recimo, ako je potrošač na mjesečnom nivou utrošio $W_P=5000\text{kWh}$ aktivne energije i $W_Q=3000\text{kVAr}$ reaktivne energije, prekomjerno preuzeta reaktivna energija tog potrošača iznosi:

$$W_{Q_prekomjerno} = W_Q - \frac{W_P}{3} = 1333\text{kVAr} \quad (24)$$

Ovu količinu prekomjerno preuzete reaktivne energije bi platili potrošači u Crnoj Gori i Hrvatskoj, po odgovarajućoj tarifi (20% cijene aktivne električne energije u Crnoj Gori). U Srbiji se, međutim, plaća i reaktivna energija koja odgovara faktoru snage 0.95, po jednoj tarifi, i prekomjerno preuzeta reaktivna energija, po drugoj tarifi, u odnosu 1:2, član 4.

Druga sličnost je u tome što se u kategoriji domaćinstva ne mjeri a samim tim i ne obračunava reaktivna energija niti u jednom od analiziranih tarifnih sistema.

Ono što se može uočiti kao razlika u navedenim tarifnim sistemima jeste, makar se tako može tumačiti tačka (3) hrvatskog tarifnog sistema, da se u Hrvatskoj plaća i preuzeta kapacitivna reaktivna energija a to je, tačnije, reaktivna energija koja se „upumpava“ u električnu mrežu. To se može desiti u dva slučaja: slučaju pretežno kapacitivnog potrošača što je inače rijedak slučaj u praksi i u slučaju da je kod pretežno induktivnog potrošača kompenzacija izvršena neadekvatno tj. da se ušlo u oblast ranije pomenute prekompenzacije.

7. ZAKLJUČAK

Reaktivna snaga je neizbježan pratilac aktivne snage kod električnih potrošača, izuzimajući čisto omske potrošače. Dakle, ona se ne može izbjeći niti eliminirati potreba za njom. Ono što se može uraditi u vezi sa reaktivnom snagom jeste da se ona obezbijedi lokalno, na mjestu na kom je potrebna, kako bi se na taj način eliminisao njen tok duž vodova električne mreže a tim i smanjila nepotrebno velika struja i posledično, uvećani Džulovi gubici i padovi napona duž vodova. Često se u literaturi i u svakodnevnom inženjerskom govoru može čuti konstatacija da dovoljna količina reaktivne snage u mreži poboljšava naponske prilike što treba tumačiti upravo na način da su tada padovi napona u sistemu manji jer su struje u vodovima manje.

Pojam reaktivne snage je prilično apstraktan. Tumačenje ove snage putem razmjene energije u sistemu između izvora i magnetskog odnosno električnog polja kalemova i kondenzatora, u monofaznim sistemima ima smisla ali je u trofaznom sistemu to tumačenje upitno jer kod trofaznog simetričnog potrošača takve razmjene energije nema. Mišljenja sam da pojam reaktivne snage i/ili energije prevashodno treba vezivati za efektivnu vrijednost struje, pri stalnom naponu i stalnom zahtjevu za aktivnom snagom, koja je minimalna u slučaju da toka reaktivne snage uopšte nema. Drugim riječima, vezivati se za pojam faktora snage, njegovu vrijednost i karakter.

LITERATURA

- [1] J. Dixon, L. Moran, J. Rodriguez, R. Domke, "Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review," Proceeding of the IEEE, Vol. 93, No. 12, pp. 2144-2164, December 2005.
- [2] Tehnička preporuka EPCG, TP-1b, Distributivna transformatorska stanica DTS – EPCG 10/0.4kV.
- [3] G. Joksimović, „Proračun snage fiksne kondenzatorske baterije za kompenzaciju reaktivne energije transformatora”, III Savjetovanje CG KO CIGRE, 2013.
- [4] G. Joksimović, „Transformer reactive power compensation - fixed capacitor bank calculation“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 30, No. 3, pp. 1629-1630, June 2015.
- [5] H. U. Giersch, H. Harthus, N. Vogelsang, „Electrische maschinen,“ Springer Verlag, 2003.
- [6] Technical data for TUNORMA® and TUMETIC® distribution transformers, Siemens.

PRIMJENA ARDUINA U INDUSTRIJI

Ivan Martinović | Zoran Mijanović | Rada Dragović Ivanović
Univerzitet Crne Gore Elektrotehnički fakultet

Kratak sadržaj: U ovom radu prikazana je primjena mikrokontrolera u industriji. Kao konkretna primjena izabrana je nivelacija korpe na kamionu. Periferne jedinice koje omogućuju uspješno nivelisanje korpe su elektro hidraulični ventili i senzor nagiba. Kao senzor nagiba korišćen je živin prekidač sa tri seta kontakata. PLC koji je bio zadužen za obavljanje funkcije nivelisanja korpe zamijenjen je sa mikrokontrolerom. Mikrokontroler korišćen u ovom projektu je ATtiny24. Arduino platforma je korišćena kao prototip i kao programator za mikrokontroler. Za uspješnu primjenu mikrokontrolera bilo je potrebno napisati odgovarajući program i napraviti pločicu sa pratećom elektronikom koja je zadužena za prilagođavanje spoljašnjih signala mikrokontroleru. Nakon izrade pločice obavljena je verifikacija (provjera ispravnosti) projekta na kamionu.

Ključne riječi: mikrokontroler, Arduino, sensor nagiba, živin prekidač, ATtiny24, PLC, korpa na kamionu.

1. UVOD

Pojavom prvih mikrokontrolera sedamdesetih godina prošlog vijeka njihova primjena je bila ograničena na uži krug poznavalaca. Pojavom platformi kao što je Arduino, čiji je sastavni dio mikrokontroler, širi se krug poznavalaca a samim tim i njihova primjena. Arduino platforma se pojavila 2005. godine i od tada se sve više upotrebljava kako u obrazovanju tako i u praksi. Svoju primjenu Arduino je pronašao i u industriji. On predstavlja jeftiniju zamjenu za PLC [1]. PLC je bolje prilagođen industrijskim aplikacijama, ali to ne sprečava korišćenje Arduina. U većini slučajeva gdje zahtjevi (funkcije koje treba izvršiti) nijesu pretjerano veliki umjesto PLC-a može se koristiti Arduino. PLC predstavlja složeniji sistem u odnosu na Arduino i na osnovu toga upotreba Arduina je opravdana u svim praktičnim primjenama gdje svojim karakteristikama može odgovoriti zahtjevima korisnika. Primjenom Arduina u industriji došlo se do ideje da se razvije PLC koji je baziran na Arduino open source softver tehnologiji. Jedan od takvih primjera je PLC Controllino.

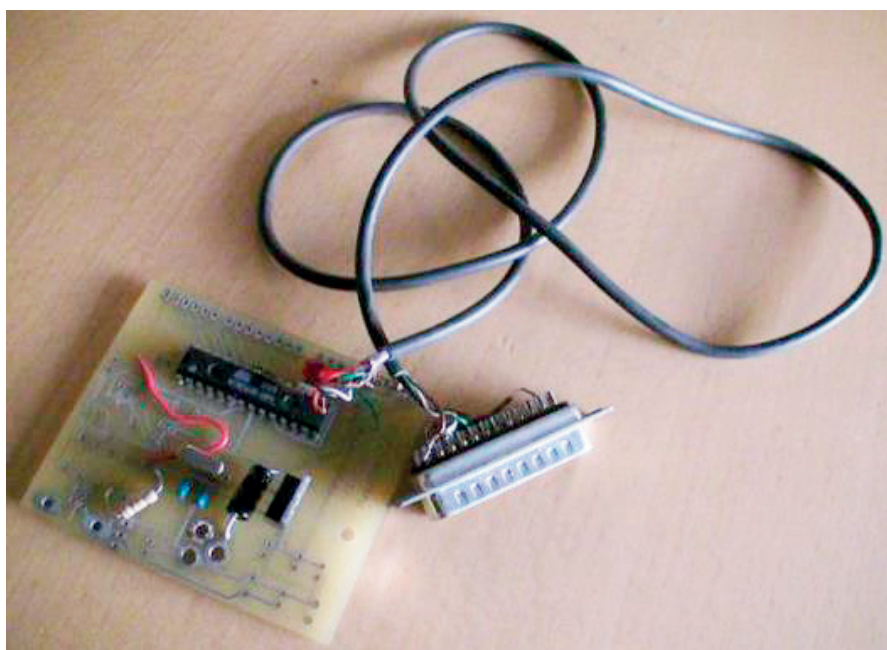
Cilj ovog rada je prikaz konkretne primjene mikrokontrolera u industriji. Kao konkretna primjena

izabrana je nivelacija korpe na kamionu koja olakšava prilaz objektima na većim visinama. Prilikom definisanja konkretnog zadatka pristupilo se provjeri ispravnosti elektro hidrauličnih ventila i senzora nagiba. Kao senzor nagiba za datu korpu korišćen je živin prekidač. Ustanovljeno je da je problem u PLC-u koji nije dobro obavljao funkciju nivelacije korpe. Kao zamjena PLC-a za obavljanje pomenute funkcije iskorišćen je mikrokontroler. Mikrokontroler koji je korišćen u ovom projektu je ATtiny24, dok je Arduino platforma korišćena kao prototip i kao programator za pomenuti mikrokontroler. Da bi mikrokontroler usplješno nivelisao korpu bilo je potrebno napisati odgovarajući program i izraditi prateću elektroniku.

Nakon uspješno napisanog programa za mikrokontroler pristupilo se podešavanju određenih parametara u programu za konkretnu korpu. Na kraju je izvršena verifikacija, tj. provjera funkcionalnosti projekta.

2. ARDUINO

Arduino je open-source elektronska prototipna platforma zasnovana na fleksibilnom, jednostavnom za upotrebu, hardveru i softveru. Namijenjen je dizajnerima, hobistima, i svim drugim koji su zainteresovani za kreiranje interaktivnih objekata i okruženja [2]. Arduino je nastao kao projekat studenata na Interaction Design Institute Ivrea 2005. godine u Ivreu u Italiji. Massimo Banzi, jedan od osnivača projekta, bio je predavač na pomenutom institutu.



Slika 1. Prototip Arduina [3]

2.1. ARDUINO PLATFORMA

Osnovna funkcija Arduino razvojne platforme, koja je otvorenog koda (eng. Open-source), jeste programiranje mikrokontrolera. Platforma omogućava: prikupljanje i obradu podataka sa senzora, komunikaciju između uređaja, slanje podataka na internet. Pomenute funkcije zavise od sledećih karakteristika kao što su: vrste razvojne platforme, procesorske moći, dostupnosti memorije, potrebnom radnom naponu itd. [4]

Više je vrsta razvojnih platformi koje se razlikuju po namjeni i po veličini. Neke od osnovnih verzija platformi su Arduino Uno, Arduino Pro, dok poboljšane verzije posjeduju još neke dodatke u funkcionalnosti (Arduino Due, Arduino Mega). Postoji i niz dodatka za Arduino platforme koje služe za nado-

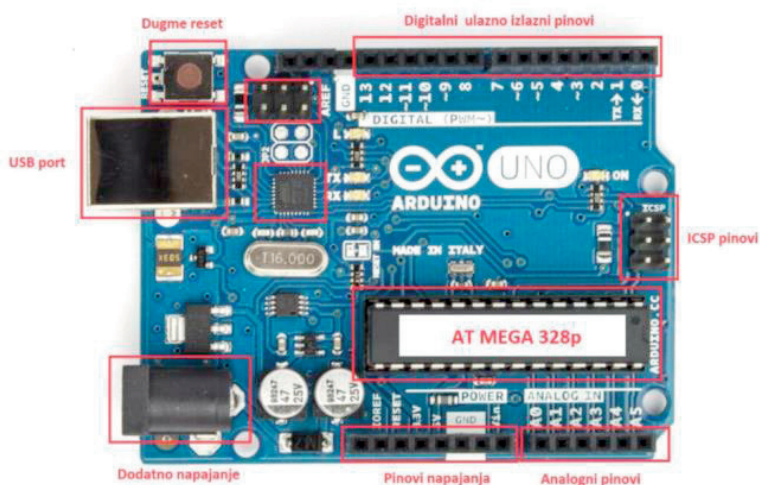
gradnju osnovne platforme, a nazivaju se shield. Shield služi za proširenje funkcionalnosti platforme, kao što su: mogućnost povezivanja na WiFi mrežu, Ethernet ili GSM komunikaciju itd. [4]

Arduino platforma sastoji se od dva dijela:

- Arduino pločice (eng. board),
- Arduino programske podrške IDE (eng. Integrated Development Environment).

2.2. ARDUINO PLOČICA

Arduino pločicu čini jednostavni hardverski dizajn sa Atmel mikrokontrolerom i pratećim ulazno-izlaznim elementima.



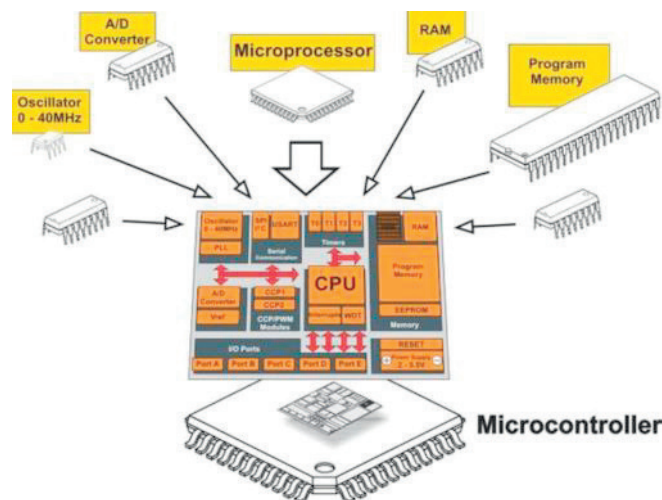
Slika 2: Arduino Uno platforma [5]

Tabela 1: Osnovni dijelovi Arduino razvojne platforme [4]

USB priključak	Omogućava komunikaciju sa računarom, programiranje i napajanje mikrokontrolera
Priključak za napajanje	Služi za dodatno napajanje kao npr. priključak za bateriju
Dugme za reset	Resetuje razvojnu pločicu
Mikrokontroler	Programabilni uređaj koji prima i obrađuje signale sa analognih i digitalnih pinova
Analogni pinovi	Pinovi odgovorni za prijem signala u analognom obliku
Digitalni pinovi	I/O pinovi odgovorni za rad sa digitalnim signalima
ICP (eng. In Circuit Programmer)	Pinovi koji su odgovorni za programiranje mikrokontrolera
GND pinovi	Pinovi za uzemljenje
Pinovi napajanja	Pinovi od 3.3 V i 5 V

2.2.1. MIKROKONTROLER

Mikrokontroleri su elektronska integrisana kola koja služe za upravljanje uređajima i procesima. Osnovna razlika između mikrokontrolera i mikroprocesora je funkcionalnost. Kako bi mikroprocesor postao funkcionalan potrebno je dodati ostale komponente kao što su memorija ili komponente za prijem i slanje podataka. Mikrokontroler je dizajniran tako da su u njemu integrisani pored mikroprocesora i RAM memorija, programabilna memorija, A/D konvertor, digital I/O, oscilator kao i druga kola. Mikroprocesor je projektovan za rad u personalnom računaru za razliku od mikrokontrolera koji je projektovan za ugradnju u različite uređaje i sisteme gdje ima definisanu namjenu pa se nazivaju i namjenski (embedded) računari. Mikrokontroleri su u odnosu na mikroprocesore otporniji na varijacije temperature, napona i vlažnosti. [4]



Slika 3: Mikrokontroler [6]

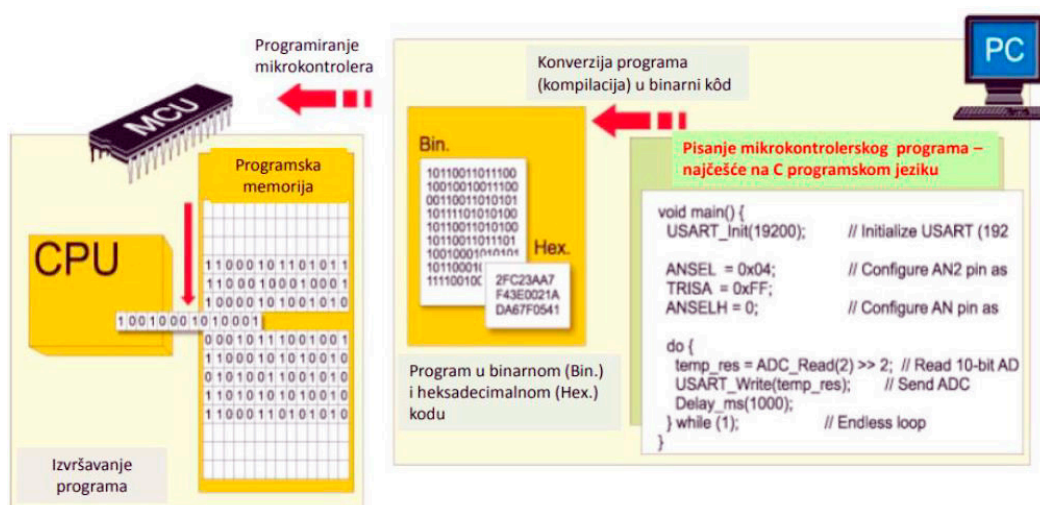
Arduino platforme koriste ATMEL mikrokontroler. Platforma kao što je Arduino Uno koristi ATMEL mikrokontrolere sa AVR arhitekturom. ATMEL je uveo AVR arhitekturu na tržište tokom 1997. godine. To su 8-bitni mikrokontroleri koji sadrže 32 registra opšte namjene sa bogatim setom instrukcija. [4]

2.3. ARDUINO IDE

Da bi mikrokontroler imao upotrebnu vrijednost neophodno ga je isprogramirati tj. napisati odgovarajući program. Istorijski gledano mikrokontroleri su se prvo programirali u assemblerima, koji su programski jezici nižeg nivoa nego jezici koji se danas koriste. Oni predstavljaju mašinski orjentisane jezike koji imaju svoje mane i prednosti.

Arduino ploče se programiraju u Arduino IDE okruženju koje podsjeća na C/C++ jezike. IDE je programiran u Java programskom jeziku i pogodan je za programiranje svih Arduino pločica. Osnovna uloga IDE jeste pisanje, provjera, kompajliranje (prevođenje) i prenos koda, preko USB protokola, na razvojnu pločicu. Kreirani program za Arduino razvojnu pločicu naziva se sketch i čuva se u .ino formatu. Sastavni dio Arduino IDE okruženja jesu primjeri koji mogu biti od izuzetne pomoći prilikom programiranja pločice. [4]

Prilikom pisanja programa potrebno je kreirati minimum dvije funkcije, i to setup() i loop() funkcije. Funkcija setup() se izvršava samo jednom, dok se loop() funkcija izvršava beskonačno mnogo puta.



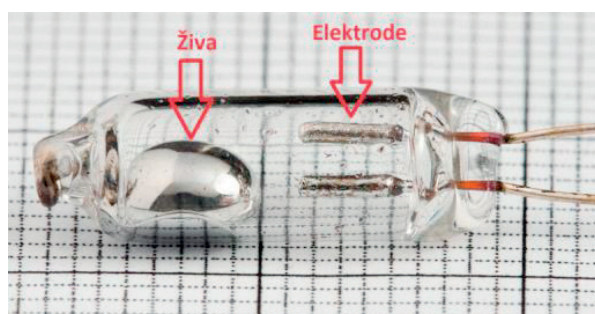
Slika 4: Izrada programa i programiranje mikrokontrolera [7]

3. SENZOR POLOŽAJA

Položaj posmatranog objekta se može definisati kao njegove koordinate u odnosu na zadatu referentnu tačku. Mjerenje pomjeraja se obavlja na taj način što se posmatra položaj objekta u odnosu na njegov prethodni položaj. Pomjeraj se može mjeriti uglom ili rastojanjem. Položaj i pomjeraj su veoma bitni za upravljanje procesima, sigurnosnim sistemima itd.

3.1. ŽIVIN PREKIDAČ

Živin prekidač se može koristiti za mjerenje ugaojih pomjeraja. On predstavlja električni prekidač koji zatvara strujni krug kada mala količina žive poveže metalne elektrode. Glavna odlika ovih prekidača jeste nekorodirajući kontakti. Princip rada ovog senzora zasnovan je na promjeni dva moguća stanja (otvoren ili zatvoren) u zavisnosti od nagiba objekta na kome je senzor montiran. [8]



Slika 5: Izgled Živnog prekidača [8]

Živin prekidač može sadržati jedan ili više setova električnih kontakata koji su smješteni u zatvorenoj staklenoj posudi. Unutar staklene posude se može nalaziti vazduh, inertni gas ili vakuum. Kada živin prekidač posjeduje više setova kontakata on je u mogućnosti da zatvara različite kontakte pod određenim uslovima. [9]

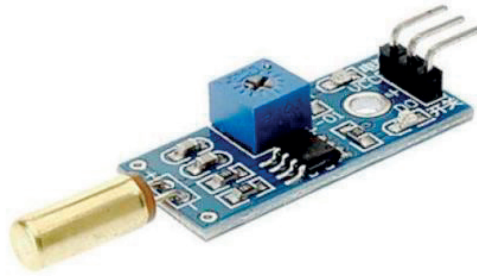
Neke od prednosti živnog prekidača u odnosu na ostale senzore jesu pouzdanost u radu i jednostavnost konstrukcije. Pouzdanost u radu je rezultirala primjenom ovog senzora u sistemima za kontrolu sigurnosti. Koliko je ovaj senzor pouzdan najbolje govori njegova upotreba u vojnoj industriji kao aktivator za neke bombe i mine. Kada se govori o manama ovog senzora prva u nizu jeste upotreba žive kao veoma toksičnog metala koji može negativno uticati na okolinu. U tabeli 2. su navedene neke od prednosti i mana ovog senzora.

Tabela 2: Prednosti i mane Živnog prekidača [8]

Prednosti	Mane
Kontakti su zatvoreni, oksidacija kontaktnih tačaka je malo vjerovatna	Toksična svojstva žive su rezultirala sve manjom upotrebom ovog senzora
Prekidanje struje ne emituje varnicu koja može zapaliti zapaljive gasove	Relativno spora radna brzina (zbog inercije padanja žive) čini ih nepoželjnim za aplikacije koje zahtijevaju veće brzine rada senzora.
Živa zbog svoje gustine čini ove senzore otpornim na vibracije	U mobilnim uređajima koji mogu promijeniti orijentaciju ne preporučuju se zbog osjetljivosti na gravitaciju.

Direktiva o ograničenju upotrebe opasnih materija (RoHS direktiva) iz 2005. godine ograničava upotrebu žive u elektronskim uređajima. Ovo ograničenje direktno se odnosi i na živine prekidače. [10] U posebnim okolnostima, i danas se koriste kada postoje potreba da se realizuju kontakti sa malom otpornošću ili da se izbjegnju kratki spojevi u kontaktu (živini releji).

Kao senzor nagiba u novijim izvedbama se umjesto žive koristi metalna kuglica. Prednosti senzora sa kuglicom su: lako se mogu napraviti, otporni su na fizička oštećenja, nema rizika od zagađenja.



Slika 6: Izgled senzora sa kuglicom umjesto žive [11]

Akcelerometri se takođe mogu koristiti za mjerenje nagiba, ali svi senzori nagiba se ne mogu upotrebljavati kao akcelerometri. Senzor kao što je živin prekidač ima prednost što može na jednostavan način da detektuje kretanje objekta, ali nije precizan kao akcelerometar. Takođe jedna od prednost živinog prekidača je mogućnost korišćenja ovog senzora u velikom temperaturnom opsegu koji definiše temperatura ključanja i temperatura topljenja žive. Jedan od nedostataka akcelerometra je neophodnost dodatnih kola za analiziranje izlaznog signala bilo da je analogni ili digitalni. [12]

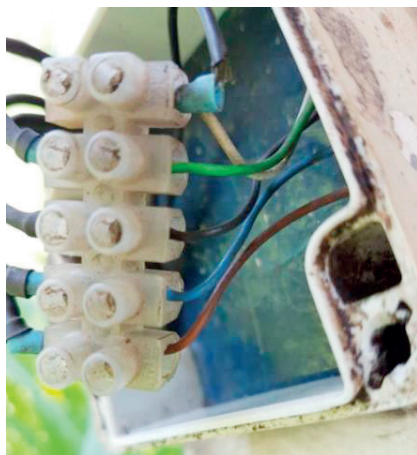
4. REALIZACIJA SISTEMA

Sistem je realizovan kao potreba otklanjanja problema nivelisanja korpe na kamionu. Na samom početku bilo je neophodno provjeriti ispravnost perifernih jedinica, kao što su senzor nagiba i elektro hidraulični ventili.

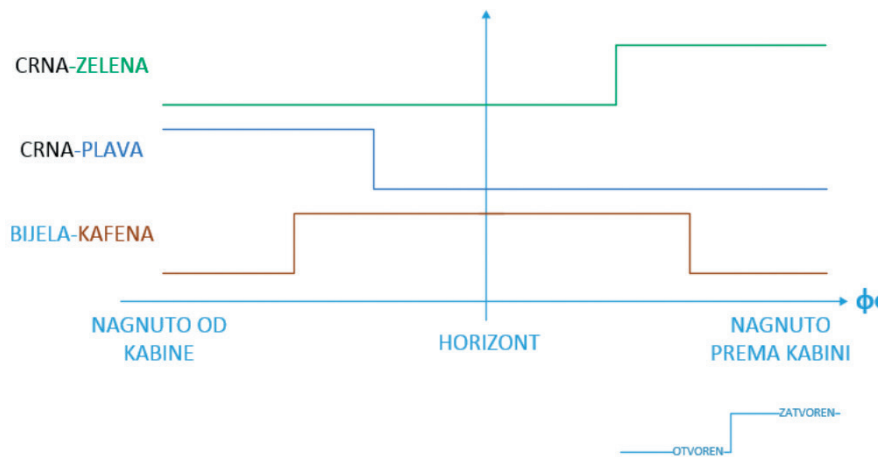


Slika 7: Kamion sa korpom

Kao senzor nagiba korišćen je živin prekidač. Živin prekidač posjeduje više setova kontakata (Slika 8 a.). Naš zadatak je bio da ustanovimo pod kojim uslovima se koji kontakti zatvaraju. Utvrđeno je da tri seta kontakata mijenjaju svoje stanje u zavisnosti od nagnutosti korpe. Kontakti su označeni: crna-zelena, crna-plava i bijela-kafena. Kada je korpa nagnuta prema kabini zatvoren je kontakt crna-zelena. Kontakt crna-plava je zatvoren kada je korpa nagnuta suprotno od kabine, dok kontakt bijela-kafena služi za sigurnost tj. zatvoren je kada se korpa nalazi u položaju koji je bezbjedan za čovjeka koji se nalazi u njoj.



a)



b)

Slika 8: a.) Kontakti živinog prekidača, b.) Stanja kontakata živinog prekidača

Daljom provjerom ustanovljeno je da je problem u PLC-u koji nije dobro obavljao funkciju nivelacije korpe. Kao zamjena PLC-a za obavljanje pomenute funkcije iskorišćen je mikrokontroler. Mikrokontroler koji je korišćen u ovom projektu je ATtiny24 [13], dok je Arduino platforma korišćena kao prototip i kao programator za pomenuti mikrokontroler. Da bi mikrokontroler usplješno nivelisao korpu bilo je potrebno napisati odgovarajući program i izraditi prateću elektroniku.

4.1. PROGRAM I ARDUINO PROTOTIP

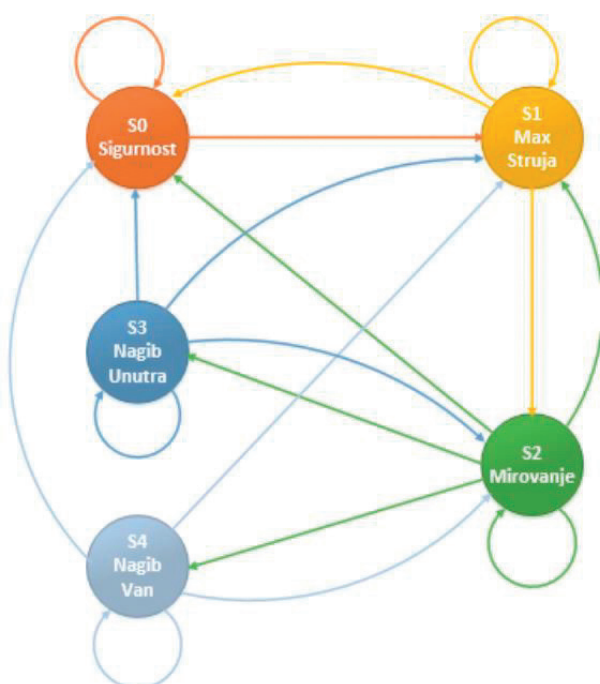
Arduino platforma je korišćena za pisanje i testiranje programa. Osnovna funkcija programa je upravljanje sa dva elektro hidraulična ventila. Potrebno je bilo napisati program koji će kontrolisati struju kroz njih. Struja se linearno mijenja u zavisnosti od stanja kontakata živinog prekidača. Kada je zatvoren kontakt crna-plava ili kontakt crna-zelena struja se linearno povećava od vrijednosti koju definiše prag reagovanja ventila pa do maksimalne vrijednosti struje kroz ventile. Kada su ova dva kontakta otvorena struja linearno opada od zatečene vrijednosti do vrijednosti praga ventila. Vrijednost praga, maksimalne struje kao i nagib krive mogu se mijenjati u programu. Programu je pored upravljanja radom ventila dodata provjera sigurnosti kao i provjera prekoračenja maksimalne struje ventila.

Program je pisan u formi Automata (eng. Finite State Machine). Automat opisuje različita stanja u kojima se sistem može naći i pravila saglasno kojima može preći iz jednog stanja u drugo. Glavni alat koji se koristi za pravljenje Automata u C-u zove se switch/case iskaz.

Za realizaciju ovog sistema potrebno je 5 stanja (S0-S4). Stanje S0 je zaduženo za provjeru sigurnosti tj. da li je zatvoren kontakt bijela-kafena kod živinog prekidača. U stanju S1 se provjerava da li je došlo do prekoračenja maksimalno dozvoljene struje elektro hidrauličnog ventila. Stanje S2 opisuje mirovanje korpe, dok S3 opisuje nagnutost korpe prema kabini a stanje S4 nagnutost korpe od kabine.

Dijagram stanja odgovarajućeg automata prikazan je na slici 10. Prelazak iz stanja S0 u stanje S1 vrši se samo ako je zatvoren kontakt bijela-kafena kod živinog prekidača. Ako je kontakt otvoren sistem ostaje u stanje S0. Za prelazak iz stanja S1 u S2 potrebno je da struja elektro hidrauličnog ventila ne prelaz maksimalno dozvoljenu struju.

Stanje S2 opisuje mirovanje i u njemu se ostaje sve dok uslovi za sigurnost i maksimalnu struju nijesu ugroženi. Prelazak iz stanja S2 u stanje S3 dešava se zatvaranjem kontakta crna-zelena kod živinog prekidača, dok za prelazak u stanje S4 potrebno je zatvoriti kontakt crna-plava. Kao što se može vidjeti sa dijagrama (Slika 10) u svakom stanju se vrši provjera sigurnosti i vrijednosti struje kroz ventile.



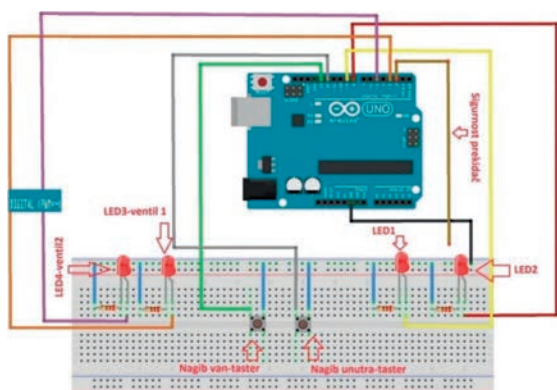
Slika 10: Dijagram stanja

U cilju jednostavnije dijagnostike sistema uvedena je signalizacija sa dvije led diode. Svako stanje u sistemu praćeno je sa odgovarajućom signalizacijom. U tabeli 3. prikazana je signalizacija za navedena stanja.

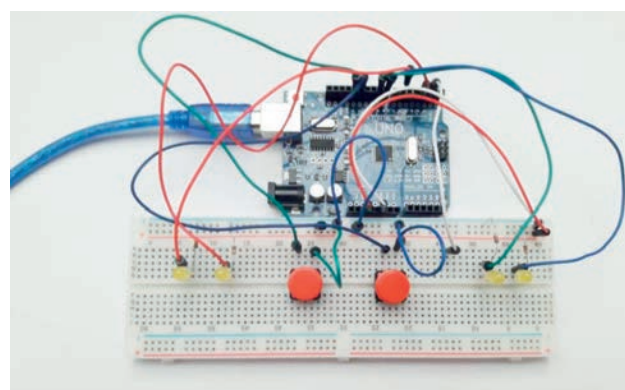
Tabela 3: Signalizacija za različita stanja

Stanje	LED1	Pauza	LED2	Pauza
Sigurnost	150ms	0ms	150ms	0ms
Max Struja LED1=LED2	300ms	300ms	300ms	300ms
Mirovanje	100ms	800ms	100ms	800ms
Nagib unutra	0ms	0ms	ON	0ms
Nagib van	ON	0ms	0ms	0ms

Na slici 11. prikazan je prototip sistema. Kontakti živinog prekidača koji se aktiviraju u zavisnosti od nagnutosti korpe su zamijenjeni tasterima, dok je sigurnosni kontakt zamijenjen prekidačem (žicom). Pored led dioda koje služe za signalizaciju dodate su još dvije diode koje predstavljaju dva ventila. Dodate diode su povezane na digitalne PWM izlaze Arduino ploče kao bi se pratila promjen PWM signala.



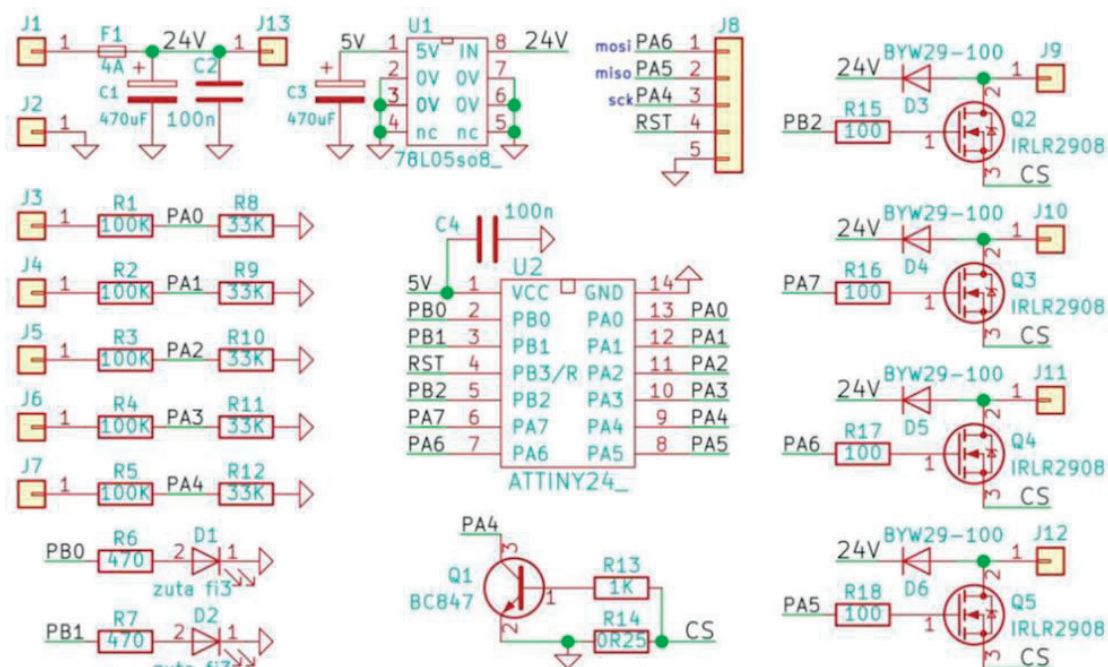
Slika 11: Prototip nacrtan u programu fritzing



Slika 12: Prototip

4.2. IZRADA PLOČICE ZA MIKROKONTROLER

Nakon izbora mikrokontrolera projektovana je odgovarajuća pločica. Na slici 13. prikazana je električna šema pločice na kojoj se može uočiti mikrokontroler ATtiny24 i odgovarajuća elektronika koja se povezuje na mikrokontroler.



Slika 13: Električna šema pločice

Komponenta na šemi označena sa U1 predstavlja stabilizator napona. Korišćeni stabilizator je iz serije 78xx što označava da je to stabilizator pozitivnog napona. Pored ove serije postoji i serija 79xx koja predstavlja stabilizator negativnog napona. Pomenute dvije serije su jako raširene u upotrebi i koriste se gdje je potreban konstantan napon napajanja. Maksimalno dozvoljeni ulazni napon je 35V, kako bi se spriječilo preopterećenje imaju ugrađenu zaštitu. Ulazni napon mora biti veći od izlaznog napona u granicama od 1V do 5V, dok se izlaz može opteretiti maksimalnom strujom do 1A. Slova xx označavaju vrijednost napona na koji se stabilizuje ulazni napon. Ove serije stabilizatora nose i strujne oznake koje se stavljaju prije oznake za izlazni napon. Stabilizator koji je korišćen nosi oznaku 78L05 što znači da je to stabilizator čiji je izlazni napon 5V, dok je izlazna struja manja od 0.1A. [14]

Ulazi mikrokontrolera su označeni PA0-PA4. Na ulaze mikrokontrolera (PA0-PA2) preko razdjelnika napona se dovode tri seta kontakta živinog prekidača koji rade sa naponom 0V-24V, dok se na ulaz PA4 direktno provjerava da li je došlo do prekoračenja maksimalno dozvoljene struje kroz ventile. Razdjelnik napona omogućava da mikrokontroler detekcijom ulaznog napona većeg od 12V tumači kao logičku jedinicu, a ispod 12V kao logičku nulu. Živin prekidač posjeduje tri seta kontakata što znači da je jedan ulaz ostavljen kao rezerva u slučaju kvara.

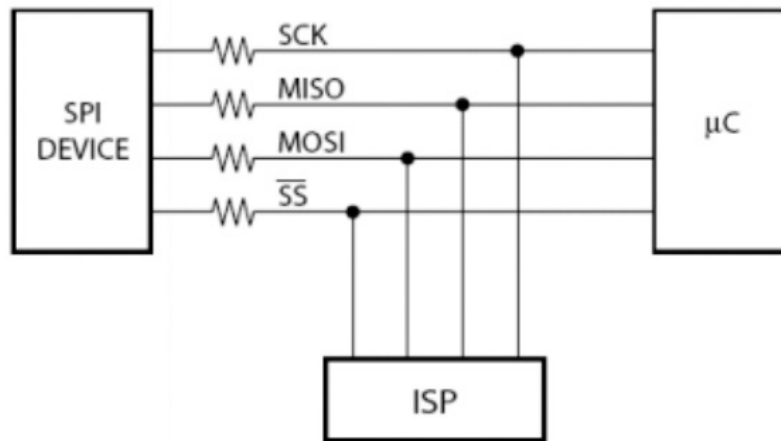
Izlazi mikrokontrolera, označeni sa PB0, PB1, PB2, PA5, PA6, PA7. PB0 i PB2, su spojeni preko otpornika na LED diode koje služe za signalizaciju. Izlazi PB2, PA5, PA6, PA7 su izlazi koji su zaduženi za kontrolu struje kroz elektro hidraulične ventile. U konkretnom slučaju postoje dva elektro hidraulična ventila što znači da su dva izlaza ostavljena za rezervu u slučaju kvara. Gledajući jedan od četiri izlaza na šemi se može uočiti da kada je logička jedinica na gejt MOSFET-a on provodi struju, dok kada je na gejtu logička nula on ne provodi struju. Kada MOSFET provede struja sorsa (čvor CS) teče kroz strujni šant koji će za struju koja je manja od maksimalno dozvoljene struje ventila imati mali pad napona koji neće aktivirati tranzistor Q1. Ukoliko je došlo do prekoračenja maksimalno dozvoljene struje kroz ventile pad napona na šantu će aktivirati tranzistor Q1 i PA4 će biti na nivou logičke

nule što mikrokontroler registruje i gasi izlaze prema ventilima.

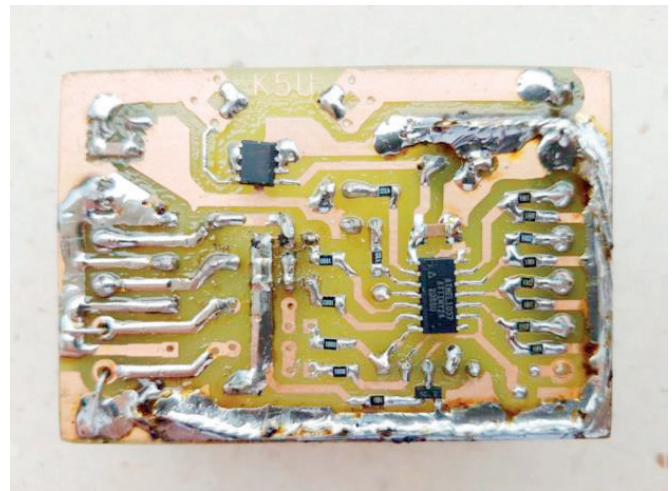
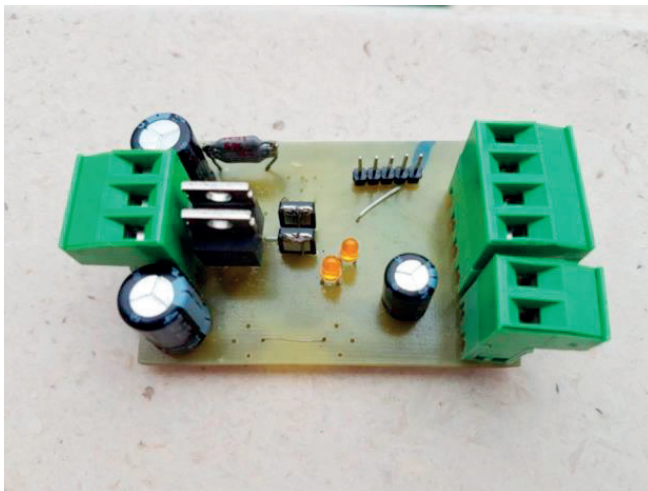
Komponenta na šemi označena sa J8 predstavlja priključak za programator koji treba koristeći SPI komunikaciju da upiše program u mikrokontroler koji se nalazi na pločici. SPI (Serial Peripheral Interface) standard za sinhronu serijsku komunikaciju razvijen je od strane Motorolnih inženjera za potreba brzog i pouzdanog serijskog prenosa podataka na manja rastojanja (do 3m). Ovaj standard se koristi za komunikaciju između više mikrokontrolera, ali je prvobitno bio predviđen za komunikaciju sa perifernim uređajima. SPI sadrži četiri linije na fizičkom nivou. [15]

- MOSI (Master Output Slave Input) linija za podatke,
- MISO (Master Input Slave Output) linija za klijente koja se kontroliše od strane klijenta,
- SCK taktna linija,
- RST linija za reset

Osnovna dva dijela SPI komunikacije su master i slave. Master u potpunosti kontroliše linije za podatke i saraduje sa jednim ili više slave-ova. Signal SS (Slave Select) se koristi za selekciju slave-a koji se programira u sistemu sa više slave-ova. Master može biti drugi mikrokontroler ili PC računar. [14]



lika 14: SPI programiranje [16]



Slika 15: Izgled pločice

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je konkretna primjena mikrokontrolera u industriji. Funkcija koju mikrokontroler obavlja je nivelacija korpe na kamionu. Periferne jedinice sa kojima mikrokontroler komunicira su: elektro hidraulični ventili i senzor nagiba. Pločica koja je projektovana za potrebe ovog rada sadrži mikrokontroler i prateću elektroniku. Prateća elektronika omogućava komunikaciju između mikrokontrolera i perifernih jedinica. Preko ulaza mikrokontroler sakuplja informacije sa senzora nagiba i upravlja preko izlaza sa elektro hidrauličnim ventilima.

Ovaj rad se može posmatrati kao jedan vid doprinosa promovisanja upotrebe Arduino platforme u industriji. Upotreba Arduino platforme nije standardna u industriji, ali se uz dodatnu elektroniku može koristiti za obavljanje nekih funkcija. Korišćenje Arduino platforme je opravdano kako sa ekonomskog tako i sa funkcionalnog aspekta. Što se tiče funkcionalnosti Arduino platforma omogućava programiranje na visokom nivou apstrakcije i jednostavno povezivanje mikrokontrolera sa okruženjem. Koliko je upotreba Arduino platforme u industriji perspektivna najbolje govori činjenica da se širom svijeta osnivaju kompanije čija je osnovna djelatnost pravljenje PLC-a baziranih na Arduino platformi. U daljim istraživanjima moglo bi se postojeći PLC zamijeniti sa nekim PLC-om koji je baziran na Arduino platformi. Takođe mogao bi se postojeći senzor nagiba zamijeniti sa nekim drugim senzorom kao npr. akcelerometrom.

LITERATURA

- [1] W.Bolton, "Programmable Logic Controllers", Fourth Edition, Newnes,2006
- [2] <https://www.arduino.cc/> , pristupljeno: 20.06.2018
- [3] <https://makezine.com/2014/03/28/a-look-at-arduinosaurs-origins-the-first-prototype/> pristupljeno: 04.10.2018
- [4] L.Tišljarić, "Dinamičko mjerenje potrošnje energije električnog vozila s pomoću Arduino razvojne platforme", Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, 2016
- [5] <https://www.flipkart.com/arduino-uno-r3-original-made-italy-box/p/itm5cfuqjcbjtyc> pristupljeno : 04.10.2018
- [6] <https://www.edgefx.in/difference-between-microprocessor-and-microcontroller/> pristupljeno: 04.10.2018
- [7] <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oo1ue/predavanja/P6.pdf>, pristupljeno: 04.10.2018
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Mercury_switch, pristupljeno: 04.10.2018
- [9] J.Fraden, "Handbook of Modern Sensors", 3rd Edition, Springer-Verlag, 2004, pp. 256-257
- [10] http://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/studies_rohs2_en.htm pristupljeno: 20.06.2018
- [11] <https://www.robomart.com/buy-tilt-arduino-angle-sensor-module-with-breakout> pristupljeno: 04.10.2018
- [12] J.S.Wilson, "Sensor Technology Handbook", Newnes, 2005
- [13] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc8006.pdf>, pristupljeno: 04.10.2018
- [14] A.Želježnjak, "Regulacija napona struje u potrošačkoj elektronici", Završni rad, Sveučilište u Karlovcu, 2015
- [15] V.Kovačević, "Metode programiranja savremenih mikrokontrolera", Univerzitet u Nišu, 2009
- [16] <http://es.elfak.ni.ac.rs/Seminar%20works%20DAS/Metode%20programiranja%20savremenih%20kontrolera%20-%20Vladimir%20Kovacevic>, pristupljeno: 04.10.2018

MODERNIZACIJA SISTEMA AUTOMATSKOG UPRAVLJANJA KOMBINOVANOM MAŠINOM (ODLAGAČ-UZIMAČ) U TERMO-ELEKTRANI KOSTOLAC A

Kosta Strunjaš
Tangentia d.o.o.

Kratak sadržaj: Za obezbjeđivanje neophodne rezerve uglja za rad Termo-elektreane Kostolac A (u daljem tekstu TE Kostolac A), ukupne snage blokova A1 i A2, 310 MW, postoje deponije izdrobljenog uglja, kapaciteta 45000 t. Ove rezerve se pune ili prazne pomoću kombinovane mašine (odlagač-uzimač) u čijem je dohvat 15000 t.

U radu je opisan kombinovani uređaj sa svojim kapacitetima, dimenzijama, mehaničkim djelovima kao i načinom rada. Takođe opisan je način na koji je osavremenjeno upravljanje kombinovanom mašinom, čime je postignuto olakšanje rukovanja mašinom, jednostavnije i brže održavanje, povišen stepen kontrole kao i povećanje energetske efikasnosti.

Tehnička rješenja koja su korišćena prilikom remonta sistema automatskog upravljanja kombinovanom mašinom (frekventna regulacija, programibilni kontroleri, interfejs uređaji i sl.) su stub svakog procesa automatike u savremenim sistemima.

Radom je takođe napravljen kratak osvrt na softverske alate korišćene prilikom izrade projekta, programiranja kontrolera, interfejs uređaja i frekventnih regulatora.

Ključne riječi: frekventna regulacija, programibilni kontroler, interfejs uređaj, kombinovana mašina, energetska efikasnost.

1. KARAKTERISTIKE I OPIS SISTEMA

U sistemu dopreme uglja za TE Kostolac A na deponiji uglja postoje dvije kombinovane mašine, koje odlažu i oduzimaju ugalj sa deponije. Mašine se kreću po kolosjecima, a dužina staze je oko 150 m. Kombinovane mašine su počele sa radom 1978. godine tako da su elektro oprema i kablovi ispunili svoj radni vijek.



Slika 1. Izgled kombinovanih mašina

Kombinovana mašina je sledećih karakteristika:

- Kapacitet odlaganja uglja na deponiju:200 (400) (600) t/h
- Kapacitet oduzimanja uglja sa deponije: 600 t/h
- Dužina (dohvat) strijele (katarke):20 m
- Širina transportne trake na strijeli mašine: 1000 mm
- Visina odlaganja uglja:11 m
- Prečnik točka za oduzimanje uglja:.....5,1 m
- Broj kofica na točku za oduzimanje uglja: 8
- Zapremina kofice: 315 l
- Broj obrtaja točka za oduzimanje uglja: 6 ob/min.
- Brzina kretanja mašine po šinama: 24 m/min (0,4 m/s)
- Širina kolosjeka: 4000 mm

Kombinovana mašina se kreće po šinama i sa njom se kreće i transportna traka koja ugalj transportuje ili direktno u transportni sistem TE Kostolac A ili ga usmjerava na odlagačku traku kombinovane mašine a potom odlaže na deponiju uglja. Osnovni sklopovi kombinovane mašine su sledeći:

- Sistem za oduzimanje uglja (sistem za kopanje);
- Sistem za transport materijala;
- Sistem za translaciju kombinovane mašine (točkovi po šinama);
- Sistem za podizanje i spuštanje strijele kombinovane mašine sa kontra-tegom;
- Sistem za obrtanje gornje gradnje-obrtanje strijele (rotacija);
- Noseća čelična konstrukcija;
- Pomoćna čelična konstrukcija (gazišta, stepeništa, ograde);
- Elektro upravljanje;
- Elektro snabdijevanje;
- Ostalo.

Noseća konstrukcija kombinovane mašine (odlagača/oduzimača), predstavlja složeni mašinski sistem, sa jako izraženim elastičnim svojstvima pojedinih djelova. Strijela mašine, zbog vješanja izvedenog čeličnim užadima i nepovoljnog položaja radnog točka, koji predstavlja veliku koncentrisanu masu u stalnom zahvatu sa otkopnom masom uglja, izložena je opterećenjima složenog dinamičkog karaktera, koja potiču od otpora kopanja i pokretanja cjelokupne mase kombinovane mašine.

U narednoj tabeli dat je pregled osnovnih sklopova i podsklopova čije je upravljanje modernizovano:

Tabela 1: Pregled osnovnih sklopova i podsklopova

Osnovni sklop mašine	Podsklop	Komponente podsklopa
1. Sistem za oduzimanje uglja	Pogonska grupa	-Elektromotor 37 kW -Reduktor i grijanje reduktora 1,5 kW -Kočioni mehanizam 0,3 kW
	Sistem za podmazivanje	-Uljna pumpa podmazivanja radnog točka 1.1 kW
2. Sistem za transport materijala	Pogon trake	-Elektromotor 18,5 kW -Kočioni mehanizam 0,5 kW
3. Sistem za transport kombinovane mašine po šinama	Pogonska grupa	-Elektromotor 4x9 kW -Kočioni mehanizam 2x0,3 kW
4. Sistem za obrtanje gornje gradnje (rotacija strijele)	Pogonska grupa	-Elektromotor 11 kW -Kočioni mehanizam 0,3 kW
	Sistem zupčanika za rotaciju strijele (katarke)	-Sistem za podmazivanje zupčanika, uljna pumpa za podmazivanje okretanja 1,1 kW -Grijanje reduktora pogona okretanja 1,1 kW -Kočnica pogona okretanja 0,3 kW
5. Sistem za podizanje i spuštanje strijele kombinovane mašine	Hidraulički cilindri sistema za podizanje strijele	-Pumpa za hidrauliku za podizanje strijele 7,5 kW -Grijač hidrauličkog ulja 1,5 kW

Kombinovana mašina ima dvije osnovne funkcije: odlaganje uglja na deponiju i oduzimanje uglja sa deponije. Odlaganje uglja vrši se preko glavne transportne trake (kojom se komanduje iz komandnog centra koji nije dio mašine) i preko transportne trake na strijeli. Rukovaoc pomjera mašinu po šinama kao i strijelu lijevo-desno (pomoću džojstika u kabini rukovaoca) kako bi odlagao ugalj na deponiju. Odlaganje uglja vrši se na prostoru predviđenom za to. Najveća moguća visina hrpe uglja prilikom odlaganja je 11 m.

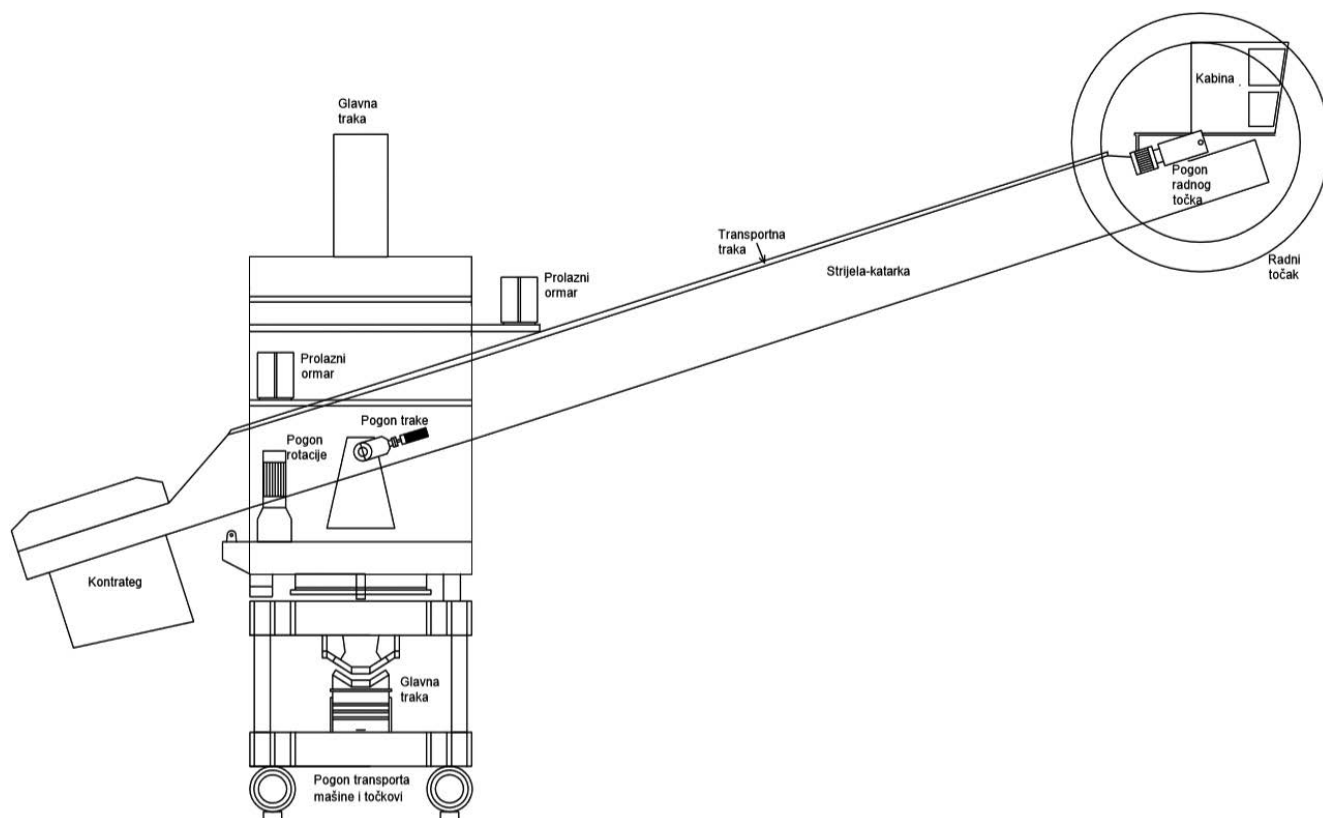
Oduzimanje uglja vrši radni točak na kraju katarke, koji rotirajući oko ose, uz pomoć kofica, uzima ugalj i preko trake na katarci transportuje na glavnu traku koja ugalj dalje vodi u elektranu. Pomjeranje radnog točka (lijevo-desno) vrši se pomjeranjem strijele lijevo i desno, dok se istovremeno mašina može pomjerati i po šinama (naprijed i nazad).

Rukovaoc definiše i prati sva kretanja mašine.

Smjer u kome će se kretati ugalj (u elektranu ili na deponiju) određuju lijevci (usmjerivači) koji se postave u neki od dva krajnja položaja (položaj za odlaganje ili za oduzimanje), te ugalj ide u pravcu u kome se podese lijevci. U kom će pravcu ići ugalj određuje rukovac, na osnovu tehnološke potrebe u datom trenutku.

Takođe mašina može da radi i u režimu dijeljenja. Ovim režimom rada se dio uglja prosleđuje direktno u elektranu, dok se dio uglja deponuje. Ovo se postiže tako što rukovaoc lijevak podese u odgovarajući položaj, između dva krajnja položaja te se dio uglja preko glavne trake transportuje direktno u elektranu dok se ostatak uglja deponuje.

Na narednoj slici prikazani su osnovni pogoni i izgled mašine.



Slika 2. Pregled dijelova mašine

2. ZATEČENO STANJE SISTEMA UPRAVLJANJA

Nakon četrdeset godina rada investitor je donio zaključak da je potrošen radni vijek elektro-opreme te da mora doći do kompletne modernizacije elektro-opreme na mašini.

Za pogon translacije kombinovane mašine utvrđeno je da je za sva 4 motora 9 kW neophodan remont (vinklovanje), farbanje i zamjena mehaničkih dijelova (semerinzi, ležajevi i sl.). Pogonom je upravljano preko džojstika (komande naprijed i nazad). Pogon nije imao ugrađenu regulaciju brzine te je uvijek išao maksimalnom brzinom. Dva krajnja prekidača (naprijed i nazad) određivali su hod mašine kako se ne bi desilo da mašina izađe van šina.

Pogon rotacije (obrtnja gornje gradnje mašine) bio je DC pogon. Njime se upravljalo pomoću upravljačkog modula tipa VAR 2000 koji je služio za promjenu brzine rotacije u zavisnosti od komande koju zadaje operater preko džojstika (otporni džojstik). Postojale su 4 brzine pri čemu su se pored džojstika, brzine regulisale (smanjivale) i krajnjim prekidačima kako strijela ne bi prevelikom brzinom došla do krajnjih položaja (lijevo ili desno) i time oštetila osovinu naglim zaustavljanjem.

Pogon za oduzimanje uglja 35 kW pogoni radni točak sa koficama, koje zahvataju ugalj i bacaju ga na transportnu traku na strijeli. Komandu za uključenje pogona zadaje rukovaoc preko tastera (start-stop). Pogon se upuštao direktno preko sklopnika (kontakora).

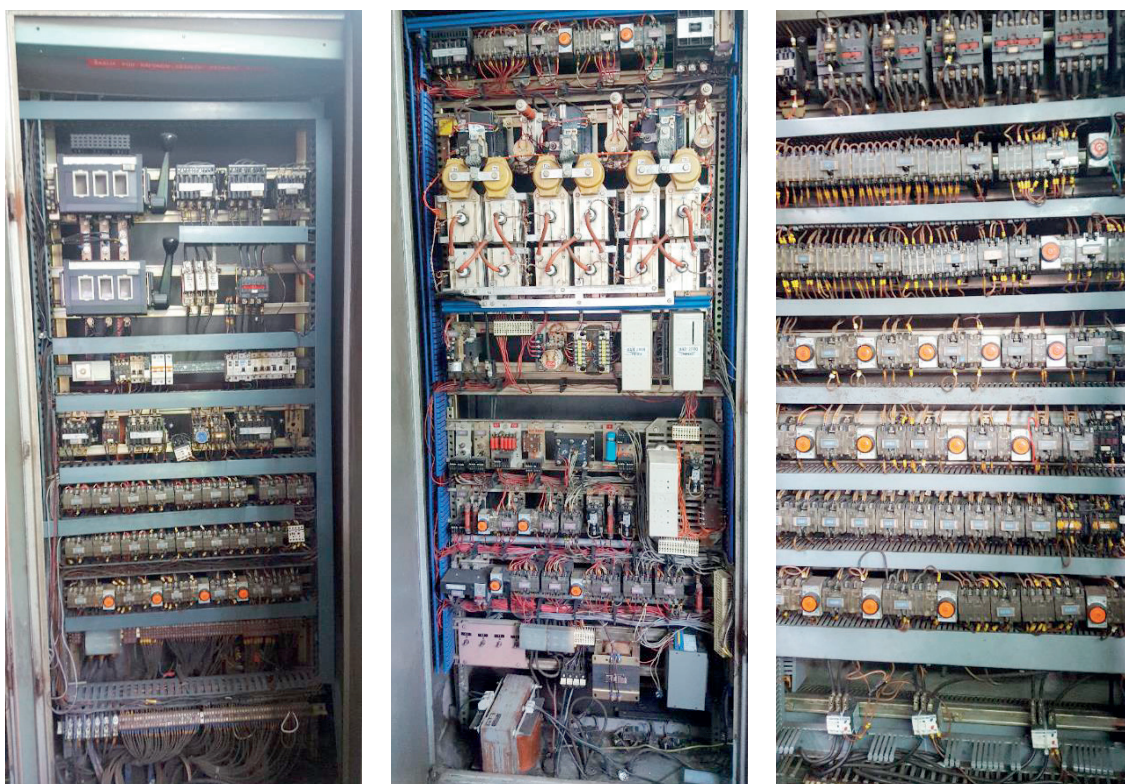
Transport materijala vrši se preko dva pogona. Jedan pogon je glavna traka koja se pruža cijelom dužinom mašine i šina. Preko ove trake se ugalj transportuje u elektranu. Upravljanje ovom trakom nezavisno je od upravljanja kombinovanog uređaja i vrši se iz glavne zgrade elektrane (komandni centar). Kako je ova traka nezavisna od kombinovane mašine neće biti predmet ove modernizacije. Druga traka nalazi se na strijeli mašine. Ova transportna traka pogonjena je motorom 18,5 kW kojim komanduje operater iz komandne kabine preko tastera (start-stop). Ugalj sa ove trake transportuje se na glavnu traku. Pogon je takođe upuštao direktno preko sklopnika.

Mašina ima i hidraulički pogon koji služi za podizanje i spuštanje strijele kao i upravljanje lijevcima

(lijevcima-usmjerivačima se određuje da li mašina vrši odlaganje ili oduzimanje). Rukovac je pomoću džojstika podizao i spuštao strijelu dok je preko tastera određivao položaj lijevaka. Pogon hidraulike je pumpa 7,5 kW.

Sva oprema na mašini pored isteka radnog vijeka je i zastarela. Sistemi automatskog upravljanja nijesu bili savremeni što je otežavalo rad, održavanje i upravljanje mašinom. Ormari sa elektro opremom kao i kontejner u kojima su se nalazili su bili u jako lošem stanju. Kablovi koji su položeni na otvorenom prevazišli su svoj radni vijek a sa njima i prolazni ormari koji su služili kako bi se izbjegla torzija kablova na rotirajućim djelovima mašine. Sva rasvjeta je takođe bila u lošem stanju i zastarjela. Komandna kabina kao i upravljački uređaji u kabini (džojstici, prekidači, tasteri, i sl.) bili su zastareli i u lošem stanju. Veliki broj manjih pogona (grijača, ventilatora, pumpe, i sl.) bili su van funkcije zbog otkazivanja elektro djelova i nedostatka rezervnih djelova na tržištu.

Sve ovo ukazivalo je na neophodnost potpunog remonta elektro opreme na kombinovanoj mašini kao i modernizacije svih pogona i sistema upravljanja.



Slika 3. Izgled starog sistema upravljanja

3. OPSEG, KARAKTERISTIKE I BENEFITI MODERNIZACIJE

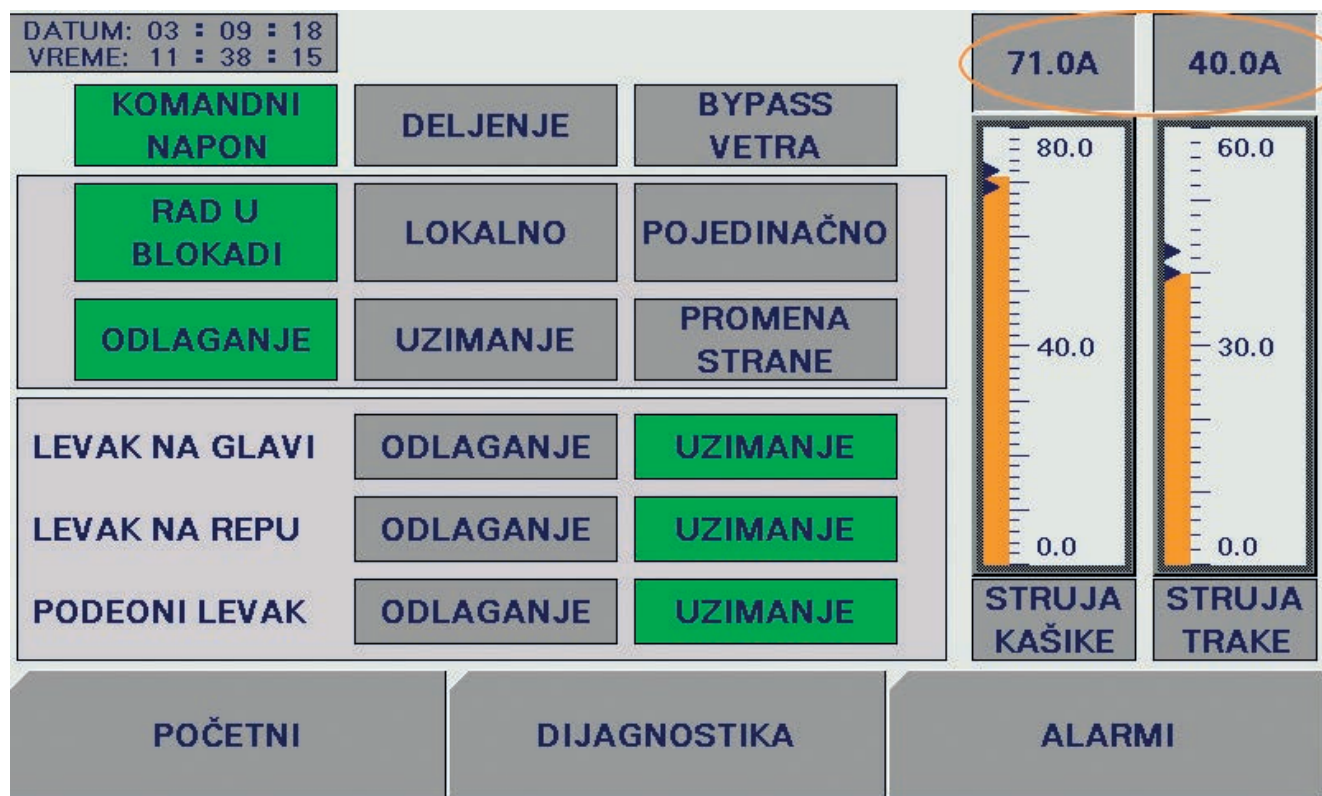
Modernizacija sistema upravljanja podrazumijevala je prije svega kompletnu zamjenu svih postojećih kablova, prolaznih ormara, kontejnera za elektro ormare, elektro ormara, kabine rukovaoca, svih djelova automatike u kabini i ormarima, kao i zamjenu i osavremenjavanje kompletne rasvjete i servisnih utičnica na mašini.

Kabina rukovaoca je potpuno demontirana i izrađena je nova, koja je klimatizovana i osvijetljena led rasvjetom. Upravljački elementi u kabini su zamjenjeni. Postavljeno je novo ergonomsko sjedište sa savremenim (kontaktnim) džojsticima za upravljanje. Ugrađen je takođe i tač panel – Human Machine Interface (u daljem tekstu HMI) osjetljiv na dodir koji mijenja stare tastere i prekidače za upravljanje, a služi i za dijagnostiku i praćenje rada mašine.



Slika 4. Izgled starog (lijevo) i novog (sredina i desno) komandnog pulta

Na panelu postoje ekrani za upravljanje: odabir režima rada, odabir načina rada, upravljanje pojedinim pogonima, login i td. Takođe postoje i ekrani za dijagnostiku: mjerenje struje motora radnog točka i transportne trake, alarmi i upozorenja i mjerenje radnih sati ključnih pogona. Na ovaj način rukovaocu je omogućen mnogo veći broj opcija koje su sažete na jednostavnim i pristupačnim ekranima. Dijagnostika (naročito alarmi i obavještenja) su jako opsežni čime se radnicima na održavanju omogućava lakši i jednostavniji rad. Jedan od ekrana prikazan je na narednoj slici.



Slika 5. Primjer ekrana sa HMI uređaja

U kabini se takođe nalazi decentralized periphery (u daljem tekstu DP) modul kojim su obrađeni svi ulazno izlazni signali koji se nalaze u kabini rukovaoca. Veza izmedju glavnog ormara u kome se nalazi Programmable Logical Controller (u daljem tekstu PLC) i DP modula u kabini je komunikacija tipa CAN Open dok je veza izmedju HMI-a i PLC-a Modbus.

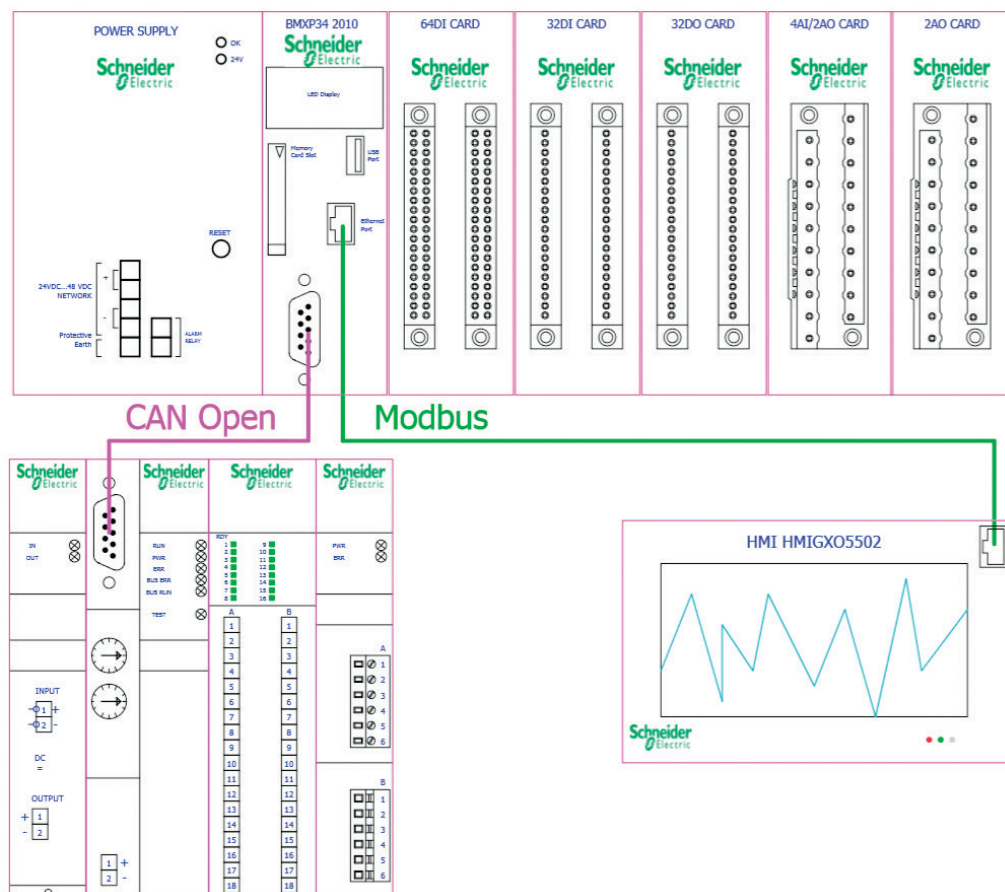
Glavni upravljački ormari nalaze se u dnu mašine u kontejneru koji služi za zaštitu ormara od loših vremenskih uslova i prašine. Tu postoji 5 ormara od kojih svaki ima svoju ulogu:

- Ormar A: Glavni razvod pomoćne potrošnje: rasvjeta, utičnice, klime, i td.
- Ormar O: Ormar pogona rotacije;
- Ormar D: Ormar pogona translacije;
- Ormar C: Ormar pogona kašike i transportne trake;
- Ormar B: Glavni upravljački ormar sa ulazno izlaznim signalima i PLC-om.

Ormari su čelični i klimatizovani. U ormarima se pored zaštitne i sklopne opreme nalaze soft starteri, frekventni regulatori, PLC i ostala komandno-signalna oprema.

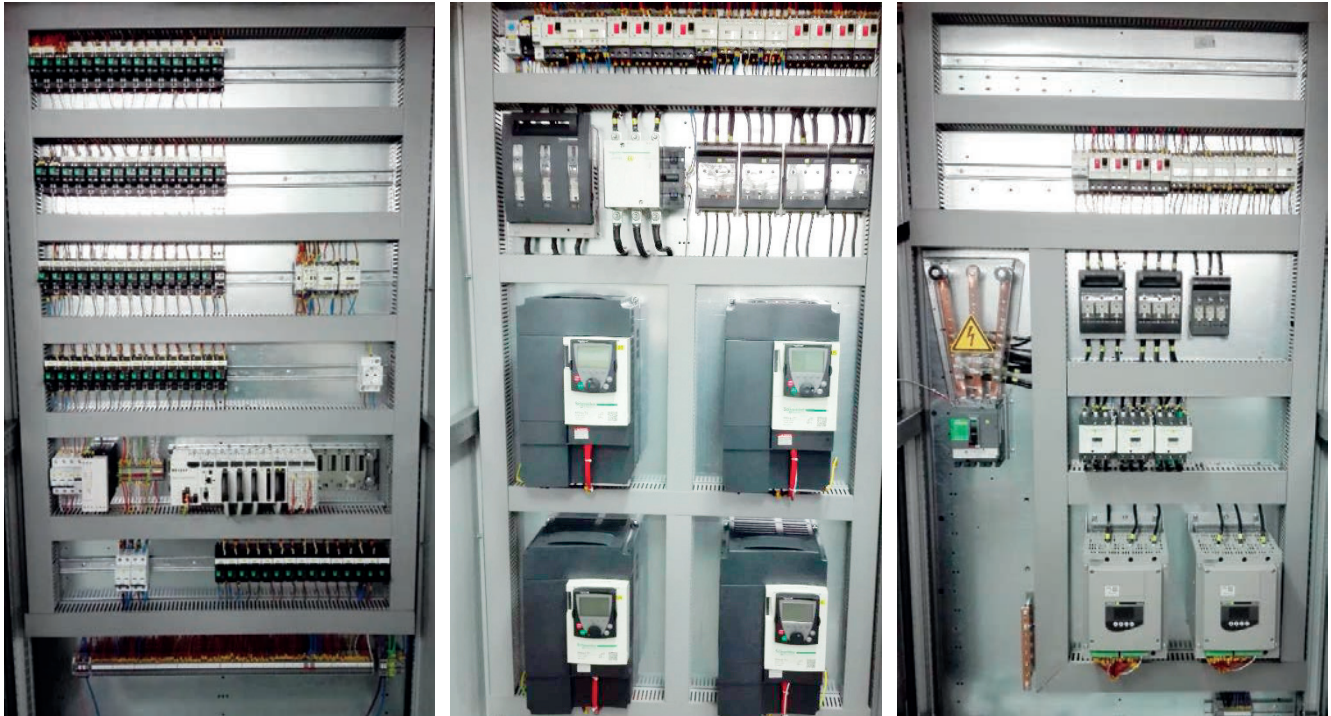
PLC sadrži složeni algoritam (programiran u skladu sa tehnološkim zahtjevima mašine) pomoću kojeg se upravlja mašinom. Iako rukovaoc ručno pokreće mašinu i upravlja pomoću džojstika sve ključne odluke donosi PLC na osnovu programiranog algoritma. Na primjer operater ne može pokrenuti proces oduzimanja uglja u koliko prethodno nije uključio pogone trake i radnog točka i ukoliko nisu uključeni svi pomoćni pogoni (pumpa hidraulike, razni grijači, ventilatori, otpuštene sve kočnice i sl.). Svi pogoni su na ovaj način kroz program PLC-a provedeni kroz zaštitne lance. Time se pogoni i sama mašina štite od eventualne greške operatera. PLC takođe stalno kontroliše sve krajnje i havarijske pozicije i time svodi mogućnost greške na minimum.

Na narednoj slici prikazana je konfiguracija korišćenog PLC-a, HMI-a, DP modula i topologija korišćenih sistema za umrežavanje: CAN Open i Modbus.



Slika 6. Konfiguracija PLC-a, DP modula, panela i topologija mreže

Ormari su urađeni na savremen način sa svom pratećom opremom koja olakšava rad i održavanje. Ormari su smješteni u novom kontejneru koji je izolovan, klimatizovan i osvijetljen led rasvjetom. Na narednoj slici prikazani su novi upravljački ormari.



Slika 7. Izgled novih ormara

Pogoni radnog točka i transportne trake sada se upuštaju preko soft startera, čime se čuvaju mehanički djelovi mašine koji se sada pokreću po zadatoj rampi te se izbjegavaju veliki napori na osovina mašine, ležajevima itd. Komandu za start i stop radnog točka i transportne trake zadaje rukovaoc pomoću tastera programiranog na HMI-u. Takođe preko soft startera očitavamo trenutnu vrijednost struje kao i sve alarme čime se poboljšava i pojednostavljuje dijagnostika.

Motori translacije mašine pokreću se preko frekventnih regulatora dok brzinu zadaje rukovaoc pomoću tropoložajnog džojstika (tri brzine). Time se postiže veći stepen kontrole i upravljanja pogonom ali i štednja električne energije jer pored mekog starta (po zadatoj rampi) pogon sada neće uvijek raditi maksimalnom snagom već onom koja je u tom trenutku tehnološki neophodna.

PLC na osnovu džojstika zadaje zajedničku referencu za sva četiri motora čime se izbjegava nesimetričan rad motora. Time se poboljšava kretanje i smanjuje trošenje šina i točkova.

Na pogonu rotacije zamijenjen je stari DC pogon sa novim asinhronim motorom snage 11 kW koji se upušta preko frekventnog regulatora. Frekventna regulacija ovog pogona izuzetno je značajna za očuvanje mehanike rotacije strijele. Brzinu preko tropoložajnog džojstika zadaje operater, međutim stvarna brzina rotacije strijele zavisiće od trenutnog momenta tj. opterećenja na strijeli. Moment je ograničen na 80% te kad god se ta vrijednost pređe brzina se automatski obara bez obzira koju brzinu zadaje rukovaoc. Ovim se postiže da se ni u kom slučaju osovina ne može preopteretiti čime se ona čuva od lomljenja, što se često dešavalo sa starim sistemom upravljanja.

Zahvaljujući ovakvom načinu upravljanja sada su izbjegnuti česti zastoji i visoki troškovi popravke i zamjene osovine. Pored ove funkcije frekventni regulator olakšava upravljanje i dijagnostiku, a takođe, kao i u slučaju translacije mašine, imamo uštedu energije.

Sva stara rasvjeta zamjenjena je sa novom LED rasvjetom čiji je razvod izveden iz ormara A a uključenje rasvjete vrši se preko tastera u komandnoj kabini. Svi kablovi su takođe zamjenjeni a kablovske trase sanirane. Prolazni ormari su zamjenjeni novim, a u njih su ugrađene utične klemice za kablove, namijenjene za rad sa visokim vibracijama (samo-zatezne klemice).

Modernizacijom je omogućen daleko jednostavniji način upravljanja uz mnogo viši stepen dijagnostike, pojednostavljeno je održavanje čime je ubrzan proces otklanjanja kvarova i potencijalnih zastoja u radu.

4. IZRADA PROJEKTA, SOFTVERSKI ALATI I UGRAĐENA OPREMA

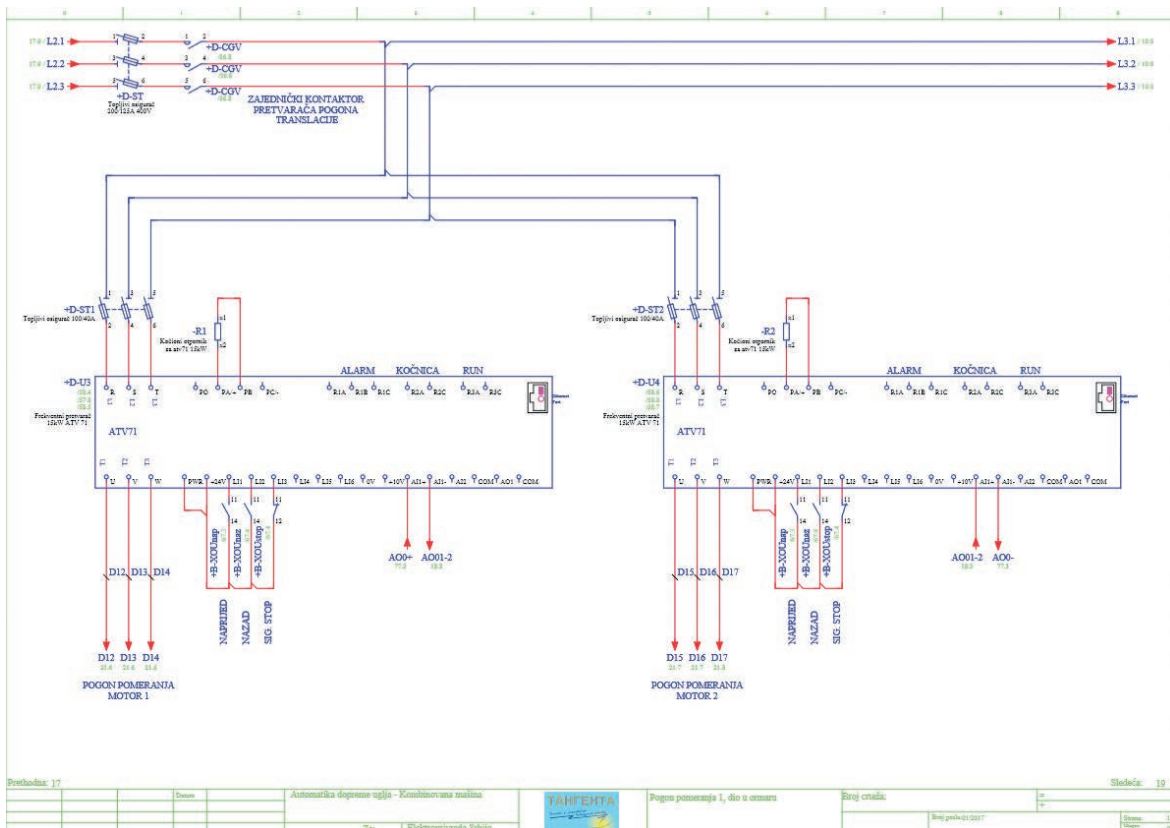
Prilikom izrade projekta moralo se voditi računa da se zadrže sve postojeće funkcije mašine ali i da se mašina unaprijedi i osavremeni u mjeri u kojoj je to bilo moguće. Trebalo je takođe voditi računa da sve funkcije i način upravljanja bude što je moguće jednostavniji i sličniji starom kako bi se rukovodi što brže i lakše upoznali sa novom opremom i upravljali mašinom.

Vođeno je računa i o starom načinu označavanja i obilježavanja dijelova sistema upravljanja, kablova i ormara kako bi se i radnici na održavanju što prije prilagodili novoj opremi i sistemu upravljanja, te da bi se u budućnosti što brže i jednostavnije otklanjali potencijalni kvarovi.

Po završetku remonta i modernizacije urađen je projekat izvedenog stanja kojim je u potpunosti pokriveno sve što je urađeno (oznake klem, kablova, ormara, i td.).

Softverski alat korišćen za izradu električne šeme prilikom projektovanja sistema upravljanja je EPLAN P8 2.0. Ovaj softverski alat nije besplatan već se svaka verzija mora platiti. Postoji naravno i trial (probna) verzija ovog softvera koju je moguće preuzeti sa zvaničnog sajta kompanije Eplan: <https://www.eplanusa.com/us/home/>. Eplan omogućava izuzetno pojednostavljeno crtanje električnih šema, zatim jednostavno formiranje liste djelove, liste rezervnih djelova, spiska kablova, i td. Pored ovih funkcija postoje i opcije za crtanje grafičkih crteža (ormara, djelova mašine i sl.) koje su pojednostavljene i prilagođene elektro-inženjerima. Moguće je i formiranje zagavlja, naslovnih stranica i td.

Na nerednoj slici prikazana je jedna stranica iz projekta rađena u Eplan-u.

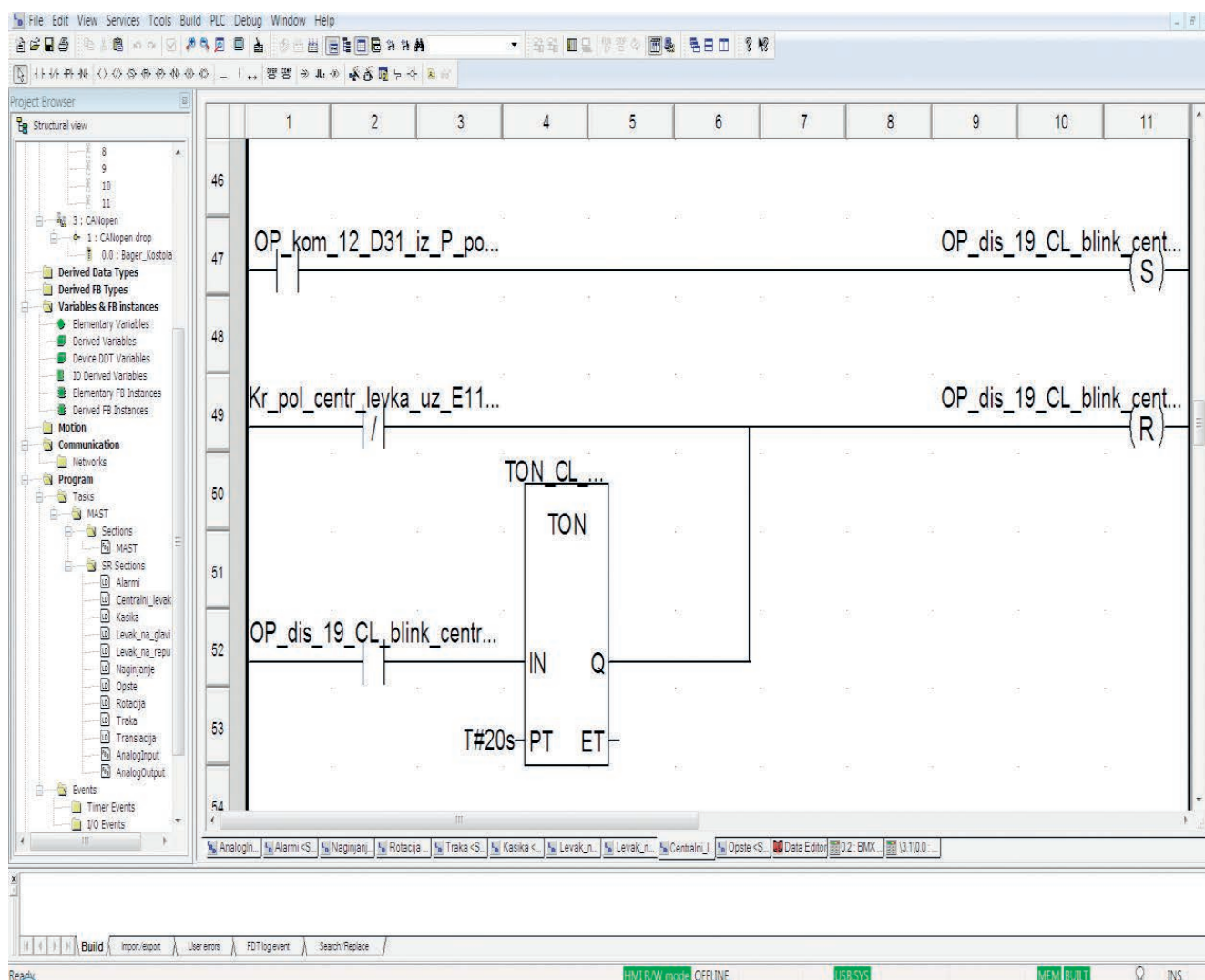


Slika 8. Izgled stranice projekta

Softverski alat korišćen za programiranje PLC-a je Unit Pro XL proizvođača Schneider, Ovaj program nije pisan standardnim programskim jezicima, već takozvanim ladder diagram-om koji omogućava lakše snalaženje ljudi koji nijesu programeri. Svi simboli u ladder diagram-u podsjećaju na simbole iz električnih šema pa na primjer logička jedinica je predstavljena sa simbolom normalno otvorenog kontakta dok je logička nula predstavljena sa simbolom normalno zatvorenog kontakta. Ovakav način programiranja omogućava da svak ko poznaje električne šeme može vrlo lako razumjeti i čitati program.

HMI je programiran u Schneider-ovom softveru Video designer 6.0 u kom se na jednostavan način mogu slagati ekrani, programirati tasteri i prekidači, te prikazivati i analizirati razne vrijednosti.

Jedna veza u leder dijagramu prikazana je na narednoj slici.



Slika 9. Izgled softvera za programiranje PLC-a

Sva ugrađena oprema u ormarima: sklopna oprema, sigurnosna oprema, upravljačka oprema, frekventni regulatori, PLC, HMI, i ostalo je od renomiranog njemačkog proizvođača Schneider-Electric. Ovaj proizvođač je odabran zbog želje investitora, jer je većina pogona u TE Kostolac A renovirana sa Schneider-ovom opremom, te je radnici iz održavanja jako dobro poznaju, a postoji i veliki lager rezervne opreme od ovoga proizvođača. Sva ugrađena oprema je savremena, atestirana i napravljena prema najsavremenijim evropskim standardima.

5. ZAKLJUČAK

Rad TE Kostolac zavisi od dopreme uglja tj. brzog i efikasnog rada kombinovanih mašina. Bilo kakav duži period prestanka rada kombinovanih mašina je nedozvoljen.

Ugradnjom nove opreme obezbjeđuje se minimalan broj kvarova i zastoja, a u slučaju da se desi neki kvar zbog savremene dijagnostike i jednostavnosti sistema upravljanja otklanjanje grešaka je pojednostavljeno, a vrijeme potrebno za detekciju i otklanjanje kvara svedeno na minimum.

Zbog ugradnje frekventnih regulatora i soft startera na ključnim pogonima mašine produžava se radni vijek svih mehaničkih djelova mašine.

Takođe sa frekventnim regulatorima, uz pomoć kojih će se motori upotrebljavati u onoj mjeri u kojoj je to tehnološki zahtjev u datom trenutku, smanjuje se potrošnja električne energije.

Ugradnjom PLC-a i programiranjem algoritma obezbjeđuje se ispravan rad mašine bez obzira na potencijalne greške operatera, pojednostavljuje se održavanje i smanjuje se količina ugrađene opreme za automatsko upravljanje u ormarima čime se dodatno redukuje mogućnost kvara.

Sve gore navedeno dovodi do zaključka da ukoliko je mehanika bilo koje mašine funkcionalna, remontom elektro opreme i modernizacijom sistema upravljanja produžava se radni vijek mašine, ostvaruje se ogromna ušteda pri radu zbog smanjenog trajanja zastoja, smanjenja broja zastoja, povećanja efikasnosti mašine i uticaja na energetske efikasnost, te da je poželjno izvršiti ovakvu vrstu remonta mašine za bilo koji sistem čija je elektro oprema izašla iz svog radnog vijeka ili je jednostavno zastarela.

MAGNETSKO POLJE ENERGETSKOG KABLOVSKOG VODA

Milutin Ostojić
Elektrotehnički fakultet

Kratak sadržaj: U novije vrijeme sve je više izraženo suprostavljanje vlasnika zemljišta za prelazak energetske vazdušne i kablovske vodove preko njihovih nepokretnosti, a posebno u blizini objekata. Pored ostalih argumenata, uvijek se naglašava zračenje vodova, odnosno, izuzetno štetno djelovanje magnetskog polja na zdravlje ljudi, isto kao i na poljoprivrednu proizvodnju, voćnjake, šumu, izvore vode za piće i sl. Ovaj rad je posvećen proračunu magnetskog polja energetske kablovske vode. U teorijskom dijelu izvedene su jednačine pomoću kojih se računa raspodjela magnetskog polja u prostoru oko kablovske vode na površini zemlje i na različitim visinama iznad zemlje. Izvršeno je poređenje magnetskog polja koje stvara kablovska voda postavljena u trouglastom snopu i u horizontalnoj ravni. Takođe, posmatran je slučaj dva voda u istom rovu, sa istim ili različitim redosledima faza pojedinih vodova. Rezultati prezentovani u ovom radu mogu biti korisni prilikom projektovanja energetske kablovske vode, kao i prilikom eksproprijacije dijela katastarskih parcela preko kojih prelaze kablovske vodove.

Ključne riječi: Energetski kabal, magnetsko polje, magnetska indukcija, nejonizujuće zračenje.

1. UVOD

U poslednjih tridesetak godina velika pažnja naučne i stručne javnosti iz raznih oblasti, posebno iz oblasti medicinskih i elektrotehničkih nauka, posvećena je uticaju električnih i magnetskih polja niskih učestanosti na zdravlje ljudi, kao i na zdravlje ostalih živih bića. U vezi sa tim razmatra se uticaj električnog i magnetskog polja na profesionalne osobe koje više sati dnevno rade u blizini energetske objekata kao i na ostalu populaciju koja je stalno nastanjena u njihovoj blizini. Svakako da je ovo pitanje zaintrigiralo i javno mnjenje (široku populaciju) preko čijih imanja i u blizini kuća prolaze energetske vodove. Zbog toga su mnoge profesionalne organizacije, kao npr. WHO - World Health Organization, ICNIRP - International Conference for Non-Ionizing Radiation Protection, ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists, IRPA - International Radiation Protection Association itd., donijele pravilnike i preporuke u kojima su, pored ostalog, utvrđene granične

vrijednosti jačina električnog i magnetskog polja bilo koje učestanosti.

Zabrinutost stručne i ostale javnosti zasnovana je na nekim epidimiološkim istraživanjima da postoji mogućnost da magnetsno polje energetske vodova štetno utiču na zdravlje ljudi jer podstiču razvoj malignih oboljenja, leukemije kod djece, da razaraju imunološki sistem organizma, stvaraju suicidalne nagone kod ljudi koji duže borave u zoni jakih polja, razaraju informacije u DNK lancima o obnovi ćelija, itd. [7]-[10]]. Ipak, kad se uzmu u obzir nekoliko decenija duga naučna istraživanja i laboratorijske analize može se zaključiti da još uvijek nije pouzdano utvrđeno da izloženost električnom i magnetskom polju niskih učestanosti štetno djeluje na zdravlje ljudi. Nekoliko internacionalnih i nacionalnih naučnih i stručnih panel rasprava su napravile pregled svih dosadašnjih studija na kojima je zaključeno da još uvijek nema dovoljno indikacija da bi se moglo zaključiti da elektromagnetsko polje niskih učestanosti prouzrokuje kancerogena oboljenja [11]. Dakle, još uvijek o tome ne postoji opšta saglasnost, ali su, ipak, iz predostrožnosti utvrđene granične vrijednosti polja.

Magnetsko polje u okolini energetskih kablova ima složenu konfiguraciju koja zavisi od broja kablova, njihovog međusobnog položaja i jačine struje. Pošto su naponi i struje pojedinih faza vremenski pomjereni, a provodnici pojedinih faza su i prostorno pomjereni, logičan je zaključak da se pravac, smjer i amplituda ovih polja mijenjaju u toku vremena, pa se, u takvim uslovima, stvaraju pokretna polja. U okolini kablovskog voda dolazi do tzv. polarizacije kada se vrh vektora rezultantnog polja kreće po elipsi, pravoj liniji ili u nekim slučajevima i po krugu [4],[6].

Za proračun jačine magnetskog polja mogu se koristiti različite metode. Neke od njih zasnovane su na rješavanju Maxwell-ovih jednačina uz definisane početne uslove [6], neke polaze od talasnih jednačina električnog i magnetskog polja (Helmholtz-ove jednačine) i koriste metod konačnih elemenata uz upotrebu softverskog paketa FEMM [8] ili PDE tool softverskog paketa MatLab [12]. Magnetsko polje zavisi od struje, koja se stalno mijenja u toku vremena zbog promjene opterećenja. Pri proračunu magnetskog polja kablovskog voda, za niske učestanosti, zemlja se može posmatrati kao paramagnetna poluprovodna sredina sa $\mu = \mu_0$. Zbog toga, pri proračunu jačine magnetskog polja može se smatrati da se provodnici nalaze u homogenoj sredini. Kad se odredi polje koje stvara jedan provodnik kabla, onda se primjenom metoda superpozicije mogu odrediti polja koja stvaraju svi provodnici kabla. Imajući u vidu prethodne činjenice u ovom radu je prezentiran jedan jednostavan postupak za približan proračun jačine magnetskog polja u blizini kablovskog voda podesan za praktičnu primjenu.

U ovom radu za proračun jačine magnetskog polja polazi od dobro poznatog izraza za polje beskonačno dugog, pravolinijskog strujnog provodnika koji se nalazi u vazduhu [3]. Na osnovu ovog postupka napravljena je opšta program u kojem se mogu mijenjati i birati svi parametri koju se odnose na bilo koju konfiguraciju kablovskih vodova koji se nalaze u istom rovu.

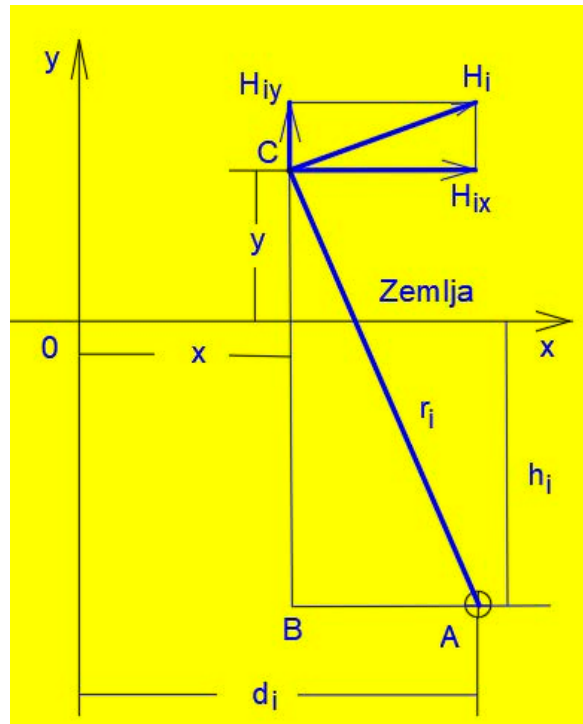
2. PRORAČUN JAČINE MAGNETSKOG POLJA

Na sl. 1. prikazana je jedan provodnik u rovu kroz koji protiče struja I_i . Usvojen je x-y koordinatni sistem, pri čemu je koordinata x postavljena na površini zemlje. Provodnik A nalazi se u rovu na dubini h_i . Provodnik sa strujom stvara magnetsko polje H_i u tački C na rastojanju r_i od provodnika A.

Referentni smjerovi struja su u pravcu z ose. U daljem tekstu **bold** slovima označene kompleksne veličine. Jačina magnetskog polja u proizvoljnoj tački koje potiče od uočenog provodnika može se naći korišćenjem formule [3]:

$$\mathbf{H}_i = \frac{\mathbf{I}_i}{2\pi r_i}. \quad (1)$$

gdje je, za tekuće koordinate x i y, dubinu provodnika h_i i rastojanje d_i provodnika A u odnosu na y osu prema oznakama na Sl.1.:



Sl.1.Uz određivanje magnetog polja.

$$r_i = \sqrt{(x - d_i)^2 + (y + h_i)^2} \quad (2)$$

Magnetsko polje \mathbf{H}_i u tački C može se razložiti na komponente po osama x i y, \mathbf{H}_{ix} i \mathbf{H}_{iy} . Sa Sl.1. slijedi:

$$\frac{H_{ix}}{H_i} = \frac{BC}{AC}, \text{ odnosno } H_{ix} = H_i \frac{y + h_i}{r_i} \quad (3)$$

$$\frac{H_{iy}}{H_i} = \frac{AB}{AC}, \text{ odnosno } H_{iy} = H_i \frac{x - d_i}{r_i}$$

Iz jednačina (1) i (3) dobija se:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{ix} &= \mathbf{I}_i \times A_{ix}, \\ \mathbf{H}_{iy} &= \mathbf{I}_i \times A_{iy} \end{aligned} \quad (4)$$

gdje su:

$$\begin{aligned} A_{ix} &= \frac{y + h_i}{r_i^2}, \\ A_{iy} &= \frac{x - d_i}{r_i^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

Za trofazni kablovski vod i simetrični sistem struja važi:

$$\mathbf{I}_1 = I, \quad \mathbf{I}_2 = Ie^{-j\frac{2\pi}{3}}, \quad \mathbf{I}_3 = Ie^{+j\frac{2\pi}{3}}. \quad (6)$$

Ukupne komponente magnetskog polja po osama x i y koje stvaraju n jednožilnih kablova ili n žila trofaznih kablova su:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_x &= \sum_{i=1}^n \mathbf{I}_i \times A_{ix} \\ \mathbf{H}_y &= \sum_{i=1}^n \mathbf{I}_i \times A_{iy} \end{aligned} \quad (7)$$

pa je efektivna vrijednost ukupnog magnetskog polja:

$$H = \sqrt{\mathbf{H}_x \times \mathbf{H}_x^* + \mathbf{H}_y \times \mathbf{H}_y^*} \quad (8)$$

a argumenti:

$$\theta_x = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\mathbf{H}_x)}{\text{Re}(\mathbf{H}_x)}\right) \text{ i } \theta_y = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\mathbf{H}_y)}{\text{Re}(\mathbf{H}_y)}\right)$$

Trenutne vrijednosti komponenti jačine polja u uočenoj tački su:

$$\begin{aligned} h_x(t) &= \sqrt{2} H_x \sin(\omega t + \theta_x) \\ h_y(t) &= \sqrt{2} H_y \sin(\omega t + \theta_y) \end{aligned} \quad (9)$$

Dijeljenjem sa $\sqrt{2}$ dobija se gornji izrazi u efektivnim vrijednostima:

$$\begin{aligned} H_x(t) &= H_x \sin(\omega t + \theta_x) \\ H_y(t) &= H_y \sin(\omega t + \theta_y) \end{aligned} \quad (10)$$

Tada je promjena u vremenu vektora jačine resultantnog magnetskog polja data sa:

$$H(t) = \sqrt{H_x^2 \sin^2(\omega t + \theta_x) + H_y^2 \sin^2(\omega t + \theta_y)} \quad (12)$$

Ako je kabal položen u ravnom terenu, tada linije magnetskog polja uvijek leže u vertikalnoj ravni normalno na trasu kabla. Magnetsko polje ima specifičan smjer u svakoj tački prostora. Pošto naizmjenične struje mijenjaju smjer u toku svake periode, onda i linije polja mijenjaju smjer. Zbog toga vrh vektora magnetskog polja opisuje elipsu, krug ili se kreće po pravoj liniji. Ovo je poznato pod imenom

polarizacija magnetskog polja. Ako je $\theta_x - \theta_y = \pm n \frac{\pi}{2}$, za $n=0, 2, 4, 6, \dots$, tada je polarizacija magnetskog

polja linearna, ako je $\theta_x \neq \theta_y$ tada je polarizacija eliptična i ako je $H_x = H_y$, i $\theta_x - \theta_y = \pm n \frac{\pi}{2}$, a n cio neparan broj, tada je polarizacija kružna. Kad je polarizacija magnetskog polja eliptična, resultantni vektor $\mathbf{H}(t)$ rotira u prostoru ugaonom brzinom [5], [6]

$$\omega_0 = \frac{H_x H_y \sin(\theta_y - \theta_x)}{H_x^2 \sin^2(\omega t + \theta_x) + H_y^2 \sin^2(\omega t + \theta_y)} \quad (13)$$

Prilikom rotacije resultantni vektor $\mathbf{H}(t)$ dobija ekstremne vrijednosti \mathbf{H}_{\max} i \mathbf{H}_{\min} u trenutku:

$$t_e = \frac{1}{2\omega} \arctg \left[\pm \frac{H_x^2 \sin(2\theta_x) + H_y^2 \sin(2\theta_y)}{H_x^2 \cos(2\theta_x) + H_y^2 \cos(2\theta_y)} \right] \quad (14)$$

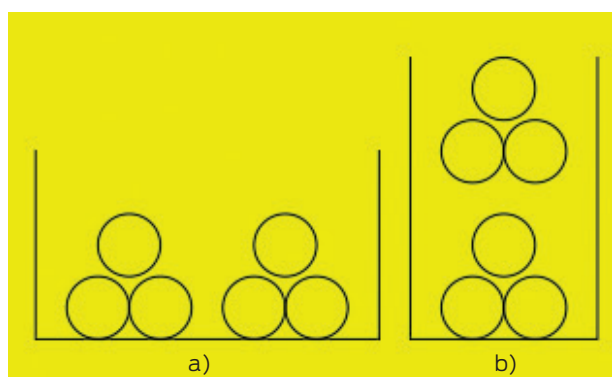
Zamjenom u izrazu (12) dobijaju se ekstremne vrijednosti magnetskog polja kao:

$$H_e = \sqrt{\frac{1}{2}(H_x^2 + H_y^2) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(H_x^2 + H_y^2)^2 - 4H_x^2 H_y^2 \sin^2(\theta_y - \theta_x)}} \quad (15)$$

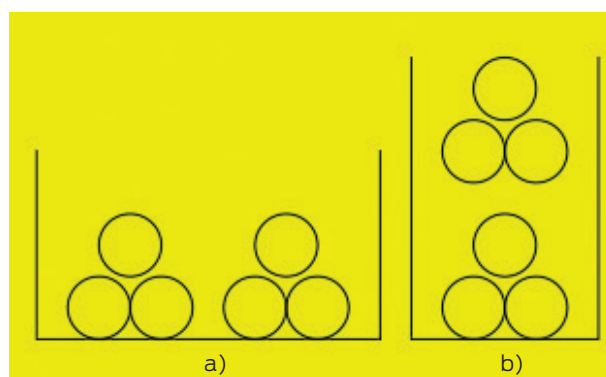
Ako nijesu ispunjeni uslovi za eliptičnu ili linearnu polarizaciju, onda jednačina (15) daje istu vrijednost jačine polja kao jednačina (9). Pošto se u praksi redovno mjeri gustina magnetskog fluksa umjesto jačine magnetskog polja, onda se preko izraza (9) ili (15) za jačinu magnetskog polja lako može odrediti gustina magnetskog fluksa (indukcija) kao $B = \mu_0 H [\mu T]$.

3. RAZMATRANE KONFIGURACIJE KABLOVSKIH VODOVA

U ovom radu vršen je proračun jačine magnetskog polja, odnosno magnetske indukcije u slučajevima kada se u rovu nalazi jedan ili dva kablovska voda. Ako je kablovski vod formiran od tri jednožilna kabla, onda su razmatrana dva slučaja i to kada tri jednožilna kabla formiraju trouglasti snop ili su postavljeni horizontalno jedan pored drugog. Na sl. 2 prikazana su dva kablovska voda u trouglastom rasporedu kad su vodovi postavljeni jedan pored drugog (a) i kad su jedan iznad drugog (b). Na sl. 3 prikazana su dva horizontalno postavljena kablovska voda kad su vodovi postavljeni jedan pored drugog (a) i jedan iznad drugog (b).



Sl.2. Trouglasti raspored kablova



Sl.3. Horizontalni raspored kablova

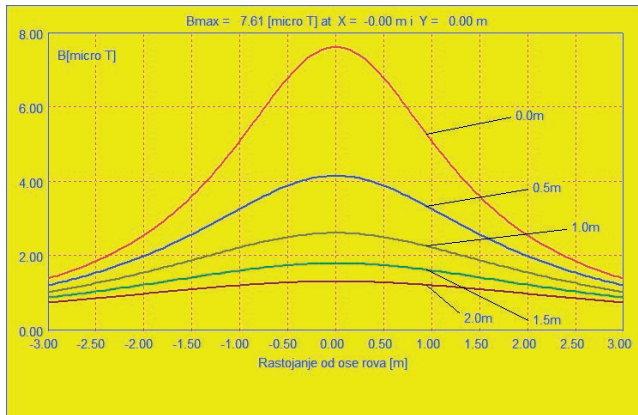
Prilikom proračuna mora se uzeti u obzir međusobna udaljenost jednožilnih kablova, kao i rastojanja između donjeg i gornjeg sloja kako je to propisano tehničkim preporukama za izbor i polaganje kablova. Za proračun jačine magnetskog polja relevantni ulazni podaci su spoljašnji prečnik pojedinih jednožilnih kablova, spoljašnji prečnik kablovskih cijevi, ako su pojedini kabovi postavljeni u cijevi, dubina donjeg i gornjeg kablovskog voda, ako oba postoje, i struje svih jednožilnih kablova koji se u rovu nalaze.

4. REZULTATI PRORAČUNA

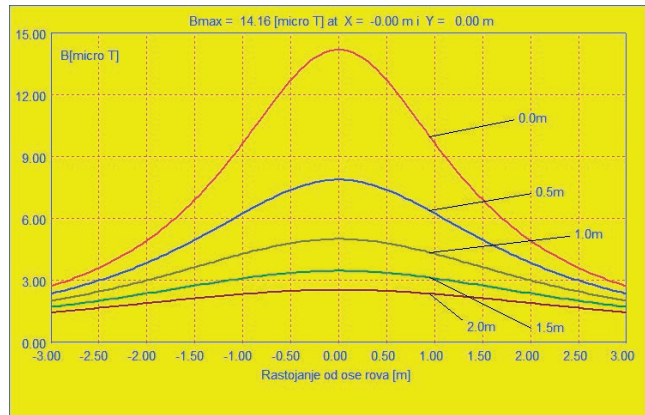
Na osnovu jednačina koje su izvedene u dijelu 2. napravljen je program u Borland Builder-u C++, koji omogućava da se izračuna i nacrtava raspodjela magnetske indukcije kada u rovu postoji samo jedan kablovski vod, za bilo koju konfiguraciju jednožilnih kablova, kada u istom rovu postoji više kablovskih vodova i za bilo koje vrijednosti relevantnih parametara. Aplikacija omogućava da se odredi i raspodjela maksimalne ili minimalne vrijednosti polja za slučaj eliptične polarizacije.

Svi proračuni u ovom radu izvršeni su za kabal 64/110kV tip A2XS(FL)2Y (XHE 49A) 110 kV 1x1000Al/150 Cu mm² i za struju 1000A. Usvojen je redosled faza je 0-4-8. Tri jednožilna kabla postavljena su u rov dubine 1.7m, na posteljicu debljine 0.2m. Analizirani su slučajevi kad jednožilni kablovi formiraju trouglasti snop ili ako su postavljeni horizontalno na istoj dubini. Pored toga, analizirani su slučajevi kada se u istom rovu nalaze dva kabla, jedan pored drugog ili jedan iznad drugog, Sl.2 i Sl.3.

Na Sl.4 prikazana je raspodjela magnetske indukcije koju proizvodi jedan trouglasti raspored jednožilnih kablova. Raspodjele su date na površini zemlje i na 0.5, 1.0, 1.5 i 2.0 metara iznad zemlje. Maksimalna magnetska indukcija javlja se u osi srednjeg kabla i na površini zemlje iznosi $10.41\mu\text{T}$, a na 1.0 m iznad zemlje $3.6\mu\text{T}$.



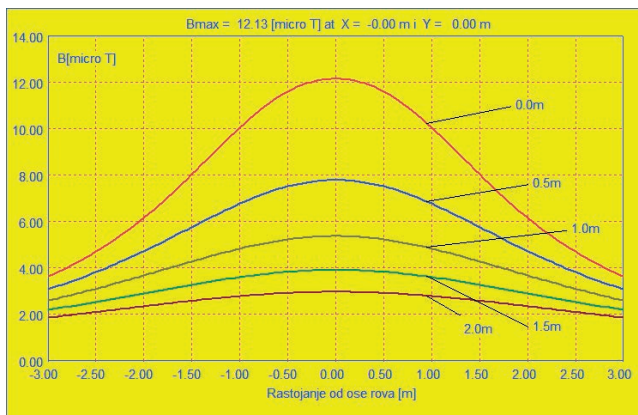
Sl.4. Raspodjela indukcije pri trouglastom rasporedu



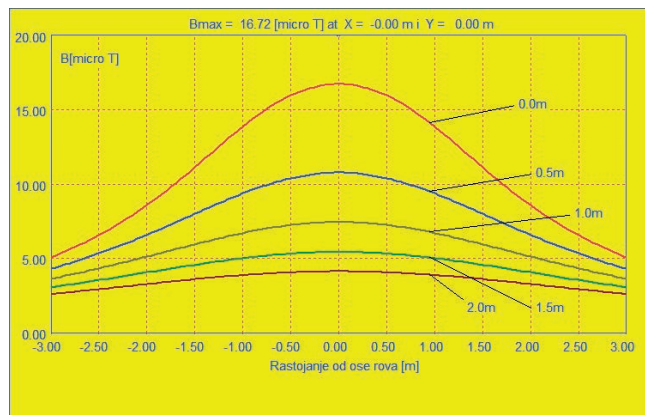
Sl.5. Raspodjela indukcije pri horizontalnom rasporedu

Na Sl.5 prikazana je raspodjela magnetske indukcije koju proizvode tri jednožilna kabla postavljena u rov horizontalno. Raspodjele su date na površini zemlje i na 0.5, 1.0, 1.5 i 2.0 metara iznad zemlje. Maksimalna magnetska indukcija javlja se u osi srednjeg kabla i na površini zemlje iznosi $14.16\mu\text{T}$, a na 1.0 m iznad zemlje $4.99\mu\text{T}$.

Raspodjele maksimalne magnetske indukcije kad se uzme u obzir polarizacija magnetskog polja za prethodna dva slučaja prikazane su na Sl. 6 i na Sl.7. Maksimalna indukcija pri trouglastom rasporedu kablova manje je od rezultatne indukcije i iznosi $7.61\mu\text{T}$, dok pri horizontalnom rasporedu kablova maksimalna indukcija ostaje isto kao rezultatna indukcija, tj. nema polarizacije polja u neposrednoj blizini voda.

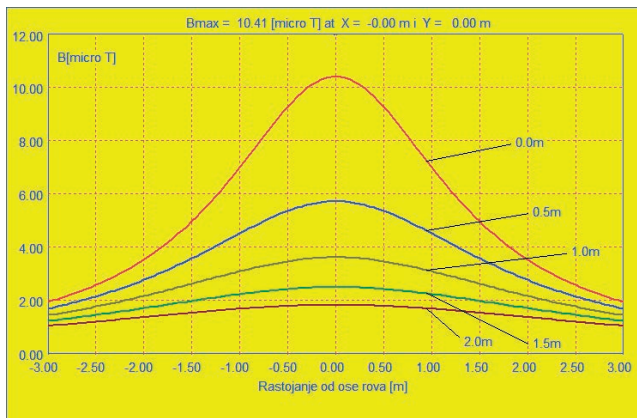


Sl.6. Raspodjele maksimalne indukcije pri trouglastom rasporedu kablova

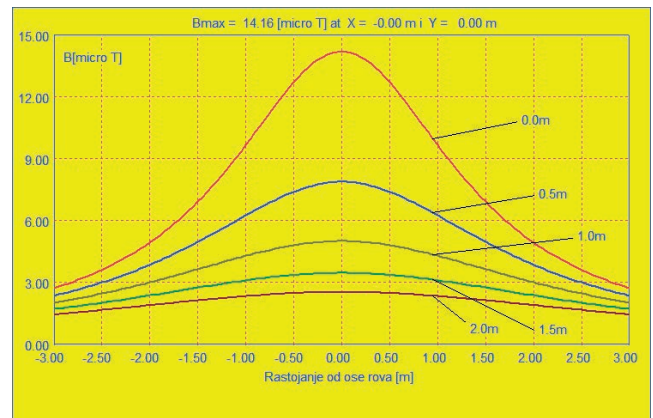


Sl.7. Raspodjele maksimalne indukcije pri horizontalnom rasporedu kablova

Na Sl.8. i Sl.9 prikazane su raspodjele magnetske indukcije dva kabla u istom rovu, sa trouglastim i horizontalnim rasporedom jednožilnih kablova koji su postavljene na istoj na dubini od 1.5m jedan pored drugog. Međusobno rastojanje između kablova iznosi 0.8m. Fazni redosledi oba kabla je isti (0-4-8), a iste su i efektivne vrijednosti jačine struja. Najveća vrijednost magnetske indukcije na površini zemlje iznosi $12.13\mu\text{T}$ u prvom slučaju i $16.72\mu\text{T}$ u drugom slučaju.

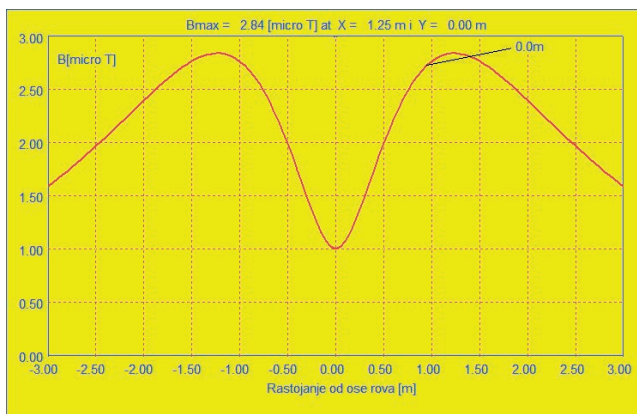


Sl.4. Raspodjela indukcije pri trouglastom rasporedu

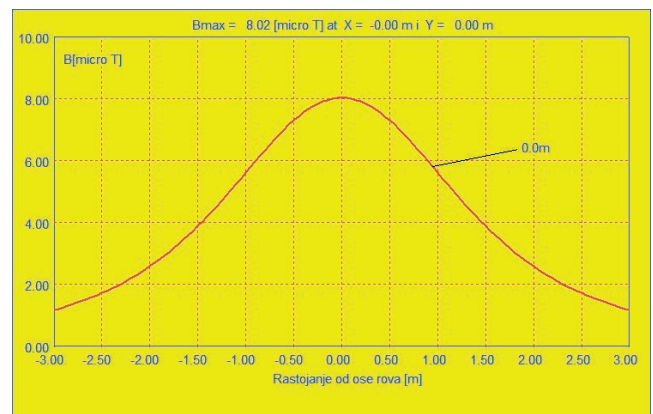


Sl.5. Raspodjela indukcije pri horizontalnom rasporedu

Ukoliko se u istom rovu nalaze dva voda koji ne povezuju iste transformatorske stanice (koji ne rade paralelno), onda je moguće jednom vodu izmijeniti redosled faza. Tako npr. ako za trouglasti raspored jednožilnih kablova, jedan vod ima redosled faza 0-4-8, onda se vrijednost magnetske indukcije na površini zemlje značajno smanjuje sa 12.13 μT za iste redoslede faza, na 2.84 μT za redoslede faza 0-4-8 i 4-8-0, što se vidi sa Sl.10. Do smanjenja vrijednosti magnetske indukcije dolazi i u slučaju horizontalnog rasporeda, koje nije jako izraženo kao u prethodnom slučaju. Ako jedan vod ima redosled faza 0-4-8, a drugi 8-4-0, onda se magnetska indukcija na površini zemlje smanjuje sa 16.72 μT na 8.02 μT , što je, ipak, značajno smanjenje.

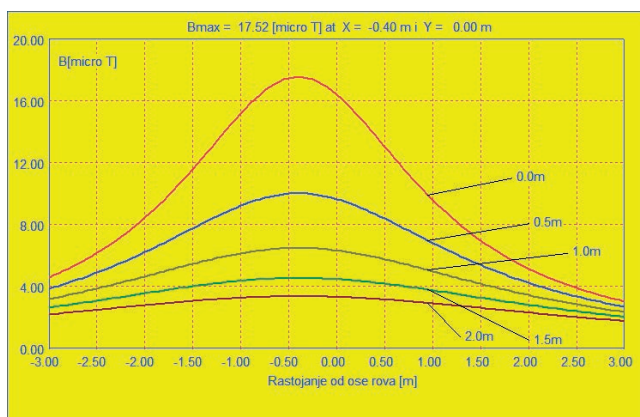


Sl.10. Raspodjela indukcije na površini zemlje -trouglasti raspored kablova. Prvi kabal 0-4-8, a drugi 4 8 0

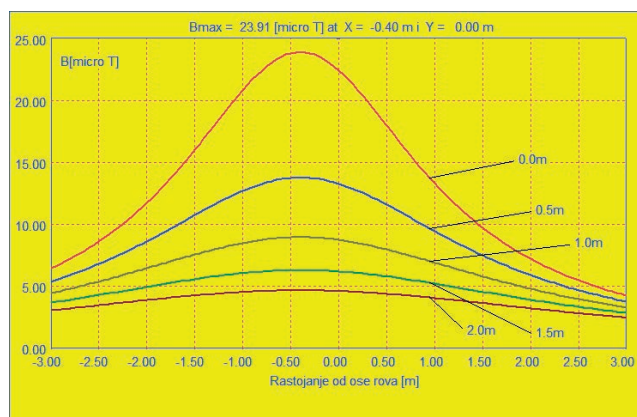


Sl.11. Raspodjela indukcije na površini zemlje -horizontalni raspored kablova. Prvi kabal 0-4-8, a drugi 8 4 0

U isti rov mogu se postaviti dva kablovska voda po vertikali, tj. jedan iznad drugog. Na Sl. 12. i Sl. 13. prikazane su raspodjele magnetske indukcije dva voda sa trouglastim i horizontalnim rasporedom jednožilnih kablova. Donji vod se nalazi na dubini 1.8m, a gornji na dubini 1.5m. Redosledi faza su isti, tj. 0-4-8. Najveća vrijednost magnetske indukcije na površini zemlje je 17.52 μT u prvom slučaju i 23.91 μT u drugom slučaju.

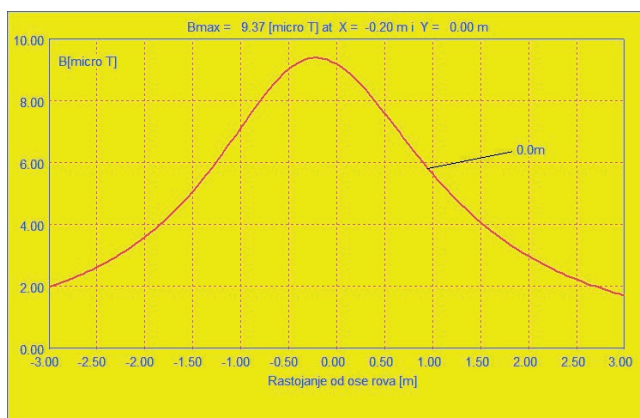


Sl.12. Trouglasti raspored dva kabla jedan iznad drugog za isti redosled faza

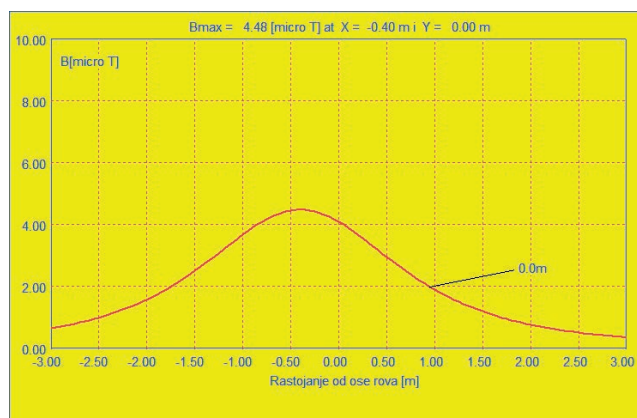


Sl.13. Horizontalni raspored dva kabla jed

Efekat smanjenja magnetske indukcije pri redosledima faza 0-4-8 i 4-8-0 za trouglasti raspored i 0-4-8 i 8-4-0 za horizontalni raspored, kad su vodovi jedan iznad drugog, više je izražen u slučaju horizontalnog rasporeda jednožilnih kablova, što se vidi kad se uporede Sl. 12 i Sl. 13 sa Sl. 14. i Sl. 15.

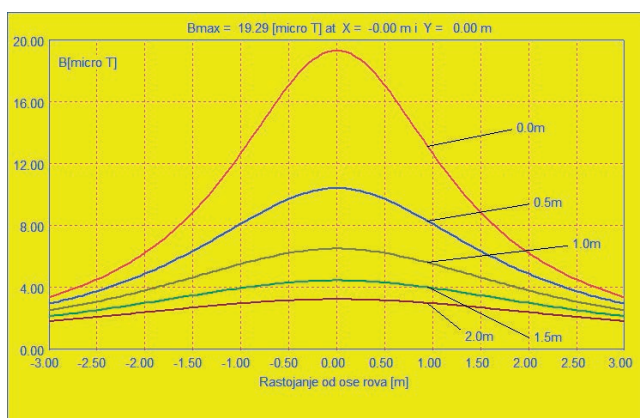


Sl.14. Raspodjela indukcije na površini zemlje -trouglasti raspored kablova. Donji kabal 0-4-8, a gornji 4-8-0

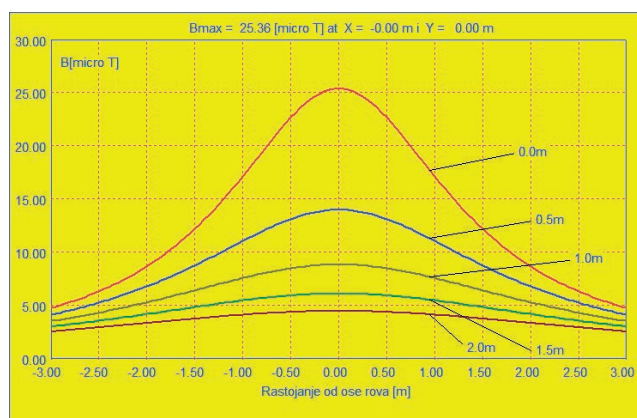


Sl.15. Raspodjela indukcije na površini zemlje -horizontalni raspored kablova. Donji kabal 0-4-8, a gornji 8-4-0

Često je potrebno jednožilne kablove postaviti u cijevi. Ako se kabal spoljašnjeg prečnika 7.8cm postavi u cijev spoljašnjeg prečnika 15cm, onda će se desiti značajno povećanje magnetske indukcije na svim visinama iznad zemlje. Tako npr. na površini zemlje indukcija jednog kablovskog voda će se povećati sa 10.41 μ T na 19.29 μ T, pri trouglastom rasporedu i sa 14.16 μ T na 25.36 μ T, pri horizontalnom rasporedu jednožilnih kablova, što se vidi kad se uporede Sl.16 i Sl.17, sa Sl.4 i Sl. 5.



Sl.16. Raspodjela indukcije kada se kabal postavi u cijev spoljašnjeg prečnika 15 cm za trouglasti raspored kablova.



Sl.17. Raspodjela indukcije kada se kabal postavi u cijev spoljašnjeg prečnika 15 cm za horizontalni raspored kablova.

5. ZAKLJUČAK

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti sledeće:

Ako se u rovu nalazi samo jedan vod, onda je, sa aspekta nejonizujućeg zračenja, povoljniji trouglasti raspored jednožilnih kablova u odnosu na horizontalni raspored;

Ako je potrebno postavljati jednožilne kablove u cijevi, onda treba nastojati da spoljašnji prečnik cijevi bude što je moguće manji. Najbolje rješenje pri trouglastom rasporedu jeste da se sva tri kabla postave u istu cijev;

Ako se u istom rovu nalaze dva voda i to oba na istoj dubini, opet je, sa aspekta nejonizujućeg zračenja, povoljniji trouglasti raspored jednožilnih kablova od horizontalnog;

Ako se u istom rovu nalaze dva voda koji su postavljeni jedan iznad drugog, opet je, sa aspekta nejonizujućeg zračenja, povoljniji trouglasti raspored jednožilnih kablova od horizontalnog rasporeda. Ako se može birati da dva voda budu postavljena jedan pored drugog ili jedan iznad drugog, uvijek treba izabrati prvu varijantu;

Kad se u istom rovu nalaze dva voda i ako postoji mogućnost da se biraju različiti redosledi faza, onda uvijek treba za jedan vod izabrati redosled faza 0-4-8, a za drugi 4-8-0, pri trouglastom rasporedu jednožilnih kablova, a 0-4-8 i 8-4-0 pri horizontalnom. Aluminijski kablovski vod za napon 110 kV, presjeka 1000 mm², spoljašnjeg prečnika 7.8 cm, pri naznačenoj struji, postavljen na dubini 1.5 m, proizvodi magnetsku indukciju koja je znatno niža od granične vrijednosti 50 μ T koju propisuje *Pravilnik o granicama izlaganja elektromagnetnim poljima, Sl. list CG broj 6/15*, za područja povećane osjetljivosti. Ovaj zaključak važi i u slučaju kad se u istom rovu nalaze dva voda postavljena jedan pored drugog. Takođe, isti zaključak se odnosi i na slučaj kad su vodovi postavljeni jedan iznad drugog, ako je dubina gornjeg voda 1.5m, a donjeg 1.8m.

LITERATURA

- [1] Filipović D., Ostojić M., „Proračun električnog i magnetskog polje u blizini dalekovoda“, I Savjetovanje CG KO CIGRE, Budva, 2009.
- [2] Ostojić M., Čalasan M., “Magnetic field of the bipolar HVDC cable Montenegro-Italy in the sea and in the land section”, CIGRE Science and Engineering Journal, June 2017, Paris.
- [3] Surutka, J., “Elektromagnetika”, Građevinska knjiga”, Beograd, 1989.
- [4] Abdurakhmanov, A.M. and others, “Solving the environmental electromagnetic safety issues in 110–500 kV AC cable power lines”, CIGRE 2018, C3-111.
- [5] Hameyer K. Metrens R. Belmans R., „Numerical Methods to Evaluate The Electromagnetic Fields Below Overhead Transmission Lines And Their Measurements“, Proc. 6th International IGTE Symposium on Numerical Field Calculation, Graz, Austria, 1994.
- [6] Veličković D.M., Radulović J.J., Božić M.D., „Elektromagnetsko Polje Dalekovoda“, JUKO CIGRE, Herceg Novi, 1997.
- [7] Nikolovski S., Marić P., Baus Z., „Elektromagnetic Field Calculation of Transformer Substation 400/110 kV Ernestovo Using the CEDEGS Software“, Journal of Electrical Engineering, Vol. 58, No. 4, 2007., pp. 207-213.
- [8] Petković D.M., Krstić D.D., Stanković V.B., „Effect of Electric Fields on Humans in The Immediate Vicinity of 110 kV power Lines“, Facta Universitates, Vol. 3, No 1, 2006, pp. 63-72
- [9] Olsen R.G., Bakus S.L. Steams R.D., „Development and Validation of Software for Predicting ELF Magnetic Fields Near Power Lines“, IEEE Trans. on Delivery, Vol. 10., No. 4., July 1995. pp 1525-1534.
- [10] Olsen R.G., Deno. D, Balshiki R.S.,Magnetic Fields From Electric Power Lines – Theory And Comparison To Measurements, IEEE Trans. on Delivery, Vol. 3., No. 4., October 1988. pp 2127-2136.
- [11] Williams C., Powerline Electric and Magnetic Fields – An Introductory White Paper, R.W.Beck, 2008.
- [12] Tupisie S., Isaramongkolrak A. Pao-la-or P. „Analysis Electromagnetic Field Effect Using FEM For Transmission Lines Transposition“, Proc. of World Academy of Science, Vol. 41, May 2009., pp. 870-874

UPOREĐENJE KLJUČNIH AMBIJENTALNIH TEHNIČKIH I EKONOMSKIH PARAMETARA KLASIČNIH HE I RHE NA PRIMJERU VALORIZACIJE HIDRO POTENCIJALA RIJEKE PIVE

Dr Miodrag Kaluđerović

ENOP d.o.o Podgorica | Društvo za energetske optimizacije

Kratak sadržaj: Pri izgradnji objekata glavni kriterijum je da predmetni objekat unapređuje i ne degradira ambijent. Ako ovaj uslov nije ispunjen tehničko ekonomski faktori ne mogu opravdati njegovu izgradnju. Tehničko ekonomski kriterijumi daju odgovor na pitanje da li i koliko izgradnja novih objekata doprinosi opštem bogatstvu jedne zemlje. U analizi navedenih faktora izvršena je uporedna analiza za slučaj izgradnje navedenih objekata po postojećim principima izgradnje hidro elektrana (HE) i efekata koji se dobijaju na osnovu novog pristupa izvedbom objekata kao reverzibilnih elektrana (RHE). Izgradnja HE po klasičnom pristupu ne daje pozitivne efekte ni po kriterijumu unapređenja ambijenta ni po kriterijumu uvećanja nacionalnog bogatstva. Primjenom izgradnje sistema RHE dobijaju se pozitivni ambijentalni i tehničko ekonomski pokazatelji. Eventualna realizacija izgradnje objekata po klasičnom sistemu vodila bi ka slabljenju ekonomije uz degradaciju ambijenta, dok savremeni pristup izgradnje sistema RHE nudi unapređenje ambijenta i stvaranje ekonomski stabilnih i snažnih subjekata u ekonomiji Crne Gore.

Ključne riječi: reverzibilne hidro elektrane, tehničko ekonomski pokazatelji, unapređenje ambijenta, valorizacija hidro potencijala.

1. UVOD

Rad je koncipiran tako da izgradnjom predloženih objekata budu postignuta tri glavna cilja i to: prvo, obezbijediti unapređenje ambijenta, drugo, obezbijediti da se izgradnjom objekata ne generišu konflikti u prostoru i treće da se izgradnjom objekata realizuje povećanje društvenog bogatstva Crne Gore.

Klasični pristup izgradnje hidro akumulacija i uopšte energetske objekata praćen je naglašenim konfliktima interesa koji su često tako intenzivni da onemogućavaju realizaciju izgradnje ili se realizacija ostvaruje uz sredstva prinude. Pored navedenih problema klasičnu koncepciju izgradnje hidro energetskih objekata karakteriše niska profitabilnost posebno u vrijeme otplate kredita uzetih za izgradnju navedenih projekata. Klasične HE su takođe karakteristične po značajnim energetskim gubicima zbog preliva vode preko brana kao i zbog denivelacije akumulacija, što je obrađeno u odjeljku 2 ovog rada.

Navedeni problemi uspješno se rješavaju napuštanjem klasičnih sistema proračuna hidro energetskog potencijala, uvođenjem sistema optimalnog upravljanja režimom korišćenja voda i izgradnjom reverzibilnih hidro elektrana (RHE) umjesto klasičnih HE, kada za to postoje uslovi.

Dominantni uslov za izgradnju RHE je postojanje mogućnosti izgradnje dvije akumulacije na što kraćem horizontalnom rastojanju i što većoj visinskoj razlici gornje i donje akumulacije. Izgradnjom RHE omogućeno je da se voda iz donje akumulacije pumpa u gornju akumulaciju za vrijeme niže tarife i da se voda iz gornje akumulacije koristi u proizvodnom režimu za vrijeme više tarife, pri čemu se vodi računa da su finansijski izdaci za pumpanje niži od dobiti koja se ostvaruje proizvodnjom u višoj tarifi.

Pored energetskih i ekonomskih efekata izgradnjom sistema RHE, postižu se i veoma značajni ambijentalni efekti što se manifestuje manjom potrebom za velikim akumulacijama kao i činjenicom da se akumulacije mogu držati stalno na maksimalnom nivou.

Stabilnost energetskog sistema obezbijedena je činjenicom da je u RHE obezbijedena proizvodnja za čitavo vrijeme važenja visoke tarife bez obzira na hidrološke uslove. Od hidroloških uslova zavise samo troškovi za nabavku energije u nižoj tarifi.

U radu su prikazani ambijentalni i energetski parametri koji se ostvaruju izgradnjom sistema RHE Piva, RHE Kruševo i RHE Komarnica uz upoređenje sa postojećim koncepcijama izgradnje HE Kruševo, HE Komarnica i postojećim režimom rada HE Piva.

2. ZNAČAJ ADEKVATNOG DEFINISANJA PUNJENJA I PRAŽNENJA AKUMULACIJA PRI KORIŠĆENJU HIDRO POTENCIJALA

Režim proticanja naših rijeka karakteriše se velikim razlikama maksimalnog i minimalnog proticanja. Ova karakteristika je veoma nepovoljna sa aspekta upravljanja. Odnos maksimalnog i minimalnog proticanja za rijeke u kraškom režimu oticaja kreće se od 1:1 000 do 1:2 000 [1]. Autori [16] nalaze da su dodatni efekti od ugradnje 8-og agregata 12,76 GWh, dok se u [17] efekat ocjenjuje na 7,4 GWh. Proračun parametara u realnom vremenu, samo po osnovu iskorišćenja energije vode koja je izgubljena u ponorima, a koja bi bila iskorišćena ugradnjom 8-og agregata imala bi kao efekat dodatnu prosječnu godišnju proizvodnju od 106 GWh. Za HE Piva projektovana je prosječna godišnja proizvodnja 860 GWh, dok je ostvarena prosječna godišnja proizvodnja za period 1976-2016 iznosila 753 GWh. Kada bi se voda dotoka u HA Piva koristila pri maksimumu akumulacije proizvodnja bi iznosila 1.077 GWh. Naglašavamo da je raspoloživost agregata izvanredna ali režim korišćenja je nepovoljan. Za rijeku Zetu i Moraču generalno taj odnos je veći od 1:1 000 mada, obzirom da obadvije rijeke na dijelu toka povremeno presuše, matematički izraženo odnos maksimuma i minimuma je beskonačan.

Sa tačke gledišta optimalnih efekata proizvodnje električne energije nastoji se da se proizvodnja obavlja što duže tokom godine u vrijeme važenja visoke tarife. Akumulacije se upravo grade da se, između ostalog, obezbijedi takav režim korišćenja.

2.1. DOSADAŠNJI POSTUPCI PRORAČUNA PROTOKA I REŽIMA KORIŠĆENJA HIDRO POTENCIJALA

U postojećoj praksi režimi protoka definisani su na način što su za određene hidrološke nizove računati dnevni, nedjeljni, mjesečni ili godišnji prosjeci. Ovakav postupak je dovoljno tačan za određivanje ukupnih protoka kao i za sagledavanje određenih meteoroloških karakteristika. Korišćenje ovakvih proračuna za definisanje snage proizvodnih agregata i za optimalno korišćenje hidro potencijala nije dovoljno dobar, iako se zadržao u praksi sve do današnjih dana. Uvođenjem prosječnih vrijednosti gubi se iz vida realni karakter protoka. Greška se javlja zbog toga što računski "izravnati" protok za posledicu ima dobijanje veće proizvodnje od realne. Karakterističan slučaj su razmatrani projekti o opravdanosti ugradnje osmog agregata u HE Perućica. Metodologija prosjeka davala je za rezultat da će prosječna godišnja proizvodnja u HE Perućica radom sedam agregata iznositi 1 145 GWh i da bi eventualna ugradnja osmog agregata snage 0,060 GW povećala proizvodnju od 7 [17] do 15 GWh. [16] Analiza protoka u realnom vremenu pokazuje da je efekat ugradnje osmog agregata veći preko 10 puta od svih projekata po postojećim postupcima proračuna koristeći prosjeke. Slična je situacija i sa HE Piva gdje je projektovana prosječna godišnja proizvodnja 860 GWh dok je ostvarena 747 GWh. [4]. Ne radi se o tome da su ovi objekti loše vođeni naprotiv, objekti su dobro vođeni imaju dobru raspoloživost proizvodnih agregata, radi se o tome da metod proračuna treba mijenjati. Navedeni metodološki proračuni prisutni su i na projektovanim objektima u Crnoj Gori ali i u regionu.

2.2. NOV PRISTUP DEFINISANJU ENERGETSKOG HIDRO POTENCIJALA

Nov pristup je karakterističan prije svega po praćenju i izračunavanju svih parametara u realnom vremenu i nalazi su vezani za realno stvarno vrijeme. Ukoliko se na vodotoku gradi hidro akumulacija režim i promjene dotoka kao i stanje akumulacije takode se definišu u realnom vremenu i proračuni svih elemenata odgovaraju stanju u realnom vremenu. Na osnovu ovako proučenog realnog sagledavanja stanja moguće je adekvatno definisati kapacitete proizvodnih agregata tj. režim potrošnje vode za proizvodnju električne energije kao i definisanje potreba ostalih korisnika. U prioritetne zahtjeve spadaju i određivanje minimuma protoka i stanja akumulacija kao i minimiziranje preliva vode preko brana.

Sa energetske tačke gledišta teži se maksimalnoj proizvodnji u visokoj tarifi što se u principu postiže većim kapacitetom proizvodnih agregata i veličinom akumulacije. Kod definisanja veličine akumulacije uključeni su brojni faktori kao što su konfiguracija terena, naseljenost, razna ograničenja u prostoru kao i iznos investicija. Kod izbora veličine instalirane snage glavni ograničavajući faktor je iznos investicija. Predstava i proračuni u realnom vremenu omogućavaju realan uvid u sve elemente sistema za vremenski period za koji je izvršeno određeno skeniranje sistema [2].

3. METODE PRORAČUNA OČEKIVANE PROIZVODNJE

Predviđanje očekivane proizvodnje električne energije je od odlučujućeg značaja kako u fazi odlučivanja opravdanosti investiranja tako kasnije u fazi eksploatacije objekta. U primjeni su uglavnom dva postupka i to tradicionalni postupak računanja prosjeka za usvojeni hidrološki niz i prikaz i analiza elemenata sistema u realnom vremenu.

3.1. RAČUNANJE OČEKIVANE PROIZVODNJE RAČUNATO METODOM PROSJEKA

Kao što je obrađeno u odjeljku 2.1 metodom proračuna prosjeka vrši se računsko “izravnanje” dotoka u akumulaciju. U polaznoj osnovi ovog računa već se ugrađuje greška, jer će se dobiti veća očekivana proizvodnja od realne. Zbog navedenog “izravnjanja” takođe će se dobiti prividna mogućnost povoljnijeg upravljanja dotokom od realnog što će dati veću očekivanu proizvodnju od realne. Ovo se dešava zato što se uvođenjem u račun prosjeka gube (maskiraju) pikovi talasa koji se manifestuju kao gubici u vidu preliva što pored energetskih gubitaka stvara probleme sa poplavama nizvodno od akumulacija.

Ovo je moguće zapaziti kod svih projekata koji su rađeni u Crnoj Gori i u okruženju. Navedene konstatacije ilustrujemo projektovanim režimom za HE Veliko Andrijevo i nizvodne elektrane, [3] str. 53-57. Sračunatim nedjeljnim prosjecima projektovan je maksimalni dotok u akumulaciju 159 m³/s iako se brojnim dokumentima HMZCG navode dotoci i preko 800 m³/s. Zbog ovakvog proračuna u bilansima nema preliva niti na brani Andrijevu ni na nizvodnim elektranama, Pory [3] str. 53-57 na ovo ukazuje izjavom da treba preispitati hranjenje i pražnjenje akumulacija, za što Pory ima sopstveni softver. Usvajanjem postojećeg pristupa proračunima projektanti su nemoćni, jednostavno rečeno, nemaju odgovarajući alat.

3.2. ANALIZA OČEKIVANE PROIZVODNJE PRAĆENJEM PARAMETRA U REALNOM VREMENU

Primjenom analize prikazanih podataka u realnom vremenu, dotoka i stanja akumulacija kao i praćenje korišćenja vode iz njih vrši se stvaran uvid u stanje sistema a time i realno ostvarenje proizvodnje. Takođe se može izvršiti uvid kada se i u kakvim uslovima javljaju vidljivi gubici i na taj način se mogu preduzimati mjere za njihovo smanjenje ili otklanjanje. Od osobitog značaja je i realno sagledavanje stanja akumulacije što je preduslov da se nađu rješenja za njeno optimalno oblikovanje prema potrebama ambijenta, proizvodnje električne energije i pozitivnog uticaja na nizvodne objekte [2].

4. AMBIJENTALNI EFEKTI I PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U FUNKCIJI UPRAVLJANJA HIDRO POTENCIJALOM

Opšte je prihvaćeno stanovište da je za proizvođača električne energije najbolje rješenje koje obezbjeđuje najveću proizvodnju u višoj tarifi i da se pri tome ostvare što manji troškovi. Pri proizvodnji električne energije iz hidro energetskih objekata taj se cilj postiže proizvodnjom pri što većem nivou akumulacije.

Držanje akumulacije na visokom nivou može pri naglim povećanjima dovesti do preliva tj. do gubitaka energije što bi značilo da raspoloživa zapremina akumulacije nije racionalno korišćena. Maksimalnim korišćenjem “korisne zapremine akumulacije” gube se značajni efekti zbog manjeg korisnog pada.

Naši upravljači dobro znaju da koriste hidro potencijal na navedenim principima ali su ograničeni karakteristikama sistema koji su koncipirani koristeći za režime eksploatacije rezultate koji su dobijeni proračunima očekivanih režima na bazi prosječnih dotoka vode u sistem. U ovom odjeljku rada izvršeno je upoređenje efekata po postojećim konceptima sa efektima koji se mogu ostvariti primjenom novog postupka upravljanja hidro potencijalom u dijelu sliva rijeke Pive.

4.1. POSTOJEĆI KONCEPT KORIŠĆENJA HIDRO POTENCIJALA HE PIVA, HE KOMARNICA I HE KRUŠEVO

HE Piva

U dokumentu [4] str. 62-64 definisana je revitalizacija i unapređenje rada HE Piva. Osnovne karakteristike predloženih mjera su povećanje instalirane snage sa 0,342 GW na 0,363 GW i povećanje prosječne godišnje proizvodnje sa sadašnji 747 GWh na 800 GWh.

Za ostvarenje navedenih ciljeva predviđene su investicije od 70 miliona €. Godišnji troškovi rada ove elektrane uključujući i otplate navedenog kredita ne treba da pređu 15 miliona € što znači da proizvodna cijena električne energije iz ove elektrane ne treba da bude veća od 18 750 €/GWh, (18,75 €/MWh) što čini da je ova HE visoko profitabilna, imajući u vidu da se prema Futures, HuPX, predviđa za 2020. godinu cijena od 62 €/MWh.

HE Komarnica

Prema dokumentu [4], obrađeni su proizvodni parametri za izgradnju HE Komarnica po varijanti 1 sa kotom uspora 616 mm, i za varijantu 2 sa kotom uspora 610 mm. Između ostalih prednosti ističe se da varijanti 2 štiti kanjon Nevidio.

Kota preliva brane 810 mm povoljnija je i za opštinski centar Šavnik. Osnovne tehničke karakteristike za HE Komarnica po varijanti 2 su kako slijedi: kota maksimalnog uspora 810 mm, korisna zapremina 100 miliona m³, instalirana snaga 0,172 GWh, prosječni godišnji protok 21,6 m³/s, očekivana proizvodnja 227 GWh, Investicije 178 miliona €.

Interesantno je prokomentarisati tri ključna nalaza iz dokumenata Podrška upravljanju resursima u slivu reke Drine, World Bank Group. Prema konsultanskim uslugama [5] str.199 predviđene investicije za HE Komarnica su 322 miliona evra, očekivana prosječna godišnja proizvodnja 125,13 GWh. Ista radna grupa investicije procijenjuje na 322 miliona €, dok je očekivana proizvodnja 220,5 GWh [6], tabela 4, str. 28 . Suočena sa ovakvim nalazima World Bank Group predviđa za početak rada HE Komarnica 2034, [7], str. 36. Uvid u elementarne troškove kapitala i operativne troškove ukazuje na ekonomsku neodrživost projekta po navedenim konceptima.

Za ovaj rad smo se opredijelili za varijantu 2 prema [4], jer su parametri saglasni sa prezentiranim podacima iz studija i idejnih projekata. Ovo je inače i varijanta sa najpovoljnijim parametrima od svih, do sada, saopštenih dokumenata po postojećim konceptima.

Veoma uprošćena tehničko ekonomska analiza ukazuje da su pod uslovom da se izgradnja HE Komarnica finansira iz kredita sa rokom otplate od 12 godina i kamatom 4%, godišnji troškovi otplate kredita bi bili 18.393.000 €.

Ako se na ove troškove dodaju minimalni godišnji troškovi rada od 5.000.000 € očekivani godišnji troškovi rada HE Komarnica bi iznosili 23.393.000 €. Troškovi po 1 GWh bi iznosili 103.052,86 €. Polazeći od predviđanja cijene prema Futures, HuPX, od 62 000 €/GWh, pod navedenim pretpostavkama ostvaruje se gubitak od 41.052,86 €/GWh ili ukupno godišnje 9.318.000 €.

Ako se navedeni gubici akumuliraju za period otplate od 12 godina i diskontuju za taj period proizilazi da bi pod navedenim pretpostavkama investitor bio dužan kao na početku otplate investicija. Ovo je i odgovor zašto ovaj projekat nema investitora već 50 godina uprkos stimulansima i podsticajima koje nudi Vlada Crne Gore. Ovaj račun pokazuje kvalitet dosadašnjeg koncepta i razlog zašto ne dolazi do realizacije izgradnje HE Komarnica pa se zbog toga i dokumentom [7], kojim se razmatra obim ulaganja i očekivani efekti za energetske objekte u slivu rijeke Drine, predviđa da treba čekati još do 2034, tabela 3-11, str. 36.

HE Kruševo

Koncepcijsko rješenje za HE Kruševo 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 [4], [8], [9], i druge. Dokumentom [4] 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. Dokumenti [8] str. 333 i [9] str. 23 i ne pominju HE Kruševo, ali predlažu HE Komarnica ističući značaj za nizvodne objekte pri čemu interesi Crne Gore nijesu u fokusu. Autori su ipak svjesni značaja HE Komarnica pa zato predlažu zajedničko finansiranje, Dokumentom [7] predviđa se izgradnja HE Kruševo tek 2028. godine, tabela 3-11, str. 28, što je još jedan dokaz da po postojećem konceptu, u sadašnjem vremenu, HE Kruševo nije ekonomski održiv projekat.

Osnovne tehničke karakteristike sa manjim varijacijama su kako slijedi: lokacija 1 600 m uzvodno od sastava rijeke Pive sa rijekom Tarom; površina sliva 1.843 km², srednji godišnji protok 75,8 m³/s; velika voda 1.760 m³/s; kota nominalnog uspora 495 mm; kota minimalnog radnog nivoa 475 mm; ukupna zapremina akumulacije 25,4 miliona m³; korisna zapremina 18.000.000 miliona m³; instalirana snaga 0,120 GW; broj sati sveden na maksimalnu snagu prosječno godišnje 2.670; instalirani protok 240 m³/s. Svjetska banka [6] 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, tehno 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 ne povoljnost da je potrebna međudržavna saglasnost i podjela energije, zatim negativan uticaj na ambijent što čini da je status ovog projekta još uvijek ne izvjestan. 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 ne vidljiv za Crnu Goru.

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.

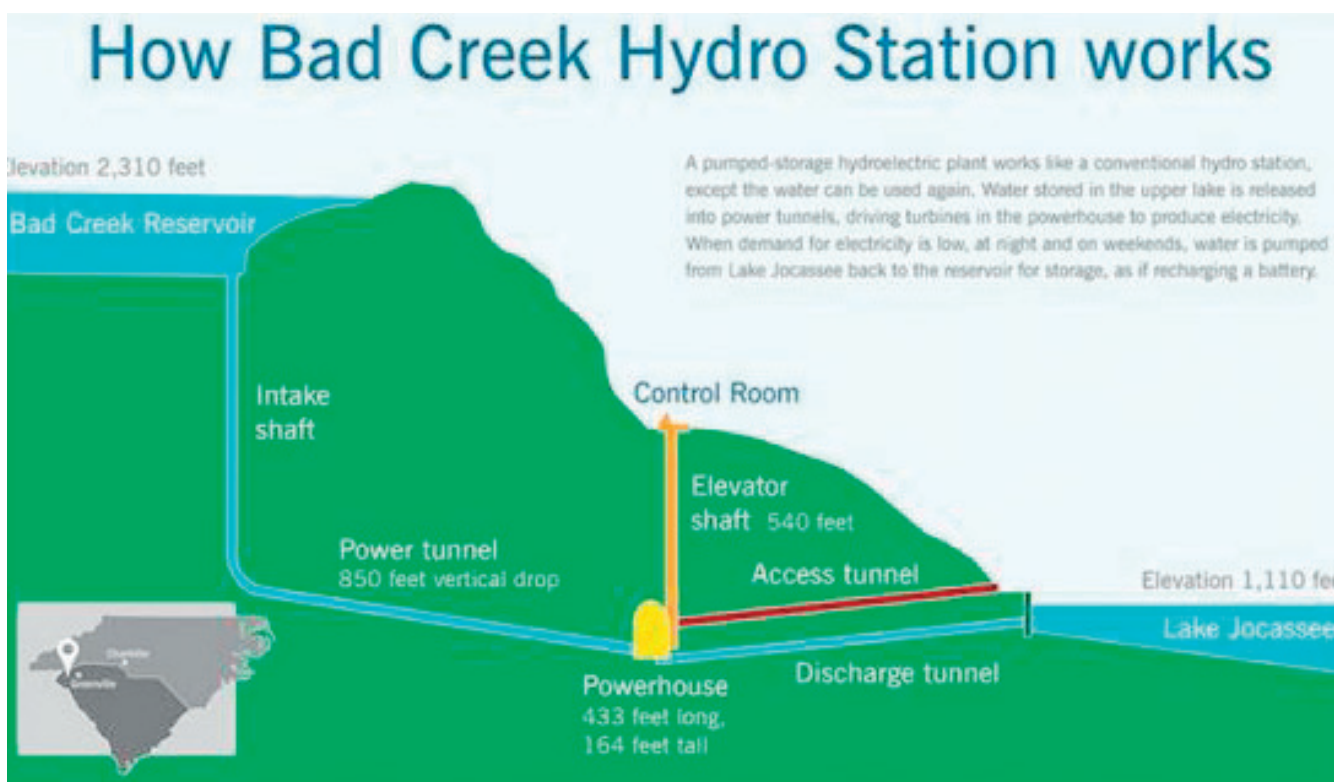
Poseban značaj pri oblikovanju novog pristupa posvećen je zaštiti čovjekove okoline. Postojeća rješenja bazirana su isključivo na radu na dotoku zbog čega je neminovno pražnjenje akumulacija zbog zahtjeva konzuma za energijom kao i zbog izbjegavanja gubitaka vode zbog preliva. Navedeni problemi uspješno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

4.2. EFEKTI UPRAVLJANJA HIDRO POTENCIJALOM SLIVA RIJEKE PIVE IZGRADNjom SISTEMA REVERZIBILNIH HIDRO ELEKTRANA

Budući da dobar dio naše stručne javnosti nije upoznat sa karakterom i značajem reverzibilnih hidro elektrana dajemo nekoliko osnovnih napomena koje se odnose na savremene svjetske trendove vezane za izgradnju i korišćenje reverzibilnih hidro elektrana.

Kao što se vidi na slici 1 voda gornjeg rezervoara se koristi u proizvodnom režimu visoke tarife radeći kao klasična hidro elektrana dok noću, vikendima i praznicima voda se iz donjeg rezervoara pumpa iz donje u gornju akumulaciju.

Interesantno je naglasiti da oko 66% troškova pri izgradnji reverzibilnih elektrana čini obezbjeđenje i izgradnja gornjeg i donjeg rezervoara. Odmah treba uočiti da mi koristimo postojeću Pivsku akumulaciju, dok za naše razmatrane sisteme nedostaju relativno jednostavni i povoljni objekti hidro akumulacije Komarnica i Kruševo. Oko 70% svjetskih kapaciteta reverzibilnih hidro elektrana nema značajan prirodni dotok već praktično “vrte” istu vodu. Predložene reverzibilne elektrane koje mi predviđamo imaju znatnu prednost, jer su sve profitabilne u režimu rada kao klasične hidro elektrane dok reverzibilan način rada “dođe” kao dodatna pogodnost čime smo obezbijedili stalnost nivoa obalnih linija ukupne dužine 164 km za 3 navedene akumulacija i dodatni visoki profit za predložene objekte.

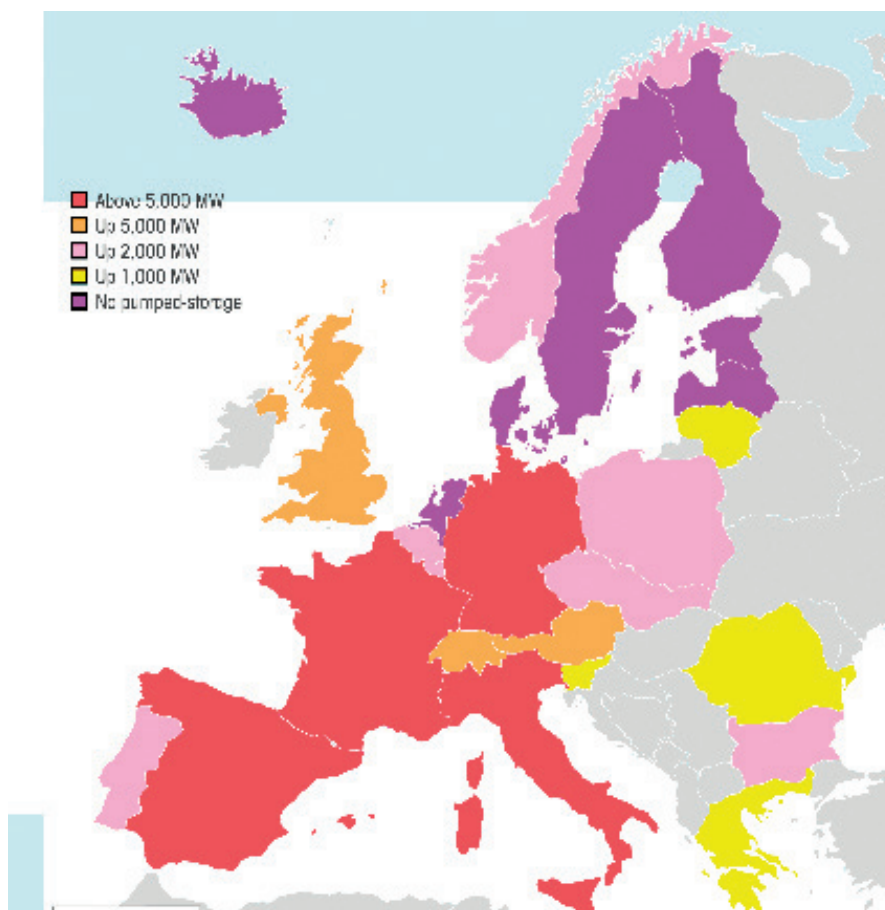


Slika 1 Šematski prikaz rada RHE BAD Creak prema lit. [10]

Kapaciteti Reverzibilnih hidro elektrana u Evropi.

Kao što se vidi na karti Evrope, slika 2 ne samo naša zemlja već i zemlje u okruženju nemaju izgrađenih značajnih kapaciteta reverzibilnih hidro elektrana što može da bude dodatna povoljnost za opravdanost izgradnje predloženih sistema na našim rijekama.

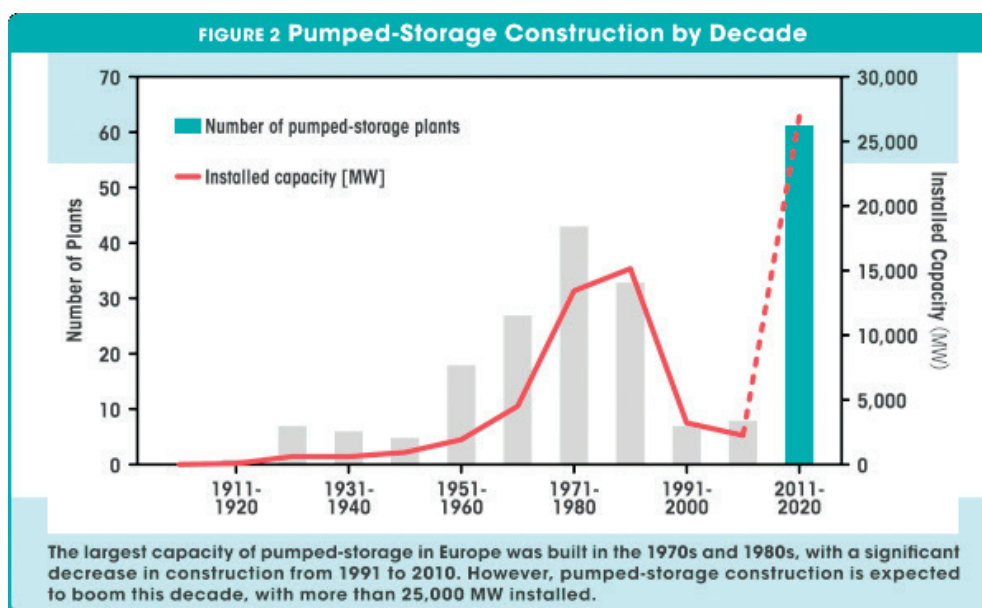
Kao što se vidi navedeni podaci su iz 2011 i situacija se značajno mijenja a mi ne treba da izostajemo od ovog trenda. Pošto volimo izraz “Lideri u regionu” evo lijepe prilike. U našem okruženju značajni su objekti jedino RHE Bajina Bašta 0,6 GW i Čapljina 0,44 GW.



Slika 2 Kapaciteti reverzibilnih elektrana u Evropi prema lit. [11]

Izgrađene i planovi za gradnju reverzibilnih hidro elektrana u Evropi

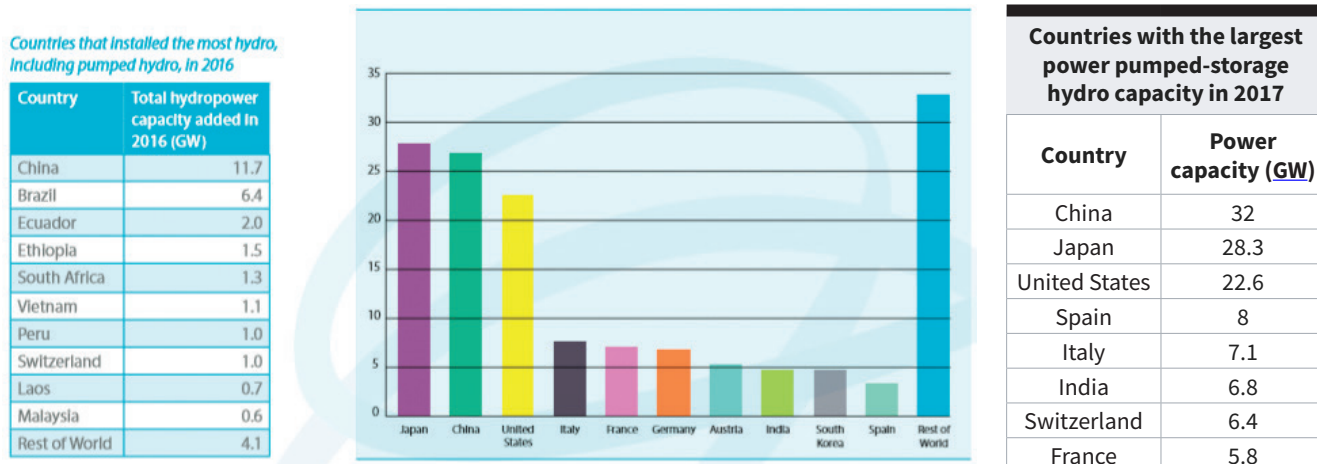
Na narednoj slici 3 vidi se aktuelizovana potreba ubrzane izgradnje novih kapaciteta reverzibilnih hidro elektrana u Evropi. Na povećane potrebe utiču mnogi faktori a naročito ubrzana izgradnja vjetro generatora i PV elektrana. Situacija u našem okruženju i u našoj zemlji takođe će zahtijevati izgradnju značajnih novih reverzibilnih elektrana obzirom na razvoj izgradnje vjetro generatora i PV elektrana.



Slika 3 Izgradnja kapaciteta reverzibilnih elektrana u Evropi po dekadama prema lit. [11]

Pregled svjetskih HE i RHE kapaciteta

U svijetu je u 2016 rast hidro kapaciteta bio rekordan sa novo izgrađenih 31,5 GW, slika 4. U navedene kapacitete uključeno je i 6.4 GW novo izgrađenih RHE, što je dvostruko više nego 2015 g.



Slika 4 Procijenjeni raspored hidro kapaciteta i reverzibilnih hidro elektrana u svijetu [12]

Instalirani svjetski kapaciteti hidro elektrana su 1,246 TW koji daju godišnju proizvodnju od 4,102 TWh. International Hydro power Association, IHA, procjenjuje da je ukupan svjetski instalirani kapacitet RHE 150 GW. U lijevom dijelu slike 4 prikazani su novoizgrađeni kapaciteti u svijetu dok je u desnom dijelu prikaz RHE kapaciteta po regionima. IHA naglašava da su navedeni podaci na osnovu sopstvene baze podataka i objavljenih publikacija.

Efikasnost reverzibilnih hidro elektrana

4.2.1. HE PIVA

Postojeći objekti na rijeci Pivi su hidro akumulacija Pivsko jezero i HE Piva. Navodimo nekoliko osnovnih tehničkih karakteristika uzetih iz [4], [5], [6] i [14]: ukupna zapremina akumulacije 880x106 m³; korisna zapremina 790x106 m³; prosječan godišnji protok 74,5 m³/s; instalirani protok 240 m³/s; instalirana snaga 0,360 GW; prosječna godišnja proizvodnja (1976-2007) 737 GWh; kota maksimalnog uspora 675 mnm; kota minimalnog radnog nivoa 595 mnm; 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 posledica rada u sistemu sa RHE Piva i RHE Kruševo.

4.2.2. OBJEKTI NOVE KONCEPCIJE I PROMJENA REŽIMA RADA HE PIVA

Objekti nove koncepcije na rijeci Pivi su RHE Piva. HA Kruševo, Derivacioni cjevovod HA Kruševo-RHE Kruševo, RHE Kruševo, ha Komarnica i RHE Komarnica. 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.

4.2.3. RHE 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 denivelacije akumulacije. Pumpni režim rada RHE Piva obezbjeđuje rad u višoj tarifi za HE Piva i RHE Piva. Osnovne tehničke karakteristike za RHE Piva su kako slijedi: instalirana snaga u proizvodnom režimu 0,360 GW; instalirani protok 240 m³/s; godišnji broj radnih časova u višoj tarifi 4.000 h; godišnji broj časova u pumpnom režimu rada 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.

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 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 [4], str, 63-65.
- Polazeći od prosječnog dotoka u HA Piva od 74,5 m³/s dobija se broj radnih časova na dotoku za HE Piva i RHE Piva pri potrošnji vode za punu snagu od 436 m³/s, je ukupno 1.496 časova.
- 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 m³ vode.
- Za 4.400 časova rada u pumpnom režimu pri kapacitetu pumpanja od 250 m³/s obezbjeđuje se 3.960.000.000 m³ vode što je više od potrebne količine

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

1. Obezbjeđuje 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. Eliminišu se prosječni godišnji gubici, koji nastaju zbog de nivelacije od 340 GWh.

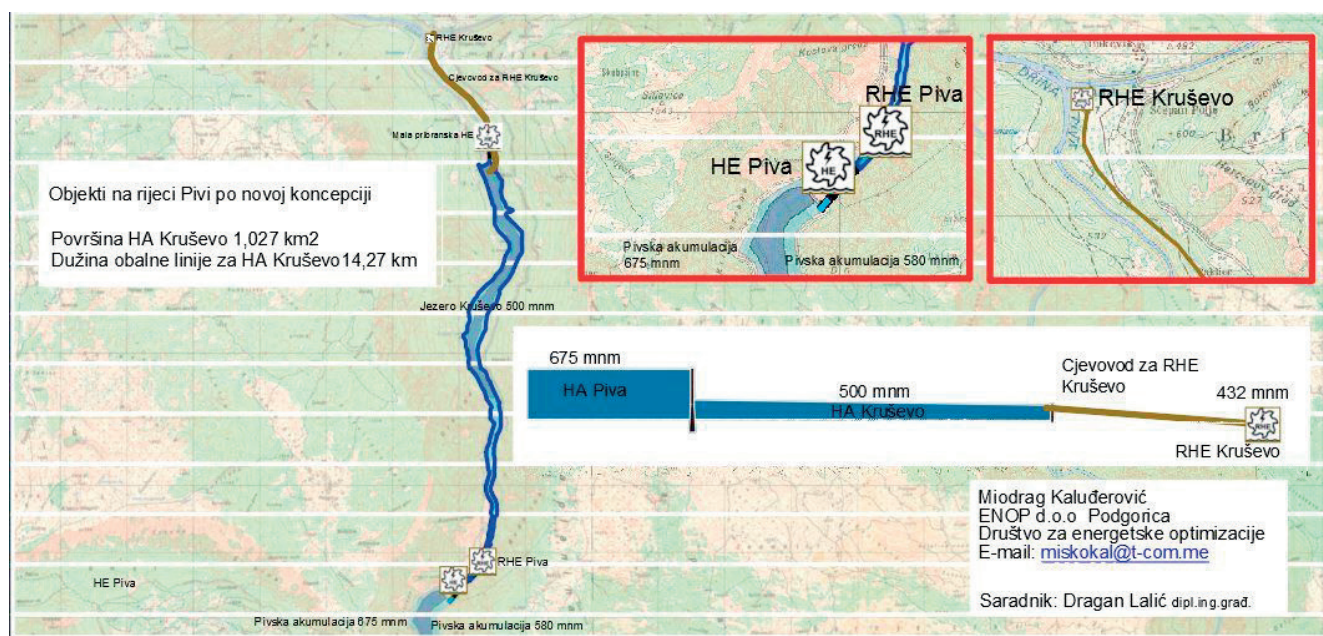
Investicije i troškovi

Ukupne investicije za RHE Piva iznosile bi 144.000.000 €. Troškovi kapitala, uz uslov da se dobije kredit na 12 godina i uz kamatnu stopu od 4%, su 14.880.000 €. Ostali operativni troškovi za RHE Piva su na nivou postojećih troškova za HE Piva od 5.000.000 €, što znači da bi u periodu otplate kredita troškovi rada HE Piva i RHE Piva iznosili 25.000.000 €. Na ove troškove treba dodati troškove nabavke električne energije u nižoj tarifi u iznosu od 79.624.000 €. Ukupni troškovi kapitala, rada i nabavke električne energije u nižoj tarifi su 104.504.000 €. Ukupan prihod bi iznosio kako slijedi: 177.940.000 €. Razlika prihoda i troškova je 73.436.000 €, pri čemu je očekivani period povraćaja investicija 2 godine.

4.2.4. RHE KRUŠEVO

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. [5] str. 37 i dr. U odjeljku 4.1 navedeni su glavni problemi zbog kojih je HE Kruševo na čekanju ili pod znakom pitanja.

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 (Slika 5).



Slika 5 Dispozicija objekata za upravljanje hidro potencijalom rijeke Pive

Osnovne tehničke karakteristike za RHE Kruševo su kako slijedi: gornja voda 495 mnm što je donja vod za RHE Piva i za HE Piva; površina sliva 1 843 km²; prosječan godišnji proticaj 75,8 m³/s; instalirani proticaj 480 m³/s; kota normalnog uspora 495 mnm; donja voda 432 mnm; korisna zapremina akumulacije 29 x10⁶ m³; 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 m³/s i potrošnje vode za punu snagu od 480 m³/s dobija se broj radnih časova na dotoku od 1.383 časova

Na osnovu gore navedenog slijedi da je za rad 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 m³ vode.

Za 4.400 časova rada u pumpnom režimu pri kapacitetu pumpanja od 480 m³/s može da se obezbijedi 7.603.200.000 m³, odakle slijedi da je mogući kapacitet pumpanja veći od potrebnog.

Investicije i troškovi

Ukupne investicije za RHE Kruševo iznosile bi 162.000.000 €. Troškovi kapitala uz uslov da se dobije kredit na 12 godina i uz kamatnu stopu od 4% godišnji troškovi kapitala 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 21.740.000 000 €. 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. Pozitivni efekti u RHE Kruševo se ostvaruju po dva osnova i to:

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

4.2.5. RHE KOMARNICA

Na osnovu tehničko ekonomskih pokazatelja, lit. [4], [5], [6] i [7] kao i datih proračuna u ovom radu u odjeljku 4.1 HE Komarnica ne može privući investitore. Svjetska Banka vrši korekciju iz izvorne dokumentacije za prosječno očekivanu proizvodnju sa 232 GWh na 125 GWh [5] str. 197-199 i procjenjuje investicije na 322 miliona evra. Kao što je pokazano u odjeljku 4.1 ovog rada neizbježni su veliki finansijski gubici bez obzira na predviđanja proizvodnje na 220 GWh od strane iste grupe [6] str. 28 čime možemo objasniti i odlaganje izgradnje ovog objekta koji može biti atraktivan ali u novom režimu upravljanja hidro potencijalom.

Promjena pristupa u upravljanju hidro potencijalom daje rješenje koje je ambijentalno i tehno ekonomski veoma povoljno, a sastoji se u osnovi u slijedećem: povećava se instalirani kapacitet i projektuje se reverzibilni režim rada dok brana, akumulacija i kota uspora ostaju kao i po ranijem rješenju prema varijanti 2 [4].

Osnovne tehničke karakteristike za RHE Komarnica su kako slijedi: gornja voda 810 mnm, donja voda 675 mnm što je gornja voda za RHE Piva i za HE Piva; prosječan godišnji proticaj 21,6 m³/s; instalirani proticaj 200 m³/s; korisna zapremina akumulacije 100 x10⁶ m³; tip brane betonska lučna; instalirana snaga 0,292 GW; Ukupna proizvodnja u višoj tarifi 1.168 GWh; Polazeći od prosječnog dotoka u HA Komarnica od 21,6 m³/s i instaliranog maksimalnog protoka od 200 m³/s dobija se broj radnih časova na dotoku punom snagom 946 časova. Prosječna godišnja proizvodnja na dotoku je 276 GWh; Proizvodnja električne energije u višoj tarifi po osnovu reverzibilnog rada 892 GWh. Potrebna energija za pumpanje 1.070 GWh.

U toku sedmice u visokoj tarifi je 80 časova ili godišnje 4.000 časova, pošto su dvije sedmice predviđene za remont. U toku sedmice broj časova u nižoj tarifi je 88 časova ili godišnje 4.400 časova pošto su dvije sedmice ostavljene za remont.

Na osnovu gore navedenog slijedi da je za rad 4.000 časova rada u višoj tarifi potrebno obezbijediti vodu za rad u pumpnom režimu dodatnih 3.054 časova rada za što je potrebno 2.198.880 000 m³ vode.

Za 4.400 časova rada u pumpnom režimu pri kapacitetu pumpanja od 200 m³/s može da se obezbijedi 3.168.000.000 m³ odakle slijedi da je mogući kapacitet pumpanja vode dovoljan za potpuno korišćenje elektrane za rad u višoj tarifi.

Investicije i troškovi

Ukupne investicije za RHE Komarnica iznosile bi 233.600.000 €. Troškovi kapitala uz uslov da se dobjije kredit na 12 godina i uz kamatnu stopu od 4% su 24.138.000 €. Ostali operativni troškovi za RHE Komarnica su na nivou od 5.000.000 €, što znači da bi u periodu otplate kredita troškovi rada RHE Komarnica iznosili 29.138.000 €. Na navedene troškove treba dodati troškove nabavke električne energije u nižoj tarifi u iznosu od 39.590.000 €. Ukupni troškovi kapitala, rada i nabavke električne energije u nižoj tarifi su kako slijedi: 68.728.000 €. Ukupan prihod bi iznosio 72.416.000 €. Razlika pri-

hoda i troškova je 3.688.000 €.

Pozitivni efekti u RHE Komarnica se ostvaruju po dva osnova i to:

1. Obezbeđuje se konstantan rad u visokoj tarifi tokom čitave godine u trajanju 4 000 časova čime se obezbeđuje proizvodnja od 1 168 GWh od čega GWh na prirodnom dotoku i 892 GWh po osnovu reverzibilnog rada.
2. Poboljšavaju se uslovi rada svih nizvodnih elektrana.

4.3. UPOREĐENJE EFEKATA PO POSTOJEĆEM PRISTUPU I PO NOVOM PRISTUPU UPRAVLJANJA HIDRO POTENCIJALOM

Zbirni obim proizvodnje objekata u dijelu sliva rijeke Pive prikazani su u tabeli 1

Tabela 1. Proizvodnja poslije izgradnje RHE Piva, RHE Komarnica i RHE Kruševo

R. br.	Objekat	Instal. snaga u GW	Proizv. na dotoku u GWh	Proizvodnja reverzibilnog rada u vis. tar. u GWh	Proizv. u vis. tarifi u GWh	Potrošnja energije za pumpanje u GWh	Neto proizvodnja GWh
1	2	3	4	5	6	7	8
1	HE+ RHE Piva	0,72	1.077	1.802	2.879	2.162	797
2	RHE Komarnica	0,292	276	892	1.168	1.070	98
3	RHE Kruševo	0,27	374	706	1.080	847	233
Ukupno		1,282	1.727	3.400	5.127	4.079	1.128

U tabeli 1 dat je prikaz kako slijedi: kolona 2 naziv objekata u sistemu Pive; kolona 3 instalirana snaga objekata koja ukupno iznosi 1,282 GW; kolona 4 prikazuje prosječnu godišnju proizvodnju na dotoku u iznosu od 1.727 GWh; kolona 5 prikazuje proizvodnju koja se može ostvariti po osnovu rada u reverzibilnom režimu prema 4.2.1- 4.2.5; kolona 6 prikazuje ukupnu proizvodnju u višoj tarifi od 5.127 GWh; kolona 7 prikazuje potrebne količine energije koju treba nabaviti u nižoj tarifi da bi se ostvarila dodatna proizvodnja u višoj tarifi prema koloni 5; kolona 8 daje neto proizvodnju sistema.

Tabela 2 Ekonomski efekti rada na dotoku i reverzibilnog režima rada

R. br.	Objekat	Instalirna snaga u GW	Investicije hiljada €	Proizvodnja u visokoj tarifi hiljada GWh	Vrijednost proizvodnje hiljada €	Troškovi proizvodnje hiljada €	Razlika proiz- trošk. hiljada €	Vrijeme povratka investicija u god.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	HE Piva + RHE Piva	0,72	144.000	2.879	177.940	104.504	73.436	2
2	RHE Komarnica	0,292	162.000	1.168	72.416	68.728	3.688	6
3	RHE Kruševo	0,27	233.000	1.080	66.960	53.079	13.881	5,5
4	Ukupno	1,282	539.600	5.127	317.316	226.311	91.005	

U tabeli 2 dati su zbirni efekti rada na prirodnom dotoku i reverzibilnog rada za HE Piva RHE Piva, RHE Komarnica i RHE Kruševo. Značenje kolona dato je kako slijedi: kolona 2 naziv objekta; kolona 3 instalirana snaga; kolona 4 investicije u milionima evra; kolona 5 proizvodnja električne energije u visokoj tarifi; kolona 6 daje vrijednost proizvodnje prema odjeljku 4.2.1- 4.2.5; kolona 7 daje troškove proizvodnje; kolona 8 daje razliku prihoda i troškova proizvodnje.

5. EKOLOŠKI ASPEKT

Zajedničko za sve razmatrane akumulacije je da, kada su na maksimumu ili blizu maksimuma predstavljaju prave dragulje u ambijentu. Nažalost, kada su prazne, pružaju ružnu i tužnu sliku nasilja nad prirodom. U tabeli br 3 date su osnovne karakteristike za HA Piva, HA Kruševo i HA Komarnica.

Tabela 3. Karakteristike akumulacija na rijekama Pivi i Komarnici

Redni broj	Naziv akumulacije	Dužina obalne linije km	Površ.akumulacije km ²	Ukupna zapremina akumulacije 10 ⁶ m ³	Projektovana oscilacija nivoa m
1	HA Piva	109	19	880	80
2	HA Kruševo	13,7	1,016	29	10
3	HA Komarnica	41,3	3,593	220	58
	Ukupno	164	23,609	1.129	

Iz tabele br. 3 vidimo da je ukupna dužina obalnih linija za razmatranih akumulacija 164 km što je više od 50% ukupne crnogorske jadranske obale (296 km). Iluzija je da se turizam može razvijati na degradiranoj oscilirajućoj obali. Nov koncept korišćenja hidro potencijala pruža uslove da su akumulacije na maksimumu ili blizu maksimuma tokom čitave godine čime naša jezera postaju rajске oaze za odmor i uživanje. (slika 6) Napominjemo da izgradnja uzvodnih akumulacija na relevantnim tokovima obezbjeđuje dalju minimizaciju oscilacija nivoa akumulacija.

Poseban značaj izgradnje predloženih reverzibilnih elektrana na rijeci Pivi je i u činjenici da se njihovim radom izravna veliki dio vode rijeke Tare bez intervencija u njenom kanjonu čime su stvoreni povoljniji uslovi za rad Niske HE (ili RHE) Buk Bijela. Izgradnja HA Niska Buk Bijela povoljno utiče na rad RHE Kruševo a time i na čitav sistem elektrana na rijeci Pivi.

Tok rijeke Pive od Brane HA Piva do ušća u dužini od 9,5 km sada je devastiran. Po novom konceptu dio sada devastiranog toka biće pretvoren u HA Kruševo, dok će dio od brane Kruševo do ušća imati stalan tok jer će biti izgrađena mala pribranska elektrana koja bi radila kontinualno [15] str. 137-139.



Slika 6 Efikasnost ali i unapređenje ambijenta lit. [13]

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad zajedno sa radovima koje smo ranije objavili na savjetovanjima i publikacijama IKCG doprinos je savremenom upravljanju hidro potencijalom Crne Gore a time i doprinos njenoj ekonomskoj stabilizaciji.

Realizacija izgradnje sistema elektrana na Pivi i Zeti stvara uslove da se TE 1 u Pljevljima koristi kao hladna rezerva u sistemu a da se ugalj iz Rudnika Pljevlja efikasnije koristi za proizvodnju cementa.

Energetska stabilnost i moguća visoko profitabilna proizvodnja električne energije nužan su uslov za obnavljanje industrije aluminijuma.

Navedeni zaključci ukazuju da realizacija izgradnje objekata na rijeci Pivi nije samo energetska potreba već i važan razvojni poduhvat za stabilizaciju privrede Crne Gore.

LITERATURA:

- [1] G. Sekulić, M. Radulović, Hidrologija slivova rijeka Morače, Zete i Pive, PPP, Podgorica, 2016
- [2] Kaluđerović, Korišćenje hidro potencijala Zete i Pive u kontekstu nove paradigme, PP prezentacija, Ing. komora CG, Okrugli sto, decembar 2016
- [3] Tehnička i ekonomska analiza za elektrane na Morači, Izvještaj za IFC, Decembar 2009. godine.
- [4] Strategija razvoja energetike Crne Gore do 2030, Akcioni plan 2016/2020, Ministarstvo ekonomije, Decembar 2015
- [5] Podrška upravljanju vodnim resursima reke Drine, Crna Gora-IRWM Studija i plan, Sveska 1- Glavni izvještaj, Jun 2016. godine.
- [6] Podrška upravljanju vodnim resursima reke Drine, Crna Gora-IRWM Studija i plan, Sveska 1- Krovni izvještaj, Jun 2017. godine.
- [7] Podrška upravljanju resursima u slivu reke Drine u programu WEAP, World Bank Group, jun 2017,
- [8] Vodoprivredna osnova Crne Gore, Vlada Crne Gore, 2001, godine
- [9] Budući razvoj vodoprivrede,,Separat iz VOP 2001. godine
- [10] www.google.com.ph/search?q=How+Bad+creek+Hydro+Station+works+images
- [11] www.hydroworld.com/articles/print/volume-19/issue-3/articles/new-development
- [12] www.hydropower.org/sites/default/files/publicationsdocs/2017%2Key
- [13] <http://voith.com/corp-en/industry-solutions/hydropower/pumped-storage-plants.html>
- [14] CEDIS - jun 2017, Hidroelektrana Piva
- [15] IKCG, Zbornik radova, Prvi dani SKEI, Podgorica, Oktobar, 2017.
- [16] Projekat „Proračun moguće proizvodnje 8-og agregata“ Energoprojekt, Beograd april 2001, str 6
- [17] Projekat „Izrada investiciono tehničke dokumentacije za ugradnju 8-og agregata“, IBE d.d.o Ljubljana u dokumentu Mart 2007

KLJUČNA PITANJA USKLAĐIVANJA METODOLOGIJE ZA IZRADU I OCJENU INVESTICIONIH PROJEKATA U HIDROENERGETICI SA SAVREMENIM TOKOVIMA KOD NAS I U SVIJETU

Mr Slobodan J. Perović

Kratak sadržaj: Dalekih šezdesetih, sedamdesetih godina prošlog vijeka postavljena je osnova metodološkog pristupa izradi i ocjeni investicionih projekata u hidroenergetici, koja uglavnom pokriva period do današnjih dana. Dosadašnji pokušaji da se inovira metodologija u skladu sa najvišim tržišnim zahtjevima nijesu pokazali značajnije rezultate.

Jedno od polaznih metodoloških pitanja koncipiranja investicionih projekata, je odnos projekta i okruženja. Na izbor metodološkog pristupa bitno utiče karakter ekonomskog ambijenta, kao i odnos države i njenog oblika organizovanja.

Prirodni ambijent opredjeljujuće utiče na koncipiranje metodologije za izradu i ocjenu investicionih projekata u hidroenergetici. Planinske rijeke imaju svoje zakonitosti, u odnosu na ravničarske rijeke, a te zakonitosti moraju biti zastupljene u metodologiji.

Rad se bavi usklađivanjem metodologije za koncipiranje investicionih projekata iz hidroenergetike kod nas, sa savremenim tržišnim tokovima u svjetskoj hidroenergetici.

Ključne riječi: Metodologija; Projekat; Hidroenergetika; Hidrologija; Instalirani protok; Tržište.

Abstract: The existing base for methodological approach in evaluation and development of investment projects in the area of hydropower potential dates back in late 60s and 70s of the last century and mainly covers the period up to the present day. So far attempts to innovate the methodology in accordance with highest market requirements have not showed significant results.

Among others the basic methodological issues of conceiving investment projects is the relation between the project and the environment. The methodological approach is significantly influenced by economic environment as well as relations between the State and its form of organization.

The natural environment impacts the conceptualization of the methodology. Mountain rivers have

their own flows and processes and comparing to flatland rivers there are significant difference which have to be presented through the methodology.

This study deals with harmonization of the methodology for the conception of investment projects in the area of hydropower in our country, applying market trends in the world hydroenergy and power industry.

Key words: Methodology, Project, Hydroenergy, Hydrology, Installed flow, Market.

1. UVOD

Poslednjih trideset godina u svijetu je razvijena metodologija za izradu i ocjenu investicionih projekata u hidroenergetici, integralno povezujući tehničke, ekonomske, ekološke i druge aspekte izrade, analize i ocjene projekata. Aktuelni projekti u hidroenergetici u Crnoj Gori urađeni su pedesetih (HE Perućica), sedamdesetih (HE Piva) i osamdesetih godina prošlog vijeka (današnja verzija HE Morača), a neki od njih revidovani su poslednji put oko 2000.godine.

Postojeći projekti počivaju na naslijeđenoj metodologiji sedamdesetih godina prošlog vijeka, koja je važila na prostoru SFRJ. Metodologija za izradu i ocjenu investicionih projekata (u daljem tekstu: Metodologija) bila je usaglašena sa privrednim i društvenim zahtjevima SFRJ u tom vremenu. Rad se bavi nekim od elementarnih pitanja metodologije za ocjenu investicionih projekata u hidroenergetici. Pod elementarnim pitanjima podrazumijevamo: uslove za primjenu Metodologije, pripremne radnje za formiranje ulaznih podataka i konzistentnost ulaznih podataka za primjenu Metodologije. Rad se bavi i usklađivanjem Metodologije sa aktuelnim tokovima u savremenoj hidroenergetici. Problematika je fokusirana na sledeće aspekte Metodologije:

Prvi aspekt se bavi energetske ambijentom za nastanak i funkcionisanje Metodologije. Upoređivanje tadašnjeg ambijenta sa sadašnjim je preduslov za usklađivanje Metodologije sa sadašnjim zahtjevima.

Drugi aspekt se bavi nekonzistentnošću ulaznih podataka na kojima počiva Metodologija za izradu hidroenergetskih projekata i za rangiranje projekata u Jugoslaviji do devedesetih godina. Nekonzistentnost ulaznih podataka u današnjim uslovima vodi razvojnoj blokadi sistema i investicionim promašajima.

Treći aspekt se odnosi na trajanje te nekonzistentnosti do današnjih dana, što znači da ovo nije samo pitanje privredne istorije prethodne Jugoslavije i Crne Gore, već i aktuelno i otvoreno metodološko pitanje sadašnje hidroenergetike Crne Gore.

Četvrti aspekt se odnosi na usaglašavanje Metodologije sa savremenim tokovima u hidroenergetici.

Predmet ovog rada nije elaboracija – „kopanje po problemima minulog vremena”, tako da ćemo to ostaviti po strani, uz obavezne napomene:

Prvo, nije problem, ni ranije ni danas, u prirodnim datostima tipa konfiguracije terena i geografskih karakteristika, u hidrogeologiji, u reljefu i dr., kao datim vrhunskim elementima, koji nude najbolje performanse za rad HE Perućica.

Drugo, HE Perućicom su operativno upravljali vrhunski inženjerski timovi, tako da je i to područje eliminisano, kao mogući generator problema tipa krutog - neelastičnog sistema.

Treće područje pripada projektovanju HE Perućica i drugih hidroenergetskih objekata u Crnoj Gori. To područje treba pažljivo preispitati. Preispitivanje je potrebno, pored ostalog i iz prostog razloga što je neophodno izvršiti usklađivanje projektnih metodoloških zahtjeva od prije pedeset ili šezdeset godina sa zahtjevima današnjeg vremena. Jedno su bile projektne metodologije pedesetih, šezdesetih i sedamdesetih godina prošlog vijeka, a drugo su danas. U tom vremenu projekat HE Perućica je zadovoljavao sve potrebe Crne Gore i HE Perućica je dugi niz godina radila za potrebe Jugoslavije. Kod razmatranja ovih pitanja, vremenska distanca se obavezno mora uvažavati i sa puno poštovanja odnositi prema graditeljima i pregaocima tog vremena. Medjutim, takav odnos nas ne oslobađa obaveze da intenzivno nastavimo sa metodološkim usklađivanjima sa zahtjevima savremene prakse

u oblasti projektovanja, ocjene i izbora najboljih projektnih rješenja. Dalji kritički odnos prema prethodnom vremenu, tumačićemo kao neophodnu dozu istraživačkog potsticaja u cilju pronalaženja najboljih metodoloških rješenja danas.

Svrha rada je da se rezultati istraživanja približe široj stručnoj javnosti, kako bi isti bili predmet analize, kritike i provjere. Posebno, svrha rada je da spriječi nastanak ogromnih štetnih posledica koje donosi eventualna realizacija postojećih projekta koncipiranih sa tkz. “sistematskom greškom” ili “konstrukcionom greškom” u Metodologiji projektovanja i ocjeni efikasnosti projekata u hidroenergetici Crne Gore.

2. NASLIJEĐENI ENERGETSKI AMBIJENT ZA REALIZACIJU HIDROENERGETSKIH PROJEKATA

Kratka interpretacija naslijeđenog ambijenta za realizaciju i ocjenu hidroenergetskih projekata u Crnoj Gori i Jugoslaviji je oslobođena istorijske dimenzije i ograničena je i po dubini i po širini, samo na komponente i dimenzije koje su i danas od uticaja na realizaciju i ocjenu investicionih projekata u hidroenergetici Crne Gore. Poznata je činjenica da je sedamdesetih godina prošlog vijeka Jugoslavija “prespavala” dva svjetska energetska šoka, tj. dvije energetske krize. Savezna država je gradila hidroelektrane, a izvođači su bili firme koje su imale bogato iskustvo sa gradilišta nerazvijenog - kolonijalnog svijeta (Afrike, Srednje Amerike i Južne Amerike). Za gradnju hidroelektrana u Jugoslaviji trošeni su novci Savezne države, prostor se nije štedio, ekologija nije bila aktuelna, a o spomenicima kulture se vodilo donekle računa samo ako pripadaju svjetskoj kulturnoj baštini. Hidroenergija je bila u prvom planu, što proizilazi i iz postavke tadašnjeg političkog sistema: “Elektrifikacija + industrijalizacija + socijalistička vlast =..” Kad se ova politička platforma kombinuje sa iskustvom trošenja prostora i državnih finansija, vodećih firmi u energetici i građevinarstvu, ostaje stiješnjen prostor za dobru Metodologiju. Ipak, Metodologija je postojala, adekvatna zahtjevima tog vremena, makar formalno i na površini poslovne stvarnosti. U stručnom pogledu, na domaćem i međunarodnom planu, bilo je prestižno imati Metodologiju. Sa metodologijama se po pravilu uvijek dobro pokrivaju određeni interesi centara moći i politike. Projekti su rangirani na nivou Jugoslavije, što imponantno zvuči. Simulirano je tržište investicija. Tim tržištem se ipak upravljalo vantržišnim zakonima. Jedni su zahtjevi, metode i kriterijumi u uslovima kad država pravi hidroelektranu, a njen proizvod nije tržišni proizvod ili je kvazi tržišni, a drugi su zahtjevi kad je električna energija berzanska roba.

Naš energetska ambijent postaje konfliktan na relaciji: energija – ekologija – potapanje – raseljavanje - na kraju i ekonomija, jer državni kapital osamdesetih godina, sve više se zamjenjuje komercijalnim kapitalom. Gradnja jedne elektrane zahtijeva kupovinu znanja - koncepta razvoja energetike tj. hidroenergetike, strategije razvoja energetike, projektne dokumentacije, ocjene isplativosti i izbor najboljih rješenja i najboljih projekata. Znanja iz oblasti Metodologije, na prostoru Crne Gore i danas su oskudna, a može se pretpostaviti kakva su bila prije 40 ili 50 godina.

Rezultat takvog ambijenta pedesetih, šesetih i sedamdesetih godina prošlog vijeka bio je:

- potapanje kanjona rijeke Pive
- potapanje Nikšićkog polja – HA Liverovići, HA Krupac, HA Vrtac i HA Slano
- potapanje crnogorskog dijela Bilećkog jezera
- „udar” na Moraču u centralnoim dijelu – četiri elektrane na Morači, a restlovi (pritoke) nijesu isplative?

Nepripremljeni za prelazak na viši poslovni nivo u integralnom upravljanju rijekama, politika preko Metodologije istrajava u odbrani stečenih pozicija. Mi smo i dalje zadržali razvojne ciljeve u energetici usmjerene prema najboljim djelovima rijeka, smatrajući da će energija preporučiti rijeke i društvo. U međuvremenu, energetska kriza sedamdesetih godina, natjerala je savremeni svijet da integralno koristi sirovine i energiju. Tehnološki gledano, sve se koristi, ništa se ne baca, istražuju se granična

područja tehnologija i preko njih se testira tehnološka cjelina. Rijeke se koriste integralno, upravljajući rijekama, a ne energijom.

Krajem osamdesetih godina prošlog vijeka, na nivou Jugoslovenske elektroprivrede, napravljen je pokušaj da se inovira Metodologija, koja datira iz šezdesetih i sedamdesetih godina. U tom vremenu, kritična masa znanja sistem inženjera bila je mala, da bi preovladala. Na projekat se gledalo kao na zbir autonomno izrađenih djelova, koji u zbiru čine cjelinu projekta. Pokušaj se sveo samo na inovaciju formalne i kozmetičke dimenzije postojeće Metodologije, sa i dalje netržišnim pristupom..

Raspadom Jugoslavije i osamostaljenjem Crne Gore, na prvi pogled ništa se bitnije nije desilo kod izrade i ocjene investicionih projekata u hidroenergetici. Umjesto da se donose odluke u jačoj konkurenciji na nivou SFRJ ili SRJ, odluke se donose na nivou Crne Gore. Ako se projekti doživljavaju kao mehaničke tvorevine, kao „slagalice”, onda je to tako. Nasuprot tom pristupu, autor ovog rada pripada drugoj projektantskoj školi koja njeguje pristup da su projekti „živa materija”, „živ organizam” sa dalekosežnim uticajem na privredno i društveno biće Crne Gore, da kroz projekat protiče u oba smjera više dimenzija i one ne poznaju autonomnost djelova projekta.

3. NEKONZISTENTNOSTI METODOLOGIJE ZA IZRADU I RANGIRANJE HIDROENERGETSKIH PROJEKATA U SFRJ

3.1. RAVNIČARSKI I PLANINSKI-BUIČAVI RJEČNI TOKOVI

Prirodni ambijent koji uključuje: geografske, klimatske, hidrološke i hidrogeološke uslove, daje bitan pečat hidrološkim mjerenjima i njihovoj upotrebi u dužem istorijskom nizu. Od kvaliteta mjerenja i izbora statističkog niza, zavisi uspješno simuliranje budućih hidroloških nizova, koji su podloga za projektovanje proizvodnog kapaciteta buduće hidroelektrane. Metodologija projektovanja hidroloških nizova, pored mjerenja u dužem periodu, obavezno kooptira ključna obilježja rječnih tokova, koji se uglavnom, kako je opšte poznato, svrstavaju u dva tipa i to u: 1) ravničarski rječni tokovi i 2) planinski-buičavi rječni tokovi.

Opšte je poznato da su ravničarski tokovi mirni i prilično ujednačeni tokovi, gdje sedmični prosjeci protoka odražavaju realne dnevne protoke. Za ravničarske rijeke prosječni godišnji protok, izveden na bazi prosječne krive trajanja sedmičnih protoka, u odnosu na instalirani protok na turbini, projektuje se najčešće u relaciji do 1:3 u prilog instaliranog protoka elektrane.

Takođe je opšte poznato, da su planinske – buičave rijeke, kao što im i naziv kaže, buičave i brze, tako da se za kratko vrijeme formira velika količina vode velike energetske i erozione snage, koje isto tako brzo prođu. Jedan dan je dovoljan interval za promjene i izvođenje dnevnog prosjeka. Veći vremenski intervali, kao trodnevni ili sedmični ne odgovaraju prirodnim oscilacijama rječnih tokova ili ritmu po kojem pulsira planinska-buičava rijeka. Svaka projektna simulacija, kod planinsko-buičavih tokova, izvedena na bazi prosječne krive trajanja sedmičnih prosjeka, daje pogrešnu projektantsku podlogu za projektovanje kapaciteta elektrane, kao i pogrešnu projekciju malovodnih dana i viševodnih dana. Planinske – buičave rijeke, prema Prof. dr Goranu Sekuliću, Univerzitet Crne Gore – Građevinski fakultet Podgorica i Prof.dr Branislavu Đorđeviću, Beogradski univerzitet - Građevinski fakultet, karakteriše sledeće: „Oblik i gradijenti dijagrama trajanja protoka bitno zavisi i od tipa ulaznih podataka – jesu li proticaji srednji dnevni, srednji mjesečni ili srednji godišnji. Za sve vidove planiranja, posebno za planiranje MHE, verodostojnu, najpotpuniju informaciju pružaju krive trajanja dobijene na osnovu srednjih dnevnih proticaja.”[1] Kod planinskih-buičavih rijeka projektuje se protok vode na turbinu, po pravilu, veći od 1:3, a kreće se do 1:10 i više, zavisno od krive trajanja dnevnih protoka i ostalih pratećih faktora koji utiču na ukupno projektovanje elektrane.

3.2. REZULTATI PRIMJENE PROSJEČNE KRIVE TRAJANJA SEDMIČNIH PROTOKA U CRNOJ GORI

Prema radu R. Žugaj, Ž. Andreić, K. Pavlič, L. Fuštar, Krivulja trajanja protoka [2], "Krivulja trajanja protoka, posebice u hidroenergetici, jedna je od najvažnijih hidroloških podloga jer predstavlja osnovu za definiranje krivulje snaga-trajanje (power-duration curve) na temelju koje se određuje moguća snaga vodotoka. Međutim, redovito su s iznimkom V. Jevđevića u stručnoj literaturi one vrlo sažete, a često i samo djelomično obrađene."

U Crnoj Gori su sve elektrane projektovane i izvedene na bazi proračuna protoka na bazi trajanja sedmičnih prosjeka i sa odnosom prosječnog protoka rijeka, prema instaliranom protoku, kako slijedi: HE Perućica približno 1:2 i HE Piva približno 1:3. U zoni projektovanja, odnos između prosječnog protoka i instaliranog protoka je: 4HE na Morači približno 1:3; HE Komarnica 1:6; HE na pritokama Morače 1:3. To što su sa takvim hidrološkim proračunom i projektovanim instalisanim protokom izvedene HE Perućica i HE Piva pedesetih, šezdesetih i sedamdesetih godina, nije bio vidljiv problem, jer je sistem i energetska ambijent, dat u glavnim naznakama u tački 2., to „prihvatao bez problema”. "Prihvatanje bez problema" ima svoju cijenu. Sa sedmičnim prosjecima kod planinskih- buičavih tokova, kakva je Zeta neprirodno se „peglažu" ekstremi, prevode u prosjeke i dobija se uravnotežen protok, što ne odgovara stvarnom protoku. Projektovani hidrolški nizovi ne konvergiraju sa ostvarenim. Postavlja se pitanje kvaliteta projektantskih hidroloških podloga za projektovanje proizvodnog kapaciteta. Gubi se mogućnost projektovanja preliva, projektovanja i mjerenja dotoka iz izdanih i projektovanja i mjerenja gubitaka na poniranje. Ta mjerenja su veoma aktuelna u kraškim područjima kakvo je Nikšičko polje. Te količine vode nijesu zanemarljive u zoni projektovanja i realizacije, a posebno ta mjerenja su veoma bitna u formiraju podloga, indikatora i instrumenta za projektovanje daljeg razvoja i unapređenja hidroenergetskog sistema HE Perućica. Nije svejedno da li HA Slano ima 4 m³/s gubitaka ili više od 10m³/s. Rezultat takvog „prihvatanja bez problema" je formiranje krutog-neelastičnog sistema, koji se ponaša kao limitiran sistem, bez mogućnosti dogradnje, iako nezavršen, a projektovan prije više od 60 godina za rad sa 307MW, koji još nije postignut.

Rezultati primjene prosječne krive trajanja sedmičnih protoka u Crnoj Gori je taj, da HE Perućica ne može da prihvati proširenje u pravcu korišćenja voda HA Liverovići, jer se vode HA Liverovići vremenski ne uklapaju u potrebe HE Perućica? Takođe, hidroenergetski sistem HE Perućica ne prihvata "Agregat 8", jer je neisplativ? Prevode se male i srednje vode Zete u Krupac i Slano, umjesto velikih voda?

3.3. REZULTATI PRIMJENE PROSJEČNE KRIVE TRAJANJA DNEVNIH PROTOKA U CRNOJ GORI

3.3.1. REZULTATI PRIMJENE PROSJEČNE KRIVE TRAJANJA DNEVNIH PROTOKA NA "AGREGAT 8"

Pitanje izvođenja hidroloških nizova na bazi dnevnih prosjeka ili sedmičnih prosjeka je pažljivo testirano na hidroenergetskom sistemu HE Perućica sa osvrtom na proračun efekata uvođenja "Agregata 8" u proizvodnju. Na bazi sedmičnih prosjeka, Energoprojekt je 1986.godine prvi put i 2001.godine drugi put izveo proračune dodatne proizvodnje uvođenjem u proizvodnju "Agregata 8" i izračunao da dodatna proizvodnja iznosi 12,76GWh godišnje. Projekat je odložen za realizaciju na neodređeno vrijeme (već 36 godina) zbog ekonomsko finansijske neisplativosti. IBE Ljubljana, je 2007.godine, izračunao na bazi preuzetih hidroloških podloga sedmičnih prosjeka, da dodatna proizvodnja "Agregata 8" iznosi 7,4GWh godišnje. Projektantski tim ENOP-a izveo je proračune kompletnog Hidroenergetskog sistema HE Perućica na bazi prosječnih krivih trajanja dnevnih prosjeka i u dijelu koji se

odnosi na "Agregat 8", došao do rezultata da dodatna proizvodnja iznosi preko 120GWh godišnje, zavisno od prihvata koncepta integralnog upravljanja potencijalom Zete. Razlika je velika da bi se zanemarivala. Da li je ugradnja "Agregata 8" neisplativa ili su se proračuni zasnivali na pogrešno izabranim podlogama?

3.3.2. REZULTATI PRIMJENE PROSJEČNE KRIVE TRAJANJA DNEVNIH PROTOKA NA PRORAČUN PRILIVA IZ IZDANA, GUBITAKA PO OSNOVU PONIRANJA, PROBLEMA PREVOĐENJA ZETE U KRUPAC I SLANO I AKTIVIRANJE HA LIVEROVIĆI

Primjenom prosječnih krivih trajanja dnevnih protoka, prvi put su izmjereni - izračunati dnevni prilivi iz izdana i dnevni gubici po osnovu poniranja u hidroakumulacijama Krupac i Slano. Izračunati gubici HA Slano su preko $10\text{m}^3/\text{s}$, što je sasvim drugo u odnosu na višedecenijski podatak da su gubici oko $4\text{m}^3/\text{s}$. Hidroenergetski sistem treba osloboditi blokada koje su prouzrokovane upotrebom hidroloških podloga na bazi sedmičnih protoka, za koje se projektant opredijelio prije više od pola vijeka. Kad se hidroenergetski sistem oslobodi blokada, primijenom prosječne krive trajanja na bazi dnevnih protoka, HA Liverovići postaje vitalni element hidroenergetskog sistema HE Perućica, "Agregat 8" postaje veoma isplativ, a prevođenje Zete u Krupac i Slano potrebno je preprojektovati primijenom prosječne krive trajanja na bazi dnevnih protoka, sa projektovanim i izračunatim dnevnim prilivima i dnevnim gubicima hidroakumulacija Krupac i Slano. Da je to urađeno na bazi dnevnih protoka, ne bi se desilo da se projektuje hidrotehnički tunel za prevođenje vode iz Krupca u Slanog na nivou od $32.5\text{m}^3/\text{s}$. Proračun dnevnih priliva izdani u Krupcu potvrđuju da su isti u maksimumu do $40\text{m}^3/\text{s}$. To znači da će Krupac tih dana da prelijeva sa količinom vode do $40\text{m}^3/\text{s}$, jer hidrotehnički tunel Krupac - Slano ne može da prihvati prilive iz izdana Krupca. Na taj način se obesmišljava ideja o prevođenju, jer ona ne funkcioniše kad je najpotrebnije, tj, u vrijeme velikih voda.

Nemogućnost izvođenja tačnih proračuna priliva i gubitaka u hidroakumulacijama Krupac i Slano, utemeljila je praksu da se ove akumulacije, prema proračunu u periodu 1995-2005.godina koriste prosječno godišnje sa $180.813.000\text{m}^3$. Neto zapremina krupca i Slanog je oko 140mil.m^3 . Na bazi mjerenja priliva iz izdana i mjerenja gubitaka po osnovu poniranja, izvedeni proračun prosječnog godišnjeg priliva u ovim akumulacijama za isti period, iznosi $576.442.000\text{m}^3$, što upućuje na podatak da se ove akumulacije koriste sa oko 32%. Nedostatak proračuna priliva i gubitaka akumulacije Krupac i Slano, ne nudi smislenu postavljanje razvojnih ciljeva, jer u tim uslovima se ne zna da li je korišćenje hidroakumulacija 32% ili je 82% ili 100%? Ne postoji egzaktni podatak o korišćenju voda akumulacija Krupac i Slano. Nakon prelaska na proračun primjenom dnevnih krivih trajanja protoka i obezbjeđenjem alatki i softvera za proračun priliva i gubitaka akumulacije Krupac i Slano, došlo se do podatka o prilivima vode u iznosu od $576.442.000\text{m}^3$ godišnje, odnosno oko 32% korišćenja ovog priliva, za HE Perućica dragocjenog resursa. Generalno posmatrano, hidrološki uslovi i količina vode su kritičan resurs HE Perućica, zbog čega se ovaj resurs mora čuvati i unaprijeđivati. Stepenu korišćenja ovog resursa od 32%, govori suprotno – ovaj najkritičniji resurs se koristi na najnižem nivou. To potvrđuje raniju konstataciju, da je mjerenje priliva i gubitaka hidroakumulacija Krupac i Slano, pored dimenzije koja se odnosi na enormne tekuće štete, izuzetno važno za postavljanje razvojnih ciljeva, donošenje investicionih odluka i unapređenja poslovanja. Bolje rečeno, nedostatak proračuna priliva iz izdani i gubitaka po osnovu poniranja u HA Krupac i Slano, proizvodi tekuće gubitke praćene opravdanjima, a razvojno stanje prate dezorijentacije u kojem pravcu ići dalje?

4. UTICAJ PRIMJENE KRIVE TRAJANJA PROTOKA NA IZRADU, OCJENU I RANGIRANJE PROJEKATA

Hydroenergetski projekti koji za hidrološke podloge imaju prosječne krive trajanja sedmičnih protoka za rezultat imaju manji instalirani protok, manji kapacitet proizvodnje električne energije i veću akumulaciju sa visokim branama. Veća akumulacija proizvodi veće ekološke zahtjeve - probleme, veću eksproprijaciju, veće potapanje puteva, kuća, škola, istorijskih spomenika, što na primjeru „4 elektrane na Morači“ [3] i [4], čini oko četvrtinu ukupnog investicionog predračuna. Projekat postaje skuplji i manje isplativ, uz to i blokiran ekološkim zahjevima. Na rang listi hidroenergetskih projekata, na kojoj se konkuriše za zajednička finansijska sredstva na nivou SFRJ, ovaj projekat, iako tehno-ekonomski bolji od drugih, nije nikakva konkurencija. On enormno potapa prostor i proizvodi ekološke probleme. U toj varijanti pritoke rijeke Morače postaju neisplative u odnosu na ravničarske riječne tokove. Metodologija projektovanja hidroloških nizova, kao podloga za projektovanje proizvodnih kapaciteta budućih hidroelektrana, stavlja u drugi plan projekte na planinskim – bujičavim riječnim tokovima, a Metodologija rangiranja projekata „formalno čisto” rangira ove projekte i stavlja ih iza projekata sa ravničarskim riječnim tokovima. Hidroelektane na pritokama rijeke Morače su tako postale ekonomski neisplative. Staro je pravilo: centar moći postavlja pravila igre, a Metodologija je skup pravila metoda i kriterijuma za izradu, ocjenu i rangiranje isplativosti projekata u oblasti hidroenergetike. Metodologija je poslužila kao dobra alatka za eliminisanje ovih projekata od strane drugih ekonomskih centara moći, odjevenih u plašt politike [5].

Crna Gora je, pored prethodno navedenog, dokazivanje isplativosti hidroenergetskih projekata, odnosno dokazivanje svojih ekonomskih interesa u tim projektima povjeravala uvijek drugima, koji su konkurisali za ista finansijska sredstva. Reviziju ovih projekata povjeravala je trećima, koji su takođe konkurisali za ista finansijska sredstva. Tako su zajednička finansijska sredstva uvijek „za malo” izmicala dohvatu ruke Crne Gore. Bitka za finansijska sredstva bila je unaprijed izgubljena [5]. Sva „šteta” nije u tome. To je bilo i prošlo. Mnogo veća „šteta”, koja je ostala i danas traje, je u instaliranom načinu razmišljanja stručnih kadrova, koji uporno brane minulo - postojeće stanje i „izgubljenu bitku”. Hidrološke nizove i račune nije problem promijeniti, jer oni imaju objektivnu dimenziju, ali pogrešno naučenu lekciju, kao subjektivnu dimenziju, je veoma teško promijeniti, ako je uopšte moguće?

Negativne posledice metodološkog izbora hidroloških podloga između ravničarskih riječnih tokova i planinskih – bujičavih riječnih tokova, nažalost ne pripadaju samo prošlim vremenima. One su prisutne i danas. Projekti „4 elektrane na Morači” [3] i [4] u podlozi imaju prosječne krive trajanja sedmičnih protoka. Zbog toga imaju instalirani protok oko 1:3 na sve četiri projektovane elektrane. Imaju visoke brane i velike hidroakumulacije. Prostor se razmetljivo troši.

Upotrebom hidroloških nizova na bazi krivih trajanja dnevnih protoka, projektuje se veći instalirani protok vode na turbinu, projektuje se veći kapacitet elektrane, manje hidroakumulacije, manje brane, vode ne izlaze iz prirodnog korita rijeka, nema potapanja kuća, plodne zemlje, magistralnih puteva itd. Na primjeru rijeke Morače izvršena je provjera promjene instalisanog protoka sa 1:3 na 1:4 i 1:6 i dobjeni su rezultati koji višestruko nadmašuju rezultate projekta “4 elektrane na Morači”, koji u osnovi imaju projektovanje na bazi prosječnih krivih trajanja sedmičnih protoka i instalisanog protoka od 1:3.

Aktuelnost takvog pristupa prisutna je, kako je već istaknuto u prethodnom tekstu, kod proračuna „Agregata 8”, kod proračuna korišćenja HA Liverovići, kod prevođenja Zete u Krupac i Slano, što, kako je već istaknuto, blokira razvoj hidroenergetskog sistema HE Perućica.

5. USKLAĐIVANJE METODOLOGIJE SA SAVREMENIM KRETANJIMA U HIDROENERGETICI

Početno metodološko usklađivanje sa savremenim kretanjima u hidroenergetici je neophodno uraditi po osnovu izbora između primjene krive trajanja sedmičnih protoka i primjene krive trajanja dnevnih protoka. Ovaj izbor ima objektivni oslonac u karakteristikama rječnog toka i pripadanja ravničarskom ili planinsko - bujičavom rječnom toku. Ovo pitanje se ne može relativizovati, jer su karakteristike rječnog toka opredjeljujuće. To je prva i veoma važna raskrsnica u projektovanju proizvodnog kapaciteta buduće hidroelektrane. Ako se ona pogrešno riješi, sve dalje etape u projektovanju, izvedbi i eksploataciji elektrane mogu biti vrhunski izvedene, ali rezultati će biti polovični, sistem krut – neelastičan i bez razvojnog potencijala. U prethodnim naslovima, na primjeru HE Perućica, na projektima HE Morača i pritokama Morače, to je dovoljno elaborirano.

U savremenim svjetskim tokovima u hidroenergetici prisutan je veoma brz trend rasta kapaciteta za proizvodnju električne energije iz reverzibilnih izvora. To rade vodeće energetske i industrijske zemlje Evrope koje pripadaju planinskim regijama Alpa i njenih ogranaka. Postavlja se pitanje: šta su naše prednosti ili nedostaci u korišćenju reverzibilnih izvora? Rijeka Zeta sa konfiguracijom hidroakumulacija u Nišićkom polju, se nalazi na oko 620mnm, hidroakumulacija Liverovići se nalazi na oko 730mnm, Bare Bojovića na 1520mnm, Kapetanovo jezero na 1634mnm, a ukupan sliv Gornje Zete nalazi se na visini od oko 600mnm do 2000mnm. Sliv Morače pokriva visine do i iznad 2000mnm, a izvor rijeke Morače se nalazi na oko 1200mnm. Crna Gora, u dijelu Jadranskog sliva, ima prirodni tkz. "donji bazen" koji se zove Skadarsko jezero na projektnoj visini od 6mnm. Postoji dragocjena visinska razlika između izvora i ušća, između 1200mnm i 6mnm, koja se može koristiti. Igradnjom „gornjeg bazena” u gornjim visinama izvorišta rijeka, moguće je izgraditi kaskadne elektrane svom dužinom rječnog toka, sa malim akumulacijama koje ne bi izlazile iz granica prirodnog korita rijeke. Količina vode iz donjeg bazena, koja bi se koristila za potrebe reverzibilnog rada. Instalirani protok, bio bi projektantski izbor, koji bi zavisio od mogućnosti plasmana električne energije.

Završetak izgradnje podmorskog kabla i jačanje prenosnih kapaciteta prema EU, idu u prilog mogućnostima plasmana preko evropskih berzi. Reverzibilne elektrane bi radile na principu pumpanja - noćnog i vikend trošenja jeftine energije i dnevne proizvodnje i plasmana skupe energije. Reverzibilne elektrane u Crnoj Gori mogu postati velika podrška vjetroelektranama, jer noću i vikendom prihvataju i troše električnu energiju vjetroelektrana.

Za rječne slivove: Zete, Morače i Pive, od strane projektnog tima ENOP, reverzibilne hidroelektrane su detaljno razrađene u nivou idejnog rješenja, a u nekim djelovima i u nivou idejnog projekta. Sve projekcije pokazuju velike mogućnosti ovih rijeka, koje su neuporedive sa sadašnjim projekcijama korišćenja ovih rijeka. Predstave o hidroenergetskom potencijalu rijeka Crne Gore se drastično mijenjaju – hidroenergetski potencijal se višestruko povećava. Korišćenje hidroenergetskog potencijala uglavnom će zavisiti od potražnje za električnom energijom, tj. od tržišta električne energije. Prema analizi i proračunu koji je radio „Poyry“ [6] području Balkana nedostaje srednje vršne i visoko vršne snage 5.000MW do 10.000MW.

Reverzibilne elektrane su tema za poseban rad, ali prethodno date naznake su dovoljne za dimenziju koja se odnosi na njihovo metodološko uključivanje u viševarijantno projektovanje za izbor i ocjenu isplativosti hidroenergetskih projekata u Crnoj Gori.

6. ZAKLJUČAK

1. Metodologija treba da uključi promjenu društvenog ambijenta od prije više decenija kad je nastala i današnjeg društvenog ambijenta Crne Gore.
2. Potrebno je da u Metodologiji budu adekvatno zastupljene klimatske, geografske, hidrološke, hidrogeološke, morfološke i druge prirodne karakteristike rječnih tokova, koje upućuju na sistematizuju rječnih tokova rijeka u Crnoj Gori, kao planinsko-bujičave rječne tokove.
3. Slijedeći sistematizaciju rječnih tokova u Crnoj Gori kao planinske - bujičave rječne tokove, potreban je metodološki zaokret u postojećim i budućim proračunima na način da se umjesto hidroloških nizova na bazi prosječnih krivih trajanja sedmičnih protoka, uvedu hidrološki nizovi na bazi krivih trajanja dnevnih protoka.
4. Provjerom predloženog metodološkog zaokreta na primjeru: 1. "Agregata 8", HE Perućica, 2. korišćenja hidroakumulacije Liverovići, 3. mjerenja dnevnih priliva iz izdana i mjerenje gubitaka po osnovu poniranja u hidroakumulacijama Krupac i Slano i 4. prevođenja Zete u Krupac i Slano, nedvosmisleno je potvrđena neuporediva prednost mogućnosti korišćenja navedenih dijelova sistema i ukupnog sistema HE Perućica.
5. Upotrebom hidroloških nizova na bazi krivih trajanja dnevnih protoka, projektuje se veći instalisani protok vode na turbinu, projektuje se veći kapacitet elektrane, manje hidroakumulacije, manje brane, vode ne izlaze iz prirodnog korita rijeka, nema potapanja kuća, plodne zemlje, magistralnih puteva itd. Na primjeru rijeke Morače izvršena je provjera promjene instalisanog protoka sa 1:3 na 1:4 i 1:6 i dobjeni su rezultati koji višestruko nadmašuju rezultate projekta "4 elektrane na Morači" koji za bazu ima projektovanje preko prosječnih krivih trajanja sedmičnih protoka i instalisanog protoka od 1:3.
6. Potrebno je da Metodologija uvaži tržišne mogućnosti izvoza i komparativne prednosti crnogorskih rijeka u pogledu proizvodnje reverzibilne energije i da hidroenergetski projekti budu podvrgnuti viševarijantnim rješenjima, kako bi dobili odgovor na mogućnost korišćenja tih prednosti.

7. LITERATURA

- [1] Prof.dr Goran Sekulić i Prof. dr Branislav Đorđević; Istraživanje neravnomernosti vodnih režima kao bitan preduslov za realizaciju malih hidroelektrana, na primeru Crne Gore; VODOPRIVREDA 0350-0519, 46 (2014) 267-272 p. 89-100,
- [2] Krivulje trajanja protoka Ranko Žugaj, Željko Andreić, Krešimir Pavlić, Lidija Fuštar, GRAĐEVINAR 63 (2011) 12, 1061-1068
- [3] Hidroelektrane na Morači – Investicioni program, energetske i ekonomsko- finansijske Analize; EPCG, 1986.
- [4] Hidroelektrane srednje Morače tehnočko-ekonomski izvještaj, EPCG, 1986.
- [5] Zvezdan Folić, Neostvoreni hidroenergetski projekti u Crnoj Gori u XX vijeku, MATICA, proljeće 2012. p.373- 400
- [6] „Poyry“ Tehnički i ekonomski savjeti za hidroelektrane na Morači, 2009.

UMREŽENO OSVJETLJENJE

Igor Strugar
Sienersys d.o.o.

Kratak sadržaj: Pojam umreženo osvjetljenje je koncept na kojem će se zasnivati svjetlotehnička rješenja u budućnosti. U radu su razmatrane prednosti umreženog osvjetljenja u odnosu na konvencionalno osvjetljenje. Sa fokusom na kvalitetu svjetlosti, povećanoj efikasnosti i prikupljanju podataka, povezano osvjetljenje spaja LED osvjetljenje i informacione tehnologije, premašujući granice konvencionalne upotrebe svjetlotehničkih uređaja i daje novu dimenziju svjetlotehničkim rješenjima. Postoji niz funkcija koje bi se mogle svesti pod terminom povezanog osvjetljenja, a u ovom radu su pomenute neke od njih: Li-Fi, BLE, SLS, IoT, promjena boje, centralizovana kontrola i upravljanje, inteligentna kontrola (upotreba pametnih telefona i ostalih mobilnih uređaja, web kontrola...).

Jedan od jednostavnijih, savremenih i korisniku dostupnih, centralizovanih sistema upravljačkih svjetlotehničkih rješenja je sistem koji omogućava korisniku upravljanje rasvjetnim tijelima uz pomoć Android i IOS uređaja preko korisničkih aplikacija.



Slika 1: Upravljanje osvjetljenjem putem mobilnih aplikacija

Hardeverski i softverski zahtjevniji sistemi kontrole imaju osobine kao što su i "prikupljanje dnevne svjetlosti" ("daylight harvesting"), ili sistemi koji imaju za cilj smanjenje potrošnje električne energije, dizajnirani tako da, pored funkcije energetske uštede, podignu komfor i kvalitet boravka u zatvorenom prostoru – za odmor, radnom ili rezidencijalnom.

Povezano osvjtljenje se najviše primjenjuje u oblastima kao što su: ugostiteljstvo, pametne zgrade, ali i čitavi pametni gradovi i često se vodi pod nazivom inteligentno osvjtljenje (I.o.L).

Ključne riječi: Beacon tehnologija, centralizovani sistem kontrole osvjtljenja, "skupljanje dnevne svjetlosti" („daylight harvesting“), energetska efikasno osvjtljenje, kvalitet svjetlosti, Li-Fi tehnologija, inteligentno osvjtljenje, pametni grad, umreženo osvjtljenje, BLE (Bluetooth Low Energy), tunable white (izmjena temperature boje bijelog svijetla);

Skraćenice:

1. Android i IOS (Operativni sistem kod mobilnih uređaja),
2. BLE (Bluetooth Low Energy),
3. CPU (Central Procesor Unit),
4. DALI (Digital Addressable Lighting Interface),
5. DSI (Digital Serial Interface),
6. LED (Light Emiting Diode),
7. IOT (Internet of things),
8. VLC (Visible light communications),
9. SLS (Smart lighting services);

CONNECTED LIGHTING

Abstract: The concept of networked lighting is the concept on which light-technical solutions will be based in the future. The advantages of networked lighting in relation to conventional lighting are considered. With focus on light quality, increased efficiency and data collection, connected lighting brings LED lighting and information technology to the limits of the conventional use of light-weight devices and gives a new dimension to light-weight solutions. There are a number of functions that could be reduced under the term connected lighting, and in this paper some of them are mentioned: Li-Fi technology, color change, BLE, Beacon technology use of smartphone and other mobile devices and web controls. The day of the most common light technology solutions is a system that allows the user to control the lighting fixtures with Android and IOS devices through user applications. Some of these systems have features such as daylight harvesting (systems designed to reduce power consumption, designed to make life easier for us). Related lighting is mostly applied in areas such as: catering, smart buildings and cities, and is often referred to as Intelligent of Light (IoL).

Key words: Beacon technology, centralized system, daylight harvesting, energy efficient lighting, light quality, Li-Fi technology, intelligent lighting, smart city, networked lighting, tunable white;

Abbreviations:

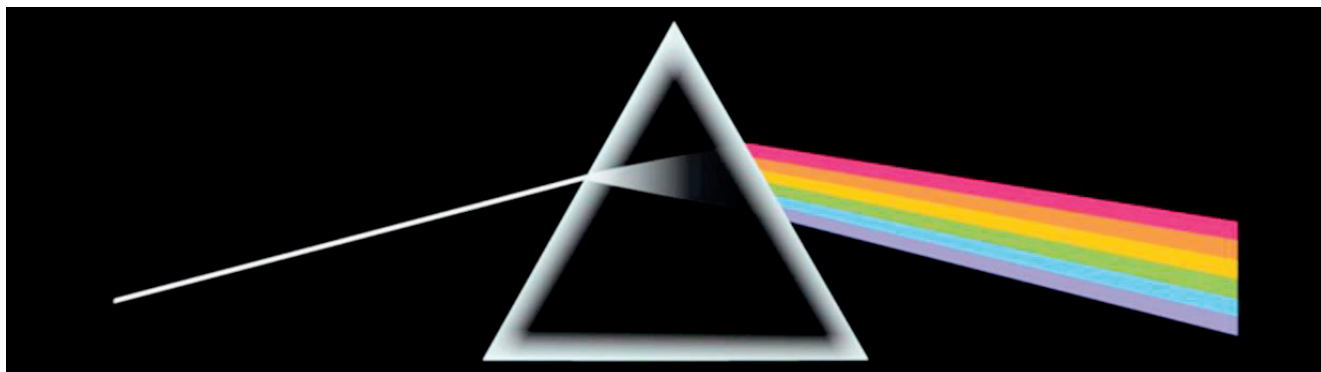
1. Android and IOS (Operating system for mobile devices),
2. BLE (Bluetooth Low Energy),
3. CPU (Central Procesor Unit),
4. DALI (Digital Addressable Lighting Interface),
5. DSI (Digital Serial Interface),
6. LED (Light Emiting Diode),
7. IoT (Internet of things),
8. VLC (Visible light communications)
9. SLS (Smart lighting services)

1. UVOD

Razgovarajući o svjetlu, često se citira Louis Kahn. On u svojoj genijalnoj knjizi „Between silence and light“ o svjetlu kaže: “Sav materijal u prirodi, zrak i mi, sve je sačinjeno od potrošena svjetla, a zgužvana masa materijala baca sjenku – sjenka pripada svjetlu. Dakle, svjetlo je izvor svega bivajućeg.”

Preko 350 god. pokušavano je odgonetnuti kakva je to čudna priroda svjetlosti zbog koje se ona ponaša na sasvim različite načine u različitim situacijama – nekada kao talas, a nekada kao čestica. Kroz istoriju i kulturu pridavana su joj mistična i religijska svojstva.

Najprije treba navesti opšteprihvaćenu definiciju svjetlosti, po kojoj je ona elektromagnetsko zračenje koje se sastoji od vidljivog dijela spektra talasa s rasponom talasnih dužina od 380 nm do 780 nm, koje ljudsko oko razlikuje kao boje - od ljubičaste, s najmanjom talasnom dužinom, do crvene, s najvećom talasnom dužinom.



Slika 2: Razlaganje bijele svjetlosti kroz prizmu

Kada se uzme u obzir uticaj prirodne svjetlosti na funkcionisanje čovjeka, jasno je da se posebno treba pozabaviti sistemom osvjjetljenja u prostoru u kome provodimo dobar dio dana pod vještačkim osvjjetljenjem. Od velikog interesa je to šta jedan ovakav sistem čini povezanim, kako svjetlost utiče na zdravlje čovjeka i kako upravljati osvjjetljenjem i stvoriti što ugodniji boravak u zatvorenom prostoru. Ako se uzme u obzir da vidljivi dio spektra koji izrači neki izvor svjetlosti oko razlikuje kao boje, onda je vrlo korisno boju svjetlosti prilagoditi sebi i svom trenutnom raspoloženju. Kontrola osvjjetljenja nam omogućava da podesimo količinu svjetlosti, ali razvojem LED izvora svjetla i njenu temperaturu (tunable white control). ili/i njenu boju (npr. RGBW). Centralizovana kontrola je inteligentna mreža koja se pokreće putem računara ili je automatizovana i povezuje se sa svim svjetlima u zgradi. Za razliku od tunable white tehnologije, gdje se promjena temperature boje svjetlosti postiže miješanjem boja u spektru od plave do crvene, kada je u pitanju tehnologija cirkadijanskog svjetla postizanje istog efekta zasniva se na promjeni talasnih dužina svjetlosti.

- Kontrola osvjjetljenja omogućuje sljedeće funkcije:
- Daljinsko isključivanje i uključivanje
- Kontinualno smanjivanje i povećanje osvjjetljenja
- Promjenu boje svjetlosti
- Promjenu temperature boje izvora svjetlosti

U svijetu tehnike osvjjetljenja danas se najviše koriste poluprovodnički LED izvori svjetlosti. Da bi se iskoristila glavna prednost LED tehnologije koja se sastoji u kontinualnoj regulaciji svjetlosnog fluksa LED izvora u opsegu 1-100 % sa trenutnim odzivom, u električno kolo standardnog LED drajvera najčešće se dodaju interfejsi (komunikacijski moduli) za upravljanje koji obezbjeđuju eksternu regulaciju sa kontrolerima svjetiljki koji komuniciraju sa LED drajverom putem nekog od opšteprih-

vaćenih standarda u tehnici osvjetljenja – kod dioda većih snaga to su najčešće DALI, (1-10 V), Zigbee, DSI protokol i sl.

1-10 V je analogni komunikacijski protokol i predstavlja jednu od najduže korišćenih tehnika kontrole gdje se regulacijom kontrolnog DC napona (1-10 V DC ili 0-10 V DC) na ulazu u drajver reguliše izlazni fluks (snaga) u određenom (približno linearnom) odnosu. Ovo je veoma jednostavan metod, pa je zahvaljujući tome i opstao sve do danas (greška se kod njega može ustanoviti voltmetrom).

ZigBee je protokol koji se koristi u bežičnim senzorskim mrežama. Karakteriše ga mala potrošnja energije. Komunikacija se odvija na 2,4 GHz. Omogućava jednostavnu izgradnju mreža zvjezdastih i isprepletenih topologija.

DSI ima digitalni signal koji se sastoji od osam bitnih informacija koje komuniciraju sa kontrolnim modulima za osvjetljenje. Prednost DSI protokola su u tome što je signal digitalan pa je praktično neosjetljiv na smetnje i nije bitan polaritet spajanja.

DMX je protokol koji omogućava brže izmjene boja (definisane posebnim kanalima) omogućavajući upotrebu svjetlotehničkih uređaja u različitim audio vizuelnim instalacijama.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) je digitalni komunikacijski protokol stvoren u cilju centralne kontrole sistema osvjetljenja u zgradama kao i boljeg povezivanja sa kompleksnijim kontrolnim sistemima. Sistem omogućava dvosmjernu komunikaciju (kontroler može da komunicira sa pojedinačnim LED drajverima i dobija od njih povratne informacije), a DALI kontroler može upravljati sa do 64 pojedinačna kanala (adrese) u jednom kolu.

DALI – 2 je nova verzija standarda IEC 62386.

- Glavne razlike između DALI i DALI-2 su:
- Nove komande, funkcije - uključujući i novo „produženo vrijeme“
- Ispravka greške u postupcima testiranja
- Manji rizik za kvarove
- Veći kvalitet i povećanje broja testova

Kao napredna tehnologija pojavljuju se i DALI predspojni uređaji u ulozi kontrolnih komponenti, sa različitim brojem kanala, zavisno od namjene, a sve na istoj adresi. Svi predspojni uređaji moraju biti u skladu sa standardom IEC 62386. U sljedećoj tabeli su dati tipovi predspojnih uređaja u zavisnosti od namjene.

Za naprednu primjenu kontrole osvjetljenja naročito nam postaju interesantni multi-kanalni uređaji koji prate DALI standard.

DALI LED-predspojni uređaj sa nezavisnim kanalima - svaki kanal ima svoju DALI adresu (DT6). DT6 uređaj podržava nekoliko načina rada:

- 2 kanalni uređaj: Balans&Dim, Dim2Warm (pogodan za Tunable white svjetiljke) i SwitchDim2 (kontrola preko 2 ulaza bez DALI komunikacije).
- 3/4 kanalni uređaj: boja i dim (pogodan za RGB svjetiljke) i SwitchDim2 (kontrola preko 2 ulaza bez DALI komunikacije)

DALI LED predspojni uređaj za Tunable White svjetiljku - nezavisna kontrola nivoa svjetlosti i temperature boje (DT8), kao kontrola RGBW na 4 kanala uz zauzimanje samo jedne adrese.

Sa naprednim softverom za upravljanje osvjetljenjem, operateri prostora mogu nadgledati i upravljati sistemom osvjetljenja u realnom vremenu. Možete sačuvati, vizualizovati i analizirati sačuvane informacije o performansama svjetiljki. Povezani sistemi osvjetljenja mogu se integrisati sa drugim sistemima u zgradi ili gradu i tako povećavati efikasnost. Los Angeles je odabrao City Touch konektore da upravljaju najvećom svjetskom bazom uličnog osvjetljenja. Dok je Buenos Aires zamijenio 91000 uličnih svjetiljki sa pametnim umreženim svjetiljkama.

Gradovi treba da prepoznaju da je u svijetu koji zavisi od sveobuhvatnog pristupa energiji, povezanost mreža ulične rasvjete dragocjeno sredstvo. Pored poboljšanja efikasnosti i vrijednosti građanskih usluga, ta mreža takođe može postati izvor novog prihoda u vidu uštede.



Slika 4: Povezanost svuda

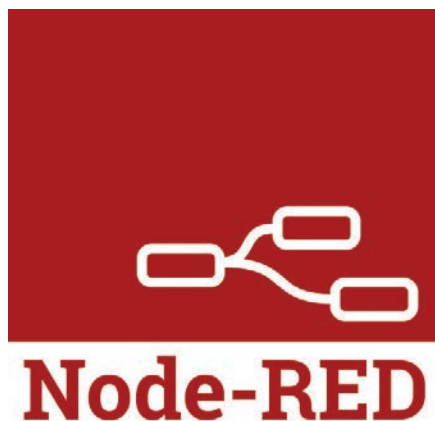
Uvođenjem LED rasvjete i njenim integrisanjem sa pametnim kontrolama smanjiće ukupne troškove, povećati efikasnost i funkcionalnost uličnog osvjetljenja i pružiti platformu za buduće pametne gradske aplikacije. Pored navedenih mogućnosti napredne kontrole osvjetljenja, povezana ulična rasvjeta ima potencijal da podrži i niz aplikacija koje nijesu direktno povezane sa osvjetljenjem a dio su rješenja za pametne gradove (IoT – Internet of things):

- Praćenje kvaliteta životne sredine (vazduha)
- Nadzor saobraćaja
- Pametno parkiranje



Slika 5: Umreženo osvjetljenje i IoT

SLS (Smart lighting services) imaju budućnost i u „internetu stvari“ - I.o.T (Internet of Things). Objektно orijentisano programiranje npr. Node-Red bazirano na “C” programskom jeziku se upravo koristi za umrežavanje „pametne“ svjetlotehničke opreme u svijet I.o.T-a.



Slika 6: simbol Node – RED

Node – RED je programski alat za povezivanje hardverskih uređaja, API-ja (Application programming interface) i online servisa na nove i zanimljive načine. On omogućava pretraživačima koji olakšavaju povezivanje tokova komandi koristeći širok spektar čvorova u paleti koja se može aktivirati u vrijeme izvršavanja jednim klikom.

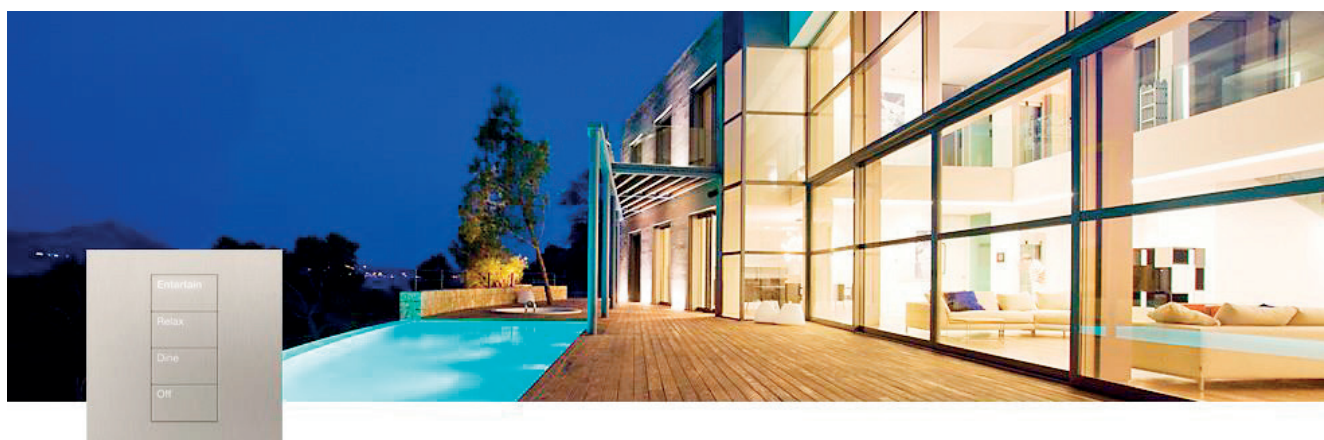
Jedan od primjera umreženog osvjetljenja je i slučaj kada LED osvjetljenje i komunikacione mreže transformišu ulično osvjetljenje. Zbog toga mreža gradskog osvjetljenja postaje platforma za širok spektar inteligentnih gradskih inovacija.

Centralizovani sistem kontrole osvjetljenja nudi niz mogućnosti, a neke od njih su: podešavanje osvjetljenja u rasponu od 16 miliona boja, podešavanje nijansi funkcionalne rasvjete u rasponu od tople (2000 K) do hladno bijele boje svjetlosti (6500 K), u zavisnosti od biološkog efekta (naučno dokazanog) koji svjetlošću želi postići buđenje, opuštanje, koncentraciju, vježbanje, čitanje, oporavak bolesnika, a upravljanje svijetlima preko internet veze moguće je sa bilo kog mjesta sa dostupnom internet konekcijom.

Zbog svojih mogućnosti centralizovani sistem kontrole osvjetljenja je pogodan za korišćenje u stambenim prostorima (integracija sa „pametnom“ kućom sa nizom naprednih mogućnosti uz istovremenu uštedu energije) i ugostiteljskim objektima (jednostavan prelaz na personalizovano okruženje za posebne događaje bez dodatnih troškova). Aktivno djelovanje pametne kuće može se objasniti na nekim jednostavnim primjerima:

Topao je ljetnji dan, izašli ste iz kuće i zaboravili da spustite roletne. Kada sunce obasja fasadu zgrade na kojoj se nalaze vaši prozori, roletne će umjesto vas spustiti vaša pametna kuća. Ulazite u kupatilo, a svijetlo se automatski uključuje. Senzor prisustva vas je detektovao i preko aktora za svijetlo upalio je svijetlo umjesto vas i sl.

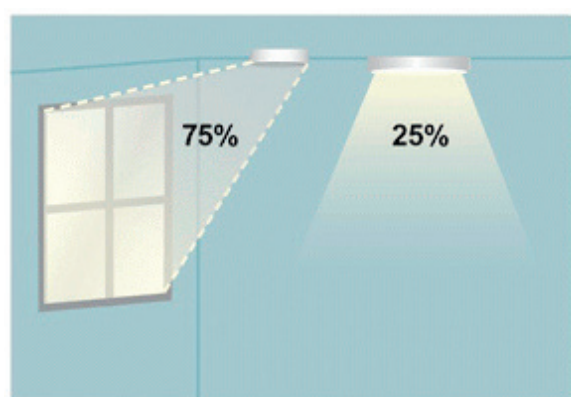
Neki od korišćenih centralizovanih sistema kontrole osvjetljenja su i HWQS i QUANTUM (individualno prilagodljivi, prethodno podešeni sistemi kontrole osvjetljenja) kompanije LUTRON (Coopersburg, Pennsylvania, USA). Osnivač, g. Joel Spira predstavlja pionira u kontroli izvora svjetla. Njegov izum i patent iz 1959 g., elektronski, tiristorski zasnovan dimer izvora svjetla, predstavlja revoluciju u sistemima kontrole osvjetljenja. Daljim razvojem rješenja za upravljanje osvjetljenjem dolazi se do varijantnih sistema, kakav je sistem HWQS kojim se može podesiti tako da se željena funkcija ostvari tek onda kada se ispuni neki uslov svijetlo uključi kada dolazimo kući, ali samo ako je mrak) čime se po prvi put u ovu oblast uvodi kondicionalna logika. Sada, za razliku od cijelog niza prekidača jednostavne tipke mogu upravljati cijelim sistemom osvjetljenja, prozorskim roletnama i sl. Srce samog sistema je centralna procesorska jedinica (Central processor unit-CPU).



Slika 7: HWQS sistem za upravljanje rezidencijalnim objektima

QUANTUM je sistem kontrole osvjetljenja i upravljanja energijom koji omogućava potpunu kontrolu svjetlosti vezivanjem najkompletnije linije kontrola osvjetljenja i LED drajvera i senzora u jednu cjelinu.

Pored već pomenutih sistema, bitno je pomenuti i sistem Daylight Harvesting tj. svojevrsno sakupljanje dnevne svjetlosti (sistem za detektovanje nivoa dnevne svjetlosti i njeno iskorišćenje dok god je komforna za upotrebu tj. u cilju očuvanja i uštede energije). Ovaj sistem je dizajniran tako da održava minimalni preporučeni nivo osvjetljenja. Pomenuti sistemi koriste dnevnu svjetlost kako bi kompenzovali količinu električnog osvjetljenja potrebnog da se pravilno osvijetli prostor, a takođe imaju za cilj smanjenje potrošnje električne energije (čak i do 30 %). Koriste foto senzore kako bi detektovali nivo svjetlosti.



Slika 8: Daylight Harvesting

Li-Fi i Wi-Fi tehnologija

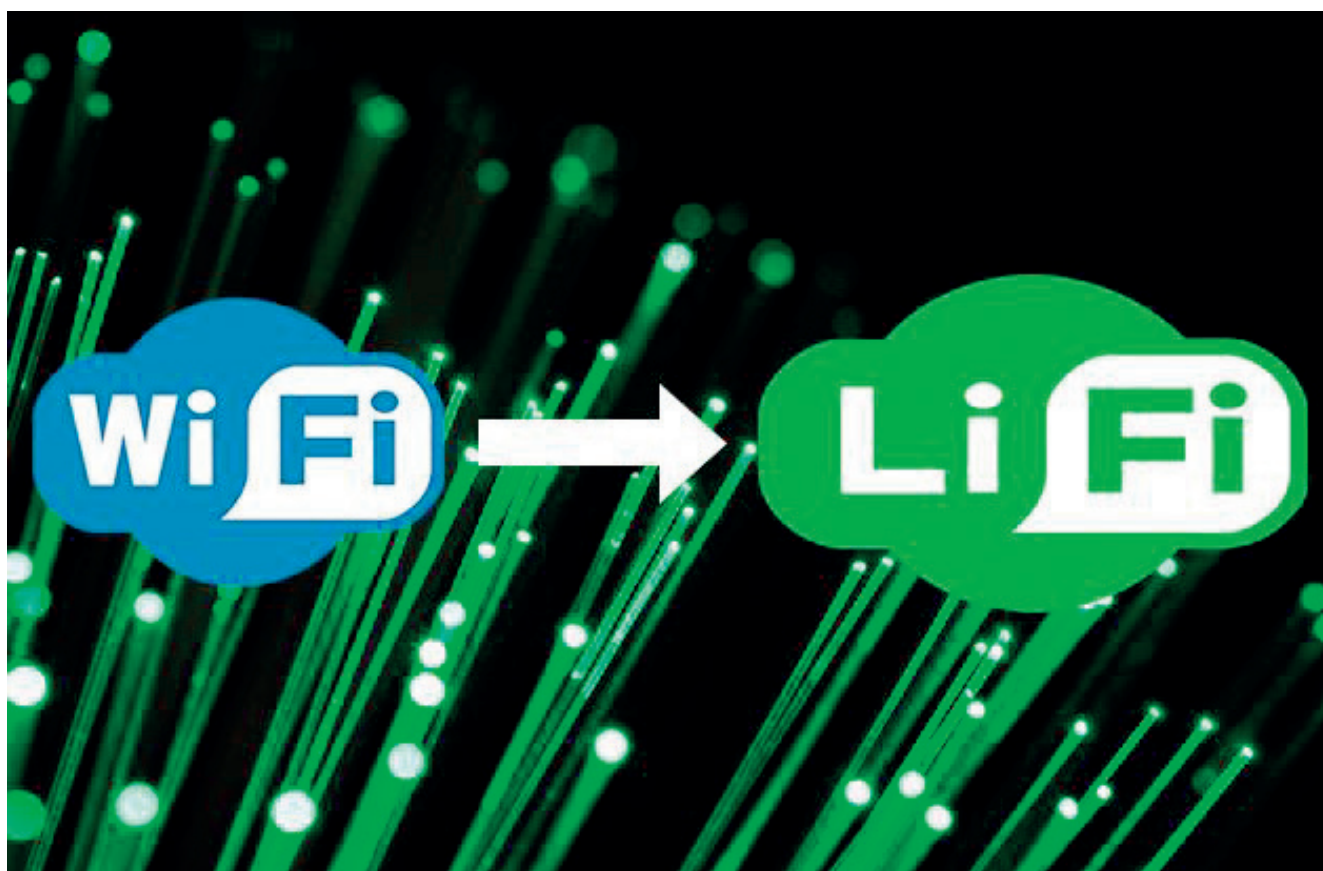
U budućnosti ćemo svakako mnogo više čuti o Li-Fi, tehnologiji bežičnog prenosa podataka i to koristeći vidljivu svjetlosnu komunikaciju (VLC).

Li-Fi je tehnologija koja je otkrivena od strane profesora Haralda Haasa, sa univerziteta u Edinburghu 2011 godine. Li-Fi i Wi-Fi su prilično slični, oboje podatke prenose elektromagnetskim putem. Wi-Fi koristi za prenos informacija radio talase, dok Li-Fi koristi vidljive svjetlosne talase. Jedna od prednosti Li-Fi u odnosu na Wi-Fi, je to što se svjetlom informacije mogu prenositi mnogo brže nego radio talasima (što je 100 puta brže od prosječne brzine Wi-Fi tehnologije) kao i činjenica da za Wi-Fi morate instalirati posebne rutere u prostoru koji zahtijevaju i posebno napajanje, dok se u Li-Fi tehnologiji napajanje već nalazi na samom izvoru svjetla koji ionako postoji u prostoru.

Takodje, Li-Fi ne probija zidove, tj. ne postoji zračenje van prostora koji je inače posjednut i u kome

se informacije žele koristiti. Ova tehnologija koristi VLC, kao posrednika koji koristi vidljivo svjetlo. Ono funkcionira kao nevjerovatno napredan oblik Morzeove azbuke, kao uključenje i isključenje baterijske lampe da bi se napisala poruka. Na isti način LED sijalica kada se pali i gasi velikom brzinom može da se koristi za pisanje i prenošenje podataka u binarnom kodu. Princip koji stoji iza prenosa informacija putem svjetlosti je više nego jednostavan. Ukoliko želimo da podatak predstavlja binarnu jedinicu, sijalica će emitovati svjetlost, dok će za prikaz nule biti korišćen „mrak”. Ukoliko uz pomoć kontrolera našu sijalicu u jednoj sekundi upalimo i ugasimo milijardu puta, eto prenosa od 1 Gb/s. Ukoliko mislite da bi treperenje sijalica moglo da djeluje iritirajući na vaš vid, niste u pravu. Riječ je o toliko visokoj učestalosti treperenja da naše oko ne može da je primijeti. Dok za radio talase često možete čuti da su (potencijalno) opasni za ljudsko zdravlje, sa svjetlošću nema takvih problema. Riječ je o tehnologiji apsolutno bezopasnoj po ljudsko zdravlje. Na primjer, znamo da je zabranjena upotreba uređaja koji emituju radio talase unutar aviona, u blizini osjetljive medicinske opreme, u nuklearnim postrojenjima i slično.

Više je nego sigurno da će Li-Fi biti apsolutno dobrodošla solucija za takva okruženja. Jedna zanimljiva vizija primjene ove tehnologije govori o tome da bi automobili tokom vožnje preko Li-Fi svjetlosti mogli da međusobno razmjenjuju informacije o uslovima na putu i na taj način doprinesu većoj bezbjednosti saobraćaja. Li-Fi tehnologija predstavlja veliki korak naprijed i po pitanju mrežne bezbjednosti zbog činjenice da svjetlost ne prolazi kroz zidove što znatno otežava hakersku penetraciju spolja, ali upravo zbog ove osobine svjetlosti Li-Fi ima ograničen domet.



Slika 9: Wi-Fi ili Li-Fi?

Svakako ova tehnologija ima i neke svoje nedostatke u odnosu na Wi-Fi tehnologiju. Upotreba Li-Fi tokom dana na otvorenom prostoru je pod velikim znakom pitanja i u takvim situacijama je neophodno oslanjanje na neki od oblika radio-komunikacije. Li-Fi bi u okviru kuća, stanova ili kancelarijskog prostora mogao da postane dominantna tehnologija prenosa podataka, ali će i u tom slučaju postojati situacije gde je Wi-Fi bolji izbor.

Beacon tehnologija i BLE

Prvo ćemo reći šta znači riječ beacon, a onda i šta podrazumijevamo pod beacon tehnologijom. Riječ beacon u prevodu znači svjetionik. Ova riječ je izabrana sa razlogom za opis ove tehnologije. Kao i svjetionik i beacon uređaj ima ulogu da obavještava sve koji se nalaze u blizini. Beacon je zapravo mali uređaj (njegov 32-bitni ARM Cortex M0 CPU praćen akcelerometrom, senzorom temperature, i ono što je najvažnije - 2,4 GHz radio preko Bluetooth 4.0 Smart, poznat je i kao BLE – Blue Tooth Low Energy) pomoću kojeg se šalju visoko relevantne poruke vlasnicima pametnih telefona i sličnih uređaja na specifičnoj lokaciji.

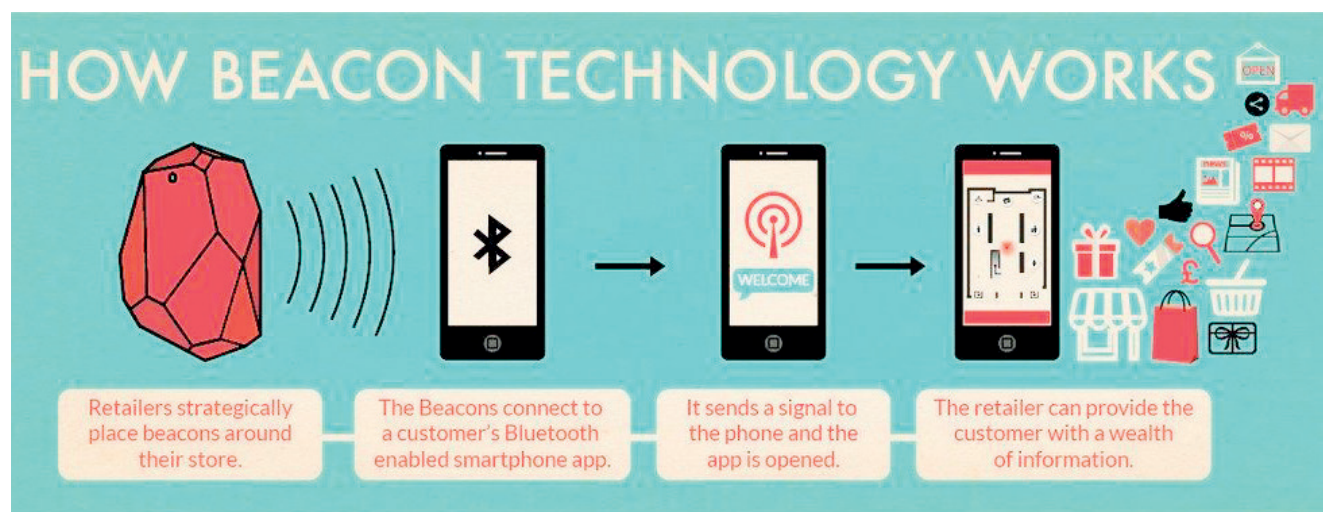
Beacon tehnologija omogućava personalizovanu kupovinu, tako što omogućava bluetooth povezivanje markice proizvoda sa mobilnim telefonom i pregled svih mogućih podataka o njegovom porijeklu, proizvođaču i sl. Uz upotrebu Beacon tehnologije implementirane u samom svjetlotehničkom uređaju, možete skinuti informaciju sa interneta o svim karakteristikama proizvoda, cjenovnom opsegu i dati prodavcu i proizvođaču povratnu informaciju o vašem interesu za taj proizvod bez ikakvog korisničkog udjela.

Pozicioniranjem opreme za umreženo osvjetljenje korisnici uspješno mapiraju prostor što im omogućava da se kroz isti kreću po utvrđenim rutama.

Bluetooth Low energy (blutut niske potrošnje) je bežično okruženje koje se koristi za odašiljanje poruka na kratkim razdaljinama. Kao što možete da zaključite po imenu, osmišljena je sa ciljem niske potrošnje energije i troškova, dok je domet komunikacije sličan njenom prethodniku, klasičnoj blutut tehnologiji. BLE se od klasične blutut tehnologije razlikuje po nekim od sljedećih osobina:

- Potrošnja energije BLE je mnogo manja i može da traje čak tri godine na samo jednoj bateriji
- BLE je od 60 do 80 procenata jeftiniji u odnosu na klasični Bluetooth.
- BLE se koristi za periodični transfer manje količine podataka, dok se klasični Bluetooth koristi za složenije aplikacije koje zahtevaju konstantnu komunikaciju i veći transfer podataka.

Najveća prednost Bluetooth Smart u odnosu na prethodne iteracije BT tehnologije je energetska efikasnost. Ovi uređaji imaju domet do 70 metara, ali se zbog različitih ometača u prostoru, u stvarnim uslovima treba očekivati domet od oko 40-50 metara. Da bi ovaj čitav sistem funkcionisao, pored Beacon-a kao uređaja, potreban je i iBeacon. iBeacon je komunikacijski protokol razvijen kao top stavka Bluetooth Smart tehnologije. To omogućava programerima da kreiraju aplikacije za mobilne uređaje i da prepoznaju sadržaj koji emituje beacon uređaj na datoj lokaciji.



Slika 10: Princip rada beacon tehnologije

2. ZAKLJUČAK

Svjetlost je iz ljudske perspektive svakako najuočljivija fizička pojava. Gdje god da se okrenemo, ona je oko nas i bez nje bi život bio nezamisliv. Na osnovu iznešenih činjenica shvatamo da kako prirodna, tako i vještačka svjetlost utiče na čovjeka i njegovo zdravlje. Poznato je i to da brzina svjetlosti važi za najveću brzinu koju nauka priznaje, znači da je vrlo korisna u oblastima gdje su potrebne velike brzine prenosa podataka. Svjetlost nije samo bitna za arhitekturu, već i za čovjeka koji se nalazi unutar te arhitekture. Kada se svjetlost poveže sa informacionim tehnologijama koje su takođe, bitne za čovječanstvo - premašiće se granice samog projektovanja osvjetljenja.

Centralizovani sistemi osvjetljenja mogu se kontrolisati pomoću interneta. U radu su pomenuti neki od najbitnijih sistema. Pametno osvjetljenje vam omogućava daljinsko upravljanje vašim svijetlima, uključivanje ili isključivanje, promjena boje...

Smart tehnologija unutar samih izvora svijetla vam omogućavaju da kontrolišete potrošnju energije vašeg pametnog doma, više ne morate brinuti ako zaboravite upaljena svijetla.

O beacon-u se, kako mu i sam naziv kaže, može razmišljati kao o malom svjetioniku. Ali, umjesto svijetla, koristi radio talase, i umjesto brodova, beacon upozorava pametne telefone o svom prisustvu.

Pored finansijskih pogodnosti uštede energije i nižih troškova održavanja, pametno ulično osvjetljenje pruža širok spektar dodatnih prednosti u pogledu kvaliteta osvjetljenja i nivoa kontrole.

Prednosti umrežavanja i tehnologije daljinskog upravljanja uličnim osvjetljenjem su se potvrdile na primjerima mnogih gradova širom svijeta. Pored smanjenja ukupnih troškova raspoređivanja, integrisana instalacija nadogradnje sistema kontrole osvetljenja istovremeno sa LED-om - može stvoriti platformu za primjenu buduće pametne aplikacije.

Zamislite da ste povezani svuda gdje vas prati svijetlo.

A to i jeste nesto čemu svi težimo.

LITERATURA

- [1] Various authors paper works, Smart Lighting conference, Hamburg, 2017.
- [2] Svilen Dimitrov and Harald Hass. Principles of LED Light Communications, 2015.
- [3] Harald Haas Stephen McLaughlin. Next Generation Mobile Access Technologies, 2015.
- [4] Hany Elgala, Raed Mesleh, Harald Haas. Indoor optical wireless communication: potential and state-of-the-art, 2011.
- [5] Harald Haas, Liang Wang, Cheng Chen. What is lifi? 2016.
- [6] West P, Clanton N, & Protzman J. Dial in the spectrum: exploring tunable white lighting for a 911 call center. Presented at Lightfair International, 2016.
- [7] Figueiro M. An overview of the effects of light on human circadian rhythms: implications for new light sources and lighting. Journal of Light & Visual Environment. 2013. Vol: 2-3.
- [8] Jones C & Gordon K., Efficient lighting design and office worker productivity. Pacific Northwest National Laboratory, 2004.

KONCEPTI RAZVOJA PROFESIONALNIH MOBILNIH- KOMUNIKACIONIH SISTEMA

Ranko Vojinović
MUP Crne Gore

KRatak sadržaj: Pred savremene telekomunikacione sisteme profesionalne namjene, postavljaju se sve veći zahtjevi, kako u pogledu vrste i količine informacija koje treba prenijeti, tako i u pogledu kvaliteta i raspoloživosti prenosa. U tom cilju, razvijaju se nove komunikacione tehnologije. U ovom radu je analiziran i ukratko opisan koncept razvoja profesionalnih mobilnih sistema, koji je usmjeren ka daljem razvoju digitalnog sistema TETRA, koji danas predstavlja digitalni standard profesionalnih radio-sistema.

Ključne riječi: Enkripcija vazdušnog intefejsa, funkcionalni radio-komunikacioni sistemi, mobilne komunikacije, „pritisni i pričaj“ (push and talk) osobina, TETRA, trunking.

1. UVOD

Obično se telekomunikacioni sistemi dijele i analiziraju po njihovim fizičkim svojstvima, kao što su telefonija, mobilna i fiksna, računarske mreže, radio-veze. U svakom od ovih sistema, pojavljuju se različiti javni i funkcionalni (profesionalni) telekomunikacioni sistemi.

Javna telekomunikaciona mreža je otvorena za korišćenje svim fizičkim i pravnim licima, kao što su građani, kompanije, javne ustanove, organizacije. Osnovna karakteristika javnih telekomunikacionih mreža je da su korisnici njihovih usluga pretplatnici, koji svoje pravo da u javnom sistemu uspostavljaju komunikaciju, prenose ili primaju informacije, plaćaju kroz pretplatu ili račun za obavljene usluge. Funkcionalni (profesionalni) telekomunikacioni sistemi , odnosno mreže, su sistemi koje koriste određene službe ili kompanije, i koje nijesu za javnu upotrebu.

Korisnici funkcionalnih telekomunikacionih sistema, imaju drugačije potrebe od korisnika javnih sistema. Korisnici javnih mreža najčešće imaju potrebu za ostvarenje komunikacije sa drugim korisnikom, da koriste Internet, da prate radio-difuzne programe. Korisnici funkcionalnih sistema, osim ovih imaju i specifične potrebe, kao što su vođenje grupnih razgovora, uključivanje velikog broja

sagovornika bez preopterećivanja mreže, potrebe za upravljanjem različitim aktivnostima putem mreže, za brzim i pouzdanim prenosom različitih podataka, za pouzdanim komunikacijama u slučaju kvara ili uništenja dijelova mreže usljed velikih nepogoda i katastrofa, za bezbjedno komuniciranje, za komunikacijom sa drugim organizacijama sa kojima rade na istom poslu, i slično. Ovakav tip veza je naročito značajan za vojsku i policiju.

Iako smo rekli da svi tipovi telekomunikacionih sistema mogu biti javni i funkcionalni, u ovom odjeljku ćemo se zadržati na najvažnijim, na digitalnim radio-sistemima, namijenjenim isključivo za korišćenje zatvorenih grupa korisnika.

2. KONCEPTI RAZVOJA FUNKCIONALNIH KOMUNIKACIONIH SISTEMA

Radio-veza predstavlja najbolje rješenje za komunikaciju korisnika funkcionalnih sistema veze iz pokreta, jer omogućuje trenutnu komunikaciju između jednog ili više učesnika jednostavnim pritiskom na dugme. Ova „pritisni i pričaj“ (push and talk) osobina, kao i mogućnost učesnika da komuniciraju u grupama, moguća je i u analognim sistemima radio-veza. Međutim, komunikacione potrebe službi koje imaju ovaj vid komunikacije, prevazilaze mogućnosti konvencionalnih, analognih radio mreža. Glavni problem su tehnološka ograničenja postojećih analognih sistema. Konvencionalni analogni radio sistemi služe za prenos govora i sastoje se od određenog broja repetitora koji primaju i pojačavaju signale primljene od radio-stanice. Veze se mogu ostvarivati samo na teritoriji koju pokriva jedan repertor – lokalna radio mreža, dok se veze ne mogu ostvariti između učesnika koji pripadaju različitim lokalnim radio mrežama. Nemogućnost komunikacije na većoj teritoriji, odnosno nemogućnost umrežavanja radio saobraćaja je veliki nedostatak analognih sistema. Dalje, u analognim sistemima nema selektivnog usmjeravanja saobraćaja prema određenim učesnicima. I na kraju, što je posebno važno, postojeći sistemi imaju nizak stepen zaštite. Naime, svi radio korisnici koji su podesili svoj radio na istu frekvenciju, bez obzira da li pripadaju zatvorenoj grupi korisnika, ili ne, mogu da slušaju jedni druge, i ne postoji nikakva povjerljivost. Osim toga, mogući su upadi u vezu od strane neovlašćenih lica, kao i različiti načini ometanja veze.

Zbog svega navedenog, trendovi razvoja savremenih radio- komunikacionih sistema se odvijaju u sledećim smjerovima:

- od pojedinačnih rješenja ka otvorenom standardu: standardizovana rešenja omogućavaju korisnicima nabavku opreme od različitih proizvođača, što dovodi do većeg izbora, povoljnijih cijena i boljeg kvaliteta.
- od konvencionalnih, analognih ka digitalnim sistemima: digitalni sistemi obezbjeđuju bolje prostiranje signala, povećanu otpornost na smetnje, integraciju prenosa različitih tipova informacija, kao i mogućnost efikasne kriptozastite.
- od malih, privatnih mreža do nacionalnih radio mreža: umjesto da svaki korisnik radi u svojoj zatvorenoj mreži, tendencija je da se profesionalne radio mreže izgrađuju kao veliki, nacionalni sistemi u kojima se infrastruktura (komutacioni centri, bazne stanice) koristi od strane više korisnika. Svaki korisnik normalno radi u svojoj virtuelnoj mreži, a ako i kada je to potrebno, dispečer spaja više mreža i omogućava im zajednički rad.

3. TETRA STANDARD

Šengenski sporazum predstavlja pravnu osnovu u procesu standardizacije profesionalnih mobilnih komunikacija. Eksperti iz oblasti telekomunikacija iz svih zemalja šengenskog sporazuma uzeli su učešće u radnoj grupi čija je nadležnost da sačine korisničke zahtjeve koje će budući mobilni telekomunikacioni sistemi morati da ispune. Proces standardizacije se odnosio na usklađivanje frekvencija i usklađivanje tehnologija, uz definisanje svih servisa koje sistem mora da pruži.

Frekvencije su ograničeni prirodni resurs i njihova harmonizacija predstavlja težak zadatak. 1995. godine je dio opsega od 380 MHz do 400 MHz, do tada korišćen od strane NATO-a, dodijeljen za upotrebu u PMR sistemima (profesionalni mobilni radio) organizacija javne bezbjednosti u Evropi. Posao usaglašavanja tehnologija je povjeren Evropskom institutu za telekomunikacione standarde (ETSI), koji predstavlja organizaciju za standardizaciju i ima mandat Evropske komisije da razvija telekomunikacione standarde za primjenu u zemljama Evrope. ETSI je razvio seriju standarda za profesionalne radio veze, koji je nazvan TETRA (TERrestrial TRunked RADio – zemaljski radio). Tranking je princip dodjele slobodnih kanala, odnosno tehnički izraz koji označava upotrebu manjeg broja kanala za opsluživanje većeg broja mogućih korisnika. U sistemima koji ne koriste tranking, korisnici zauzimaju po jednu frekvenciju koju u tom slučaju ne mogu koristiti drugi. TETRA na optimalan način dodjeljuje kanale i na taj način štedi resurse. Osim trankinga, TETRA koristi i direktni režim rada DMO (Direct Mode Organization), odnosno vezu koja se uspostavlja direktno između TETRA terminala, bez posredovanja baznih stanica. Na mjestima koja je teško pokriti signalima TETRA baznih stanica, TETRA terminalima se u direktnom modu može uspostaviti “repetitorska” veza sa mrežom, što znači da se preko terminala, koji se koriste kao repetitori, može proširiti zona pokrivanja signalom. Na mjestima gdje ni ovakav repetitorski način rada ne funkcioniše, radio stanice se mogu koristiti za međusobnu, lokalnu komunikaciju.

TETRA omogućava formiranje grupa korisnika, koje se međusobno ponašaju kao odvojene radio mreže. Svaka poslovna organizacija može formirati dispečerski centar i imati svog dispečera koji će biti u mogućnosti da rukovodi komunikacijama i da ih nadgleda.

Jedna od glavnih prednosti digitalnih nad analognim tehnologijama je u neuporedivo većoj otpornosti na šum, odnosno smetnje.

Standardima je definisano da TETRA sistemi moraju da posjeduju značajnu otpornost i pouzdanost, tako da su definisani različiti režimi rada za slučaj problema sa infrastrukturom. Među njima su lokalni tranking koji omogućava nezavisan rad u okviru jedne bazne stanice, što je važno u slučaju ispada iz rada komutacionog centra za prespajanje veza između različitih baznih stanica, i direktni režim rada koji omogućuje komunikacije i bez upotrebe baznih stanica (slika 1)



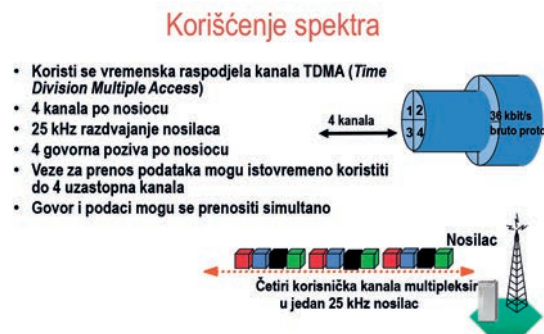
Slika 1. Pozivi kroz TETRA sistem

TETRA sistemi moraju da podrže različite nivoe sigurnosti. Osnovne sigurnosne funkcije su međusobna provjera validnosti pojedinih radio-stanica i infrastrukture na koju se stanica vezuje (sistem odbija komunikaciju sa stanicom koja nije autorizovana); enkripcija vazdušnog interfejsa između radio stanice i bazne stanice (komunikacija između radio stanice i bazne stanice je šifrovana, tako da se veze ne mogu presretati); mogućnost enkripcije veze “s kraja na kraj” (ne mogu se presretati veze ni u komutacionom centru); ambijentalno slušanje (radio stanica je uključena, i veze se ostvaruje i bez pritiska na dugme što je važna mogućnost u slučaju napada na službenika policije); mogućnost daljinskog onesposobljavanja radio stanice (privremenog ili trajnog), i sl.



Slika 2. Prenos podataka kroz TETRA sistem

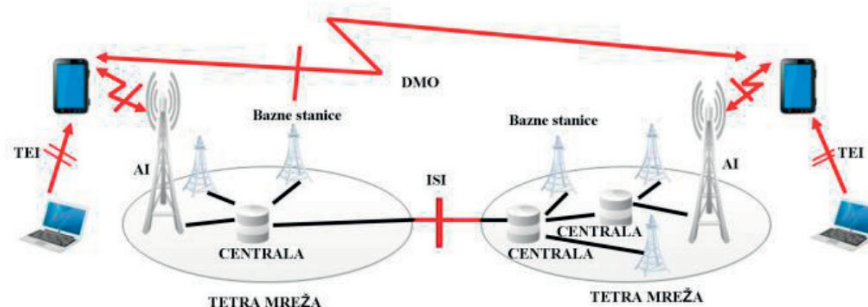
Predviđena je i mogućnost različitih servisa za prenos podataka (slika 2). Među njima su najvažniji : prenos statusnih poruka (npr. određivanje pozicije korisnika – korišćenjem GPS-a); SDS (Short Data System) – prenos kratkih tekstualnih poruka (analogno SMS porukama u mobilnoj telefoniji); prenos paketskih podataka (brzine prenosa podataka u standardu TETRA za sada su ograničene su na oko 12 kb/s). Tehnološki, TETRA koristi vremenski multipleks od četiri kanala po jednom nosiocu (slika3), što praktično znači da je moguće ostvariti do 4 istovremene govorne veze po jednom nosiocu. Bazna stanica može da ima 1, 2 ili više nosilaca (tzv. baznih radija). U slučaju prenosa podataka, potrebni su širi opsezi, pa se za prenos podataka mogu koristiti 4 kanala. Govor i podaci se mogu prenositi istovremeno.



Slika 3. Korišćenje frekventnog opsega kroz TETRA sistem

4. ARHITEKTURA I ORGANIZACIJA TETRA SISTEMA

Na slici 4. je prikazana arhitektura TETRA mreže. Da bi se obezbedila otvorenost standarda, i omogućilo prisustvo većeg broja proizvođača na tržištu, TETRA standard definiše samo najvažnije interfejs [5], [6],[7].



Slika 4. Arhitektura TETRA sistema

Vazdušni interfejs (Air Interface, AI) određuje način prenosa podataka između terminala i bazne stanice, u kom slučaju govorimo o trunking režimu, ili direktno između mobilnih stanica kada govorimo o direktnom režimu rada. Standardizacija ovog interfejsa omogućava interoperabilnost radio stanica različitih proizvođača sa različitim infrastrukturama.

Interfejs terminalne opreme (Terminal Equipment Interface, TEI) određuje način povezivanja opreme za podatke na TETRA radio stanice. Standardni TEI olakšava korisnicima da razvijaju aplikacije za prenos podataka TETRA sistemom, od kojih su najvažniji prenos statusnih poruka, npr. određivanje pozicije korisnika – korišćenjem GPS-a; SDS (Short Data System) – prenos kratkih tekstualnih poruka, analogno SMS porukama u mobilnoj telefoniji i prenos paketskih podataka. Ove brzine podataka su jako male, i ograničene su na oko 12 kb/s.

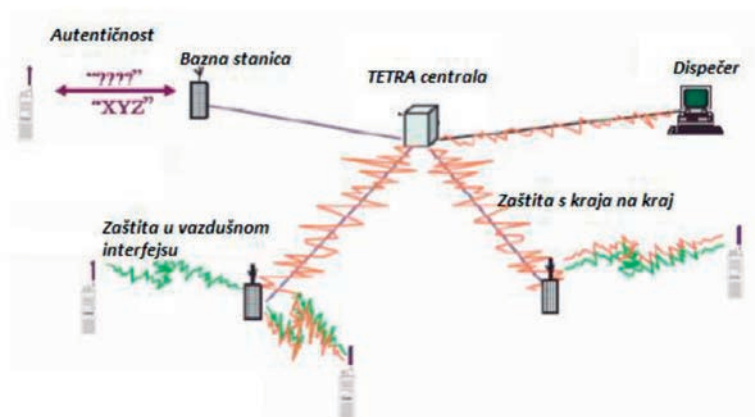
Intersistemska interfejs (Inter System Interface, ISI) omogućuje povezivanje različitih TETRA mreža, čime korisnicima obezbeđuje međusobni roming. Ovaj interfejs je od ključnog značaja za interoperabilnost, odnosno ostvarenje komunikacije funkcionalnim sistemima veze, između graničnih službi susjednih zemalja.

TETRA mrežom upravlja komutaciona i upravljačka infrastruktura, smještena u TETRA centralama. Preko centrala se TETRA bazne stanice uvezuju u jedinstvenu mrežu. Potrebno je naglasiti da interfejsi unutar komutacione i upravljačke infrastrukture nijesu standardizovani, tako da danas postoje TETRA sistemi bazirani na komutaciji kanala, a sa druge TETRA sistemi bazirani na Internet protokolu (IP). Ovakvo definisanje standarda dovelo je do toga da postoji više proizvođača TETRA opreme, kao i proizvođača aplikacija.

TETRA koristi vremenski multipleks od četiri kanala po jednom nosiocu sa razdvajanjem nosilaca od 25 kHz, što praktično znači da je moguće ostvariti do 4 istovremene govorne veze po jednom nosiocu. Bazna stanica može da ima 1, 2 ili više nosilaca, tzv. baznih radija. U slučaju prenosa podataka, potrebni su širi opsezi, pa se za prenos podataka mogu koristiti sva četiri kanala. Prenos podataka u okviru jednog korisničkog vremensko-frekvencijskog kanala vrši se brzinom od 9kb/s, što znači da ukupni protok podataka za sva četiri kanala, iznosi 36kb/s. Ovaj protok uključuje prenos informacionih i upravljačkih podataka, tako da je protok podataka koji nose informaciju oko 28.8 kb/s.

5. SIGURNOST U TETRA SISTEMIMA

TETRA sistemi moraju da podrže različite nivoe sigurnosti. Osnovne sigurnosne funkcije su vezane za autentičnost, koja omogućava samo registrovanim korisnicima pristup sistemu, dok će svi ostali korisnici biti odbijeni pri pokušaju pristupa; enkripciju vazdušnog interfejsa između radio stanice i bazne stanice, što praktično znači da je komunikacija između radio stanice i bazne stanice šifrovana, tako da se veze ne mogu presretati; kao i šifrovanje od kraja do kraja, odnosno šifrovanje kroz čitav sistem prenosa, uključujući tu i komutacione sisteme (slika 5).



Slika 5. Enkripcija u TETRA sistemu

Pri autentikaciji se koristi simetrični šifarski sistem [8]. U ovom sistemu tajni ključ za određivanje autentičnosti se dijeli između učesnika u procesu određivanja njegove autentičnosti i centra za upravljanje mrežom. Kada se mobilna stanica prvi put prijavljuje na mrežu, dodjeljuje joj se korisnički autentifikacioni ključ. U cilju dodatne zaštite, dodijeljeni ključ se ne koristi direktno u komunikaciji, već se umjesto njega koriste iz njega izvedeni ključevi.

Enkripcija vazdušnog interfejsa, vrši se između mobilne radio stanice i bazne stanice, pri čemu se štiti signalizacija, identitet učesnika i prenos podataka kroz uspostavljeni radio-link. Pri ovoj enkripciji, koriste se TEA algoritmi [9].

U TETRA postoji i mogućnost enkripcije s kraja na kraj veze (End-to-End, E2E), kojom se vrši zaštita informacija i komunikacija kroz cio sistem [10]. Pri ovoj enkripciji koriste se tri ključa, za enkripciju podataka, signalizacije i enkripciju grupa u mreži.

Pri prenosu govora, on se kodira ACELP (Adaptive Code Excited Linear Predictive) algoritmom, sa protokom od 4.8 kb/s, koji obezbjeđuje visoku razumljivost. Prilikom predaje, podaci sa izlaza ACELP govornog kodera se podvrgavaju osnovnom i kanalskom kodiranju, čime se formiraju podaci otporne na smetnje. Na kraju se vrši modulacija nosioca i emitovanje. U TETRA sistemima se koristi poseban oblik fazne modulacije, koja se naziva linearna diferencijalna fazna modulacija tipa $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), kod koje su tačke konstelacionog dijagrama pomjerene za ugao od 45 stepeni, odnosno $\pi/4$ radijana.

Brzina modulacije u jednom frekvencijskom kanalu iznosi 36kbps. U skladu sa TDMA vremenskom raspodjelom kanala, ovo znači da se u okviru jednog korisničkog vremensko-frekvencijskog kanala ukupni prenos podataka vrši brzinom od $36\text{kbps}/4 = 9\text{kbps}$.

6. DALJI PRAVCI RAZVOJA TETRA SISTEMA

TETRA se stalno nadograđuje, kako bi se udovoljilo novim zahtjevima korisnika. Ključni pravac razvoja se odnosi na povećanje kapaciteta protoka podataka [11]. Od već postojećih aplikacija, kao što su prenos kratkih SDS i statusnih poruka, ide se ka razvoju prenosa poruka koje zahtijevaju znatno veće količine podataka, od kojih su najzahtjevnije prenos slika i videa. TETRA koncept, TEDS (TETRA Enhanced Data Services –poboljšani TETRA servisi podataka) omogućuje ovim podacima da se prostiru kroz TETRA mrežu. Integracija TETRA sistema sa sistemima mobilne telefonije najnovije generacije (4G, LTE) je takođe cilj dalje evolucije funkcionalnih sistema radio-veza.

Zbog stalnih usavršavanja sistema za obradu i prenos podataka, usavršavaju se i TETRA terminali. Oni moraju da podrže rješenja iz oblasti uređaja za kontrolu pristupa, RFID, GPS i WiFi uređaja, i slično. Kako ovakve aplikacije već funkcionišu na nekim drugim nosiocima informacija, i TETRA sistemi treba da ih ponude korisnicima kao svoje servise.

7. ZAKLJUČAK

Trendovi razvoja savremenih funkcionalnih sistema radio-veze su usmjereni ka implementaciji daljem razvoju TETRA sistema. Potrebe profesionalnih službi za pouzdanom, bezbjednom i brzom komunikacijom, uz ostvarenje novih usluga kao što su pristup bazama podataka posredstvom mobilnih terminala, efikasnije korišćenje frekventnog resursa i apsolutna zaštita podataka tokom prenosa, zadovoljavaju se implementacijom tehnologija zasnovanih na TETRA standardu.

LITERATURA

- [1] Shuwen Duan Security Analysis of TETRA; Norwegian University of Science and Technology, 2013
- [2] Mladen Vratonjić, "TETRA - evropski standard u profesionalnim radio komunikacijama – korak ka efikasnijem i kvalitetnijem radu službi javne bezbednosti"
- [3] Reeves, C. M. An overview of trunking techniques in mobile radio systems. In Vehicular Technology Conference, 1980. 30th IEEE (Vol. 30, pp. 537-541).
- [4] Dunlop, J., Girma, D., & Irvine, J. Digital mobile communications and the TETRA system (Vol. 1). Wiley, 1999.
- [5] TETRA - Terrestrial Trunked Radio Retrieved from <http://www.willtek.com/english/technologies/tetra>
- [6] Walke, B. H. Mobile Radio Networks: Networking, Protocols and Traffic Performance, 2002.
- [7] Webb, W. The complete wireless communications professional: A guide for engineers and managers. Artech House, Inc, 1999.
- [8] ETSI Technical Standard ETSI EN 300 392-7 V2.1.1 Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data; Part 7: Security, 2001-02
- [9] ETSI Technical Standard ETSI EN 302 109 V1.1.1 Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Security; Synchronization mechanism for end-to-end encryption , 2003
- [10] ETSI Technical Report TR 101 053-1 V1.1.2: SAGE Rules for the management of the TETRA standard encryption algorithms Part1 TEA1, 2006.
- [11] TETRA, A Pocket Guide, Critical communication for all professional users, TCCA, 2018.

BUDUĆNOST I RAZVOJ TEHNOLOGIJE DATA CENTARA

Dejan Dokmanović
RITTAL d.o.o. Hrvatska

Kratak sadržaj: Proces digitalizacije cjelokupne ljudske djelatnosti na planetu u punom je jeku i eksponencijalnom rastu. Digitalna ekonomija, umjetna inteligencija, društvene mreže, Internet of Things, Blockchain, pametni uređaji i gradovi samo su neki od fenomena koje svakodnevno susrećemo, a u međusobnoj interakciji uzrokuju udvostručenje globalnog volumena informacija svakih 18 mjeseci.

Spomenuti procesi uzrokuju sve veću potražnju za adekvatnim, visoko dostupnim i sigurnim prostorom gdje će digitalne informacije biti fizički smještene. Ovim data centri, bilo da se radi o mikro tvrtkama, korporacijama ili cloud-u postaju dijelom ključne i kritične infrastrukture o kojem će sve više ovisiti lokalna, regionalna i globalna gospodarstva. Ova ovisnost će u vrlo bliskoj budućnosti stvarati nove izazove za investitore i operatere data centara u pogledu njihovog dizajna, funkcionalnosti, operabilnosti i dostupnosti.

Novi trendovi u odabiru lokacije, optimizaciji prostora, energetskej efikasnosti, hlađenju, sustavima specijaliziranog nadzora i fizičkoj zaštiti samo su početak ukupne transformacije data centara u ključne infrastrukturne objekte bez kojih se neće moći zamisliti niti bliža budućnost bilo kojeg segmenta našeg svakodnevnog života.

Ključne riječi: Data centar, digitalizacija, Internet Of Things (IoT), Blockchain, Kritična infrastruktura, Energetska efikasnost, PUE, dizajn, funkcionalnost, operabilnost, dostupnost

Summary: Digitalization processes of complete human activity are fully in place and in exponential growth. Digital economy, artificial intelligence, social networks, Internet Of Things, Blockchain, smart devices and cities are only a part of this phenomenon we are facing on daily bases. In its interaction these phenomena double the global information volume every 18 months.

Mentioned processes cause stronger and stronger demand for adequate, highly available and safe space where digital information will be processed and stored. These Data Centers, no matter we speak of micro companies, corporations or clouds, are becoming a part of key and critical infrastructure of which will depend local, regional and global economies. This dependence will, in close future,

create new challenges for investors and Data Centre operator in respect to the design, functionality, operability and availability.

New trends in location selection, space optimization, energy efficiency, cooling, supervision and physical protection are just the beginning of total Data Centre transformation process into key infrastructure objects without which even narrow future of our everyday life could not be imagined.

Key words: Data Centre, Digitalization, Internet Of Things (IoT), Blockchain, Critical Infrastructure, Energy efficiency, PUE, Design, Functionality, Operability, Availability

1. UVOD

Data centar (od engl. Data Centre, Data Center, datacenter, datacentre) je specijalni objekt s posebno opremljenom infrastrukturom koji služi za smještaj računalnih sistema, mrežno – komunikacijske opreme i povezanih komponenti te sistema za pohranu podataka (engl. storage). Data centar je osnovna jezgra svih računalnih sistema neke organizacije pa je iz tog razloga u pravilu objekt s kontroliranim uvjetima i parametrima visokih tehničkih zahtjeva u pogledu sigurnosti, redundantnosti, pouzdanosti, dostupnosti i opće efikasnosti.

Data centri svoje korijene vuku u samom početku razvoja mikroprocesorskih uređaja i informacijske tehnologije (IT). Počevši od prve sobe s kontroliranim uvjetima za ENIAC računalo 40-tih godina prošlog stoljeća, zajedno s trendom ulaska IT u sve pore budućeg informacijskog društva, data centri su sve više počeli dobivati na važnosti.

Evolucija data centara tekla je u brojnim etapama, pod utjecajem različitih tehnologija i na različitim stranama svijeta, ali je njihova svrha, bez obzira na tip i namjenu, u osnovi ostala ista – osigurati poslovni kontinuitet entiteta za koji su izgrađeni.

U današnje vrijeme, s trendovima djelomične ili potpune digitalizacije života, poslovanja, države i čovječanstva data centri postaju, više nego ikad prije, ključni i strateški infrastrukturni objekti ne samo za kompanije i financijski sistem već za cjelokupno funkcioniranje svjetskog ekonomskog okruženja.

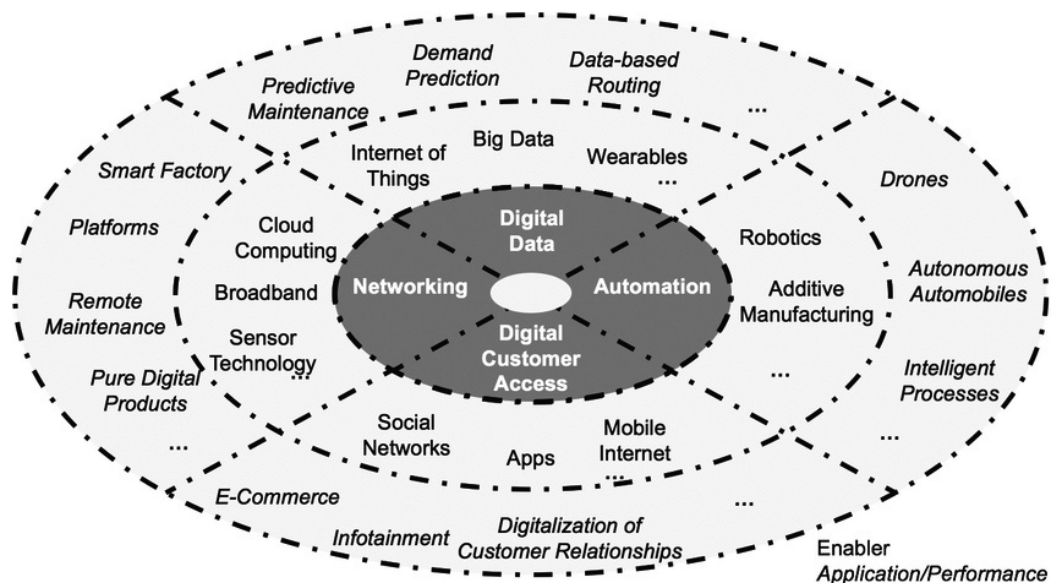
Stoga budućnost i razvoj tehnologije data centara jest i mora biti jedan od primarnih fokusa na tehnološkom radaru svakog ozbiljnog poslovnog, državnog ili globalnog sistema. Izostanak pažnje, planiranja i ulaganja u ovaj segment vrlo brzo može dovesti do gubitka svih komparativnih prednosti, a posljedice minutne nedostupnosti važnijeg data centra mogu se mjeriti u milijunima novčanih jedinica nastale štete, velikim rizicima za moderno društvo, pa i ljudskim žrtvama.

Svi trenutni globalni trendovi naše civilizacije idu u smjeru da će važnost data centara konstantno progresivno rasti. Svi trenutni globalni igrači svjesni su ovog trenda do te mjere da neki od njih svoju jezgru poslovanja prebacuju na razvoj i ulaganje u ovaj segment.

S druge strane, svi oni koji podcjenjuju ili zanemaruju važnost ulaganja i razvoja u adekvatan infrastrukturni objekt ovog tipa prije ili kasnije suočiti će se sa negativnim posljedicama takvih strategija.

2. MODERNI TRENDVI KOJI UTJEČU NA EVOLUCIJU I RAZVOJ DATA CENTARA

Tehnološki radar u sferi informacijske tehnologije mijenja se brže i dinamičnije nego u bilo kojoj drugoj industriji. Kapacitet uređaja i softvera koji se koriste danas, nemjerljiv je s onim od prije samo par godina. Na isti način, trendovi koji se javljaju danas prije nekoliko godina bili su potpune nepoznanice, čak i u stručnim znanstvenim krugovima. Današnji trendovi, više neko ikada prije, direktno utječu na promjenu i razvoj tehnologije data centara. Stoga ozbiljni subjekti troše ogromna sredstva u timove za istraživanje i razvoj tih trendova, te im prilagođavaju svoje ključne aktivnosti i planove.

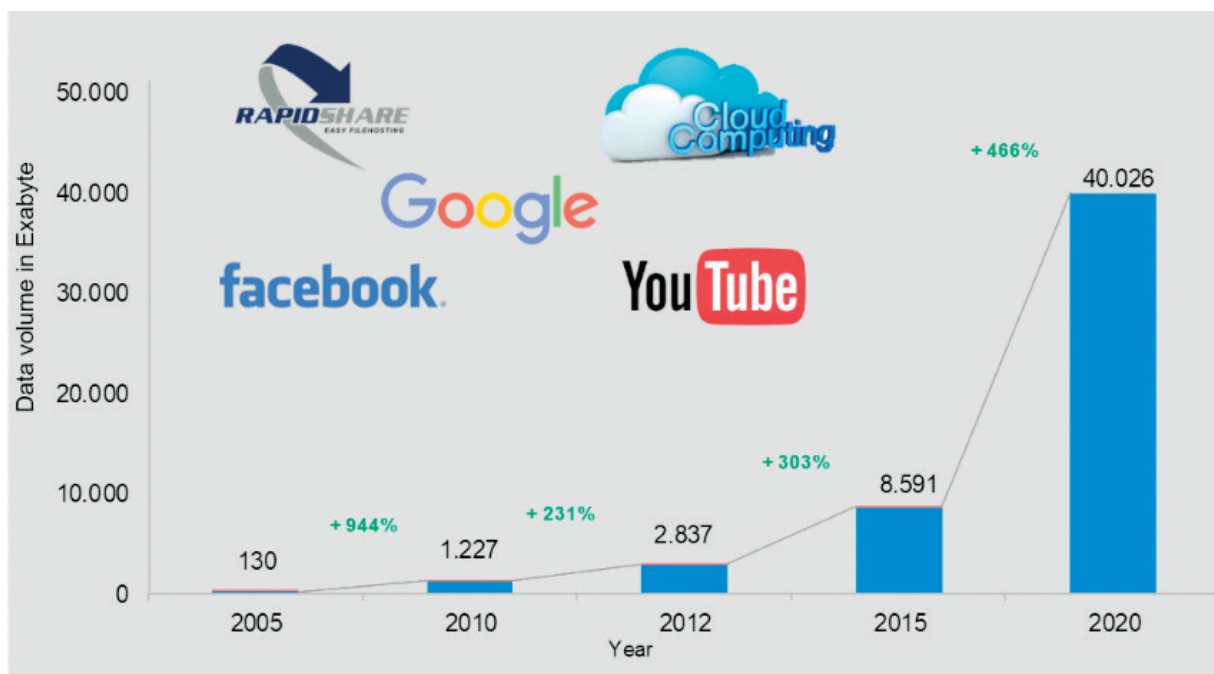


Slika 1. Primjer jednog IT tehnološkog radara iz 2016. godine

2.1. DIGITALIZACIJA I DIGITALNA TRANSFORMACIJA

Digitalizacija je, u najjednostavnijoj definiciji, proces konverzije informacija u digitalni format, organiziran u bitove. Drugim riječima konverzija izvornog analognog materijala u numerički format. Digitalizacija je ključan proces za obradu, pohranu i prijenos podataka, a njezin ključan aspekt je da se digitalna informacija, za razliku od analogne, može kopirati, prenositi i pohranjivati beskonačno puno puta bez rizika degradacije.

Proces digitalizacije jedan je od najbitnijih procesa razvoja i napretka ljudske civilizacije, u povijesnom smislu ravan otkriću pisma. Digitalizacija već određuje i još će više određivati našu bližu i dalju budućnost kao pojedinca, društva i civilizacije. Proces digitalizacije ljudskog društva započeo je s prvim mikroprocesorima, a zadnjih 15-tak godina prisutan je eksponencijalni trend rasta ukupnog svjetskog volumena digitalnih informacija



Slika 2. Krivulja porasta volumena globalnih digitalnih informacija

Ukupan volumen globalnih digitalnih informacija udvostručuje se svakih 18 mjeseci. Do 2020 očekuje se ukupni globalni volumen informacija of 44 zettabajta (44x1021 B), a do 2025 čak 163 zettabajta. Proces digitalizacije neraskidivo je vezan za razvojni proces data centara i diktira njihovu budućnost i tehnologiju, prvenstveno u smislu dostupnosti i efikasnosti.

Informacija je ovim postala ključan resurs ljudskog društva, a prostor gdje je ona smještena ključan infrastrukturni objekt.

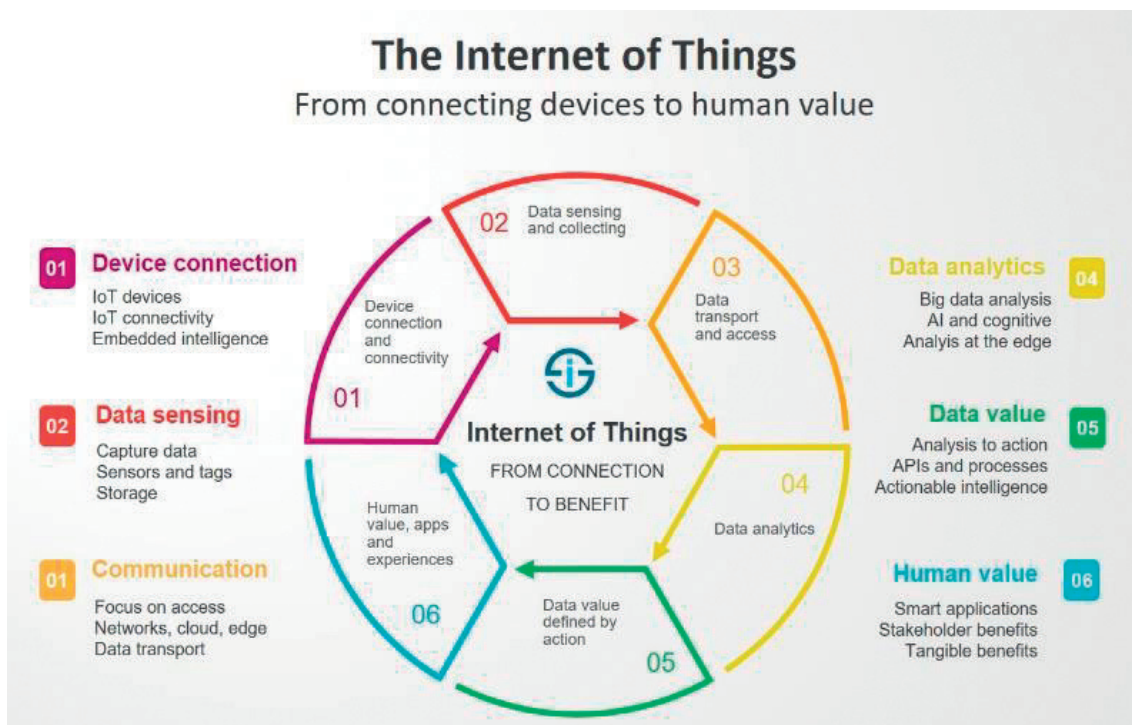
Digitalna transformacija je direktna posljedica digitalizacije, a čini je sveopća duboka transformacija poslovnih i organizacijskih aktivnosti, procesa, kompetencija i modela kako bi se u potpunosti iskoristile nove šanse i mogućnosti digitalnih tehnologija i njihov galopirajući utjecaj na ljudske aktivnosti, u strateškom i prioritetnom smislu, s potpunom promjenom poslovnog i životno koncepta razmišljanja. Digitalna transformacija je već započela, proces je neminovan i nepovratan, te u potpunosti eliminatoran za sve subjekte koji mu se ne prilagode.

2.2. INTERNET OF THINGS (IOT) / INDUSTRY 4.0

Internet Stvari (engl. Internet of Things, IoT) čini mreža povezanih uređaja sa dvije bitne karakteristike:

1. Jedinstvenim identifikatorom u formi IP adrese
2. Posjeduju ugrađenu tehnologiju koja im omogućava da osjete, prikupljaju podatke i komuniciraju sa okolinom u kojoj su smješteni

IoT potencijal ne leži samo u gore spomenutom. On se manifestira u činjenici da prikupljanjem i procesiranjem informacija IoT „pametnih uređaja“ transformiramo i optimiziramo kompletan proizvodni proces, poslovni model ili industriju. Time je IoT zapravo pokretač i uzrok četvrte industrijske revolucije (Industry 4.0) koja je u osnovi digitalna transformacija industrijske proizvodnje. IoT / Industry 4.0 su ogroman generator informacija nemjerljive vrijednosti za svaki poslovni subjekt koji se želi razvijati. Preduvjet za razvoj i održanje IoT je upravo stabilan i siguran data centar, što bliže samom procesu, odnosno okolini pametnog uređaja. Takav data cetar zove se EDGE data centar.

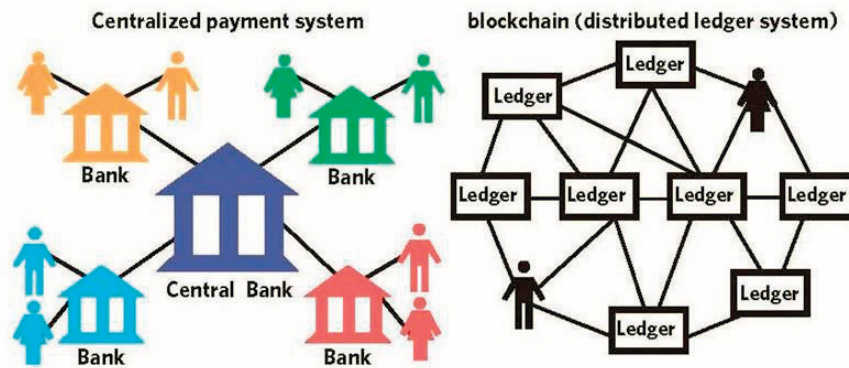


Slika 3. Blok shema IoT filozofije

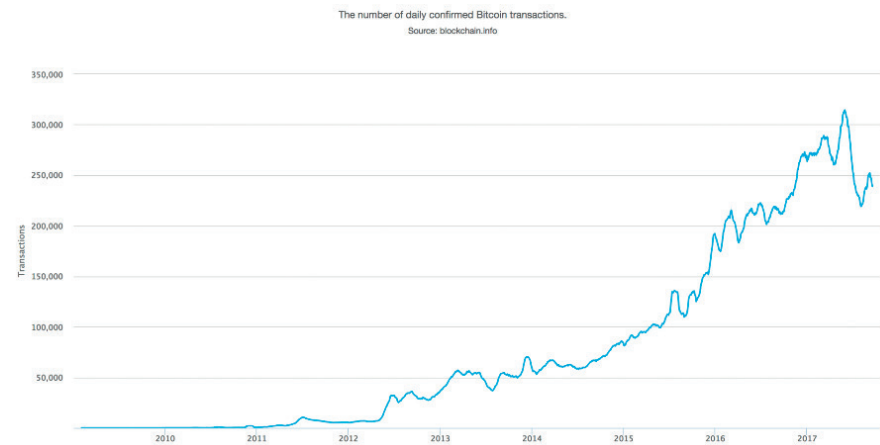
2.3. BLOCKCHAIN

Blockchain tehnologija je derivat digitalne transformacije koji će, vrlo vjerojatno, imati ogromne reperkusije na razvoj cjelokupne ljudske civilizacije, globalne i lokalne ekonomije, kao i načina na koji naše društvo funkcionira.

Blockchain je, u osnovi, decentraliziran, distribuiran i neovisan javni registar koji se koristi kako bi se evidentirale transakcije tako da se generirana bilješka u tom registru ne može retroaktivno mijenjati bez izmjene svih blokova u kojima je ona evidentirana i konsenzusa mreže.



Slika 4. Klasični centralizirani i distribuirani sistem verifikacije plaćanja (blockchain)



Slika 5. Bitcoin transakcije (2009-2017)

Blockchain rješava problem stvaranja distribuirane baze podataka, bez potrebe za korištenjem posebnog neovisnog identiteta koji će nadzirati transakcije. Ova činjenica ima ogroman potencijal primjene na svim poljima od ekonomije, preko industrije do državnih institucija.

Mnogi subjekti, ne samo poslovni, vide blockchain tehnologiju kao slijedeći val tehnološki vođene poslovne transformacije na globalnoj razini. Radi svoje prirode, block chain će uzrokovati ogromnu potražnju za kapacitetima pouzdanih i energetski maksimalno efikasnih data centara.

2.4. VIRTUALNA STVARNOST (VR)

Virtualna stvarnost prilično je dugo poznat tehnološki termin. Posljednjih godina došlo je do značajnog napretka hardvera i softvera u ovom segmentu kao i sve češće na industrijske procese, procesnu automatiku, nadzor, medicinu i zabavu. Koncept virtualne stvarnosti jedan je od ključnih dijelova Industry 4.0 filozofije, posebice u smislu digitalizacije proizvodnog procesa. Primjerice, primjenom VR

tehnologije u izradi elektro-ormara putem posebne integracije projektnog softvera i generiranog 3D digitalnog blizanca, mogu se napraviti značajne uštede, ubrzati proces i smanjiti mogućnost pogreški, a time i povećati ukupna konkurentnost. S velikom se vjerojatnošću može pretpostaviti da će industrijski subjekti sve više ulagati u ovu tehnologiju, a preduvjet njezine implementacije su sigurno i pouzdano pohranjene informacije u Data Centru.

2.5. 5G TEHNOLOGIJA

Mobilne komunikacije prošle su od svog nastanka velike transformacije (1G – analog, 2G – GSM, 3G – UMTS, 4G-LTE), a trenutno je svjetska mobilna mreža pred 5G izazovom koji uključuje ultra visoke brzine prometa, reduciranu latenciju, energetska efikasnost, smanjenje troškova i masivnu interkonekciju svih uređaja. 5G tehnologija (uvođenje se očekuje s početkom 2019. godine) generirati će, posredno ili neposredno, velike količine informacija i stvoriti dodatnu potrebu sa sigurnim i dostupnim smještajem istih.

Telekomunikacijske kompanije užurbano se pripremaju za novu generaciju mobilnih komunikacija, uz eksplicitne zahtjeve za maksimalnom energetska efikasnošću i što manjim faktorom iskoristivosti dana centra (PUE faktor).

2.6. BIG DATA

Termin Big Data u modernom smislu predstavlja korištenje složenih matematičkih algoritama u procesima prediktivne i biheviornalne analize ili drugih naprednih metoda analize koji iz velikog seta podataka izvlače i predviđaju trendove i vrijednosti. Veliki instituti, medicinski i istraživački centri sve više i više koriste Big Data analize u svojim istraživačkim aktivnostima. Mnoge organizacije imaju sve veću potrebu za boljim upravljanjem i pohranom velikih setova podataka, a pri tome je prva potreba na koju nailaze Data Centar.

3. STANDARDI I KLASIFIKACIJA DATA CENTRA

Kompleksnost problematike planiranja, izgradnje i eksploatacije dana centara ogleda se u broju relevantnih tijela i standarda koji reguliraju ovu industriju.

- The Uptime Institute (1993)
- ASHRAE - American Society of Heating, Refrigeration & Air Conditioning Engineers, (1894)
- The Green Grid
- AFCOM - Association for Computer Operations management (1980)
- TIA - Telecommunications Industry Association, founded (1988)
- BICSI - Building Industry Consulting Services International, (1974)
- EUDCA - European data centre association, (2012)
- BITKOM - Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media, (1999)

3.1. EIA-TIA-942 / TIA 942-2 / TIA-942-A

Standard TIA-942 specificira osnovne zahtjeve u dizanju podatkovnih centara. Izdaje ga tijelo TIA – Telecommunications Industry Association, akreditirano od strane američkog nacionalnog instituta za standarde (ANSI) za razvoj standarda koji se temelje na industrijskim standardima, a za široku paletu informacijskih i komunikacijskih tehnologija (ICT tehnologija). Primjena i pozivanje na ovaj standard prilično su česti u industriji data centara, a sam standard definira ključne zahtjeve slijedećih

segmenata, uz definirane odnose utroška energije, operativnih troškova (OPEX) i kapitalnih troškova (CAPEX)

- Mrežni projekt
- Kabliranje
- Kabelske trase i prostore
- Redundantnost
- Lokaciju
- Kontrolu pristupa
- Arhitektonski projekt
- Projekt okoliša i zaštite
- Elektro projekt
- Zaštitu od požara
- Zaštitu od prodora vode

3.2. UPTIME INSTITUTE

Uptime Institute jedno je od najpriznatijih regulatornih tijela u tehnologiji data centra. Na osnovi dugogodišnje ekspertize ovo tijelo razvilo je kompletan klasifikacijski i certifikacijski sistem koji je trenutno jedan od najkorištenijih u ovoj industriji. Uptime institute uveo je Tier klasifikaciju na osnovu koje je omogućena usporedivost instaliranih performansi, infrastrukture i dostupnosti data centra.

Tier requirements	TIER I	TIER II	TIER III	TIER IV
Distribution paths power and cooling	1	1	1 active / 1 alternate	2 active
Redundancy active components	N	N+1	N+1	2 (N+1)
Redundancy backbone	no	no	yes	yes
Redundancy horizontal cabling	no	no	no	optional
Raised floors	12"	18"	30"-36"	30"-36"
UPS / generator	optional	yes	yes	dual
Concurrently maintainable	no	no	yes	yes
Fault tolerant	no	no	no	yes
Availability	99.671%	99.749%	99.982%	99.995%

Tabela 1. Tier klasifikacija prema Uptime institute

Osim Tier klasifikacije i standardizacije, Uptime Institute provodi i poseban certifikacijski sistem za akreditirane supervizore, projektante, implementatore i operatere data centra. Posjedovanje certifikata Akreditiranog Tier Dizajnera (projektanta), Specijalista ili Operatera daje investitoru dodatnu sigurnost u planiranju, izgradnji, eksploataciji i održavanju data centra.

3.3. THE GREEN GRID

The Green Grid je neprofitni, otvoreni konzorcij krajnjih korisnika, regulatora, proizvođača tehnologije, arhitekata i javnih ustanova čiji je primarni cilj poboljšanje ukupne energetske efikasnosti data centra i poslovnih informacijskih sistema. Konzorcij ima preko 175 članova širom svijeta, s glavnom misijom da postane globalni neovisni autoritet za energetske efikasnosti data centra.

Ova institucija je definira važan faktor u energetske efikasnosti i usporedivosti data centra, tzv. PUE (Power Usage Efficiency) faktor. PUE faktor se definira kao:

$$PUE = \frac{E_{uk} [kW]}{E_{IT} [kW]} \geq 1$$

E_{uk} ... Ukupna potrošnja energije data centra

E_{IT} ... Ukupna potrošnja energije IT (aktivnih) komponenti

U idealnom data centru, ukupna potrošnja energije jednaka je potrošnji energije instalirane IT opreme. Moderna tehnologija izgradnje data centara uvijek teži ka manjem PUE faktoru jer su time on i njegovi podsistemi energetske efikasnosti. PUE faktor se u praksi kreće od 1.14 (izuzetno efikasni data centri, hlađeni prirodnim resursima, primjerice Lefdal Mine Data Centar u Norveškoj) preko 1.4 (efikasni data centri, sa visoko energetske efikasnim rashladnim sistemima LCP) preko 2.4 (prosječno efikasni data centri hlađeni CRAC sistemima) do 3.0 (vrlo neefikasni data centri, primjer server sale hlađene tzv. split sistemom).

4. ZAHTJEVI MODERNOG DATA CENTRA

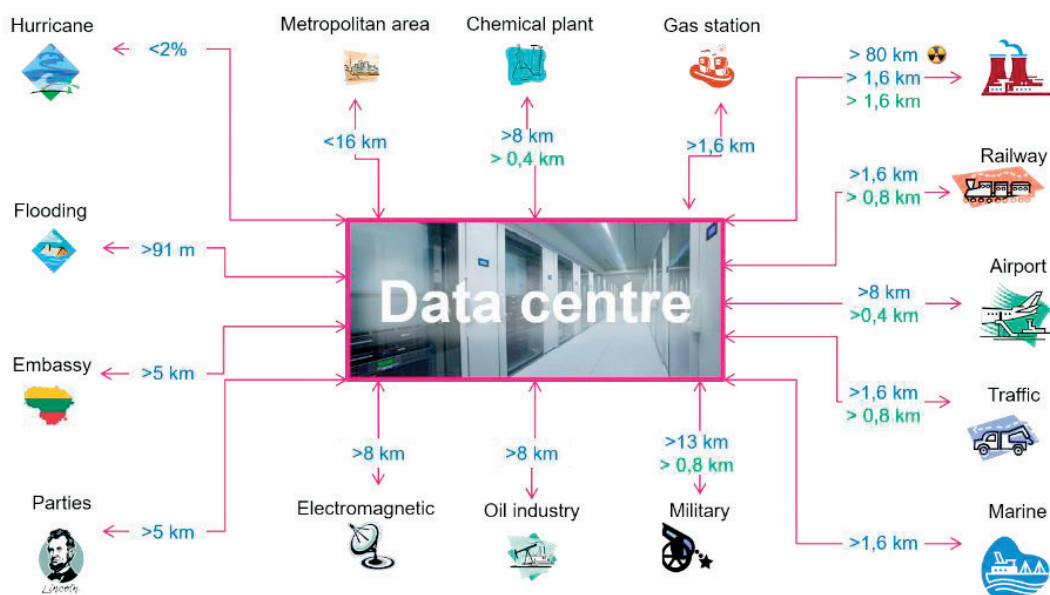
Razvoj IT-ja neminovno dinamički utječe na razvoj koncepta data centra. Isto tako, prioriteti pojedinih zahtjeva mijenjaju se tokom razdoblja, u ovisnosti o potrebama krajnjih korisnika i tržišta koje je u stalnom razvoju. Bez obzira na ove fluktuacije, zahtjeve modernog data centra možemo svesti u slijedeće temeljne kategorije:

4.1. LOKACIJA



Slika 6. Lokacija i trenutni raspored data centara u svijetu (status 15.10.2018.)

Odabir lokacije jedan je od osnovnih početnih parametara u izgradnji modernog data centra. Lokacija je izuzetno bitan faktor jer može odrediti budućnost, standardizaciju i kategorizaciju data centra. Pojedini standardi (BICSI, TIA) vrlo precizno definiraju parametre lokacije, koji su za većinu investitora, čak i ako se radi o tzv. green field investiciji, vrlo teško ostvarivi.



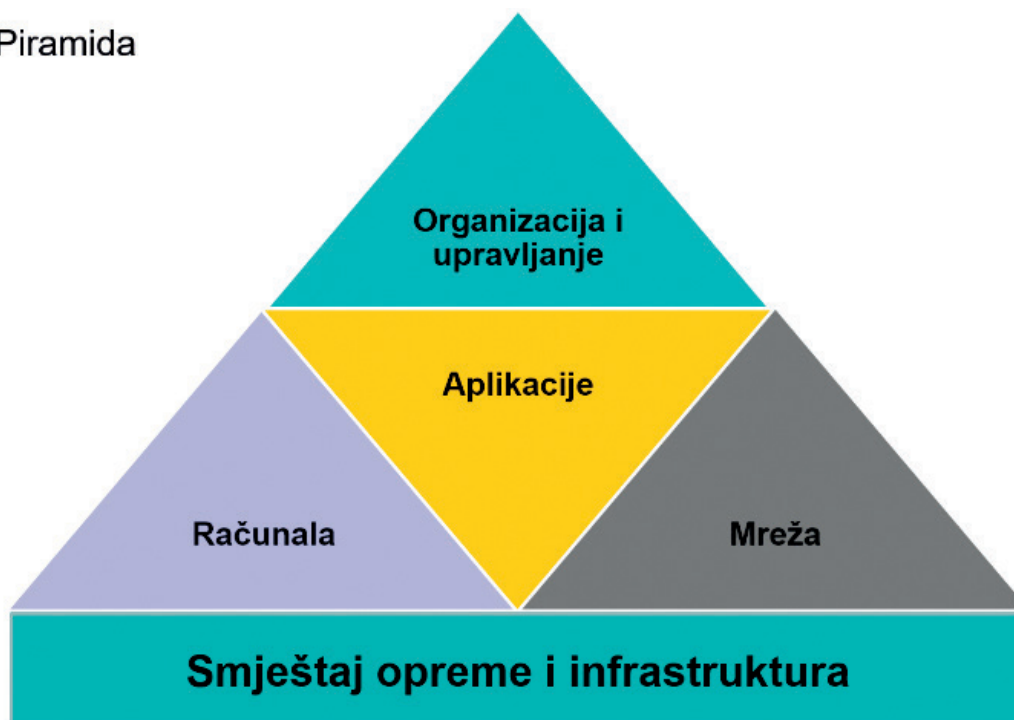
Slika 7. Uvjeti odabira lokacije prema BICSI (plavo) i TIA (zeleno)

U velikom broju slučajeva investitori su prisiljeni izgraditi data centar u postojećim poslovnim zgradama, bez obzira na rizike kojima su takvi objekti izloženi. Moderna tehnologija nudi rješenja i za takve slučajeve, a tiču se ulaganja u fizičku zaštitu data centra.

4.2. FIZIČKA ZAŠTITA

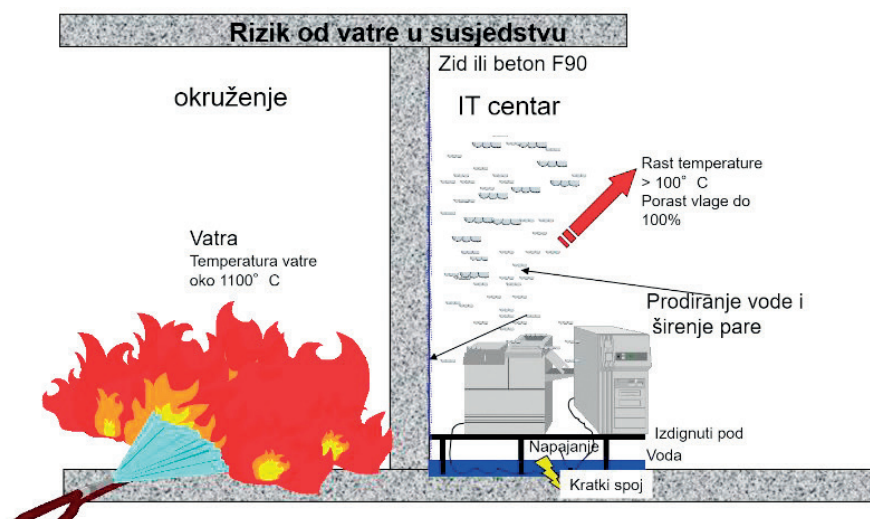
Fizička zaštita data centra jedan je od osnovnih preduvjeta njegove ukupne dostupnosti i sigurnosti, na koju većina projekatana, investitora i krajnjih korisnika još ne fokusira dovoljnu pažnju. Element fizičke zaštite baza je svakog data centra bez kojeg je nemoguće održati njegove ključne sigurnosno funkcionalne parametre.

IT Piramida



Schema 1. Piramida poslovnog IT sistema

Fizička zaštita data centra štiti ključnu infrastrukturnu opremu od operativnih rizika koji se javljaju u ovisnosti o lokaciji i smještaju IT infrastrukture unutar samog građevinskog objekta. Klasični operativni rizici jednog data centra visoke dostupnosti, sigurnosti i pouzdanosti su: vatra (požar), korozivni plinovi, prašina, padanje krhotina, voda (uključeno i voda za gašenje), provala, vandalizam, neovlašteni pristup i elektromagnetske smetnje. Osim curenja vode i prodora vode za gašenje, ovaj rizik je prisutan i pri gorenju požara izvan prostora sistem sale, kada se iz betonskih zidova kondenzira vlaga (Slika 8.)



Slika 8. Rizik od vatre u susjednoj prostoriji

Zaštita od spomenutih rizika definirana je posebnim standardima od kojih je najvažniji EN1047-2.

EN1047-2, za razliku od klasičnog standarda DIN4102 / EN1363 (F90), precizno strogim kriterijima definira uvjete zaštite ključne IT infrastrukturne opreme. Standard F90 / F120 je građevinski standard i odnosi se prvenstveno na zaštitu ljudi unutar ugroženog objekta (200 °C dozvoljeno u šticienom prostoru unutar 90/120 min, a relativna vlaga nije regulirana). Ovaj standard nije relevantan za zaštitu ključne IT opreme koja u praksi ne može izdržati temperature veće od 70 °C i relativnu vlagu veću od 85 %. Standard EN1047-2 je adekvatan standard za punu zaštitu IT opreme, a definira uvjete fizičke zaštite (vatrootpornih panela) koja u slučaju vanjske temperature požara od 960 °C u periodu 60 min štiti unutrašnjost sistem sale na način da ΔT unutar prostora neće prijeći 50 K i relativna vlaga neće prijeći 85 % i te uvjete održava unutar limita 24 h nakon gašenja osnovnog požara. Standard je reguliran akreditiranim tijelom ECB.S (European Certification Body) koje vrši ispitivanja i izdaje tipske certifikate o sukladnosti sa EN1047-2.

Fizička zaštita u data centrima, posebice u onima koji su smješteni (ili se planiraju smjestiti) unutar poslovnih zgrada ostvaruje se tehnologijom tzv. sigurnih soba. U praksi se radi o prostoriji unutar prostorije koja unutrašnji volumen data centra štiti u skladu sa deklariranim standardima.

4.3. ZAHTJEVI MODERNIH I BUDUĆIH DATA CENTARA

Osnovni zahtjevi svakog ozbiljnog data centra sadašnjice mogu se sažeti u nekoliko glavnih kategorija:

1. Sigurnost
2. Pouzdanost
3. Dostupnost
4. Efikasnost
5. Modularnost
6. Skalabilnost

Budući data centri uvode neke nove kategorije koje su sve više pod utjecajem IT trendova današnje i koji će zasigurno odrediti smjernice projektnih zahtjeva

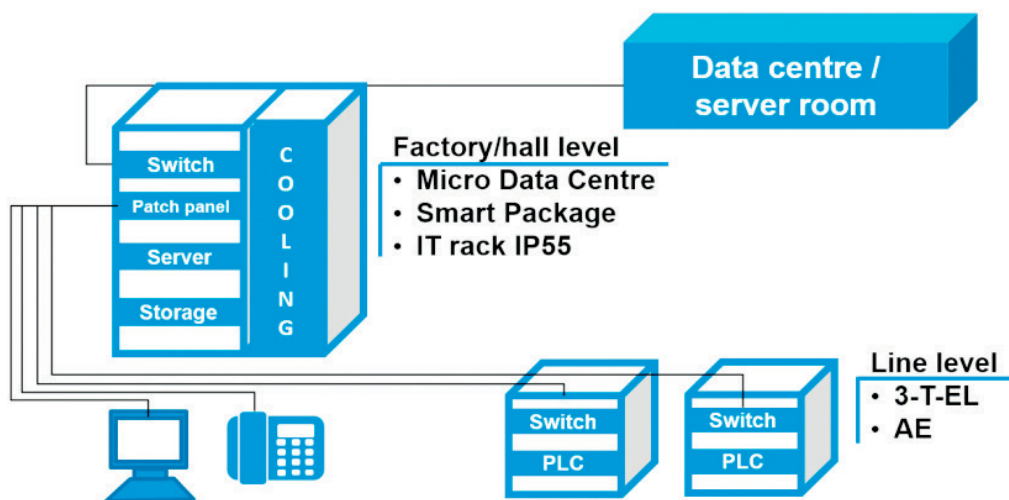
1. Niska latencija
2. Lokalno procesiranje podataka (EDGE data centri)
3. Visoka dostupnost
4. Brza prilagodljivost
5. Visoka energetska efikasnost
6. Sistemski nadzor (monitoring) i upravljivost

5. EDGE DATA CENTRI – PROCESIRANJE BLIŽE PROCESU

Tehnologija EDGE data centara, odnosno data centara bliže procesu, sve više zaokuplja pažnju struke. U osnovi se radi o procesu decentralizacije ovih sistema, prvenstveno pod utjecajem trendova navedenih u Poglavlju 2. Uptime Institut definira EDGE kao prikupljanje i procesiranje informacija blizu njihova izvora (u tvornici – blizu strojeva, u bolnici – blizu operacione sale, u 5G mreži – blizu bazne stanice) s vrlo niskim vremenom latencije i brzom izmjenom. Ključne informacije su pri izvoru, a cloud data centri se koriste za pohranu velike količine ostalih podataka.

EDGE trend je ključan trend, koji je ujedno direktan odgovor tehnologije na nove uvjete informacijskog društva. Područje primjene EDGE filozofije je nebrojeno:

1. Pametni gradovi
2. Pametna industrija
3. Pametni automobili
4. Pametne financije
5. Pametno zdravstvo
6. Pametne telekomunikacije
7. Pametni hoteli



Shema 2. EDGE Data centar u Industry 4.0 okruženju

5.1. BITNE KOMPONENTE EDGE DATA CENTRA

EDGE data centar u pravilu sadrži sve osnovne komponente klasičnog data centra, no u puno kompaktnijem i gušćem prostoru. Obzirom na brzinu procesiranja podataka, veliku gustoću aktivne opreme, te očekivanu veliku toplinsku disipaciju po rack-u (15+ kW / rack) EDGE DC je u pravilu, ovisno o primijenjenoj aplikaciji, opremljen sa :

1. Visokoefikasnim LCP (tzv. Liquid Cooling Package) inverterskim rashladnim jedinicama visoke gustoće hlađenja (varijante sa vodenim i freonskim hlađenjem, unutar ili pripasane samom rack-u)
2. Redundantnim modularnim UPS-om (15 min autonomije unutar rack-a)
3. Sistemom za monitoring, nadzor i upravljanjem (unutar rack-a)
4. Sistemom za ranu detekciju i automatsko gašenje požara
5. Sistemom za kontrolu pristupa s raznim opcijama
6. Opcijom dodatne fizičke zaštite od vanjskih rizika (vatrootporni / vodootporni paneli)

Data centar EDGE tipa zadovoljava sve spomenute trendove i zahtjeve tržišta koji su već sada vidljivi. On ne derogira postojanje velikih data centara za koje će i dalje postojati potreba, prvenstveno u smislu cloud servisa različite namjene za koje nije značajna brzina procesiranja i razmjene podataka.

Također, EDGE data centar neće nadomjestiti ključne infrastrukturne data centar objekte visoke razine zaštite i pouzdanosti srednje veličine (energetske kompanije, telekomi).

Prema trenutnim podacima iz razvijenih zemalja (Gartner) samo 10 % poslovno generiranih informacija se generira i procesira izvan klasičnog, tradicionalnog i centraliziranog data centra. Ključne konzultantske kuće (Gartner) već danas procjenjuju da će broj obrađenih informacija unutar EDGE sistema već do 2022 porasti za 50 %.

5.2. NOVA ULOGA CLOUD-A

EDGE tehnologija otvara ogromne mogućnosti za optimizaciju poslovnih procesa i novom informacijskom društvu koje će odrediti novi trendovi, s posebnim naglaskom na blockchain. Međutim, ona ne derogira postojanje cloud data centara koji će se i dalje razvijati kao veliki, visoko energetske efikasni data centri (PUE < 1.3) u novoj ulozi i neprekidnoj interakciji sa EDGE sistemima. Nova uloga cloud data centara može se svesti na nekoliko osnovnih odrednica:

1. Koordinacija
2. Agregacija
3. Arhiviranje
4. Podrška za back-end učenje pametnih uređaja, strojeva i općenito umjetne inteligencije
5. Pozadinski procesiranje i podataka (business intelligence)

5.3. BLOCKCHAIN CONTAINER COMPUTING

Kombinacija skalabilne EDGE tehnologije i organizacijski fleksibilnih kontejnerskih data centara idealna je tehnološka kombinacija za blockchain computing. Ovim je nastala svojevrsna hibridna kombinacija data centra novog doba koja je sposobna odgovoriti na izazove blockchain tehnologije. U kombinaciji sa modelom „IT as a service“ sadašnji i budući investitori moći će odabrati specijaliziran data centar po mjeri svoj novog poslovnog modela, čija će kompletna implementacija (hardvera, softvera, usluga, logistike, pohrane i održavanja) biti povjerena pouzdanom partneru po principu „ključ u ruke“. Ovakav kontejner može biti smješten bilo gdje u svijetu, upravo zbog decentraliziranosti novih tehnologija koje ne ovise o jednom regulatoru i prostoru.

Upravo zbog navedenog prednost će pri odabiru smještaja novih objekata ovog tipa biti dana onima koji mogu ponuditi najvišu moguću efikasnost uz najmanje zagađenje okoliša i najmanje troškove, te kompletnu uslugu implementacije i dugoročnog održavanja.

6. ZAKLJUČAK

Bez obzira na brojne analize svjetskih eksperata i područja informacijske tehnologije i društva, još uvijek je vrlo teško predvidjeti sve detalje naše informacijske budućnosti. U tom smislu, moguće je da se ovdje spomenuti trendovi tehnologije data centara drastično izmijene kroz neko kraće ili dulje vremensko razdoblje.

Usprkos tome postoje određeni stabilni trendovi našeg društva koji su prilično predvidivi i gotovo sigurni. Povećanje ukupnog volumena, sve brže komunikacije i protok informacija, neprestano procesiranje i generiranje novih količina manje ili više bitnih informacija koje se ne smiju izgubiti su neki od njih. U ovom smislu, općenita uloga modernih i fleksibilnih data centara postaje izuzetno važna. Važna do te mjere da praktički ne postoji segment društva, kompanije ili ustanove koji si može dozvoliti slobodu da rješenje problema svog data centra ne stavi na svoj najviši prioritet.

Pri tome je vrlo bitno sagledati trenutno okruženje i trendove, definirati dugoročnu strategiju te odrediti model, glavne funkcionalne zahtjeve i standarde, imajući u vidu sadašnje i buduće potrebe institucije, kako u operativnom tako i u razvojnom smislu. Ulaganje u data centar, bez obzira na veličinu, u pravilu je skupa investicija, a najskuplja može biti ako se zanemare mogućnosti dostupne tehnologije, budući trendovi i važeće smjernice. Kompanije, institucije i države koje nisu koncentrirane na ovaj segment poslovanja budućnosti neće moći uhvatiti razvojni korak sa ostatkom svijeta.

Data centar i njegova infrastruktura, u svakom smislu, postaje glavnom jezgrom budućeg razvoja svjetske industrije i informacijskog društva.

LITERATURA

- [1] Laboratorij za sustave i signale, Fakulteta elektrotehnike i računarstva, Sveučilišta u Zagrebu: Redundantni podatkovni centri, LSS-PUBDOC-2011-01-011, 2011. godina
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Data_center, 15.10.2018.
- [3] <https://www.techopedia.com/definition/349/data-center>, 16.10.2018.
- [4] https://www.researchgate.net/figure/Digital-radar-with-enablers-and-applications-Bouee-and-Schaible-2015_fig1_321394754, 14.10.2018.
- [5] <https://www.statista.com/study/51060/digital-economy-challenges/>, 16.10.2018.
- [6] <https://www.i-scoop.eu/>, 17.10.2018.
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockchain>, 11.10.2018.
- [8] <https://www.datacentermap.com/>, 15.10.2018.
- [9] Reinsel, David; Gantz, John; Rydning, John (13 April 2017). "Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical" (PDF). seagate.com. Framingham, MA, US: International Data Corporation. Retrieved 2 November 2017. E. H. Miller, "Periodical style—Accepted for publication," IEEE Trans. Antennas Propagat.
- [10] <https://www.gartner.com/en>, 17.10.2018.
- [11] <https://www.thegreengrid.org/>, 14.10.2018.
- [12] "Edge Computing - Microsoft Research". Microsoft Research. 2008-10-29. Retrieved 2018-09-24.

