

**INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE**

STRUKOVNA KOMORA  
ELEKTRO INŽENJERA

# **PRVI DANI**

**ELEKTRO INŽENJERA IKCG**

PODGORICA, 12. - 14. OKTOBAR 2017.

ZBORNİK RADOVA - 2017.



**ZBORNİK RADOVA**

**INŽENJERSKA KOMORA CRNE GORE**

**STRUKOVNA KOMORA  
ELEKTRO INŽENJERA**

**PRVI DANI  
ELEKTRO INŽENJERA IKCG**

PODGORICA, 12. - 14. OKTOBAR 2017.

## **IZDAVAČ**

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

## **ZA IZDAVAČA**

Boris Ostojić, dipl. ing. el.

## **ODGOVORNI UREDNIK**

Željko Maraš, dipl. ing. el.

## **ORGANIZACIONI ODBOR**

Željko Maraš, dipl. ing. el., Predsjednik  
Ratko Vujović, dipl. ing. el., Podpredsjednik  
Mira Radunović, dipl. ing. el.  
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.  
mr Miodrag Saveljić, dipl. ing. el.  
Dragica Vujičić, dipl. ing. el.  
Milanko Džuver, dipl. ing. el.  
Ana Grbović, dipl. ing. el.  
Prof. dr Milovan Radulović, dipl. ing. el.  
Prof. dr Gojko Joksimović, dipl. ing. el.  
Zoran Kaluđerović, dipl. ing. el.  
Aleksandar Vučinić, dipl. ing. el.

## **PROGRAMSKI ODBOR**

Prof. dr Milovan Radulović, dipl. ing. el., Predsjednik  
Prof. dr Gojko Joksimović, dipl. ing. el.  
Rajko Radusinović, dipl. ing. el.  
Ratko Vujović, dipl. ing. el.  
mr Miodrag Saveljić, dipl. ing. el.  
Sandra Šipčić, dipl. ing. el.

## **TEHNIČKI UREDNIK**

Blažo Veljović

## **ŠTAMPA I POVEZ**

Grafo Group, Podgorica

## **TIRAŽ**

500 primjeraka

# Izlagачi i teme promotivnih prezentacija

## **Telemont d.o.o. Podgorica**

Teme: „Integrirani sistemi tehničke zaštite“  
„Manage WiFi rješenja“

## **Čikom d.o.o. Podgorica**

Tema: „Smjernice u izgradnji fizičke infrastrukture modernih data centara“

## **Televex d.o.o. Podgorica**

Teme: „Polaganje podvodnog visokonaponskog kabla na dionici Kamenari  
Lepetani - rješenje i iskustva“  
„Primjena multimegapikselnih kamera u savremenim sistemima  
za video nadzor, uz naglasak na video analitici“

## **Simes inženjering d.o.o. Podgorica**

Tema: „Hotel La Perla Tivat“

## **Ramel d.o.o. Nikšić**

Tema: „Tunelsko osvetljenje primenom LED tehnologije i primjena  
kontrolnih sistema u tunelima Budoš i Mekavac“

## **ION Solutions d.o.o. Podgorica**

Tema: „Primjer integrisanog BMS-a sa elementima smart home sistema“

CIP - Каталогизација у публикацији  
Национална библиотека Црне Горе, Цетиње

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

# Zbornik radova

**PRVI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG**

Podgorica, 2017.



# UVODNA RIJEČ PREDSEDNIKA STRUKOVNE KOMORE ELEKTRO INŽENJERA IKCG



**Poštovane kolegice i kolege,**

Ideja o organizaciji ovakvog stručnog skupa prisutna je već duži niz godina unutar Strukovne komore elektro inženjera IKCG, a ove godine smo konačno u prilici da isti po prvi put realizujemo.

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

Potrudili smo se da obezbijedimo kvalitetne referate, odnosno predavače, članove/ice Strukovne komore i eminentne stručnjake iz Crne Gore i inostranstva, kako bi svakom od Vas pružili priliku za sagledavanje aktuelnih tema iz oblasti kojima se bave članovi/ice naše Strukovne komore.

Predviđeno je održavanje okruglog stola, na temu „Korišćenje hidropotencijala u Crnoj Gori“, za koji smo sigurni da će pobuditi pažnju svih Vas.

Realizovane ili projekte koje planiraju da realizuju, prezentovaće referentne crnogorske kompanije: „Telemont“, „Čikom“, „Televox“, „Ramel“, „Simes Inženjering“ i „ION Solutions“.

Uz stručni dio, jedan od osnovnih motiva za organizaciju ovakvih manifestacija jeste i pružanje prilike za druženje i obnavljanje postojećih i uspostavljanje novih ličnih i poslovnih kontakata.

Želim da se zahvalim svim učesnicima: gostima i članovima/icama Strukovne komore koji su svojim prisutvom uveličali stručni skup "PRVI DANI ELEKTRO INŽENJERA IKCG", predavačima koji su se odazvali našem pozivu i uložili trud na pripremi i prezentovanju kvalitetnih referata, kompanijama izlagačima na učešću i podizanju nivoa stručnog skupa, osoblju „Imanja Knjaz“ na gostoprimstvu i posebno Predsjedniku i članovima Organizacionog odbora.

Uvjeran da će održavanje ovog stručnog skupa postati tradicija i da ćemo biti u prilici da se sljedeće godine u ovo vrijeme sretnemo na stručnom skupu „DRUGI 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:

<b>ELEKTRIČNI UTICAJI DALEKOVODA NA ŽIVOTNU SREDINU .....</b>	<b>11</b>
Prof. dr Mišo Ostojić	
<b>KRITIČKI OSVRT NA IZBOR PRIHVATNOG SISTEMA ZAŠTITE OD ATMOSFERSKOG PRAŽNENJA NA TERITORIJI CRNE GORE .....</b>	<b>27</b>
Prof. dr Svetislav Smiljanić, mr Miodrag Saveljić	
<b>PROJEKTOVANJE SUSTAVA ZAŠTITE OD GROMA SA PROGRAMOM SHIELD I ZAŠTITA EX ZONA PREMA EN 62305-3 .....</b>	<b>39</b>
Janez Podlipnik	
<b>GREEN ICT RJEŠENJA U SLUŽBI ENERGETSKE EFIKASNOSTI I OČUVANJA OKOLINE .....</b>	<b>49</b>
Prof. dr Božo Krstajić	
<b>HUMANOCENTRICNO OSVJETLJENJE NOVI PUT U STANDARDIMA SVJETLOTEHNIKE .....</b>	<b>59</b>
Igor Strugar	
<b>OSVETLJENJE TUNELA ULAZNI PARAMETRI I KRITERIJUMI KVALITETA .....</b>	<b>65</b>
Ana Drndarević	
<b>OPTIČKE PRISTUPNE MREŽE U FTTx TEHNOLOGIJI I NJIHOVA PRIMJENA U CRNOJ GORI .....</b>	<b>77</b>
Vladimir Slavić	
<b>KNX – STANDARD AUTOMATIZACIJE U OBJEKTIMA .....</b>	<b>89</b>
Srđan Gavrilović	
<b>INDUSTRIJSKI INTERNET STVARI: OSLOBAĐANJE PUNOG POTENCIJALA UMREŽENIH UREĐAJA I USLUGA U PODRUČJU ELEKTRANA.....</b>	<b>97</b>
Ana Grbović	
<b>MODERNIZACIJA SISTEMA ZA DALJINSKI NADZOR I UPRAVLJANJE U CGES-U .....</b>	<b>109</b>
mr Mimo Mirković, Miljan Jovović, Krsto Radulović, Ivan Asanović	
<b>PROJEKAT REKONSTRUKCIJE I MODERNIZACIJE HE PIVA .....</b>	<b>119</b>
Nikola Daković, Gojko Blagojević	
<b>OPTIMIZACIJA KORIŠĆENJA HIDRO POTENCIJALA ZETE I PIVE.....</b>	<b>131</b>
dr Miodrag Kaluđerović	
<b>KLJUČNA OTVORENA PITANJA I MOGUĆA RJEŠENJA U KORIŠĆENJU HIDRO POTENCIJALA CRNE GORE - NA PRIMJERU RIJEKE MORAČA .....</b>	<b>141</b>
mr Slobodan J. Perović	



# ELEKTRIČNI UTICAJI DALEKOVODA NA ŽIVOTNU SREDINU

Prof. dr Mišo Ostojić  
Elektrotehnički fakultet Podgorica

**Kratak sadržaj:** U radu su razmatrane različite konfiguracije provodnika jednosistemskih i dvo-sistemskih dalekovoda 400 kV i uticaj rasporeda provodnika, međusobnog rastojanja, presjeka provodnika, broja provodnika u snopu jedne faze, rastojanje između provodnika u snopu i visine provodnika iznad tla, na raspodjele jačine električnog polja i magnetne indukcije ispod i pored dalekovoda. Takođe, izvršeni su proračun gradijenta električnog potencijala na površini provodnika i analiza uticaja navedenih parametara dalekovoda na raspodjelu radio smetnji i audio buke koje proizvodi pojava korone na dalekovodima.

**Ključne riječi:** Električno polje, magnetna indukcija, dalekovod, korona, buka, radio smetnje.

## ELECTRICAL IMPACTS OF THE TRANSMISSION LINES TO THE ENVIRONMENT

**Summary:** This paper deals with different configurations of conductors of single and double 400 kV overhead transmission lines, and with the impacts of the conductor layout, mutual distance, cross section of the conductor, number of conductors into the bundle of one phase, distance between the conductors in the bundle and the height of the conductors above the ground, on the distribution of the electric field strength and magnetic induction below and beside the overhead transmission line. Also, the calculation of the electric potential gradient on the surface of the conductors and the impacts of the overhead transmission line parameters on the distribution of radio interferences and audio noise produced by the appearance of the corona on the overhead transmission lines were performed.

**Keywords:** Electric field, magnetic induction, transmission line, corona, noise, radio interference.

# 1. UVOD

Izgradnja i rad visokonaponskih nadzemnih vodova rezultira nizom različitih vrsta uticaja na životnu sredinu. Obim i značaj ovih uticaja zavisi uglavnom od naponskog nivoa, opterećenja i parametara dalekovoda, kao i od topologije i stanja životne sredine.

Zbog toga, prilikom projektovanja novih dalekovoda, preporučljivo je preduzeti korake kako bi se smanjili ovi uticaji na prihvatljive nivoe. Iz tih razloga neophodno je procijeniti uticaj sledećih parametra dalekovoda na okolinu<sup>[2][5]</sup>: *konfiguracija konzola faza, broj i raspored provodnika, broj provodnika u svakoj fazi, rastojanje između faza, visina provodnika iznad terena i prečnik provodnika.*

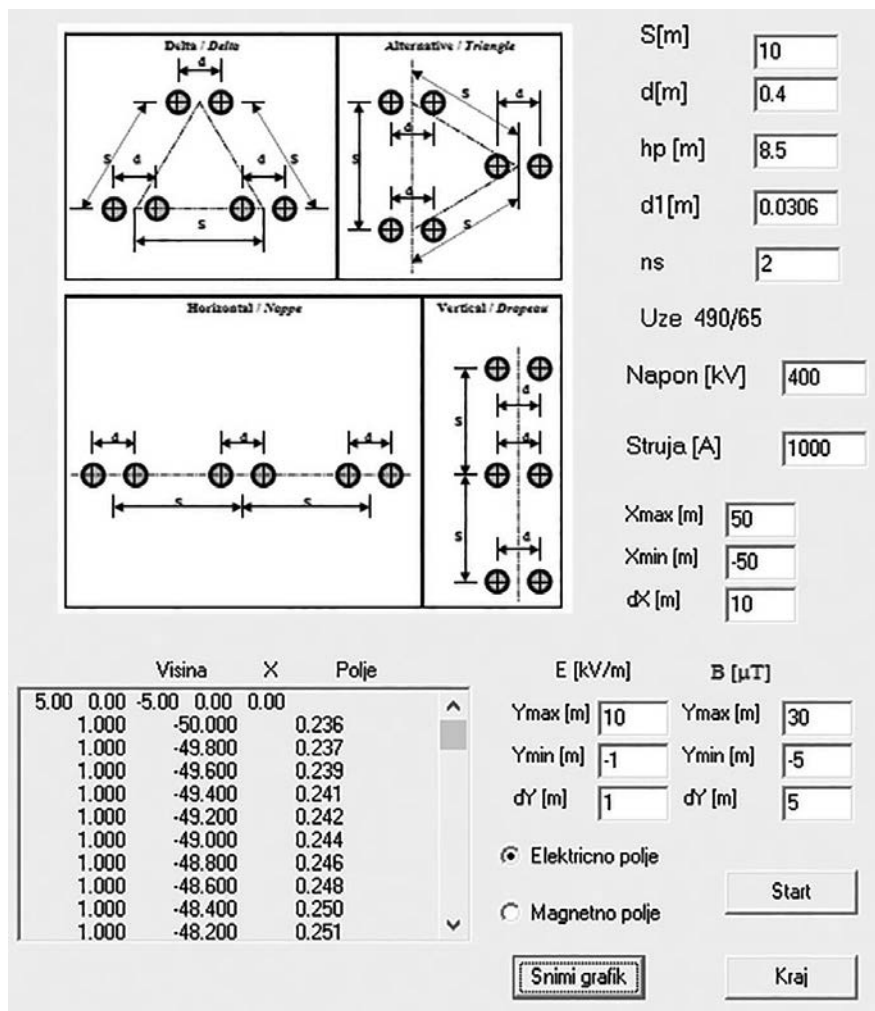
U većini slučajeva, kad se neki parametar modifikuje kako bi se smanjio jedan uticaj, npr. jačina električnog i magnetnog polja, drugi uticaj, npr., audio buka i radio smetnje, će se povećati, i obratno. Stoga je tada neophodno tražiti kompromisna rešenja koja minimiziraju ukupni štetni uticaj na okolinu.

Cilj ovoga rada je da se ispita, sa električnog aspekta, kako promjene rasporeda i dimenzija faznih provodnika na stubu utiču na životnu sredinu. U ovom radu, sve analize urađene su za 400 kV dalekovod kao prvog predstavnika EHV dalekovoda i to, za jednosistemске i dvosistemске dalekovode različitih konfiguracija, uzimajući u obzir stubove, koje se često koristi u Evropi. Drugi tipovi konfiguracije provodnika nisu razmatrani u ovoj analizi, jer donekle imaju slične siluete ovdje analiziranim, i proizvode slične električne efekte. Zaključci su primenljivi i za 220 kV naponski nivo, s tim što su uticaji na životnu sredinu svedeni na manju mjeru. Za još niže naponske nivoe, neki štetni efekti su praktično zanemarljivi. Sve vrijednosti računate su na visini 1.0 metar iznad zemlje.

Opšta populacija – javnost, najviše je zabrinuta zbog štetnog uticaja električnog i magnetnog polja na zdravlje ljudi, pri čemu se skoro redovno, kad su u pitanju dalekovodi, zanemaruje činjenica da se radi o nejonizujućem zračenju ekstremno niskih učestanosti. Audio buka i radio smetnje mogu biti neprijatni za one koji žive u blizini dalekovoda.

## 2. JEDNOSISTEMSKI DALEKOVOD 400 KV

Na slici 1 date su 4 konfiguracije jednosistemskog dalekovoda 400 kV koje su analizirane u ovom radu i forma računarskog programa za proračun jačine električnog polja i magnetne indukcije. Razmatrane su konfiguracije: delta, modifikovana delta, horizontalna (portal) i vertikalna konfiguracija<sup>[2]</sup>. Usvojeno je, radi objektivnog upoređivanja, da je za sve konfiguracije glave stuba rastojanje između faznih provodnika isto i iznosi  $S$ , da faze imaju isti broj provodnika u snopu  $n_s$  i da je rastojanje između provodnika u snopu jedne faze, takođe, isto i iznosi  $d$ .



Sl.1 Konfiguracije glave stuba Delta, Alternativna Delta, Horizontalna (Portal) i Vertikalna

Proračuni jačine električnog polja i gustine magnetnog fluksa za sve konfiguracije, vršeni su za  $S=10m$ ,  $d=0.4m$ ,  $ns=2$ , za provodnik ACSR 490/65 prečnika 30.6mm, za istu visinu nižeg provodnika iznad zemlje od 8.5m, za napon 400 kV i za struju po fazi 1000A. Raspodjele polja su posmatrane u koridoru širine 100m.

## 2.1. Uticaj parametara na jačinu električnog polja

Na sl. 2 date su raspodjele jačine električnog polja za 4 analizirane konfiguracije glave stubova, primjenom teorijske osnove i, na osnovu nje, razvijenih računarskih programa datih u [3] i [5].

### Konfiguracija voda

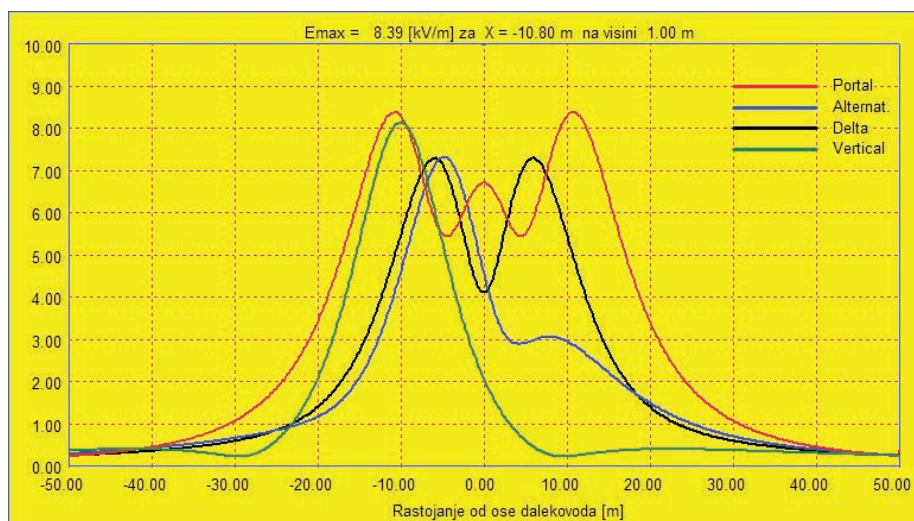
Delta i alternativna delta konfiguracije daju najnižu vrijednost maksimalne jačine električnog polja (EP), a Horizontalna konfiguracije daje najviše vrijednosti. Za vrijednost rastojanja između faza  $S=10$  m i  $ns=2$  provodnika po fazi i uzimajući u obzir visinu provodnika iznad tla od 8.5 m, maksimalne vrijednosti jačine EP su sledeće:

**Delta: 7.30 kV/m**

**A. Delta: 7.32 kV/m**

**Vertikalna: 8.14 kV/m**

**Horizontalna: 8.39 kV/m**



Sl.2 Raspodjele jačine električnog polja

Jačina električnog polja u osi dalekovoda i na 20 m od ose DV, takođe, je veća za horizontalnu konfiguraciju.

Jačina na 50 m je veća za vertikalnu konfiguraciju samo na strani gde su postavljene faze. Dakle, vertikalna konfiguracija bi moglo biti dobro rješenje za određenu lokaciju, kako bi se faze instalirale vertikalno na suprotnoj strani od objekata koje treba izložiti manjem uticaju.

Važno je primijetiti da je za sve 4 konfiguracije maksimalna jačina električnog polja na rastojanju 30 m od ose dalekovoda uvek manje od oko 1 kV/m.

### Rastojanje između faza

Kako se rastojanje između faza povećava, jačina EP se, takođe, povećava, za sve konfiguracije, osim u samoj osi za delta i alternativnu delta konfiguracije, gde se jačina EP smanjuje kad se rastojanje faza povećava. Dakle, smanjenje rastojanja između faza, do dozvoljene granice, za sve konfiguracije, najbolji je način da se smanji jačina EP u koridoru.

### Visina provodnika iznad zemlje

Jačina EP se smanjuje sa visinom provodnika iznad tla. Smanjenje jačine EP je važno za maksimalne vrijednosti polja u koridoru DV. Iza ivice koridora smanjenje polja je manje izraženo.

### Presjek provodnika u snopu

Jačina EP malo raste, kako se presjek provodnika povećava, ali to nema jako izražen uticaj.

### Broj provodnika u snopu za identičan ukupan poprečni presjek

Za isti ukupan poprečni presjek jačina EP se povećava kad se povećava broj provodnika u snopu za sve konfiguracije u istoj mjeri.

### Razmak između provodnika u snopu

Jačina EP malo raste, kad se rastojanje između provodnika u snopu povećava.

### Zaključci za jačinu električnog polja:

- Za 400 kV DV, delta i alternativnu delta konfiguracije daju niže vrijednosti jačine EP.
- Vertikalna konfiguracija može biti korisna u određenim situacijama.
- Kompaktiranje je najbolji način za smanjenje jačine EP.
- Povećanje visine provodnika iznad tla znatno utiče na smanjenje jačine EP u koridoru.

## 2.2. Uticaj parametara na gustinu magnetnog fluksa – magnetnu indukciju<sup>[3] [5]</sup>

Na sl. 3 date su raspodjele gustine magnetnog fluksa za 4 analizirane konfiguracije glave stubova.

### Konfiguracija voda

Alternativna delta konfiguracija daje najmanje vrijednosti maksimalne magnetne indukcije, a horizontalna konfiguracija najviše. Za rastojanje između faza  $S=10\text{m}$ , za rastojanje između provodnika iste faze  $d=0.4\text{m}$  i za struju od  $1000\text{ A}$ , maksimalne vrijednosti magnetne indukcije, za visinu provodnika iznad tla od  $8.5\text{ m}$  na visini  $1\text{m}$  iznad tla, su sledeće<sup>[3][5]</sup>:

- Alternativa:  $17,52\ \mu\text{T}$
- Vertikalna:  $17,69\ \mu\text{T}$
- Delta:  $22,17\ \mu\text{T}$
- Horizontalna:  $27.98\ \mu\text{T}$

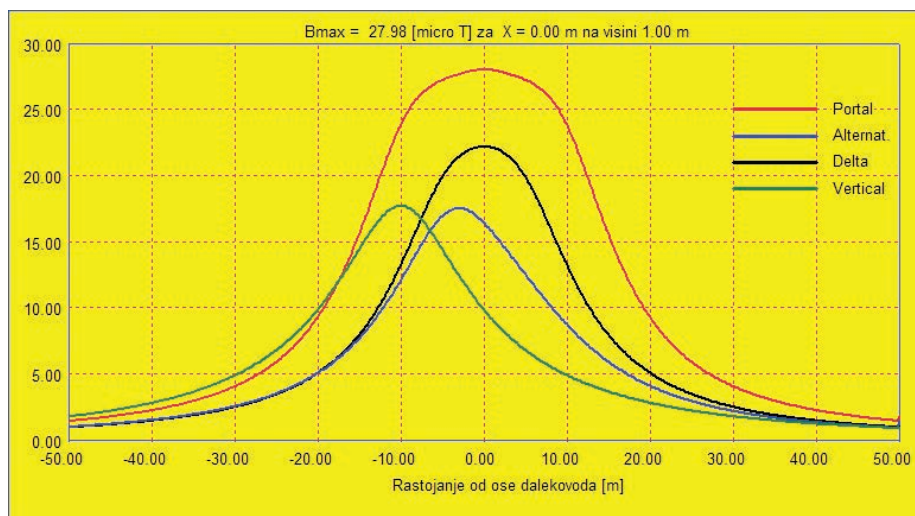
Vrijednosti u osi dalekovoda veće su za horizontalnu konfiguraciju, a niže su za vertikalnu. Na  $20$  i  $50\text{ m}$  od ose dalekovoda, delta i alternativna delta konfiguracije daju najnižu vrijednost. Takođe, sa aspekta magnetne indukcije može biti korisno, na određenim lokacijama, da se instaliraju faze u vertikalnoj konfiguraciji na suprotnoj strani od lokacija koju treba izložiti nižem nivou polja.

### Rastojanje između faza

Kako rastojanje između faza povećava, magnetna indukcija se povećava za sve konfiguracije. Dakle, kompaktan je najbolji način da se smanji magnetna indukcija.

### Visina provodnika iznad zemlje

Magnetna indukcija se jako smanjuje kad se visina provodnika iznad tla povećava. Da se magnetna indukcija smanji lokalno, povećanje visine provodnika je najlakše rješenje.



Sl.3. Raspodjele magnetne indukcije

### Zaključci:

- Kod  $400\text{ kV}$  vodovima, alternativna delta konfiguracija rasporeda provodnika daje niže vrijednosti magnetne indukcije.
- Smanjenje razmaka faza je najbolji način da se smanji magnetna indukcija.
- Povećanje visine provodnika iznad zemlje je jednostavan način za smanjenje lokalne magnetne indukcije



### 3. UTICAJ KORONE

U neposrednoj blizini provodnika pod naponom 400 kV, izolatorima, spojnoj i ostaloj opremi, koji se nalazi na otvorenom prostoru, električno polje je vrlo visokog intenziteta, pa dolazi do proboja vazduha, što izaziva efekat korone. To je jonizacija vazduha nastala usljed dejstva jakog električnog polja, tako da u određenom prostoru oko provodnika dolazi do vrlo malih električnih pražnjenja sa prekidima. Ova pražnjenja izazivaju karakterističnu buku u okolnom prostoru sličnu pucketanju i zujanju koji su dominantna karakteristika korone (dominantna frekvencija je dvostruka frekvencija električne energije). Pored toga, korona emituje radioelektrične talase, tzv. „radioelektrični šum“. Efekti korone, pored jačine električnog polja, zavise od vremenskih uslova u neposrednoj okolini i naročito su intezivni pri povećanoj vlažnosti vazduha (magla, kiša, zagađenost vazduha i izolatora).

Posledice korone se obično mjere na ivici slobodnog prolaza ili ispod voda gdje je moguće. Takođe, mjerenja se mogu vršiti duž lateralnog profila.

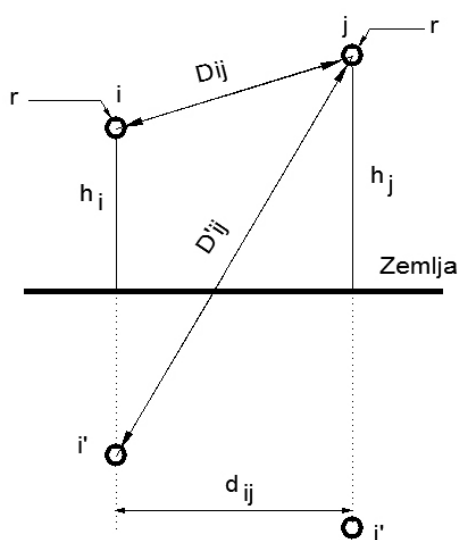
Udaljavanjem od nadzemnog voda, uticaj korone opada obrnuto proporcionalno kvadratnom korjenu udaljenosti. Tako npr. nivo buke od korone opada po oko 3dB ako se udaljenost od voda udvostručava. Na slabljenje efekta korone utiču priroda zemljišta, vegetacija, prisustvo zgrada itd.

Prisustvo malih izbočina, kapljice kiše, snjega ili leda, masnoće, insekata i nečistoće na površini provodnika ima efekat povećanja gubitaka uslijed korone, a time i povećanja efekata korone.

Efekat uticaja korone na vod može se smanjiti izborom užeta većeg presjeka ili više provodnika u snopu. Mnoga mjerenja su dokazala veći uticaj korone u blizini stubova, a pogotovo blizu ugaono-zatezanih stubova.

Istraživanja su pokazala da se najveća buka usljed korone pojavljuje na dalekovodima naponskog nivoa 220 kV i više. Efekti korone na vodove mogu se smanjiti adekvatnim izborom izolacije, elemenata sa što glađim površinama, periodičnim pranjem izolatora i zamjenom oštećenih dijelova izolatorskih lanaca, izbjegavanje oštećenja provodnika prilikom postavljanja. Prije nabavke opreme potrebno je uraditi proveru opreme na koronu, u skladu sa standardom IEC 60437.

Određivanje gradijenta potencijala na površini provodnika dalekovoda pod naponom može se izvršiti polazeći od sl. 4, na kojoj je prikazan međusobni položaj i-tog i j-tog provodnika i njihovih likova u odnosu na površinu zemlje. Potrebni podaci za proračun su: napon između faza  $U$ , broj provodnika u svakoj fazi pojedinačno  $n$ , poluprečnik jednog provodnika u fazi  $r$ , rastojanje između provodnika u istoj fazi (u snopu)  $s$ , prečnik opisanog kruga oko snopa provodnika jedne faze  $R$  i visine provodnika iznad zemlje<sup>[6][7]</sup>.



Sl.4 Uz određivanje gradijenta potencijala na površini provodnika

Pri određivanju gradijenta potencijala na površini provodnika polazi se od pretpostavki da su provodnici dalekovoda idealno cilindrični, da su provodnici paralelni ravnom terenu i da se nalaze na srednjoj visini iznad zemlje koja se može izračunati preko lančanice u posmatranom rasponu<sup>[8]</sup>.

Za računanje gradijenta potencijala na površini svih provodnika u snopu, prvo se određuje ukupno naelektrisanje snopa Q uvođenjem ekvivalentnog poluprečnika  $r_e$  u izraze za potencijalne koeficijente, koji se određuje po formuli<sup>[8]</sup>:

$$r_e = R \sqrt{\frac{n \times r}{R}}$$

Koristeći oznake na slici 4. dobija se:

$$D_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + (h_i - h_j)^2} \quad \text{i} \quad D'_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + (h_i + h_j)^2}$$

Sada se može pristupiti formiranju matrice potencijalnih koeficijenata  $[\Lambda]$ , čiji su elementi:

$$\lambda_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_o} \ln \frac{2h_i}{r_i} \quad \text{i} \quad \lambda_{ij} = \lambda_{ji} = \frac{1}{2\pi\epsilon_o} \ln \frac{D'_{ij}}{D_{ij}},$$

pa se konačno dobija za bilo koji dalekovod:

$$[\Lambda] = \frac{1}{2\pi\epsilon_o} \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} & \cdot & \cdot & \lambda_{16} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} & \cdot & \cdot & \lambda_{26} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} & \cdot & \cdot & \lambda_{36} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \lambda_{61} & \lambda_{62} & \lambda_{63} & \cdot & \cdot & \lambda_{66} \end{bmatrix}$$

Matrica kapacitivnosti dobija se inverzijom matrice potencijalnih koeficijenata:

$$[C] = [\Lambda]^{-1}$$

Sada se, preko matrice kapacitivnosti i vektora kolone napona  $[U]$ , mogu odrediti količine naelektrisanja  $[Q]$  pojedinih faza:

$$[Q] = [C][U]$$

pri čemu su:

$$[U] = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad \cdot \quad \cdot \quad u_n]^{-1}, \quad [Q] = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad \cdot \quad \cdot \quad q_n]^{-1}$$

Poznavajući vektor kolonu naelektrisanja može se odrediti srednji gradijent potencijala na površini faza dat sa:

$$[G_{sr}] = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{2\pi\epsilon_o r} [Q]$$

jer je pretpostavljeno da je ukupno naelektrisanje snopa raspoređeno na n provodnika u snopu. Kako je:

$$[G_{sr}] = [g_{sr,1} \quad g_{sr,2} \quad g_{sr,3} \quad \cdot \quad \cdot \quad g_{sr,6}]^{-1},$$

konačno se dobijaju srednji gradijenti potencijala na površini pojedinih faza kao:

$$g_{sr,i} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r} \cdot q_i$$

Nakon toga, može se odrediti maksimalni površinski gradijent provodnika u snopu, kao:

$$[G] = \left[ 1 + \frac{(n-1)r}{R} \right] [G_{sr}]$$

Izračunate gradijente potencijala na površini pojedinih provodnika u snopovima po fazama treba uporediti sa kritičnim gradijentom potencijala proboja korone  $G_c$ , koji se računa pomoću Peek-ove formule<sup>[6][7]</sup>:

$$G_c = \frac{31 \cdot \delta \cdot m}{\sqrt{2}} \left( 1 + \frac{0.308}{\sqrt{\delta \cdot R}} \right) \left[ \frac{kV}{cm} \right]$$

gdje su:

$\delta$  - relativna gustina vazduha:

$$\delta = \frac{3.921 \cdot b}{273 + T_{amb}}$$

$b$  - atmosferski pritisak u cmHg, dat sa:

$$b = 10^{\left( 1.881 - \frac{H}{18336} \right)},$$

$H$  - Nadmorska visina (m)

$m$  - Koeficijent svojstva provodnika:

$$m = m_g \cdot m_t$$

$m_g$  - koeficijent naboranosti-hrapavosti provodnika u r.j

$m_t$  - koeficijent čistoće provodnika u r.j

Koeficijent naboranosti – hrapavosti provodnika  $m_g$  ima vrijednost između 0.93 i 0.96 za nove savremene provodnike. Koeficijent  $m_t$  uzima u obzir prisustvo raznih zagađivača koji stvaraju sloj preko provodnika i on je jednak  $m_t = 1.00$  za idealno čisti provodnik, bez bilo kakvih spoljašnjih zagađenja, a njegova vrijednost u realnim uslovima se kreće u dijapazonu  $0.25 < m_t < 0.95$  za provodnik izložen slabom ili jakom zagađenju.

Srednji gradijent snopa	Srednji gradijent snopa	Srednji gradijent snopa	Srednji gradijent snopa
Faza 1 Gsr = 17.096 [kV/cm]	Faza 1 Gsr = 17.272 [kV/cm]	Faza 1 Gsr = 19.043 [kV/cm]	Faza 1 Gsr = 16.760 [kV/cm]
Faza 2 Gsr = 16.924 [kV/cm]	Faza 2 Gsr = 16.433 [kV/cm]	Faza 2 Gsr = 15.466 [kV/cm]	Faza 2 Gsr = 17.662 [kV/cm]
Faza 3 Gsr = 15.143 [kV/cm]	Faza 3 Gsr = 16.433 [kV/cm]	Faza 3 Gsr = 18.516 [kV/cm]	Faza 3 Gsr = 16.243 [kV/cm]
Maksimalni gradijent provodnika	Maksimalni gradijent provodnika	Maksimalni gradijent provodnika	Maksimalni gradijent provodnika
Faza 1 Gmax = 18.234 [kV/cm]	Faza 1 Gmax = 18.421 [kV/cm]	Faza 1 Gmax = 20.310 [kV/cm]	Faza 1 Gmax = 17.875 [kV/cm]
Faza 2 Gmax = 18.050 [kV/cm]	Faza 2 Gmax = 17.526 [kV/cm]	Faza 2 Gmax = 16.494 [kV/cm]	Faza 2 Gmax = 18.837 [kV/cm]
Faza 3 Gmax = 16.150 [kV/cm]	Faza 3 Gmax = 17.526 [kV/cm]	Faza 3 Gmax = 19.748 [kV/cm]	Faza 3 Gmax = 17.324 [kV/cm]

Vertikalna

Horizontalna

Delta

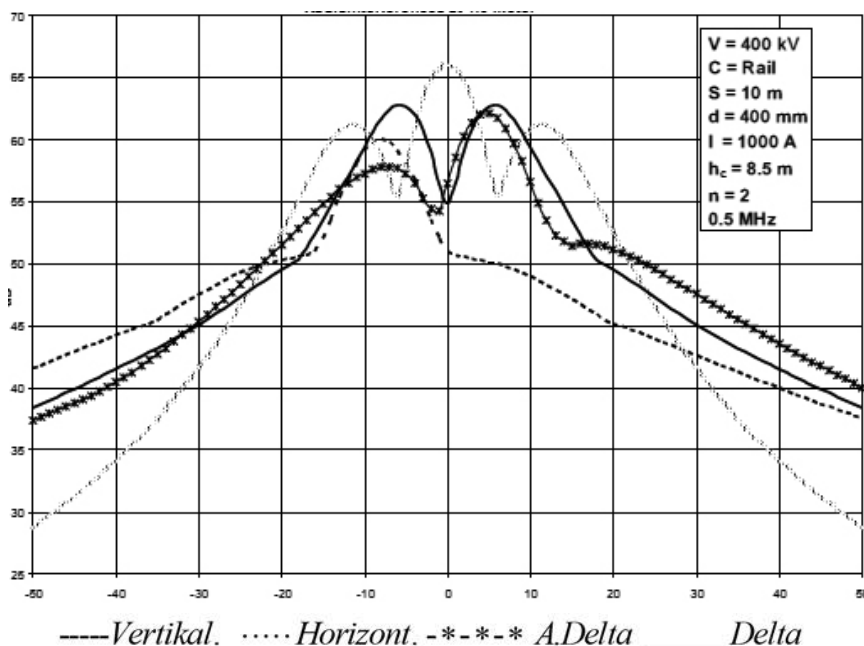
A Delta

Srednji i maksimalni gradijenti potencijala na površini provodnika za razmatrane konfiguracije.

## 3.1. Radio smetnje - interferencije (RI)

### Konfiguracija voda

Vertikalna konfiguracija daje najniže vrijednosti nivoa maksimalne radio smetnje (RI) a Horizontalna konfiguracija najviše (66 dB u centru koridora. Ali na 25 m od centra, horizontalna konfiguracija daje niže vrijednosti<sup>[2]</sup>.



Sl.5. Raspodjele radio smetnji RI

Na rastojanju od 50 m, vrijednosti za RI su:

**Horizontalno: 28,8 dB**

**Delta: 38,5 dB**

**Alternativa: 40,5 dB**

**Vertikalno: 41,5 dB**

Dakle, sa aspekta RI, horizontalna konfiguracija je pravi izbor da se izvan koridora dobiju najniže vrijednosti.

### Rastojanje između faza

Kako rastojanje između faza raste, RI se smanjuje. U ovom slučaju kompaktiranje nije dobro rješenje za smanjenje maksimalnih vrijednosti RI. U svakom slučaju, varijacija RI sa rastojanjem faza je malo.

### Visina provodnika

Uopšteno gledano, nivo RI se smanjuje kad se visina provodnika iznad tla povećava. Međutim, vrijednosti RI izvan koridora ne poštuju uvek ovo pravilo.

## 3.2. Audio buka (AB)

### Konfiguracija voda

Delta konfiguracija daje najviše nivoa zvučne buke (AB) i vertikalna konfiguracija najniži. Ali razlike su neznatne, pa konfiguracija ne utiče značajno na nivo AB. Nivo AB se značajno ne snižava sa rastojanjem od osa. Za horizontalnu konfiguraciju vrijednosti u osi i na udaljenosti od 50 m od ose variraju samo za 8 dB (A)<sup>[2]</sup>.

## Rastojanje između faza

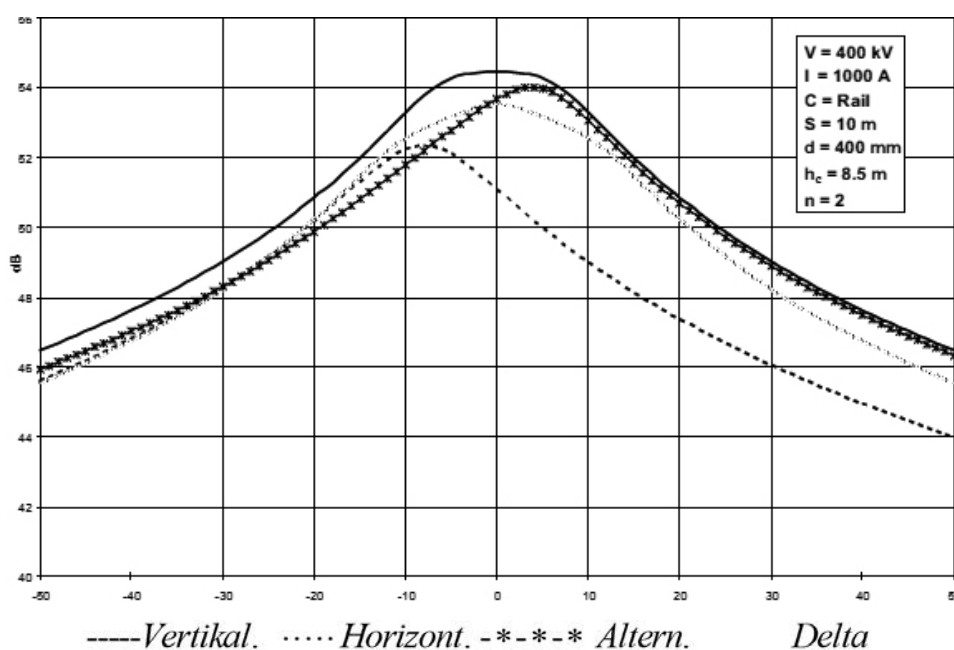
Kako se smanjuje rastojanje između faza, AB se značajno povećava. Kompaktiranje je još više nepovoljno za AB nego za RI.

## Visina provodnika

Nivo AB se smanjuje kada se visina provodnika povećava. Ali da smanjimo samo nivo AB na rastojanju 50 m od ose dalekovoda za 1 dB (A), neophodno je povećati visinu provodnika skoro 6 m.

## Broj provodnika u snopu za identičan ukupan presjek

Kao i za RI, najbolji način za smanjenje AB je povećanje broja provodnika u snopu za isti poprečni presjek. Za sve konfiguracije, menjajući broj provodnika u snopu sa 2 na 4 duplo se smanjuje nivo AB na udaljenosti 50 m.



Sl.6. Raspodjele audio buke AB

## Ukupan presjek provodnika

Nivo buke se značajno smanjuje kada se ukupan presjek provodnika povećava.

## Razmak između provodnika

Povećavanje razmaka između provodnika povećava nivo AB, ali ne u značajnoj mjeri.

## Zaključak:

- Konfiguracija ne utiče previše na nivo AB.
- Nivo se blago smanjuje sa rastojanjem od centralne ose voda.
- Povećanje broja provodnika u snopu za identičan ukupan poprečni presjek značajno smanjuje nivo AB.
- Kompaktiranje povećava nivo AB.
- Povećanje visine provodnika ne utiče značajno na smanjenje nivoa AB.

## 4. KONFIGURACIJE DVOŠISTEMSKIH DALEKOVODA

Na sl. 5 prikazane su tri konfiguracije dvosistemskog dalekovoda i to vertikalna sa istim redosledom faza a-b-c i a'-b'-c', zatim vertikalna sa suprotnim redosledom faza a-b-c i c'-b'-a', poznata kao „Low impedance“ i dupla Delta konfiguracija.

The screenshot shows a software interface for calculating the electric and magnetic fields of a two-system overhead line. It features three diagrams of phase configurations: 'Vertical / Double droppers', 'Low impedance / Faible impedance', and 'Doubte / Double'. The interface includes input fields for various parameters and buttons for simulation control.

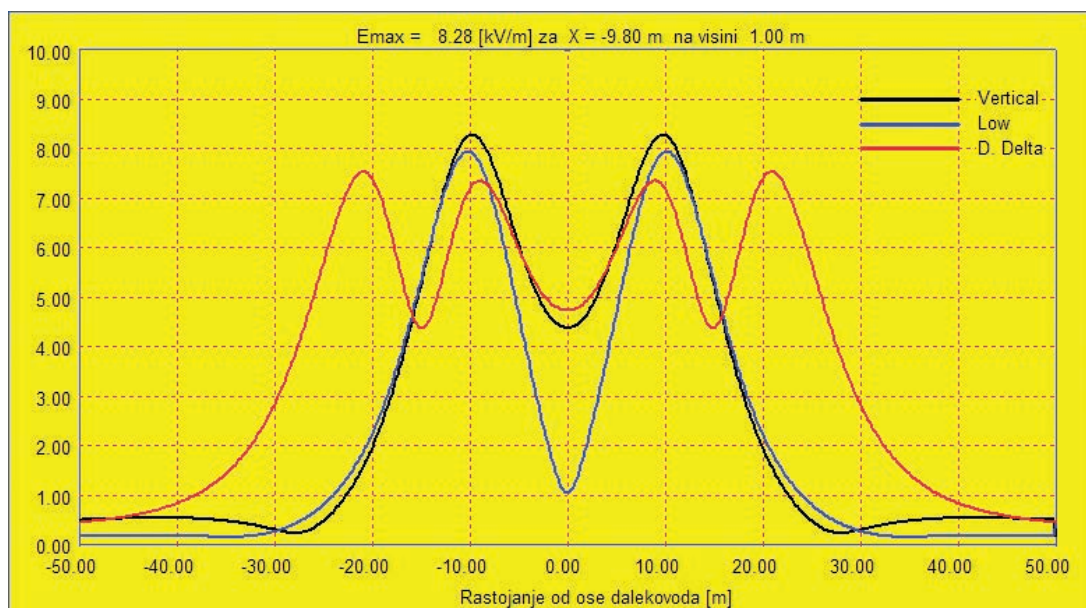
Parameter	Value
S [m]	10
d [m]	0.4
hp [m]	8.5
d1 [m]	0.0306
ns	2
Uze	490/65
Napon [kV]	400
Struja [A]	1000
Xmax [m]	50
Xmin [m]	-50
dX [m]	10
E [kV/m] Ymax [m]	10
E [kV/m] Ymin [m]	-1
E [kV/m] dY [m]	1
B [μT] Ymax [m]	30
B [μT] Ymin [m]	-5
B [μT] dY [m]	5

Buttons: Start, Snimi grafik, Kraj

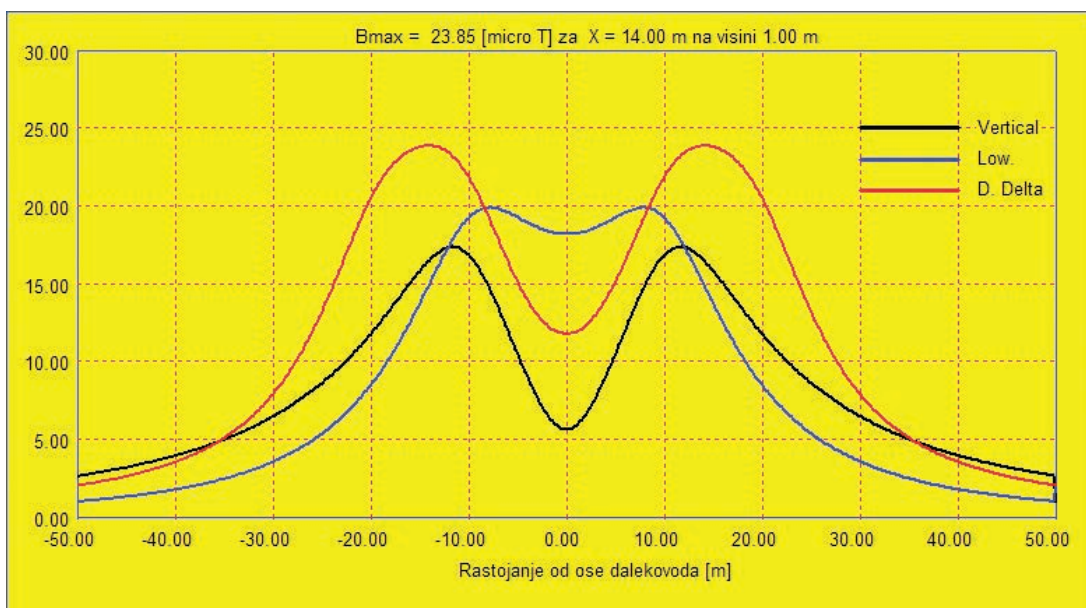
Sl.7. Konfiguracije dvosistemskih dalekovoda

Za sve konfiguracije usvojene su iste visini nižih faza  $h_p$  iznad tla, ista rastojanja između faza S i isto rastojanje  $d$  između provodnika u snopu jedne faze.

Na sl. 8 i 9 prikazane su raspodjele jačine električnog polja i magnetne indukcije za sve tri konfiguracije, za  $S=10\text{m}$ ,  $h_p=8.5\text{m}$  i  $d=0.4\text{m}$ ,  $n_s=2$ ,  $U=400\text{ kV}$  i  $I=1000\text{A}$ .



Sl. 8. Raspodjele jačine električnog polja dvosistemskih konfiguracija

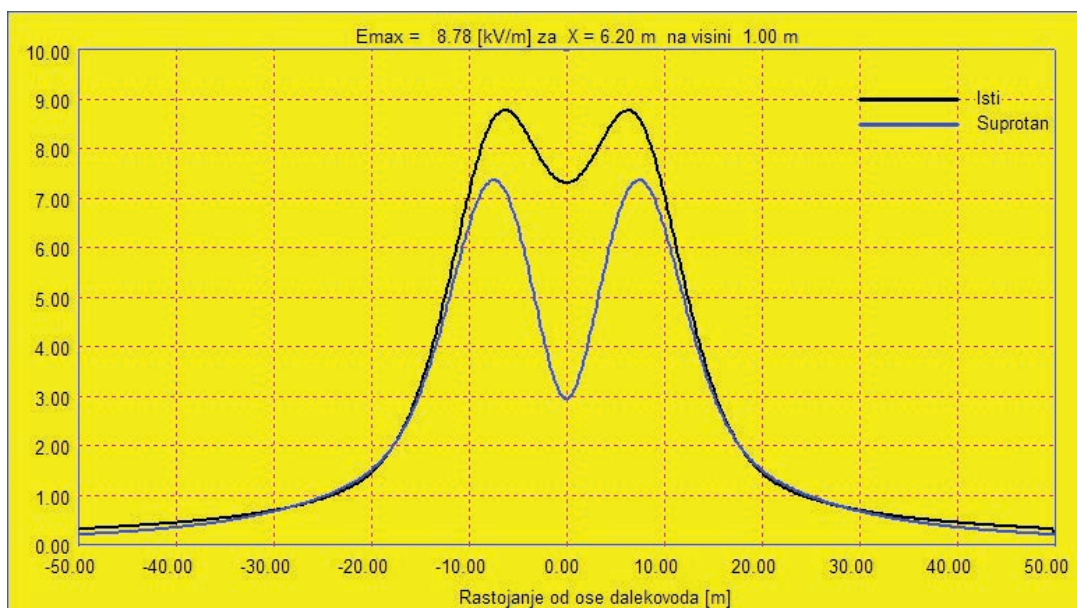


Sl.9 Raspodjele magnetne indukcije dvosistemskih konfiguracija

Uticaj pojedinih parametara analiziranih konfiguracija je sličan kao kod jednosistemskih konfiguracija. Sa aspekta jačine električnog polja može se zaključiti sledeće:

- Za 400 kV dvosistemske dalekovode preporučuje se konfiguracija “Low impedance”.
- Konfiguracija D. Delta daje najveće vrijednosti jačine električnog polja oko 20 m od srednje linije. Na rastojanjima većim od 40m vrijednosti su slične su drugim konfiguracijama.
- Kompaktiranje je najbolji način za smanjenje jačine električnog polja.

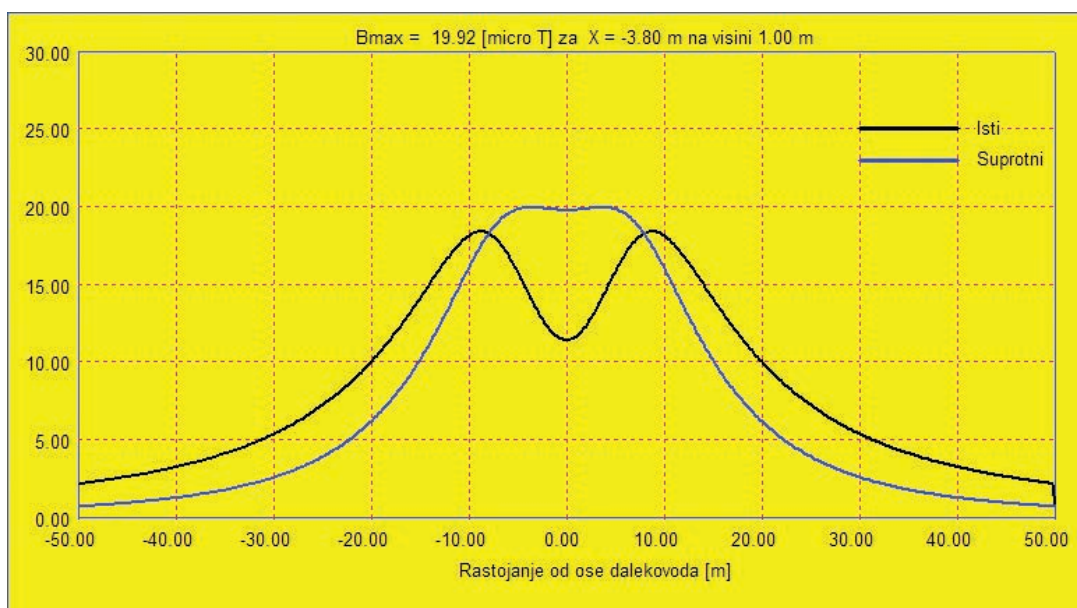
Na sl. 10 i 11 prikazane su raspodjele jačine električnog polja i magnetne indukcije klasičnog dvosistemskog stuba 400 kV dalekovoda sa stubom tipa Bure (Bačva) (kakav je predviđen na dionici Brezna Kosanica), za visinu nižih provodnika iznad tla od 8.5m, za isti i suprotan resdosled faza<sup>[3][5]</sup>.



Sl.10. Raspodjele jačine električnog polja dvosistemske konfiguracije Bure za isti i suprotan resdosled faza

## 5. KOJE SU OSNOVNE KARAKTERISTIKE DANAŠNJIH RJEŠENJA I KAKO DALJE?

Današnji dalekovodi se rade od provjerenih materijala ( Alče užaad, porculanska i staklena izolacija i čelični profili i limovi), savladane su tehnologije izrade kvalitetne konstrukcije stubova i temelja stubova, sa dominacijom rešetkastih stubova, za koje postoje stogodišnja iskustva i koji imaju visoku pouzdanost i dugotrajnost (preko 50 godina). Postoji prateća normativa, usavršene su postupci projektovanja, algoritmi i računarski alati.



Sl.11. Raspodjele magnetne indukcije dvosistemske konfiguracije bure (bačva)za isti i suprotan resdosled faza



I pored dobrih karakteristika današnjih dalekovoda prisutni su problemi, jer su dosegnuti limiti parametara, koridora i gabarita objekata, širina trasa i visine objekata, rješenja glava stibova, induktivnosti dalekovoda, jačine električnog i magnetnog polja ispod i pored dalekovoda. Takođe, sa porastom snage rastu struje, jačine polja, gubici, presjeci užadi, broj užadi u snopu, otežano je uklapanje u prostor i otežana su rješenja zaštite prirode i udovoljenje zakonske regulative, a i dalekovodi postaju skuplji. Prošlo je vrijeme određivanja trase po direktivama, krijući se ponekad iza javnog interesa. Mogućnosti širenja i otkupa novih trasa su jako ograničene. Zbog toga su potrebne promjene.

Moguća nova rješenja, od kojih su se neka već počela primjenjivati u svijetu su: **Kompaktiranje, Novi provodnici za nadzemne vodove, Nove tehnologije podzemnih vodova (kablovi, GIL), Novi oblici stubova i opreme, DC i Hibridne AC/DC interkonekcije, HVDC super grid (koncept EU) i Kriogene tehnologije – Superconductor Power Cable (SPC)** <sup>[1],[4]</sup>.

U osnovi kompaktiranje je smanjenje dimenzija stuba i/ili glave stuba da se postigne bolje iskorišćenje prostora i materijala i zadovolje zahtjevi proizašli zbog djelovanja električnog i magnetnog polja. Ima puno načina na koje se kompaktiranje može realizovati, pri čemu se neki već uobičajno primjenjuju a neki zahtijevaju radikalnija rješenja.



Sl. 12. Novi provodnici za dalekovode



Sl. 13. Izgled novog stuba 400 kV DV



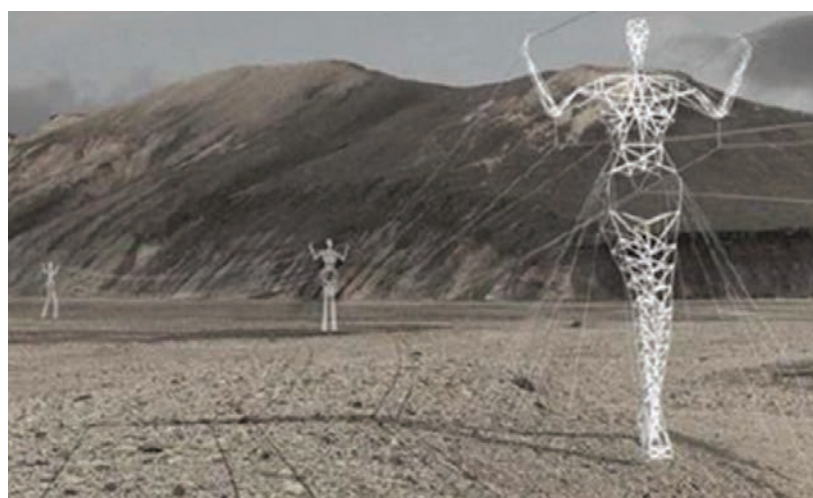
Sl. 14. Stub pobjednik na oglasu EDF-a

Tu se prije svega misli na nove kompozitne materijala u tehnologijama štapne izolacije (štapni izolatori, međufazni odstoynici i pokretne konzole), zatim na nove konstrukcije stubova – modularni kompozitni stubovi i na visoko temperaturno i kompozitno pojačane aluminijske provodnike, sl. 12.

Predlozi za rješenja novih stubova dalekovoda prikazani su na Sl. 13 do 16, a na sl. 17 prikazane su ideje bugarske umjetnice za stubove dalekovoda, sa željom da dalekovodi budu ljepši<sup>[1]</sup>.



Sl. 15. Drugi stub pobjednik na oglasu EDF-a



Sl. 16. Izgled estetskih Finskih stubova



Sl. 17. Stubovi 400 kV dalekovoda u očima umjetnika

Na visokom naponu od 400 kV podzemna mreža je veoma skupo (7-10 puta) i izaziva mnoge probleme u radu sistema usled reaktivne snage, a samim tim i nestabilnost napona.

**GIL (Gas Insulated Line) tehnologija** je pogodna samo za prenos veoma velike snage reda 2.000 MW. Troškovi izgradnje su viši od sistema sa klasičnim kablovima. U svijetu postoje neki primeri ove tehnologije.

Tehničke prednosti GIL tehnologije su: gubici su relativno mali, dielektrični gubici su zanemarljivi, relativno je nizak kapacitet po jedinici dužine, kompenzacija reaktivne energije nije potrebna na dužini do preko 100 km, može se polagati direktno u zemlju ili u postojećim tunelima

**SPC su superprovodni kablovski vodovi** za prenos u budućnosti. Trenutno njihova cijena u poređenju sa 400 kV dalekovodima je za oko 40 puta veća.

Tehničke prednosti SPC su: visoka gustina električne struje (do 30 puta veća struja po mm<sup>2</sup>), relativno manje dimenzije provodnika, manji gubici (cca. 1% u poređenju sa klasičnim kablovima), ne izazivaju toplotne promjene u okolini, imaju odličnu elektromagnetnu zaštitu i ne zrače u okolini.

Urađena su tri SPC komercijalna voda u SAD, a u Njemačkoj, na nivou operatora distribucije, realizovan pilotski projekt za 20 kV umesto 110 kV. Smatra se da je to jeftinije rešenje, a sa aspekta uticaja na životnu sredinu znatno je povoljnije.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu su analizirani uticaji različitih konfiguracija glave stubova i odgovarajućih parametara jednosistemskih i dvosistemskih dalekovoda 400 kV. Rezultati detaljne analize uticaja pojedinih parametara dalekovoda na jačinu električnog polja, vrijednost magnetne indukcije, radio smetnje i na audio buku koje proizvodi pojava korone, pregledno su prikazani u narednoj tabeli.

Uticaj/Parametar	Električno polje	Magnetno polje	Radio smetnje	Buka
Smanjenje razmaka faza	Manje	Manje	Malo veće	Veća
Povećanje visine voda iznad zemlje	Manje	Manje	Malo manje	Malo manja
Povećanje broja provodnika u snopu	Jače	Isto	Manje	Manja
Povećanje razmaka između provodnika u snopu	Malo jače	Isto	Malo veće	Malo veća
Povećanje prečnika faznog provodnika	Malo jače	Isto	Malo manje	Malo manja

Nove vrste stubova, kompaktiranje provodnika, GIL (Gas Insulated Line) tehnologija i superprovodni kablovski (SPC) vodovi su nova rješenja i tehnologije čije se primjene očekuju u budućnosti.

## LITERATURA

1. K. Bakič: „Ali so dalekovodi res grdi in kaj narediti da budu lepši“, *Energetika in okolje, Brdo kod Kranja, 2012*;
2. TB CIGRE No 278, WG B2:06: „The influence of line configuration on environment impact of electrical origin“
3. D. Filipović, M. Ostojić: „Proračun električnog i magnetskog polja u blizini dalekovoda“, II Savjetovanje CG CIGRE, Budva, maj 2011;
4. T. Fancev, D. Grgić: „Nove tehnologije u izvedbama nadzemnih vodova“, FER Zagreb, 2007.
5. M. Ostojić: „Nejinizujuće zračenje 400 kV dalekovoda Čevo-Pljevlja“, AINCG, Podgorica 2016.
6. M. Ostojić, M. Čalasan: „Procjena vrijednosti korone 400 kV dalekovoda Čevo-Brezna i 400+110 kV dalekovoda Brezna-Kosanica“, V Savjetovanje CG CIGRE, Bečići, maj 2017.
7. CIGRÉ Working Group 36.01, “Interferences Produced by Corona Effect of Electrical Systems”, 1974.
8. EPRI “AC Transmission Lines Reference Book – 200 kV and Above”, Red Book, 2005.

# KRITIČKI OSVRT NA IZBOR PRIHVATNOG SISTEMA ZAŠTITE OD ATMOSFERSKIH PRAŽNENJA NA TERITORIJI CRNE GORE

Prof.dr Svetislav Smiljanić, dipl.inž.el.  
Institut NIRI - Niš

mr Miodrag Saveljić, dipl.inž.el.  
ELECTROENGINEERING - Tivat

**Kratak sadržaj:** Teritorija Crne Gore predstavlja jedno specifično područje posmatrano sa aspekta atmosferskih pražnjenja i zaštite od opasnog dejstva tog pražnjenja po živa bića i imovinu. Dve su nezaobilazne činjenice koje karakterišu tu specifičnu situaciju: prva je vrlo visok broj pražnjenja godišnje po kvadratnom kilometru, druga je kamenito tle koje treba da prihvati struju groma ne generišući pri tome visoke potencijale i napone koraka. U radu su ti aspekti predočeni, koji će morati biti izučeni kako bi se obezbedila najveća moguća efikasnost gromobranske instalacije. Pored opasnosti od direktnog udara groma, prenaponi u energetskim i telekomunikacionim vodovima, koji će se tada pojaviti, ugroziće svu osetljivu inteligentnu opremu priključenu na ove vodove. Zakonodavac (Internacionalna elektrotehnička komisija - IEC) je u svojim najnovijim standardima ponudio pouzdane načine rešenja zaštite ove opreme i instalacija. Isti tekstovi i pod istim naslovima dati su i u Evropskim standardima (EN).

**Ključne reči:** direktan udar groma, hvataljka sa pojačanim dejstvom, vreme prednjačenja  $\Delta t$ , uzemljivač, prenaponi, odvodnik prenapona

**Abstract:** Seen from the point of atmospheric discharges and protection against the dangerous effect of that discharge on living beings and property, the territory of Montenegro is one specific area. Two inevitable facts characterize this specific situation: the first is a very high number of discharges annually per square kilometer, and the second is a rocky ground which needs to receive the lightning current without generating high step potentials. This paper presents these aspects to responsible engineers, who will have to take them into account when designing the lightning protection with the highest possible effectiveness. In addition to the danger of a direct lightning strike, voltage surge - which then occurs - endangers all sensitive intelligent equipment connected to power or telecommunication lines. International Electrotechnical Commission (IEC) has, in its latest standards, offered reliable solutions to protect the equipment and installations from surge.

**Descriptors:** lightning strike direct, Early streamer emission lightning conductor, Initiation advance  $\Delta t$ , Earth electrode, Surge voltage, Surge protective device

# 1. UVOD

Atmosferska pražnjenja koja su usmerena prema zemlji manifestuju se dvema pojavama. Obe su sa nepredvidivim posledicama i treba se zaštititi od neželjenih pojava koje ih prate.

Prva je direktan udar groma u tle, živa bića ili objekte na zemlji. Ta se pojava i opasnosti od nje rešavaju kvalitetno projektovanom i izvedenom gromobranskom instalacijom.

Druga se mogu manifestovati pojavama prenapona u elektroenergetskoj mreži i komunikacionim vodovima prouzrokovana pražnjenjima i između oblaka ali se može pojaviti i udarom groma u blizini tih vodova ili ispadom iz pogona ili uključenjem u pogon velikih električnih prijemnika.

Rešavajući zaštitu od ovih opasnosti pošlo se, naravno, od parametara koji karakterišu atmosferska pražnjenja, sakupljenih iz statistika jednog dugog vremenskog perioda. Rešavajući zaštitu od direktnih udara groma kotrljajućom (fiktivnom) sferom-elektrogeometrijskim modelom, zakonodavac je, da bi dobio što kvalitetniju zaštitu, koristio minimalne veličine temenih vrednosti struja groma, jer je:

$$R = 10 \cdot I_{\min}^{2/3}$$

Rešavajući zaštitu od prenapona koristio je najveće veličine temenih vrednosti ovih struja [6].

Tabela 1: Veličine prvih povratnih struja groma

Nivo zaštite	I	II	III	IV
Zaštita od direktnog udara groma $I_{\min}$ (kA)	3	5	10	16
Poluprečnik kotrljajuće (fiktivne) sfere R(m)	20	30	45	60
Zaštita od prenapona $I_{\max}$ (kA)	200	150	100	

Elektroprivreda je obezbedila adekvatnu zaštitu od atmosferskih pražnjenja svojih objekata i vodova srednjeg i visokog napona. To se, na žalost, ne može tvrditi za objekte u kojima su instalacije na naponu 400/230V. Elektroprivreda nije vlasnik objekata i prostora koji su priključeni na mrežu 400/230V pa se može reći da nije ni zadužena za rešavanje zaštite od atmosferskih pražnjenja tuđih struktura. Zaštite od direktnih atmosferskih pražnjenja tih struktura sigurno ne, ali zaštite od prodora prenapona, kao posledice atmosferskih ili mrežnih prenapona sigurno jeste. Prva njena „obaveza“ svodi se na jednu malu rečenicu u elektroenergetskoj saglasnosti za priključak objekta na distributivnu mrežu, da od vlasnika objekta koji se priključuje, pored zahteva da postavi adekvatnu mernu grupu, da postavi limitatore maksimalno angažovane snage, da obezbedi zaštitu od preopterećenja i kratke veze, da kvalitetno reši zaštitu od indirektnog dodira, **ugradi i adekvatne odvodnike prenapona**, koji bi sačuvali električne instalacije i opremu od prodora prenapona „doputovalog“ mrežom Elektroprivrede. Druga stvar koju bi Elektroprivreda morala da ispoštuje je da od vlasnika objekta koji se priključuje na mrežu, zahteva da od stručne i ovlašćene ustanove **pribavi dokaze da je instalacija izvedena po važećoj regulativi** i da ta instalacija neće biti uzročnik teških neželjenih pojava, odnosno da se može staviti pod napon i opterećenje.

Zaštitu od direktnih udara groma vlasnik struktura će rešavati ili po zahtevima standarda ili po svom strožijem ličnom zahtevu, naravno pristupajući ovom poslu na najsavesniji način rešenjima koje je predložila savremena praksa i nauka.

Internacionalna elektrotehnička komisija IEC se dosta ohrabrila kad je u svom standardu IEC 1024-1-1, u tabeli 3 [3], saopštila do koje je visine efikasnosti E gromobranske instalacije moguće doći i obezbediti je, računicom koju je prethodno predložila. Odmah je te izračunate efikasnosti „podelila“ dogovorenim nivoima zaštite. Tako je po nivoima zaštite propisala i zapisala obaveze svake gromobranske instalacije:

**prvi nivo zaštite uz dodatne mere:  $E \geq 0,98$**

**prvi nivo zaštite:  $0,95 > E > 0,90$**

**drugi nivo zaštite:  $0,95 > E > 0,90$**

**treći nivo zaštite:  $0,90 > E > 0,80$**

**četvrti nivo zaštite:  $E < 0,80$**

## 2. JEDNA ISTORIJSKA ČINJENICA

Sasi ili Saksonci, vešti rudari, bežeći od Franaka iz svoje postojbine Saksonije sa severa Nemačke, rasejani po mnogim delovima Evrope, zaustavili su se i na Tari i tu osnovali rudarsko naselje, trg Brskovo, današnji Mojkovac.

Regulišući prava i obaveze rudara, štampali su Sasko rudarsko pravo, izdato pod upravom raškog kralja Stefana Uroša Prvog, oko 1253. godine, čiji se original u turskom prevodu čuva u Narodnom muzeju u Sarajevu. Sadržalo je 133 člana od kojih su tri govorila o zaštiti rudara na radu a jedan od njih o zaštiti od požara, najverovatnije izazvanog udarom groma. Ovo Rudarsko pravo bi mogao biti jedan od prvih dokumenta sa ovih prostora posvećen zaštiti radnika rudara i rudarske imovine.

Prvi pisani dokument o zaštiti je sigurno tekst verskog vođe, proroka i zakonodavaca Mojsija, koji je u Starom zavetu, u svojoj Petoj knjizi, Dvadesetdrugoj glavi, zapisao: „Kad gradiš kuću, ogradi strehu, da neko nebi pao sa nje...”

Tačno, reklo bi se u dan, nakon 500 godina, od kako je u Saskom rudarskom pravu upozoreno na požar, najčešće izazvan udarom groma, veliki američki naučnik, Benjamin Franklin je 1753. godine Američkom patentnom zavodu prijavio svoj pronalazak, nazvan Franklinov gromobran, kao moguću zaštitu od direktnih atmosferskih pražnjenja. „Onaj ko čuje grmljavinu i vidi bljesak munje, neće biti pogođen gromom“, zapisao je još mnogo ranije veliki rimski prirodnjak, savremenik i stradalnik Pompeje, Plinije Stariji, u svojim raspravama u 37 knjiga. U Brskovu su u to vreme kovani srebrni dinari, slični mletačkim matapanima, pa je veliki italijanski poeta Dante Aligijeri u svojoj Božanstvenoj komediji (La Divina Commedia) prokleo raškog kralja, jer su ti srebrenjaci pravili izvesne smetnje u trgovini sa bogatim Dubrovnikom. Kralj Uroš je događao Istoriju, veliki poeta Dante pisao svoje kritike o tim događanjima.

## 3. SNAGA GROMA NA TERITORIJI CRNE GORE

U tekstu koji sledi izračunata je snaga groma iznad teritorije Crne Gore. Prikazana je ovde kao ilustracija da je neekonomično razmišljati o eventualnom angažovanju te snage za čovekove potrebe. Kada je atmosfersko pražnjenje u pitanju treba, na žalost, samo razmišljati kako se rešiti negativnih pojava izazvanih tim pražnjenjem.

Površina Crne Gore iznosi  $13.812 \text{ km}^2$

Broj udara groma godišnje po  $\text{km}^2$  je prema izokerauničkoj karti Crne Gore:

$T_d = 39 \text{ do } 52$  (JUS N.B4.803)

Broj udara groma u zemlju po  $\text{km}^2$ :  $N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} = 3,9 \text{ do } 5,58$

Srednja vrednost je oko  $N_g = 4,5$

Razlika potencijala oblak-zemlja je reda  $U = 100 \cdot 10^6$  (V)

Količina naelektrisanja po jednom pražnjenju je u proseku  $Q_{sr} = 20$  (C, As)

Ukupna količina naelektrisanja koja se godišnje usmeri prema teritoriji Crne Gore je:

$Q = A \cdot N_g \cdot Q_{sr} = 13.812 \cdot 4,5 \cdot 20 = 1.243.080$  (As)

Struja koja tako utiče u teritoriju Crne Gore je:

$I = 1.243.080 / 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 0,0394$  (A)

Raspoloživa snaga groma je, dakle, na teritoriji Crne Gore:

$P = U \cdot I = 100 \cdot 10^6 \cdot 0,0394 = 3,94 \approx 4$  (MW)

Snaga groma iznad cele teritorije Crne Gore je reda 4MW. Lepo zvuči 4MW, ali sakupiti je jurcajući po teritoriji od 14 hiljada kvadratnih kilometara je prava ekonomska besmislica. A zatim, kako bi izgledali ti „sakupljači snage groma“?

## 4. ELEMENTI GROMOBRANSKE INSTALACIJE

Praćeni putem struje groma koju je prihvatila jedna gromobranska instalacija da bi je bezbedno sprovela u zemlju, elementi gromobranske instalacije mogli bi se, kako je to već uradila i sama regulativa, pobrojati sledećim redom:

- prihvatni sistem,
- spustni vod,
- ispitni (merni) spoj,
- zemni uvodnik,
- uzemljivač.

Svaki od ovih elemenata dobio je svoje mesto u regulativi sa svim svojim zadacima i zahtevima koje mora da ispuni kako bi šticeći prostor sa sadržajima i živim bićima u njemu bio pouzdano zaštićen od opasnog dejstva groma.

Od pobrojanih elemenata sigurno su dva najvažnija i njima mora biti posvećena posebna pažnja: prihvatnom sistemu i uzemljivaču.

### 4.1. Prihvatni sistemi

Zadatak prihvatnog sistema gromobranske instalacije je da prihvati sva pražnjenja groma prema šticećem prostoru i struje groma bezbedno sprovede u zemlju. JUS IEC 1024-1 [2] ih je pobrojao ovim redom i nazivom:

- štapna hvataljka ili štapna hvataljka sa pojačanim dejstvom,
- razapete žice,
- mreža provodnika

#### 4.1.1. Štapna hvatljka

Štapnu hvataljku je IEC prihvatila kao mogući prihvatni sistem jedne gromobranske instalacije.

Ovu hvataljku praksa naziva i „Franklinovim štapom“ po njenom predlagaču, koja kao uzemljeni metalni štap predstavlja „prihvatni sistem“ jedne gromobranske instalacije. Taj „štap“ je u standardu IEC 1024-1[2] predstavljen kao nepogrešivi element gromobranske instalacije u okviru prostora koji štiti.

Da li je to tako?

U laboratorijskom eksperimentu [11] vršeno je određivanje vremena prednjačenja hvataljki sa „pojačanim dejstvom“ - uređajem za rano startovanje, u odnosu na običan Franklinov štap. Eksperiment je vršen pražnjenjem iz udarnog generatora, pod istim mikroklimatskim, geometrijskim i električnim veličinama, po 100 puta u svaku od upoređivanih hvataljki. Eksperimentat je pokazao da reagovanje bilo koje ispitivane hvataljke ni jednom u sto puta ponovljenom pražnjenju nije bilo pri istoj jačini električnog polja i u istom vremenu. To je navelo na računanje standardne devijacije svakog od „prihvatnog sistema“.

Standardna devijacija ispitivanog Franklinovog štapa  $\epsilon$  ( $\mu\text{s},\%$ ) iznosila je 25,42. Grubo rečeno, 25,42% puta Franklinov štap je odstupao od aritmetičke sredine očekivanih reagovanja, toliko puta nije bio pouzdan u svojoj zaštitnoj ulozi.

## 4.1.2. Štapna hvataljka sa uređajem za rano startovanje

Štapnu hvataljku sa uređajem za rano startovanje IEC nije prihvatila kao mogući prihvatni sistem jedne gromobranske instalacije.

Verovatno je prvi, profesor Silar (L.Szillard) sa Budimpeštanskog univerziteta, došao na deplasiranu ideju da „efekat šiljka“ poveća radioaktivnim izvorom na vrhu Franklinovog štapa. Kasnije je ta ideja umnogostručivanja električnog polja iznad šiljka Franklinovog štapa bila vodilja u traganju za najefikasnijim prihvatnim sistemom i tako se došlo do hvataljke sa uređajem za rano startovanje, koja je svojom koronom oko šiljka Franklinovog gromobrana umnogostručila lavinu jona i elektrona iznad šiljka i time joj omogućila da u jakom električnom polju, omogućiti „izletanje“ usponskog trasera sa vrha štapa u susret silaznom traseru iz oblaka.

Standardna devijacija gromobrana vremena prednjačenja  $\Delta t=60\mu s$ , je u navedenom laboratorijskom ogledu iznosila 6,19 dakle pokazala četiri puta bolju pouzdanost od Franklinovog štapa. Ova hvataljka je dobila brojne ateste svoje pouzdanosti od svetskih laboratorija: američkih UL (Underwriters Laboratories, Northbrook, Illinois - najveća svetska laboratorija sa velikim beneficijama), ruskih, brazilskih, franuskih...

Danas je, na žalost, na našem tržištu dosta ponuđača ovih hvataljki sa sumnjivim deklariranim karakteristikama, prisutni su plagijati sa lažnom dokumentacijom ili hvataljke samo po izgledu ili nazivu.

Prva regulativa koja je tretirala ove hvataljke bile su francuske norme NF C 17-102 iz 1995. godine, obnovljene i znatno proširene 2011. godine a zatim jugoslovenski standard JUS N.B4.810 iz 1996. godine. Danas su ove hvataljke sankcionisane i nacionalnim standardima: Makedonije (MKS.N.B4.810), Španije (UNE 2186), Rumunije (I - 7), Portugalije (NP 4426), Argentine (IRAM 2426), Bugarske (LIGHTNING r3A), Francuske (NF C 17-102), Slovačke (STN 34 1398)...

Standard JUS N.B4.810 [4] (autor S.Smiljanić), ostao je nedorečen u tački 4, u priloženoj jednačini (2), kojom se određuje najudaljenija zaštićena tačka strukture koja se štiti,  $r'_{max}$  (m), zavisno od poluprečnika fiktivne sfere izabranog nivoa zaštite R (m) i vertikalnog rastojanja h(m) štice tačke od vrha hvataljke. Dobitak u udarnom rastojanju  $\Delta R$ (m) računa se iz proizvoda vremena prednjačenja hvataljke  $\Delta t(\mu s)$  i brzine uzlaznog trasera v(m/ $\mu s$ ).

$$r'_{max} = \sqrt{h(2R - h) + \Delta R(2R + \Delta R)} \quad (2)$$

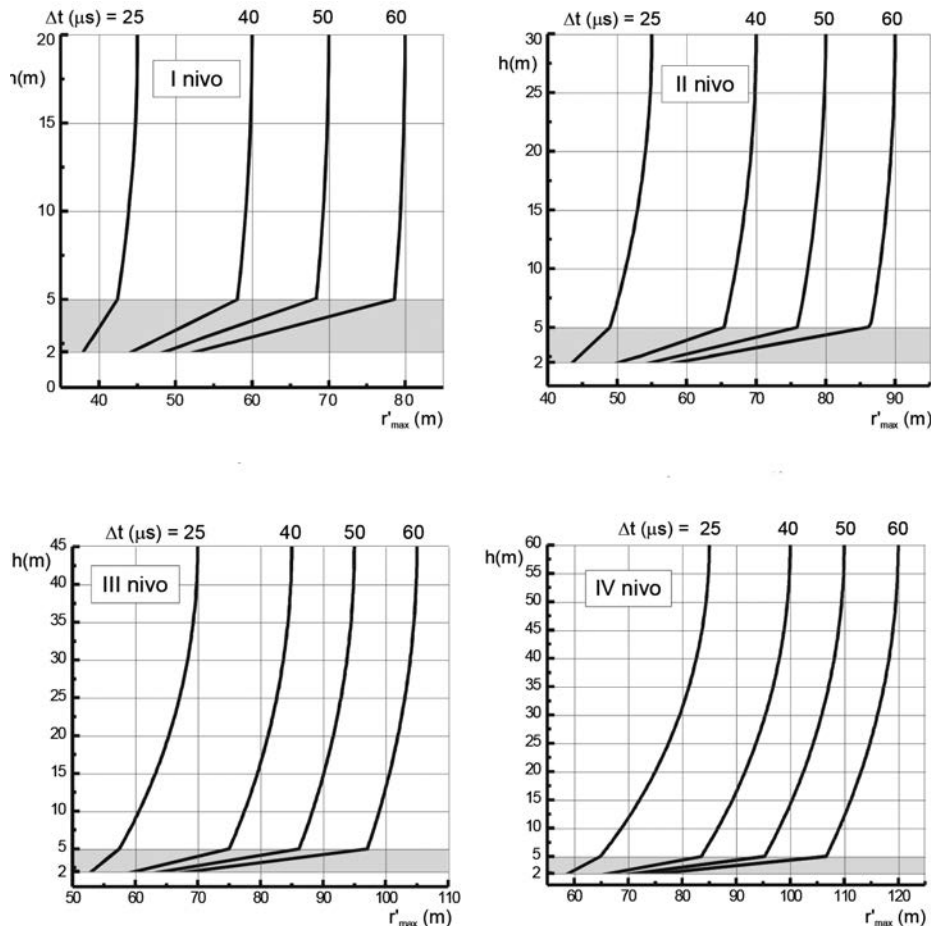
Kako određene hvataljke, koje energiju za svoje startovanje crpu iz prisutnog električnog polja pred nevreme, moraju biti duboko „zarivene“ u to polje, pa noseći jarbol hvataljke ne bi smeo da bude niži od  $h \geq 5$  metara.

Takođe, prema ponuđenoj jednačini, ako bi uzemljena hvataljka bila na visini  $h=0$  (m), odnosno ako bi hvataljka bila bez svog nosećeg jarbola, ona bi, prema ponuđenoj jednačini, i dalje predstavljala zaštitu od groma smanjenog obima pokrivanja štice prostora, što nije tačno. Uz priloženu jednačinu trebalo bi dodati i predložene dijagrame za  $2m < h < 5m$  za određivanje „zaštitnog dometa“ ovih hvataljki.



Kako određene hvataljke, koje energiju za svoje startovanje crpu iz prisutnog električnog polja pred nevrete, moraju biti duboko „zarivene“ u to polje, pa noseći jarbol hvataljke ne bi smeo da bude niži od  $h \geq 5$  metara.

Takođe, prema ponuđenoj jednačini, ako bi uzemljena hvataljka bila na visini  $h=0$  (m), odnosno ako bi hvataljka bila bez svog nosećeg jarbola, ona bi, prema ponuđenoj jednačini, i dalje predstavljala zaštitu od groma smanjenog obima pokrivanja šticeenog prostora, što nije tačno. Uz priloženu jednačinu trebalo bi dodati i predložene dijagrame za  $2m < h < 5m$  za određivanje „zaštitnog dometa“ ovih hvataljki.



Slika 1. Predlog dijagrama za određivanje  $r_{max}$  za sva četiri nivoa zaštite

Ozbiljni proizvođači hvataljki sa uređajem za rano startovanje vršili su brojna ispitivanja na svojim hvataljkama u laboratorijskim i prirodnim ulovima kako bi proverili i potvrdili deklarisanu karakteristiku svojih hvataljki. Neke od njih su, nekoliko desetina hiljada puta bile na serijama ispitivanja na poligonima u prirodnim uslovima i u laboratorijama Francuske, Japana, Brazila, SAD, Kine ... Kako je u zadnjih 30 godina ovih hvataljki danas instalirano u nekoliko stotina hiljada primeraka po celoj planeti Zemlji, iskustva i statistike o ponašanju ovih gromobrana mere se po vremenskim iskustvima na nekoliko vekova. Jedna karakteristična pojava koja se desila za vreme tih ispitivanja na poligonu Vojnog kampa na Floridi, zabeležena i sačuvana u ultrabrznoj kameri, pokazala je dosta „agresivno“ ponašanje ovih hvataljki. Trebalo je proveriti kako će se hvataljka sa uređajem za rano startovanje ponašati u neposrednoj blizini (na rastojanju od 50m) raketom namerno izazvanog atmosferskog pražnjenja. Raketa je bakarnim provodnikom, nekoliko puta prekidanim izolacionim kevlarom, prihvatila prvo povratno pražnjenje i u njemu sagorela. Hvataljka je istovremeno reagovala svojim usponskim traserom, koji je, zatim, prihvatio celo drugo povratno pražnjenje. Ovu vrstu prihvatnog sistema praksa je radi toga i nazvala „aktivnim“ u odnosu na ostale prihvatne sisteme koji „čekaju“ da se uspostavi eventualni kontakt sa naelektrisanim oblakom.

Kako određene hvataljke, koje energiju za svoje startovanje crpu iz prisutnog električnog polja pred nevreme, moraju biti duboko „zarivene“ u to polje, pa noseći jarbol hvataljke ne bi smeo da bude niži od  $h \geq 5$  metara.

Takođe, prema ponuđenoj jednačini, ako bi uzemljena hvataljka bila na visini  $h=0$  (m), odnosno ako bi hvataljka bila bez svog nosećeg jarbola, ona bi, prema ponuđenoj jednačini, i dalje predstavljala zaštitu od groma smanjenog obima pokrivanja šticećenog prostora, što nije tačno. Uz priloženu jednačinu trebalo bi dodati i predložene dijagrame za  $2m < h < 5m$  za određivanje „zaštitnog dometa“ ovih hvataljki.

Pred kraj devedesetih godina prošloga veka srpska Protivpožarna policija je samoinicijativno, preko svojih kancelarija po Srbiji, zahtevala od projekatanta i izvođača gromobranskih instalacija hvataljkom sa uređajem za rano startovanje, da u tu instalaciju ugrade po jedan brojač udara groma. Ovaj zahtev ne stoji izričito ni u jednoj regulativi pa nije moguće investitora, ako on to izričito ne zahteva, opterećivati dodatnim troškovima. Kako se radilo o gromobranskoj instalaciji sa dva spustna voda, bilo je teško odrediti na koji ugraditi brojač. Ovaj se ishitreni zahtev, na žalost, preneo na šira područja, bez ikakvog objašnjenja.

### 4.1.3. Razapete žice

Razapete žice je IEC prihvatila kao mogući prihvatni sistem jedne gromobranske instalacije.

Relativno jednostavan sistem zaštite od groma. Oko šticećenog objekta pobiti uzemljene jarbole a prostor „zatrpati“ fiktivnim sferama poluprečnika za taj nivo zaštite. Vrhove jarbola galvanski povezati „razapetim žicama“, tako da se ni jedna sfera ne može „provući“ u šticećeni prostor. Mesto na kome će neka od sfera dodirnuti jarbole ili razapete žice, biće i mesto kontakta gromobranske instalacije sa gromom koji treba odvesti u zemlju.

Razapete žice treba tako postaviti da ne remete, deformišu i umanjuju „efekat šiljka“ prisutnih jarbola.

### 4.1.4. Mreža provodnika

Mrežu provodnika je IEC prihvatila kao mogući prihvatni sistem jedne gromobranske instalacije.

Mrežu provodnika praksa naziva uobičajenim nazivom „Faradejev kavez“, po engleskom fizičaru, koji je tim kavezom blokirao uticaje spoljašnjih električnih polja prema unutrašnjosti kaveza. U svojim standardima IEC je tačno definisala kako će izgledati taj „kavez“ (širina okca prihvatnog sistema, rastojanje spustnih vodova, otpor uzemljivača) koji mora zadovoljiti zahtev izračunatog potrebnog nivoa zaštite za konkretni šticećeni objekat.

Da li se Faradejev kavez može smatrati pouzdanom zaštitom i zadovoljiti visoku propisanu efikasnost? Odgovor na ovo pitanje biće negativan iz slučaja udara groma u HE „Sveta Petka“ na Nišavi. Kroz mašinski prozor od livenog gvožđa, prozorčića dimenzija 25h20 cm, prošao je grom kroz jedan od prozorčića i udario u 10 kV-ne sabirnice, prolazeći prethodno i kroz behar ogromne rascvetale jabuke, ne obazirući se pritom na dva Franklinova štapa na krovu centrale i ostataka Faradejevog kaveza kojim je centrala bila ukavežena. Na desetak metara od udara groma je bio i metalni 10 kV-ni stub.

## 4.2. Ispitni (merni) spoj

„Spoj koji je namenjen i postavljen tako da omogućiti ispitivanja i električna merenja elemenata gromobranske instalacije“.

Dve su veličine vezane za ulogu ispitnog spoja koje pregledima, merenjima i ispitivanjima treba proveriti: jedna je neprekidnost galvanskih veza prihvatnog sistema sa uzemljivačem, druga je dobijanje podatka o prelaznom otporu uzemljivača. U oba slučaja ispitni spoj mora biti „otvoren“. U

realizaciji ovih zadataka mnogo je zagonetki koje treba rešiti da bi se došlo do podataka koji, kao pouzdani, mogu ući u Izveštaj o kontroli gromobranske instalacije. Nemoguće je propisati postupke ovih radnji zbog mnogo varijanti i situacija na koje će ispitivač naići na terenu. Neke od ovih veza nisu vidljive, da bi se utvrdilo do kog je stepena korozija napala instalacije, koje su metalne mase međusobno pouzdano galvanski povezane ... „Otvaranjem“ ispitnog spoja da bi se izmerio prelazni otpor uzemljivača, odmah se može postaviti pitanje da li sada možemo dobiti podatak o uzemljivaču ili o skupini metalnih masa sa kojima je uzemljivač galvanski povezan.

Ispitni spoj će, naravno, biti „zatvoren“, kada se bude proveravala ekvipotencijalnost celog sistema zaštite od groma.

Ove činjenice ali i druge situacije na terenu moraće iskusni ispitivač da rešava bez pomoći regulative.

### 4.3. Uzemljivač

Uzemljivaču jedne gromobranske instalacije treba posvetiti dovoljno pažnje iz mnogo praktičnih ali na prvom mestu iz bezbednosnih razloga. Od uzemljivača se očekuje da udarnu struju groma bezbedno odvede u zemlju ne ometajući taj protok struje, istovremeno ne generišući ni opasne dodatne pojave. Svi ovi zahtevi imenovani su jednim imenom, „udarni otpor uzemljivača“, koji se suprostavlja udarnoj struji groma i zato mora biti što manji. Izračunava se približno iz dimenzija uzemljivača i otpora rasprostiranja tog uzemljivača.

Uzemljivač je, više od svih drugih elemenata jedne gromobranske instalacije, izložen uticajima terena u koji je postavljen i u kojima se našao [13]. Elektrolitička i/ili elektrohemijaska (galvanska) korozija će ga napasti istog trenutka kada bude položen u elektrolit (zemlju). Uzemljivač ne sme biti sastavljen iz različitih materijala, naprimer, bakra (elektrodni potencijal bakra +0,34V) i pocinkovanog čelika (-0,76V), jer će razlika potencijala od 1,1V odmah otpočeti sa degradacijom pocinkovanog čelika. Ili, uzemljivač, na primer, od pocinkovanog čelika, nikada ne sme biti „poboljšavan“ novim (-0,76V) vezujući ga na postojeći korodirani stari uzemljivač (+0,25V). Na novim delovima uzemljivača će zardali uzemljivač početi degradaciju od trenutka polaganja uzemljivača u zemlju.

Uzemljivač mora biti položen što dublje u zemlji, kako bi sačuvala naleganje vlažne zemlje na celu površinu uzemljivača i tako obezbedio što manji prelazni otpor struji groma sa uzemljivača na okolni teren. U kamenitim, stenovitim, terenima, u prethodno iskopane rovove dovoljne dubine mora se naneti kvalitetna zemlja ( $\rho < 100 \Omega m$ ), koja će trajno zadržati dobro naleganje na uzemljivač celom njihovom dodirnom površinom.

Postavljanjem uzemljivača različitih geometrija ne sme se zaboraviti na „faktor preklapanja“ koji može značajno povećati prelazne otpore uzemljivača [13].

Od trakastog (jednodimenzionalnog) uzemljivača može se očekivati da samo u dužini od 20 metara prihvati struju udarnog pražnjenja. Trakasti uzemljivač, postavljen u temelju nekog objekta može iznositi nekoliko stotina metara, nekoliko kilometara. Izmerili smo prelazni otpor tog uzemljivača (često puta ne vodeći računa da merne sonde nisu bile pobijene u referentnoj zemlji) i dobili vrednost od, recimo  $R_r = 0,5 \Omega$ . Koja je vrednost otpora parčeta tog uzemljivača od 20 metara, koje će prihvatiti struju grma, to ne znamo. Radi toga, svaki spustni vod kod gromobranske instalacije sa uređajem za rano startovanje, na primer, mora biti povezan na svoj uzemljivač, najbolje na uzemljivač tipa „pačija šapa“. Ta „šapa“ bi morala biti povezana i sa uzemljivačem u temelju, ako su napravljeni od istog materijala.

Kada se razlika potencijala između zemlje i oblaka podigla na veličinu koju dielektrik (vazduh) ne može više da savlada svojom izolacijom, doći će do pojave pražnjenja prema zemlji bez obzira da li je toj struji „podmetnut“ uzemljivač ili nije. Pražnjenje će se odigrati i prirodna pojava završiti. Kakve su posledice ovakvog jednog „nekontrolisanog“ pražnjenja groma? Mogu biti katastrofalne! Radi toga, da bi se sačuvali životi i imovina, ova pojava mora biti praćena a gromobranska instalacija pripreml-

jena da živote i imovinu sačuva. Uzemljivač će morati da celu pojavu pražnjenja isprati, tako što neće dozvoliti formiranje visokih potencijala i što će raspored tih potencijala modelirati tako da naponi koraka budu što manji [12].

## 5. UNUTRAŠNJA GROMOBRANSKA INSTALACIJA

Unutrašnju gromobranksku instalaciju treba izvesti da bi se sprečilo sekundarno dejstvo direktnih atmosferskih pražnjenja i/ili eliminisali uticaji komutacionih, unutrašnjih prenapona. Unutrašnja gromobrankska zaštita je obavezna u svim primerima u kojima se efikasnost gromobrankske zaštite zahteva veća od  $E > 0.98$  i u slučajevima kada to investitor izričito zahteva.

Zaštitu od prenapona treba rešavati i u energetskejoj mreži i u mreži za prenos informacija.

### 5.1. Zaštita od prenapona u instalacijama 400/230V

Da bi omogućio projektantu i izvođaču radova što kvalitetniji pristup problematici zaštite od prenapona, zakonodavac je u svojim standardima prethodno ponudio i uveo dve karakteristične veličine.

Prvom je podelio prostore na ZONE zaštite od atmosferskog pražnjenja (LPZ, lightning protection zone), u kojima treba očekivati struje od direktnog udara groma i pojavu prenapona na instalacijama i opremi. Drugom je odredio KARAKTERISTIKE ZAŠTINIH UREĐAJA (UPZ) kojima bi trebalo zaštititi instalacije i opremu u tim zonama. Svrstao ih je u KLASE I, II, i III. Svaki od ovih uređaja treba da izbrusi udarne strujne i udarne naponske talase.

Tabela 2: Izbor i mesto postavljanja uređaja prenaponske zaštite (UPZ)

MESTO POSTAVLJANJA	PRENAPONSKA KATEGORIJA		
	IV	III	II
ULOGA ODVODNIKA PRENAPONA	PRIKLJUČAK OBJEKTA	RAZVOD	PRIKLJUČNICE
# izjednačavanje potencijala, prenaponska zaštita uređaja # odvođenje dela struje groma	UPZ klase I odvođenje struje groma		
# prenaponska zaštita uređaja # sniženje preostalog napona UPZ klase I # ograničavanje indukovanih prenapona		UPZ klase II	
# prenaponska zaštita uređaja # ograničavanje mrežnih prenapona # sniženje preostalog napona prethodnih UPZ			UPZ klase III

Zonom LPZ 0 nazvao je spoljašnji prostor oko šticeenog objekta.

Zona LPZ 0A predstavlja spoljašnji prostor izložen direktnom udaru groma.

Zona LPZ 0B je zaštićen prostor od direktnih udara groma.

Zona LPZ 1 je prostor u objektu zaštićen gromobrankskom instalacijom.

Zona LPZ 2 je prostorija u kojoj je šticeena oprema.

Zona LPZ 3 je unutrašnjost šticeene opreme.

Na prelazu između zone LPZ 0 i LPZ 1 se obično koristi prenaponska zaštita klase I. Između zone LPZ 1 i LPZ 2 prenaponska zaštita klase II. Na prelazu iz zone LPZ 2 u zonu LPZ 3 se obično koristi prenaponska zaštita klase III.

Prenaponska zaštita klase I mora biti testirana na strujne talase oblika  $10/350 \mu\text{s}$ , što znači da je prenaponska zaštita sposobna da odvodi struje koje su posledica neposrednih ili posrednih udara groma. Veličina udarne struje koju treba očekivati je zavisna od usvojenog nivoa zaštite kako je to dato u tabeli 1.

Prenaponska zaštita klase II i III, međutim, mora biti testirana na strujne talase oblika  $8/20 \mu\text{s}$ . Ovakav strujni talas je neuporedivo slabiji od talasa  $10/350 \mu\text{s}$ , koji se zahteva za klasu I. Tako je prenaponska zaštita sposobna da odvodi struje koje su posledica mrežnih prenapona, prenapona nastalih manipulacijama u elektroenergetskom sistemu ili uticaja pražnjenja na udaljenim mestima. U ovim primerima prenaponska zaštita klase III odvodi struje manjeg intenziteta istovremeno propuštajući manju vrednost preostalog napona u štice instalaciju i opremu. Tako će, preostali napon odvodnika i njegovo vreme odziva prema krajnjem potrošaču biti smanjivano od 6kV na 1,5kV, odnosno vreme odziva sa stotinak nano sekundi na vreme odziva ispod jedne nano sekunde.

U mrežama u kojima je zaštita od indirektnog dodira izvedena TN sistemom, nulovanjem, prenapone treba očekivati samo preko faznih vodova jer je neutralni provodnik već na više mesta uzemljen, pa odvodnike postavljati samo na faznim vodovima. U mrežama u kojima je zaštita od indirektnog dodira izvedena TT sistemom, uzemljenjem, prenapone treba očekivati preko sva četiri provodnika, pa radi toga i odvodnike treba postavljati na sva četiri voda.

## 5.2. Zaštita od prenapona u instalacijama za prenos informacija

Zaštita od prenapona u instalacijama za prenos informacija biće rešavana kaskadno, kao i u primeru zaštite u energetskim instalacijama, tako što će biti postavljeni odvodnici na ulazu informativnih priključaka u objekat a drugi ispred ili u samom uređaju, koji je obično, već ugrađen u uređaju od njegovog proizvođača.

## 5.3. Oblikovanje potencijala

Oblikovanje potencijala treba da ostvari izjednačavanje potencijala ili dovođenje svih metalnih masa štice prostora na bliske potencijale. To je, takođe, jedna od mera unutrašnje gromobranske instalacije. Izvođač radova i njegov nadzorni organ će u toku izvođenja unutrašnje gromobranske instalacije morati da sami odlučuju o galvanskom povezivanju svih metalnih masa koje se ukrštaju, vode paralelno ili približavaju jedna drugoj. Na tu obavezu projektant je mogao samo da podseti i obaveže izvođača da ovaj posao mora da obavi. Ta povezivanja moraju biti bez prelaznih otpora, ako će kasnije biti nepristupačna najbolje da budu zavarivana, kakao bi se između bilo koja dva najudaljenija metalna dela na ili u objektu dobio otpor manji od  $R \leq 1\Omega$ , što i merenjima treba proveriti i potvrditi [14].

## 6. VERIFIKACIJA GROMOBRA NSKE INSTALACIJE

U periodu zadnjih dvadesetak godina više puta je regulativa koja tretira ovu problematiku bila menjana ili dopunjavana, naravno, uvek sa namerom da se strukture, objekti i prostori što pouzdanije zaštite gromobranskom instalacijom maksimalne efikasnosti. Nacionalnim komisijama za zaštitu od groma Internacionalna elektrotehnička komisija (Commission éle ctrotechnique internationale - CEI ili International Electrotechnical Commission - IEC) je mnogo pomogla u rešavanju ovog problema

predlažući im gotove celine ovih standarda na usvajanje [6], [7], [8] i [9].

Možda je ovde trenutak da se razjasni dilema prisutna naročito kod institucija koje vrše periodične preglede-verifikaciju gromobranskih instalacija, po kojoj od ovih regulativa objavljenih u zadnjih dvadesetak godina i više, treba ocenjivati valjanost gromobranske instalacije. Odgovor na ovo pitanje sigurno treba tražiti u važećem Pravilniku o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskih pražnjenja (Sl.list SRJ, broj 11 iz 1996. godine) [1], koji je još uvek na snazi. Kao koautor (S.Smiljanić) teksta ovog Pravilnika u funkciji predsednika jugoslovenske Komisije za gromobrane KSN-81, slobodni smo da na ovo pitanje damo sledeći odgovor koji bi trebalo zaključiti iz definicija članova 17, 18 i 19 Pravilnika, kroz dve jednostavne formulacije.

Prvi: postojeća gromobranska instalacija biće verifikovana prema regulativi koja je važila kada je počela izgradnja te gromobranske instalacije. Pravilnik nigde ne zahteva da postojeća gromobranska instalacija u periodičnim pregledima, merenjima i ispitivanjima, bude verifikovana po najnovijim propisima.

Drugi: nova ili rekonstruisana postojeća gromobranska instalacija verifikovaće se danas po zahtevima standarda EN 62305-3 [8].

## 7. NEKI OD ZAKLJUČAKA I PREDLOGA

**7.1** Za zaštitu od direktnih atmosferskih pražnjenja najbolje je koristiti „prihvatni sistem“ hvataljka-ma sa uređajem za rano startovanje iz više razloga:

- sistem je „aktivan“ i sa vrlo malim odstupanjima (malom standardnom devijacijom) garantuje visoki stepen efikasnosti,
- jedino ovaj sistem omogućava zaštitu otvorenih prostora (sportskih borilišta, dečijih igrališta, školskih dvorišta i zabavišta, letnjih pozornica, bazena za kupanje...),
- svojim prisustvom ne remeti arhitektonski izgled objekta i u mnogo manjoj meri omogućava atmosferalijama degradaciju objekta,
- može biti znatno jeftiniji od drugih raspoloživih sistema,
- potvrdu svoje efikasnosti i pouzdanosti ovaj prihvatni sistem ima od svetski priznatih laboratorija što drugi ponuđeni sistemi to nemaju.

**7.2** Pored pravilno izabranog nivoa zaštite koji gromobranska instalacija mora da zadovolji (računskim putem ili strožiji ako to zahteva vlasnik instalacije), maksimalnu pažnju treba posvetiti uzemljivaču i naponu koraka (koji se, na primer, kod bazena za kupanje pretvara u „napon plivanja“ četvorostruko veći od „napona koraka“).

**7.3** Zaštita od prenapona ne bi smela da bude zaobiđena. U moderne objekte ugrađeno je mnogo čelične armature pa je tako ovim „kavezom“ smanjena opasnost od direktnih udara groma ali je u te objekte uneto i mnogo inteligentne opreme preosetljive na prenapone čijom pojavom bi posledice bile nepredvidive a štete nenadoknadive.

**7.4** Pouzdani proizvođači opreme za zaštitu u od prenapona garantuju potpunu zaštitu energetskih i telekomunikacionih vodova i opreme od prodora prenapona ako je ova ispravno odabrana i ispravno postavljena.

**7.5** Elektroprivreda ne bi smela da daje priključke objektima u kojima nije izvedena odgovarajuća zaštita od prenapona, kako bi sebe ali i kupce svojih usluga rasteretila velikih izdavanja nakon upada prenapona u ove instalacije.

## LITERATURA

1. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu objekata od atmosferskih pražnjenja (Sl.list SRJ, broj 11/96),
2. IEC 1024-1, Gromobranske instalacije, Opšti uslovi
3. IEC 1024-1-1, Gromobranske instalacije, Određivanje nivoa zaštite
4. JUS N.B4.810, Gromobranske instalacije, Štapne hvataljke sa uređajem za rano startovanje
5. JUS N.B4.803, Gromobranske instalacije, Utvrđivanje prosečnog broja dana sa grmljavinom
6. IEC 62305-1, Zaštita od atmosferskog pražnjenja - Deo 1: Opšti principi
7. IEC 62305-2, Zaštita od atmosferskog pražnjenja - Deo 2: Upravljanje rizikom
8. IEC 62305-3, Zaštita od atmosferskih pražnjenja – Deo 3: Fizičko oštećenje objekta i opasnost po život
9. IEC 62305-4, Zaštita od atmosferskih pražnjenja – Deo 4: Električni i elektronski sistemi u objektima
10. S.Smiljanić, Karakteristike hvataljke sa uređajem za rano strtovanje Atmosferska pražnjenja i zaštita, Vr.banja, oktobar 2001
11. S.Smiljanić, Ponašanje gromobrana sa uređajem za rano startovanje, tip PREVECTRON2 u laboratorijskim i prirodnim uslovima, Atmosferska pražnjenja i zaštita, Vr.banja, oktobar 2001
12. M.Saveljić, Geoelektrična identifikacija lito geološkog sastava i hidroloških odnosa u zemljinoj kori geoelektričnim-galvanskim metodama, magistarski rad, Tehnički fakultet Čačak, maj 2003.
13. S.Smiljanić, Energetski uzemljivači, Jugoslovenska i inostrana dokumentacija zaštite na radu, br. 1/89, Niš, januar 1989.
14. Tehnička preporuka br.5, Primena temeljnih uzemljivača i mera izjednačavanja potencijala u objektima i transformatorskim stanicama, tačka 8.3, Beograd, 1987.

# PROJEKTOVANJE SUSTAVA ZAŠTITE OD GROMA SA PROGRAMOM SHIELD I ZAŠTITA EX ZONA PREMA EN 62305-3

Janez Podlipnik, univ.dipl.inž.el.  
HERMI, d.o.o.

**Kratak sadržaj:** Sustav zaštite od groma jedan je bitnih sustava zaštite. Pogotovo u slučajevima, kada se na objektima nalaze opasne zone koje mogu biti lako zapaljive. Projektovanje gromobranske instalacije prema europskoj normi EN 62305-3 za zaštitu od groma obezbeđuje kvalitetnu zaštitu.

U referatu prikazano je kako projektujemo sustav zaštite od groma (sustav hvataljki, sustav odvoda i sustav uzemljenja). Kod sustava hvataljki to znači da se treba kompletan objekat nalaziti u zaštitnoj zoni, što znači da nema mogućnosti udara groma u objekat. Navedeno je veoma bitno kod objekata sa eksplozivnim zonama, jer su to fiktivne zone, ali također trebaju da budu zaštićene. U referatu prikazana je upotreba simulacije izračuna zaštitne zone po metodi rotirajuće sfere sa računarskim programom SHIELD.

**Ključne riječi:** Grom, zaštita od groma, projektovanje, proračun zaštitne zone, Ex zone, shield.

## 1. UVOD

Sustav zaštite od groma ima svoj štićeni prostor. Taj prostor, kojeg osigurava sustav zaštite od groma treba pokrivati kompletan objekat. Kod projektovanja zaštite od groma za objekte sa Ex zonama to znači, da trebamo uzet u obzir također i Ex zone. Ex zone mogu se nalaziti unutar objekta, ali se često nalaze i na krovovima objekta. Pravilno projektovan sustav zaštite treba spriječiti nastanak varnice unutar Ex zone.

## 2. PROJEKTOVANJE SUSTAVA ZAŠTITE OD GROMA

Sustav zaštite od groma je sustav vodiča, koji se nalaze na zgradi. Mjesto odnosno montaža tih vodiča točno je definiran sa europskom normom EN 62305-3. Vanjski sustav zaštite od groma sastoji se iz sustava hvataljki, sustava odvoda i sustava uzemljenja. Kod toga svaki od navedenih sustava ima svoj bitan stav.

### 2.1. Odabir razine zaštite

Jedan od načina odabira razine zaštite je izračun procjene rizika prema EN 62305-2. Proračun procjene rizika može se izraditi korišćenjem programa IEC Risk Assessment Calculator.



Calculated Risks:	Tolerable Risk (Rt)	Direct Strike Risk (Rd)	Indirect Strike Risk (Ri)	Calculated Risk (R)
Loss of Human Life:	1.00E-05	5.49E-06	7.95E-07	6.28E-06
Loss of Public Services:	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Loss of Cultural Heritage:	1.00E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Economic Loss:	1.00E-03	4.51E-06	2.55E-06	7.06E-06

Slika 1. Program za izračun procjene rizika IEC Risk Assessment Calculator

Kod izrade procjene rizika gledamo rizik gubitka ljudskog života, rizik gubitka bitnih javnih servisa, rizik gubitka kulturne baštine i rizik ekonomskih gubitaka. Svi od navedenih rizika trebaju da bude manji od toleriranih, koji su definirani u normi. Navedeni rizici zavise od dimenzija objekta, svojstva objekta (materijali, namjena, sadržaj), lokacije objekta, broja udara groma na području, gdje se objekat nalazi, broja i vrste električno vodljivih opskrbnih vodova, mogućih gubitaka u slučaju udara groma, ...

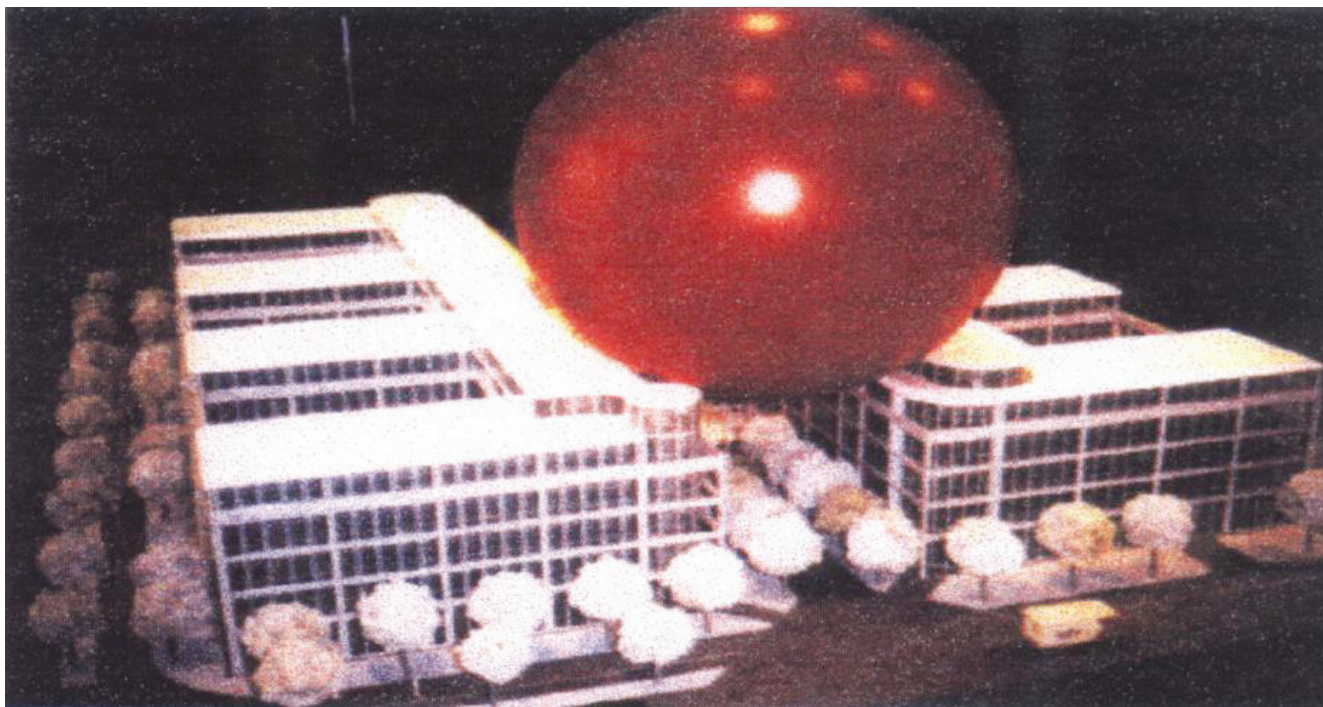
Detaljni pregled proračuna procjene rizika nije predmet tog referata i nije obrađen.

## 2.2. Sustav hvataljki

**Sustav hvataljki** je sustav vodiča koji se nalaze na onim dijelovima objekta, na kojim očekujemo direktni udar groma. Svaki od tih vodiča ima svoj štićeni prostor. Broj i lokacija vodiča tako najviše zavisi od oblike objekta odnosno od oblika krova objekta. Također je kod projektovanja potrebno uzet u obzir dimnjake, antene, eventualne električne uređaje, i ostale istaknute dijelove na krovu.

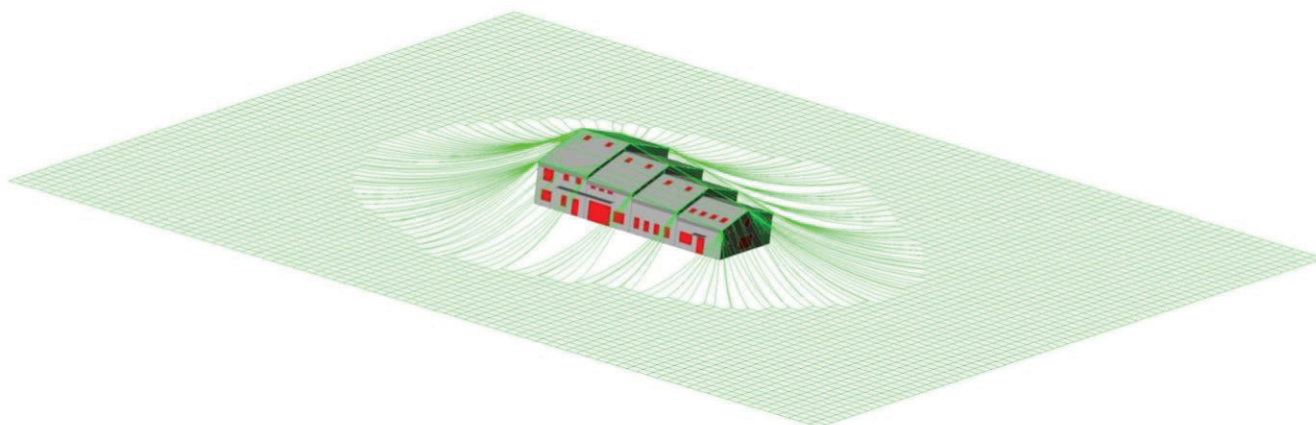
Štićeni prostor zavisi od odabrane razine zaštite. Štićeni prostor odredimo prema jednoj od tri metode: metodi rotirajuće sfere, metodi zaštitnog ugla ili metodi prihvatne mreže.

Metoda rotirajuće sfere osnovna je metoda za određivanje štićenog prostora. Polumjer sfere je definiran za svaku od 4 razina zaštite. Polumjer sfere u stvari zavisi od struje groma. Štićeni prostor je definiran sa rotiranjem sfere po objektu. Mjesta, gdje se sfera dodirne objekta, su mjesta gdje možemo očekivati direktan udar groma.



Slika 2: Određivanje štíćenog prostora sa rotiranjem sfere po maketi objekta

Kod rotiranja sfere po sustavu hvataljki, dobijemo štíćeni prostor, kojeg obezbeđuje projektovan sustav hvataljki. Rotiranje sfere/proračun štíćenog prostora simuliramo sa upotrebom programa SHIELD.

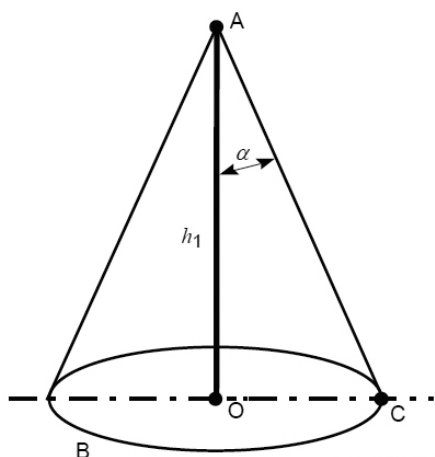


Slika 3: Štíćeni prostor po metodi rotirajuće sfere definiran sa programom SHIELD

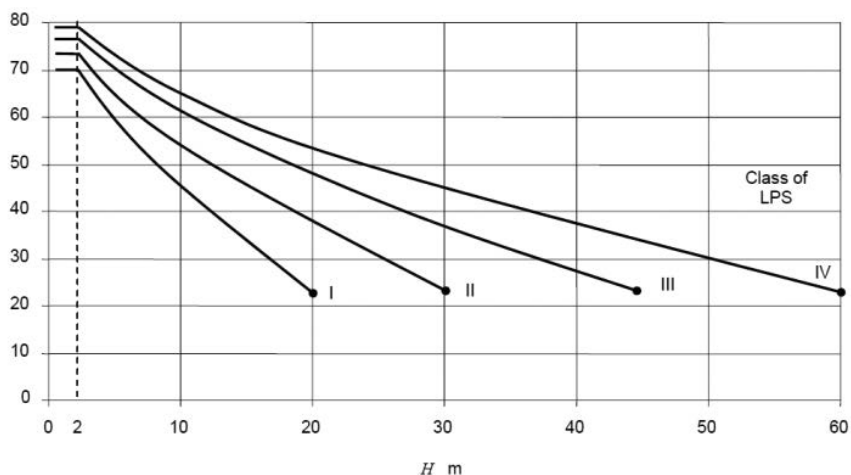
Razina zaštite (LPL)	Polumjer sfere
I	20m
II	30m
III	45m
IV	60m

Tabela 1: Polumjer sfere u ovisnosti od razine zaštite.

Metoda zaštitnog ugla je varijanta metode rotirajuće sfere. Prema ovoj metodi definiran je zaštitni ugao u odnosu na visinu hvataljke i razinu zaštite. Projektovanje prema metodi zaštitnog ugla primjerno je za objekte jednostavnih oblika.



Slika 4: Štićeni prostor hvataljke definiran prema metodi zaštitnog ugla.

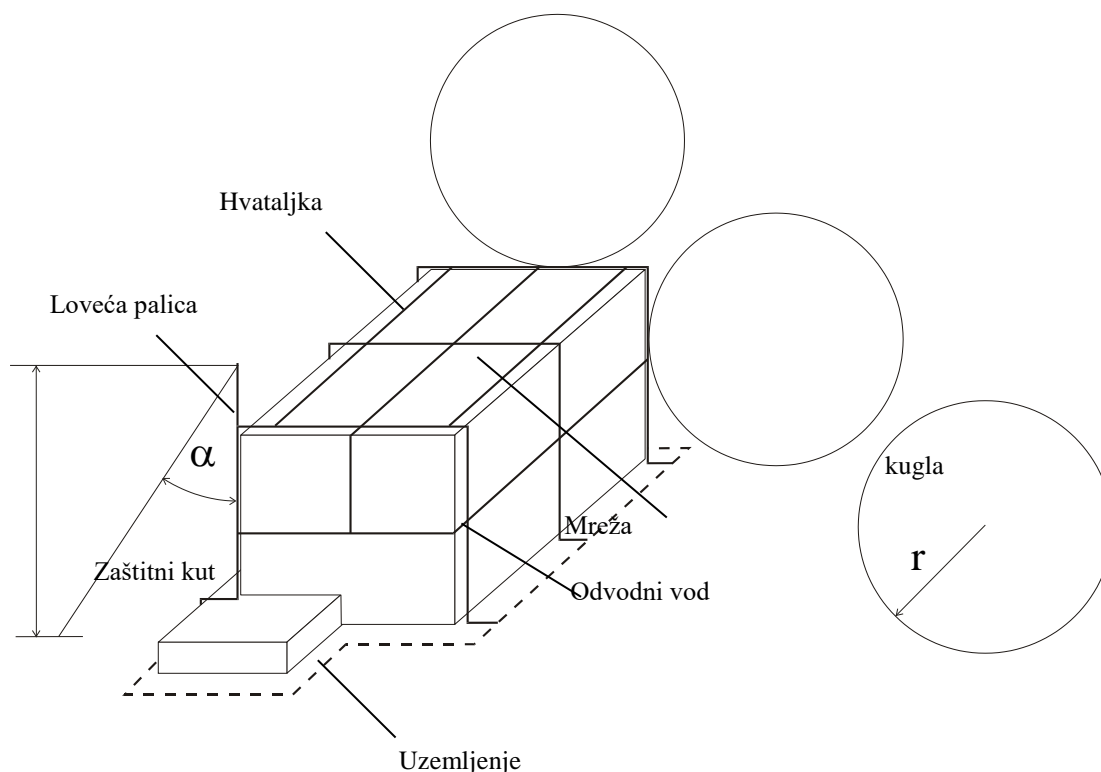


Slika 5: Zaštitni ugao u odnosu na visinu i razinu zaštite.

Metoda prihvatne mreže odgovarajuća je za projektovanje sustava hvataljki na objektima sa velikim ravnim površinama. Štićeni prostor je odgovarajući, u koliko se na objektu nalazi mreža dimenzija prema određenoj razini zaštite.

Razina zaštite (LPL)	Dimenzije mreže
I	5x5m
II	10x10m
III	15x15m
IV	20x20m

Tabela 2: Dimenzije mreže u odnosu na odabranu razinu zaštite.



Slika 6: Metode za određivanje štićenog prostora

## 2.3. Sustav odvoda

**Sustav odvoda.** Za osiguranje puta struji groma u tla, trebamo postaviti vodiče, koji povezuju sustav hvataljki sa sustavom uzemljenja. Ovi vodiči sastavljaju sustav odvoda. Broj odvodnih vodiča zavisi od dimenzija objekta i odabrane razine zaštite, i obezbeđuje što veću podjelu struje što znači veću sigurnost sustava zaštite od groma. U normi EN 62305-3 navedeni su tipični razmaci između odvodnih vodova.

Razina zaštite (LPL)	Tipični razmak
I	10m
II	10m
III	15m
IV	20m

Tabela 3: Tipični razmak između odvodnih vodiča u odnosu na odabranu razinu zaštite.

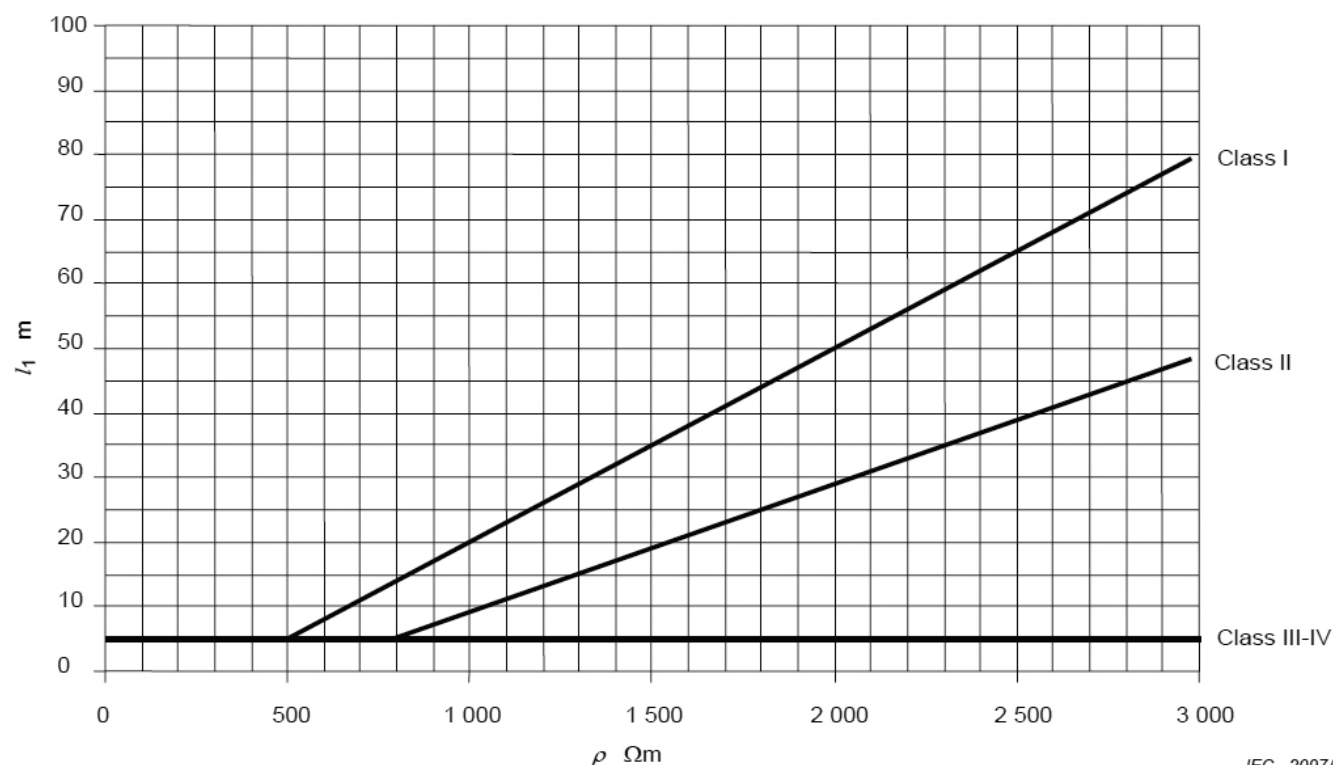
## 2.4. Sustav uzemljenja

**Sustav uzemljenja** je sustav međusobno povezanih uzemljivača. Kod prelaza struje groma sa odvodnih vodiča uzemljivači pružaju mogućnost struji groma da se rasprše u zemlji. Prema normi EN 62305-3 sustav uzemljenja može biti izveden kao Tip A ili Tip B.

Uzemljenje tipa A sastoji se od odvojenih uzemljivača, koji su spojeni na svaki od odvodnih vodova. Dužina uzemljivača definirana je u odnosu na specifični otpor tla i određenu razinu zaštite.

Dužina horizontalnog uzemljivača treba biti veća od vrijednosti  $l_1$ , dok treba biti dužina vertikalnog uzemljivača veća od vrijednosti  $0,5 \cdot l_1$ .

Uzemljenje tipa B sastoji se od horizontalnog uzemljivača u obliku prstena sa više od 80% dužine u dodiru sa tlom ili temeljni uzemljivač. Polumjer kruga sa istom površinom kao površina prstena treba biti veći od vrijednosti  $l_1$ .

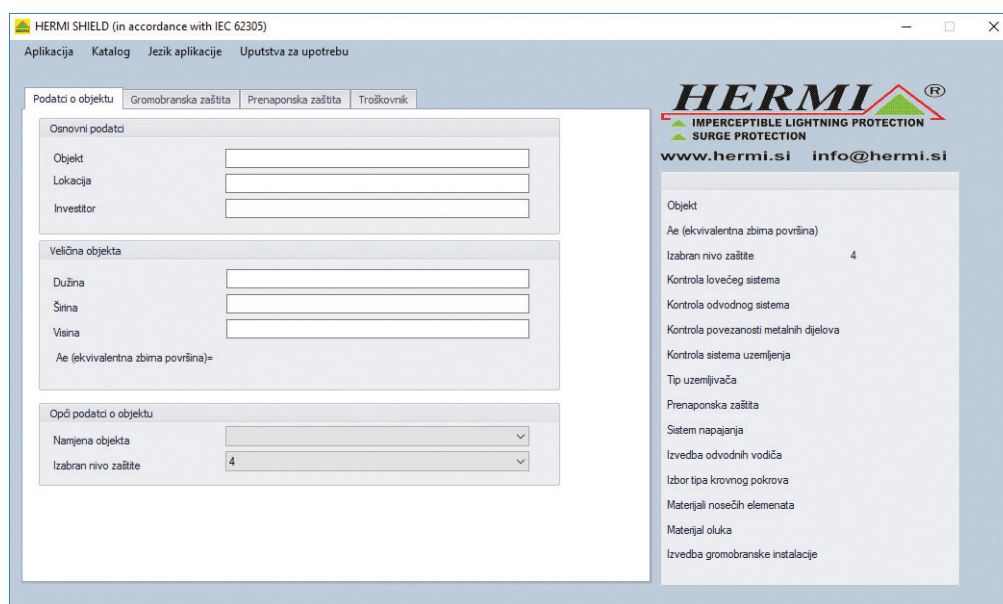


Slika 7: Dužina uzemljivača ovisno na razinu zaštite i specifični otpor tla.

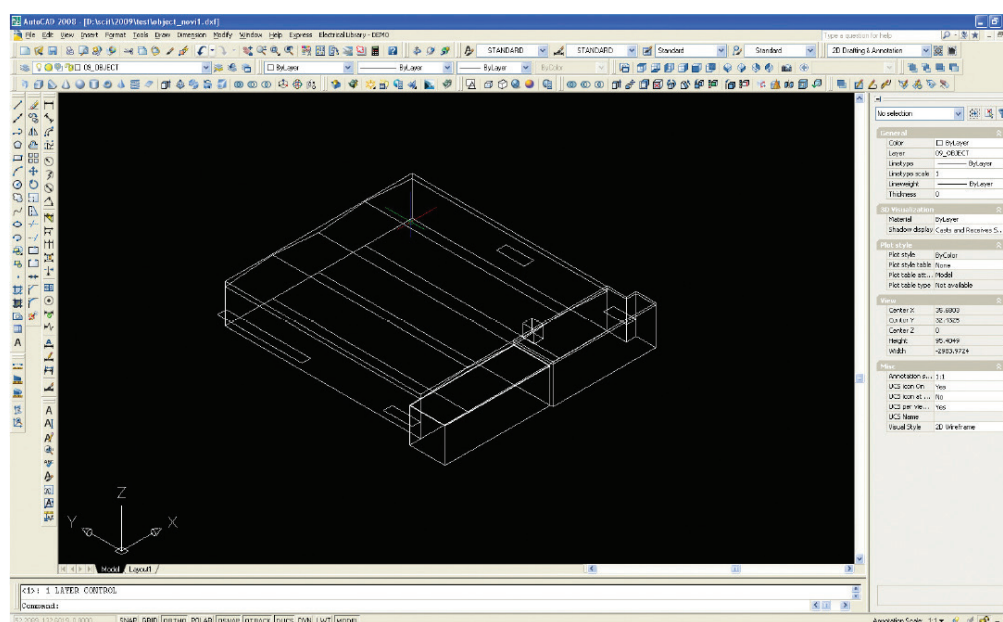
### 3. PROJEKTOVANJE SUSTAVA ZAŠTITE OD GROMA SA PROGRAMOM SHIELD

Za objekte jednostavnih oblika projektiranje sustava zaštite od groma moguće je izraditi prema metodi zaštitnog ugla ili metodi prihvatne mreže. U slučaju kompliciranih oblika objekta, pravilno projektovanje sustava zaštite predstavlja problem, kojeg najjednostavnije rješimo sa metodom rotirajuće sfere. Pošto u većini imamo nacрте objekta u CAD formatu, simulacija rotiranja sfere sa kompjuterom je logična.

Program SHIELD simulira rotiranje sfere po sustavu hvataljki. Rezultat tog rotiranja je izračun šticeenog prostora, kojeg kod rotiranja po sustavu hvataljki definiše sfera. Program SHIELD bazira na osnovu programa AutoCAD. Metoda kotrljajuće sfere prema EN 62305-3 osnovna je metoda korišćena u programu SHIELD. Za izračun šticeenog prostora osnova je 3D crtež objekta u AutoCAD-u. Ulazna datoteka spremi se u verziji AutoCAD R12/LT2 DXF, koja je standardna verzija zapisa i deo je svake verzije AutoCAD-a.

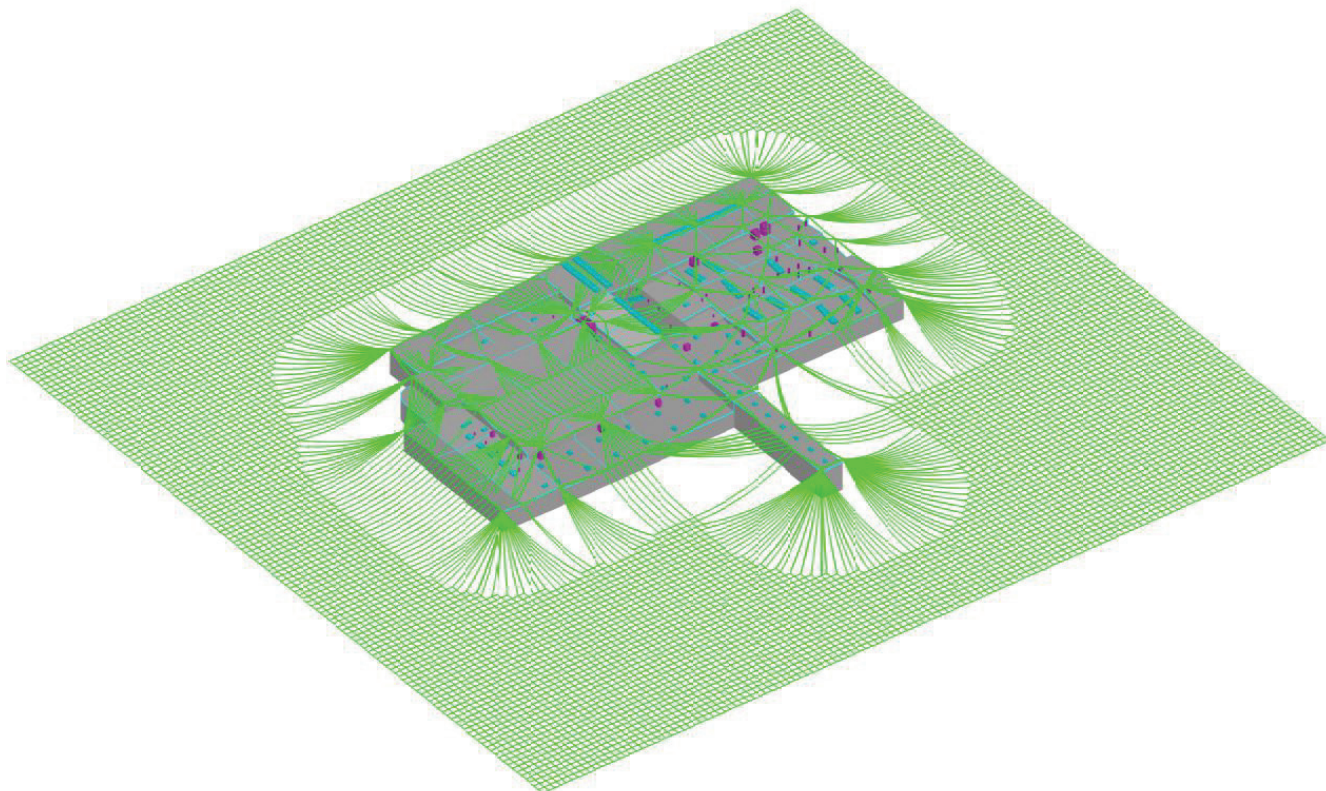


Slika 8: Program SHIELD



Slika 9: iscrtan 3D model objekta

Sustav zaštite od groma najčešće projektujemo prema iskustvu. U primjeru projektovanja sa programom SHIELD isto je. To znači, da na iscrtan 3D model ucrtamo sustav zaštite od groma. 3D model objekta sa ucrtanom sustavom zaštite od groma, kako je već bilo zapisano, predstavlja ulaznu datoteku programa. Sfera kod kotrljanja definiše štice prostora. Grafički rezultat izračuna štice prostora zapisan je u datoteci shield.dxf, koju možemo otvoriti i pregledati sa programom AutoCAD. Kot tog proračuna grafički prikaz štice prostora glavni je rezultat programa SHIELD i pruža mogućnost jednostavne kontrole pravilnosti predloženog sustava zaštite. Kod izračuna štice prostora u AutoCAD-u vrlo dobro vidi se, dali su svi delovi objekta unutar štice prostora. U slučaju, da koji dio objekta nije unutar štice prostora, trebamo na osnovnom crtežu popraviti sustav hvataljka, da bi dobili odgovarajuću zaštitu.



Slika 10: Proračun štice prostora kao rezultat upotrebe programa SHIELD

## 4. ZAŠTITA EX ZONA

Sve više puta imamo na objektima eksplozijsko ugrožena područja ili Ex zone. U takvim slučajevima postavlja se logično pitanje, kako pravilno odrediti sustav zaštite od groma.

Kada se je zaštita od munje izrađivala prema zahtjevima tehničkog pravilnika za gromobrane (Sl. list SFRJ 13/68), na objektima je bila izvedena zaštita u obliku mreže dimenzije 20 x 20m. U slučaju, da su se u objektu nalazile Ex zone, zahtjev tehničkog pravilnika bio je po postavljenju mreže dimenzija 10 x 10m. Takav zahtjev je logičan, jer gušća mreža znači veću razdjelu struje groma i također veću mogućnost hvatanja groma. Manja struja znači manju opasnost za eventualnu štetu. Ali tu postoji nedostatak. Veoma često naiđemo na primjer, da je gušća mreža izvedena samo na dijelu objekta, gdje se nalazi Ex zona, a ne po cijelom objektu. Takva izvedba nije ispravna jer trebamo na objekat gledati kao na cjelinu.



Slika 11: Izvedena mreža dimenzija 10 x 10m samo na dijelu objekta.

Sve češće se na objektima nalaze različiti odzračnici koji dolaze iz različitih postrojenja sa Ex zonama. U tom slučaju često se Ex zona nalazi i nekoliko metara oko takvog odzračnika, što znači, da se Ex zona upravo nalazi nekoliko metara iznad objekta. Dimenzije i lokacije Ex zona obično su definirane u elaboratu eksplozijske ugroženosti. U starom tehničkom pravilniku za zaštitu od groma takav primjer nije bio definiran. Zbog toga veoma jednostavno možemo naći primjere, gdje su odzračnici koji se nalaze u Ex zoni, spojeni na sustav hvataljki. Bez obzira, da je taj sustav dimenzija 10 x 10m, zaštite nije pravilna jer se Ex zone ne nalaze unutar šticećenog prostora. To znači, da se u slučaju udara groma varnica pojavi i unutar Ex zone što nije dozvoljeno.

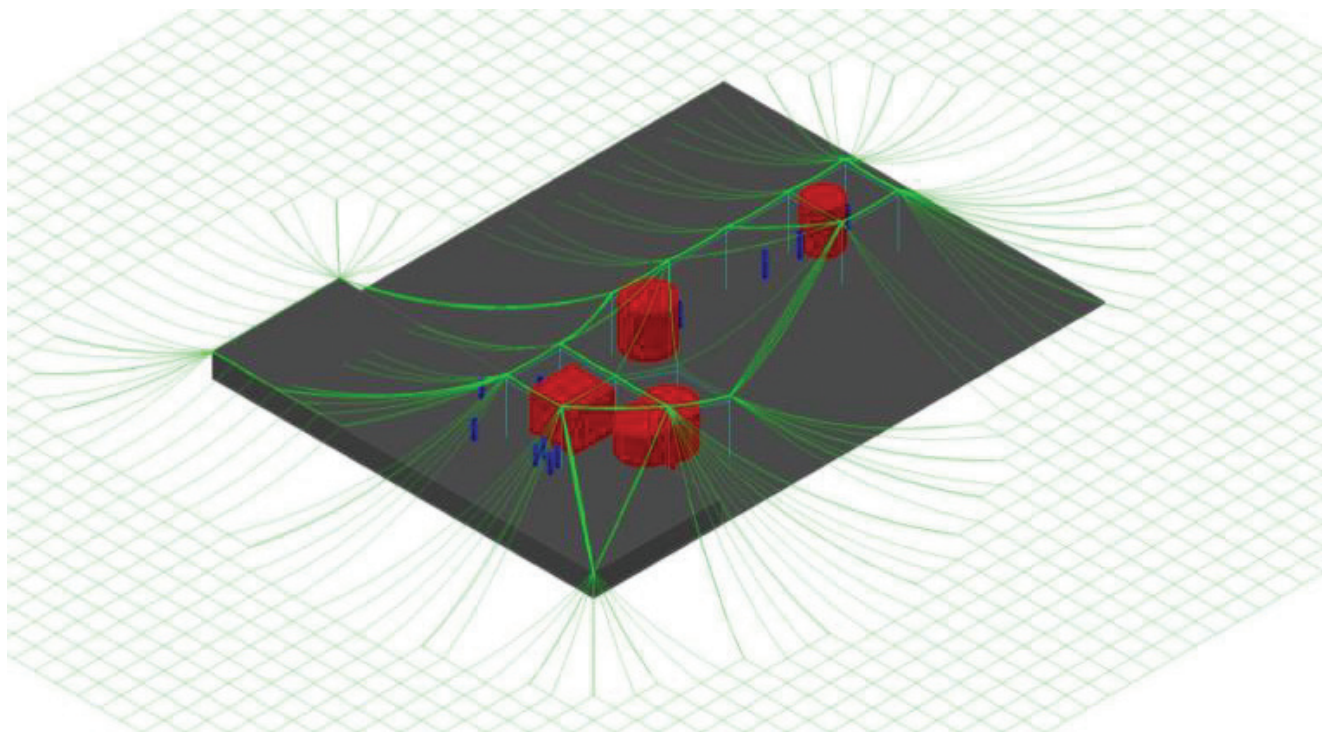


Slika 12: Nepravilno izvedena zaštita na objektu, gdje se nalaze odzračnici sa Ex zonama iznad objekta

Pravilna izvedba zaštite od groma u takvim slučajevima definirana je sa dodatkom D norme EN 62305-3.

Za zaštitu građevina sa prisutnim Ex zonama u normi predviđena je izrada sustava hvataljki tako, da u primjeru direktnog udara groma ne dolazi do opasnih iskra unutar Ex zona. Uz to trebaju biti svi dijelovi sustava hvataljki i sustava odvoda udaljeni najmanje 1m do Ex zone, gdje je to moguće.

Nadalje važi, da za zonu 2 ili 22 nije potrebno uvesti posebnih dodatnih zaštitnih mjera. U slučaju zone 1 ili 21 potrebno je dodatno prespojiti sve izolacione uloške u cjevovodima, iskrišta za izradu tih spojeva trebaju se nalaziti izvan Ex zona



Slika 13: Izračun šticeenog prostora sa Ex zonama na objektu.

## 5. ZAKLJUČAK

Pravilno projektovanje sustava zaštite od groma pogotovo u slučaju objekta sa Ex zonama je jako bitno. Samo u primjeru poštivanja pravila izrade zaštite prema EN 62305, zaštita od groma je sigurna i u slučaju udara groma ne bude štetnih primjera na objektu. Projektovanje sustava zaštite sa korištenjem programa SHIELD garancija je za odgovarajući proračun šticeenog prostora odnosno odgovarajuće zaštitu od groma.

## LITERATURA

1. EN 62305-3:2006 Protection against lightning - Part 3: Physical damages to structures and life hazard SHIELD, uputa za upotrebu





# GREEN ICT RJEŠENJA U SLUŽBI ENERGETSKE EFIKASNOSTI I OČUVANJA OKOLINE

Prof. Dr Božo Krstajić  
Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet

**Kratak sadržaj:** Termin 'green ICT' (zelene ICT) predstavlja skup tehnologija implementiranih u okviru informaciono-komunikacionog sektora orijentisanih na redukovanje emisije gasova štetnih po okolinu i smanjenje efekta staklene bašte, povećanje stepena korišćenja resursa i poboljšanje energetske efikasnosti. Dugo vremena zanemarivana, energetska efikasnost računarske i komunikacione infrastrukture postaje jedna od vodećih tema u inženjerskim naukama i jedno od polja primjene inovativnih inteligentnih sistema. Visoki operativni troškovi i velika emisija CO<sub>2</sub> posljedica su masovne i sve veće potrošnje energije za potrebe ICT-a na svim nivoima pa se stoga unapređivanjem sistema za napajanje, održavanja i korišćenja ICT uređaja može značajno uticati na njihovu energetska efikasnost.

Ovaj rad predstavlja pregled osnovnih green ICT pojmova, tehnologija i rješenja kao i prikaz analiza koje pokazuju kako i koliko bi ta rješenja doprinijela smanjenju potrošnje energije i očuvanju životne sredine. Dat je i jedan ilustrativan primjer primjene green ICT rješenja u Crnoj Gori koji pokazuje nivo uticaja ovih rješenja na uštede u energiji i očuvanje okoline kod nas.

**Ključne riječi:** Green ICT, Green Computing, Green networking, Cloud Computing, energetska efikasnost, emisija CO<sub>2</sub> i očuvanje okoline.

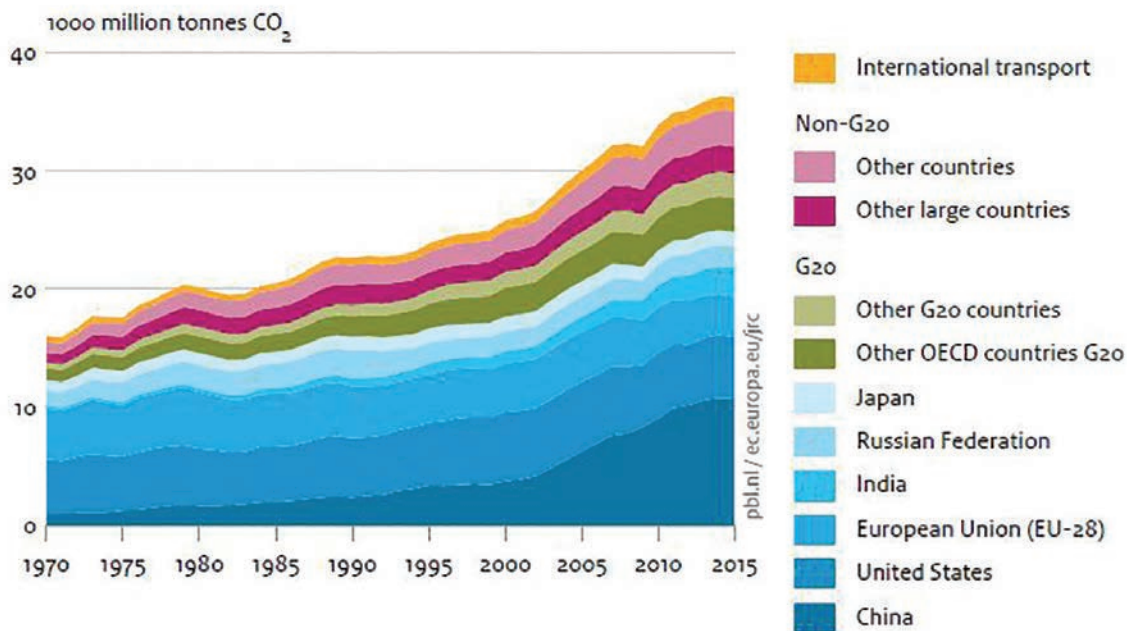
## 1. UVOD

### 1.1. Emisija CO<sub>2</sub> i globalno zagrijavanje

Brzo rastuće stanovništvo na planeti zajedno sa povećanim pritiskom na prirodne resurse dovelo je do ogromnih negativnih uticaja na životnu sredinu u vidu enormne emisije ugljen-dioksida koji je jedan od glavnih uzroka globalnog zagrijavanja. Do pomenutog poremećaja dolazi usled zadržavanja reflektovanog sunčevog zračenja u uslovima povećane koncentracije CO<sub>2</sub>, što kao posledicu ima konstantno povećanje temperature. Pored toga, očigledan je i globalni porast zagađenja životne okoline izazvan sve većom emisijom štetnih gasova i toksičnih materija u toku industrijskih proizvodnih procesa, kao i neadekvatno korišćenje raspoloživih resursa. Globalna potrošnja primarne energije je u 2015. povećana za 1%, što je ispod 10-ogodišnjeg prosjeka (1,9%) iako je cijena fosilnih goriva smanjena. Potrošnja uglja je smanjena za 1,8% ali je potrošnja nafte i prirodnog gasa povećana za 1,9%, odnosno 1,7%. Nadalje, proizvodnja nuklearne i hidroenergije je povećana za 1,3%, odnosno 1%, a takodje i proizvodnja iz obnovljivih izvora energije (solarna i energija vjetra) je povećana za 15,2%. Udio fosilnih goriva u proizvodnji energije je u 2015. godini bio na nivou 86% što je najniži nivo od 2002. godine [1].

Na slici 1 je dat prikaz kretanja nivoa globalne emisije CO<sub>2</sub> po regionima u periodu 1970. do 2015. [1]. Ista pokazuje konstantni trend rasta koji je doveo do klimatskih promjena, ali i ohrabrujuću, kontrolisanu ali blagu stagnaciju u posljednjoj godini.

Kao potvrda ovih tvrdnji stoje činjenice da je 2015. godina bila najtoplija od kad se vrše mjerenja (od 1880.), a čak 16 najtoplijih godina na planeti su u periodu od 1998. do 2015 [1]. Takođe, najveći emiter CO<sub>2</sub> (Kina) je počela kontrolisano smanjivati emisiju ugljen-dioksida u 2015. godini. No neke rastuće populacije i industrije (kao na primjer Indija) su povećale emisiju pa je efekat na globalnom nivou smanjenja emisije CO<sub>2</sub> za samo 0,1% što se može tretirati kao zaustavljanje porasta ali nedovoljno smanjenje da bi se efekat zagrijavanje zaustavio. Konačno, krajem 2015. je zvanično usvojen Pariški sporazum o klimatskim promjenama kojeg su prihvatile 187 država i sve zemlje EU.



Slika 1. Globalna emisija CO<sub>2</sub> po regionima od proizvodnje energije iz fosilnih goriva i proizvodnje cementa [1]

Veza između povećanja godišnjih globalnih emisija CO<sub>2</sub> i godišnjeg povećanja koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi nije direktna i prilično je kompleksna. Razlog što na neto godišnje povećanje koncentracija CO<sub>2</sub> utiču velike godišnje promjene emisija CO<sub>2</sub> iz šumskih požara i smanjivanja šuma i količine CO<sub>2</sub> apsorbovane vegetacijom, posebno rastućim šumama, koje se značajno razlikuju u zavisnosti od temperature, količina sunceve svjetlosti i padavina. Štaviše, velika apsorpcija atmosferskog CO<sub>2</sub> od strane okeana takođe varira tokom vremena i utiče na globalno zagrijavanje.

## 1.2. ICT i emisija CO<sub>2</sub>

Obzirom na stepen korišćenja i porast zastupljenosti informaciono komunikacionih tehnologija u privredi i svakodnevnom životu, potrošnja električne energije od strane ovih uređaja je u konstatnom usponu. Iako po prirodi mali potrošači energije, ICT uređaji zbog svoje brojnosti povećavaju udio u ukupnoj potrošnji energije, a samim time i uticaj na emisiju CO<sub>2</sub>. Informaciono komunikacione tehnologije su 2012. imale udio u globalnoj potrošnji energije oko 4.7%, a u globalnoj emisiji CO<sub>2</sub> oko 1.7% do 2%, a ovaj iznos je približan emisiji ugljenika u vazduhoplovnoj industriji [2],[3],[4]. Imajući u vidu trend razvoja ICT-a, zaključuje se da će emisije CO<sub>2</sub> nastaviti da rastu, što potvrđuju i podaci da je ukupna emisija CO<sub>2</sub> u okviru ICT sektora u 2011. godini iznosila 0.91 GtCO<sub>2</sub>e (gigatone emisije CO<sub>2</sub>), dok se za 2020. godinu predviđa vrijednost od čak 1.27 GtCO<sub>2</sub>e [3]. Kao što se vidi na slici 2, porast emisije CO<sub>2</sub> od ICT sektora je manji od 2011. (3,81%) nego u periodu 2002. do 2011. (6,1%), ali

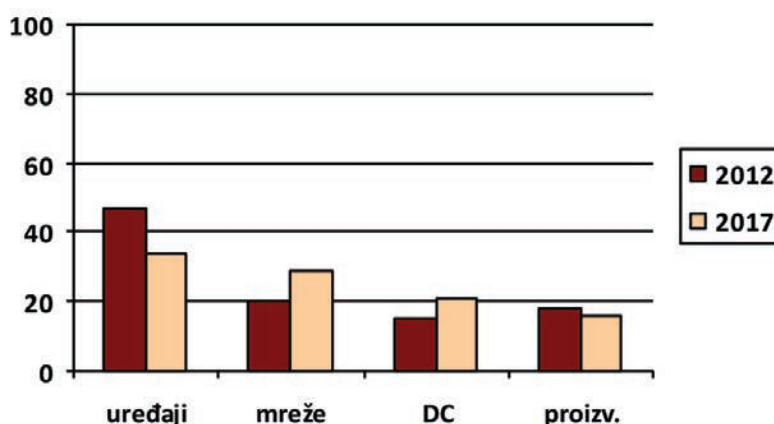
ipak evidentan. Također, analiza prikazana na slici 2 govori da je većina emisije od uređaja krajnjih korisnika (preko 50%), a da je najveći porast emisije zabilježen od strane data centara koji će se skoro izjednačiti sa komunikacionom opremom i uređajima.

Istraživanje [5], koje je obuhvatilo 17 velikih kompanija, među kojima su Google, Microsoft, IBM i Apple, analiziralo je trendove potrošnje energije za period od 2012. do 2017. godine i predvidjelo njenu raspodjelu u okviru ICT sektora između njene četiri glavne komponente – utroška energije na račun rada korisničkih uređaja, prenosnih mreža, data centara (DC) i proizvodnje (Slika 3).



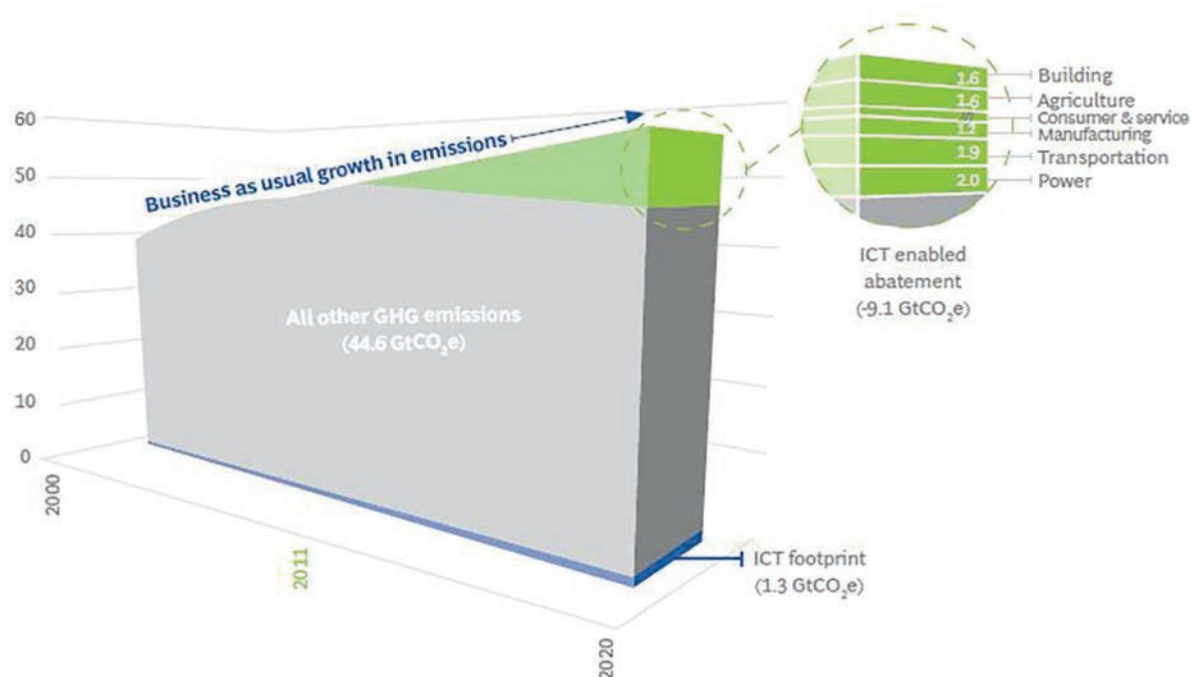
Slika 2. Emisija CO<sub>2</sub> direktno uzrokovana ICT sektorom [3]

Ako se predviđene vrijednosti uporede sa stvarnim vrijednostima iz 2012. godine, dolazi se do sledećih zaključaka (slika 3). Direktna potrošnja, tj. potrošnja na račun rada samih uređaja, sa gotovo polovine ukupne potrošnje energije u ICT sektoru u 2012. godini, tokom pet godina će pasti na trećinu od ukupne potrošnje. Ovakvom raspletu bi mogao pogodovati porast potrošnje energije u prenosnim mrežama i data centrima, koji će zajedno biti zaslužni za gotovo polovinu ukupne potrošnje energije u ICT sektoru. Ovakav zaključak može se izvesti posmatrajući sve evidentniju evoluciju žičnih i bežičnih mreža koje moraju da podrže potrebu za sve većom količinom prenesenih podataka, kao i upotrebu sve zahtjevnijih aplikacija koje traže sve veće protoke i manja kašnjenja na mreži. Uz to, data centri, koji su zahvaljujući razvoju brojnih cloud rješenja i povoljnostima koje one nude sve opterećeniji i brojniji, po pravilu zahtijevaju specifične uslove (rezervna napajanja, rezervnu opremu u slučaju kvara, sisteme za hlađenje, profesionalno održavanje, itd), a samim tim i veliku količinu utrošene električne energije.



Slika 3: Raspodjela potrošnja energije u okviru ICT sektora (u %)

Međutim, ICT može imati veliku ulogu i u redukciji emisije CO<sub>2</sub> implementacijom raznih inovativnih rješenja u drugim granama industrije i svakodnevnog života. To podrazumijeva razvoj novih ekološki orijentisanih tehnologija i sistema u okviru informaciono-komunikacionog sektora. Takva rješenja rade na suzbijanju pomenutih problema kako u okviru samog ICT sektora, tako i u ostalim sektorima. Predviđanja za 2020. godinu govore da bi se primjenom ICT tehnologija moglo uticati na globalni pad emisije štetnih gasova čak i do 16,5% [3]. Na slici 4 je dat prikaz procjene emisije CO<sub>2</sub> i smanjenje iste pod uticajem ICT (direktno i indirektno). Procjena je da će 2020., putem inovativnih ICT rješenja u gradnji, poljoprivredi, transportu, energiji, industriji i uslugama, biti smanjena emisija CO<sub>2</sub> za 9,1 Gt, a da će sama ICT proizvesti oko 1,3 Gt (slika 4).



Slika 4. Procjena emisije CO<sub>2</sub> i uticaja ICT-a na njeno smanjenje (Gt) [3]

Sve ovo je umnogome uticalo na popularizaciju termina green ICT, koji podrazumijeva skup tehnologija koje se odnose na planiranje, razvoj i implementaciju rješenja pod okriljem ICT sektora, a koje za cilj imaju ekološke koristi, smanjenje potrošnje energije i doprinos očuvanju životne sredine.

Tome se može doprinijeti kroz implementaciju određenih metoda green ICT-ja kao što su: implementacija inovativnih tehnologija, sistema i pametnih uređaja u cilju uštede energije i suzbijanja emisije štetnih materija; podsticanje upotrebe obnovljivih resursa, poput solarne energije, energije vjetra, biomase i slično; smanjenje količine elektronskog otpada i propagiranje njegove reciklaže; korišćenje ICT rješenja u ranom otkrivanju i borbi protiv požara; podsticanje korišćenja novijih tehnologija poput virtuelizacije i cloud servisa, što bi dovelo do efikasnijeg korišćenja raspoloživih hardverskih resursa; povećanje efikasnosti data centara uz uštedu energije i korišćenje video konferencija umjesto klasičnih poslovnih sastanaka koji zahtijevaju kraća ili duža putovanja transportnim sredstvima, poput aviona, koji spadaju u jedne od većih zagađivača okoline.

U narednom poglavlju su dati osnovni pojmovi i green ICT rješenja i njihov uticaj na smanjenje CO<sub>2</sub> emisije. Nakon toga je dat primjer jedne implementacije green ICT rješenja kao i analiza rezultata i efekata iste. Na kraju, dati su zaključci sa osvrtom na buduće pravce istraživanja i razvoja ove oblasti.

## 2. GREEN ICT

Green ICT („Zelene“ informacione i komunikacione tehnologije) je koncept koji ima za cilj uklanjanje ICT vezanih problema za životnu sredinu i pokretanje inovativnih rješenja u drugim industrijskim granama koja će dovesti do smanjenja emisije CO<sub>2</sub>. Green ICT je pionirski način korišćenja ICT-a koji se sastoji od rješenja i standarda koji se bave održivošću životne sredine minimizujući emisiju CO<sub>2</sub> od ICT-a optimizacijom potrošnje energije i očuvanjem prirodnih resursa. Ako ovome dodamo predviđanja rasta broja IoT (Internet of Things) uređaja (do 50 milijardi do 2020) onda je jasan trend uticaja ICT-a kao potrošača energije i zagađivača okoline.

Shodno podjeli ICT uređaja prema potrošnji i uticaju na emisiju CO<sub>2</sub>, klasifikovana su i green ICT rješenja u samom ICT sektoru na: green data centre, green networking i green computing.

### 2.1. Green data centri

Značajan procenat u potrošnji energije u ICT sektoru imaju data centri čija kompleksnost onemogućava pronalazak uniformnog green rješenja, odnosno kreiranje data centra koji je utemeljen na primjeni jedne jedinstvene green ICT tehnologije. Stoga je od izuzetne važnosti da se temeljno analiziraju i uporede najnovija tehnološka rješenja u cilju poboljšanja energetske efikasnosti data centara. Razvoj data centara je većinom imao fokus na poboljšanju mogućnosti procesuiranja, povećanju protoka i brzine, unapređenju kvaliteta usluga, te razvoju novih cloud servisa. To je uzrokovalo višestruko povećanje potrošnje energije (slika 2), a isto nije bila uslovljena samo povećanjem broja i snage računarske opreme već i potrebom za snažnijom opremom za hlađenje i drugo održavanje centara. Malo se pažnje obraćalo na energetske efikasnosti data centara. No to sad nije slučaj i postoji čitav niz green ICT rješenja za data centre.

Moderni data centri, koji implementiraju Cloud computing model, pružaju usluge u cijelom rasponu OSI modela i vremena odziva od nekoliko sekundi (e-commerce, portali na društvenim mrežama sa trenutnim opterećenjem) do onih koji rade satima (na primjer simulacije ili procesuiranje velike količine podataka) na dijeljenim hardverskim platformama. Krajnji korisnici nemaju više potrebu za velikim kapitalnim izdacima u vidu hardvera za implementaciju njihovih data centara ili troškova u vidu ljudskih resursa da ga opslužuju. Cloud computing nudi značajne prednosti (uštede) za IT kompanije oslobađajući ih od potrebe za serverskom hardverskom i softverskom infrastrukturom, te im na taj način omogućuje da usredsrede fokus na dalje inovacije i stvaranje što kvalitetnijih usluga [6].

Kroz cloud computing, kompanije koriste potreban prostor na serverima, i na taj način smanjuju potrošnju energije u poređenju sa onom koja bi bila potrebna za on-site servere. Cloud computing smanjuje potrošnju energije kroz virtuelizaciju, koja opet dozvoljava konsolidaciju i migraciju virtuelnih mašina, toplotni menadžment tj. alokaciju shodno temperaturi; ovo su tehnike koje vode do redukcije potrošnje energije [7], [8]. Dakle upravo zato Cloud computing može biti smatran primjerom green ICT-a. Data centri ne samo da su skupi za održavanje, već nisu ni naklonjeni životnoj sredini. Vodeći provajderi kompjuterskih usluga su formirali globalni konzorcijum poznat kao „The Green Grid“ [9] u cilju promocije energetske efikasnosti data centara i minimalizacije njihovog uticaja na životnu sredinu. Green cloud computing je upravo oblast koja tretira energetske efikasnosti data centara, njihovo upravljanje i organizaciju i ekonomično iskorišćenje cloud resursa.

Paradoksalan faktor implementacije green data centra predstavlja činjenica da veća potrošnja energije od strane IT opreme povećava stepenom iskorišćenja i smanjuje gubitke, ali rezultira većom količinom toplote koja mora biti efikasno odvedena. Energetske efikasnosti u domenu rada opreme za rashlađivanje u data centrima, primjenom odgovarajućih metoda, se može redukovati preko 30% [10]. Naime, jedan MW energije potreban za rad današnjeg data centra obično zahtijeva oko 0,7 MW za hlađenje [10], [11]. Kako bi se rashlađivanje vršilo na ekonomičniji način, potrebno je utvrditi koja oprema je opterećenija od druge i tu preseliti na mjesto koje je najlakše rashladiti. Kao mod-

ernija rješenja, implementiraju se i algoritmi koji vode računa o zagrijanosti i opterećenosti pojedinih uređaja i vrše balansiranje opterećenja na osnovu donesenih zaključaka [8].

Sistem napajanja kod data centara obično se sastoji od sistema prekidača, backup generatora, UPS-eva, opreme za napajanje uređaja i jedinice za napajanje hostova. Sve ove cjeline tokom konverzije energije ne samo da stvaraju gubitke, već i oslobađaju toplotu, što predstavlja dodatno opterećenje za sistem hlađenja. Pažljivim odabirom i adekvatnim opterećenjem pomenutih komponenti može se značajno povećati efikasnost rada data centara. Treba napomenuti efikasna rješenja u vidu: Flywheel sistema, statičkih sistema dvostruke konverzije i DC sistemi napajanja koji mogu značajno poboljšati energetska efikasnost ovog segmenta [11]. Takođe, postoje efikasne metode hlađenja data centara: vazdušno, vodeno ili posebnom tečnošću (čak i potapanjem) koji značajno smanjuju potrošnju energije i do 40% [11].

U cilju postizanja maksimalne efikasnosti pri potrošnji energije i emisiji CO<sub>2</sub>, svaka od komponenti data centara mora biti dizajnirana i upotrijebljena efikasno.

## 2.2. Green networking

Green networking je jedan dio green ICT-a koji podrazumijeva povećanje energetske efikasnosti računarskih i telekomunikacionih mreža u cilju smanjenja potrošnje energije i CO<sub>2</sub>. Inovacije u ovoj oblasti predstavljaju posebni izazov, pogotovo u domenu telekomunikacionih mreža, s obzirom na sve veće opterećenje linkova i količinu prenesenih podataka koje je izazvano enormnim rastom broja korisnika. Dok tradicionalni pristupi projektovanju računarskih mreža za cilj imaju isključivo optimizaciju performansi komunikacionih sistema, green pristupi su orijentisani na omogućavanje zadovoljavajućih performansi uz što veću uštedu energije [12].

Postoje brojne green networking tehnike i u njih, pored već pomenute virtuelizacije i cloud-a, spadaju [13], [14]: upotreba obnovljivih izvora energije za napajanje uređaja, dizajniranje i upotreba mrežnih komponenti sa manjom potrošnjom, analiza opterećenja pojedinih elemenata sa ciljem isključivanja manje aktivnih uređaja, tj. minimizacije upotrebljenih resursa, gašenje linkova i mrežnih čvorišta koji se slabije koriste (power-down pristup), upotreba mehanizama prilagođenja protoka linka trenutnoj količini saobraćaja i implemetacija energetske efikasne protokola.

Prema Beckmann-u, green network tehnologije mogu biti podijeljene na dva dijela i to na metode na softverskom nivou i metode na hardverskom nivou. Metode na softverskom nivou uključuju virtuelizaciju, green TCP, Resource Consolidation itd. Metode na hardverskom nivou su: interface proxying, adaptive link rate, hibernaciju, Energy Efficient Ethernet (EEE)[15].

Sa mrežnom virtuelizacijom, raspoloživi propusni opseg je podijeljen u kanale, gdje svaki djeluje nezavisno ili zajedno, shodno potrebama aplikacija koje su aktivne. Na ovaj način se postiže bolja iskorišćenost veze, što je mnogo efikasnije od toga da jedna aplikacija prisvoji link za sebe, što bi najvjerojatnije dovelo do visokog stepena praznog hoda, tako da se link može na ovaj način koristiti za rad više aplikacija odjednom. Dakle, mrežna virtuelizacija je green networking metoda koja se već uveliko upotrebljava.

Za servere u data centrima (DC) dinamička konsolidacija je najefikasniji način da se poboljša energetska efikasnost. Često postoji nedovoljna trenutna potreba za svim serverima, tako da su mnogi serveri neiskorišćeni, i mogu biti konsolidovani na minimalan broj fizičkih čvorova. Zato, neupotrebljeni serveri će biti isključeni u cilju smanjenja potrošnje energije [16].

TCP (Transmission Control Protocol) je glavni transportni protokol za pouzdanu isporuku podataka na internet mreži. Još 1998 je predložen green TCP koji uključuje novu opciju postavljanja veze u sleep mod. Sleep opcija omogućava klijentima da obavijeste server kada žele da idu u sleep mod. Na ovaj način konekcija između servera i klijenta se ne prekida, iako ni klijent ni server ne razmjenjuju podatke. Kada je klijent spreman da se probudi, obavještava server, i razmjena podataka se nastavlja. Green TCP je dizajniran da bude kompatibilan sa standardnim protokolom, a ostvaruje uštedu

energije [17].

Sledeća mogućnost uštede energije je interface proxying. Interface proxying je sličan Green TCP-u na taj način što nastoji omogućiti uređajima da imaju i koriste sleep mod kada su u stanju niske aktivnosti. Kod mnogih aplikacija gdje postoji mogućnost odlaska u sleep mod, iako uređaji na kojima se nalaze aplikacije moraju i dalje ostati aktivni da oslušuju mrežni saobraćaj. Većina saobraćaja koji uređaj primi može zapravo biti ignorisan ili se na njega može odgovoriti na veoma jednostavan način. Ovo je situacija gdje Interface Proxying stupa na scenu. Interface Proxying je metod delegiranja odgovora na "trivijalni" saobraćaj sa energetske zahtjevnih sistemskih procesora na relativno nisko energetske zahtjevne procesore poput onih koji bi se implementirali na mrežnim karticama (NIC) ili štaviše na spoljašnjim uređajima poput LAN svičeva [18].

Jedan od značajnijih potrošača energije kod mrežne opreme su svičevi. Posebno Power over Ethernet (PoE) svičevi su veoma energetske neefikasni. PoE svičevi dozvoljavaju priključenim uređajima napajanje preko parica Ethernet kabla. Ova metoda napajanje opreme je vrlo podesna za implementaciju što je dovelo do rasprostranjene upotrebe PoE svičeva. No, PoE svičevi koriste do 10 puta više energije od običnih svičeva. Ovo je uzrokovano i direktnim strujnim gubicima preko ethernet kabla. Oko 4,5 W gubi se po svakom portu za CAT5, CAT5e, CAT6 ili CAT6A kablova. U cilju smanjenja potrošnje energije Ethernet svičeva, IEEE je razvio standarde 802.3az, 802.3at-2009, poznate kao Energetske Efikasne Ethernet (EEE), koji podržavaju modove mirovanja za Ethernet portove. Implementacijom ovih standarda i obezbjeđivanjem napajanja preko 4 parice gubici se mogu smanjiti na 1,55 W po portu [19]. Uprkos njihovim nedostacima, PoE svičevi imaju prednost koja se ogleda i u mogućnosti daljinskog upravljanja potrošnjom električne energije na velikom broju uređaja, odnosno isključenjem uređaja kada nijesu u funkciji (na primjer noćne kamere se mogu isključiti tokom dana, IP telefoni kada nisu u upotrebi itd)

Ekspirimentalni rezultati pokazuju da je potrošnja energije u Ethernet kablju nezavisna od iskorišćenja linka. Čak i kada nema paketa podataka koji se šalju, linkovi stalno održavaju sinhronizaciju da bi izbjegli kašnjenje u slučaju transmisije većeg okvira. Ovo dovodi do nepotrebnog trošenja energije bez obavljenog konkretnog posla. Jedan od načina za smanjenje potrošnje je omogućavanje linkovima da pređu u sleep mod tokom neaktivnosti. Problem sa ovim metodom ogleda se u pronalasku dobrog balansa između štednje energije i sposobnosti sistema da brzo odgovori na zahtjeve. Ovaj metod treba jedino primjenjivati tokom dovoljno dugog perioda neaktivnosti. Drugi metod, rate adoption, vrši prilagodjavanje brzine linka u cilju smanjenja potrošnje. Ovo je trenutni standard za veće brzine linka (1-10 Gbps), a analize pokazuju da npr. smanjenje propusnog opsega sa 1 Gbps na 100 Mbps izaziva smanjenje potrošnje energije od 3W na strani mrežne kartrice i 1.5W na portu sviča. No, pravo rješenje je u izboru metoda upravljanja energijom i njihovoj kombinaciji [20].

## 2.3. Green computing

Prodaja personalnih ICT uređaja ubrzano raste iz godine u godinu, a posebno smart telefona. Broj korisnika Interneta je na 49,7% svjetske populacije, odnosno 3,7 milijardi korisnika (<http://www.internetworldstats.com/stats.htm>). Ovo govori da se najviše uštede mogu uraditi na polju green tehnologija za ICT uređaje krajnjih korisnika, nazvane green computing. Naravno, desktop, laptop, netbook računari i smart televizori su energetske najzahtjevniji uređaji jer posjeduju mnogo veće ekrane, brže procesore i bolje performanse od smart telefona pa se većina rješenja odnosi na njih. Naravno, ne treba zaboraviti i ostalu ICT opremu krajnjih korisnika (štampače, skenere, ...).

Postoji niz rješenja dobre prakse koja se preporučuju za ove uređaje kako bi bili energetske efikasniji [21],[22], a to su: prilagoditi veličinu monitora potrebama, koristiti LCD/LED monitore koji imaju bolji plan uštede energije i duplo duži rok trajanja u odnosu na CRT monitore, koristiti Energy Star (energetske efikasnije) uređaje koje karakteriše ušteda energije do 25%, podesiti automatsko prebacivanje kompjutera u "sleep mode" nakon određenog perioda neaktivnosti, izbjegavati upotrebu



screen saver-a koji nepotrebno troši energiju, podesiti osvjetljenje monitora, isključiti kompjuter i druge uređaje manuelno ili pomoću neke automatizovane procedure. Iako tehnički izazovi green computing-a nijesu previše složeni, najveći problem predstavlja promjena navika korisnika.

Nadalje, novije verzije operativnih sistema, poput Windows 8 ili 10, mogu biti pokrenute na starijem hardveru. No, često zbog nedostatka odgovarajućih drajvera za starije komponente, poput grafičke kartice ili mrežnih kontrolera, nemoguće je instalirati novije verzija operativnih sistema. Štaviše, ponekad i starije verzije OS-a ne mogu biti instalirane na savremenijem hardveru iz istog razloga. Tada se korisnici često odlučuju ili na promjenu pojedinih hardverskih djelova računara, ili, što je još pogubnije posmatrano iz green ugla, na cjelokupnu promjenu računara. Ovo se može djelimično izbjeći instalacijom open-source operativnih sistema.

Korišćenje thin-klijent računara (jedna vrsta računarskog terminala) u kompanijama je energetski i funkcionalno isplativija kroz zajedničko korišćenje resursa. Prednosti se ogledaju u manjim administrativnim i hardverskim troškovima, manjoj potrošnji energije i u efikasnijoj upotrebi resursa.

Konačno, ne treba zaboraviti upotrebu savremenih servisa za komunikaciju. Telekonferencije imaju direktni pozitivni efekat na očuvanje sredine i na smanjenje emisije CO<sub>2</sub> na indirektan način. Telekonferencije mogu spriječiti proizvodnju otprilike 540.000 tona CO<sub>2</sub> na godišnjem nivou prouzrokovanih prevozom ljudi vazдушnim saobraćajem.

Procjenjuje se da prevoz avionom doprinosi globalnom zagađenju od 2%. Prema predviđanju [23] zamjenjujući 25% od trenutnih 1.8 milijardi vazдушnih putovanja sa videokonferencijama sačuvalo bi se toliko energije koliko je potrebno za rad Interneta.

Dodatnu korist bi predstavljala sama sačuvana energija jer se na taj način smanjuje sagorijevanje avio goriva.

### 3. PRIMJER GREEN ICT RJEŠENJA I EFEKTI PRIMJENE

U okviru [22] je izvršeno istraživanje uticaja primjene green computing rješenja na jednu standardnu računarsku učionicu na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici. Predmetna učionica sadrži 48 umreženih PC desktop računara sa LCD monitorima i standardnu prateću opremu.

Vršena su mjerenja potrošnje električne energije prije i poslije primjene green computing mjera. Primijenjena su green rješenja, prilagođenja sleep moda računara, isključenja screen saver-a i automatizovano manuelno isključenje računara, uređaja za hladjenje prostorije, mrežne opreme i rasvjete kada se ne koriste.

Mjerenje je realizovano analizatorom kvaliteta električne energije Fluke 434.

Prva mjerenja su pokazala paradoks da je potrošnja energije u vremenu kada se učionica ne koristi iznosila od 140W do 400W (mrežni uređaji, uređaji u stand-by modu, dio rasvjete koji nije isključen, itd).

Dakle, samo sa mjerom automatizovanog manuelnog isključenja uređaja (svođenjem ove nepotrebne potrošnje na nulu) evidentno je smanjenje potrošnje za 32,3 kWh za nedjelju dana, odnosno ušteda od 28,3%. U Tabeli I su dati rezultati mjerenja potrošnje električne energije u predmetnoj učionici za jednu radnu nedjelju [22].

Tabela I. Rezultati mjerenja potrošnje električne energije [22]

Ukupna potrošnja energije prije green rješenja	113 kWh
Ukupna potrošnja energije posle primjene green rješenja	80,7 kWh
Ušteda energije	32,3 kWh (28,3%)

Ovim je izračunata ušteda u smislu troškova za električnu energiju, ali je potrebno izračunati koliko je na ovaj način smanjena emisija CO<sub>2</sub> u konkretnom slučaju. Da bi to bilo moguće potrebno je analizirati izvore električne energije u sistemu iz kojeg se napaja predmetna učionica. Znajući da je učionica napajana iz elektro-energetskog sistema Crne Gore potrebno je analizirati proizvodnju energije u tom sistemu kako bi se utvrdio udio „prljave“ energije u istom (energije od fosilnih goriva). Jasno je da se u njenom proizvodnjom emituje određena količina CO<sub>2</sub> u atmosferu. U ovom sistemu dominantni izvor „prljave“ energije potiče iz TE „Pljevlja“ pa treba izračunati tj. procijeniti njen udio. Na osnovu [24] je izvršena procjena ovog udjela i on iznosi oko 40% [22] i to je dio energije koji utiče na emisiju CO<sub>2</sub>. Na osnovu ove procjene dolazi se do podatka da je nedjeljna ušteda „prljave“ energije na nivou 12,8 kWh.

Sada je neophodno analizirati karakteristike TE „Pljevlja“ u smislu uticaja na okolinu, tj. koliko svaki proizvedeni kWh uzrokuje emisiju CO<sub>2</sub> u atmosferu. Činjenica je da TE Pljevlja kao gorivo koristi lignit, čijim se sagorijevanjem u atmosferu oslobađa 0,36 kg po proizvedenom kWh električne energije prema [25]. Imajući sve ovo u vidu, u Tabeli II su dati uporedni podaci o emisiji CO<sub>2</sub> koja je posljedica rada ICT uređaja u predmetnoj računarskoj učionici u toku radne nedjelje. Očigledno je da su rezultati neočekivano veliki, posebno ako se uzme u obzir da ovakva učionica radi u prosjeku 40 sedmica, a da samo na Elektrotehničkom fakultetu imaju 3. Prostiranjem se dolazi do podatka od najmanje 550 kg smanjenja emisije CO<sub>2</sub> na godišnjem nivou i uštede od najmanje 3876 kWh, i to samo od učionica ovog fakulteta. Ne bi bilo teško doći do procjene na nacionalnom nivou jer sličnih učionica ima i u drugim obrazovnim institucijama i kompanijama.

Tabela II. Rezultati procjene emisije CO<sub>2</sub> uzrokovane radom računarske učionice [22]

Emisija CO <sub>2</sub> koju indirektno uzrokuje računarska učionica prije green rješenja	16 kg
Emisija CO <sub>2</sub> koju indirektno uzrokuje računarska učionica posle green rješenja	11,4 kg
Smanjenje emisije CO <sub>2</sub> primjenom green computing rješenja	4,6 kg

Ovim se pokazuje da je ušteda energije, a time i smanjenje troškova i doprinos smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, značajan i dobar je pokazatelj koliko se mnogo na lokalnom, globalnom i dugoročnom planu može učiniti uz sprovođenje vrlo malih aktivnosti.

## 4. ZAKLJUČAK

U radu je dat prikaz globalnog stanja životne sredine uzrokovane klimatskim promjenama koje su dijelom posljedica ekonomskog razvoja i emisije CO<sub>2</sub> u atmosferu koji pojačavaju efekat „staklene bašte“. Ovo stanje je dijelom izazvano i evidentnim razvojem ICT sektora koji može imati značajniju ulogu u smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, a time i negativnih efekata na globalnom nivou. Upravo razvoj green ICT rješenja i standarda, koji su dijelom prezentovani u ovom radu, omogućiće širu primjenu i lančani efekat pozitivnih uticaja na životnu okolinu i korišćenje ograničenih prirodnih resursa. Konačno, rad je zaokružen jednim ilustrativnim primjerom koji govori u prilog tezi da se sa neznatnim promjenama u upravljanju i korišćenju ICT infrastrukture u pravcu implementacije green ICT rješenja može neočekivano mnogo doprinijeti smanjenju troškova i emisije CO<sub>2</sub> na lokalnom i globalnom nivou.

Evidentni razvoj ICT sektora u pravcu novih i inovativnih IoT rješenja, primjena raznih pametnih (SMART) paradigmi u svakodnevnom životu i radu nesumljivo govori u prilog tezi da će ICT biti jedan od glavnih činilaca u borbi sa evidentnim klimatskim promjenama koje su posljedica razvoja ljudskog društva. Ekspanzija naučnih istraživanja i publikovanih rezultata iz ove oblasti govori o velikom interesovanju naučne javnosti u nalaženju novih rješenja koja se brzo implementiraju u savremenu industriju i prihvataju od svjetske populacije. Svijest o mogućnosti promjene, sveprisutnost ICT-a i doprinos svakog pojedinca na globalnom nivou će dati dodatni impuls razvoju green ICT-a i njegovoj primjeni u skorijoj budućnosti.

## LITERATURA

1. J. G.J. Olivier, G. Janssens-Maenhout, M. Muntean, J.A.H.W. Peters, „Trends in global CO2 emissions- 2016 report“, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 2016
1. N. Lukose, „A Review on Green ICT Solutions for CO2 Emissions“, International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): 2319-7064, Volume 5 Issue 4, pp 382-386, April 2016.
3. L. Neves, J. Krajewski and Smarter team “ GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future”, Global e-Sustainability Initiative and Boston Consulting Group, www.gesi.org, December 2012.
4. E. Gelenbe, Y. Caseau, “The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions.”, Magazine Ubiquity, Volume 2015, June 2015, doi10.1145/2755977 , ACM; New York, USA
5. A. Andrae, P. Corcoran, “Emerging trends in electricity consumption for consumer ICT”, NUI Galway, <https://aran.library.nuigalway.ie/xmlui/handle/10379/3563> , July 2013. “
6. M. Ambrust, A. Fox, et. al., „Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing“, Technical Report No. UCB/EECS-2009-28, University of California at Berkeley, USA, Feb. 10, 2009.
7. S.K. Garg, R Buyya, „Green cloud computing and environmental sustainability“, The Cloud Computing and Distributed Systems (CLOUDS) Laboratory, University of Melbourne, <http://www.cloudbus.org/papers/Cloud-EnvSustainability2011.pdf>, 2016.
8. R. Buyya, A. Beloglazov, J. Abawajy, “Energy-efficient management of data center resources for cloud computing: a vision, architectural elements, and open challenges”, arXiv preprint arXiv:1006.0308, 2010.
9. The Green Grid Consortium, <http://www.thegreengrid.org> (Accessed on Nov 01, 2016).
10. M. Zappater-Sancho, P. Arroba-Garcia, J. Moya-Fernandez, Z. Bankovic, “A State-of-the-Art on Energy Efficiency in Today’s Datacenters: Researcher’s Contribution and Practical Approaches”, Cepis upgrade, pp. 67-73, 2011.
11. I. Vuković, „Sistemi za napajanje i hlađenje green data centra“, 22. Konferencija IT2017, Zbornik radova str. 94 – 97, ISBN:978-86-85775-20-8, Februar 2017.
12. A. Penttinen, “Green Networking – A Literature Survey”, Aalto University, Department of Communications and Networking, <http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/meen/greennetworking.pdf>, 2012.
13. M. Virani, “Review on Green Networking Solutions”, IOSR Journal of Computer Engineering, e-ISSN: 2278-0661, p ISSN: 2278-8727, Volume 17, Issue 6, Ver. III, pp 15-21, 2015.
14. D. Coudert, A. Kodjo, T.K. Phan, “Robust energy-aware routing with redundancy elimination”, Computers & Operations Research, Research report Nov8457, ISSN- 02496399, 2014.
15. E.C. Beckmann, L.M. Jauco, and S.G. Koo, „Green networking: Developing sustainable computer networks. In Systems“, Man and Cybernetics (SMC), IEEE International Conference (pp. 3785 -3790). 2014.
16. T. M. Nam, N. H. Thanh, D. A. Tuan, „Green data center using centralized Power-management of network and Servers“, Electronics, Information, and Communications (ICEIC) 2016 IEEE International Conference, doi: 10.1109/ELINFOCOM.2016.7562926, 2016.
17. A. P. Bianzino, C. Chaudet, D. Rossi, and J. Rougier, “A survey of green networking research,” Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 14, no. 1, pp. 3–20, 2012.
18. C. Gunaratne, K. Christensen, and B. Nordman, “Managing energy consumption costs in desktop pcs and lan switches with proxying, split tcp connections, and scaling of link speed,” International Journal of Network Management , vol. 15, no. 5, pp. 297–310, 2005.
19. D. Feldman and R. Kleinerman, „Energy Efficient (Power over) Ethernet“, Ethernet Alliance, 2012, [http://www.ethernetalliance.org/wp-content/uploads/2011/10/document\\_files\\_Energy\\_Efficient\\_power\\_over\\_Ethernet1.pdf](http://www.ethernetalliance.org/wp-content/uploads/2011/10/document_files_Energy_Efficient_power_over_Ethernet1.pdf),
20. S. Nedeveschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, D. Wetherall, „Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-Adaptation“, 5th USENIX, Conf. Proc. Pp. 323-336, San Francisco 2008.
21. “Ten Ways to Reduce Your Computer’s Energy Need”, Intel Information Technology, <https://www.intel.com.tr/content/dam/doc/best-practices/intel-it-ten-ways-to-reduce-your-computers-energy-need-practices.pdf>, 2011
22. A. Miletić, A. Radulović, B. Krstajić, „Zelena računarska učionica“, 21. Konferencija IT2016, Zbornik radova str. 137 – 140, ISBN: 978-86-85775-18-5, Februar 2016.
23. B. Raghavan, J. Ma, “The Energy and Emergy of the Internet“ 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, Article No. 9, 2011., doi:10.1145/2070562.2070571, ACM, NY, USA
24. Vlada Crne Gore, „Energetski bilans Crne Gore za 2015. godinu“, www.gov.me.
25. The Engineering ToolBox, Combustion of Fuels - Carbon Dioxide Emission, [http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d\\_1085.html](http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html)

# HUMANOCENTRIČNO OSVJETLJENJE

- Novi put u standardima svjetlotehnike -

Igor Strugar  
Sienersys d.o.o.

**Kratak sadržaj:** Humanocentrično osvjetljenje temelji se na profesionalnom konceptu dizajna osvjetljenja, gdje sve komponente precizno odgovaraju zahtjevima koji čovjeku omogućavaju komfor i udobnost u svakodnevnom životu, povećavaju njegovu produktivnost u radu ne narušavajući njegov bioritam i hormonalnu sliku, tj. prirodni balans organizma uopšte. Cilj primjene humanocentričnog osvjetljenja je smanjenje negativnog uticaja vještačkog osvjetljenja na čovjeka, odnosno njegovo maksimalno i pravilno korišćenje i povećanje pozitivnih učinaka koje ono može da ima. HCL tehnologija (eng. Human Centric Lighting – humanocentrično osvjetljenje) uz upotrebu centralizovanih sistema kontrole vještačkog svjetla, ima za cilj približavanje funkciji i uticaju koje prirodno svjetlo ima na ljude. Do sada su dokazani brojni pozitivni učinci humanocentričnog osvjetljenja na čovjeka – njegovo zdravlje, komfor i udobnost, radne sposobnosti, učenje, procese rekoalescencije i sl.

**Ključne riječi:** Cirkadijanski dijagram, Kortizol, Melatonin, nivo osvjetljaja, retinalne ganglije, temperatura boje svjetla, White tuning (Izmjena temperature boje bijelog svjetla);

**Skraćenice:** HCL (Human Centric Lighting / Humanocentrično osvjetljenje), LED (Light emitting diode);

## 1. UVOD

Poznato je da se preko 87% informacija o spoljašnjem svijetu kod ljudi prima preko čula vida, a proces vidjenja počiva na svjetlu kao prirodnom fenomenu.

Da li projektovanjem osvjetljenja možemo uticati na zdravlje ljudi?

Tokom evolucije ljudi su razvijali svoj očni aparat, a samim tim i svoje ponašanje provodeći 90% svog "budnog" stanja u spoljašnjem, otvorenom prostoru, izloženi prirodnom svjetlu i njegovim prirodnim, cirkadijanskim promjenama.

Danas većina ljudi 80% svog "budnog" vremena provode u zatvorenim prostorima, izloženi vještačkom, električnom svjetlu. Kvalitet vještačkog svjetla i rješenje po kojem je implementirano direktno utiču na mnoge aspekte našeg ponašanja i zdravlja.

## 2. HCL – HUMANOCENTRIČNO OSVJETLJENJE

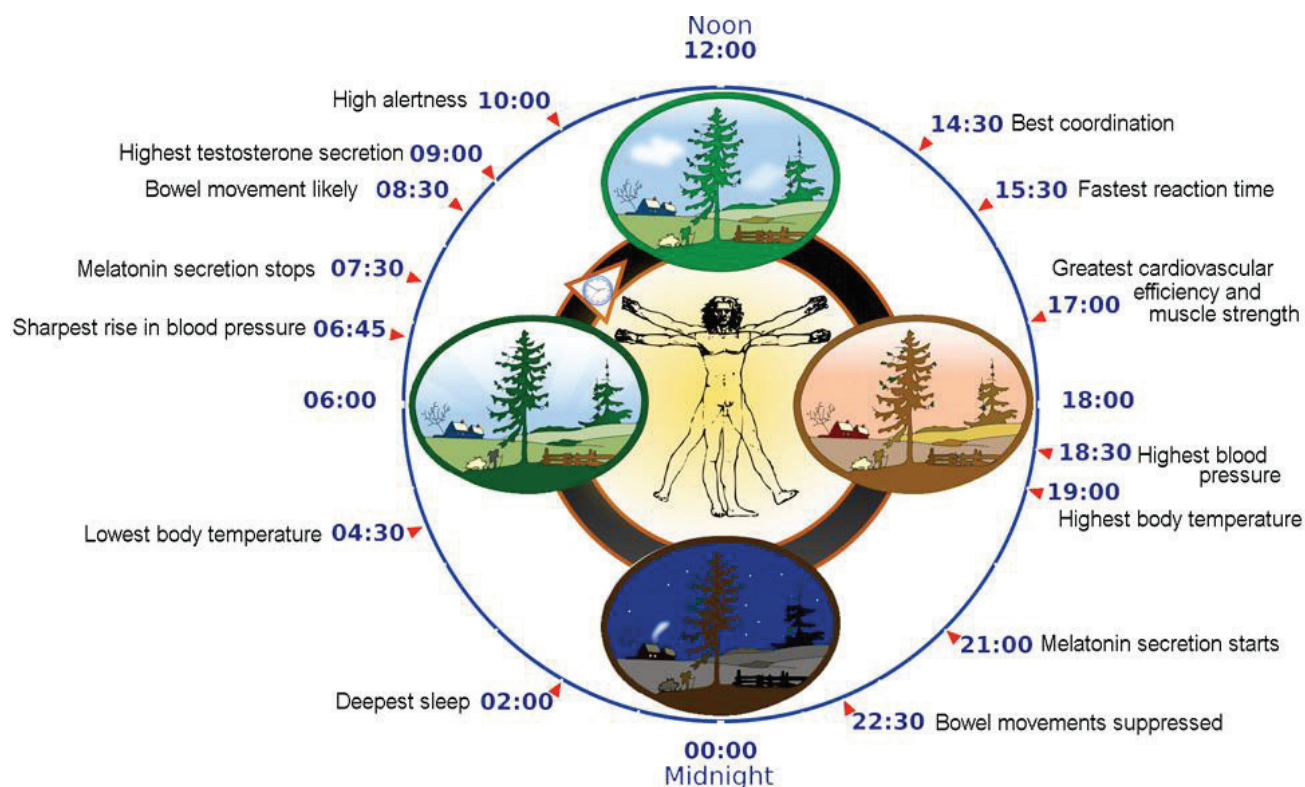
Važeći standardi koji se i danas primjenjuju u svjetlotehnici i na kojima se bazira svaki fotometrijski proračun, a samim tim i izbor odgovarajućih svjetlotehničkih rješenja (tipova svjetiljki, izvora svjetla, njihove jačine, pozicije i ostale fotometrijske karakteristike) bazirani su na medicinskim i fizičkim

karakteristikama očnog aparata, a koji su definisali da proces vidjenja počiva na dva poznata fotoreceptora – štapićima i čepićima.

Jedni su zaduženi za spoznaju oblika u uslovima sniženog osvjetljaja- noćno vidjenje, a drugi za dnevno vidjenje i spoznaju boja. Otkriće trećeg fotoreceptora, retinoganglija, 2001. godine i definisanje njegovog uticaja na nervni sistem, otvorilo je novi put u istraživanjima i definisanju uticaja fenomena svjetla na ljude kao i definisanju standarda i metoda za proračun, projektovanje a samim tim i primjenu vještackih izvora svjetla.

Svjetlo, kao fenomen, ima dvojaku prirodu, talasnu i čestičnu. Druga pojavna karakteristika svjetla, njena čestična priroda, definiše da je svjetlost skup energijskih čestica - kvanta koje nemaju masu, ali kretanjem dobijaju energiju i iste u opsegu talasnih dužina od 380 nm do 760 nm, odnosno opsegu vidljivog zračenja, zovemo fotonima. Upravo su oni zaslužni za prenošenje energije sunčevog zračenja na prostor u kome živimo i uopšte život na planeti.

Posljednja istraživanja definišu da količina fotona koja se apsorbira preko organa vida, preciznije posljednjeg otkrivenog fotoreceptora, direktno utiče na hormonalnu sliku ljudi, definišući naše sposobnosti da radimo, odmaramo i uopšte reguliše naš unutrašnji prirodni sat kroz cirkadijanski-dnevni ritam (Slika 1).



Slika 1: Cirkadijanski ciklus u čovjekovom organizmu tokom 24 časa [2]

Sunce na izlasku odnosno svjetlost koja se u tom periodu probija do nas kroz slojeve atmosfere zbog položaja planete u odnosu na sunčev izvor, ima manji intenzitet, te topliju temperaturu boje, sa većim prisustvom crvenog dijela spektra ( 1950-2750 Kelvina ). Sunce u zenitu čini da se intenzitet svjetla jako pojača, a talasne dužine fotona koji tada dolaze do nas su mnogo veće i pretežno pripadaju plavom dijelu spektra ( zbog toga je i doživljaj neba plav) sa značajno većim intenzitetom, a temperatura boje ide i do 10.000 Kelvina.

Kako dan odmiče, intenzitet sunčevog zračenja opada, a talasne dužine fotona koji dolaze do nas se lagano vraćaju na niže nivoe i opet ulaze u crveni dio spektra (Slika 2).



Slika 2: Periodična promjena temperature boje prirodnog svjetla u dnevnom ciklusu (24 h) [4]

Ono što nam omogućavaju treći fotoreceptori i na čemu se tokom evolucije baziralo formiranje našeg aparata za vidjenje, je da se ovaj fenomen cirkadijanske promjene odražava i na našu hormonsku sliku. Izjutra, nakon noćnog odmora, u našem organizmu preovladava hormon melatonin, zadužen za smirivanje organizma i njegovu regeneraciju tokom sna. Sa povećanjem intenziteta dnevnog svjetla i povećanjem plave komponente u njemu, u organizmu se luči hormon kortizol, direktno odgovoran za povećanje pozitivne agresivnosti, kognitivnih sposobnosti kod ljudi, mogućnosti da se brže i bolje prime i procesuiraju informacije, da se povećava sposobnost reakcije, budnost, oprez.

Ovakva hormonska slika nas čini spremnijim za rad, povećava naše performanse u svim oblastima rada i života.

Sljedeći period u cirkadijanskom ritmu jeste predvečerje, kada se opet intenzitet prirodnog, sunčevog zračenja smanjuje i kada plavi dio spektra prepušta prostor talasnim dužinama fotona koji čine crveni dio spektra. Lagano idemo u smiraj dana, sto naš organizam bilježi kroz smanjenje kortizola i respektivno povećanje hormona melatonina, koji je odgovoran za pripremu našeg organizma za odmor.

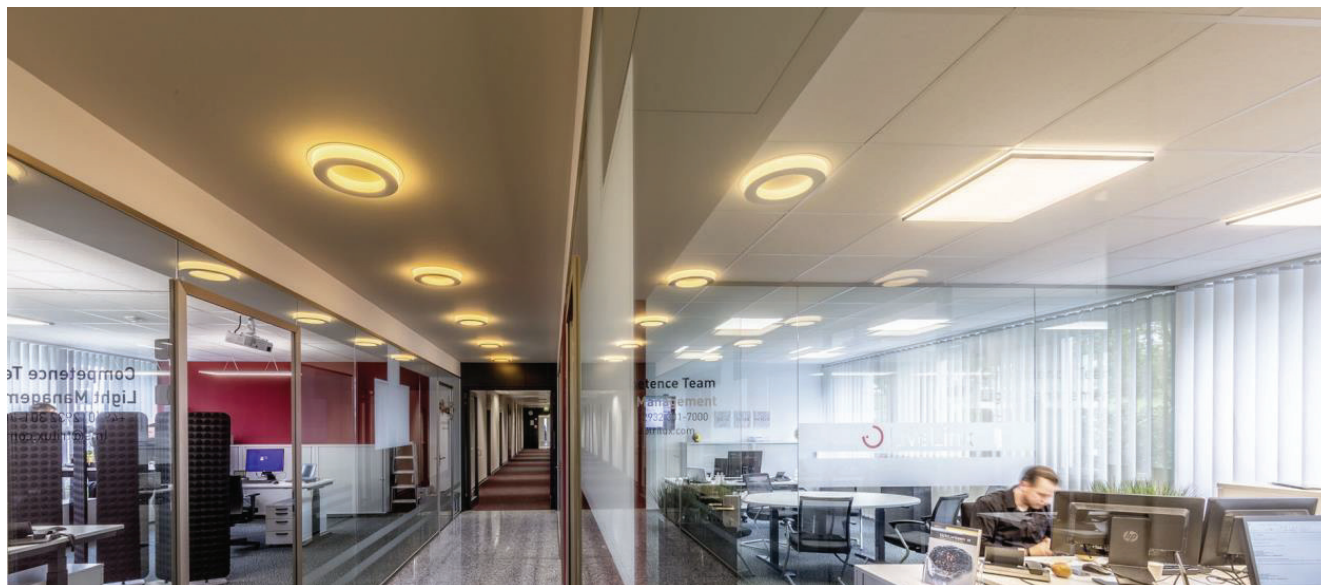
Ovo otkriće je direktno uticalo na oblast svjetlotehnike, a razvoj LED ( Light Emiting Diode – diode koja emituje svjetlost) kao novog izvora vještačkog svjetla, te razvoj centralizovanih sistema kontrole osvjetljenja kroz odgovarajuće CPU ( central processor unit ) i prateći hardver i softver tehnički je omogućio da se svjetlotehnički aparat – svjetiljke, projektuju i razvijaju tako da omoguće direktnu primjenu ovog otkrića u svakodnevnom životu i radu ljudi.

Razvoj LED tehnologije i pratećih centralizovanih sistema kontrole osvjetljenja čini mogućim da se u odredjenom vremenskom rasporedu, koji prati prirodan, cirkadijanski ritam, intenzitet svjetla i njegova boja ( temperature boje ) mijenjaju u skladu sa prirodnim izmjenama, što znači upotreba tzv. "tunable white " izvora ili izvora kojima je moguće mijenjati temperature boje od toplo bijele ( 2700 Kelvina) sa većim prisustvom crvenog dijela spektra do hladno bijele – dnevno bijele , (6500 Kelvina ili čak 10.000 Kelvina - preovladava plavi dio spektra). Na ovaj način vještačko svjetlo podržava prirodan cirkadijanski ritam, omogućavajući da se na taj način i ljudski organizam ponaša prirodno, dajući najbolje rezultate tada kada se od njega to očekuje, a priprema za odmor i sljedeći dan teče prirodno (Slika 3). Tada su rezultati na radnom mjestu i zdravlje u najboljoj korelaciji.

Upravo primjena ovakvih rješenja u svjetlotehnici čini osnovu humanocentričnog osvjetljenja poznatog još i kao biodinamičko osvjetljenje, a primjena ovakvih standarda u svjetlotehnici samo rješenje karakteriše kao HCL ( Human Centric Lighting ) svjetlotehničko rješenje.

Polje primjene je ogromno i pratilo ga je niz praktičnih istraživanja od uticaja ovakvih rješenja na oblast obrazovanja, naročito kod mlađih generacija, uticaja na oblast medicinskih tretmana i re-koalescencije, gerontologije, industrijske proizvodnje i uopšte osvjetljavanja na radnom mjestu.

Praćenje cirkadijanskog ritma kroz sisteme kontrole osvjjetljenja (kontrolisana izmjena temperature boje izvora svjetla i njenog intenziteta u toku dana ) čini da se rezultati na radnom mjestu povećavaju u značajnom procentu, da se zadovoljstvo zaposlenih povećava, a boravak zaposlenih u takvim preduzećima i kompanijama produžava, što čini ogroman benefit kako za zaposlene tako i za kompanije ( smanjenje troškova ponovne obuke kadrova i postizanja pune produktivnosti ), smanjuje se broj odsustovanja sa posla uslijed bolovanja i sl.



Slika 3: Osvjetljenje u radnim prostorima [6]

Istraživanja su ukazala da se rezultati u medicinskim tretmanima poboljšavaju i do 15%, a kod mlađih uzrasta sposobnost djece da prate nastavu i njihove performanse prilikom usvajanja znanja i savladavanja gradiva povećavaju u procentu do 33%.

Takodje je ustanovljeno da se ADHD-Attention Deficit Hyperactivity Disorder ( poremećaj nedostatka pažnje usljed hiperaktivnosti ) kod djece manjeg uzrasta eliminiše i do 15%.

Primjena adekvatnih HCL rješenja mogu pomoći u različitim medicinskim tretmanima npr. liječenju starijih osoba, rekovalescencije srčanih bolesnika, tretmanu "jet leg" poremećaja nakon dugih interkontinentalnih letova.

Benefiti su ogromni, jer se smanjuje potreba angažovanja dodatnih medicinskih kadrova i tretmana za liječenje ovih poremećaja, a ljudi nakon ptretrpljenih problema brže vraćaju svakodnevnim radnim i privatnim poslovima tj. kvalitet života pojedinca i društva raste. Ustanovljeno je da rekovalescenti u ustanovama za rehabilitaciju i do 75% vise vremena provode sopstvenim, podsvjesnim izborom u prostorima gdje je primjenjeno HCL rješenje.

Ono što je potpuna novost je da se ustanovilo da značajno povećanje svjetlosnog fluksa, odnosno intenziteta vještačkih izvora direktno utiče na ove rezultate, tako da se za sada doslo do podataka da se na radnim mjestima najbolji rezultati postižu sa osvjetljajem koji dostize vrijednosti od 700 do 2000 lx.

Primjena ovakvog rješenja u jednoj industrijskoj proizvodnoj liniji sa 750 radnika dovela je do povećanja od 4,5% u proizvodnji na godišnjem nivou i nekoliko procenata umanjila rizik od povredjivanja na radnom mjestu. Takodje kontrolisana primjena svjetla u proizvodnji sa noćnom smjenom je u potpunosti eliminisala proizvodnju škarta.

Još su izraženiji primjeri u preduzećima sa kancelarijskim obavljanjem aktivnosti gdje se na uzorku od 200 zaposlenih produktivnost na godišnjem nivou povećala 85% primjenom HCL rješenja.

Važeci standardi za projektovanje osvjjetljenja radnih mjesta ( EN 12 464-1 " Lighting of work places") su se kretali u opsegu od 300-1000 lx zavisno od vrste aktivnosti koja se sprovodi na tom radnom mjestu.

### 3. ZAKLJUČAK

Fokus humanocentričnog osvjetljenja je čovjek i njegovo zdravlje. Humanocentrično osvjetljenje iskazuje pozitivan uticaj vještačkog osvjetljenja na čovjeka, njegovo blagostanje, dobro raspoloženje, produktivnost, percepciju, sposobnosti, cirkadijanski ritam (24-časovni biološki sat koji reguliše prirodne procese organizma svakog čovjeka) a samim tim i na zdravlje (Slika 4).

Benefiti HCL-a se mogu podijeliti u tri grupe:

Pozitivan uticaj na zdravlje,

Pozitivan uticaj na radne sposobnosti i

Pozitivan uticaj na učenje;



Slika 4: Pozitivni efekti HCL-a na čovjeka [11]

Istraživanje i primjena HCL rješenja u potpunosti će promijeniti način projektovanja unutrašnjeg osvjetljenja i zahtijevati izmjenu standarda i normi koji su trenutno na snazi.

Možemo reći da su istraživanja u ovoj oblasti sve intenzivnija i očekuje se da u EU do 2020. godine u maksimalnoj penetraciji tržišta, benefiti u svim oblastima života koje direktno zavise od primjene HCL rješenja dostignu iznos od 12,5 milijardi eura [12]. Ekonomska podloga ovakve ideje govori o tome da će cjelokupna industrija svjetlotehnike vrlo brzo napraviti oštar zaokret ka ovoj ruti. Standardi i projektovanje će morati da prate ovu realnost.

Način projektovanja osvjetljenja koji ljude stavlja u težište interesovanja – humanocentrično osvjetljenje, biće osnova svakog budućeg svjetlotehničkog rješenja.



## LITERATURA

1. Various authors paper works, SmartLighting conference, Hamburg, 2017.  
Preuzeto sa:  
<http://smart-lighting.es/human-centric-lighting-cuando-el-ser-humano-esta-en-el-centro-de-la-luz/>
2. 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.  
Preuzeto sa: <http://www.lighten.dk/human-centric-lighting-20/>
3. West P, Clanton N, & Protzman J., Dial in the spectrum: exploring tunable white lighting for a 911 call center, 2016.  
Preuzeto sa: <https://www.trilux.com/en/>
4. California Energy Commission. Windows and offices: A study of worker performance and the indoor environment. Prepared by Heschong Mahone Group Inc., 2003.
5. Tanner K. Effects of school design on student outcomes. *Journal of Educational Administration*., 2009. Vol: 47(3);
6. Joarder A & Price A., Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospital after coronary artery bypass graft surgery. *Lighting Research and Technology*. 2013., Vol: 45.
7. Jones C & Gordon K., Efficient lighting design and office worker productivity. Pacific Northwest National Laboratory, 2004.  
Preuzeto sa:  
<https://www.tedmag.com/News/features/A-Look-at-Human-Centric-Lighting--Part-1.aspx> ;
8. AT Kearney, "Quantified benefits of human centric lighting.", *Lighting Europe*, 2015.

# OSVETLJENJE TUNELA ULAZNI PARAMETRI I KRITERIJUMI KVALITETA

Ana Drndarević  
Minel-Schröder

**Kratak sadržaj:** Bezbedno odvijanje saobraćaja u tunelu zahteva kvalitetno osvetljenje koje će obezbediti kontinuitet u vidnim performansama vozača i ublažiti probleme vizuelne adaptacije sa kojom je vozač suočen prilikom ulaska u tunel u dnevnim uslovima vožnje.

U radu su opisani ulazni parametri neophodni za izradu projekta osvetljenja tunela i izdvojeni kriterijumi kvaliteta i zahtevi koje je potrebno ispuniti. Prezentovane su razlike u zahtevanim vrednostima merodavnih fotometrijskih parametara definisanih važećim preporukama.

Primena svetiljki sa LED tehnologijom i savremenih sistema za nadzor i upravljanje je u proteklih nekoliko godina postala standard u ovoj oblasti. U radu je dat osvrt na neke od brojnih prednosti primene novih tehnologija u osvetljenju tunela.

**Ključne reči:** brzina vožnje, dužina zaustavnog puta, karakteristične zone tunela, sjajnost, sistem osvetljenja, ujednačenost.

## 1. UVOD

Na zahteve za osvetljenje tunela utiče nekoliko kritičnih faktora koji određuju vidljivost. Oni su promenljivi i obuhvataju karakteristike vozača, fizičke uslove puta, obradu zidova unutar tunela, okruženje tunela, smer vožnje, dužinu tunela, atmosferske uslove, gustinu saobraćaja, brzinu vožnje, tip vozila u tranzitu.

Zadatak osvetljenja je da obezbedi uslove vidnog komfora koji su neophodni za bezbedno odvijanje saobraćaja. Pri tome je noćno osvetljenje uobičajeno, slično osvetljenju saobraćajnica, dok osvetljenje tunela u dnevnim uslovima zahteva poseban tretman, sa veoma visokim fotometrijskim zahtevima. Precizno postavljeni i korektno realizovani, ovi zahtevi treba da obezbede da opadanje vizuelnih performansi vozača koji ulazi u tunel i putuje kroz njega bude u granicama prihvatljivog.

## 2. ULAZNI PARAMETRI

Prilikom izrade rešenja osvetljenja tunela najpre je potrebno definisati sve neophodne ulazne parametre, pri čemu je važno napomenuti da promena samo jednog od ulaznih parametara bitno utiče na rešenje i praktično znači izradu novog projekta.

## 2.1. Brzina vožnje i dužina zaustavnog puta

Projektovana brzina vožnje utiče na određivanje niza fotometrijskih parametara i zahteva koje je potrebno ispuniti. Kako je vreme potrebno za adaptaciju očiju vozača direktno srazmerno sa pređenim putem, odnosno brzinom vožnje, jasno je da pri većim brzinama mogu da nastanu potencijalno opasne situacije. Iz tih razloga su fotometrijski zahtevi za osvetljenje tunela pri većim brzinama vožnje dosta stroži.

Na osnovu propisane brzine vožnje određuje se dužina zaustavnog puta, kao minimalno rastojanje na kome vozač može da bezbedno zaustavi vozilo. Dužina zaustavnog puta potrebnog za bezbedno kočenje i zaustavljanje vozila se izračunava prema formuli 1.

$$SD = u * t_o + \frac{u^2}{2 * g * (f \pm s)} \quad (1)$$

gde je:

$u$  – brzina vožnje u m/s

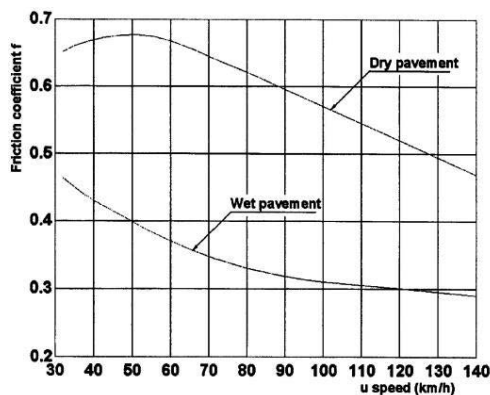
$t_o$  – vreme reagovanja, uzima se da je 1 sekunda

$g$  – gravitaciono ubrzanje

$f$  – koeficijent trenja između točkova i podloge (merodavan je podatak za mokar kolovoz)

$s$  – nagib puta (+ za uzbrdicu, - za nizbrdicu)

Koeficijent trenja u funkciji projektovane brzine se može očitati sa dijagrama na slici 1, pri čemu se uzima nepovoljnija vrednost koja odgovara krivoj za mokar kolovoz (Wet pavement).



Slika 1. Koeficijent trenja u funkciji brzine vožnje

Nagib puta utiče na dužinu zaustavnog puta. Ukoliko je ispred tunela nizbrdica potrebno je duže vreme, odnosno pređeni put, za bezbedno zaustavljanje vozila. U tabeli 1 prikazane su izračunate dužine zaustavnog puta za neke karakteristične brzine vožnje i nagibe puta.

Tabela 1: Dužina zaustavnog puta u funkciji brzine vožnje i nagiba puta

Brzina / nagib puta	60 km/h	80 km/h	100 km/h	120 km/h
5%	51m	89m	137m	195m
3%	52m	92m	144m	205m
1%	54m	97m	151m	216m
0%	55m	99m	155m	222m
-1%	56m	101m	159m	229m
-3%	58m	106m	169m	243m
-5%	61m	112m	180m	260m

## 2.2. Orijentacija tunelskih cevi i smer vožnje

Smer vožnje utiče na određivanje sjajnosti prilazne zone (L20) i sjajnosti koju je potrebno obezbediti na samom ulazu u tunel (sjajnost zone praga Lth). Određuje se na osnovu građevinske podloge (situacije) i orijentacije tunela u odnosu na strane sveta.

## 2.3. Protok saobraćaja

Za izradu projekta osvetljenja tunela i određivanje zahtevanih fotometrijskih parametara, potrebno je pribaviti podatak ili odrediti protok saobraćaja iskazan kao broj vozila po voznoj traci u vršnom satu.

Podatak o protoku saobraćaja u vršnom satu nije uvek dostupan i poznat. U slučaju da ovaj podatak nije dostupan, koristi se podatak o prosečnom dnevnom protoku saobraćaja (ADT – Average Daily Traffic) koji je najčešće korišćen koncept u planiranju saobraćaja. Na osnovu podatka o ADT, broj vozila u vršnom satu se određuje kao 10% ADT u ruralnim područjima ili 12% ADT u gradskim područjima. Za puteve bez razdvojenih kolovoza, broj vozila po vršnom satu i po voznoj traci se može izračunati deljenjem protoka u vršnom satu sa ukupnim brojem saobraćajnih traka. Ukoliko je za autoput ADT izražen za oba smera vožnje i ukoliko nije poznata raspodela po smeru, onda se može pretpostaviti odnos 1:2. Zatim će se veći promet podeliti sa brojem traka ovog kolovoza [1].

## 2.4. Geometrija tunelskih cevi i podaci o refleksionim svojstvima kolovoza i zidova

Podaci o geometriji tunelske cevi su definisani na građevinskim i saobraćajnim podlogama, a za izradu projekta osvetljenja tunela merodavni su sledeći parametri:

- Broj i širina vozničkih traka;
- Udaljenje ivice kolovoza od levog i desnog zida (računa se od ivice vozne trake do zida);
- Visina tunelske cevi i moguće pozicije za postavljanje svetiljki;
- Pozicije i dimenzije zaustavnih niša i poprečnih prolaza;
- Završna obrada zidova tunela i podatak da li su farbani (za tunelske cevi u kojima je predviđeno da se zidovi farbaju u belu boju uobičajeno se uzima da je refleksioni koeficijent površine zida sa uvaženim zaprljanjem zidova između 55% - 60%);
- Završna obrada kolovozne površine i refleksiona klasa kolovoza. Kako su podaci o realnim refleksionim karakteristikama kolovoza u praksi retko dostupni, za projekat osvetljenja može biti merodavna neka od teoretskih refleksionih klasa R1 do R4 definisana od strane Međunarodne komisije za osvetljenje CIE. U tabeli 2 opisno je dat sastav površinskog sloja kolovoza prema kome se može odrediti teoretska refleksiona klasa koja će najpribližnije odgovarati kolovoznom pokrivaču unutar tunela.

Tabela 2: Opis sastava površinskog sloja kolovoza teoretskih refleksionih klasa R1 do R4

Klasa	Opis	Qo	Tip refleksije
R1	Asfaltni putni pokrivač sa najmanje 15% veštačkog materijala za povećanje sjajnosti (Grenette, Lyxovite, Synopal i sl.) ili najmanje 30% jako svetlih anortozita (arcilit, labradorit i sl.). Pokrivači sa kamenom sitneži koja pokriva više od 80% površine kolovoza, pri čemu je kamena sitnež sastavljena od materijala za povećanje sjajnosti ili od 100% veoma sitnih anortozita. Betonska površina.	0,10	Difuzna
R2	Pokrivači sa hrapavom teksturom i normalnim agregatima. Asfaltni pokrivači sa 10 do 15% veštačkog materijala za povećanje sjajnosti. Grub i hrapav asfaltni beton bogat šljunkom (>60%), sa zrnima veličine do ili iznad 10mm. Liveni asfalt neposredno po izvođenju.	0,07	Približno difuzna
R3	Asfaltni beton u hladnom stanju (liveni asfalt) sa šljunkom granulacije do 10mm, ali sa hrapavom teksturom. Pokrivač sa grubom teksturom ali uglačanom.	0,07	Slabo usmerena
R4	Liveni asfalt posle više meseci korišćenja, Pokrivači sa prilično glatkom ili uglačanom teksturom.	0,08	Usmerena

### 3. PREPORUKE IZ OBLASTI TUNELSKOG OSVETLJENJA

Pri projektovanju osvetljenja tunela najčešće se koriste tehnički izveštaj Evropske komisije za osvetljenje CEN CR 1438 [1] i preporuka Međunarodne komisije za osvetljenje CIE 88 [2]. Pored opštih smernica navedenih u tehničkom izveštaju CEN CR 14380, u aneksima ovog izveštaja su prikazane različite metodologije za određivanje vrednosti ulaznih parametara i zahtevi koje je potrebno ispuniti.

Za razliku od osvetljenja saobraćajnica (gde se u većini Evropskih zemalja primenjuje usaglašeni standard), u oblasti tunelskog osvetljenja zastupljeni su različiti pristupi i kriterijumi koje je potrebno ispuniti, tako da se neke od Evropskih zemalja oslanjaju na sopstvene preporuke i standarde za osvetljenje tunela.

Zahtevi za evakuaciono osvetljenje u slučaju opasnosti i osvetljenje površina kao što su zaustavne niše i poprečni prolazi između tunelskih cevi su definisani u preporuci Međunarodne komisije za osvetljenje CIE 193 [3] i u Evropskom standardu EN 16276 [5]. Metodologija proračuna merodavnih parametara je detaljno opisana u preporuci CIE 189 [4].

### 4. OSVETLJENJE U DNEVNIM USLOVIMA, KARAKTERISTIČNE ZONE TUNELA

Prilikom približavanja ulazu u tunel vozač je tokom dana suočen sa problemom vizuelne adaptacije. Potreban je određeni vremenski interval kako bi se oči vozača prilagodile na naglu promenu sa visokih nivoa dnevnog osvetljenja izvan tunela na nizak nivo unutar tunela (vremenska adaptacija). Drugi problem sa kojim se vozač suočava je problem prostorne adaptacije. Ispred tunelskog portala vidno polje vozača je relativno široko i odgovara konusu od 20°. Kada se vozač približi ulazu u tunel njegovo vidno polje se privremeno sužava i odgovara otvoru tunelskog portala koji je oko 2°.

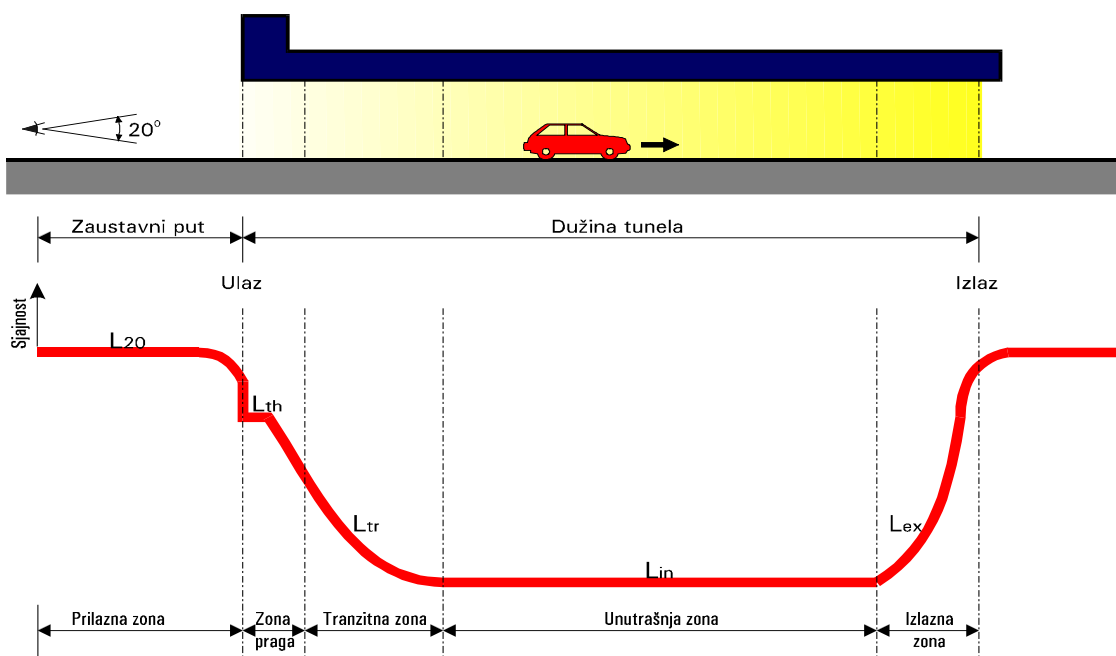
Kada se vozač približava neosvetljenom ili loše osvetljenom tunelu, javlja se fenomen crne rupe koji se ogleda u nemogućnosti vozača da u kratkom vremenskom intervalu i sa rastojanja bliskog zaustavnom putu vidi unutrašnjost tunela.



Slika 2. Efekat crne rupe u loše osvetljenom tunelu

U cilju smanjenja ovog efekta, potrebno je da ulazna zona tunela bude u dovoljnoj dužini adekvatno osvetljena. Iz ekonomskih razloga, nivo sjajnosti se, poštujući određene zakonitosti, postepeno smanjuje od ulaza do unutrašnjosti tunela.

U tunelu se, zbog različitih vidnih zahteva u pojedinim njegovim delovima, definišu karakteristične zone kojima se pridružuje i deo saobraćajnice neposredno ispred ulaza u tunel. Na slici 3 je prikazan uzdužni presek tunela za jednosmerni saobraćaj sa karakterističnim zonama merodavnim za osvetljenje tunela: prilazna zona, zona adaptacije (koju čine zona praga i tranzitna zona), unutrašnja i izlazna zona.



Slika 3. Uzdužni presek i karakteristične zone tunela za jednosmerni saobraćaj

## 4.1. Prilazna zona

Prilazna zona je deo saobraćajnice neposredno ispred ulaza u tunel čiji je početak udaljen od ulaza u tunel za dužinu zaustavnog puta. Sjajnost prilazne zone se najčešće određuje primenom metode  $L_{20}$  i izračunava primenom empirijske formule:

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_r + \varepsilon L_e \quad (2)$$

u kojoj su  $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$  redom udeli neba, kolovoza i okruženja u vidnom polju vozača izraženi u procentima, a  $L_c$ ,  $L_r$ ,  $L_e$  njihove sjajnosti u funkciji smera vožnje (vrednosti koje odgovaraju najnepovoljnijim uslovima sunčanog dana). U tabeli 3 su date referentne vrednosti koje se najčešće koriste, uz napomenu da je potrebno uvažiti i lokalne uslove.

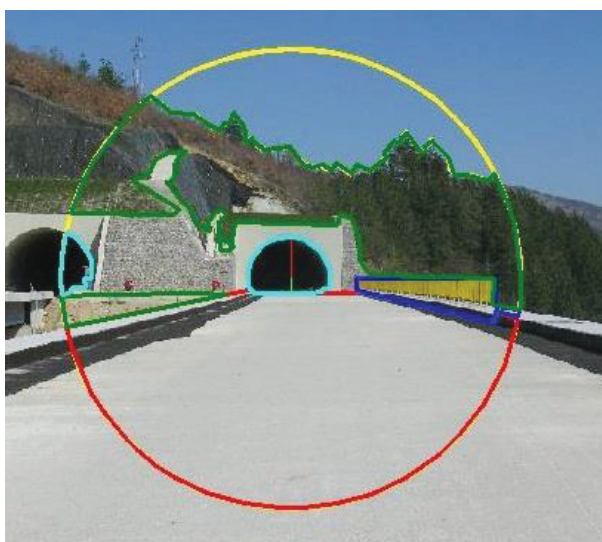
Tabela 3: Tipične vrednosti sjajnosti za određivanje  $L_{20}$

Smer vožnje (severna hemisfera)	$L_c$ (nebo) kcd/m <sup>2</sup>	$L_r$ (put) kcd/m <sup>2</sup>	$L_e$ (okruženje) kcd/m <sup>2</sup>			
			Stene	Objekti	Sneg	Vegetacija
N (sever)	8	3	3	8	15 (V) 15 (H)	2
E-W (istok, zapad)	12	4	2	6	10 (V) 15 (H)	2
S (jug)	16	5	1	4	5 (V) 15 (H)	2

**(V) se odnosi na planinsko okruženje sa vertikalnim površinama, a (H) na ravne površine**

Procentualni udeli u vidnom polju vozača se mogu odrediti na osnovu fotografije tunelskog portala snimljene sa pozicije očiju vozača i udaljenosti koja odgovara dužini zaustavnog puta.

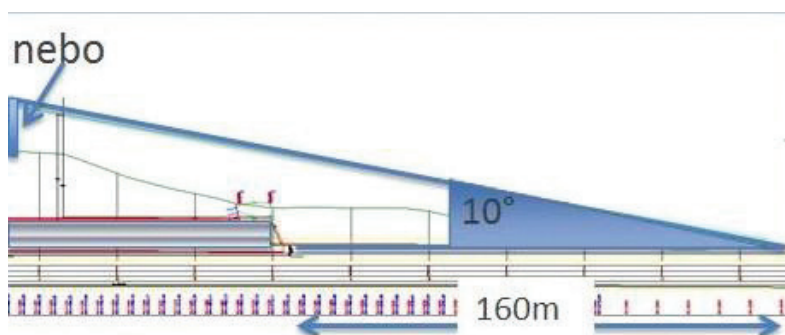
Na slici 4 prikazan je primer određivanja procentualnih udela okruženja za tunel visine 7m sa ograničenjem brzine vožnje 100km/h. Poluprečnik kruga, čiji je centar na  $\frac{1}{4}$  visine tunelskog otvora, određen je u funkciji zaustavnog puta  $SD$  ( $r=SD \cdot \text{tg}10^\circ$ ). Izračunati udeli okruženja u ovom primeru su: nebo 14,5%; kolovoz 42,6%; vegetacija 25,9%; stene 11,4%; ograda 2,5%; otvor tunela 3,1% .



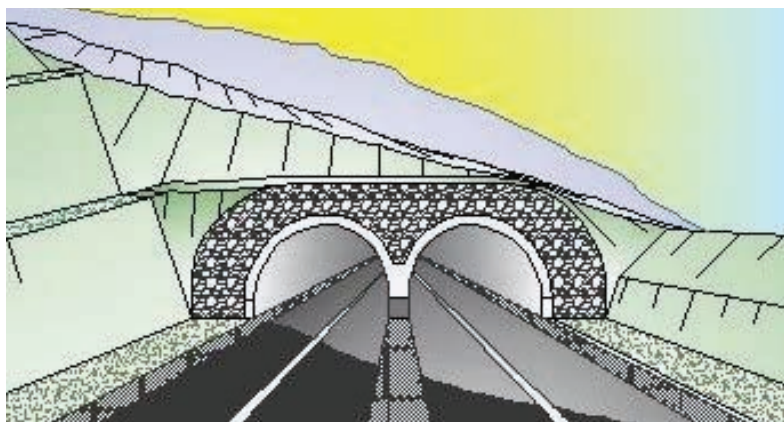
Slika 4. Primer određivanja procentualnih udela okruženja

U slučajevima kada se radi o novim tunelskim cevima koje su u fazi projekta, gruba procena udele okruženja može se izvršiti na osnovu podužnog preseka tunelske cevi. Najpre se proveriti da li sa dužine zaustavnog puta može biti neba u vidnom polju vozača (kao u primeru na slici 5) i proceni udeo neba. Iz iskustva je poznato da se zavisno od brzine vožnje, širine kolovoza i konfiguracije terena, procentualni udeo kolovoza uobičajeno kreće od oko 25% - 30% (za tunele sa ograničenjem brzine vožnje 60km/h) do oko 40% - 45% (za tunele sa ograničenjem brzine 100km/h). Takođe je poželjno da se na osnovu konfiguracije terena izradi perspektivni crtež tunelskog portala sa dužine zaustavnog puta (kao što je prikazano na slici 6), na osnovu koga se mogu detaljnije odrediti udeli okruženja u vidnom polju vozača.

Na slici 5 prikazana je grafička procena udela neba za tunel sa ograničenjem brzine vožnje 100km/h sa dužine zaustavnog puta 160m.



Slika 5. Podužni presek tunelske cevi



Slika 6. Perspektivni crtež tunelskih portala

Nivo sjajnosti prilazne zone se stalno menja u zavisnosti od dela dana, godišnjeg doba i meteoroloških prilika. U zavisnosti od izmerenog nivoa sjajnosti prilazne zone  $L_{20}$  vrši se podešavanje nivoa sjajnosti unutar zone adaptacije.

## 4.2. Zona adaptacije

Zonu adaptacije čine zona praga i tranzitna zona. Duž ove zone vrši se vremenska i prostorna adaptacija očiju vozača do nivoa sjajnosti unutrašnje zone. Ukupna dužina zone adaptacije zavisi od brzine vožnje (odnosno dužine zaustavnog puta), izmerene sjajnosti prilazne zone i nivoa sjajnosti unutrašnje zone tunela.

**Zona praga** je ulazni deo tunela u kome je neophodno ostvariti dovoljno visok nivo sjajnosti koji će vozaču omogućiti da uoči eventualne prepreke u tunelu. Dužina zone praga jednaka je dužini zaustavnog puta pri projektovanoj brzini. U prvoj polovini zone praga, sjajnost je konstantna (sjajnost zone praga  $L_{th}$ ) i linearno srazmerna sa nivoom sjajnosti prilazne zone  $L_{20}$



$$L_{th} = k * L_{20} \quad (3)$$

gde je koeficijent k definisan u funkciji brzine, odnosno dužine zaustavnog puta. U drugoj polovini zone praga sjajnost postepeno opada do vrednosti 40% sjajnosti zone praga Lth.

Na osnovu preporuke CIE 88 i Aneksa 1 CEN TR 14380 koeficijent k se određuje u funkciji ograničenja brzine vožnje.

Tabela 4: Vrednost koeficijenta k prema CIE 88 i CEN TR 14380, Aneks 1

Brzina vožnje (km/h)	k=Lth/L20
≤ 60	0.05
80	0.06
120	0.1

Za slučaj da je ograničenje brzine između navedenih vrednosti, primenjuje se metoda linearne interpolacije, tako da je u slučaju autoputnih tunela sa ograničenjem brzine 100km/h, vrednost koeficijenta k=0.08.

Ukoliko se primenjuje Aneks 2 tehničke preporuke CEN TR 14380, pored ograničenja brzine, odnosno dužine zaustavnog puta, razmatra se i protok saobraćaja. Na osnovu protoka saobraćaja vrši se izbor klase tunela prema tabelama 5 i 6, a potom i vrednost koeficijenta k u funkciji dužine zaustavnog puta i klase tunela, prema tabeli 7.

Tabela 5: Protok saobraćaja – vršni sat broj vozila po voznoj traci

Protok saobraćaja	Jednosmerni saobraćaj	Dvosmerni saobraćaj
Visok	> 1500	> 400
Srednji	500 - 1500	100 - 400
Nizak	< 500	< 100

Tabela 6: Izbor klase tunela (A – samo motorni saobraćaj, M – mešoviti saobraćaj)

Protok saobraćaja	Visok		Srednji		Nizak	
Tip saobraćaja	M	A	M	A	M	A
Klasa tunela	4	3	3	2	2	1

Tabela 7: Koeficijent k u funkciji klase tunela i dužine zaustavnog puta

Zaustavni put SD (m)	60	100	160
<b>Klasa tunela</b>			
4	0.05	0.06	0.10
3	0.04	0.05	0.07
2	0.03	0.04	0.05
1	bez zahteva (orjentaciono osvetljenje)		

Za izvedene autoputne tunele u našem regionu, na kojima je ograničenje brzine 100km/h, zahtevani ulazni parametri su projektovani u skladu sa metodologijom Aneksa 2 CEN TR 14380 (tuneli na koridoru Vc u Bosni i Hercegovini i autoputni tuneli na Koridoru 10 i 11 u Srbiji), pri čemu je usvojen stroži uslov za minimalan odnos podužne ujednačenosti sjajnosti od 60%. Primenjene su svetiljke sa LED izvorima svetlosti, a uslovi eksploatacije su pokazali da su obezbeđeni dobri uslovi vidljivosti kako u zoni adaptacije, tako i u unutrašnjoj zoni.

### 4.3. Tranzitna zona

Tranzitna zona se nadovezuje na zonu praga. U ovoj zoni se nastavlja proces opadanja nivoa sjajnosti od nivoa sjajnosti na kraju zone praga do nivoa sjajnosti unutrašnje zone pomnoženog određenim koeficijentom (u zavisnosti od primenjene preporuke). Praksa je pokazala da je za proces vizuelne adaptacije poželjno da ovaj koeficijent ne bude veći od dva, kako je definisano preporukom Međunarodne komisije za osvetljenje CIE 88.

### 4.4. Unutrašnja zona

Unutrašnja zona je deo tunela u kome je vid vozača adaptiran na najniži dozvoljeni konstantni nivo sjajnosti u tunelu. Nivo sjajnosti u unutrašnjoj zoni zavisi od dužine zaustavnog puta i gustine saobraćaja. U zavisnosti od primenjene preporuke, zahtevane vrednosti sjajnosti unutrašnje zone se značajno razlikuju. Prema preporuci Međunarodne komisije za osvetljenje CIE 88 vrednosti sjajnosti su izražene i u funkciji dužine tunela. Vrednosti sjajnosti koje je potrebno obezbediti u prvoj unutrašnjoj zoni veoma dugog tunela ili duž čitavog tunela (u zavisnosti od dužine tunela) date su u tabeli 8. Dužina prve unutrašnje zone odgovara dužini koja se od kraja tranzitne zone pređe u intervalu od 30 sekundi.

Tabela 8: Sjajnost unutrašnje zone dugih tunela prema CIE 88

Zaustavni put (m)	DUGI TUNELI Protok saobraćaja	
	Nizak	Visok
160m	6cd/m <sup>2</sup>	10cd/m <sup>2</sup>
60m	3cd/m <sup>2</sup>	6cd/m <sup>2</sup>

Uvažavajući činjenicu da je nakon 30 sekundi vožnje duž prve unutrašnje zone izvršena potpuna adaptacija očiju vozača, preporuka CIE 88 definiše niže zahtevane vrednosti sjajnosti u drugoj unutrašnjoj zoni veoma dugih tunela.

Tabela 9: Sjajnost druge unutrašnje zone veoma dugih tunela prema CIE 88

Zaustavni put (m)	VEOMA DUGI TUNELI Protok saobraćaja	
	Nizak	Visok
160m	2.5cd/m <sup>2</sup>	4.5cd/m <sup>2</sup>
60m	1cd/m <sup>2</sup>	2cd/m <sup>2</sup>

Tehnička preporuka Evropske komisije za osvetljenje CEN TR 14380 definiše jedinstvene vrednosti sjajnosti unutrašnje zone, nezavisno od dužine tunela. U tabelama 10 i 11 prikazani su zahtevi prema Aneksu 1 i Aneksu 2 ove preporuke.

Tabela 10: Sjajnost unutrašnje zone prema CEN TR 14380 – Aneks 1

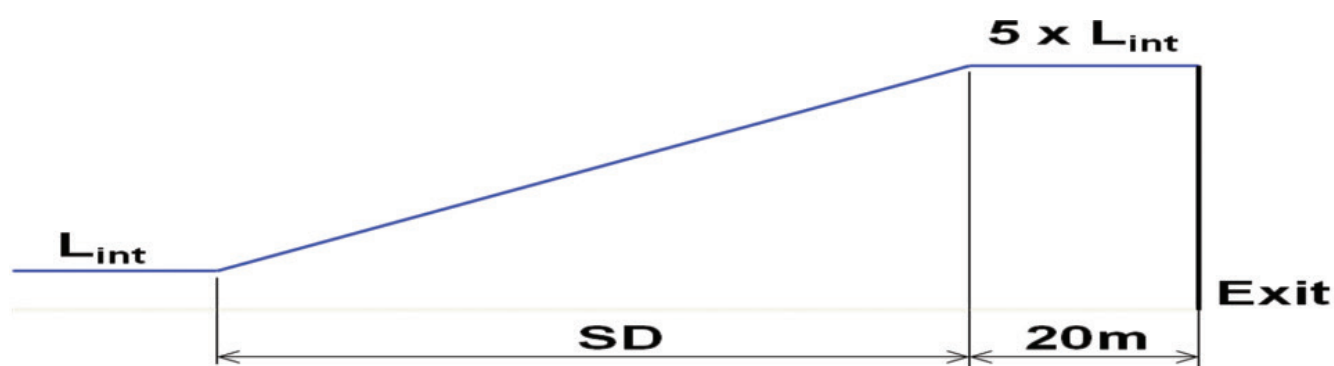
Zaustavni put (m)	Protok saobraćaja		
	Nizak	Srednji	Visok
160m	5cd/m <sup>2</sup>	10cd/m <sup>2</sup>	15cd/m <sup>2</sup>
100m	2cd/m <sup>2</sup>	4cd/m <sup>2</sup>	6cd/m <sup>2</sup>
60m	1cd/m <sup>2</sup>	2cd/m <sup>2</sup>	3cd/m <sup>2</sup>

Tabela 11: Sjajnost unutrašnje zone prema CEN TR 14380 – Aneks 2

Zaustavni put / klasa tunela	60m	100m	160m
4	3cd/m <sup>2</sup>	6cd/m <sup>2</sup>	10cd/m <sup>2</sup>
3	2cd/m <sup>2</sup>	4cd/m <sup>2</sup>	6cd/m <sup>2</sup>
2	1.5cd/m <sup>2</sup>	2cd/m <sup>2</sup>	4cd/m <sup>2</sup>
1	NZ	0.5cd/m <sup>2</sup>	1.5cd/m <sup>2</sup>

## 4.5. Izlazna zona

U izlaznoj zoni tunela adaptacija očiju vozača u dnevnim uslovima se vrši sa nižih nivoa sjajnosti unutrašnje zone na više nivoe sjajnosti izvan tunela. Vreme potrebno za vidnu adaptaciju pri prelasku sa nižih na više nivoe sjajnosti je kratko i obično ne zahteva dodatno povećanje nivoa sjajnosti u izlaznoj zoni. U situacijama kada se očekuju dodatne opasnosti u blizini izlaza iz tunela ili kod veoma dugih tunela, potrebno je da se nivo sjajnosti linearno povećava u dužini koja odgovara dužini zaustavnog puta, tako da se u poslednjih 20m obezbedi pet puta veći nivo sjajnosti od sjajnosti unutrašnje zone.



Slika 7. Šematski prikaz povećanja nivoa sjajnosti u izlaznoj zoni

## 5. OSTALI FOTOMETRIJSKI ZAHTEVI

Jedan od važnih faktora kvaliteta osvetljenja tunela je ravnomernost sjajnosti. Preporuke definišu minimalne vrednosti opšte ujednačenosti sjajnosti kolovoza i zidova i minimalne podužne ravnomernosti sjajnosti kolovoza. Uobičajeni zahtev koji je potrebno ispuniti je opšta ujednačenost sjajnosti kolovoza i zidova ne manje od 40% i podužna ujednačenost sjajnosti kolovoza ne manje od 60%.

U instalaciji osvetljenja tunela svetiljke su najčešće postavljene na manjoj visini, što može da prouzrokuje fiziološko blještanje. Merilo fiziološkog blještanja je relativni porast praga TI koji u relevantnim zonama tunela tokom dana i noći ne sme biti veći od 15%. Za dodatno osvetljenu izlaznu zonu nema posebnih ograničenja po pitanju zahteva za ograničenje fiziološkog blještanja.

Svetiljke za osvetljenje unutrašnje zone tunela mogu da budu postavljene u isprekidanom ili neprekidnom nizu. Kada su svetiljke postavljene u isprekidanom nizu, u vidnom polju vozača se pojavljuju svetla i tamna polja koja uzrokuju efekat treperenja. Efekat treperenja je zanemarljiv ako je frekvencija treperenja (odnos brzine kretanja vozila i rastojanja između susednih svetiljki) manja od 2.5Hz i veća od 15Hz. Ukoliko je vozač izložen efektu treperenja duže od 20s, frekvencija treperenja mora biti van opsega 4 – 11Hz [2].

Dobro osvetljeni zidovi tunela doprinose adaptaciji i predstavljaju pozadinu ispred koje treba uočiti eventualne prepreke u tunelu. Nivo sjajnosti zidova tunela do visine 2m treba da bude veći od određenog procenta srednje sjajnosti kolovoza. Preporuka CIE 88 definiše minimalnu vrednost od 60% nivoa sjajnosti postignutog na kolovozu.

Ukoliko se tunel nalazi na delu osvetljene saobraćajnice, potrebno je da nivo sjajnosti u tunelu u noćnim satima bude jednak ili veći od nivoa koji se ima na pristupnom putu. Ukoliko se tunel nalazi na neosvetljenom putu, minimalni nivo sjajnosti unutar tunela treba da bude bar 1cd/m<sup>2</sup>.

Za slučaj prekida mrežnog napajanja potrebno je obezbediti sigurnosno osvetljenje, za nivo srednje pogonske vrednosti osvetljenosti bar 10lx i minimalne osvetljenosti od 2lx.

Osvetljenje zaustavnih niša potrebno je predvideti tako da pogonski nivo osvetljenosti na površini niše za prinudno zaustavljanje vozila ne bude manji od tri puta nivoa osvetljenosti na susednom kolovozu (za slučaj da se koristi izvor svetlosti iste temperature boja), ili ne manji od dva puta nivoa osvetljenosti susednog kolovoza za slučaj da se koristi izvor svetlosti različite temperature boja u odnosu na kolovoz (ovaj zahtev je bio uobičajen u slučajevima kada su se za funkcionalno osvetljenje tunela koristile svetiljke sa natrijumovim izvorima visokog pritiska). Indeks reprodukcije boja izvora za osvetljenje zaustavnih niša treba da je  $Ra \geq 60$  [3].

Kolske i pešačke poprečne prolaze potrebno je osvetliti tako da srednja pogonska vrednost horizontalne osvetljenosti bude jednaka dnevnom nivou osvetljenosti unutrašnje zone tunela [3].

## 6. SISTEMI OSVETLJENJA I USLOVI KONTRASTA

Prepreke u tunelu je moguće videti zahvaljujući kontrastu, odnosno razlici sjajnosti prepreke i njene pozadine. U zavisnosti od reflektujućih osobina površina (prepreke i pozadine) i sistema osvetljenja koji se koristi kontrast može biti pozitivan ili negativan. Ako je prepreka svetlija od pozadine (kolovoza) kontrast je pozitivan, i obrnuto ako je prepreka tamnija od pozadine kontrast je negativan [6].

Za osvetljenje ulazne zone tunela uobičajeno se koriste dva sistema osvetljenja: simetrični i asimetrični (sistem kontrafluksa) sistemi osvetljenja. Ovi sistemi osvetljenja su nazvani prema raspodeli svetlosnog intenziteta svetiljke. Kako bi se postigli dobri uslovi vidljivosti potrebno je ispuniti uslove kontrasta koji su definisani preko koeficijenta kontrasta CRC (contrast revealing coefficient), kao odnosa sjajnosti pozadine prepreke u tunelu i njene vertikalne osvetljenosti.

Kod simetričnog sistema osvetljenja potrebno je obezbediti da posmatrač vidi potencijalnu prepreku u pozitivnom kontrastu, kao svetao objekat u odnosu na tamnu pozadinu. Da bi se ispunili ovi

uslovi koeficijent kontrasta ne sme da bude veći od 0.2 ( $CRC \leq 0.2$ ). Kod sistema osvetljenja kontrafluks svetlost je usmerena suprotno smeru vožnje i vozač vidi prepreku kao taman objekat u odnosu na svetlu pozadinu. U ovom slučaju koeficijent kontrasta ne sme da bude manji od 0.6 ( $CRC \geq 0.6$ ).

Primena određenog sistema osvetljenja zavisi od: podloge kolovoznog pokrivača (zbog uslova kontrasta na površinama sa pretežno difuznom refleksijom primenjuje se simetričan sistem osvetljenja, a kod kolovoza sa usmerenom refleksijom kojima odgovaraju teoretske klase kolovoznog pokrivača R3 i R4 može se primeniti i sistem osvetljenja kontrafluks); prodora dnevne svetlosti (kontrafluks sistem osvetljenja nije pogodan za tunele u kojima je veliki prodor dnevne svetlosti); gustine i tipa saobraćaja (u slučajevima kada je gustina saobraćaja velika ili kada se očekuje prisustvo većeg broja visokih vozila, sistem osvetljenja kontrafluks može biti neodgovarajući). Simetričan sistem osvetljenja je neophodno primeniti za osvetljenje kratkih tunela sa dvosmernim saobraćajem u kojima se zone adaptacije oba ulaza međusobno prepliću (tuneli u kojima praktično nema unutrašnje zone).

## 7. SAVREMENI TRENDVI

Razvoj i stalna unapređenja svetiljki sa LED izvorima svetlosti omogućio je njihovu primenu i u oblasti osvetljenja tunela. LED izvore karakteriše dug životni vek i trenutni odziv, što ih čini veoma pogodnim za primenu u tunelima, u kojima je regulacija svetlosnog fluksa veoma značajna. Dug životni vek ovih izvora smanjuje troškove održavanja, koje je inače otežano u tunelu. Savremeni sistemi za upravljanje i monitoring rada instalacije osvetljenja omogućavaju jednostavnu realizaciju velikog broja režima rada, čime se postižu uštede u potrošnji električne energije. Pored uobičajenih režima rada koji su posledica promene sjajnosti prilazne zone, savremeni kontrolni sistemi omogućavaju i realizaciju režima rada koji su posledica brzine kretanja na saobraćajnici ispred i u samom tunelu.

## 8. ZAKLJUČAK

Instalacija osvetljenja u tunelu mora da omogući bezbedno i sigurno kretanje učesnika u saobraćaju, kako u dnevnim tako i u noćnim uslovima. To je kompleksan zadatak u kome je potrebno voditi računa o velikom broju zahteva koje je potrebno ispuniti.

Zbog prednosti sa aspekta održavanja, trenutnog odziva, smanjenja potrošnje energije i mogućnosti kontinualne regulacije svetlosnog fluksa, primena svetiljki sa LED tehnologijom postala je standard u osvetljenju tunela.

## LITERATURA

1. CEN, "Lighting Applications – Tunnel Lighting", EN TR 14380, mjesec 2003.
2. CIE, "Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses", Publikacija CIE 88, 2004.
3. CIE, "Emergency Lighting in Road Tunnels", Publikacija CIE193, 2010.
4. CIE, "Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria", Publikacija CIE189, 2010.
5. EN, "Evacuation in Road Tunnels", EN 16276, 2013
6. M. Kostić, "Vodič kroz svet tehnike osvetljenja, Minel-Schröder", 2000

# OPTIČKE PRISTUPNE MREŽE U FTTx TEHNOLOGIJI I NJIHOVA PRIMJENA U CRNOJ GORI

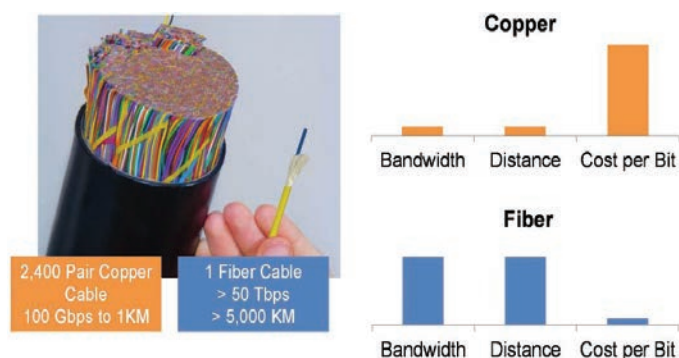
Vladimir Slavić  
“Optoinženjering” d.o.o Podgorica

**Kratak sadržaj:** Optičke pristupne mreže u FTTH (Fiber To The Home) tehnologiji su osnov razvoja komunikacionih mreža nove generacije NGA (Next Generation Access) sa velikim i ultra-velikim brzinama prenosa. Omogućene su velike brzine prenosa u downlink-u kao i značajno veće brzine uplink prenosa sa veoma pozdanim kvalitetom servisa QoS. FTTH je danas superiorna tehnologija pasivnih optičkih mreža sa preko 100 miliona korisnika priključenih širom svijeta (FTTH Council Europe 2016. godina). Ovim radom su obuhvaćene osnovne arhitekture i topologije optičkih pristupnih mreža sa naglaskom na značaj dobrog planiranja FTTH rješenja. Prikazani su osnovni elementi pasivne optičke mreže sa iskustvima i najnovijim rješenjima proizvođača optičkih kablova. U radu su ilustrovani primjeri realizacije optičkih mreža sa pregledom stanja razvoja elektronskih komunikacionih mreža u FTTx tehnologiji na teritoriji Crne Gore.

**Ključne riječi:** Brzine prenosa, FTTx optičke mreže, Propusni opseg.

## 1. UVOD

FTTH (Fiber To The Home) je danas najvažnija tehnologija koja omogućava razvoj elektronskih komunikacionih mreža nove generacije NGA (Next Generation Access) sa velikim i ultra-velikim brzinama prenosa signala. Prednosti FTTH-a rješenja su izražena kako u fiksnim pristupnim mrežama, tako i u bežičnim wireless mrežama i mobilnim mrežama u dijelu backhaul konekcija. Prelazak sa bakarnih pristupnih mreža na optičke FTTH-a mreže omogućio je velike prednosti u prvom redu veći propusni opseg, mogućnost prenosa signala na većim rastojanjima sa značajno nižom cijenom koštanja po bitu prenosa, kao što je ilustrovano na slici 1.



Slika 1: Prednosti optičkih mreža (izvor: OFS [3])

Operatori vlasnici elektronskih komunikacionih mreža su se uvjerali u prednosti koje pruža FTTH tehnologija u odnosu na pristupne mreže zasnovane na bakarnim i koaksijalnim kablovima. Ključne prednosti koje se postižu sa FTTx rješenjima su velike brzine prenosa u downlink-u kao i značajno veće brzine uplink prenosa sa veoma pozdanim kvalitetom servisa QoS.

Po podacima dobijenim od FTTH Council Europe iz 2016. godine, u svijetu ima preko 100 miliona FTTH korisnika. U skladu sa navedenim, svjedoci smo ubrzane migracije korisnika sa bakarnih i koaksijalnih mreža na priključke sa optičkim kablovima u FTTH tehnologiji [1].

## 2. OPTIČKE PRISTUPNE MREŽE

### 2.1. Osnovni pojmovi

Pristupna mreža je dio elektronske komunikacione mreže koja se odnosi na direktno priključivanje krajnjih korisnika koji mogu biti:

- pretplatnici u SFU-s (Single Family Units) i MFU-s (Multi Family Units) stambenim jedinicama, fiksne bežične wireless mrežne antene, npr bežični LAN ili WiMAX,

- bazne stanice mobilnih mreža,

- veći objekti kao što su škole, bolnice i poslovne zgrade,

- bezbjedonosni sistemi kao što su sistemi video nadzora, alarmni sistemi i kontrolno-mjerni uređaji.

FTTH optičke mreže su pristupne mreže bazirane na optičkim kablovima koji povezuju veći broj krajnjih korisnika sa centralnom pozicijom u mreži označenom kao pristupni čvor (Access node) ili POP (Point Of Presence). Svaki optički čvor u sebi ima potrebnu aktivnu prenosnu opremu koja obezbjeđuje prenos većeg broja servisa i aplikacija do svakog korisnika, isključivo putem optičkog vlakna. Pristupni čvorovi su sastavni dio većih mreža na nivou grada ili regiona, kao što su metro ili urbane optičke mreže.

### 2.2. FTTx mrežne arhitekture

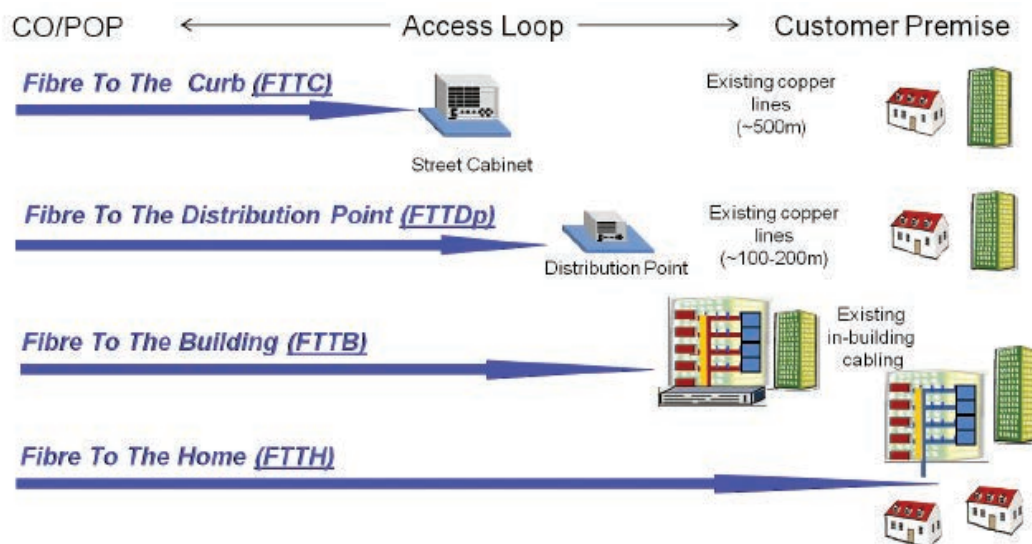
Mrežne arhitekture definišu oblik elektronske komunikacione mreže od fizičkih komponenti do tipova servisa. Izbor najbolje mrežne arhitekture je veoma važan za svakog operatera i predmet je širih analiza i razmatranja dostupnih rješenja. Različite arhitekture zavise od različitih zahtjeva operatera, poslovnih i tehničkih mogućnosti.

Postoji više mogućih mrežnih arhitektura u FTTx tehnologiji u zavisnosti od broja dostupnih vlakana u primarnoj optičkoj mreži, broja potencijalnih korisnika, pozicija razdvajanja signala, odnosno splitter-a u mreži i pozicija agregacije signala. U skladu sa navedenim danas su dostupne sledeće arhitekture optičkih pristupnih mreža u FTTx tehnologiji:

Fiber To The Home (FTTH) - svaki korisnik je putem dodijeljenog optičkog vlakna priključen na port splitter-a i dalje zajedničkim feeder vlaknom povezan sa centralnom pozicijom POP u mreži. U topologiji P2PM svaki korisnik je dodijeljenim vlaknom povezan direktno na svoj port u POP-u.

Fiber To The Building (FTTB) - svaka završna optička kutija i switch, koji su obično smješteni u prizemlju objekta, povezan je putem dodijeljenog optičkog vlakna sa svojim portom u uređaju na centralnoj poziciji POP u mreži. Dalje, veza sa korisnikom nije optička već je bazirana na bakarnim kablovima putem vertikalne kablaze i dodijeljenog tipa Ethernet prenosa.

Fiber To The Curb (FTTC) - switch-evi ili DSL Access Multiplexer-i (DSLAM), uglavnom su smješteni u spoljnim ormarima na trotoaru, povezani s putem dodijeljenog optičkog vlakna ili para vlakana sa centralnom pozicijom POP u mreži i Gigabit Ethernet ili 10 Gigabit Ethernet vezom. Veza korisnika sa switch-em u spoljnom kabinetu nije optička već je bazirana na bakarnim simetričnim kablovima i VDSL2 vezama. Ova arhitektura se u praksi često označava kao "Aktivni Ethernet".



Slika 2: Različiti tipovi FTTx mreža [1]

## 2.3. FTTx mrežne topologije i tehnologije

Prilikom planiranja elektronskih komunikacionih mreža veoma je važno što preciznije specificirati pasivnu i aktivnu mrežnu infrastrukturu i napraviti jasnu razliku između planirane topologije za realizaciju optičke mreže (pasivna infrastruktura) i tehnologije koja će biti primijenjena za prenos podataka kroz optičku mrežu (aktivna oprema).

Dvije topologije koje se danas najviše koriste za prenos signala su point-to-multipoint, koja se najčešće koristi u kombinaciji sa Pasivnom Optičkom Mrežom PON (Passive Optical Network), i point-to-point, koja se većinom koristi Ethernet tehnologiju za prenos signala.

Point-To-Multipoint tehnologija (P2MP) definiše jedno "feeder" vlakno od centralne pozicije koja može biti CO (Central Office) ili POP do pozicije dijeljenja signala, od koje dalje se dalje dodjeljuje posebno vlakno do svakog korisnika. Tehnologija Pasivnih Optičkih Mreža kao što je GPON koristi pasivne optičke splitter-e na lokacijama dijeljenja signala pri čemu je obezbijeđeno kodiranje signala dodjeljivanjem posebnih talasnih dužina  $\lambda$  svakoj korisničkoj jedinici, tako da svaki korisnik prima informacije koje su samo namijenjene njemu.

Point-To-Point tehnologija (P2P) koristi jedno vlakno od Pristupnog čvora (Access Node) ili POP-a i korisnika. Svaki korisnik je direktno povezan sa CO putem dodijeljenog jednog ili para vlakana. Ova trasa od CO do korisnika može biti podijeljena na više dionica sa više nastavljanja ali je obezbijeđena direktna optička konekcija od CO do svakog korisnika. Većina Point-To-Point FTTH-a rješenja koristi Ethernet koji može biti u kombinaciji sa drugim sistemima prenosa kao što su SDH/SONET ili "Fibre Channel". Veoma je važno naglasiti značaj pravilnog izbora i planiranja mrežne arhitekture, posebno imajući u vidu da je ulaganje u FTTH-a mrežu dugoročno. Naime, vijek trajanja ugrađenih optičkih kablova je najmanje 25 godina a vijek eksploatacije i funkcionisanja mreže može biti i duži. Aktivna oprema tokom eksploatacije će se više puta nadograđivati, u skladu sa razvojem tehnologija, a pasivna optička mreža treba da omogući nadogradnju bez većih dodatnih ulaganja.

Pasivne optičke mreže (PON) P2MP i Ethernet P2P mreže su danas rješenja koja se najviše primjenjuju širom svijeta u zavisnosti od više faktora, uključujući i demografsku i geografsku razdvojenost, razvojne parametre društva, finansijske procjene i slično.

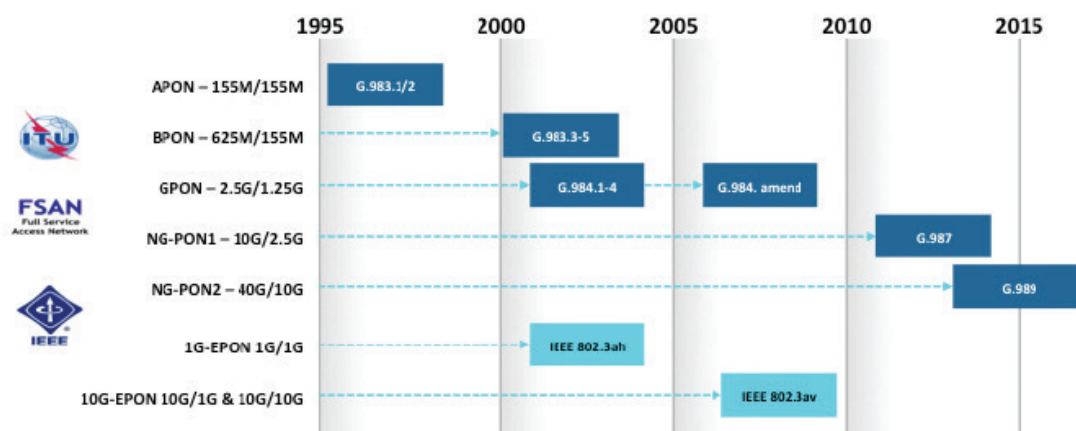
U priključivanju krajnjih korisnika optičko vlakno je superiorno u odnosu na druge medijume prenosa i garantuje sve prednosti u razvoju budućih servisa kao jedino dugoročno rješenje. Imajući u vidu dosadašnja iskustva i navedene mogućnosti razvoja novih servisa u budućnosti, ugradnja optičkih kablova do svakog domaćinstva kapaciteta 2-4 vlakna garantuje konkurentnost i jednostavnu nadogradnju novih servisa.



## 3. AKTIVNA OPREMA

### 3.1 Razvoj PON standarda

Full Service Access Network (FSAN) grupa razvila je tehničke uslove za primjenu PON tehnologije koji su potom specificirani i potvrđeni kao standardi od strane International Telecommunications Union (ITU). Tokom razvoja potvrđeno je i primijenjeno više generacija standarda i to APON, BPON, GPON, XG-PON i NG-PON2 kao što je prikazano na slici 3 [1].



Slika 3: Razvoj PON standarda

G-PON standard omogućava propusni opseg od 2,5Gbps u downstream prenosu i 1,25Gbps u upstream-u. Sa maksimalnim stepenom splitovanja od 1:128, optičkim budžetom od 28dB i korišćenjem lasera klase B+ maksimalni domet je do 20km. Maksimalni domet se može povećati smanjenjem faktora splitovanja ili uvođenjem lasera C+ klase.

XG-PON (NG-PON1) standard nudi brzine prenosa od 10Gbps u downstream prenosu i 2,5Gbps u upstream-u sa takođe maksimalnim brojem korisnika 128 po jednoj konekciji.

NG-PON2 standard koristi tehnologiju talasnog multipleksiranja TWDMPON (Time Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network) i danas se najviše primjenjuje u point-to-point topologiji sa WDM kanalima koji su u potpunosti kompatibilni sa ITU-T PON standardima (G-PON, XG-PON) kao i sa standardima za prenos RF video signala. Razvijene su varijante sa 4 ili 8 talasnih dužina, sa brzinama prenosa od 40G ili 80G u downstream-u i 10G, 40G ili 80G u upstream prenosu. U point-to-point konfiguraciji može biti do 8 WDM kanala sa brzinama prenosa od 1G, 2,5G i 10G.

Tokom 2004. godine Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) uvodi alternativni standard nazvan EPON sa mogućnostima simetričnog prenosa od 1Gbps u oba smjera. Kasnije je ovaj standard razvijen i za brzine od 2Gbps u oba smjera.

U septembru 2008. godine IEEE uvodi novi standard 10G-PON sa mogućnošću prenosa 10Gbps u oba smjera. Sa optičkim budžetom od 29dB maksimalni domet je do 20km. U ponudi su dvije varijante:

10G EPON simetrični, koji podržava brzine prenosa od 10Gbps u oba smjera,

10G EPON asimetrični, sa brzinom prenosa od 10Gbps u downstream prenosu i 1Gbps u upstream-u.

Trend razvoja pristupnih tehnologija u narednim godinama će vjerovatno biti više u pravcu uvođenja simetričnog propusnog opsega. Poslovni korisnici, mobilne i WiFi mreže, kao i većina multimedijalnih peer-to-peer data aplikacije sve više zahtijevaju simetrične protoke sa minimalnim brzinama od 1Gbps. Sa druge strane teže je obezbijediti potpuno simetrični propusni opseg rezidencijalnim korisnicima imajući u vidu HDTV i zabavne servise koji zahtijevaju značajno veće brzine prenosa.

Zbog toga je što veći propusni opseg u upstream-u u ponudi to je i bolja pozicija FTTH-a kablovskih operatera na telekomunikacionom tržištu.

## 3.2. PON aktivna oprema

Aktivna oprema u sklopu PON mreža obuhvata OLT (Optical Line Terminal) jedinicu koja je smještena u centralnoj lokaciji mreže CO ili POP, i ONU (Optical Network Unit) uređaj koji se nalazi kod krajnjeg korisnika gdje se optička konekcija završava.

Od OLT jedinice vodi jedno vlakno do optičkog splitter-a gdje se signal razdvaja i vodi do maksimalno 64 korisnika odnosno ONU krajnjih uređaja

Prednosti PON mreža su smanjenje potrebnih broja vlakana između POP-a i splitter-a, odsustvo aktivne opreme između OLT jedinice i ONU uređaja kod korisnika, mogućnost dinamičke raspodjele propusnog opsega kao i njegovo značajno proširenje, uz značajno manje troškove inicijalnog ulaganja u mrežu i njenog održavanje.

Važno je napomenuti da je svako domaćinstvo povezano sa jednim ili više vlakana do prvog splitter-a i da je ovaj dio mreže u potpunosti kompatibilan sa point-to-point topologijom kao i sa PON rješenjima.

Jedna kompletirana OLT jedinica kao GPON koncentrador u pristupnom čvoru bazirana na konfiguraciji sa 64 korisnika po jednoj GPON konekciji podržava do 16.384 pretplatnika. U slučaju point-to-point topologije, odnosno Aktivnog Etherneteta, podržava do 768 konekcija. Ovakva OLT jedinica u telekomunikacionom čvorištu može biti opremljena sa G-PON, XG-PON ili NG-GPON2 karticama koje mogu biti nadograđene sa najnovijim PON tehnologijama, mogu podržavati redundatni režim rada sa mehanizmima pune zaštite [1].

ONU terminalne jedinice u zavisnosti od lokacija mogu biti namijenjene za:

- **indoor aplikacije**
- **outdoor aplikacije**
- **poslovne-buiseness aplikacije**
- **MDU aplikacije.**

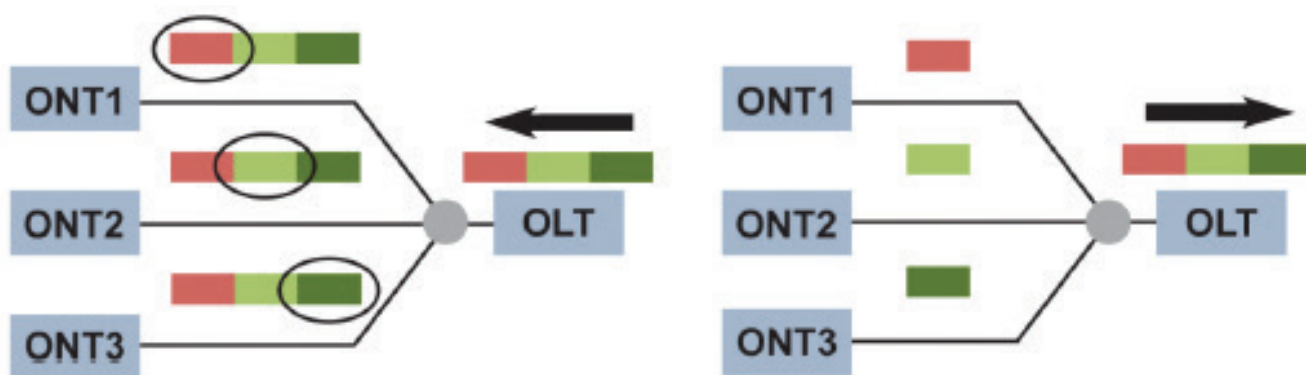
U zavisnosti od namjene, ONU terminalne jedinice mogu biti opremljene sa analognim telefonskim konekcijama (POTS), Ethernet konekcijama, RF konekcijom za video signal i u slučaju FTTB arhitekture, određenim brojem VDSL2 i Ethernet konekcija, Wi-Fi 2.4/5 GHz i G.hn (G.9960) priključaka.

Radi boljeg razumijevanja, u sklopu IEEE standardizacije oprema kod korisnika se označava kao ONU jedinica, dok se u terminologiji G-PON i XG-PON mreža koristi oznaka ONT koja označava jednog ONU korisnika. Postoje dvije mogućnosti kućnih rješenja u kojima ONT Optical Network Termination gdje se terminira optičko vlakno i CPE Subscriber Premise Equipment gdje se obezbjeđuju servisi. U jednom slučaju su ovi mrežni elementi odvojeni, a u drugom integrisani u jedan uređaj u zavisnosti od pozicije razdvajanja opreme operetara i krajnjeg korisnika [1].

## 3.3. Raspodjela propusnog opsega

Propusni opseg u GPON, EPON, XG-PON i 10G-EPON mrežama dodjeljuje se na osnovu šeme vremenskog multipleksiranja TDM (Time Division Multiplexing). U downstream smjeru multipleksiran signal se šalje prema svakoj ONU terminalnoj jedinici, dok se na prijemu u svakoj terminalnoj jedinici putem ID porta vrši filtriranje i izdvajanje signala. U upstream pravcu OLT kontroliše kanale dodjeljujući posebne vremenske slotove za kanale poslate sa svake ONU terminalne jedinice. OLT dodjeljuje dinamički propusni opseg i prioritete između servisa na osnovu MAC protokola (Media Access Control).

Set dodijeljenih talasnih dužina definisan je ITU-T preporukama i obezbijedena je kompatibilnost različitih PON tehnologija kroz isto vlakno putem WDM tehnike multipleksiranja. Na isti način su specificarane talasne dužine za izdvajanje i filtriranje GPON downstream signala na strani ONU terminalnih jedinica i onemogućeno preklapanje propusnih opsega [1].



Slika 4: Model određivanja talasnih dužina prema korisniku

### 3.4. Optimizacija planiranja PON mreža

Prilikom planiranja PON mreža treba imati u vidu da je uloga aktivne i pasivne infrastrukture ravnopravna. Jasno je da je optimalno ulaganje u aktivno mrežu u direktnoj zavisnosti sa pravilnim dimenzionisanjem grananja, odnosno stepena splitovanja i načina terminiranja pasivne mreže.

Više je faktora koje treba uzeti u obzir prilikom planiranja mreže:

- optimalna iskorišćenost aktivne opreme je kada je u funkciji više od polovine planiranih priključaka po jednom PON portu
- fleksibilna spoljna mreža koja omogućava jednostavno priključenje budućih korisnika
- regulatorni zahtjevi za razvoj mreža buduće generacije NGA
- optimizacija troškova ulaganja

Jedan od ključnih faktora u planiranju optičke mreže je gustina naseljenosti u prostoru obuhvaćenim projektom. U Evropi se kapacitet optičkih čvorova kreće između 500 do 2.000 korisnika po jednom čvoru. Prilikom dizajniranja mreže veoma je važan nivo splitovanja kao i pozicija samih splitter-a. U centralizovanim mrežama predviđen je jedan stepen splitovanja, dok se u nekim mrežama koristi i dvostruki nivoi splitovanja npr. jedan 1:8 splitter-i na poziciji ornara u prizemlju a drugi na nivou čvora i slično.

### 3.5. Ethernet point-to-point rješenja

Za Ethernet arhitekturu najviše korišćena je point-to-point konfiguracija sa jednim vlaknom od korisnika do Ethernet switch-a u POP-u. Primijenjuje se i druga varijanta sa jednim vlaknom od POP-a do pozicije u kojoj se signal razdvaja u oznaci FFP Fiber Flexibility Point. Od ove pozicije koja može biti spoljni ormar ili spojnica u oknu, vodi po jedno vlakno do svakog korisnika.

U poređenju sa PON mrežama topologija je slična samo što se u point-to-point modelu koriste kablovi većeg kapaciteta sa više optičkih vlakana u dijelu mreže između POP-a i FFP pozicije, odnosno do krajnjeg korisnika. Sva vlakna završavaju u POP-u na ODF-ovima pri čemu je sistem maksimalno fleksibilan i omogućava da korisnici budu priključeni na bilo koji port switch-a.

Kad je u pitanju prenosna tehnologija, prvi Ethernet standard IEEE 802.3 uveden je od strane EFM Ethernet in the First Mile grupacije, 2001. godine.

Tokom 2004. i 2005. godine razvijena su dva EPON standarda Fast Ethernet i Gigabit Ethernet sa prenosom po jednom optičkom vlaknu. Specificirani su standardi 100Base-BX10 za Fast Ethernet i 1000Base-BX10 za Gigabit Ethernet sa primijenjenim WDM multipleksiranjem za prenos po jednom vlaknu u dva smjera, upstream and downstream.

### 3.6. Rješenja sa prenosom RF video signala

Iako su IP-bazirana rješenja za prenos video signala superiorna i sve više u upotrebi u triple-play ponudi servisa, prenos RF širokopojasnog video signala se i dalje značajno koristi zbog svojih prednosti, u prvom redu prenos živog “live” signala bez kašnjenja.

U PON arhitekturama prenos RF video signala kompaibilan sa ostalim TV rješenjima na strani korisnika, riješen je uvođenjem nove talasne dužine na 1550nm.

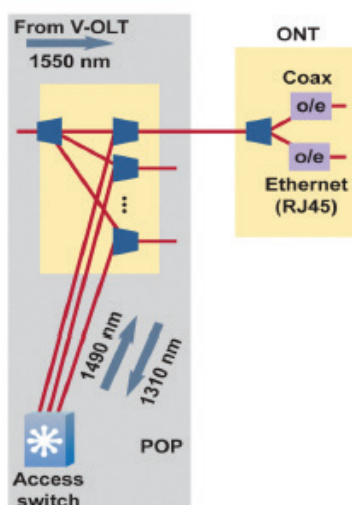
U point-to-point instalacijama postoje dva različita rješenja i to:

- prenos RF video signala po posebnom vlaknu do korisnika gdje se konvertuje u električni signal i dalje prenosi kroz koksijalnu mrežu sa mogućnošću grananja putem “tree” strukture stabla
- RF signal se ubacuje u video-OLT jedinici na posebnoj talasnoj dužini 1550nm, zatim se dekodira na strani korisnika i dalje distribuiraju putem koksijalne mreže.

U oba slučaja CPE/ONU uređaji na strani korisnika imaju dva posebna dijela:

- konvertor koji izdvaja RF video signal na talasnoj dužini 1550nm, konvertuje ga u električni i dalje prosleđuje kroz koaksijalnu mrežu
- optički Ethernet interface koji izdvaja data signal i vodi ga na Ethernet switch ili router.

U slučaju prenosnog sistema po jednom vlaknu signal se na strani korisnika izdvaja putem triplexer-a koji je ugrađen u svaku CPE jedinicu. Kod prenosa po dva vlakna postoje odvojeni optički interface-i za svako vlakno.

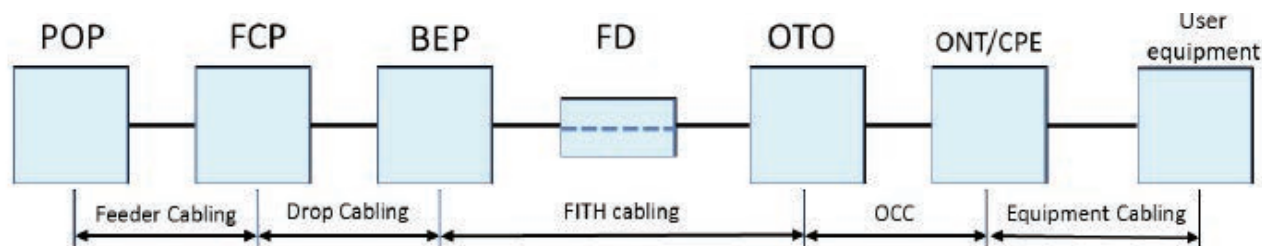


Slika 5: Uključivanje RF video signala

## 4. PASIVNA OPREMA ZA FTTx PRISTUPNE MREŽE

### 4.1. FTTx referentni infrastrukturni model

Referentni model za FTTx optičke pristupne mreže koji je u upotrebi, baziran je na međunarodnim standardima i određuje infrastrukturne elemente kao i sam proces, kako je prikazano na slici 6 [1].



Slika 6: FTTx infrastrukturni referentni model

Prikazani infrastrukturni elementi su:

- **POP** Point Of Presence ili Access Node je početna pozicija na optičkom putu prenosa signala do korisnika. Funkcija pristupnog čvora je da smjesti aktivnu prenosnu opremu elektronskih komunikacionih operatera, obezbijedi terminiranje kompletne optičke mreže i omogući pouzdano povezivanje aktivne opreme i optičkih vlakana iz pasivne infrastrukture.
- **FCP** Fibre Concentration Point je pozicija u mreži gdje se prelazi sa „feeder“ distributivnih optičkih kablova na „drop“ kablove manjeg kapaciteta. To su najčešće optičke spojnice ili spoljni ormari u kojima se vrši splice-ovanje manjih grupa priključnih kablova. Lokacija FCP treba da bude što bliža korisniku i određuje je pozicija završetka kablovske kanalizacije odnosno dolazne PE cijevi.
- **BEP** Building Entry Point je pozicija u mreži u kojoj se prelazi sa dolaznih drop kablova iz spoljne pristupne mreže na unutrašnju mrežu unutar objekta, odnosno prelaz sa outdoor na indoor kablove. U većini slučajeva oba kabla se terminiraju na konektore tako da je mreža u ovoj poziciji elastična a može biti i „kruta“ odnosno da se vrši splice-ovanje.
- **FD** Floor Distribution je unutrašnji spratni ormar u kojem se vrši prelaz sa vertikalnog na horizontalno kabliranje. U zavisnosti od veličine i namjene objekta, odnosno broja priključaka po spratu, ova međuveza između BER-a i OTO-a se izbjegava.
- **OTO** Optical Telecommunications Outlet je FTTH-a optička utičnica gdje se terminira dolazni indoor optički kabal i na koju se odgovarajućim priključnim optičkim kablom patchord-om povezuje aktivna oprema kod korisnika.
- **ONT** Optical Network Unit je pozicija gdje se završava FTTH-a optička mreža i vrši konverzija optičkog signala u električni.
- **CPE** Customer Premise Equipment je aktivni uređaj kod korisnika npr. set-top box koji obezbjeđuje distribuciju FTTH-a servisa (Internet, TV, Telephone i sl.). Često su ONT i CPE jedinica integrisane u jednom aktivnom uređaju.

## 4.2. FTTx model kabliranja

Cilj uvođenja tehničkih upustava za model FTTx kabliranja, posebno in-house instalacija, je tendencija da istu kablovsku infrastrukturu mogu da koristi jedan ili više elektronskih komunikacionih operatera.

U referentnom tipu kabliranja kao što je prikazano na slici, u zavisnosti od namjene, uglavnom sriječemo sledeće tipove kablova:

Feeder kablovi, se ugrađuju od POP-a pristupnog čvora do pozicije FCP u kojoj se vrši grananje kabla prema objektima, i njihova dužina može biti više kilometara. Većeg su kapaciteta i u mrežama u Crnoj Gori uglavnom se primjenjuju kablovi kapaciteta 48-288 vlakana. Zbog ograničenog prostora u kablovskoj kanalizaciji koriste se kablovi smanjenog spoljnog prečnika optimizirani za ugradnju u cijevi kablovske kanalizacije, uduvavanjem ili ručnim uvlačenjem. Kod našeg partnera, proizvođača OFS Furukawa Company, za ovu namjenu je predviđena MiDia Dry Loose Tube konstrukcija kabla sa smanjenom veličinom tube i manjeg prečnika kabla i to, do 72 vlakna sa spoljnim prečnikom kabla do  $\varnothing$  7,5mm, do 96 vlakana sa spoljnim prečnikom kabla do  $\varnothing$  8,6mm, do 144 vlakna sa spoljnim prečnikom kabla do  $\varnothing$  11,2mm i do 288 vlakana sa spoljnim prečnikom kabla do  $\varnothing$  13mm [3]. Dakle svi ovi kablovi mogu se ugrađivati u PE cijevi  $\varnothing$  20mm što je u Crnoj Gori najčešća praksa.

Noviji trendovi su da se postojeća kanalizacija još bolje iskoristi ugradnjom fleksibilnih mikro cijevi tako da se kroz postojeću PE cijev  $\varnothing$  40mm mogu uvlačiti HDPE mikro cijevi npr. u kombinacijama 3x16mm/5x12mm/10x8,4mm/18x6mm. Kroz ovu mikro kanalizaciju predviđena je ugradnja mikro kablova posebne konstrukcije.

Drop kablovi, koji su predviđeni za ugradnju od pozicije FCP do ulaza u objekat sa korisnicima. To su kablovi za spoljnu montažu iste konstrukcije kao feeder kablovi samo manjeg kapaciteta, najčešće do 12 vlakana. Kapacitet zavisi od veličine i namjene objekta ali treba predvidjeti i dovoljan

broj rezervnih vlakana za mogućnost priključenja više operatera i više servisa. Dužina ovih kablova je uglavnom do 500m.

FTTH indoor kablovi, su kablovi za unutrašnju montažu za vezu od BEP-a do spratnog ormara odnosno OTO utičnice kod korisnika. Mogu biti različite konstrukcije, pre-konektizirani ili predviđeni za splice-ovanje na oba kraja, sa određenim stepenom zaštite od gorenja, kapaciteta 1-4 optička vlakna.

### 4.3. Karakteristike optičkih vlakana

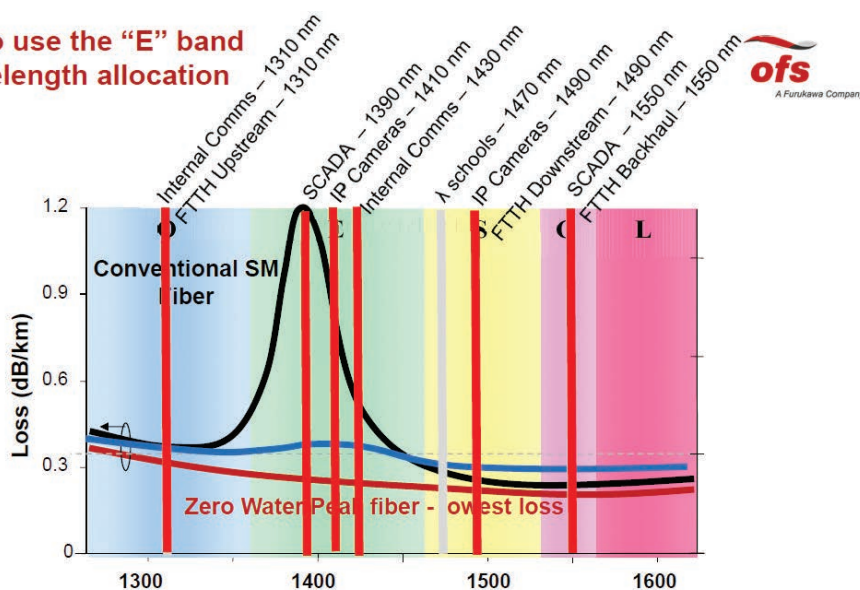
Prenosne karakteristike optičkih vlakana određene su sa više standarda u zavisnosti od tipa kabla i zahtjeva za ugradnju kao što je prikazano na sledećoj tabeli [3]:

Tabela 1: Standardi za optička vlakna

Cable type	ITU Code	7.3.4 IEC Code	7.3.5 Bend radius [mm]
Outdoor cables	G.652.D	IEC 60793-2-50 B1.3	R 30
Outdoor cables	G.657.A1/A2 with possible 200µm coating option	IEC 60793-2-50 B6a1/a2 with possible 200µm coating option	R 10 for A1 R 7.5 for A2
Indoor cables	G.657.A2/B2/B3	IEC 60793-2-50 B6a2/b2/b3	R 7.5 for A2/B2

Kod outdoor kablova predviđenih za spoljnu montažu razvoj WDM-PON tehnologije doveo je do unapređenja procesa proizvodnje optičkih vlakana. Cilj je što bolja iskorišćenost kompletnog optičkog spektra 1260-1650nm. OFS Furukawa Company kao vodeći proizvođač optičkih kablova proizveo je prva ZWP Zero Water Peak optička vlakna sa krivom slabljenja kao na prikazanoj slici, koja omogućavaju prenos signala i u „E“ band-u [2]. U ITU standardima ovi kablovi su specificirani kao G.652.D kod i danas se u najvećoj mjeri koristi u svim outdoor aplikacijama.

#### How to use the “E” band – wavelength allocation



Slika 7: Model raspodjele talasnih dužina (izvor: OFS [2])

Trend razvoja optičkih mreža sve bliže korisniku, sa sve većim povećanjem propusnog opsega, uslovio je i unapređenje samog procesa proizvodnje optičkih kablova optimiziranih za unutrašnju in-house ugradnju, otporna na savijanja. U skladu sa ovom tendencijom, ITU je razvio novi standard G.657. koji definiše ovaj kompaktni tip kabla u više klasa kako je prikazano u gornjoj tabeli. Za aplikacije sa većim rastojanjima to su standardi:

**G.657.A1 (minimalni prečnik savijanja 10mm)**

**G.657.A2 (minimalni prečnik savijanja 7,5mm)**

Za aplikacije sa manjim rastojanjima (< 1km) to su standardi:

**G.657.B1 (minimalni prečnik savijanja 7,5mm)**

**G.657.B2 (minimalni prečnik savijanja 5mm)**

OFS je ove tipove kablova sa AllWave ZWP vlaknima uveo u proizvodnju od 2006. godine [3].

Važno je napomenuti da su vlakna proizvedena u skladu sa standardom G.657 u potpunosti kompatibilna sa G.652.D vlaknima i omogućavaju prenos signala u potpunom optičkom spektru talasnih dužina 1260-1650nm.

## 5. PRIMJENA FTTx TEHNOLOGIJE U CRNOJ GORI

### 5.1. Podaci o instaliranim FTTx priključcima operatera u Crnoj Gori

Po podacima zvanično dobijenim od Agencije za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost Crne Gore [5] broj instaliranih priključaka u 2017. godini je sledeći:

Tabela 2: Pregled instaliranih priključaka u CG (izvor: EKIP [5])

Instalirani FTTx priključci	
Decembar 2016.	61.831
Januar 2017.	61.871
Februar 2017.	63.294
Mart 2017.	65.942
April 2017.	69.279
Maj 2017.	74.097
Jun 2017.	80.226

Usluge preko FTTx pristupnih optičkih mreža nude se u većini opština u Crnoj Gori i to: Bar, Berane, Bijelo Polje, Budva, Cetinje, Herceg Novi, Kotor, Mojkovc, Nikšić, Pljevlja, Podgorica, Tivat i Ulcinj.

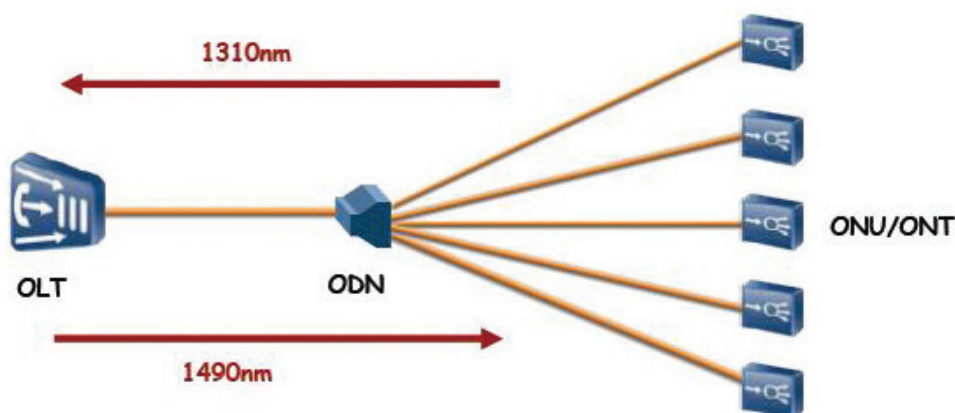
Operateri koji pružaju usluge FTTx pristupnih optičkih mreže na teritoriji Crne Gore su:

**Crnogorski Telekom**

**Mtel**

**Telemach**

Pružanje elektronskih komunikacionih usluga preko FTTx pristupnih mreža u Crnoj Gori prvi je započeo Crnogorski Telekom još 2011. godine. Imlementirana je GPON tehnologija sa standardnom arhitekturom FTTH-a optičkih pristupnih mreža sa OLT čvorištima u postojećim objektima CT-a. Na strani korisnika montira se jedinstven ONT/CPE uređaj koji vrši konverziju optičkog signala u električni i omogućava distribuciju servisa na IP platformi uključujući i IP TV.



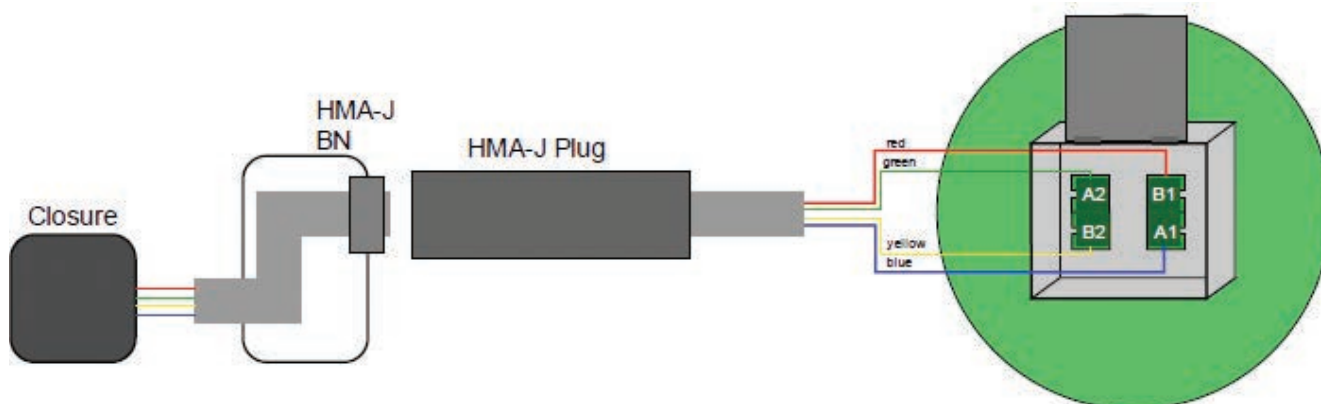
Slika 8: Distribucija signala u GPON mreži CT-a

Tokom ove godine Mtel je počeo sa migracijom sa HFC mreže na GPON optičku mrežu zamjenom postojećih RG11 koaksijalnih kablova sa ADSS optičkim kablovima odgovarajućeg kapaciteta. Za realizaciju priključenja korisnika planirana je upotreba mikro drop optičkih kablova sa sajlom sa 2 vlakna (radno + rezervno) G.657A2, koji će se postaviti od splitera, odnosno ZOK-a do korisnika. Primijenjena je takođe standardna GPON tehnologija sa FTTH-a arhitekturom s tom razlikom što se kod korisnika montiraju posebno optički prijemnici koji odvajaju RF video signal i posebna CPE jedinica koja omogućava distribuciju IP servisa, kao što je prikazano na slici 8.

## 5.2. FTTx pristupna mreža u turističkom kompleksu Porto Montenegro

Od značajnih investicija u optičku infrastrukturu sa zadovoljstvom navodimo optičku pristupnu mrežu Fiber to the Berth FTTB, u sklopu turističkog kompleksa Porto Montenegro u Tivtu. Na zahtjev značajnog Investitora Adriatic Marinas, još 2011. godine, ušlo se u realizaciju povezivanja mega jahti u Point-To-Point tFTTH tehnologiji sa distribucijom "Triple Play" (IPTV, Internet, IP telefonija) servisa do brodova dužine preko 24m, dok su na sidrenju u luci. U skladu sa zahtjevima Investitora ICT optička infrastruktura je do sada izvedena za preko 200 servisnih modula na većini pontona i dokova u marini [4].

Preduzeće Optoinženjering je u saradnji sa partnerskom firmom Optokon iz Češke, prilagodilo i primijenilo rješenje sa HMA robusnim konektorima i kablovima koji se inače primijenju u taktičke vojne i industrijske svrhe, a kao što je prikazano na sledećim slikama.



Slika 9: Dijagram optičke konekcije sa 2 HMA konektora (izvor Optokon [4]).





CBD-80V3-HMA-J-4xNSC/LD4 S7A-JC-80



Slika 10:Optički patchcord u industrijskoj varijanti (izvor Optokon [4]).

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih podataka od udruženja *Fibre to the Home Council Europe* i vodećih preduzeća u proizvodnji optičkih kablova, svjedoci smo savremenih trendova u razvoju optičkih pristupnih mreža. U Crnoj Gori sa uspjehom primjenjuju najnovije FTTx tehnologije i razvijaju savremene optičke mreže sa povećanjem broja korisnika kako u mrežama operatera tako i u optičkim pristupnim mrežama u okviru turističkih naselja i većih preduzeća.

## LITERATURA

1. E. Connolly Bull, "FTTH Handbook", D&O Committee, Fibre to the Home Council Europe, Edition 7, rev. 16/02/2016., ch. 2, ch. 4, ch. 6.
2. Mark Boxer, "Full Spectrum Fiber Comes of Age", OFS Furukawa Company, pp. 1-2
3. Mark Boxer, "Intro to OFS AllWave ZWP Fiber Introduction" OFS Furukawa Company, pp. 17-19, 27-32
4. "Optokon newsletter" October 2011, pp. 7
5. "Izveštaj o postojećem stanju" Agencija za elektronske komunikacije i poštansku djelatnost, jul 2017

# KNX STANDARD AUTOMATIZACIJE U OBJEKTIMA

Srđan Gavrilović  
KNX Association cvba

---

Đorđe Zlatić  
Waves smart technologies doo

1. **UVOD**
2. **OBLASTI PRIMENE KNX TEHNOLOGIJE**
3. **PRIMENA KNX TEHNOLOGIJE NA RAZLIČITIM TIPOVIMA OBJEKATA**
4. **ZAKLJUČAK**

**Ključne riječi:** Automatika, pametne kuće.

## 1.UVOD

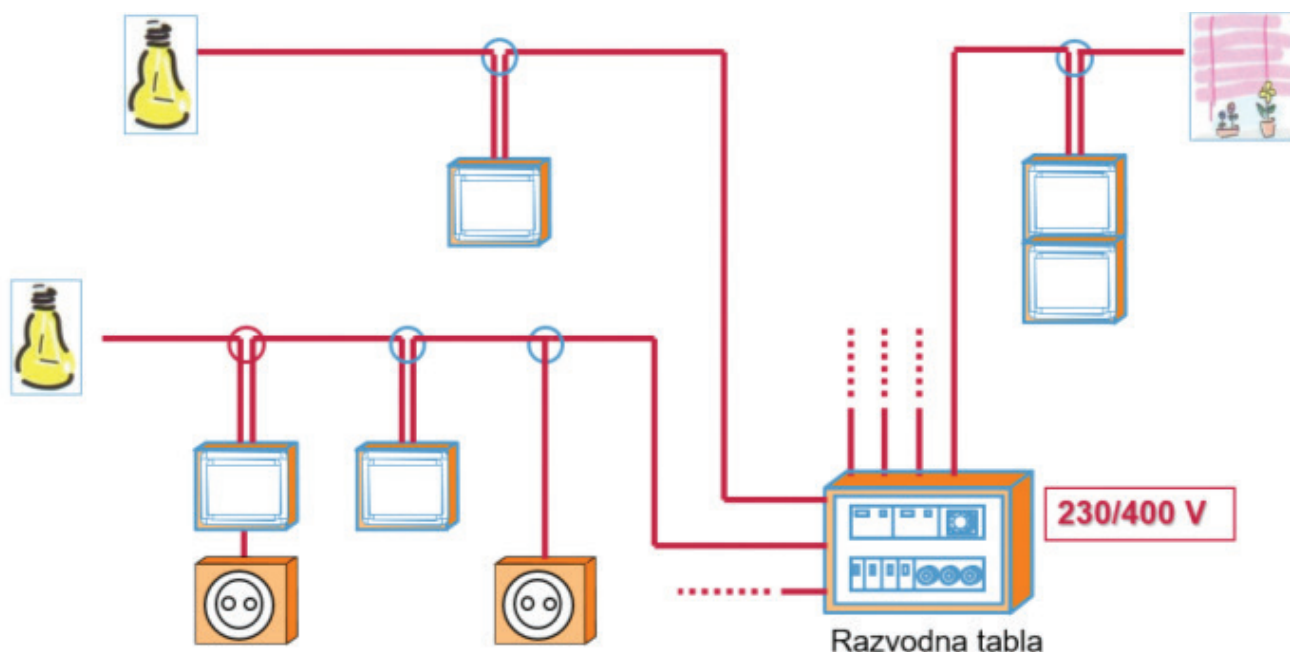
### 1.1. Šta je KNX?

Više udobnosti, više sigurnosti, veće uštede energije: potreba za upravljanjem sistemima je u stalnom porastu.

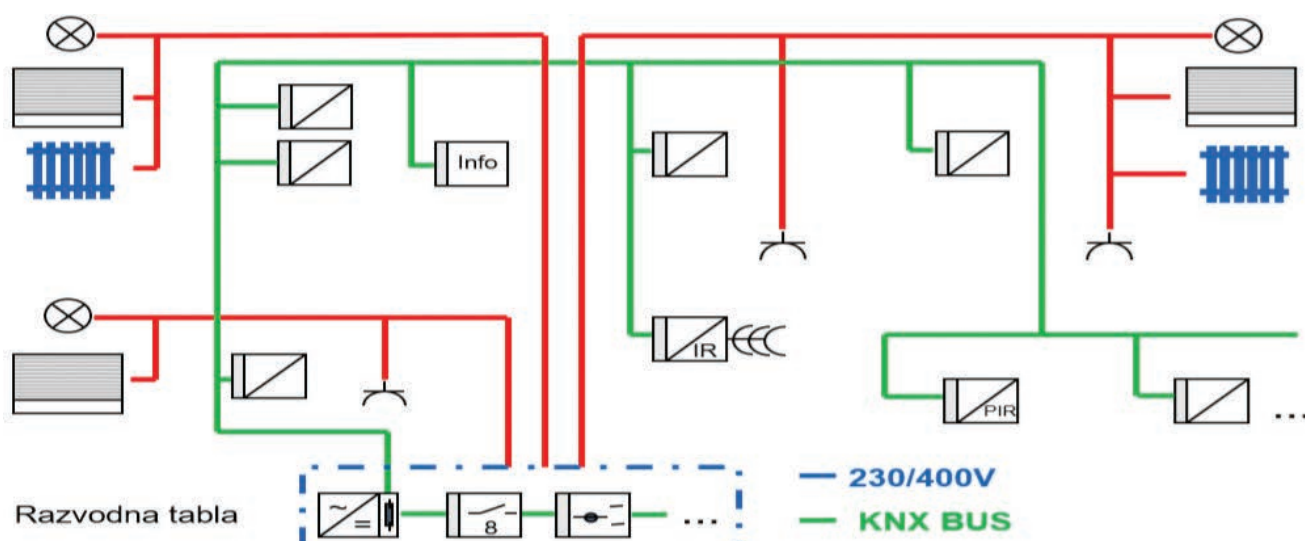
Bilo da se radi o porodičnoj kući ili poslovnom kompleksu, neprekidno raste potreba za udobnošću i svestranosti u upravljanju hlađenjem, grejanjem, rasvetom, roletnama i kontrolom pristupa. Istovremeno, efikasno korišćenje energije postaje sve važnije. Više udobnosti i sigurnosti povezanih sa smanjenom potrošnjom energije može se postići samo ako se primenjuje inteligentno upravljanje i nadzor svih uključenih proizvoda-potrošača. To međutim, kod “klasične” instalacije podrazumeva više ožičenja, što zahteva veći napor u projektovanju i tokom instalacije, a donosi i povećan rizik od požara kao i ogromne troškove.

**Odgovor: KNX – svetski STANDARD za upravljanje stambenim i poslovnim objektima.**

U cilju kontrole prenosa podataka svim komponentama u upravljanju objektima, sistem je dužan nositi se s problemima izolovanih uređaja, i osigurati da sve komponente komuniciraju putem jednog zajedničkog jezika, KNX BUS-a. Ovaj inovativni sistem omogućava međusobnu komunikaciju svih uređaja u sistemu kroz samo jedan bus kabl koji je ugrađen pored klasičnih instalacijskih linija.



Slika 1. Primer klasične instalacije



Slika 2. Primer instalacije sa KNX bus-om

Na ovaj način svi različiti funkcionalni podsistemi unutar objekta su integrisani u jedan komunikacioni sistem. Ovo omogućava najpovoljniju i energetske najefikasniju interakciju podsistema, što je gotovo nemoguće izvesti sa konvencionalnim tehnologijama. Sistem omogućava realizaciju velikog broja međusobno povezanih funkcija, uključujući:

- kontrolu i regulisanje rasvete
- kontrolu roletni i venecijanera
- regulisanje grijanja, ventilacije i klimatizacije
- sigurnosne sisteme i monitoring
- centralnu automatizaciju
- upravljanje energijom i opterećenjem
- audio i video funkcije
- daljinsko upravljanje i održavanje
- vizuelizaciju i upravljanje
- povezivanje sa drugim sistemima.



## 1.2. KNX u svetu

Reference po celom svetu: svet upravljanja stambenim i poslovnim objektima “govori” KNX jezikom. Nekoliko miliona primera uspešne ugradnje KNX sistema mogu se naći ne samo širom Evrope, već i na Dalekom istoku, Severnoj i Južnoj Americi – što je dokaz koliko je KNX pristup prihvaćen. Preko 400 KNX kompanija članova širom sveta nudi više od 7.000 KNX sertifikovanih proizvoda u svojim katalogima, iz različitih područja primene.

## 1.3. KNX standard

KNX je odobren kao međunarodni standard (ISO / IEC 14543-3), kao i evropski standard (CENELEC EN 50090 i EN 13321-1 CEN) i kineski standard (GB / T 20965). KNX je, dakle spreman za budućnost. KNX proizvodi, različitih proizvođača, mogu biti kombinovani - KNX zaštitni znak garantuje njihovu međusobnu kompatibilnost i zajednički rad. KNX je, dakle, jedini svetski otvoreni standard za kontrolu u poslovnim i stambenim objektima.

## 1.4. Upravljanje stambenim i poslovnim objektima

Dobit u svakoj vrsti objekta: Kako u poslovnim kompleksima tako i u prosečnim domaćinstvima. Nezavisno od vrste objekta, KNX otvara nove mogućnosti za potpuni nadzor i upravljanje sistemima objekta uz održavanje troškova na najnižem nivou. KNX može pružiti laka rešenja koja mogu biti realizovana sa konvencionalnom instalacijskom tehnikom samo uz veliki napor. Sve aplikacije u kući ili zgradi mogu biti kontrolisane preko jednog kontrolnog panela na dodir. Od upravljanja grejanjem, ventilacijom i kontrolom pristupa do daljinskog upravljanja svim kućnim aparatima - KNX omogućuje potpuno nove načine za povećanje udobnosti, sigurnosti i uštede energije u kući ili zgradi.

## 1.5. KNX: Jedinstven pristup sa mnogobrojnim pogodnostima

Gde god je implementiran, KNX donosi stvarne prednosti arhitektama, projektantima i preduzetnicima i, iznad svega, vlasnicima i / ili korisnicima objekata.

Niski troškovi rada rezultuju znatnim uštedama energije - Rasveta i grejanje uključuju se samo kada je potrebno, npr. u zavisnosti od zadatog vremenskog programa i / ili prisustva, na taj način štedeći energiju i novac. Dalje, rasveta može biti kontrolisana automatski u odnosu na intenzitet dnevnog svetla, čime se održava određena zadata minimalna količina svetlosti na svakom radnom mestu, čime se smanjuje rasipanje energije (samo zaista neophodni izvori svetlosti ostaju uključeni).

Ušteda vremena - Povezivanje svih komunikacionih uređaja na jedan bus znatno smanjuje vreme potrebno za projektovanje i postavljanje instalacije. Jedinstveni „Engineering Tool Software“ (ETS), nezavistan od proizvođača i oblasti primene, omogućuje projektovanje, inženjering i konfigurisanje instalacija koje sadrže KNX sertifikovane proizvode. Kako je alat nezavisan od proizvođača, sistem integrator može kombinovati proizvode različitih proizvođača s različitim komunikacijskim medijima (dvožilna parica, radio frekvencija, power line ili IP/Ethernet) u jednoj instalaciji.

Fleksibilnost i prilagodljivost budućem razvoju – Zahvaljujući modularnosti KNX instalacije se lako mogu prilagoditi novim aplikacijama i proširiti. Nove komponente mogu biti lako spojene na postojeću bus instalaciju.

## 2. OBLASTI PRIMENE KNX TEHNOLOGIJE

### 2.1. Energetska efikasnost objekata

Promena klime i resursi u stalnom opadanju postavljaju efikasno korišćenje energije kao ključan društveni problem. Kako čine 40% od ukupne potrošnje energije, zgrade predstavljaju značajan potencijal za uštedu energije. KNX tehnologija zadovoljava uslove najviše klase energetske performansi za automatizaciju zgrada, tako da predstavlja idealno rešenje za najviše zahteve kada je potrošnja energije u zgradama u pitanju. Kroz inteligentno upravljanje sistemima u zgradi sa KNX-om, potrošnja energije može biti prepolovljena.

Inteligentno upravljanje sistemima u zgradi smanjuje potrošnju energije i povezane troškove više puta - ovo je zaključak koji je doneo „Institute for Building and Energy Systems at Biberach University of Applied Sciences“, u Nemačkoj. Ovo prati obimno istraživanje o potencijalnim uštedama energije koje se mogu ostvariti korišćenjem modernih sistema električnih instalacija kao što je KNX.

Ono rezimira svoje rezultate kroz sledeće:

“Naročito automatske funkcije, koje predstavljaju veliki potencijal za uštedu energije kroz kombinovanje različitih sistema, danas mogu biti ostvarene jedino korišćenjem modernih tehnoloških sistema u zgradama zasnovanim na bus i komunikacionim sistemima” 1\*

Još jedan istraživački projekat, sproveden u „Bremen University of Applied Sciences“, ušteda energije sa KNX-om prikazuje primer moguće uštede energije za grejanje (izvor – novo konstruisana zgrada Univerziteta primenjenih nauka u Bremenu). Centar za informatiku i tehnologije medija (ZIMT) je opremljen KNX uređajima za upravljanje grejanjem i rasvetom. Prikupljeni podaci su evaluirani i napravljeno je poređenje između “normalnog” režima i “automatskog” režima. Zgrada ima specifičnu potrošnju energije od 60-75 kWh/m<sup>2</sup>a. Dve identične učionice su izabrane kao prostorije za test. Jedna je bila opremljena klasičnim instalacijama, a druga sa KNX upravljanjem.

Bazirano na četvorogodišnjoj seriji merenja, ustanovljeno je da KNX upravljanje smanjuje potrošnju energije za impresivnih 50%. Ovim postaje jasno da ulaganje u sistem automatizacije zgrade ima brzi povrat. Univerzitet primenjenih nauka u Bremenu je izračunao da se sa godišnjom potrošnjom od 230,000 kWh samo za rasvetu, investicija može vratiti samo za godinu dana sa KNX bus upravljanjem. Konačno, nisu samo vlasnici/operatori i investitori ti koji profitiraju od smanjene potrošnje energije - klima takođe profitira.

Ukratko, KNX tehnologija omogućava sledeće uštede:

- **do 40% sa KNX upravljanjem roletnama**
- **do 50% sa KNX upravljanjem pojedinačnim prostorijama**
- **do 60% sa KNX upravljanjem rasvetom**
- **do 60% sa KNX upravljanjem ventilacijom, grejanjem i hlađenjem**

## 2.2. Sigurnost

KNX tehnologija je omogućila integraciju svih različitih sigurnosnih sistema u jedan komunikacioni sistem. Po prvi put sistem ne samo da obaveštava o događajima, već i sam preduzima određene mere kako bi sprečio ili sveo na minimum potencijalnu opasnost.

Primenom sistema KNX „pametne kuće“ je bezbednost objekta podignuta na viši nivo, a korisniku je maksimalno uprošćeno korišćenje sistema u svakodnevnom životu. Integracija senzora za detekciju tehničkih alarma u sistem KNX „pametne kuće“ omogućava osim informacije koja se prosleđuje korisniku i sprčavanje potencijalne štete.

Integracija tehničkih alarma u KNX sistem – primeri:

**Poplava – u slučaju detekcije poplave sitem automatski zatvara glavni ventil na dovodu vode i obaveštava vas o događaju...**

**Curenje gasa – kao i u prethodnom slučaju sistem automatski zatvara dovod gasa, uključuje ventilaciju kako bi u najkraćem roku ubacio svež vazduh i obaveštava vas o događaju...**

**Požar – ukoliko dođe do požara, sistem vas obaveštava o događaju, automastki isključuje ventilaciju kako bi sprečio dovod svežeg vazduha i usporio širenje pozara, podiže roletne kako bi omogućio vatrogasnoj službi brzu intervenciju...**

Integracija protiv provalnog sistema u KNX sistem – primeri:

**Neželjeni posetilac je ušao u vaše dvorište - spoljni senzori ga detektuju, uključuju spoljnu rasvetu, sistem spušta sve roletne kako bi vas zaštitio, aktivira sirenu i obaveštava vas na telefon.**

**Neželjeni posetilac je ušao u vaš dom – sitem automatski uključuje alarmnu sirenu, uključuje svu rasvetu, diže roletne i obaveštava vas na telefon.**

Integracija simulacije prisustva u KNX sistem – primeri:

**Napuštate vaš objekat na duži period, zaštitite ga od potencijalnih provalnika funkcijom simulacije prisustva. Sistem je zapamtio vaše navike dok ste boravili u objektu, kada napustite objekat on će početi da simulira vaše prisustvo uključivanjem i isključivanjem određenih svetiljki, podizanjem i spuštanjem roletni...**

## 2.3. Komfor

U poređenju sa klasičnim elektro instalacijama, KNX instalacije nude brojne prednosti. Svi različiti funkcionalni podsistemi u objektu su sada povezani u jedan komunikacioni sistem. Što omogućava optimalnu, energetske efikasnu interakciju svih podsistema u objektu, koju je gotovo nemoguće izvesti konvencionalnim tehnologijama. Ovaj sistem omogućava interaktivnu kontrolu velikog broja različitih podsistema pružajući maksimalan komfor.

Umesto prekidača za svetlo, tastera za roletne, daljinskog od klime, termostata za grejanje, alarmne tastature..., na zidu u prostoriji se nalazi samo jedan KNX smart panel. On pored osnovnog upravljanja omogućava i kreiranje različitih scenarija, gde pritiskom na samo jedan taster se spuštaju roletne, prigušuje rasveta, podešava temperatura...

## 3. PRIMENA KNX TEHNOLOGIJE NA RAZLIČITIM TIPOVIMA OBJEKATA

Zahvaljujući svojoj modularnosti i jednostavnoj implementaciji KNX tehnologija je naša primenu na svim tipovima objekata, počevši od poslovnih, stambenih, javnih, pa sve do privatnih vila, kuća,

stanva... U zavisnosti od tipa objekta u praksi se primenjuju i različite aplikacije i konfiguracije sistema.

### 3.1. Primena KNX tehnologije u poslovnim i javnim objektima

Zbog strukture objekta, gotovo nemoguće stalne kontrole svih uređaja u objektu i nemarnosti zaposlenih i posetioca, poslovni i javni objekti su jedni od objekata kod kojih se najviše bespotrebno rasipa toplotna i električna energija.

Iako savremeni dizajn modernih komercijalnih i javnih zgrada znatno povećava njihovu energetske efikasnost, postoje limiti koji se mogu postići koristeći isključivo tehnike dizajna i savremene materijale. Takođe, fragmentisan pristup sistemima u zgradi gde se svaki sistem posmatra kao zasebna celina predstavlja još jednu prepreku u dostizanju maksimalne energetske efikasnosti objekta.

Kako bi se postigla maksimalna efikasnost, smanjili operativni troškovi i kreirao optimalan radni ambijent potreban je centralni sistem upravljanja koji vrši koordinisano upravljanje različitim tehničkim sistemima jednog objekta.

KNX tehnologija omogućava integraciju gotovo svih različitih sistema u objektu u jedan komunikacioni sistem, omogućavajući centralno upravljanje i uvid u stanje svakog pojedinačnog elementa u sistemu.

Na ovaj način se ostvaruju maksimalne uštede u potrošnji energije i vremenu potrebnom za održavanje objekta, pri tom doprinoseći povećanom komforu zaposlenih kao i posetilaca.

Takođe, u komercijalnim zgradama sa kancelarijskim prostorom često dolazi do prenamene ili promene u konfiguraciji pojedinih prostorija.

Moderni KNX bus sistem zahvaljujući svojoj fleksibilnosti omogućava promene sistema jednostavnim reprogramiranjem čime se znatno smanjuje potreba za ponovnim kabliranjem i gubici usled nemogućnosti korišćenja prostorija u dužem periodu.

Na koji način sistem ostvaruje uštede?

Automatski režimi rada

- **Sistem automatski reguliše sisteme grejanja i hlađenja u zavisnosti od doba dana ostvarujući zadate temperature uz minimalnu potrošnju energije;**
- **Sistem automatski prilagođava intenzitet rasvete u kancelarijama, pa tako svetiljke ne rade uvek bespotrebno intenzitetom od 100%;**
- **Sistem u zavisnosti od prisustva automatski uključuje i isključuje rasvetu u svim prolaznim prostorijama...**

Maksimalno umanjuje faktor nemarnosti zaposlenih na više načina:

• **Ne dozvoljava setovanje temperature u kancelariji van dozvoljenih granica, koje definiše korisnik objekta...**

• **Automatski isključuje grejanje ili hlađenje ukoliko se otvori prozor...**

• **Automatski isključuje rasvetu ukoliko nema nikoga u kancelariji...**

• **Ukoliko ostane otvoren prozor u nekoj od kancelarija van radnog vremena sistem obaveštava lice iz održavanja...**

Šta obuhvata sistem?

Da bi se ostvarile najveće uštede u energiji, čak i do 50%, preporučuje se integracija sistema grejanja, hlađenja i rasvete. Pored navedenih sistema, zbog komfora, često se integriše i upravljanje elektro motornim roletnama ili zastorima, upravljanje platnom za projektor i ozvučenjem u konferencijskim salama i ostalim specifičnim sistemima na zahtev korisnika objekta.

## 3.2. Primena KNX tehnologije u privatnim vilama

KNX tehnologija kao jedina koja je uspela da spregne sve sisteme različitih proizvođača u jedan centralni sistem i kao takva postala je idealna za integraciju u zahtevne privatne vile i apartmane. Objedinjujući upravljanje grejanjem, hlađenjem, ventilacijom, rasvetom, roletnama, sigurnosnim sistemima, multimedijom..., korisnik umesto prekidača, tastera, šifratora, termostata..., dobija samo jedan KNX panel u prostoriji na zidu koji upravlja svim sistemima.

### Primeri funkcija KNX tehnologije u privatnim vilama

Komfor - Posle večere sa svojim partnerom se spremate da gledate film, pritiskom na samo jedan taster spuštaju se noćne zavese, glavna rasveta u sobi se gasi, dodatna rasveta se prigušuje, uključuje se klima uređaj, TV ili kućni bioskop...

Ušteda energije – kontrolom grejanja - Vremenska stanica prati položaj sunca i automatski podiže roletne na osunčanoj strani objekta kako bi se iskoristila sunčeva energija za dogrevanje prostorije. Ukoliko napustite prostoriju senzori prisustva to detektuju i automatski se zatvaraju ventili na radiatorima i održava se temperatura prostorije na 16 stepeni, čim ponovo uđete u prostoriju temperatura se diže na zadatu vrednost, a roletne vraćaju u prethodno setovanu poziciju.

Ušteda energije – kontrolom rasvete - U prostorijama se postavljaju senzori prisustva i osvetljenosti, tako da se rasveta automatski uključuje i isključuje u zavisnosti da li se neko nalazi u prostoriji i da li je prirodno osvetljenje dovoljno.

Sigurnost pametne kuće - protiv provala - Uključivanjem alarmnog moda na centralnom displeju senzori prisustva koji se koriste i za kontrolu rasvete, grejanja i hlađenja prelaze u alarmni režim. Ukoliko dođe do provala, oglašava se alarmna sirena, pale se sva svetla u objektu, sistem vas obaveštava na telefon.

Sigurnost pametne kuće - tehnički alarmi - Na potencijalnim mestima uzroka opasnosti postavljaju se senzori poplave, gasa ili požara. U slučaju da neki od senzora odreaguje automatski se zatvaraju dovodi vode, gasa i električne energije, oglašava se alarm i sistem Vas obaveštava na telefon.

## 3.3. Primena KNX tehnologije u manjim stanovima i vikendicama

Inteligentni bus sistemi se više ne vezuju samo za luksuzno stanovanje. Zahvaljujući mogućnostima koje pružaju kao što su ušteda energije, povećanje sigurnosti i unapređenje životnog prostora bus sistemi postaju jedinstveni deo modernog stanovanja.

Multifunkcionalnost zidnih kontrolnih panela omogućava da se svi sistemi unutar prostorije kontrolišu sa jednog uređaja čime se znatno smanjuje broj uređaja za upravljanje u prostoriji. Veliki spektar dizajnerskih rešenja upravljačkih elemenata dodatno olakšava arhitektama i dizajnerima uklapanje u bilo koji enterijer.

Po veoma pristupačnoj ceni KNX tehnologija je omogućila da i ljudi sa ograničenim budžetom uživaju u komforu pametne kuće. Integracijom osnovnih elemenata pametne kuće korisnik dobija centralno i daljinsko upravljanje najbitnijim potrošačima u kući: klimatizacija, kotao za grejanje, bojler za sanitarnu vodu, centralno isključenje rasvete i određenih priključnica u stanu..., detekciju poplave i požara u kuhinji...

Primeri:

- **Korisnik se vraća sa odmora i telefonom uključuje bojler za toplu vodu i klima uređaj...**
- **Korisnik je napustio stan i nije siguran da li je isključio šporet, aplikacijom preko mobilnog telefona isključuje priključnicu za šporet...**
- **Korisnik ulazi u stan i pritiskom na samo jedan taster pokreće scenu „kući sam“, automatski**



**se dižu roletne, uključuju određena svjetla, utičnice za opšte potrošače dobijaju napajanje i star-  
tuje se muzika u dnevnoj sobi...**

### **3.4. Primena KNX tehnologije u hotelima**

Specijalno razvijena rešenja za hotele, pod KNX tehnologijom, značajno smanjuju početne investicije u materijalu, inženjeringu, instalacijama i održavanju. Široka paleta modernih i funkcionalno naprednih rešenja za hotel omogućava visoke uštede u potrošnji energije, gostima hotela pruža maksimalno iskustvo, osiguravajući vlasniku dobar profit i kratak period isplativosti investicije.

Funkcije koje podrazumeva KNX hotelski sistem:

- **Detekcija prisustva gosta i osoblja u sobi**
- **Prosleđivanje informacija „ne uznemiravaj“ i „očisti sobu“ osoblju na recepciji**
- **Prosleđivanje „SOS“ signala osoblju na recepciji**
- **Ekonomično upravljanje potrošnjom energije u sobama (ušteda i do 50%)**
- **Detekcija poplave u kupatilu**
- **Lako i centralizovano upravljanje i nadzor kompletnog sistema**
- **Pružiti gostu maksimalan komfor**

## **4. ZAKLJUČAK**

Današnji zahtevi po pitanju zaštite životne sredine imaju veliki uticaj na objekte u kojima živimo i radimo. Kako bi se smanjila potrošnja energije, kao i operativni troškovi zgrada potrebno je integrisati različite sisteme kao što su sigurnosni sistemi, sistemi upravljanja rasvetom, sistemi grejanja, hlađenja i ventilacije i drugi u jedinstven centralni sistem upravljanja. KNX centralni sistem upravljanja učiniće zgradu „inteligentnom“, odnosno omogućiti da svi sistemi unutar zgrade funkcionišu na zajedničkoj platformi.

Bilo da su u pitanju privatne kuće, muzeji, biblioteke, aerodromi, šoping molovi ili drugi objekti KNX sistem obezbeđuje idealnu temperaturu u svakoj pojedinačnoj prostoriji prema nameni, optimalan nivo svetla pritom maksimalno koristeći dnevno svetlo, pozicioniranje žaluzina u odnosu na položaj sunca kako bi se sprečio odsjaj i iskoristila ili blokirala sunčeva svetlost u slučaju potrebe za grejanjem ili hlađenjem objekta i na taj način pored velikih ušteda i smanjenja troškova pruža korisnicima i povećan komfor.

Veliki broj proizvođača i kvalifikovanih sistem integratora širom sveta omogućava širok spektar proizvoda koji su u potpunosti kompatibilni među sobom i na taj način čini KNX standard potpuno nezavisnim od pojedinačnih proizvođača, fleksibilnim u kreiranju idealnog sistema upravljanja i sigurnom investicijom u budućnost.

# INDUSTRIJSKI INTERNET STVARI: OSLOBAĐANJE PUNOG POTENCIJALA UMREŽENIH UREĐAJA I USLUGA U PODRUČJU ELEKTRANA

Ana Grbović  
EPCG

**Kratak sadržaj:** Tokom proteklih 15 godina, Internet revolucija je redefinisala način funkcionisanja medija, komunikacija, trgovine i finansijskih usluga. U narednih 10 godina, Industrijski Internet stvari (eng. Industrial Internet of Things, IIoT) će dramatično promijeniti proizvodni, energetske, poljoprivredni, prevozni i druge industrijske sektore. Za elektrane, jedna potencijalna prednost IIoT je integracija informacionih tehnologija (IT) i operativnih tehnologija (OT), tako da sve pozicije unutar kompanije mogu vidjeti i razumjeti sva ograničenja i mogućnosti sistema. Komunikacija između mašina (M2M), SCADA, distribuirani sistemi upravljanja i arhivirani podaci predstavljaju djelove IIoT, ali dok ovi djelovi često funkcionišu sa ograničenim međusobnim vezama, IIoT osigurava cloud platformu koja integriše sve djelove za dublju i bržu analizu, koja daje bogatiji uvid u proces donošenja odluka. Prediktivno održavanje je vjerovatno najočigledniji i najkorisniji segment IIoT tehnologije. Zamislite elektranu koja predviđa kvar određenog uređaja - a zatim automatski naručuje djelove koji su potrebni za popravku. Mnoge elektrane u Crnoj Gori već koriste neke digitalne senzore i sisteme praćenja za smanjenje neplaniranih zastoja i efikasnije planiranje remonta. Ipak, elektrane u Crnoj Gori i dalje rade korektivno održavanje, pa se još uvijek ne koriste usluge bazirane na oblaku (eng. cloud). Činjenica je da je IIoT u svojoj ranoj fazi razvoja, ali se može opisati kao nevidljivo i ambijentalno računarsko okruženje sastavljeno od mreže pametnih senzora, uređaja, softvera i masivnih podatkovnih centara. U referatu je razmotrena koncepcija IIoT, mogući uticaj na područje elektrana (termoelektrane, hidroelektrane, vjetroelektrane i elektrane na sunce), postojeće stanje sistema za vođenje procesa u elektranama u Crnoj Gori i mogućnosti koje pružaju nove tehnologije, kao i sigurnost informacija.

**Ključne riječi:** IIoT, aplikacija, digitalizacija, big data, elektrane, tradicionalni upravljački sistemi, IICS sistemi, sigurnost

## 1. OPŠTE

Živimo u svijetu aplikacija. One su postale toliko rasprostranjene u svakodnevnom životu da više i ne razmišljamo o tome: jedna aplikacija nas budi, dok nas druga izvještava o kvalitetu sna. Koristimo aplikacije za kretanje po gradu, čitanje knjiga, izbor restorana i filmova, pratimo našu težinu i tjelesnu aktivnost, upoznajemo prijatelje, slušamo muziku i pratimo vijesti. Život je postao aplikacija. Širom svijeta postoji blizu dva i po miliona razvojnih programera. To i jeste razlog zbog kog u potrošačkom svijetu postoje aplikacije za skoro sve.

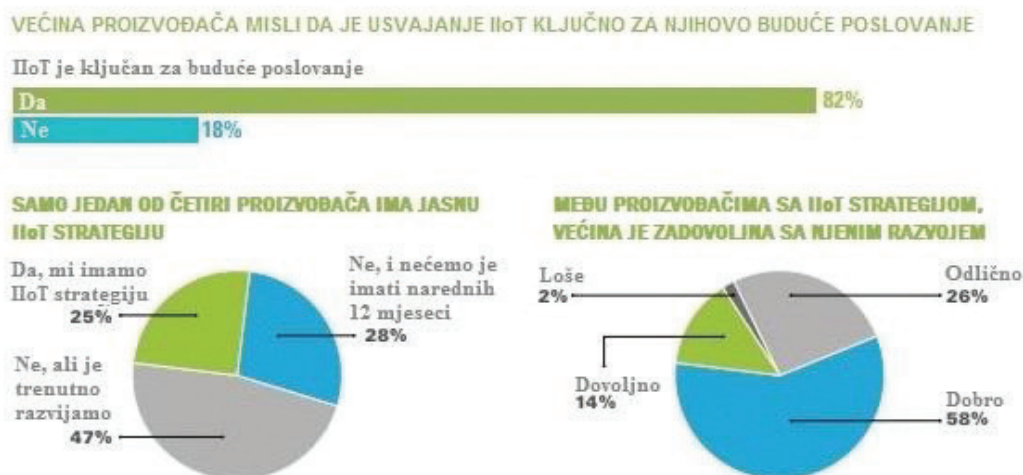
Sada se i mašine pridružuju toj igri. Industrijski svijet se povezuje na internet, dok podaci postaju prilično veliki. Istorijski, kada nove tehnologije postanu lakše za korišćenje, one počinju da transformišu industriju. To se upravo dešava sa podacima, s obzirom da nestaju barijere za implementaciju (visoka cijena opreme, računarska snaga itd.). Parne turbine, vjetroturbine, hidroturbine i mnogi drugi uređaji u elektranama počinju proizvoditi ogromne količine podataka. Do 2020. godine procjenjuje se da će 50 milijardi „stvari” biti povezane na internet, a ti međusobno povezani uređaji biće velikim dijelom industrijski uređaji [1].

Kako se međusobno povezuju, industrijske mašine će raditi upravo ono što i mi sada radimo - one će se oslanjati na aplikacije. Aplikacije će uticati na poboljšanje njihovog stanja, održavanje, komunikacije, itd. Već imamo aplikacije koje dopuštaju vjetroturbinama međusobnu komunikaciju i koordinaciju lopatica koje prate promjene vjetra kako bi se povećala snaga čitave vjetroelektrane. U pitanju je timski rad, omogućen industrijskom aplikacijom. Kreirane su i aplikacije koje kontinuirano provjeravaju stanje turbina i predviđaju kada će se vjerovatno dogoditi neka greška - kako bismo mogli intervenirati sa preventivnim održavanjem. Industrijski Internet već ima platforme (GE Digital – Predix, SAP – Leonardo i Siemens - Mindsphere) na kojoj programeri mogu eksperimentirati sa novim načinima poboljšanja efikasnosti i pouzdanosti u radu svih vrsta mašina. Ovakve platforme su neophodne u cilju iskorišćavanja resursa „Globalnog mozga” - distribuirane i povezane inteligencije miliona ljudi širom svijeta. Svijet potrošačkih aplikacija nije transformisao samo naše živote; on je stvorio značajne ekonomske vrijednosti. Predviđa se da će samo jedan procenat poboljšanja u industrijskoj produktivnosti dovesti do 8,6 biliona dolara u korist industrije do 2025 [2]. Industrijske aplikacije će koristiti postojeće i buduće fizičke objekte jednog od pokretača globalnog ekonomskog rasta - energetskog sektora. Sve to će omogućiti proizvodnju više energije iz obnovljivih izvora, koju ćemo kasnije koristiti efikasnije. Njihov uticaj na naše živote biće jači od potrošačkih aplikacija, iako to sada možda i nije toliko očigledno.

## 2. IIoT I POVEZANE INFORMACIONE TEHNOLOGIJE

Industrijski internet stvari (IIoT) je moderna fraza, koja zapravo predstavlja rad bez neplaniranih zastoja, optimizaciju sredstava i postavljanje produktivnosti tako gdje bi trebala biti. Industrijski internet bi trebao biti dva puta veći od potrošačkog interneta.

Genpact Institut je sproveo istraživanje i objavio studiju o trenutnom stanju IIoT, očekivanjima i primjeni IIoT tehnologije među vodećim proizvođačima u svijetu. Na uzorku od 173 ispitanika, među kojima je 5% iz sektora proizvodnje električne energije, četiri od pet proizvođača (82%) prepoznaje potencijal za bolje poslovanje i misli da će usvajanje IIoT biti ključno za njihovo budući razvoj. Kada je u pitanju strategija razvoja IIoT, samo jedan od četiri ispitanika ima jasnu IIoT strategiju.



Slika 1. Strategija razvoj IIoT u različitim industrijskim sektorima [3]

IIoT je u svojoj ranoj fazi razvoja, pa ne čudi podatak da je za mnoge IIoT još uvijek ekstravagantna ideja sa preuveličanim prikazanim benefitima.

Istraživanje ove vrste nije sprovedeno u industrijskom sektoru u Crnoj Gori.

## 2.1. Veliki podaci

Već nekoliko godina, veliki podaci su novost. Postoji premisa da su vrijednosti koje proizlaze iz velikih podataka (eng. big data) od izuzetne važnosti za sve idustrijske sektore, samim tim i za elektroenergetska postrojenja. Bilo je samo pitanje vremena kada će proizvodne jedinice i osoblje imati mogućnost za prikupljanje, analizu i smisleniju obradu velike količine podataka u realnom vremenu.

Big data je pojam koji označava velike i kompleksne skupove podataka, kod kojih tradicionalne aplikacije za obradu podataka nijesu primjenjive. Te skupove podataka karakterišu raznovrsnost formata, velike brzine obrade i pristupa, i veliki obim informacija [4].



Slika 2. Veliki podaci

Ukoliko pogledamo statistiku, samo 3% podataka koji se generišu sa različitih uređaja se zapravo koristi, tako da troškovi i skladištenje svih tih podata nekad predstavlja veću vrijednost od samih uređaja. Šta možemo uraditi kako bismo prestali samo skupljati podatke i početi izvlačiti korist iz njih? Koji problem u radu želimo riješiti? Ideja je da ISHOD dolazi na prvo mjesto, tj. okreće se pristup u radu sa podacima. Mora se prevazići tradicionalan pristup i način obrade podataka u kom se ne kreće od podataka, već od ishoda, tj. rezultata (Slika 2.).

### 2.1.1. Obrada podataka

Na scenu stupaju tri analitička modela obrade podataka: fizički, digitalni i empirijski.

Fizički model čine zakoni fizike, funkcije, pojašnjenje koju vrstu ishoda ćemo imati za određeni ulazni podatak (primjer hidroelektrane - nema vode, nema ni proizvodnje ili primjer vjetroelektrane-nema vjetra nema proizvodnje).

Kada govorimo o digitalnom, koriste se napredne aplikacije za klasifikaciju i kategorizaciju kako bi bili u mogućnosti predvidjeti neke događaje u budućnosti (naprimjer kvar nekog uređaja). Njima nije bitno odakle podaci dolaze (primjer - blackbox metode).

Treći je empirijski, i on je kritičan. Ovo je operatorska inteligencija, tj. ključno znanje, koje organizacije stvaraju i vremenom gube kada zaposleni odlaze u penziju ili mijenjaju radno mjesto. Postoje tehnike za prikupljanje tog znanja. Radi se zapravo o hibridizaciji ove tri postavke, model intersekcije ove tri pojave je zapravo prostor iz kog se mogu izvući vrijednosti kroz analitiku u industrijskom kontekstu.

## 2.1.2. Stvaranje novih vrijednosti uvidom u velike podatke

Ključ za isporuku proaktivne, povoljne usluge je centralno prikupljanje, analiziranje i donošenje odluka na temelju podataka koji se neprestano kreću od instaliranih senzora (uređaja koji mjere fizički kvantitet i konvertuju ga u signal koji može očitavati posmatrač ili instrument). Moderna industrijska oprema je jako instrumentirana i daje značaj svim svojim mehaničkim i elektroničkim komponentama – mjeri se sve od nivoa zaliha do temperaturnih odstupanja. Vodeće kompanije već koriste sofisticirane analitike, koje su bazirane na oblaku, za otkrivanje suptilnih varijacija u načinu na koji oprema radi i koristiti te informacije kao prediktivni pokazatelj budućih problema i zastoja. Ukoliko dođe do problema, ti podaci omogućavaju bogatu dijagnostiku koja može procijeniti trenutno stanje opreme i utvrditi šta je prourokovalo određeni kvar na sistemu.

## 2.2. Edge computing i cloud computing

Edge computing (računarstvo na rubu mreže) nije novi koncept, već skup nekoliko trendova u cilju stvaranja prilika koje bi pomogle elektranama da velike količine podataka pretvore u djelotvornu inteligenciju bližu samom izvoru podataka. Dok je cloud computing (računarstvo u oblaku) glavni preduslov za industrijsku transformaciju, računarstvo na rubu postaje ključni dio digitalne transformacije industrije.

U kontekstu IIoT, “edge” se odnosi na računarsku infrastrukturu koja postoji u blizini izvora podataka, na primjer, industrijske mašina (kao što su vjetroturbine), industrijski kontroleri (kao što je SCADA sistem) i baze podataka (koje prikupljaju podatke sa različite opreme i senzora). Ti uređaji se obično nalaze izvan centralizovanog računarstva dostupnog u oblaku [5].

Wikipedija definiše računarstvo na rubu kao “pomjerenje granica aplikacija, podataka i usluga do logičnih krajeva mreže. Omogućuje se analitika i prikupljanje podataka kod samog izvora podataka.”

Iako taj koncept nije nov, postoji nekoliko ključnih pokretača koji ga danas čine održivim:

- **Troškovi računara i senzora i dalje padaju,**
- **Veći kapaciteti manjih uređaja (kao što su gateway ili senzorski hub)**
- **Sve veće količine podataka sa mašina i/ili okoline (npr. vremenski uslovi ili tržišne cijene),**
- **Sticanje znanja o mašinama kroz analitike.**

Poslovne primjene ove tehnologije su zanimljive. Iako postoje mnogi ishodi koje je moguće obezbijediti industrijskim organizacijama, Edge Computing Consortium identifikuje sljedeće:

- **Prediktivno održavanje (smanjenje troškova, obezbjeđenje sigurnosti, produženje proizvodno-usluga (novi prihodi))**
- **Upravljanje energetsom efikasnošću (niža potrošnja energije, niži troškovi održavanja, veća pouzdanost)**
- **Pametna proizvodnja (povećani zahtjevi kupaca ukazuju na to da se životni vijek proizvoda značajno smanjio pa se proizvode manje količine opreme)**
- **Fleksibilna zamjena uređaja (fleksibilno prilagođavanje proizvodnog plana, brzo uspostavljanje novih procesa i modela)**

Da bi industrijske kompanije u potpunosti shvatile vrijednost ogromnih količina podataka koje generišu mašine, računarstvo na rubu i računarstvo u oblaku moraju raditi zajedno. Kada se uzmu u obzir ove dvije tehnologije, koristi se jedna ili obje u zavisnosti od situacije u zavisnosti od ishoda koji želimo postići. Primjene li se na IIoT, tj. rub na jednoj strani i oblak na drugoj, može se uvideti kako će u određenim situacijama rub igrati glavnu ulogu, dok će u drugim situacijama oblak uzeti vodeću poziciju. Takođe, biće situacija u kojima će obje strane biti podjednako zastupljene [5].

## 2.3. IIoT platforme, kreirane specijalno za industrijske aplikacije

Predix, Leonardo i Mindsphere su IIoT platforme kreirane isključivo za industrijske potrebe. Predix pretvara podatke u uticajne analitičke sadržaje zasnovane na jednovjekovnoj industrijskoj nauci i naprednim tehnikama, kao što su digitalni twin i rub-oblak računarstvo, pri čemu se optimizuju sredstva i operacije.

Kreiran specijalno za industriju, Predix predstavlja platformu za industrijsku inovaciju, evoluciju i transformaciju. On obezbjeđuje pojedincima, timovima i organizacijama alat neophodan za izgradnju buduće digitalne industrije.

Za kompanije koje pokušavaju da iz svakog uređaja izvuku maksimum, Predix pruža zajednički model “plug-and-play” za međusobno povezivanje mašina sa oblakom bez obzira na proizvođača ili starost - pojednostavljujući povezivanje i upravljanje. Na ovaj način, bez obzira na postojeću konfiguraciju, na jednostavan i brz način počinje se sa upotrebom Industrijskog Interneta [6].

## 2.4. Field agent tehnologija

Dok se krećemo ka IIoT, porast povezanih uređaja i aplikacija koje djeluju na rubu mreže pokazat će se kao ključni trend u automatizaciji i upravljanju. Field agent tehnologija omogućava brzu implementaciju sofisticiranih aplikacija za monitoring i prikupljanje podataka bez ometanja proizvodnog procesa.

Potencijalni dobici su mogućnost sigurnog prikupljanja, analitika širokog spektra podataka i implementacija prediktivnih algoritama za daljinsko praćenje i dijagnostiku problema na mašinama. Jedan od faktora koji čini ove rubne uređaje posebno atraktivnim je mogućnost njihovog korišćenja kao “testbed” aplikacije, gdje se prikupljanje podataka može sprovesti lako, sa minimalnim ometanjem internih mreža upotrebom alata koji pojednostavnjuju integraciju sa platformama u oblaku.

Ovo rješenje je osmišljeno kako bi se obezbjedio predkonfigurisani hardver/softver za sigurno prikupljanje i prenos podataka sa mašina i omogućila povezanost sa nekom od platformi u oblaku. Omogućuje se siguran pristup ne samo tradicionalnim podacima na nivou mašina, već i podacima iz poslovnih sistema i drugih spoljašnjih izvora, kao što su podaci objavljeni na internetu.

Na primjer, ukoliko na poslovanje utiču cijena uglja ili vremenske prilike, FA tehnologija se može podesiti da pristupi i povuče ove spoljašnje izvore podataka.

Podaci se zatim obrađuju na aplikaciji koja je pokrenuta na Field agentu, i oni tada mogu uticati na rad mašine.

## 2.5. Digitalni twin

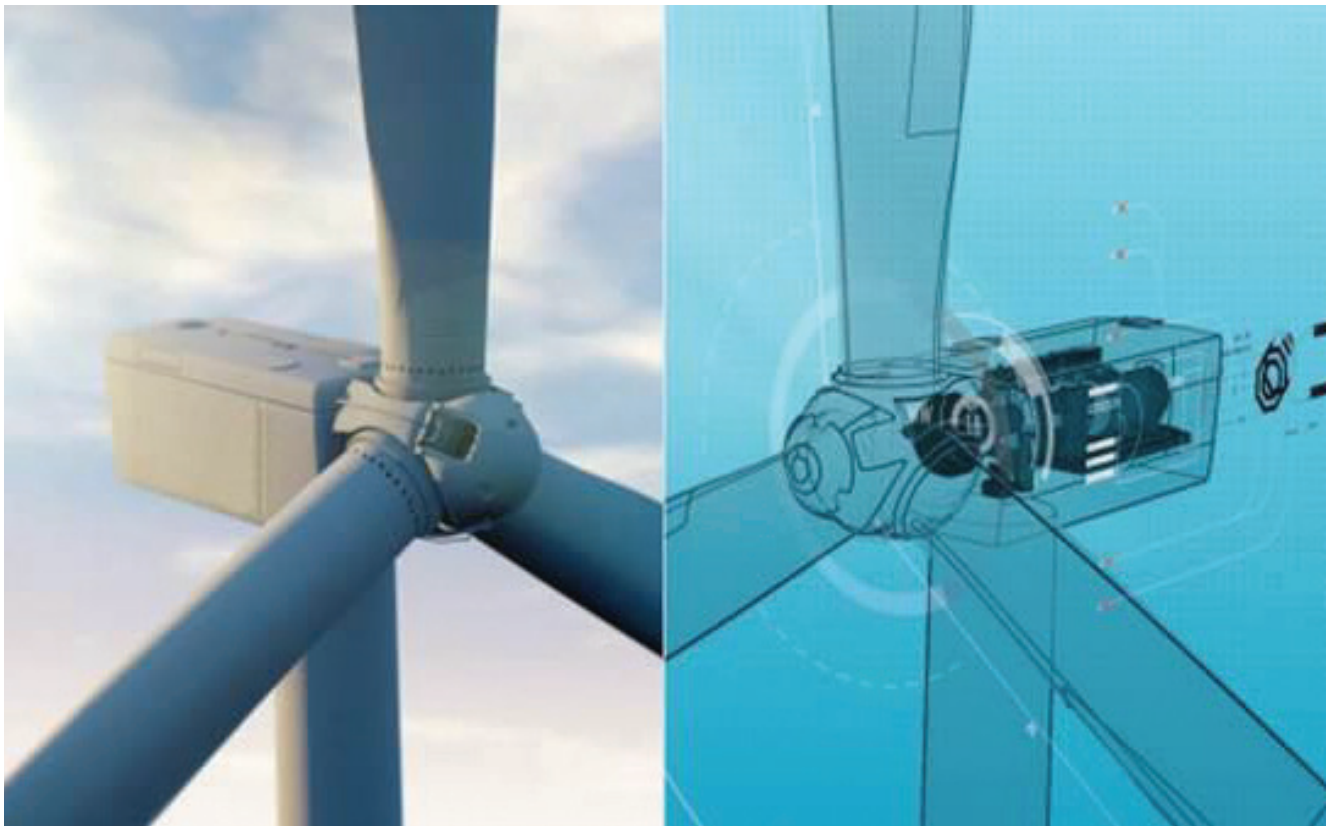
Svaku novu tehnologiju prati veliki publicitet. Ovih dana, poseban fokus je na Internetu stvari (IoT), dok je za industriju interesantna tehnologija digitalnog twin-a. Gartner je tehnologiju digitalnog twin-a uvrstio među top 10 strateških tehnoloških trendova za 2017. godinu.

Najranija referenca za ovaj pojam datira iz 2002. godine i ima veze sa proizvodnjom složenih sistema kao što su avioni. Početni koncept bio je stvoriti digitalni model fizičkog sistema prije nego što se krene sa njegovom izgradnjom.

Na taj način, testovi i simulacije se mogu izvršiti unaprijed, čime se prije izrade potvrđuje projekat i konačno štedi napor, vrijeme i novac.

Prelaskom sa modela ili nacрта na izgradnju objekta, započinje prelazak iz digitalnog u fizički svijet. Sada govorimo o “Digitalnom Twin-u”, koji ima specifičnosti pojedinog objekta - digitalni prikaz sada je uparen sa stvarnim fizičkim objektom [7].

Fizički svijet već je prošao kroz revoluciju - pogotovo u industriji - gdje možemo opremiti mašine i



Slika 3. Vjetroturbina i njen digitalni twin [8]

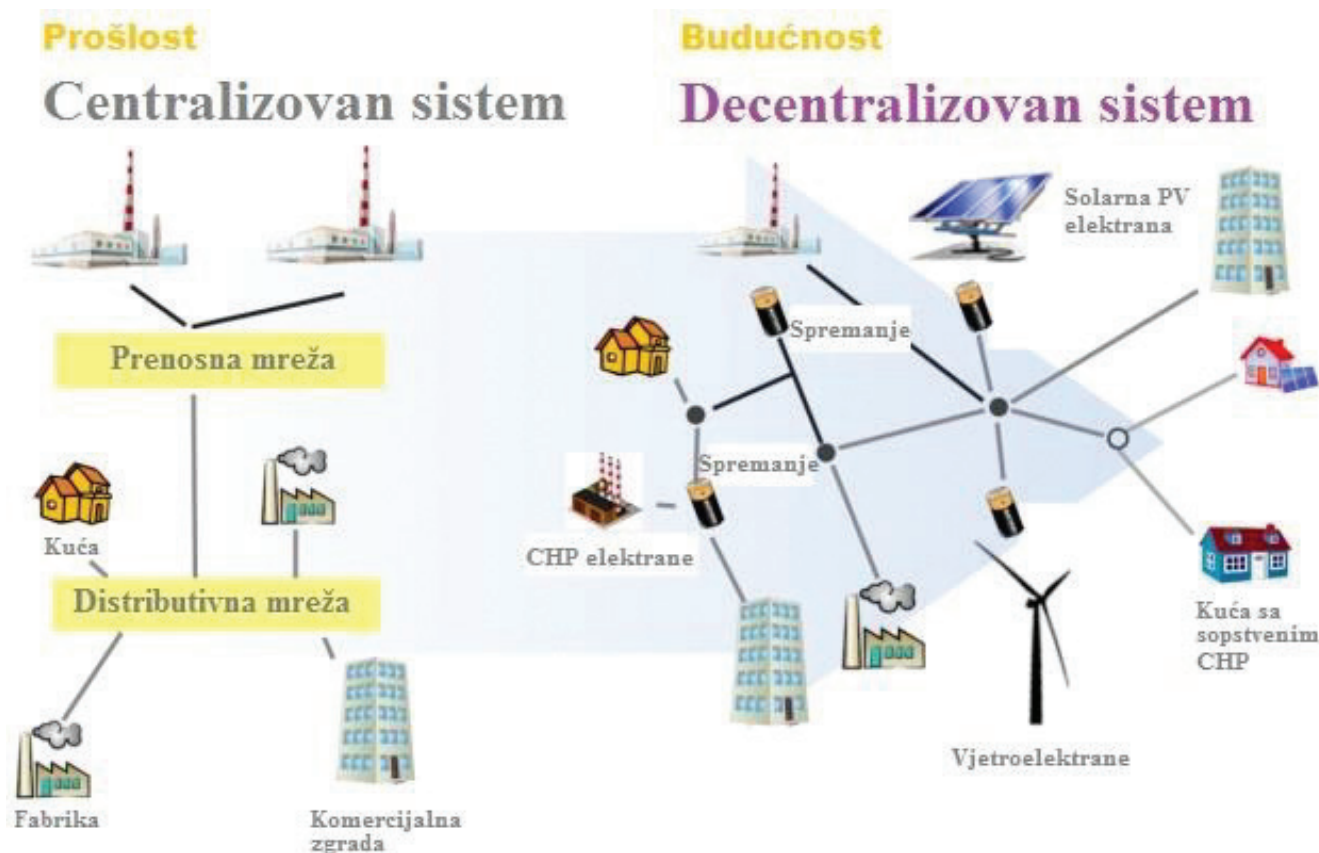
opremu sa sensorima i aktuatorima (mehaničke naprave koje upravljaju nečim), nadzirati i upravljati sistemima digitalno. Povezujući fizički sistem sa digitalnim twinom, može se početi sa akumuliranjem informacija o radu sistema s kojim su povezani. Zatim se ide korak dalje – dodaje se više podataka kako bi se obogatio digitalni twin hvatanjem podataka iz okoline, kao što su lokacija, vremenske prilike i opšte informacije, kao što su usluge, finansijski modeli itd.

Rezultat: elektrane završavaju sa digitalnom strukturom koji zna sve o projektu, objektu i proizvodnji, prošlosti i trenutnom radu i servisiranju fizičkog sistema. Ako se svemu doda inteligencija u oblaku i druge algoritamske tehnike, kao što je učenje o mašinama, proces predviđanja i ranih upozorenja može započeti brže nego ikad prije.

### **3. DIGITALIZACIJA: REDEFINISANJE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

#### **3.1. Industrijski internet stvari (IIoT) i elektroenergetski sektor Crne Gore**

Od izgradnje prvih proizvodnih pogona u Crnoj Gori, industrija proizvodnje električne energije je postavljena na sljedeći način: velike i male centralizovane elektrane i visokonaponske prenosne mreže koje šalju električnu energiju do trafostanica, koje zatim distribuiraju električnu energiju u domove i poslovne subjekte.



Slika 4. Paradigma razvoja elektroenergetike u Crnoj Gori

Te velike i male elektrane i visokonaponske dalekovodne linije su i dalje dio jednačine, kojoj se pridružuju elektrane na sunce, vjetroelektrane, mikro mreže, baterije za skladištenje energije i još mnogo toga, kao što je prikazano na slici 4. Povezivanje ovih tehnologija na postojeće mreže i svi mogući scenariji koje nam budućnost donosi zahtijeva ozbiljan IT remont [9].

Sveobuhvatna strategija razvoja energetike Crne Gore do 2030. godine, koja nastoji obnoviti, ojačati i modernizirati energetske sistem, navodi sljedeće glavne prioritete do 2030. godine:

Tabela 1. Glavni prioriteti Energetske politike Crne Gore do 2030. godine [10]

1 Sigurnost snabdijevanja energijom
2 Razvoj konkurentnog tržišta energije
3 Održiv energetske razvoj

Crna Gora kao jedna od potpisnica Sporazuma o foriranju energetske zajednice ima obaveze harmonizacije zakonodavstva sa EU direktivama iz oblasti energetike. Takođe, ona ima za cilj dostizanje udjela energije iz obnovljivih izvora od 33 % u ukupnoj bruto potrošnji.

### 3.2. Industrijski internet stvari (IIoT) i hidroelektrane u Crnoj Gori

Hidropotencijal u Crnoj Gori je i dalje najvažniji energetske resurs, koji teoretski iznosi 9846 GWh/god. sa glavnih vodotoka, od čega je iskorišćeno svega oko 17 odsto. Planirana je izgradnja 41 male hidroelektrane sa planiranom godišnjom proizvodnjom od ukupno 244 GWh [11].

HE Perućica, sa instaliranom snagom od 307 MW, predstavlja jednu od dvije velike hidroelektrane u Crnoj Gori. Ova elektrana je 2004. godine implementirala PCS7 (eng. Process control system), sistem



za vođenje procesa posebno koncipiran za fleksibilno korišćenje u području elektrana. U zavisnosti od opsega naloga ovaj sistem može obaviti veliki broj funkcija potrebnih za svrhu automatizacije proizvodnog procesa. Ipak, savremena industrijska proizvodnja zahtijeva brzo prilagođenje trendovima tržišta i promjenama poslovanja. U kontekstu IIoT sistem se smatra tradicionalnim, s obzirom da ne koristi usluge oblaka i ostale napredne tehnologije.

HE Perućica je jedina elektrana u Crnoj Gori koja pruža usluge grupne regulacije (GR). IIoT rješenje bi moglo zadržati već postojeću GR aplikaciju na rubu uz eventualne korekcije i uključivanje svih 7 agregata u GR, čime bi se povećao kapacitet za regulaciju. Izlazni i ulazni podaci bi se razmijenjivali sa oblakom. Na taj način bi svi podaci bili dostupni ostalim sistemima za brzu i laksu analizu, na primjer poslovnom sistemu u EPCG koji vrši obračun pružene usluge i Crnogorskom Elektroprenosnom sistemu (CGES) koji koristi ove usluge.

Do 2020. godine, predviđeno je proširenje i rekonstrukcija PCS7 sistema.

HE Piva, čija je instalirana snaga 342MW, je 2013. godine ugradila sistem za upravljanje i akviziciju podataka na nivou elektrane. Implementacijom Zenon scade povećana je fleksibilnost sistema, smanjeno je ožičenje i ostavljen prostor za lakšu integraciju u nadređene sistema upravljanja. Sa više od 300 podržanih komunikacijskih protokola i upravljačkih programa, sistem pruža mogućnost jednostavnog povezivanja sa oblakom i postaje ključna komponenta u Industrijskom Internetu stvari.

Male elektrane u vlasništvu EPCG zahtijevaju ozbiljan IT remont.

### **3.5. Industrijski internet stvari (IIoT) i termoelektrane u Crnoj Gori**

SPPA-T3000 je distribuiran kontrolni sistem implementiran 2009. godine u TE Pljevlja, koji omogućava jednostavno i efikasno upravljanje i kontrolu procesa u elektranama. DCS, koji je u stanju da realizuje funkcije mjerenja, upravljanja, regulacije, signalizacije, tehnoloških zaštita, nadzora, praćenja ekonomičnosti rada bloka, razmjene potrebnih podataka sa ostalim sistemima na bloku i pripreme podataka u DCS-u za prikaz na postojećoj računarskoj mreži EPCG. U kontekstu IIoT sistem se smatra tradicionalnim, s obzirom da ne koristi usluge oblaka i ostale napredne tehnologije.

Da bi elektrane ovog tipa ostale profitabilne, dok kontrolišu emisije štetnih gasova, potrebna je veća operativna fleksibilnost nego ikada ranije. Ovdje na scenu stupa IIoT. S hiljadama dostupnih arhiviranih i realnih vremenskih podataka, operateri mogu iskoristiti snagu podataka i analitike kako bi donijeli bolje odluke o tome kako pokrenuti postrojenja na najoptimalniji način.

Nove mogućnosti, kao što je npr. dinamičko praćenje omogućava proizvođačima da sačuvaju MWh tokom slabijih tržišnih uslova. Primjer parnih turbina, čiji se rad prilagođava radnim uslovima i ključnim postavnim vrijednostima. Da bi se podržala ova tehnologija, neophodan je visok kapacitet rubne računarske platforme koja se bezbjedno povezuje sa upravljačkom opremom, dok istovremeno komunicira sa platformom u oblaku zbog prikupljanja spoljašnjih podataka.

### **3.2. Industrijski internet stvari (IIoT) i solarne elektrane u Crnoj Gori**

Crna Gora pokazuje veliki potencijal za uvođenje sistema za korišćenje solarne energije, budući da broj časova sijanja sunca (insolacija) iznosi preko 2.000 časova godišnje za veći dio teritorije Crne Gore. Ukupna instalirana snaga postojećih i solarnih elektrana čija je realizacija započeta je 6,1 MW sa očekivanom godišnjom proizvodnjom od oko 10 GWh.

Budući da su razdoblja idealnih vremenskih uslova toliko dragocjena, bitno je izbjeći neplanirano vrijeme zastoja. Sunce neće jače sijati, ali bi IIoT mogao pomoći u efikasnijem korišćenju solarnih elektrana. Uzmimo za primjer da se došlo do kvara nekog uređaja u solarnoj elektrani.

U zavisnosti od problema, inženjer možda treba potražiti neophodne djelove prije otklanjanja problema. Ovi odlasci i dolasci na udaljenu lokaciju oduzimaju vrijeme, uz već prethodnu dugotrajnu dijagnostiku i naknadnu popravku. Sve ovo se računa kao zastoj, koji se može odvijati na sunčanom danu kada bi solarne elektrane trebale biti na vrhunacu produktivnosti.

Ne postoji informacija o implementaciji IIoT u solarnim elektranama u Crnoj Gori. Ipak, bitno je pomenuti da nove tehnologije operatorima daju mogućnost daljinskog nadzora, kako bi se lakše otkrili rani kvarovi komponenata, kao što su na primjer pretvarači. Moguće je nadgledati solarne elektrane sa opremom bilo kog proizvođača, što znači da bez obzira na to kada je solarna elektrana izgrađena ili ko ju je izgradio, operatori i dalje mogu imati koristi iz realnih vremenskih podataka.

### **3.3. Industrijski internet stvari (IIoT) i vjetroelektrane u Crnoj Gori**

Ukupna instalisana snaga vjetroelektrane Krnovo je 72 MW. Vođenje procesa je obezbeđeno implementacijom GE SCADE. Očekuje se da će vjetroelektrana Možura sa instalisanom snagom 48 MW početi sa radom tokom 2018. godine. Crna Gora bi sa ovim elektranama trebala dobiti oko 300 GWh na godišnjem nivou, 200 GWh iz vjetroelektrane Krnovo i oko 98 GWh iz vjetroelektrane Možura.

U eri IIoT vjetroelektrane započinju svoj radni vijek kao digitalni twin, računarski model vjetroelektrane. Model omogućuje inženjerima da izaberu između čak 20 različitih konfiguracija turbina - od visine stuba do prečnika rotora i snage turbine - nakon čega se kreira najefikasniji dvojni vjetroelektrane u stvarnom svijetu. "Trenutno vjetroturbine dolaze u određenim veličinama, poput majica. Ali novi modularni dizajn omogućava izgradnju turbina po mjeri za svaku lokaciju", kaže Ganesh Bell, šef digitalnog sektora u kompaniji GE Power & Water. To je samo polovina priče. Baš kao i ostale tehnologije, digitalni twin će zadržati podatke koji dolaze iz vjetroelektrane i ponuditi predloge za još djelotvorniji rad, zasnovan na softverskom djelovanju. Na primjer, operatori će te podatke moći koristiti za kontrolu buke. Ako postoji naselje u blizini vjetroelektrane, brzina rotora se može promijeniti u zavisnosti od smjera vjetra i ostati ispod praga buke.

Ovakva situacija u energetske sektoru iziskuje dodatno angažovanje, ne samo energetske, već i svih privrednih subjekata, kao i nadležnih organa u Crnoj Gori, u cilju obezbjeđenja sigurnog snabdjevanja električnom energijom.

Funkcionisanje svih budućih scenarija, kreiranih za poboljšanje globalnih performansi i stvaranje novih vrijednosti i novih poslovnih modela neće biti moguće bez digitalne transformacije u sektoru proizvodnje električne energije. Jedini način da neka elektrana poveća produktivnost je tako što će kroz digitalizaciju to odraditi sama za sebe.

## **4. SISTEMI ZA VOĐENJE PROCESA (IICS) OPTIMIZIRANI ZA INDUSTRIJSKI INTERNET STVARI (IIoT)**

Sistemi za vođenje procesa za IIoT predstavljaju prirodnu evoluciju tradicionalnih upravljačkih sistema (SCADA, DCS) trenutno prisutnih u većini elektranu u Crnoj Gori.

Napredak u računarstvu je omogućio kompleksnije upravljanje proizvodnim procesima i opremom, s obzirom da sistemi za vođenje procesa više nijesu samo pasivni uređaji, nepovezani sa poslovnim sistemima.

U posljednjih nekoliko decenija uslijedio je brz porast veličine, distribucije i složenosti upravljačkih sistema. Sada, u doba Industrijskog Interneta, uticanjem na poslovne ishode u realnom vremenu, napretkom u mogućnostima upravljanja zasnovanog na modelu, nova paradigma u industrijskom upravljanju postaje moguća: upravljanje procesima putem povezane i optimizirane platforme, fokusirane na poboljšanje poslovnih ishoda, a ne samo na ponašanje izolovanog dijela opreme [12].

Poboljšana je snaga, komunikacija i sigurnost upravljačke platforme. Sa novim softverskim rješenjima definisane su mogućnosti implementacije složenih modela i rubnih industrijskih sistema. Transformacijom opreme u pametne mašine omogućena je međusobna komunikacija preko platformi za analizu (npr. Predix, Leonardo i Mindsphere). Sa IIoT optimizacijom u realnom vremenu, algoritmi koriste operativne ciljeve i ograničenja za dinamičko navođenje upravljačkog sistema na optimalno vođenje procesa u bilo kom trenutku.

## 4.1. Ograničenja tradicionalnih sistema za vođenje procesa

Podizanje produktivnosti na veći nivo će iz više razloga biti izuzetno teško za elektrane sa tradicionalnim sistemima za vođenje procesa. Neki od njih su ograničena veličina podataka na programabilnim logičkim kontrolerima, stari programski jezici i ograničena vizuelizacija opreme.

Današnji (tradicionalni sistemi prisutni u većini elektrana u Crnoj Gori) sistemi su ograničeni u sposobnosti analize podataka, uglavnom zbog programerske paradigme – oni su napravljeni za sisteme koji očitavaju ulazne podatke sa mašina ili ih dobijaju od operatora. Čak iako je kompanija uložila sredstva u novi sistem upravljanja i dalje će imati poteškoća kod postizanja viših nivoa produktivnosti zbog programerskih izazova.

Drugi element je monolitna logika. Aplikacije su realizovane za jednu primjenu. Izmjene u aplikaciji stvaraju rizike u smislu ažuriranja djelova opreme, što može uticati na rad mašine i prekid njenog rada na određeno vrijeme.

Tradicionalni sistemi za vođenje procesa imaju pridružene HMI SCADA sisteme koji prikupljaju podatke sa mašina ili iz postrojenja. Izazov ovih sistema je ograničena mogućnost nadzora svih uređaja koji se nalaze u elektranama. Oni rade sa ograničenim opsegom podataka dostupnih kontroleru: ulazi/izlazi, postavne vrijednosti, blokade, itd.

Takođe, tradicionalni sistemi nisu dizajnirani za jednostavno integrisanje sa poslovnim sistemima ili drugim spoljašnjim izvorima podataka.

## 4.2. Rješenja problema tradicionalnih sistema za vođenje procesa

Sistemi za vođenje procesa u doba Industrijskog Interneta (IIoT) su osmišljeni kako bi pomogli elektranama da prevaziđu izazove tradicionalnih upravljačkih sistema.

Ugradnjom Field agent tehnologije, omogućuje se siguran pristup ne samo tradicionalnim podacima na nivou mašina, već i podacima iz poslovnih sistema i drugih spoljašnjih izvora, kao što su podaci objavljeni na internetu.

Na primjer, ukoliko na poslovanje utiču cijena uglja ili vremenske prilike, FA tehnologija se može podesiti da pristupi i povuče ove spoljašnje izvore podataka.

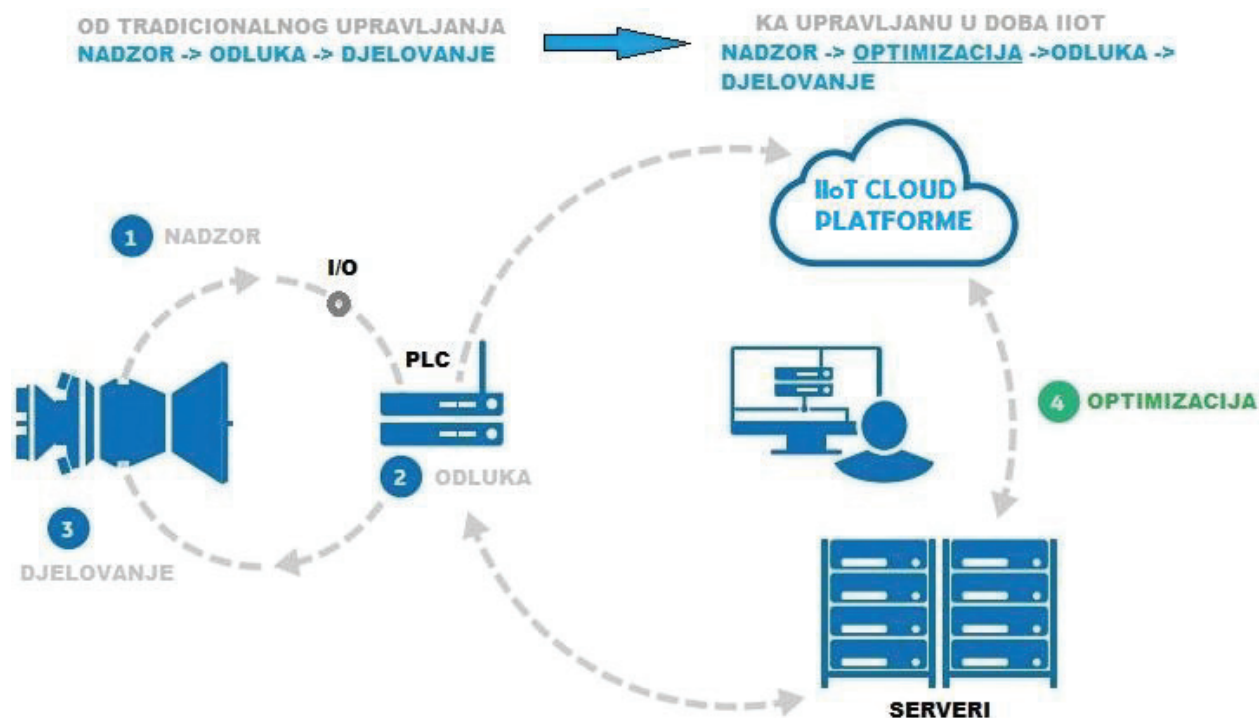
Podaci se zatim obrađuju na aplikaciji koja je pokrenuta na Field agentu, i oni tada mogu uticati na način rada mašine.

Problem monolitne logike se rješava kreiranjem programske paradigme na temelju paralelnog aplikacionog modela. Analitika je pokrenuta u Field Agentu, i povezuje se sa aplikacijom kontrolera. Koristeći ovaj model, analitika se može kreirati i razmještati tokom vremena bez izmjena na kontroleru, što bi zahtijevalo neisplativo isključivanje.

Problem nadzora svih uređaja rješava se obezbjeđivanjem platforme koja objedinjuje analitike sa svih objekata iz različitih geografskih područja. Na taj način je omogućeno prikupljanje podataka, sprovođenje analitike i prepoznavanje uzoraka i rizika skupa mašina u odnosu na jednu mašinu. Kada se uzorci jednom identifikuju, korisnik kreira algoritme koji se mogu izvoditi u oblaku ili na nivou mašine, umanjujući troškove prenosa podataka i poboljšavajući brzine povratnih informacija [13].

### 4.3. Primjena IICS sistema u elektranama koje žele unaprijediti poslovanje

Veliki proizvođači upravljačke opreme kontinuirano traže nove načine za poboljšanje efikasnosti poslovanja u proizvodnji električne energije. Kako bi se zadovoljile potrebe tržišta konstantno se nastoje uravnotežiti zahtjevi održavanja postrojenja i planirane proizvodnje. Razvijaju se jedinstveni prikazi i analitike koje olakšavaju donošenje kratkoročnih i dugoročnih odluka koje mogu poboljšati profitabilnost elektrane.



Slika 5. Uporedni prikaz načina rada tradicionalnih sistema za vođenje procesa i IICS sistema

Na slici 5. prikazan je uporedni rad tradicionalnih upravljačkih sistema i IICS sistema. Tradicionalni sistema upravljanja u svom djelovanju sprovode sljedeća tri koraka:

**NADZOR:** Preko ulazno/izlaznih modula prikupljaju se sve informacije o stanju procesa kojim se upravlja.

**ODLUKA:** Donosi se odluka o djelovanju opreme ili proizvodnom procesu.

**DJELOVANJE:** Prosljeđuje se skup instrukcija ka aktuatoru.

IICS sistem nudi još jednu mogućnost, koja je realizovana kroz optimizaciju,

**OPTIMIZACIJA:** IICS sistem može iskoristiti podatke koji stižu izvan opreme, lokalnog procesa, pa čak i elektrane radi poboljšanja poslovnih ishoda.

Pilot studije pokazuju da dolazi 2-3% poboljšanja u proizvodnji MWh, bez ikakvog uticaja na planirane zastoje [13].

## 5. SIGURNOST IICS SISTEMA

U svijetu sigurnosti informacija, povjerljivost, integritet i dostupnost predstavljaju trijadu od najveće važnosti. Kod sigurnosti operacija, glavni prioriteti su sigurnost i dostupnost.

Kada je u pitanju sigurnost savremenih upravljačkih sistema - kao što su turbine, generatori i upravljački uređaji - u pitanju je mnogo više. Dok se mnoge elektrane u Crnoj Gori mogu posmatrati kao zatvoreni sistemi, instalacija novih kontrolera, nadogradnja postojećih sistema i integracija sa

IT mrežama uvode nove rizike po sigurnost IICS sistema. U žurbi da se izvuku nove vrijednosti iz naprednih tehnologija, proizvodna okruženja često previdaju ozbiljne posljedice od sajber incidenta.

Postoje rješenja za sigurnost IICS sistema koja pružaju mnogo bolju otpornost mreža i povezuju kritične elemente sistema, neprekidan rad, dostupnost i proizvodnju. Komunikacija i komande se kontinuirano prate, pružajući uvid u sve što se događa u cijelom sistemu. Ove inspekcijske tehnologije omogućavaju prepoznavanje i primjenjivanje pravila na svim nivoima, kako bi zlonamjerne aktivnosti bile blokirane. Sve te akcije mogu pomoći u izbjegavanju skupih grešaka koje dovode do neplaniranih zastoja u proizvodnji.

## 6. ZAKLJUČAK

Novе tehnologije su vrijedne, s ozbirom da je moguće integrisati istoriju podataka i podatke nastale u realnom vremenu iz različitih djelova elektrane sa poslovnim sistemima kao što su, tržište, vremenska prognoza itd., da bi konačno stigli do analize velikih podataka. Plan novih platformi je analiza podataka koja obezbijeduje optimizaciju radi bržeg i isplativijeg poslovanja. Jedna od najvećih razlika oko koje se svi slažu, a tiče novih tehnologija i onoga što je prethodilo u industriji, jeste to da nove platforme integrišu sve što već postoji, dodajući i nekoliko novih mogućnosti, kako bi se korisnicima omogućio pristup korisnim informacijama.

Postojeće elektrane u Crnoj Gori imaju mogućnost unaprijeđenja produktivnosti korišćenjem novih tehnologija, dok bi sve buduće elektrane trebale imati jasnu strategiju za implementaciju IIoT.

Oblak i rub su oboje neophodni za industrijske operacije kako bismo dobili najviše vrijednosti iz današnjih sofisticiranih, raznovrsnih i velikih podataka koji se nalaze u oblaku i rubu, u zavisnosti od ishoda koje želimo postići. Takođe, postoje rješenja za sigurnost IICS sistema koja pružaju mnogo bolju otpornost mreža i povezuju kritične elemente sistema, neprekidan rad, dostupnost i proizvodnju.

## LITERATURA

1. B. Marr, "Beyond a big data buzz", Kogan Page, 2017, pp. 4.
  2. Wurldtech, "Securing Industry in the Digital Age", 2016, pp. 2.
  3. Genpact research insitute, "2016 Reality check:Transforming Industrial Businesses with the Internet of Things", 2016. <http://www.genpact.com/downloadable-content/genpact-iw-report-final.pdf>
  4. B. Radenković, M. Despotović-Zrakić, Z. Bogdanović, D. Barać, A. Labus, "Elektronsko poslovanje", Fakultet organizacionih nauka, 2015
  5. GE Digital, "What is EDGE computing", June 10, 2016. <https://www.ge.com/digital/blog/what-edge-computing>.
  6. GE press release, "GE to Open Up Predix Industrial Internet Platform to All Users". October 9, 2014
  7. General Electric, "The Digital Twin: Compressing Time to Value for Digital Industrial Companies", 2016, pp. 5.
  8. Tomas Kellner, "Wind in the cloud?", September 2015. <http://www.ge.com/reports/post/119300678660/wind-in-the-cloud-how-the-digital-wind-farm-will/>
  9. John Farel, "Why we should democratize the Electricity System", August 23, 2011. <https://cleantechnica.com/2011/08/23/why-we-should-democratize-the-electricity-system-part-1/>
  10. Ministarstvo ekonomije Crne Gore, "Strategija Razvoja Energetike Crne Gore do 2030. godine", Maj 2014
  11. Privredna komora Crne Gore, "Potencijal obnovljivih izvora energije", Maj 2015 <http://www.privrednakomora.me/announcements/potencijal-obnovljivih-izvora-energije>
  12. Vibhoosh Gupta, "A journey into the future of controls: Let's go where no one has gonebefore", GE blog, June 10, 2016. <http://www.geautomation.com/blog/journey-future-controls-let%E2%80%99s-go-where-noone-has-gone>
- GE Energy Connections, "Industrial Internet Control System", 2017. [http://www.geautomation.com/system/files/files/industrial\\_internet\\_control\\_system\\_brochure\\_gfa2132.pdf](http://www.geautomation.com/system/files/files/industrial_internet_control_system_brochure_gfa2132.pdf).

# MODERNIZACIJA SISTEMA ZA DALJINSKI NADZOR I UPRAVLJANJE U CGES-U

mr Mimo Mirković, dipl.el.ing. | Ivan Asanović, dipl.el.ing.  
Miljan Jovović, dipl.el.ing. | Krsto Radulović, dipl.el.ing.  
CGES a.d.

**Kratak sadržaj:** Razvojem informacionih tehnologija i računarske tehnike započelo je i osavremenjavanje sistema za nadzor i upravljanje koji se koriste u NDC-u (Nacionalni dispečerski centar). Prije dvadesetak godina je u NDC-u samostalno razvijen prvi moderni sistem upravljanja – SCADA (System Control And Data Aquisition), koji je predstavljao veliki tehnološki iskorak u obavljanju ovog posla. Vremenom sistem je proširen i unaprijeđen u skladu sa novim tehnologijama, potrebama savremenog dispečinga, ali i sve većim zahtjevima evropskog udruženja operatora prenosne mreže-ENTSOe (European Network of Transmission System Operators for Electricity).

Međutim, kako su obaveze i zadaci koji se postavljaju pred savremene dispečerske centre visokonaponske, elektroenergetske mreže sve veći i kompleksniji, temeljna modernizacija sistema upravljanja su postala neminovnost. U nastojanju da odgovori zahtjevima posla, Crnogorski elektroprenosni sistem-CGES je pokrenuo niz projekata koji se odnose na modernizaciju i unapređenje upravljačkih sistema, kao i sistema za zaštitu.

Uporedo sa lokalnom modernizacijom po trafostanicama, kao imperativ se nametnula i implementacija novog, savremenijeg SCADA/EMS-a, koji svojim hardverskim i softverskim performansama prevazilazi postojeći.

Imajući u vidu kompleksnost ovog posla, u CGES-u je donijeta odluka da se kao prvi korak realizuje takozvana priprema objekata za novi SCADA/EMS, tokom kojem bi se akcenat dao na udaljene objekte upravljanja-trafostanice, dok bi se u drugom koraku realizovao sistem u NDC-u.

Obzirom da su aktivnosti na ovom podprojektu u završnoj fazi, ovaj rad će biti prvenstveno fokusiran na aspekte ovog podprojekta, kao i na iskustva koja su stečena tokom njegove realizacije.

**Ključne riječi:** IEC 60870 – 5 – 104, IEC 61850, modernizacija, RTU, SCADA

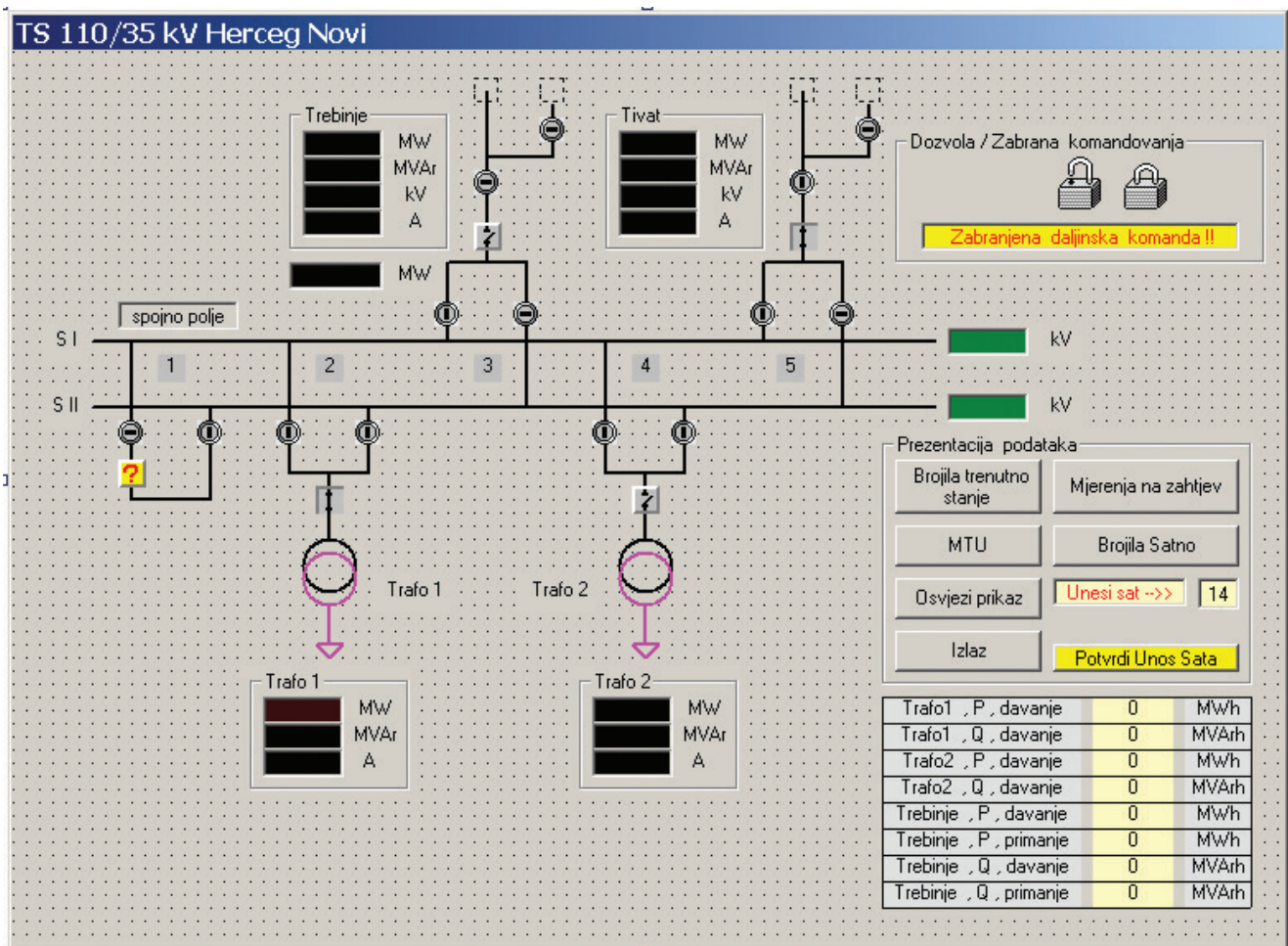
## 1. OPŠTE

### 1.1. Postojeći NDC SCADA sistem

Objektima visokonaponske elektroenergetske mreže Crne Gore se upravlja iz Nacionalnog Dispečerskog Centra Crnogorskog elektroprenosnog sistema koji se nalazi u Podgorici. Upravljanje se zasniva na praćenju tokova snaga preko mjerenja i signalizacije koja stiže iz trafostanica, kao i na neophodnim upravljačkim akcijama koje obezbjeđuju siguran i optimalan rad prenosne mreže.

Postojeći NDC SCADA omogućava daljinski nadzor i upravljanje 400/220/110 kV prenosnom mrežom i elektranama povezanim na istu. Postojeća SCADA vrši daljinsko komandovanje energetske prekidačima i prenosi u NDC značajan skup informacija i to preko hiljadu analognih mjerenja, statusa uklopnog stanja prekidača, komandi prekidačima, kao i mjerenja sa brojila na obračunskim mjestima (slika 1.).

Ovaj sistem je baziran na upotrebi staničnih računara, Remote Terminal Unit-a (RTU) koji su žičanim putem povezani sa elementima trafostanice i koji putem protokola komuniciraju sa SCADA sistemom u NDC-u. Ovaj protokol je takođe razvijen u NDC-u i prilagođen je hardverskim performansama postojećeg sistema.[1]



Slika 1. Prikaz tipične jednopolne šeme TS u SCADA – prikaz mjerenja, status prekidača, komandovanje, mjerenja sa brojila

Kako se javljala potreba za razmjenom podataka sa drugim operatorima prenosa postojeća SCADA je dopunjena redundantnim TASE.2 (Telecontrol Application Service Element 2) serverima koji obavljaju ovu funkciju. Nakon toga je dorađen i pušten u rad moduo za sekundarnu regulaciju koja je sprovedena sa HE Perućica.

Sistem je 2014. godine takođe značajno unaprijeđen implementacijom Energy Management System-a (EMS) koji je postojeću SCADA-u „obogatio“ svim neophodnim mrežnim aplikacijama (Estimator stanja, N-1 analiza sigurnosti i druge).

Zbog svoje jednostavnosti postojeći NDC SCADA sistem je pokazao veliku stabilnost i pouzdanost u radu, kao i visok stepen preciznosti mjerenja što je uveliko doprinijelo da sekundarna regulacija bude najbolja u regionu. Međutim, obzirom na vremenski period koji je protekao od njegove implementacije, kao i značajno uvećane zahtjeve kojima treba odgovoriti u narednom periodu, u CGES-u je donesena odluka da se krene u realizaciju novog sistema i da se isti nabavi od nekog od renomiranih svjetskih proizvođača.

## **1.2. Opremljenost objekata CGES-a savremenim, mikroprocesorskim zaštitnim i upravljačkim uređajima i lokalnim SCADA sistemima**

U CGES-u se od 2011. započelo sa rekonstrukcijom trafostanica u pogledu sistema zaštita i upravljanja. Od tada pa do danas je u više faza izvršena zamjena elektromehaničkih, zaštitnih releja savremenim mikroprocesorskim relejima. Signali i komande su uvedeni u lokalne SCADA sisteme po protokolu IEC 61850, a komandovanje iz dispečerskog centra izvedeno je preko novih mikroprocesorskih upravljačkih jedinica. Komandne table koje su bile do tada u upotrebi u trafostanicama su ovom rekonstrukcijom dobile alternativu i odlučeno je da se zadrže u prelaznom periodu, nakon čega se planira njihovo potpuno ukidanje i demontaža.

Prvom fazom ovog projekta završeni su radovi u postrojenjima 400kV i 400kV/x kV, koja su ocijenjena kao prvi prioritet ovog projekta. Ovo je obuhvatilo ugradnju ormara upravljanja i ormara zaštite i parametrisiranje postojećih SCADA sistema.

Drugom fazom projekta obuhvaćena je preostala oprema u TS Pljevlja 2, TS Ribarevine, TS Podgorica 2 kao i rekonstrukcije sistema upravljanja i zaštite za TS Mojkovac 220/110/35kV. Prilikom rekonstrukcije TS Mojkovac implementirana je nova lokalna SCADA.[2]

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.

Prvom i drugom fazom projekta rekonstrukcije zaštita i upravljanja u trafostanicama modernizovane su i postojeće lokalne SCADA-e, tako da se po završetku ovih aktivnosti broj trafostanica sa osavremenjenim sistemom lokalnog upravljanja značajno uvećao. Ovim su se počeli stvarati uslovi za realizaciju nove NDC SCADA.[4]

## **2. PRIPREMA OBJEKATA CGES-a ZA UKLJUČENJE U NOVI SCADA/EMS**

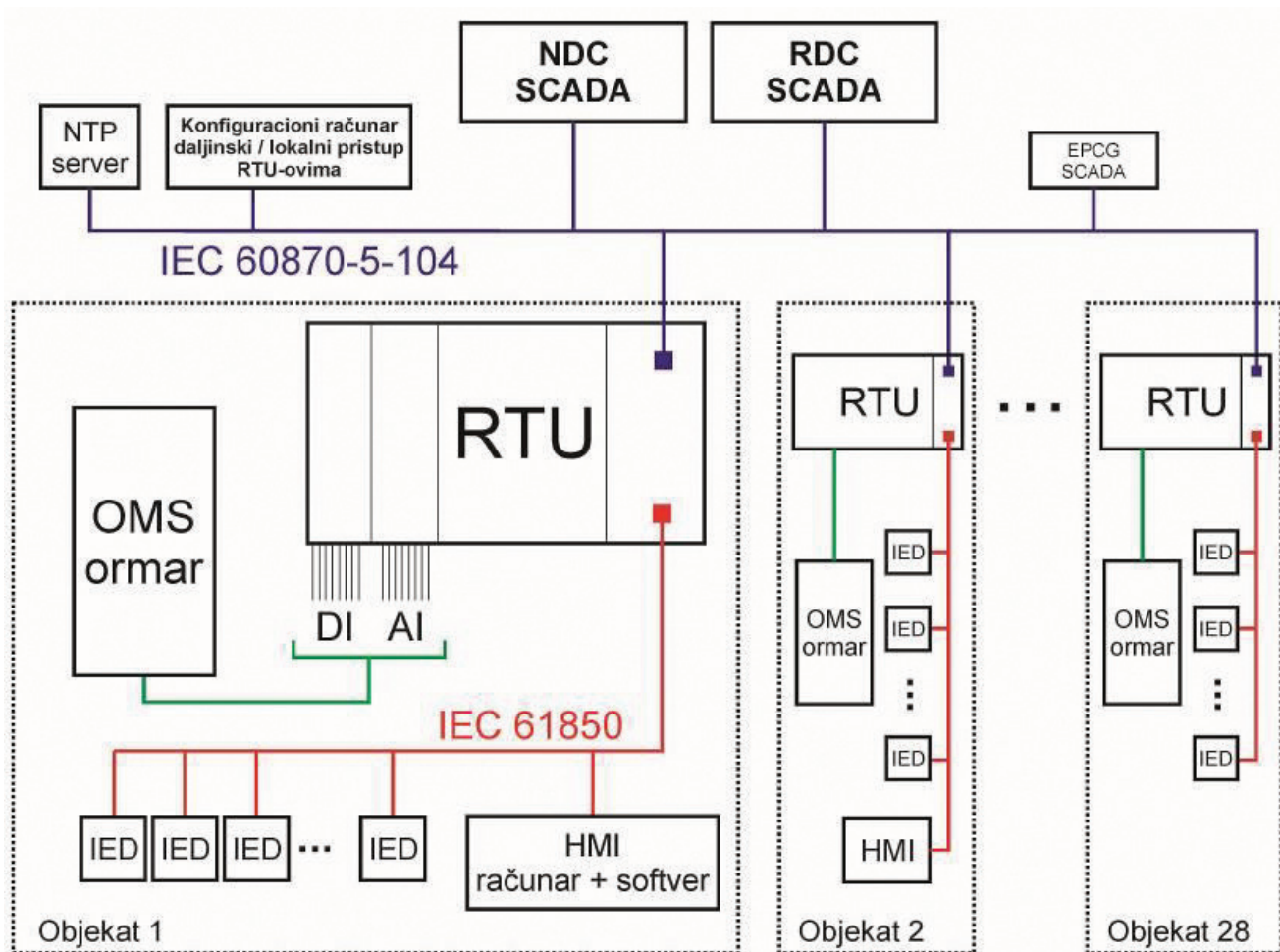
### **2.1. Opšte**

Priprema objekata je prva etapa projekta implementacije novog SCADA i EMS sistema u redundantnoj konfiguraciji, na lokacijama NDC i RDC (Rezervni dispečerski centar), kojim je predviđena izgradnja potpuno novog sistema, nezavisnog od postojećeg. Planirano je da novi sistem bude u potpunosti baziran na protokolu IEC 60870-5-104, kad je u pitanju komunikacija sa centrima upravljanja. Komunikacija na nivou trafostanice je predviđena protokolom IEC 61850, slika 2.

Ovaj projekat je započet 2015. U cilju formiranja dvije potpuno nezavisne konfiguracije postojećeg i novog SCADA/EMS sistema, CGES je u prvoj fazi projekta implementacije novog SCADA/EMS sistema izvršio pripremu svih objekata za njihovo povezivanje sa novim sistemom. Priprema objekata je podrazumijevala ugradnju novih RTU-ova (krajnjih stanica) u 28 objekata.

Krajnji cilj ove faze projekta je bio da se u objektima realizuje uniformni interfejs prema budućoj SCADA-i u nadređenom centru upravljanja (NDC i RDC), ali koji bi bio u mogućnosti da podrži tekuće i buduće rekonstrukcije sistema zaštite i upravljanja u objektima.





Slika 2. Principijelna šema sistema za nadzor u upravljanje na nivou objekta sa interfejsom prema postojećem i budućem SCADA sistemu

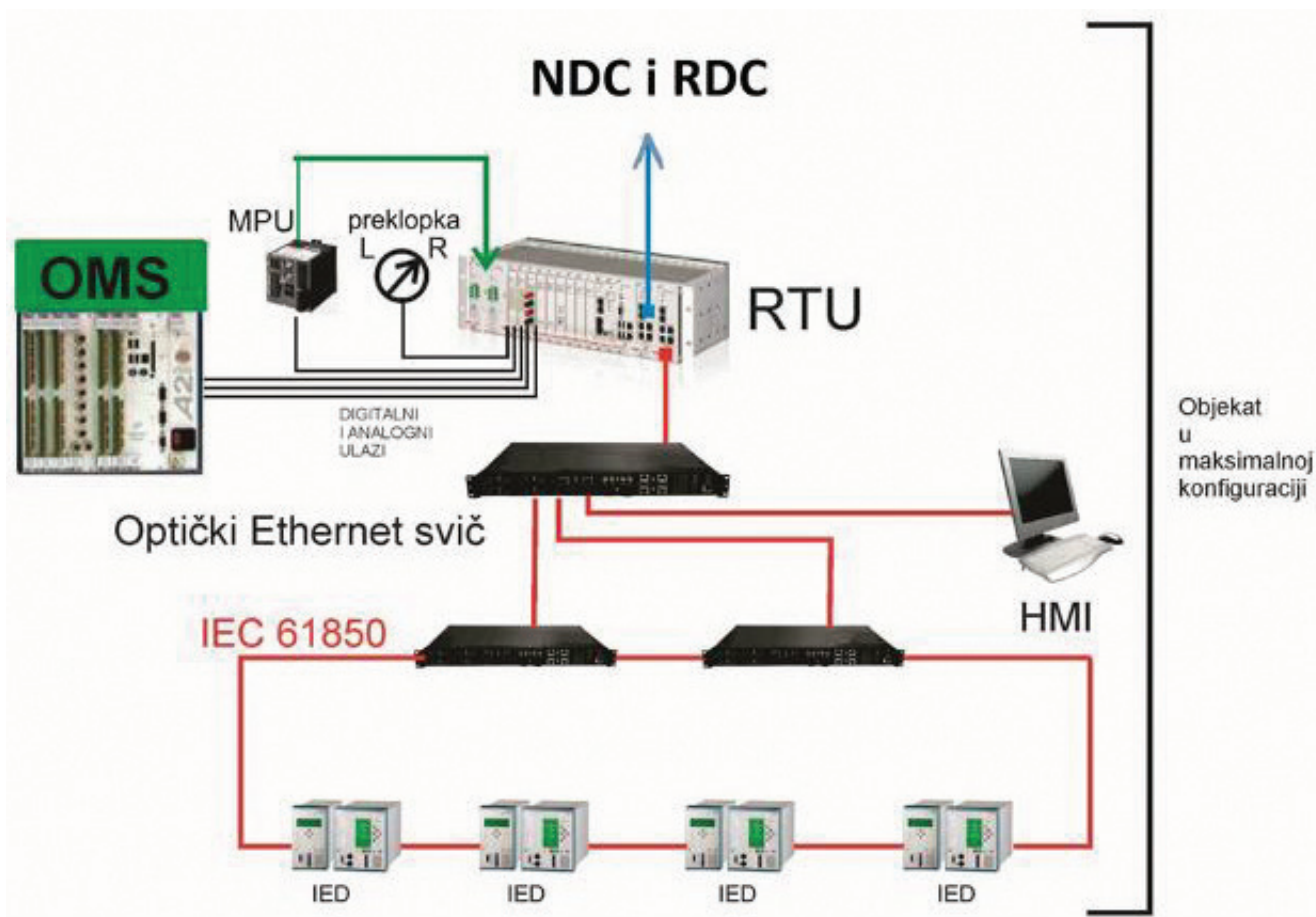
## 2.2. Implementacija projekta pripreme objekata

Jedan od osnovnih problema pripreme objekata CGES-a za uključnje u novi SCADA/EMS je bio različit nivo opremljenosti objekata savremenim uređajima, ali i prilično nepredvidljiva dinamika tekućih i budućih rekonstrukcija sistema zaštite, nadzora i upravljanja u trafostanicama.

U cilju lakšeg praćenja radova, projektovanja i same implementacije, svi objekti su podijeljeni u nekoliko specifičnih tipova. Prvu grupu čine objekti koji u tom momentu nijesu imali savremene mikroprocesorske uređaje za zaštitu i upravljanje- IED (Intelligent electronic device) kao ni lokalni SCADA sistem. U drugu grupu su svrstani objekti koji imaju IED-ove, ali nijesu imali lokalni SCADA sistem, dok su trećoj grupi pripali objekti koji imaju IED-ove i koji su već imali lokalni SCADA sistem.

Nakon više od pola godine projektovanja krenulo se realizacijom aktivnosti na terenu. Ugradnja ormara sa RTU-ovima izvođena je u fazama, a tokom svake ugradnje vršena su ispitivanja funkcionalnosti sistema na nivou objekta i prema dispečerskim centrima.

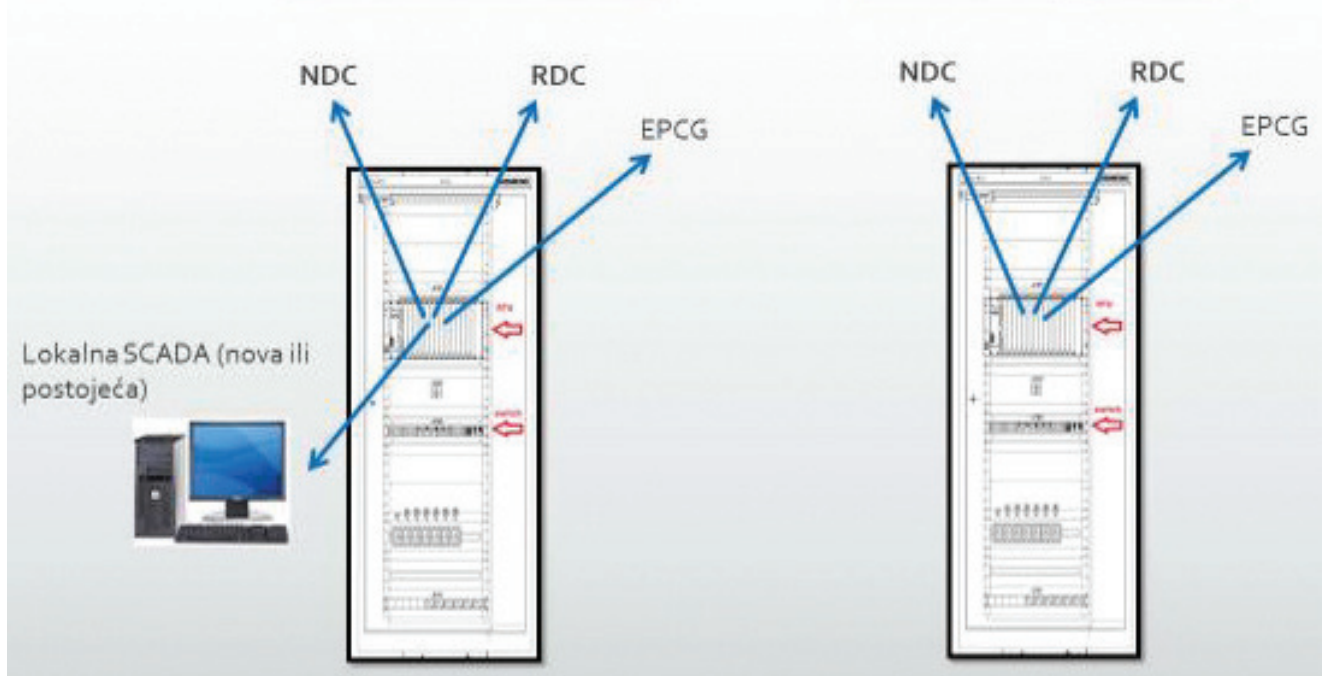
Svi RTU-ovi su projektovani tako da mogu da prihvate informacije iz svih objekata, nezavisno od njihove trenutne opremljenosti (slika 3.). U objektima 400/x kV su instalirani RTU-ovi u redundantnoj konfiguraciji, na način da u slučaju ispada glavnog RTU-a nema prekida prema centrima, već komunikaciju automatski preuzima rezervni RTU.



Slika 3. Principijelna šema opremanja objekta u maksimalnoj konfiguraciji

TS CGES i 110kv u TS EPCG

Proizvodni objekti EPCG



Slika 4. Nivoi komunikacije RTU-ova u zavisnosti od vrste objekta

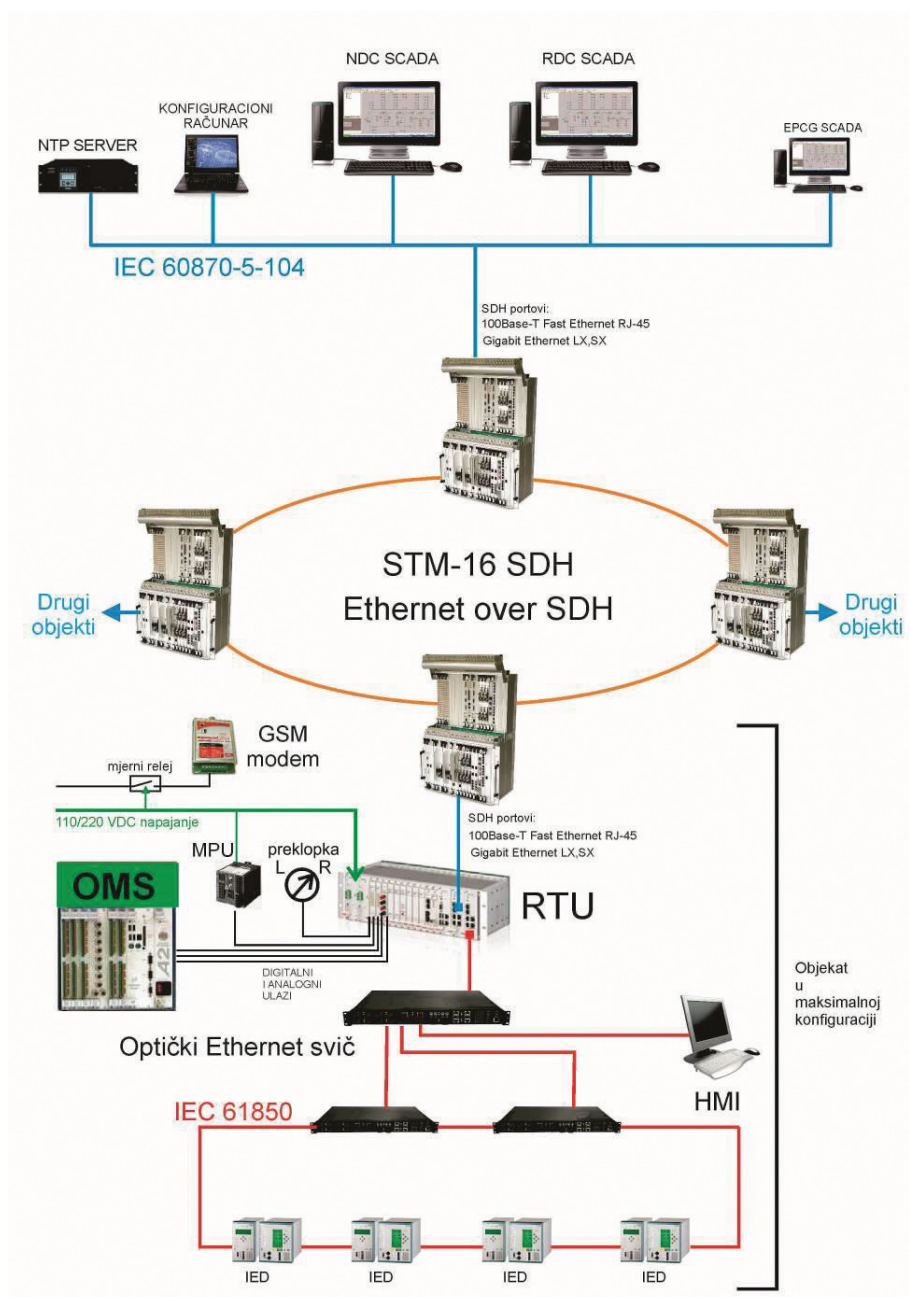
Ispitivanja su realizovana tako što su se sa ispitnog uređaja simulirali kvarovi i sekundarnim injektiranjem struja i napona u tipskim poljima. Ispitano je posebno svako tipsko polje za svaki naponski nivo. Nakon toga ostala polja su ispitivana sa test simulatorima.

Prilikom implementacije, svaki postojeći SCADA sistem zahtijevao je poseban pristup, kao i način ispitivanja.[2]

Nakon svih nabrojanih radova unutar CGES-a većina opreme je unificirana i trafostanica u maksimalnoj konfiguraciji izgleda kao na slici 3. Unutar trafostanice svi mikroprocesorski uređaji su vezani u procesnu mrežu preko optičkih kablova. Konfiguracija mreže je najčešće prsten, ali može biti i kombinacija zvijezda-prsten, u zavisnosti od tipa, tj. proizvođača opreme. [4]

Pored novoinstalirane opreme u upotrebi je postojeća oprema za NDC SCADA sistem, koja prikuplja podatke žičanim putem. Sva oprema je preko telekomunikacionog SDH/PDH sistema CGES-a povezana u jednu cjelinu i povezana prema NDC-u, odnosno RDC-u, slika 5.

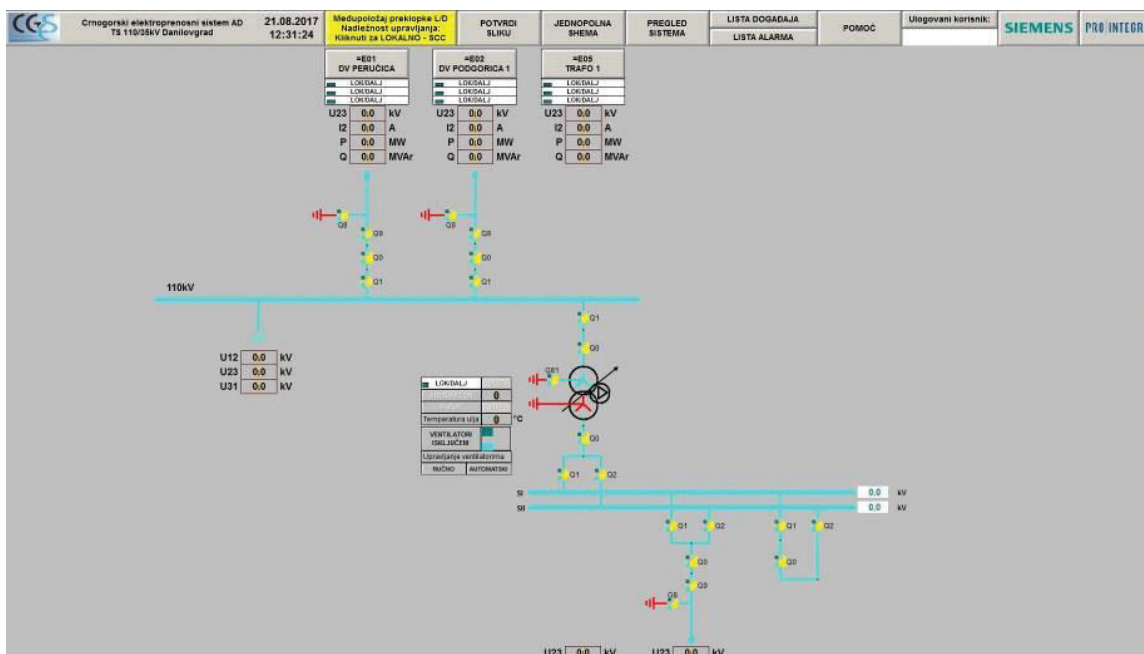
U NDC-u je instaliran centralni NTP server koji sinhronizuje vrijeme unutar cijelog sistema, preko RTU-ova koji dalje sinhronizuju sve uređaje na nivou trafostanica.



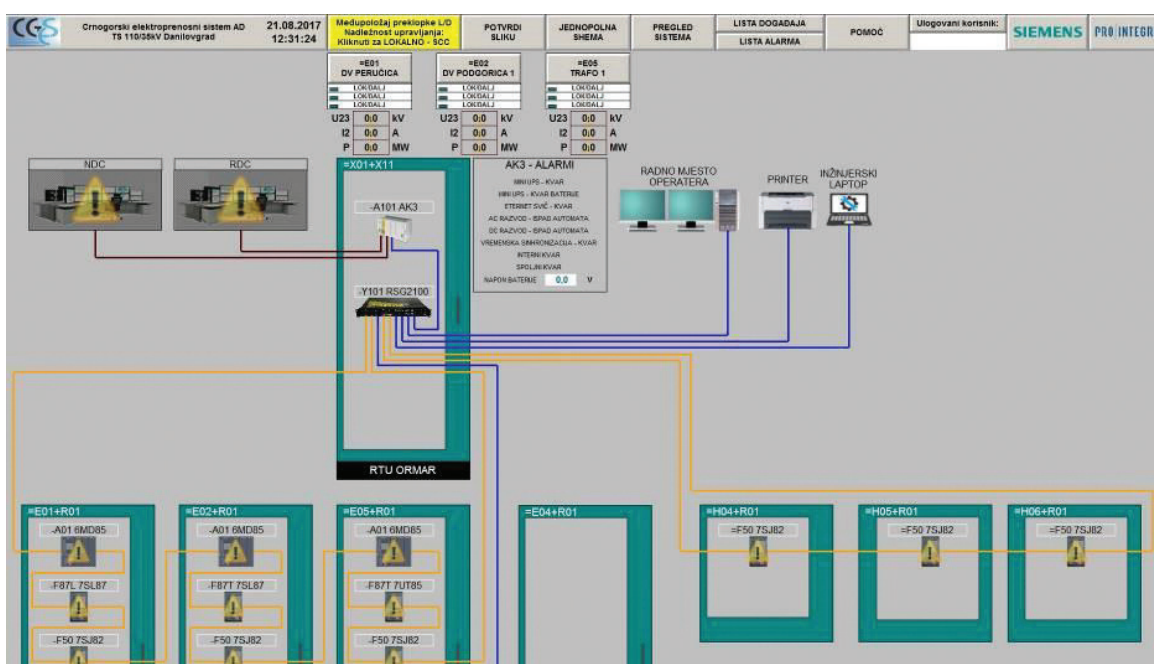
Slika 5. Principijelna šema budućeg SCADA sistema na nivou CGES-a

## 2.3. Implementacija lokalnih SCADA sistema

Kroz Projekat opremanja objekata izvršena je i instalacija i puštanje u rad 14 lokalnih SCADA sistema, čime su svi objekti CGES-a, kao i dvije trafostanice EPCG, dobili lokalne SCADA sisteme.



Slika 6. Prikaz jednopolne šeme u lokalnom SCADA sistemu



Slika 7. Prikaz statusa periferija na nivou trafostanice

Na nivou objekta lokalni SCADA sistemi dobijaju informacije od mikroprocesorskih releja po protokolu IEC 61850. Lokalni SCADA sistem funkcioniše nezavisno od RTU-a. Na slici 6. je prikaz izgled jednopolne šeme trafostanice na lokalnom SCADA sistemu, a na slici 7 prikaz statusa svih uređaja u procesnoj mreži na nivou trafostanice.

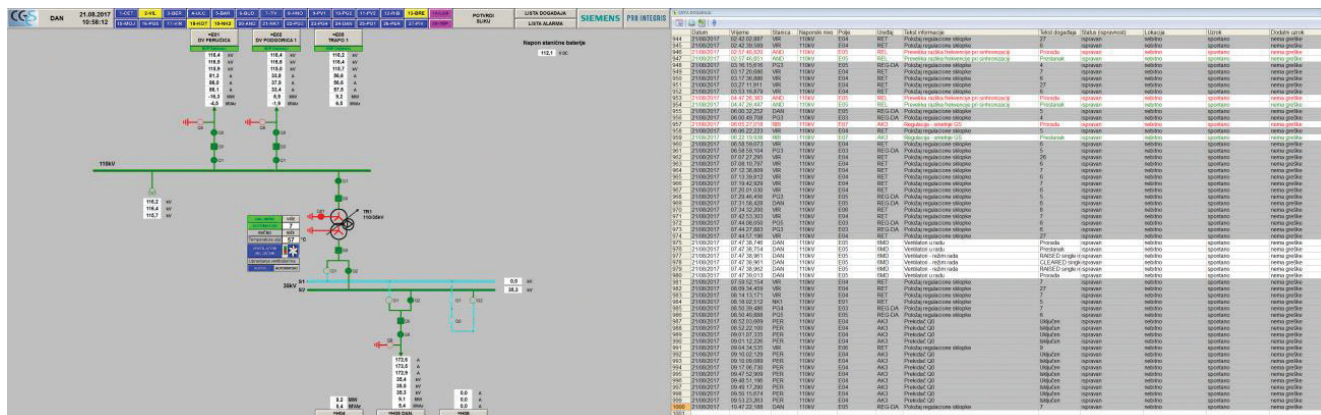
Ovim se u potpunosti zaokružilo pitanje savremenog lokalnog upravljanja u svim objektima i praktično eliminisala potreba za postojanjem starih komandnih tabli.

## 2.4. DEMO SCADA

Jedan od bitnih zahtjeva kroz projekat opremanja objekata je bila instalacija redundantnih testnih SCADA platformi u NDC i RDC-u (DEMO SCADA) za verifikaciju podataka koji pristižu iz trafostanica. Sva ispitivanja, bez obzira na to kojoj grupi objekti pripadaju, su napravljena na način da su prethodno pripremljene konfiguracione datoteke za lokalni SCADA sistem, kao i za DEMO SCADA sistem. DEMO SCADA su 2 redundantna računara, jedan u NDC-u, drugi u RDC-u, koji komuniciraju sa RTU-ovima u objektima po IEC 104 protokolu. Na isti način će sa RTU-ovima komunicirati i budući SCADA i EMS sistem, pa je DEMO SCADA olakšala ispitivanje signala prema NDC/RDC-u. Na ovaj način je omogućeno dispečerima da prate novi sistem i da se brže prilagode na budući novi SCADA i EMS sistem.

Slike i liste događaja/alarma pripremljene za lokalni HMI su iskorišćene za prikaz istih u NDC/RDC-u. DEMO SCADA-i sistem se pristupalo iz objekta koristeći komunikacionu mrežu CGES-a, softverom za udaljeni pristup računarima. Na taj način smo u isto vrijeme mogli pratiti događaje na lokalnom i DEMO SCADA sistemu. Na slici 8 je prikazan interfejs testne SCADA-e, gdje se na lijevom monitoru prikazuje jednopolna šema željene trafostanica, a na desnom monitoru lista događaja ili lista alarma.

Prije početka implementacije projekta na nivou CGES-a, zajedno sa izvođačem radova, su definisane signal liste za sva polja, to jest kreirana je baza svih signala i definisano koji signali i na koji način će biti poslani u dispečerske centre.[2]



Slika 8. Prikaz jedne TS na testnoj SCADA platformi (jednopolna šema i lista događaja/alarma)

## 3. PLANIRANE AKTIVNOSTI

Tokom ove i naredne godine planirano je da se završe sledeće aktivnosti:

Implementacija novog SCADA/EMS sistema, kao jedan od važnijih investicionih projekata, započet je 2016.godine. Cilj projekta novog SCADA/EMS sistema je unapređenje i poboljšanje nadzornih i upravljačkih kapaciteta kao i performanse postojećeg NDC realizacijom novog SCADA/EMS sistema na lokaciji postojećeg NDC i na lokaciji rezervnog dispečerskog centra. Ostvarenjem ovog cilja ustanovljava se nadzorno-upravljačka arhitektura koja se sastoji od dva paralelna i nezavisna dispečerska centra u glavnoj i »back-up« konfiguraciji, na dvije fizički odvojene lokacije u skladu sa ENTSO-E standardima.

U toku je pripremanje tehničke specifikacije za realizaciju projekta sistema za daljinski pristup procesnim mrežama i uključnje novih objekata u NDC SCADA sistem koji podrazumijeva opremanje objekata ruterima/firewall-ovima čime će se omogućiti siguran daljinski pristup opremi u trafostanici. Projekat ima za cilj da unaprijedi i olakša rad službi koje se bave sekundarnim sistemima.

Takođe, u pripremi je i projekat standardizacije i sistematizacije procesnih informacija sekundarnih sistema kojim će se implementirati programsko rješenje koja će omogućiti sistematizaciju i unifikaciju procesnih informacija, kao i obradu podataka iz uređaja relejne zaštite iz svih povezanih trafostanica.

Radi obezbjeđivanja sigurnog i besprekidnog rada svih pomenutih sistema na nivou trafostanica izvršena je nabavka i do kraja 2017.godine će biti završena instalacija sistema za besprekidno napajanje – invertora. Na ovaj način, sva oprema koja je priključena na naizmjenični napon, biće preko invertora priključena na postojeće stanične baterije 110V DC.

U cilju praćenja najnovijih dostignuća na polju zaštite i upravljanja, planirano je da se sve trafostanice CGES-a opreme sa mikroprocesorskim uređajima za zaštitu i upravljanje. Kao nastavak ranije pomenutih i završenih projekata rekonstrukcije sistema upravljanja i zaštita tokom ove godine planiran je početak dva velika projekta:

- Rekonstrukcija sistema zaštita, upravljanja i sopstvene potrošnje u TS 220/110/35 kV Podgorica1;
- Rekonstrukcija zaštite i upravljanja u ostaloj 110 kV mreži.

Očekivani benefiti nakon završetka navedenih projekata su:

- Poboljšanje sistema za nadzor i upravljanje EES-om Crne Gore u ENTSO-E interkonekciji;
- Povećanje nivoa sigurnosti i pouzdanosti rada prenosnog sistema Crne Gore u realnom vremenu;
- Pravovremena identifikacija potencijalnih poremećaja koji mogu ugroziti siguran i stabilan rad EES-a Crne Gore i čitave interkonekcije;
- Omogućavanje preduzimanja korektivnih mjera za sprečavanje poremećaja u realnom vremenu.

## 4. ZAKLJUČAK

Realizacijom pripreme objekata za novi NDC SCADA/EMS postignuto je da se akvizicija podataka za dispečerski centar kao i slanje upravljačkih komandi iz centra obavlja na unificiran način u svim trafostanicama. Takođe, sistematizacijom informacija iz trafostanica, kao i njihovom verifikacijom na testnim platformama, obezbijedena je temeljna provjera dostupnosti i pouzdanosti ulaznih podataka za budući NDC SCADA. Inače, upravo to je po iskustvima drugih operatora prenosa glavni problem u realizaciji ovakvih projekata.

Takođe, ovim projektom je postignut i čitav niz drugih benefita a posebno na polju lokalnog upravljanja objektom, kao i sistematizacije dokumentacije izvedenih stanja.

## LITERATURA

1. Dr. Branko Stojković, „Krajnja stanica (RTU) razvijena u EPCG – kompletno, optimalno rješenje za nadzor i upravljanje elektroenergetskim objektima“
2. Rogulj, Smoljo, Jovović, Knežević, “Iskustva pri uvođenju objekata CGES-a u sistem daljinskog nadzora i upravljanja“, V savjetovanje CG KO CIGRE, Bečići, Crna Gora, maj 2017
3. Jovović, Mirković, Asanović “Upravljanje u trafostanicama CGES-a nakon druge faze rekonstrukcije upravljanja i zaštite“, 12. savjetovanje HRO CIGRE, Zbornik radova, Šibenik, Hrvatska, novembar 2015.
4. Jovović, Mirković “Pregled lokalnih SCADA sistema u CGES-u s posebnim osvrtom na njihovo unapređenje,“ IV savjetovanje CG KO CIGRE, Zbornik radova, Igalo, Crna Gora, maj 2015
5. L. Petrović, M. Kastratović, F.Stanišić, M. Darmanović, N. Mugoša “Druga faza revitalizacije sistema zaštite i upravljanja u trafostanicama crnogorskog elektroprenosnog sistema“, IV savjetovanje CG KO CIGRE, Zbornik radova, Igalo, Crna Gora, maj 2015



# PROJEKT REKONSTRUKCIJE I MODERNIZACIJE HE PIVA

Nikola Daković | Gojko Blagojević  
EPCG AD Nikšić

**Kratak sadržaj:** HE Piva predstavlja objekat koji je nastao pregrađivanjem kanjona rijeka Pive i puštena je u rad 1976 godine. Građevinski ova hidroelektrana je jedan od najzahtjevnijih objekata koji su izgrađeni u tom periodu u Evropi. Visina brane je 220m, a sva ostala postrojenja i oprema koja pripadaju elektrani smještena su u kavernama koje su iskopane u stijenama na lijevoj strani u podnožju brane. U elektrani su montirana tri proizvodna agregata snage po 120MVA, koji su cjevovodom prečnika 4m povezani na akumulaciju elektrane. Razvodno postrojenje 220kV je takođe smješteno u kaverni ima jednostruki sistem sabirnica koje su podužno sekcionisane u tri sekcije. Na svaku sekciju povezano je po jedno polje agregata i jedan dalekovod.

Postrojenja sopstvene potrošnje čine: 0,4kV postrojenje, postrojenja 35kV i 10kV, postrojenje dizel agregata, postrojenje 220V DC i postrojenje 230V UPS.

Projektom rekonstrukcije i modernizacije HE Piva razmatrana su dva koncepta zamjene elektro i mašinske opreme u hidroelektani:

Koncept 1 (sa povećanjem snage): Zamjena primarne opreme agregata (generatora i turbine) sa mogućnošću povećanja izlazne snage elektrane za oko 21% instalirane snage i zamjena upravljačke opreme agregata, postrojenja sopstvene potrošnje i opreme u razvodnom postrojenju, a sve sa ciljem da se obezbjedi veća proizvodnja hidroelektrane i produži eksploatacioni period elektrane za naredni 40 godina.

Koncept 2 (bez povećavanja snage): Zamjena postojeće upravljačke opreme agregata, postrojenja sopstvene potrošnje i zamjena opreme u razvodnom postrojenju, a sve sa ciljem da se produži eksploatacioni period elektrane za naredni 40 godina.

Trenutno je u fazi realizacija Koncepta 2 modernizacije HE Piva, s tim što je dio opreme zamjenjen, a dio opreme biće predmet rekonstrukcije u narednom periodu kako je prikazano u radu.

**Ključne riječi:** Razvodno postrojenje 220kV (RP220kV) – postrojenja sopstvene potrošnje-upravljanje turbinom - kontrol sistem-postrojenje 220V DC – postrojenje 220V UPS.

## 1. OPREMA KOJA JE ZAMJENJENA U HE PIVA

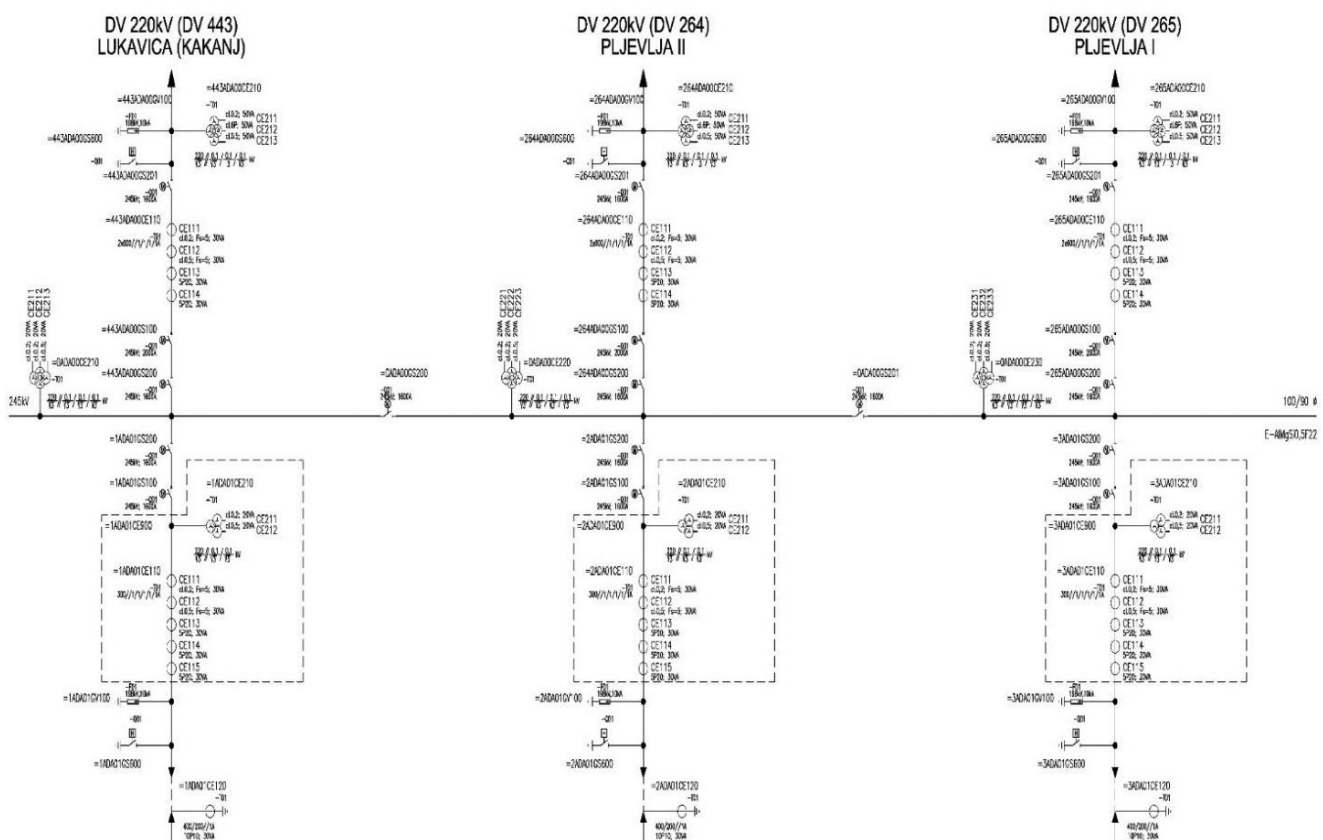
### 1.1. Oprema razvodnog postrojenja 220kV

U RP 220kV izvršena je zamjena kompletne primarne opreme. Oprema za upravljanje, monitoring i zaštite u razvodnom postrojenju RP 220kV je takođe zamijenjena.

U razvodnom postrojenju zamijenjena je sledeća primarna oprema:



- Aluminijske sabirnice Fi100/9 (dimenzije aluminijskih sabirnica su povećane za potrebe budućeg povećanja snage agregata),
- izolatori od kompozitnih materijala - zamjena postojećih izolatora izvršena je zbog promjene načina kačenja novih aluminijskih sabirnica, nivelacije sekcija sabirnica prema novim rastavljačima za podužno sekcionisanje sabirnica,
- rastavljači na elektromotorni pogon,
- SF6 prekidači na motorno-opružni pogon,
- SF6 strujni i naponski mjerni transformatori- ugrađeni su za potrebe realizovanja električnih zaštita agregata, mjerenja energije na visokonaponskoj strani agregata i sinhronizaciju agregata i dalekovoda;
- numeričke zaštite dalekovoda – izvršena zamjena postojećih zaštita dalekovoda i dodata je nova sabirnička zaštita
- novi upravljački ormari – zamjena koncepcije upravljanja razvodnim postrojenjem (pored ručnog upravljanja opremom u poljima instalirane su upravljačke jedinice polja-digitalane upravljačke jedinice).



Slika1: Jednopolna šema razvodnog postrojenja u HE Piva

Upravljanje pojedinim dalekovodnim poljima moguće je ostvariti: lokalno ručno sa pogona samih uređaja, lokalno ručno iz ormara upravljanja dalekovodnim poljem KOP sa tasterima ili sa upravljačke jedinice polja UPJ i daljinski iz komande elektrane.

Izbor načina upravljanja vrši se hardverskim preklopkama, dok su blokade uključivanja realizovane žičano kod ručnog upravljanja(tasterima) i softverski kod upravljanja sa UPJ. Upravljački napon je 220V DC.

Upravljanje u poljima agregata u postrojenju može se ostvariti lokalno ručno sa komandnih ormara polja tasterima ili preko UPJ, dok je daljinsko upravljanje poljem realizovano preko sistem upravljanja agregatom.

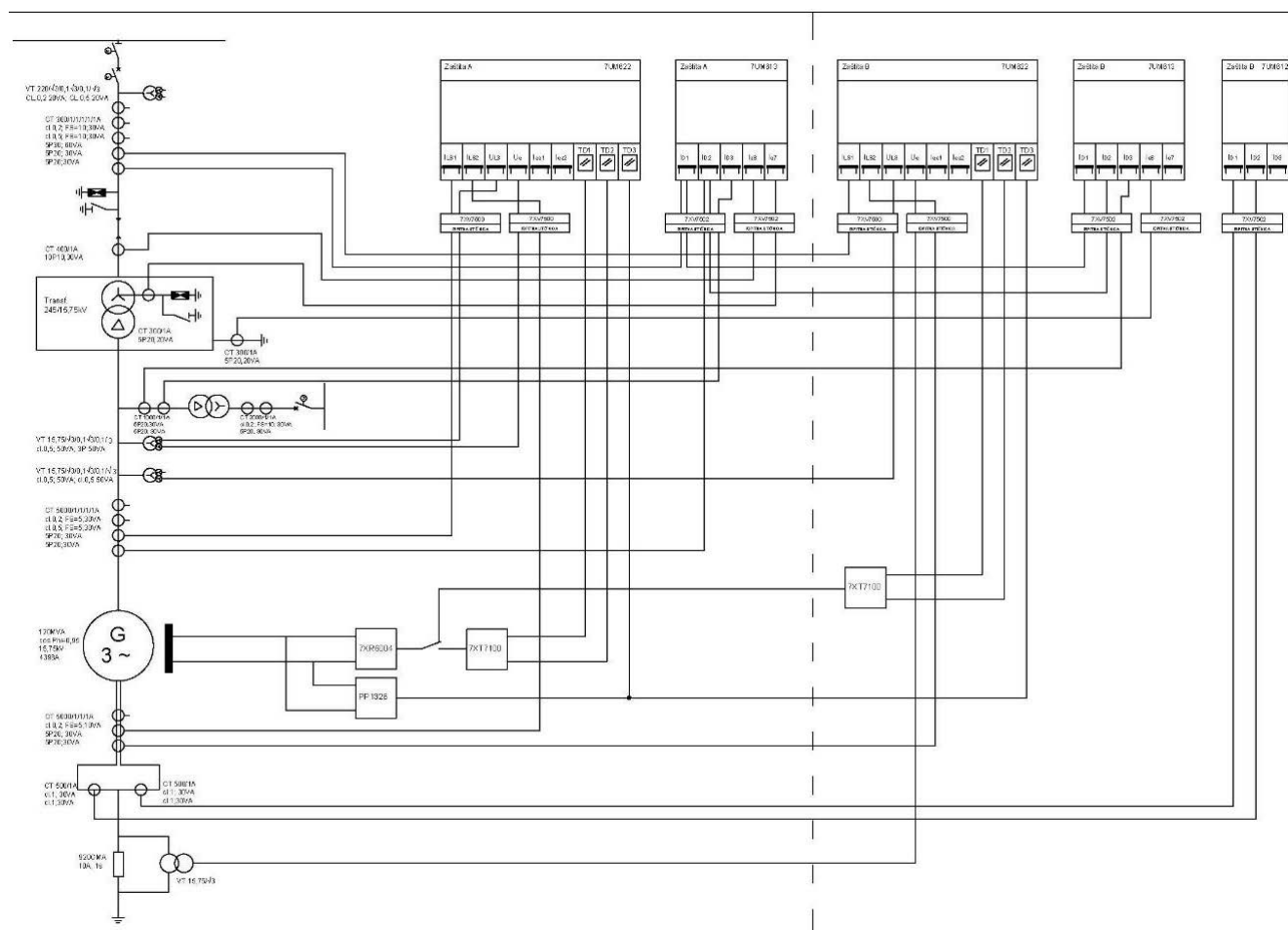
Za svako dalekovodno polje instaliran je sistem zaštita dalekovoda koje su smještene u dva ormara sistem A i sistem B koji čine potpuno redundantan sistem zaštita. Z

aštinski uređaj 7SD522 iz sistema A djeluje na prvi isključni krug prekidača dalekovoda, dok zaštitni uređaj 7SD522 iz sistema B djeluje na drugi isključni krug prekidača dalekovoda. Svaki uređaj dalekovodne zaštite povezan je na svoj nezavisni mjerni krug mjernih transformatora. U ormarima zaštita su instalirani releji za kontrolu isključnih krugova prekidača (7PA30). Ugrađena je i nova zaštita sabirnica koja djeluje kao zaštita u slučaju kratkog spoja na sabirnicama ili kao zaštita od otkaza prekidača u pojedinim poljima RP220kV.

Na slici 1 prikazana je jednopolna šema razvodnog postrojenja RP220kV.

## 1.2. Oprema zaštite agregata 120MVA

U HE "Piva" izvršena je zamjena elektromehaničkih električnih zaštita agregata sa novim mikroprocesorskim zaštitnim reljima. Električne zaštite agregata štite polje agregata odnosno obuhvataju zaštitu generatora, šinskih veza 15,75kV, blok transformatora, transformatora sopstvene potrošnje 1600kVA, visokonaponskih uljnih kablova i VN polje agregata u RP 220kV. Takođe električne zaštite agregata štite opremu u slučaju napajanja sopstvene potrošnje 0,4kV povratno sa strane postrojenja 220kV. Zaštite agregata čine mikroprocesorski numerički uređaji raspoređeni u dva ormara električnih zaštita. Oprema koja je instalirana u ormarima zaštita je tako projektovana da se ostvari potpuna redudansa sistema električnih zaštita na nivou agregata. Takođe prilikom projektovanja el. zaštita agregata vođeno je računa o novoj koncepciji napajanja sopstvene potrošnje povratno iz postrojenja 220kV. Na slici 2 prikazana je blok šema zaštita agregata 120MVA, koja prikazuje priključenje zaštitnih uređaja na sekundarna jezgra mjernih transformatora.



Slika 2: Blok šema zaštita agregata 120MVA u HE Piva

U ormaru el. zaštite A ugrađene je sledeća oprema: 7UM622 - numerička zaštita bloka generator/transformator, 7UT613 numerička zaštita blok transformatora, 7PA30 - relej kontrole isključnih krugova agregata, 7XT7100 uređaj za injektovanje struje 3Hz, koji se koristi za realizaciju osjetljive zaštite rotora. U ormar el. zaštite B ugrađena je sledeća oprema: 7UM622 - numerička zaštita bloka generator/transformator, 7UT613 numerička zaštita blok transformatora, 7UT612 numerička zaštita u kojoj je realizovana transferzalna diferencijalna zaštita –zaštita međuzavojnog spoja iste faze, 7PA30 -relej kontrole isključnih krugova agregata.

Zaštitnu uređaj 7UM622 je uređaj za zaštitu agregata koji pripada familiji zaštitnih numeričkih releja SIPROTEC 4 i obezbeđuje zaštitu svih delova opreme koja funkcionalno pripada agregatu.

Zaštitnu uređaj 7UM613 je uređaj za zaštitu transformatora koji pripada familiji zaštitnih numeričkih releja SIPROTEC 4 i obezbeđuje zaštitu opreme u slučaju povratnog napajanja sopstvene potrošnje elektrane sa strane 220kV postrojenja.

Zaštitnu uređaj 7UM612 je uređaj za diferencijalnu zaštitu koji pripada familiji zaštitnih numeričkih releja SIPROTEC 4 i obezbeđuje transversalnu diferencijalnu zaštitu faznih namota generatora. Parametriranje svih SIPROTEC numeričkih releja izvršeno je u softveru Digsy 4.87.

### 1.3. Postrojenja 220V DC

Prilikom rekonstrukcije i modernizacije postrojenja 220VDC i postrojenja 230V, 50Hz UPS vodilo se računa da se zadovolje zahtjevi za pouzdanost napajanja potrošača kao i zahtjevi za kapacitetom ovih sistema imajući u vidu planirano povećanje opterećenja. Povećanje snage potrošača će se javiti u toku narednih faza rekonstrukcije prije svega zbog instalacije nove mikroprocesorske opreme koja će se napajati na 220VDC naponskom nivou kao i ugradnje dodatnih elektro ventila i jednosmjernih motora. Svi podrazvodi na 220V DC naponu će se napajati dvostruko sa dva nezavisna sistema sabirnica u glavnom razvodu.

U cilju postizanja veće fleksibilnosti i dostupnosti napajanja potrošača na 220VDC Glavni razvod je ugrađen kao tipski, atestiran, u modularnoj izvedbi i sastoji od dva sistema sabirnica. Glavne sabirnice moguće je spojiti prekidačem spojnog polja. Ova koncepcija napajanja doprinosi većoj pouzdanosti u napajanju na DC naponu. Takođe glavni razvod je opremljen sa sistemom za detekciju zemljospoja sa mogućnošću lociranja izvoda u kom je kvar nastao.

Glavni razvod se napaja sa dva modularna ispravljača izlazne struje 160A i dva sistema baterija i to po jedan modularni ispravljač i jedan sistem baterija na svakom od sistema sabirnica.

Svaki od ispravljačkih modula je takav da trajno može raditi sa opterećenjem do 110% nominalne izlazne struje. Ispravljački moduli su opremljeni transformatorima za galvansko razdvajanje između AC i DC strane.

Jedan sistem baterija se sastoji od 108 hermetički zatvorenih članaka u OpzV izvedbi ukupnog kapaciteta 600Ah. Sistem baterija je osnovni izvor jednosmjernog napona i napaja potrošače samo u slučaju ispada ispravljača (nestanak mrežnog napona ili kvar na ispravljaču). U slučaju ispada mreže, napajanje potrošača se nastavlja iz baterije, dok napon baterije ne padne do donje granice pražnjenja 1,80 V/članku. Elektrolit za OPzV baterije je gel umjesto tečnosti.

Ispravljačima i glavnim razvodom upravlja sistem upravljanja na nivou postrojenja 220VDC koji posjeduje mikroprocesorski kontroler – PLC.

Prednost upotrebe modularnih ispravljača u odnosu na monolitne je u tome što u slučaju otkaza bilo kojeg od modula, ispravljač i dalje nastavlja da napaja potrošače, a neispravn modul moguće je zamjeniti bez isključenja ispravljača. Na slici 3 prikazana je blok šema napajanja postrojenja 220V DC i 230V UPS.

## 1.4. Postrojenje 230V UPS

Savremeni sistemi upravljanja na nivou elektrane su bazirani na SCADA sistemima koji zahtjevaju hardversku platformu koju čini veliki broj računarske i mrežne opreme. Za napajanje ovakve opreme potrebno je imati pouzdan izvor neprekidnog napajanja.

Osim pomenutog 220VDC napajanja, u HE Piva je instaliran savremeni sistem besprekidnog napajanja potrošača na naponu 230V, 50Hz. Sistem je baziran na modernom, modularnom, mikrokontrolerski vođenom invertoru u N+1 konfiguraciji, izlazne snage 15 kVA i glavnom razvodu izvedenom kao modularno tipsko postrojenje. Invertor se može proširiti do 19,5 kVA. U normalnom režimu rada, potrošači se napajaju naizmjeničnom strujom sa razvodne table preko by-pass preklopke. U slučaju izostanka naizmjeničnog napajanja sa razvodnog ormara, potrošači se napajaju sa baterija 220V DC preko invertorskih modula.

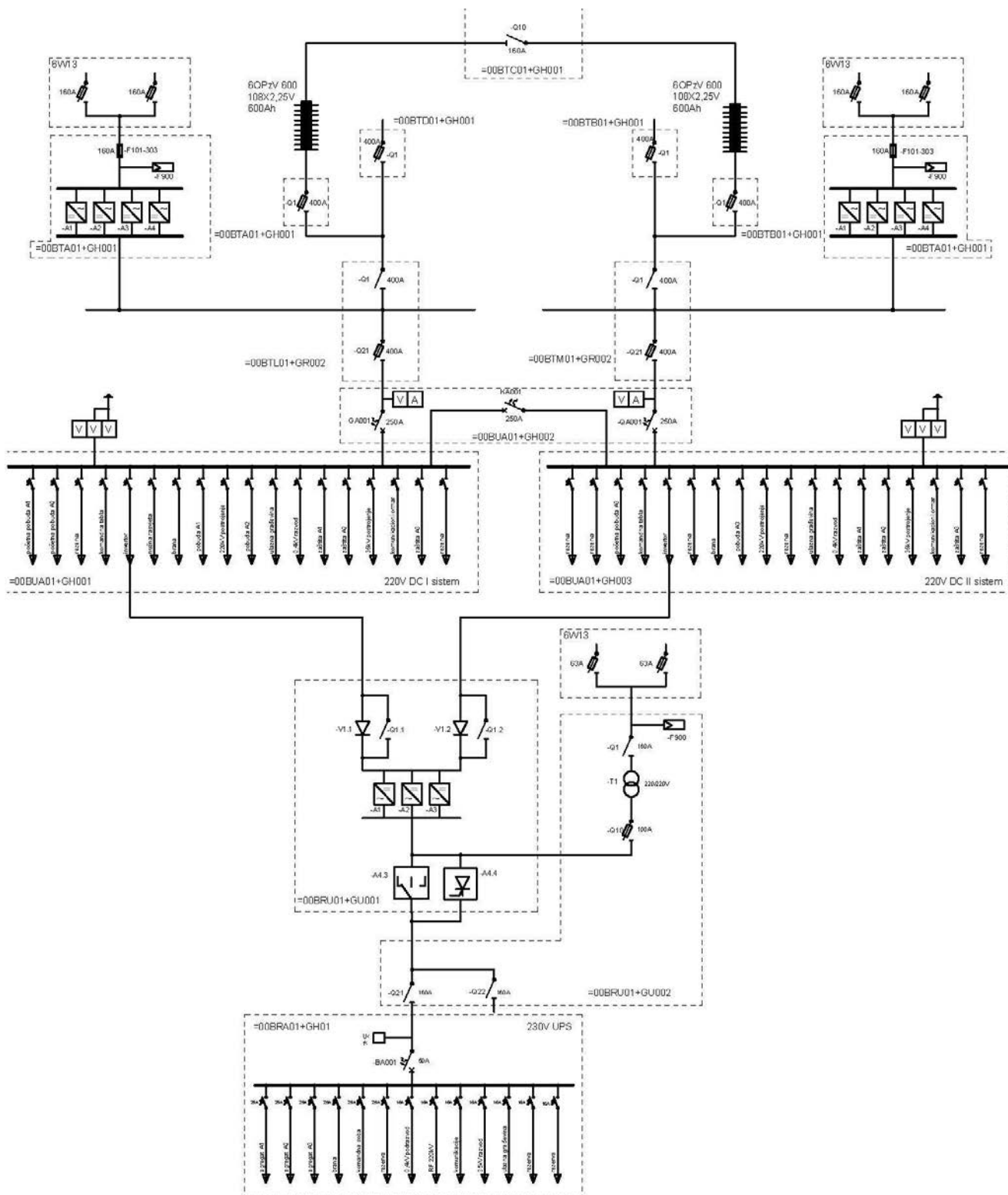
Automatska by-pass preklopka automatski, bez prekida napajanja potrošača, prebaca potrošače na napajanje sa invertorskih modula u slučaju gubitka napajanja na 0,4kV mreži. U servisne svrhe moguće je i ručnim by-pass prekidačem preći na napajanje sa invertora ili na napajanje sa mreže.

Napajanje invertora 220 V JSS je izvedeno sa oba sistema baterija preko 220 VDC glavnog razvodnog ormara (63 A izvodi). By-pass je napojen sa 0.4 kV glavnog razvoda preko izolacionog transformatora.

Invertor je opremljen mikroprocesorskom upravljačkom jedinicom koja sa nadređenim sistemom upravljanja komunicira preko modbus-probus konvertora.

Za distribuciju besprekidnog napona 230V isporučen je modularni razvodni ormar sa jednim dovodnim prekidačem, jednim sistemom sabirnica i 13 izvoda. Glavni razvod besprekidnog napajanja je koncipiran na isti način kao i gore opisani glavni razvod jednosmjernog napajanja s tim što u ovom glavnom razvodu nema električno upravljivih prekidača. Cijeli glavni razvod besprekidnog napajanja je u jednom slobodnostojećem ormaru koji ima odjeljak za smještaj modula i odjeljak za priključivanje kablova.

Na slici 3 prikazana je blok šema napajanja potrošača sa 220V DC i 230V UPS. Na slici se vide izvori napajanja postrojenja, glavna sabirnice u postrojenju 230V UPS.



Slika 3: Blok šema napajanja potrošača sa 220V DC i 230V UPS

## 2. OPREMA KOJA ĆE BITI ZAMJENJENA U SLEDEĆOJ FAZI MODERNIZACIJE HE PIVA

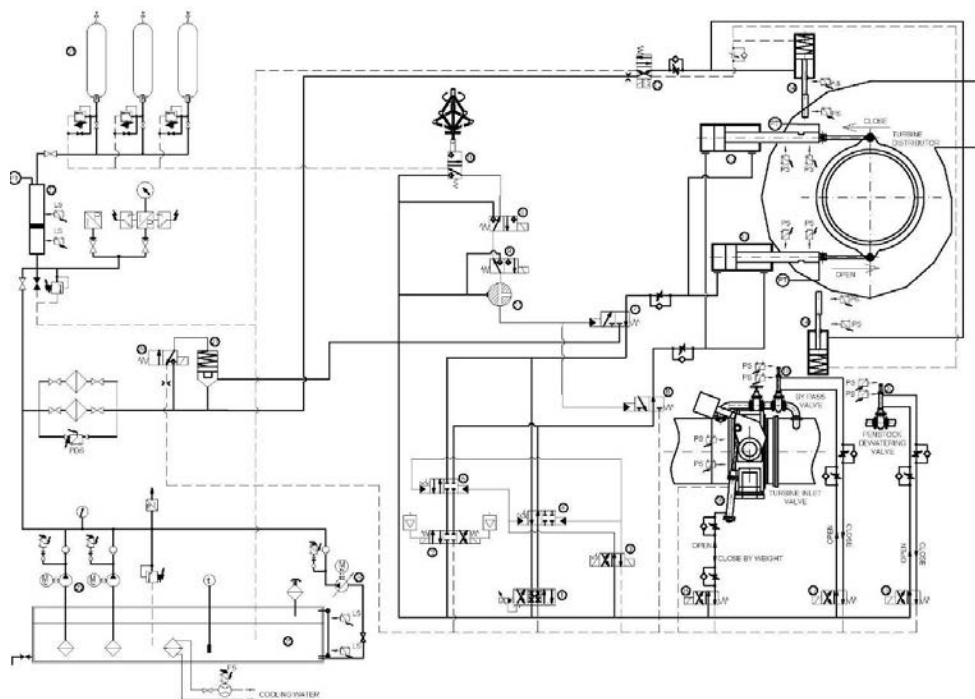
### 2.1. Zamjena opreme za upravljanjem agregatom

#### 2.1.1. Zamjena opreme za upravljanje turbinom i turbinskom regulacijom

Rehabilitacija i modernizacija opreme turbine obuhvata zamjenu turbinskog regulatora i instalaciju nove hidrauličke jedinice pritiska 160bara (postojeći pritisak hidrauličke jedinice je 40bara). Funkcije upravljanja turbinom su: upravljanje hidrauličkim sistemom turbine, upravljanje predturbinskim zatvaračem, praćenje rada turbinskih ležaja i zaštitne funkcije turbine. Funkcije turbinskog regulatora su: vrtnja agregata do nominalne brzine obrtanja, rad na mreži (podešavanje snage agregata na željenu vrijednost). Sve funkcije upravljanja turbinom i turbinskom regulacijom biće implementirane u redundantnim PLC-ovima. Novi sistem upravljanja turbinom treba da obezbjedi siguran i pouzdan rad u svim režimima rada turbine, kao i rad u novom sistemu upravljanja na nivou agregata.

Oprema upravljanja turbinom sastojće se od: ormara upravljanja turbinskom opremom, hidrauličkog upravljačkog sistema, novih servomotora sprovodnog aparata, predturbinskog zatvarača i sistema za pražnjenje cjevovoda, novog sistema za mjerenje brzine turbine, novog sistema za mjerenje protoka kroz turbinu. Rad sistema upravljanje turbinom i turbinskom regulacijom zasniva se na aplikativnom softveru realizovanom u okviru prograbilnih logičkih kontrolera koji se sastoji od dvije softverske cijeline od kojih je jedna odgovorna za sekvencu upravljanja pomoćnom opremom agregata dok su u okviru druge cjeline realizovane regulacione funkcije. Sistem upavljanja turbinom i turbinskom regulacijom će biti realizovan upotrebom dva programibilna upravljačka kpnrolera koje rade u toploj redundansi, tako da kvar jednog kontrolera neće izazvati prekid rada agregata. Oba PLC-a će biti povezana sa nadređenim sistemom upravljanja putem IP baziranog komunikacionog interfejsa sa upotrebom IEC61850 i IEC60870-5-104 komunikacionih protokola.

Mjerenje brzine agregata će činiti senzori za mjerenje brzine i odgovarajući ulazni modul. Sistem za mjerenje brzine je takođe potpuno redundantan sistem što znači da kod otkaza bilo kojeg uređaj za mjerenje brzine agregat nastavlja nesmetano sa radom.



Slika 4: Blok šema hidrauličkog djela turbinskog regulatora

Sve zaštitne funkcije turbine kao što su zaštita od pobjega agregata, temperaturna zaštita ležejeva, zaštita od povećanja pritiska u hidrauličkoj jedinici i sl. će biti realizovane u okviru sistema upravljanja turbinom i turbinskom regulacijom. Zaštita turbine od pobjega agregata biće implementirana u hidrauličkom kontrolnom krugu kao mehanički krmarni ventil kojeg aktivira klatno i kao električno upravljani hidraulički ventil kojeg aktivira sistem upravljanja turbinom i turbinskom regulacijom na osnovu izmjerene vrijednosti brzine.

Predviđena je ugradnja sistema za mjerenje protoka kroz turbinom metodom Winter-Kennedy metodom koja se zasniva na mjerenju razlike pritiska na mjernim mjestima u spiralnom djelu sprovođenog djela.

Svi upravljački naponi u turbinskom regulatoru biće 220V DC, dok će se regulacione pumpe napajati sa 0,4kV naponom.

Na slici 4 je prikazana blok šema turbinskog regulatora koja prikazuje hidrauličku šemu upravljanja turbinskom opremom agregata.

## **2.1.2. Zamjena sistema upravljanja agregatom (kontrol sistema)**

Sistem upravljanja agregatom objedinjuje upravljanje svim pogonima koji pripadaju jednom agregatu kao što su turbinski regulator, pobudni sistem, podrazvodi 0,4kV; 220V DC i 230V UPS, pogoni blok transformatora, VN polje agregata u razvodnom postrojenju 220kV i sistem električnih zaštita agregata. Sistem upravljanja agregatom treba pa poveže sve funkcionalne grupe na nivou agregata koje su hijerarhijski i tehnološki povezane i da posreduje u razmjeni podataka između nadređenog sistema upravljanja na nivou elektane i funkcionalnih grupa na nivou agregata. Na slici 5 prikazana je topologija sistema upravljanja na nivou agregata.

Sistem upravljanja agregatom biće baziran na mikroprocesorskim uređajima koji će biti dizajniran kao skladna hijerarhijska i decentralizovana struktura koja će omogućiti bezbjedan rad agregata u svim režimima rada.

Hijerarhijski gledano sledeći upravljački nivoi su predviđeni na agregatu:

- Nivo opreme (najniži nivo upravljanja i predstavlja upravljanje individualno opremom sa upravljačkih tastera na samoj opremi: prekidač, restavljač, ventili i sl.)

- Nivo funkcionalne grupe predstavlja upravljanje grupom uređaja koji obavljaju jednu funkciju u sistemu upravljanja agregatom: ulazna građevina i cjevovod, turbinska regulacija, pobuda, zaštite agregata, polje agregata u postrojenju 220kV. Funkcionalnim grupama upravljaju PLC-ovi u jednodimenzionalnoj ili redundantnoj konfiguraciji. Sa ovog nivoa moguće je izvršiti upravljanje svom opremom koja pripada funkcionalnoj grupi u ručnom, poluautomatskom i automatskom radu. Na nivou funkcionalne grupe PLC komunicira sa svim uređajima koji pridaju toj funkcionalnoj grupi i sa nadređenom master stanicom agregata.

- Nivo funkcionalne cjeline agregata predstavlja nivou upravljanja svim funkcionalnim grupama agregata sa jednog mjesta. To znači da se: start agregata iz stanja mirovanja, uključivanje svih pomoćnih pogona, pobuđivanje generatora, priključivanje na mrežu i zadavanje aktivne i reaktivne snage generatora obavlja sa jednog mjesta.

Za tu svrhu predviđena je ugradnja dvostrukog PLC-a koji predstavljaju master stanicu agregata, Master stanica je komunikacijski povezana sa PLC-ovima koji upravljaju funkcionalnim grupama. Takođe master stanica agregata je komunikacijski povezana sa sistemom upravljanja na nivou elektane.

Sistem upravljanja agregatom će biti baziran na redundantnoj hardverskoj platformi sa udvojenim procesorskim, komunikacionim i napojnim modulima, koji će omogućiti nesmetan rad agregata u slučaju kvara neke od komponenti. Takođe kvar na većem novou upravljani neće izazvati prekid procesa na nižem nivou upravljanja.

Komunikacioni sistem će biti organizovan kao dvostruka optička mreža koja može realizovati prenos podataka između glavnih servera, master stanica agregata i kontrolera koji upravljaju pojed-  
nim funkcionalnim cjelinama.

Režimi upravljanja koji su predviđeni za upravljanje opremom na nivou agregatu su:

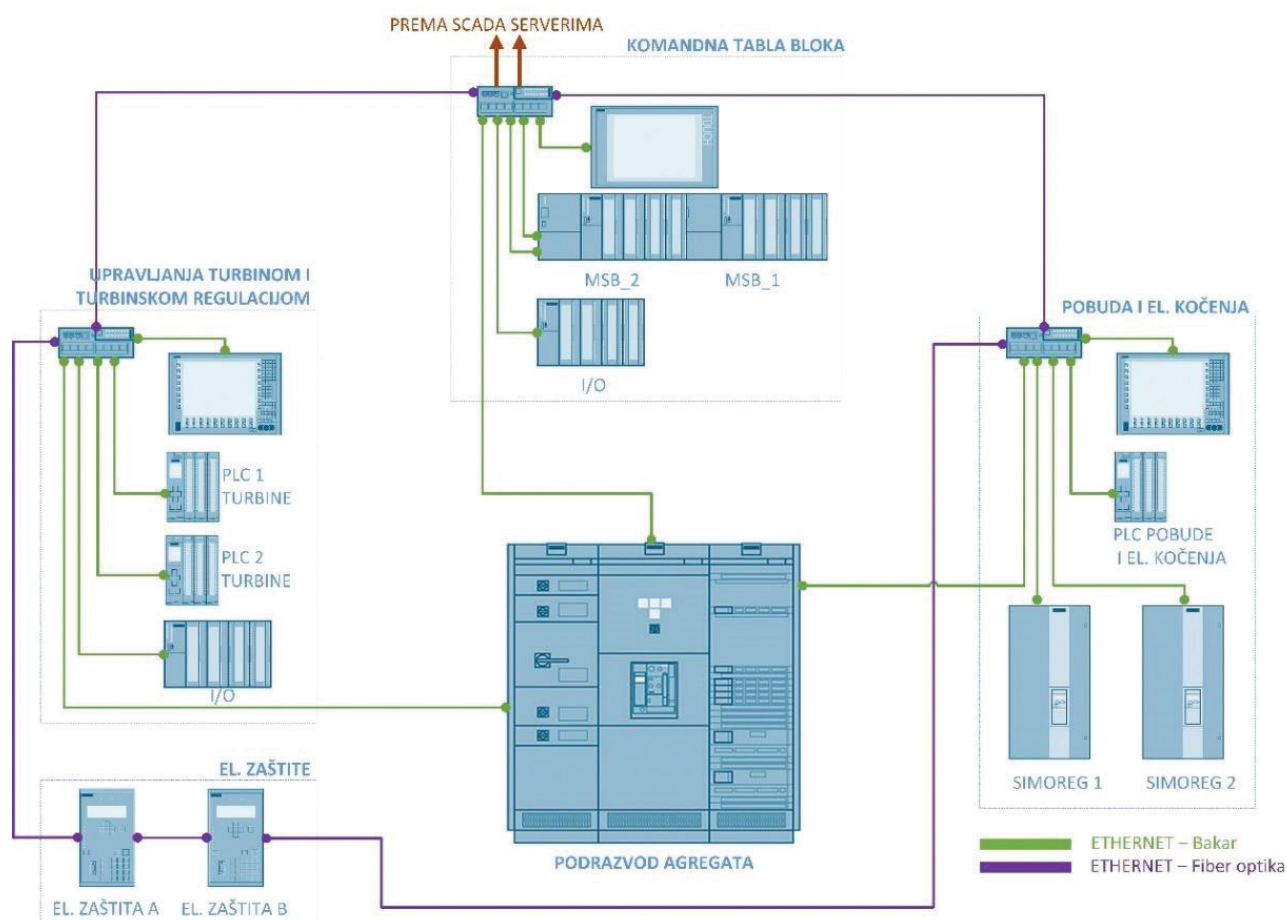
Ručno upravljanje - predstavlja režim direktnog upravljanja opremom agregata. Ovaj režim rada se primjenjuje obično tokom ispitivanja opreme i kvara na komunikacijama između uređaja.

Poluautomatsko upravljanje - predstavlja upravljanje opremom sa nivoa master stanice agregata. Proces startovanja agregata ide automatski, ali se prelazak na svaki sledeći korak u sekvenci starta ili stopa agregata mora potvrditi od strane operatera.

Automatsko upravljanje agregatom - predstavlja sekvencu starta agregata, iz mirnog stanja do uključivanja agregata na mrežu i dostizanja postavljene aktivne i reaktivne snage ili sekvencu zaustavljanje agregata koji je povezan na mrežu do stanja mirovanja agregata kada su isključeni svi njegovi pogoni. Automatsko upravljanje sprovodi master stanica agregata na osnovu sopstvenih programa i parametara koji su definisani u tim programima.

Dogadjaji u elektrani se signalitiraju se preko operacionih displeja. Vremenski pečat dogadjaja i njihovo snimanje po redosledu nastajanja, brza diagnostika grešaka i akcije neophodne za ispravljanje nastalih grešaka su takodje dio sistema upravljanja agregatom. Svi procesorski uređaji koji služe za upravljanje agregatom su vremenski sinhronisani preko GPS master clock sistema.

Nivo upravljanja iz komande elektrane predstavlja najviši nivo upravljanja u HE Piva. Na tom nivou upravljanja nalaze se sve upravljačke, signalizacione, mjerne funkcije svih funkcionalnih cjelina u hidroelektrani. Njega će činiti redundantni serveri koji zajedno sa klijentima i inženjerskom stanicom čine glavni sistem za upravljanje svim funkcionalnim cjelinama u elektrani. Pored nabrojanih elemenata predviđena je i ugradnja web servera, grupnog regulatora preko kog će biti realizovana i sekundarna regulacija, kao i sistem za upravljanje i optimizaciju voda na nivou hidroelektrane.



Slika 5: Topologija sistema upravljanja na nivou agregata



## 2.2. Zamjena opreme u postrojenjima sopstvene potrošnje

- Postrojenja sopstvene potrošnje u HE“ Piva“ čine sledeća postrojenja:
- Postrojenja 0,4kV - glavnog razvoda, predmet rekonstrukcije u sledećoj fazi
- Postrojenja 35kV, predmet rekonstrukcije u sledećoj fazi;
- Postrojenja 10kV, predmet rekonstrukcije u sledećoj fazi;
- Postrojenje dizel agregat, biće izvršena djelimična rekonstrukcija;
- Postrojenje 220V DC, izvršena potpuna rekonstrukcija;
- Postrojenje 230V UPS, izvršna potpuna rekonstrukcija.

### 2.2.1. Postrojenje 0,4kV:

U sledećoj fazi predviđena je zamjena postojećeg postrojenja 0,4kV sa novim tipskim, atestiranim, postrojenjem modularnog tipa, vazduhom izolovano. Rekonstrukcijom sistema 0,4kV predviđena je rekonstrukcija samog glavnog razvoda ali i promjena načina napajanja postrojenja. Postrojenje 0,4kV sastojće se od dva sistema sabirnica. Prvi sistem sabirnica će se napajati sa odcjepa agregata kada je agregat povezan sa mrežom ili povratno sa strane 220kV mreže. Drugi sistem će se napajati ili sa strane dalekovoda 35kV ili preko dizel agregata.

Postrojenje 0,4kV je metalno oklopljeno postrojenje modularno izlačivog tipa. Sastoji se iz dva sistema sabirnica. Drugi sistem sabirnica je sekcionisan u dvije sekcije koje su spojene prekidačem spojnog polja.

Prvi sistem sabirnica će se napajati sa odcjepa agregata preko transformatora 15,75/0,4kV, 1600kVA. Između transformatora i sabirnica biće instaliran prekidač izvlačivog tipa sa motorom za navijanje opruge sa zaštitnim funkcijama. Prva sekcija drugog sistema sabirnica će se napajati direktno sa dizel agregata snage 800KVA, a druga sekcija će se napajati sa dalekovoda 35kV preko transformatora 35/10kV i transformatora 10/0,4kV, 1600KVA. Takođe veza između transformatora i sabirnica biće preko prekidača izlačivog tipa sa motorom za navijanje opruge. Postojeće mogućnost upravljanja prekidačima direktno, pri čemu će blokade uključjenja prekidača biti realizovane žičano. Primarno napajanje sopstvene potrošnje je sa odcjepa agregata, dok je napajanje sa mreže 35kV i dizel agregata rezervno napajanje.

Upravljanje postrojenjem sopstvene potrošnje 0,4kV biće izvedeno u ormaru upravljanja postrojenjem. Postrojenjem će upravljati PLC sopstvene potrošnje u kojem će biti implementirane sve upravljačke, zaštitne, blokadne, signalizacione imjerne funkcije postrojenja. Takođe u okviru PLC-a će se realizovati logika uključjenja i isključenja izvora koji napajaju postrojenje 0,4kV. PLC će biti komunikacijski vezan sa sistemom upravljanja na nivou elektrane.

Svi podrazvodi 0,4kV u elektrani biće napajani dvostano sa oba sistema sabirnica. Na nivo podrazvoda biće realizovana funkcija zamjene izvora sa kojeg će se napajati podrazvod - changeover. Ovaj uređaj će imati i funkciju zatezanja kod uključjenja pojedinih izvora (uključenje potrošača na dizel agregat).

### 2.2.2. Postrojenja 35kV i 10kV

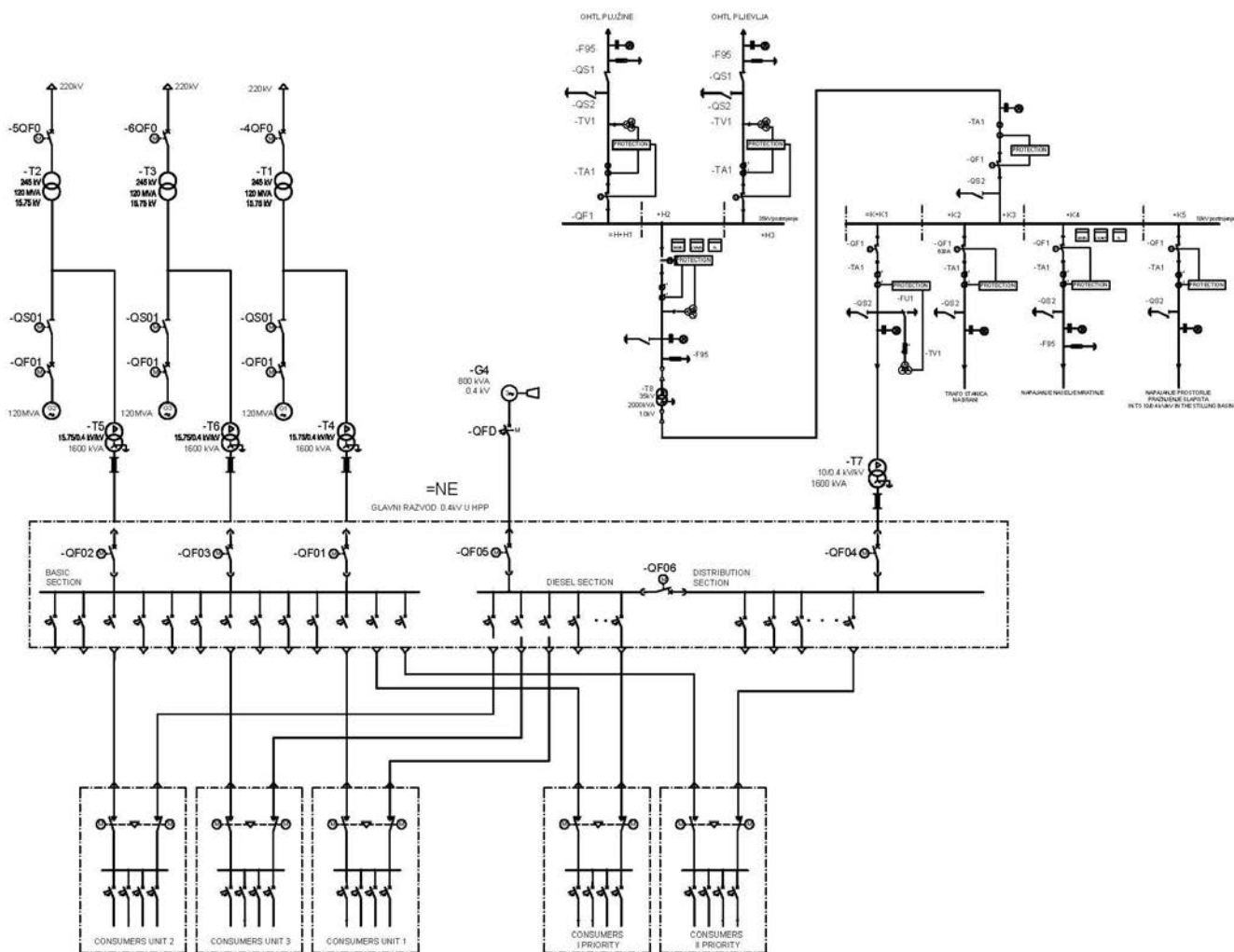
Novo postrojenje 35kV biće izvedeno kao oklopljeno, gasom izolovano postrojenje za unutrašnju montažu, sa prekidačima u vakumskoj izvedbi. Postrojenje će se sastojati od tri polja: dva dalekovodna polja i polja transformatora. Planirano je povećanje snage transformatora 35/10kV sa 1600kVA na 2000kVA. Upravljanje poljima postrojenja 35kV predviđeno je sa mikroprocesorskim uređajima koji će obavljati i funkcije upravljanja i funkcije zaštite dalekovoda.

Novo postrojenje 10kV će biti metalno oklopljeno postrojenje, vazduhom izolovano. Postrojenja 35kV i 10kV biće montirani u istoj prostoriji. Postrojenje 10kV će biti modularnog tipa i sastojće se

od pet polja. Funkcije upravljanja i zaštite u poljima obavljaće mikroprocesorski uređaj. Prekidači u postrojenju 10kV biće izvlačivog tipa sa tri pozicije: konektovan, u položaju testa, diskonektovan.

Takođe u elektrani, u prostoriji postrojenja 0,4kV instaliraće se i 10kV postrojenje istih karakteristika sa dva polja. Zaštitne upravljačke i zaštitne funkcije u ovom postrojenju obavljaće mikroprocesorski uređaj.

Na slici 6 predstavlja blok šema sopstvene potrošnje elektrane HEPiva, na kojoj su prikazani svi glavni razvodi u postrojenjima 0,4kV, 35kV i 10kV, svi izvori napajanja sopstvene potrošnje elektrane i grupe podrazvoda koji će biti instalirani u sistemu napajanja sopstvene potrošnje elektrane.



Slika 6: Blok šema sopstvene elektrane potrošnje

### 3. ZAKLJUČAK

U eksplatacionom periodu od puštanja u rad 1977 do 2010 nije bilo značajnijih rekonstrukcionih zahvata na: primarnoj opremi, upravljačkoj opremi i opremi sopstvene potrošnje elektrane. Projekat rekonstrukcije i modernizacije ima za cilj da osposobi elektranu za novi eksploatacioni period, optimizuje proces proizvodnje i pripremi elektranu za daljinsko upravljanje i pružanje dodatnih i sistemskih usluga, kroz ugradnju nove opreme i primjenu savremenih tehnoloških rješenja. Nova oprema koja je ugrađena i koja će biti ugrađena u postrojenja HE Piva omogućiće promjenu koncepta: upravljanja, zaštite i monitoringa nad opremom, kao i povećanu pouzdanost rada hidroelektrane.

## LITERATURA

1. Finalni izvještaj pripremne faze, AF-Consult Ltd i Energoprojekt Hidroinženjering, Avgust 2011 godine.
2. Studije izvodljivosti, AF-Consult Ltd i Energoprojekt Hidroinženjering,
  - Studija o mogućem radu mašina u smislu poboljšanja tehničke efikasnosti i proizvodnje, Maj 2010;
  - Studija o mogućem povećanju kapaciteta Mašina, Avgust 2010;
  - Studija o preostalom radnom vijeku opreme, Mart 2010.
3. Izvještaj konsultanta o testiranju mehaničke, hidromašinske i elektro opreme, AF-Consult Ltd i Energoprojekt Hidroinženjering, Avgust 2010 godine.

# OPTIMIZACIJA KORIŠĆENJA HIDRO POTENCIJALA ZETE I PIVE

Dr Miodrag Kaluđerović

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

**Kratak sadržaj:** Nesporna je činjenica da Crna Gora raspolaže značajnim ne iskorišćenim hidro i termo energetskim potencijalom. Vrše se značajni napori da se ovaj potencijal koristi, ali već 40 godina nije izgrađen značajan energetski proizvodni objekat. Ponuđena razvojna rješenja ne mogu da privuku domaće ili strane investitore uprkos tome što Vlada Crne Gore daje značajne podsticaje. Pored toga što ponuđena postojeća rješenja nijesu finansijski atraktivna za investitore naišla su na jak otpor brojnih društvenih činilaca zbog sukoba u prostoru. Postojeća projektna rješenja radile su renomirane projektantske organizacije, ali se pokazalo da ponuđeni koncepti na kojima su data postojeća rješenja ne zadovoljavaju ni investitore ni relevantne društvene faktore. Zbog toga je potrebno promijeniti koncept koji će eliminisati nepovoljne faktore koje generiše postojeći pristup rješavanja problema.

Intenzivnim proučavanjem karakteristika slivova i režima protoka rijeka Crne Gore ustanovili smo da postoje tehnička rješenja za korišćenje hidro potencijala, zasnovana na novom konceptu, koja su nekonfliktna sa okolinom, pozitivno utiču na ambijent a istovremeno omogućavaju veću proizvodnju električne energije od do sada ponuđenih rješenja. U radu je dat princip i glavni nalazi optimizacije za korišćenje dijela hidro potencijala rijeka Zete i Pive uz napomenu da je isti princip primjenljiv na cjelokupan sliv ovih rijeka kao i drugih rijeka Crne Gore.

**Ključne riječi:** hidropotencijal, isplativost energetskih postrojenja, korišćenje hidro potencijala, optimizacija, projektna rješenja, zaštita okoline

## 1. UVOD

Opšte prihvaćeno stanovište da država Crna Gora raspolaže relativno velikim energetskim potencijalom zasniva se na realnim mogućnostima proizvodnje energije na bazi hidro potencijala, postojanju značajnih ležišta uglja u Pljevaljskom i Beranskom basenu kao i na potencijalima proizvodnje iz obnovljivih izvora.

Glavni problemi koji su prouzrokovali eliminisanje dosadašnjih projektnih rješenja za korišćenje hidro potencijala su:

- Visoka cijena koštanja proizvedene energije koja je bila uvijek znatno veća od cijena energije na tržištu
- Maglovita obećanja o razvoju turizma na projektovanim hidro akumulacijama
- Nejasne mogućnosti navodnjavanja poljoprivradnih površina iz projektovanih hidro akumulacija
- Razorni uticaji na ambijent uz potapanje vrijednih objekata i najplodnijih zemljišta
- Ugrožavanje opstanka stanovništva u područji novih objekata

Razvojna opredjelenja za proizvodnju električne energije na bazi uglja blokirana su zbog više razloga. Glavni razlog leži u činjenici da postoji značajan pad cijene električne energije na globalnom nivou uz tendenciju daljeg pada cijena. U uslovima slobodnog tržišta nova proizvodnja bi bila sa većom cijenom koštanja od tržišne cijene zbog čega izostaje interes investitora, a proizvodnja u državnom vlasništvu neminovno bi dovodila do gubitaka koji bi bili na teret budžeta ili građana što je u osnovi isto. Sumornu sliku korišćenja raspoloživog energetskeg potencijala na bazi uglja komplikuju problemi zaštite okoline Pljevalja. Generalno negativan stav o proizvodnji električne energije na globalnom nivou kao i zastarela proizvodnja u postojećoj TE Pljevlja ne samo da ugrožava razvoj korišćenja uglja već i održavanje proizvodnje na postojećem nivou.

Korišćenje i razvoj proizvodnje električne energije na bazi obnovljivih izvora prije svega malih hidro elektrana i vjetro generatora ima slična ograničenja kao energija na bazi uglja. Prije svega visoka cijena koštanja proizvodnje koja zahtijeva nepodnošljiva opterećanja budžeta građana i ustupke investitorima od strane Države.

Realno sagledavajući mogućnosti proizvodnje, stanja postojećih projekata i tržišta energije zaključujemo da Crna Gora za razvoj proizvodnje električne energije u osnovi ima tri opcije i to:

**1.** Osloniti se na postojeća rješenja (radi obezbjeđenja potreba predviđene potrošnje, uz obezbjeđenje samodovoljnosti snabdijevanja električnom energijom iz sopstvenih izvora, po postojećim projektima obezbijediti dodatnu proizvodnju od 3000 GWh

[1] str.37. Nova proizvodnja ima troškove proizvodnje oko 60 €/MWh iznad tržišne. U takvoj situaciji izvoz energije i povećanje kapaciteta u tu svrhu nema smisla;

**2.** Odustati od razvoja energetskeg sektora; i

**3.** Tražiti nova rješenja koja će realno sagledati mogućnost savremenog razvoja energetskeg sektora u Crnoj Gori u cilju zadovoljavanja potreba Crne Gore kao i za profitabilan izvoz.

Ovim radom se daje doprinos razvoju trećeg scenarija, jer scenariji 1 i 2 mogu da dovedu Crnu Goru u krajnje nepovoljnu ne samo energetske već i platno bilansnu situaciju.

## 2. POSTOJEĆI KAPACITETI I PLANIRANA POBOLJŠANJA

Opis postojećeg stanja izvodimo iz [1], str. 31-50, smatrajući ga realnim i usvajajući pretpostavke rekonstrukcije i dogradnje postojećih objekata. Dajemo osnovne elemente sa akcentom na domete i očekivanja.

### Projekat revitalizacije HE Piva

Projekat revitalizacije predviđa povećanje instalisane snage sa sadašnjih 342 MW na 363 MW, dok se predviđa povećanje proizvodnje sa sadašnjih 762 GWh na 800 GWh. Investicije za revitalizaciju i dogradnju predviđene su u iznosu od 70 miliona €.

### Projekat revitalizacije HE Perućica

Predloženim mjerama revitalizacije predviđa se povećanje instalisane snage sa sadašnjih 285 MW na 307 MW dok se predviđa povećanje proizvodnje električne energije na prosječno godišnje 958 GWh. Pored toga Strategija predviđa ugradnju 8-og agregata od kojeg se očekuje dodatna proizvodnja od 20 GWh.

### Projekat revitalizacije TE Pljevlja

Revitalizacijom TE Pljevlja instalisana snaga se povećava sa postojećih 218,5 MW na 225 MW a prosječna godišnja proizvodnja sa 1150 na 1179 GWh. Pored povećanja proizvodnje predviđene su brojne intervencije i značajna ulaganja u cilju zaštite okoline i ispunjavanje normi EU. Za realizaciju programa predviđene su investicije od 60 miliona evra. Od 2020. godine predviđa se da ova TE radi sa približno 50% kapaciteta tj. oko 600 GWh godišnje. Dozvoljeni resurs radnih časova za ovu vrstu elek-

trana, prema regulativi EU, je 20 000 časova za period od 1. januar 2018. do 1. januar 2024. godine. Planirana prosječna godišnja proizvodnja od 600 GWh je u saglasnosti sa regulativom EU.

### **Revitalizacija postojećih malih elektrana**

Poslije rekonstrukcije postojeće male elektrane mogu da povećaju instalisanu snagu za 5 do 6 MW i da povećaju proizvodnju električne energije za 10 GWh. Program rekonstrukcije i modernizacije malih elektrana treba podržati iako on ne može značajno uticati na energetske bilans Države.

### **Osvrt na predloženi koncept razvoja**

Predloženi koncept razvoja proizvodnje električne energije prema Strategiji [1] i [2], najblaže rečeno, treba preispitati. Može se reći da, izuzev rekonstrukcija i modernizacija postojećih postrojenja ostali elementi Strategije nijesu se pokazali realnim i ostvarljivim. Djelimično je realizovan program razvoja malih hidro elektrana i vjetro generatora ali je cjelishodnost nastavka ovog programa problematična. Strategija je oblikovana 2014. godine i od tog vremena Država je ulagala velike napore i najavljivala značajne potsticaje da privuče investitore ali uvijek bez uspjeha. Interes su najavljivali jedino izvođači radova i isporučio opreme. Brojni objekti, predloženi Strategijom, bili su predmetom raspisanih tendera ali nikada nijesu uspijevali da privuku investitore. Razloge treba tražiti u postojećim konceptima. Dug je period provjere postojećih rješenja i vrijeme je da se ponude nova rješenja. Jedino rješenja koja su u stanju da privuku investitore i riješe sukobe u prostoru mogu se smatrati realnim i prihvatljivim. Nova rješenja treba da se zasnivaju prije svega na bonitetu rješenja a manje na posebne ustupke i podršku Države. Nova proizvodnja iz energetskih postrojenja treba da bude stabilna i konkurentna u uslovima otvorenog tržišta što je u skladu sa evropskom energetskom politikom za čije principe smo se opredijelili.

## **3. HIDRO POTENCIJAL ZETE PO NOVOM KONCEPTU**

Princip kojim se rukovodimo pri utvrđivanju elektro energetskog potencijala zasniva se na slijedećim premisama:

- Nova projektna rješenja tj. novi objekti ni na koji način ne smiju da kvare egzotični ambijent Crne Gore;
- Hidro akumulacije treba da budu sa definisanim maksimalnim nivoom tokom čitave godine izuzev u kratkim periodima pred povećanjem padavina;
- Stalni maksimalni nivo akumulacija treba da obezbijedi unapređenje ambijenta, navodnjavanje poljoprivrednih i drugih površina, razvoj turizma i drugih djelatnosti na akumulacijama;
- Poštovanje gore pomenutih principa povećava hidroenergetski potencijal, obezbjeđuje maksimalan rad u visokoj tarifi i doprinosi stabilnosti sistema proizvodnje električne energije.

U ovom radu gore postavljeni principi su aplicirani za korišćenje dijela hidro potencijala rijeka Zete i Pive. Navedeni principi elaborirani su i za ostali dio slivova Zete i Pive kao i za druge slivove rijeka Crne Gore čime je pokazano da se energetika može i mora razvijati u korist drugih korisnika hidropotencijala.

Iz objavljenih radova [3] i [4] i obimne patentne dokumentacije ENOP-a dajemo pregled nekoliko, po našem mišljenju, prioritarnih objekata čijom se realizacijom u kratkom roku rješava problem snabdijevanja Crne Gore električnom energijom iz sopstvenih izvora. Predloženim konceptom obezbjeđuje se niža cijena koštanja proizvodnje električne energije kako u navedenim projektima tako i u onim čija izgradnja po ovim principima slijedi.

Revitalizacija i modernizacija postojećih objekata [1] i [2] predviđa da prosječna godišnja proizvodnja u HE Perućica dostigne 978 GWh, uključujući ugradnju 8-og agregata, a za HE Piva 800 GWh ili ukupno 1 778 GWh. Smatramo da je Strategijom značajno potcijenjen realni potencijal hidro potencijala Zete i Pive, pa zbog toga dajemo rješenja po novom pristupu.

## Korišćenje hidro potencijala sliva rijeke Gračanice

Rijeka Gračanica, lijeva pritoka rijeke Zete, ima značajan hidro potencijal koji se ne koristi. Prosječan godišnji dotok u na njoj izgrađenoj akumulaciji Liverovići je 4,3 m<sup>3</sup>/s ili oko 120 miliona m<sup>3</sup>. Na ovom vodotoku formirana je akumulacija korisne zapremine od 10 miliona m<sup>3</sup>. Od akumulacije Liverovići u pravcu sela Ozrinići izgrađen je cjevovod dužine 4042 m prečnika 2,5 m. Vrijednost do sada izvršenih radova, objekata i eksproprijacije je preko 50 miliona €. Ništa od postojećih objekata i opreme se ne koristi. Raniji koncept izgradnje hidro elektrane opravdano je napušten. Osnovna rješenja kojima se može efikasno koristiti hidro potencijal rijeke Gračanice su kako slijedi prema slici 1.

- Izmjena ranije lokacije elektrane u selu Ozrinići sa kote 629 mnm na način što će se nova elektrana postaviti nizvodno 3 500 m od ranije lokacije tako da donja voda elektrane bude 604 mnm što je ujedno i gornja voda HE Perućica.

- Umjesto ranije planirane klasične HE Ozrinići snage 10 MW gradila bi se reverzibilna elektrana Ozrinići snage 15 MW. Reverzibilna elektrana omogućava stalan nivo akumulacije Liverovići tokom čitave godine

- Stalnim nivoom akumulacije Liverovići i dislokacijom hidro elektrane povećava se iskorišćenje hidro energetskog potencijala na prirodnom dotoku za 35% kao i obezbjeđenje da RHE Ozrinići radi u taktu sa HE Perućica tokom čitave godine za vrijeme važenja visoke tarife

- Na ovaj način se uz relativno male investicije od cca 30 miliona € obezbjeđuje stabilna proizvodnja od cca 300 GWh u visokoj tarifi.

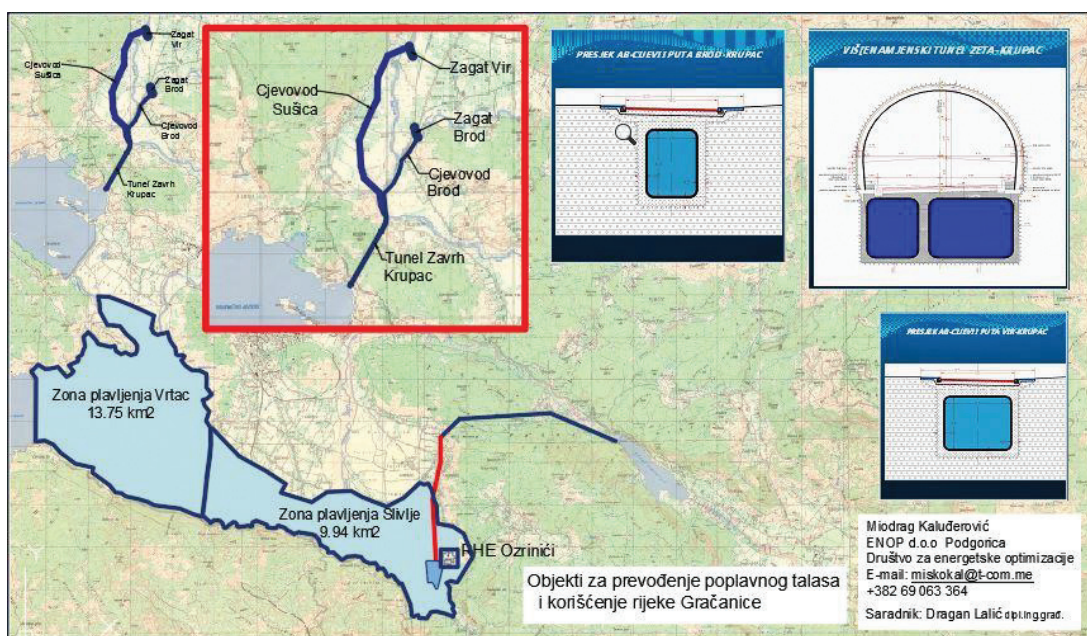
- U navedene investicije uključena je i ugradnja 8-og agregata snage 60 MW

- Ugradnja 8-og agregata je do sada bila sporna zbog navodno neodgovarajuće količine raspoložive vode. Korišćenjem hidro potencijala rijeke Gračanice po datom konceptu obezbjeđuje se rad 8-og agregata tokom čitave godine uz potpuno korišćenje fonda vremena važenja visoke tarife.

- Posebna vrijednost datog rješenja je što je relativno mala zavisnost od hidroloških prilika i varijacija razlika više i niže tarife [3], tabela 1, str 35.

- Hidro akumulacija Liverovići ima izvjesne gubitke vode koji se procjenjuju na 1-3 m<sup>3</sup>/s zavisno od nivoa akumulacije. U uslovima sistematičnog praćenja stanja akumulacije i kontrolom nivoa akumulacije putem reverzibilnog rada RHE Norin odrediće se mjesta gubitaka i način sanacije. Nivo gubitaka nije limit za primjenu ovog rješenja [3] str 35.

Iako je proizvodnja navedenih 300 GWh godišnje veoma značajna, od nje je po našem mišljenju značajniji povoljan efekat na čovjekovu okolinu i obezbjeđenje mogućnosti navodnjavanja gravitacionim putem do 10 000 ha.



Slika 1. Objekti za prevođenje poplavnog talasa i korišćenje rijeke Gračanice

### **Prevođenje dijela vode rijeke Zete u Krupac i Slano**

Postojeća rješenja prevođenja Zete u Krupac i Slano predviđaju mogućnost da se prevođenjem dijela Zete u Krupac i Slano poveća proizvodnja električne energije u HE Perućica za 30 GWh. Ovo rješenje je naišlo na oštar otpor javnosti zbog niza negativnih efekata na okolinu. Od brojnih štetnih uticaja izdvajamo praktičan gubitak 10 km Zete i povećanje poplava uzvodno od kontraverzne brane.

Kada je dotok rijeke Zete veći od potrošnje vode u HE Perućica višak vode se deponuje u reteziju Vrtac. U slučaju da je potrošnja vode za proizvodnju veća od dotoka voda se uzima iz retezije Vrtac, u slučaju da u njoj ima vode, inače se uzima iz akumulacije Krupac i Slano. Razlika količine vode koja je usmjerena u reteziju Vrtac i iskorišćenja vode iz retezije Vrtac predstavlja gubitke vode iz retezije Vrtac. Prosječne godišnje količine gubitaka za period 1991-2005. godine, prema [4] str.27, Tab.1 su kako slijedi:

Prosječno godišnje usmjerene količine u reteziju Vrtac 211 608 000 m<sup>3</sup> - (1)

Prosječno godišnje iskorišćene količine iz retezije Vrtac 19 777 000 m<sup>3</sup> - (2)

Gubici retezije Vrtac (3) = (1) - (2) 191 881 000 m<sup>3</sup> - (3)

Alternativnim rješenjem u čijoj je osnovi novi koncept karakteriše se korišćenjem postojećih ustava na rijekama Sušici i Rastovcu i ugradnji podzemnih cjevovoda [4] Str. 28-30 obezbjeđuje se da se poplavni talas u potpunosti usmjeri u akumulaciju Krupac čime se dobija [4] 8 - 10 puta više električne energije, nema sukoba sa okolinom, rješava se problem poplava i oslobađa se od periodičnog plavljenja preko 2 000 ha plodnog zemljišta. Prikaz novog koncepta dat je na sl.1..

### **Korišćenje hidro potencijala akumulacija Krupac i Slano**

Proračuni dotoka vode u akumulacijama Krupac i Slano i iskorišćenje vode za proizvodnju električne energije iz ovih akumulacija vršeni su povremeno i bili su bazirani na kratkotrajnim mjerenjima i procjenama. Izuzetno povoljna okolnost je to što su sistematično praćena stanja akumulacija, što nam je omogućilo da izvedemo pouzdan proračun dotoka vode u ove akumulacije.

Sistematičnim praćenjem protoka na mjernoj stanici Duklo, podataka o proizvodnji električne energije i praćenjem nivoa akumulacija na dnevnoj bazi u periodu od 15 godina 1991-2005.godine ustanovljen je realan bilans dotoka vode u ovim akumulacijama i data su tehnička rješenja za sprečavanje gubitaka vode iz njih. Od izuzetnog značaja je i ustanovljena korelacija dotoka vode u akumulacijama Krupac i Slano i protoka rijeke Zete na m.s. Duklo. Ustanovljene korelacije omogućavaju da se sistem definiše kao cjelina čime su stvoreni uslovi za proračune optimizacije korišćenja sistema kao jedinstvene cjeline [9]. Usmjeravanjem poplavnog talasa Zete u Krupac i Slano i definisanjem racionalnog korišćenja dotoka vode u akumulacijama Krupac i Slano stvorena je mogućnost da se izgradi reverzibilna hidro elektrana Opačica snage 30 MW, sl 2.

Gore navedena rješenja omogućavaju da sistem Gornje Zete na prirodnom dotoku ostvaruje povećanje prosječne godišnje proizvodnje za preko 650 GWh. Pored povećanja fizičkog obima proizvodnje omogućava se upravljanje sistemom čime se obezbjeđuje da se u višoj tarifi umjesto dosadašnjih prosječno godišnje proizvedenih 428 GWh proizvodi 1200 GWh. Navedena rješenja pretstavljaju zaista veliko poboljšanje sistema Gornje Zete, ali moguća su i potrebna dalja poboljšanja koja se prezentiraju u narednom poglavlju.

## **4. OPTIMIZACIJA SISTEMA HIDRO POTENCIJALA ZETE**

Rješenja korišćenja hidro potencijala rijeke Zete iskorišćenjem hidro potencijala Gračanice, prevođenje poplavnog talasa Zete u Krupac i Slano i sanacija hidro akumulacije Slano, pored značajnog poboljšanja u odnosu na dosadašnji koncept, imaju tri glavna nedostatka i to:

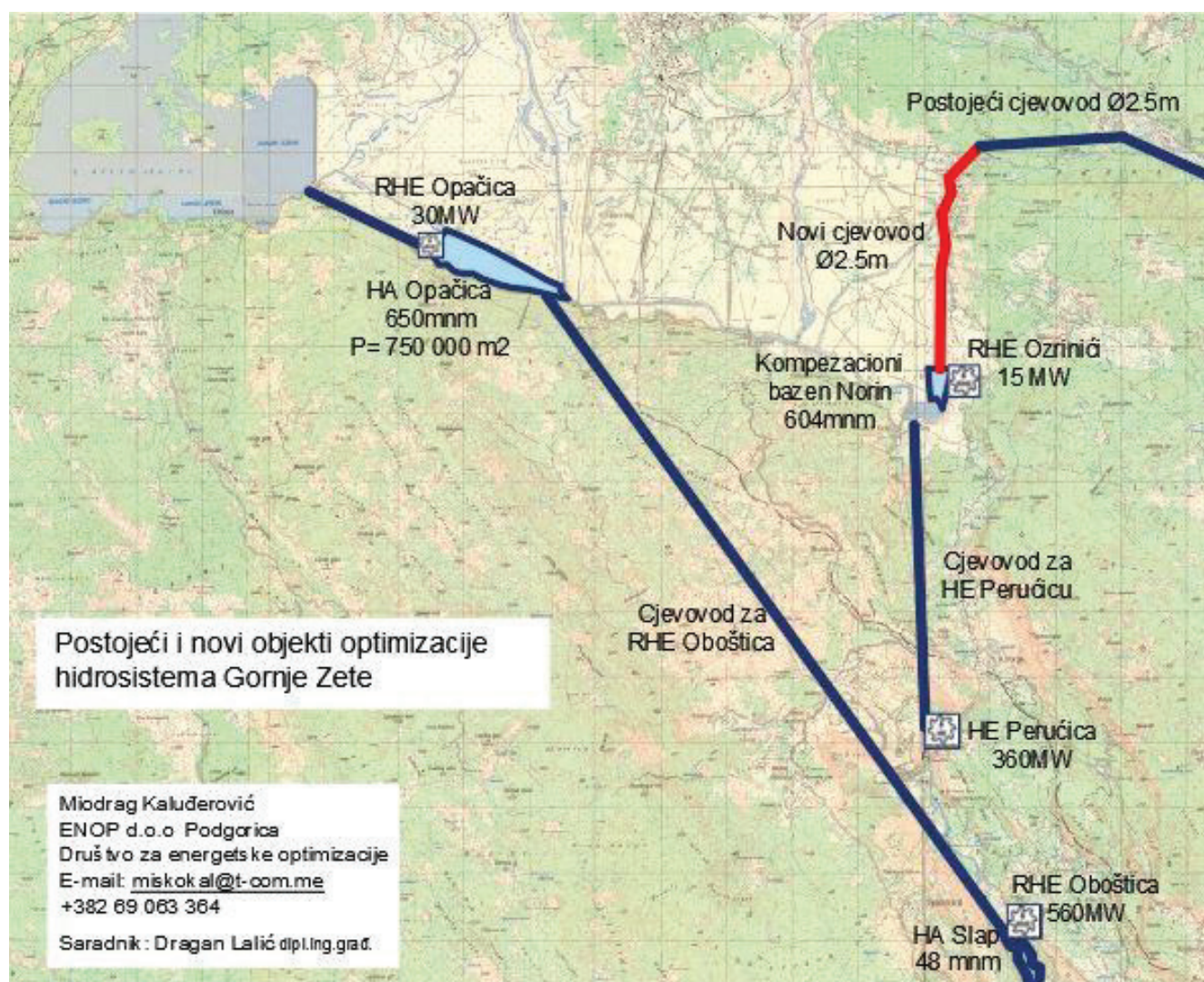
- Prosječni godišnji prelivi preko brane Slano su 173 miliona m<sup>3</sup>
- Značajna količina električne energije 372 GWh prosječno godišnje proizvodi se u nižoj tarifi
- Stabilnost sistema je značajno zavisna od hidroloških prilika



Navedena tri problema rješavaju se izgradnjom RHE Oboštica sl. 2 čije su glavne karakteristike:

- Instalirana snaga .....560 MW
- Instalirani protok..... 120 m<sup>3</sup>/s.
- Korisna zapremina akumulacije je postojeća zajednička sa HE Perućica .....153 x 106 m<sup>3</sup>,
- Projektovana godišnja proizvodnja el. energije na dotoku..... 760 GWh,
- Projektovana godišnja proizvodnja el. energije u reverzibilnom režimu do .....2000 GWh
- Kota gornje vode ..... 605 mm
- Kota donje vode ..... 48 mm
- Bruto pad ..... 557 m
- Neto pad oko ..... 540 m

Izgradnjom RHE Oboštica omogućen je rad uz visok rentabilitet samo na prirodnom dotoku ali i veoma značajna mogućnost proizvodnje energije u reverzibilnom režimu rada i to ne samo za RHE Oboštica već i za HE Perućica bez dodatnih investicija. Donja voda RHE Oboštica je 48 mm što je ujedno i gornja voda postojeće HE Slap instalirane snage 2,6 MW, što stvara mogućnost da se dotok vode iz HE Perućica od 80,75 m<sup>3</sup>/s i dotok iz RHE Oboštica sa dotokom 120 m<sup>3</sup>/s iskoristi na način što će se 900 m nizvodno od brane akumulacije Slap izgraditi RHE Doganov Krš snage oko 30 MW. Izgradnja RHE Oboštica i RHE Doganov Krš u potpunosti rješava problem poplava nizvodno i uzvodno od brane Slap. Izgradnjom RHE Doganov Krš poboljšavaju se uslovi za rad HE Slap.



Sl.2 Objekti optimizacije hidro potencijala rijeke Zete

## 5. OPTIMIZACIJA HIDRO POTENCIJALA PIVE

### Postojeće stanje

Postojeći objekti na rijeci Pivi su hidro akumulacija Pivsko jezero i HE Piva. Navodimo nekoliko osnovnih tehničkih karakteristika uzetih iz [8]:

- Ukupna zapremina akumulacije.....	880x106 m <sup>3</sup>
- Korisna zapremina .....	790x106 m <sup>3</sup>
- Prosječan godišnji protok .....	74,5 m <sup>3</sup> /s.
- Instalirani protok .....	240 m <sup>3</sup> /s.
- Instalirana snaga .....	360 MW
- 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

### Objekti nove koncepcije i režim rada

Izgradnjom RHE Piva i RHE Kruševo ostvaruju se dodatni efekti u postojećoj HE Piva bez novih ulaganja. Pozitivni efekti se ostvaruju po dva osnova i to:

1. obezbjeđuje se konstantan rad u visokoj tarifi tokom čitave godine u trajanju 3 500 časova čime se obezbjeđuje proizvodnja od 1 200 GWh, i
2. eliminišu se prosječni godišnji gubici, koji nastaju zbog denivalacije, od 321 GWh.

### RHE Piva

Osnovna ideja o izgradnji RHE Piva snage 360 MW 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 po osnovu denivalacije akumulacije. Pumpni režim rada 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 .....	360 MW
- Instalirani protok.....	240 m <sup>3</sup> /s
- Godišnji broj radnih časova u višoj tarifi .....	3500 h
- Godišnji broj časova u pumpnom režimu rada .....	4300 h
- Ulazna kota napojnog tunela.....	665 mnm
- Donja voda RHE Piva (kao za HE Piva).....	495 mnm

Vodozahvat 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 mnm odabrana je jer smatramo da to treba da bude maksimalno dopušteni niski nivo akumulacije i to kratkotrajno pri očekivanju ekstremnih dotoka.

### RHE Kruševo

Koncepcija izgradnje brane i akumulacije za RHE Kruševo u osnovi bi bila slična sa rješenjem koje je dato idejnim projektom Elektroprojekta, Ljubljana 1973. godine. Bitna razlika je u tome što se ne bi gradila pribranska klasična HE Kruševo snage 120 MW, već derivaciona RHE Kruševo snage 270 MW na sastavu Pive i Tare. Studijom [7] str.37 HE Kruševo je odbačena kao nerealna, između ostalog, i

zbog komplikovanih međunarodnih odnosa vezanih za postojeća rješenja. Novom koncepcijom koju predlažemo svi do sada navođeni problemi su eliminisani. Nova koncepcija između ostalog predviđa da se brana akumulacije Kruševo pozicionira tako da oba oporca brane budu na teritoriji Crne Gore što je oko 4500 m nizvodno od postojeće brane akumulacije Piva. Napojni tunel za RHE Kruševo odvodi vodu iz akumulacije Kruševo do RHE Kruševo. Tunel se gradi paralelno sa tokom rijeke Pive do sastava Pive i Tare gdje se na teritoriji Crne Gore gradi RHE Kruševo.

Osnovne tehničke karakteristike za RHE Kruševo su kako slijedi:

- Slivno područje .....	1 843 km <sup>2</sup>
- Prosječan godišnji proticaj .....	75,8 m <sup>3</sup> /s
- Instalirani proticaj .....	480 m <sup>3</sup> /s
- Kota normalnog uspora 495 mm.....	495 mm
- Korisna zapremina akumulacije .....	29 x106 m <sup>3</sup>
- Tip brana betonska lučna (alternativa nasuta)	
- Instalirana snaga .....	270 MW
- Ukupna preoizvodnja u višoj tarifi.....	945 GWh
- Prosječna godišnja proizvodnja na dotoku.....	358 GWh
- Potrebna energija za pumpanje (945-358)*1,2 .....	705 GWh

#### **Upoređenje osnovnih finansijskih efekata za HE Kruševo i RHE Kruševo**

Iz obimne tehničko tehnološke i ekonomske dokumentacije navodimo nekoliko glavnih karakterističnih pokazatelja.

Prihodi od prodaje električne energije za HE Kruševo (ranije koncepcije) su kako slijedi:

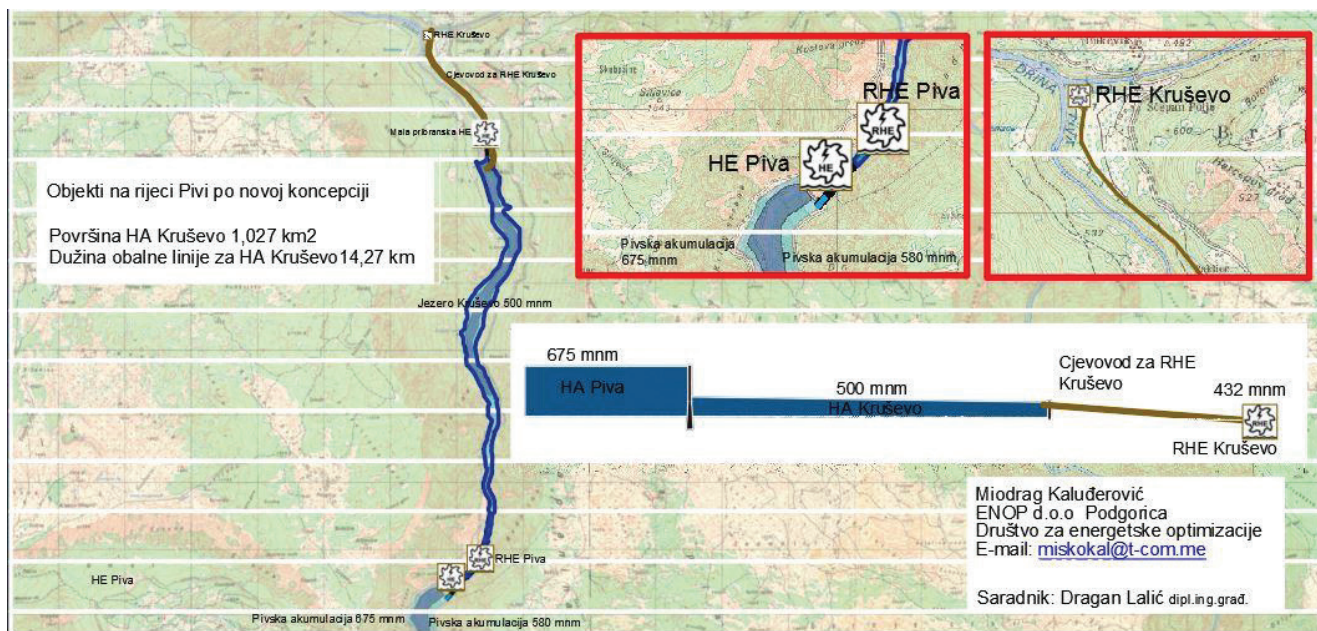
- Prihodi od prodaje vršne energije 90 000 MWh*50 €/MWh .....	4 500 000 €
- Prihodi od prodaje u nižoj tarifi 230 000 MWh*30 €/MWh .....	6 900 000 €
- Ukupno .....	11 400 000 €

Prihodi od prodaje energije iz RHE Kruševo bazirani su na 3500 sati rada u višoj tarifi ali treba ih umanjiti za troškove za nabavku energije za pumpanje u nižoj tarifi. Gubici energije za pumpanje su veći za 20% od dobijene električne energije u višoj tarifi. Osnovni parametri su kako slijedi:

- Prihodi od prodaje struje u višoj tarifi 270 MW*3500*50 €/MWh .....	47 250 000 € (1)
- Troškovi za nabavku energije 715 000 MWh*30 .....	21 450 000 € (2)
- Razlika vrijednosti i proizvodnje i nabavke energije (3) = (2) - (1) .....	25 800 000 € (3)

Kada se uzmu u obzir i drugi efekti iz rada RHE Kruševo kao što su obezbjeđenje stalnog nivoa akumulacija Piva i Kruševo, poboljšanje rada HE Piva i RHE Piva jasno je da koncepcija sa izgradnjom RHE Kruševo nudi višestruke pozitivne efekte u odnosu na klasičnu gradnju HE Kruševo.

Predviđena je izgradnja manje pribranske elektrane sa instaliranim protokom oko 20 m<sup>3</sup>/s čime bi se obezbijedio biološki svijet od brane Kruševo do Šćepan polja.



Sl.3 Objekti optimizacije hidro sistema Pive

## 6. PRIRAST VRIJEDNOSTI SISTEMA ZETE I PIVE

Veoma važan pokazatelj vrijednosti novog pristupa može se sagledati iz promjene vrijednosti sistema prema [9] su kako slijedi:

Sadašnja vrijednost (305 MW+360 MW)\*1 500 000 €/MW = 997 500 000 €.....(1)

Vrijednost poslije izgradnje (1045 MW+990 MW)\*1500000 €/MW = 3 052 500 000 € .....(2)

Ukupna ulaganja 780 000 000 € .....(3)

Neto prirast vrijednosti (4) = (2) - (1) - (3) = 1 275 000 000 €.....(4)

Realno je da je sadašnja vrijednost po jednom MW precijenjena a vrijednost megavata poslije ulaganja je veća zbog karakteristika sistema.

## 7. EKOLOŠKI ASPEKT

U postojećim uslovima eksploatacije akumulacija osnovni ekološki problem vezan je za velike oscilacije nivoa akumulacija tokom godine. Zajedničko za sve razmatrane akumulacije je da, kada su na maksimumu ili blizu maksimuma, predstavljaju prave dragulje u ambijentu. Nažalost, kada su prazne ili poluprazne, makoliko ih mi voljeli, pružaju ružnu i tužnu sliku nasilja nad prirodom. U tabeli br 1.date su osnovne karakteristike za 5 razmatranih akumulacija.

Tabela br.1

Redni broj	Naziv akumulacije	Dužina obalne linije km	Površina akumulacije km <sup>2</sup>	Ukupna zapremina akumulacije 106 m <sup>3</sup>	Projektovana oscilacija nivoa m
1	Liverovići	5,6	1	10	18
2	Krupac	11	4,5	42,1	12
3	Slano	21	8,5	111	15
4	Piva	109	19	880	80
5	Kruševo	13,7	1016	29	10
	Ukupno	160,3	34,16	1062	

Iz tabele br.1 vidimo da je ukupna dužina obalnih linija za razmatranih samo 5 akumulacija 160,3 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. Napominjemo da izgradnja uzvodnih akumulacija na relevantnim tokovima obezbjeđuje dalju minimizaciju oscilacija nivoa akumulacija.

## **8. OSLOBOĐAVANJE OD POPLAVA I NAVODNJAVANJE POLJOPRIVRADNIH POVRŠINA**

Poljoprivreda, bez sumnje, zaslužuje najveći prioritet kao razvojno opredjelenje Crne Gore. Deklarativno, to je već dugo vremena državno opredjelenje. Uprkos velikim naporima Države i pomoći međunarodne zajednice rezultati su, najblaže rečeno, skromni. U pozitivnu stranu dosadašnjeg razvoja poljoprivrede možemo smatrati usaglašenost legislative sa Evropskom unijom, unapređenje znanja iz tehnologije proizvodnje i shvatanje značaja poljoprivrede.

Racionalno navodnjavanje je moguće organizovati jedino iz akumulacija koje su stabilne i na definisanom maksimalnom nivou što je osnovna premisa novog pristupa u korišćenju hidropotencijala Crne Gore. Pored toga što će, uz obezbijeđeno navodnjavanje, veliki kompleksi poljoprivrednog zemljišta povećati svoju proizvodnju po jedinici površine 3 do 10 puta, značajni kompleksi koji se danas ne smatraju poljoprivrednim zemljištem postaće ekskluzivni proizvodni kompleksi. Najbolja potvrda saopštenih stavova su Plantaže, firma koja služi na ponos Crne Gore.

## **9. ZAKLJUČAK**

Prezentiranim novim pristupom moguće je i potrebno realizovati ciljeve kako slijedi:

Uljepšati ambijent Crne Gore na način što će se obezbijediti stalan nivo akumulacija Liverovići, Krupac, Slano, Piva i Kruševo čija će ukupna obalna linija iznositi oko 160 km;

Stvaranje mogućnosti navodnjavanja velikih poljoprivrednih površina; i

Povećanje proizvodnje električne energije na dotoku za preko 100% u odnosu na postojeće koncepcije praćeno sa povećanjem ekonomske vrijednosti proizvedene energije 3 do 5 puta.

### **Zahvalnost**

Posebnu zahvalnost pri radu na ovoj problematici dugujem Prof. dr Mićku Raduloviću, Dr Milanu Raduloviću, Prof. dr Goranu Sekuliću i Prof. dr Petru Vukoslavčeviću.

## **LITERATURA**

1. Vlada Crne Gore, Strategija razvoja Crne Gore do 2030, Bijela knjiga
2. Vlada Crne Gore, 2016.godine, Strategija razvoja energetike Crne Gore do 2030, Zelena knjiga
3. Kaluđerović, Korišćenje hidro potencijala Gračanice, Ing komora CG, Pogled broj 19, str.31
4. Kaluđerović, Prevođenje poplavnog talasa rijeke Zete u Krupac i Slano, Ing komora CG, Pogled br.20, str.26
5. Crna Gora, Zavod za statistiku, Statistički godišnjak 2016
6. Strategija razvoja energetike Crne Gore do 2030. godine (predlog decembar 2015)
7. World Bank Group, Podrška upravljanju vodnim resursima reke Drine, Sveska 1- Glavni izveštaj, jun 2016
8. CEDIS - jun 2017, Hidroelektrana Piva
9. Kaluđerović, Korišćenje hidropotencijala Zete i Pive u kontekstu nove paradigme, PP prezentacija, Ing. komora CG, Okrugli sto, decembar 2016

# KLJUČNA OTVORENA PITANJA I MOGUĆA RJEŠENJA U KORIŠĆENJU HIDRO POTENCIJALA CRNE GORE - NA PRIMJERU RIJEKE MORAČA

Mr Slobodan J. Perović

**Kratak sadržaj:** Rad se bavi ključnim otvorenim pitanjima u korišćenju hidroenergetskog potencijala Crne Gore, a ilustrovan je na primjeru rijeke Morača. Postojeći koncept korišćenja hidroenergetskog potencijala, na primjeru r. Morača, datira od prije više od 40 godina. Potrebno je razriješiti otvorena pitanja koja postojeći koncept vuče od svog početka.

Takođe je potrebno postojeći koncept izmijeniti shodno novim trendovima u svjetskoj hidroenergetici, tržištu energije i nastalim promjenama društvenih sistema. Poenta izmjena u konceptu je u uvođenju principa: upravljati vodotocima, umjesto upravljati energijom. Iz uvođenja tog principa slijede sve druge promjene, kojim će se rad baviti. Predloženi princip harmonizira sve dimenzije - aspekte projekta hidroelektrana na r. Morača, za razliku od postojećeg koncepta, u kojem su sve dimenzije konfliktne.

Po predloženom principu iskorišćeni hidroenergetski kapacitet r. Morača je 3 do 6 puta veći u odnosu na kapacitete iz postojećeg koncepta. Koristi od proizvodnje električne energije su jedna trećina ukupnih koristi projekta, a dvije trećine koristi bile bi od poljoprivrede i drugih pratećih djelatnosti.

**Ključne riječi:** Upravljanje vodama; Rijeka Morača; Korišćenje hidro potencijala; Crna Gora.

**Abstract:** The study deals with key open issues in the hydro potential use in Montenegro illustrated by the example of the Moraca River. The existing concept of hydropower potential use, in the case of the Moraca River dates back more than 40 years ago. It is necessary to resolve open issues which existing concept draws from its inception. It is also necessary to change the existing concept in accordance with new trends in the global hydropower, energy markets and emerging changes in the social system. The main change in the concept is the introduction of principles: to manage water flows, rather than to manage energy.

The introduction of this principle followed by all the other changes, will be showed in the study. The proposed principle harmonises all dimensions - the aspects of hydropower projects on the Moraca River, unlike existing concept, in which all dimensions are in the conflict.

According to the present principle utilized capacity of the river hydro power Morača is 3 to 6 times higher compared to the capacities of the existing concept. The benefits from the production of electricity are one-third of the total projects benefits while two-thirds should be use for agriculture and other related activities.

**Key Words:** Water management, Moraca River, Hydropower utilization, Montenegro

# 1. UVOD

Rad se bavi otvorenim pitanjima u konceptu projekta „4 elektrane na Morači“ i razrješenjem otvorenih pitanja koja postojeći koncept vuče od svog početka.

Takođe, rad se bavi izmjenama postojećeg koncepta shodno novim trendovima u svjetskoj hidroenergetici, promjenama po pitanju tržištu energije i nastalim promjenama društvenih sistema poslednjih decenija.

Postojeći projekat „4 elektrane na Morači“, je koncipiran krajem sedamdesetih godina prošlog vijeka. Projekat je zasnovan na korišćenju dijela pada rijeke Morača od oko 200 m, u odnosu na ukupan pad od oko 1300m rijeke Morača od oko 200 m, u odnosu na ukupan pad od oko 1300m.

Postojeći projekat „4 elektrane na Morači“, u konceptu ispoljava niz nedostataka, tipa: projektovana je visoka brana za HE Andrijevo, potapa magistralni put Podgorica Kolašin, kanjom Morače, obradivo zemljište, kuće, groblja, ugrožava Manstir Morača i u vanrednim prirodnim ili drugim situacijama, prijeti rušilačkim poplavama Glavnom gradu Podgorica i Zetskoj ravnici. Postojeći pristup favorizuje energetske korišćenje voda rijeke Morača, a svi drugi aspekti projekta su u drugom planu i njihovo žrtvovanje se pravda društvenom potrebom za električnom energijom.

Predlog novog pristupa za izgradnju elektrana na Morači zasnovan je na upravljanje vodama rijeke Morača i na integralno korišćenje rijeke na ukupnom padu od oko 1300m.

Upravljanje vodama rijeke Morača daje prioritet humanom aspektu u korišćenju voda, zatim poljoprivrednom aspektu, zatim industrijskom i na kraju energetske aspektu, tj proizvodnji električne energije.

Rezultati novog pristupa su: nema projektovana visokih brana, nema potapanja magistralnog put Podgorica - Kolašin i kanjom Morače, nema potapanja obradivog zemljišta, kuća i groblja, nema ugrožavanja Manstira Morača i u vanrednim prirodnim ili drugim situacijama, nema prijetnji rušilačkim poplavama Glavnom Gradu Podgorica i Zetskoj ravnici. Poljoprivreda dobija mogućnost navodnjavanja, bez uroška električne energije – gravitacionim padom i mogućnost povećanja prinosa po hektaru. Proizvodnja električne energije se višestruko povećava u odnosu na postojeći projekat „4 elektrane na Morači“.

Autor ovog rada je dio šireg projektnog tima samostalnih istraživača, zadužen za koncipiranje novog pristupa, za projektno oblikovanje istraživačke građe i za provjeru isplativosti projekta. Projektni tim samostalnih istraživača već 15 godina istražuje pitanje promjene pristupa u korišćenju hidro potencijala Crne Gore.

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 realizacija postojećeg projekta „4 elektrane na Morači“. Kada kažemo „4 elektrane na Morači“, pod ovim pojmom podrazumijevamo i sve projekte koji čini formalnu modifikaciju projekta „4 elektrane na Morači“, jer zadržavaju isti pristup, samo što se eksponiraju sa šest, osam, ili slični brojem elektrana.

## 2. OSVRT NA OTVORENA PITANJA POSTOJEĆEG PROJEKTA „4 HE NA MORAČI“

Projekat „4 elektrane na Morači“<sup>1</sup> koncipiran je početkom osamdesetih godina prošlog vijeka. Naručilac projekta je Elektroprivreda Crne Gore Nikšić.

Projektanu dokumentaciju je uradio Energoprojekt Beograd. U projektu su uključena aktuelna znanja tog vremena.

Investiciono tehnička dokumentacija je razvijena u nivou glavnog projekta 1984. do 1988. godine<sup>2</sup>. Elektroprivreda Crne Gore Nikšić je osamdesetih godina bila zadužena za realizaciju projekta, a u novije vrijeme tu ulogu je preuzela država.

Rezultati detaljne analize nedostataka projekta „4 elektrane na Morači“, mogu se sažeti u sledećem:

1. Projekat je investiciono previše zahtjevan i košta 550 mil.€ +- 15% (prije + nego -) ;
2. Projekat ostvaruje proizvodnju do 720GWh godišnje, od čega 70% visoko vrijedne i 30% nisko vrijedne električne energije;
3. Projekat se realizuje kroz gradnju 4 elektane i to: HE Andrijevo instalisane snage 127MW, HE Raslovići instalisane snage 37MW, HE Milunovići instalisane snage 37MW i HE Zlatica instalisane snage 37MW, što ukupno iznosi 240MW;
3. Projekat predviđa visoku branu za HE Andrijevo od 150m visine;
4. Realizacijom projekta potapa se oko 18 km magistralnog puta i desetak km lokalnih puteva;
5. Realizacijom projekta potapaju se obradive površine, kuće, groblja i crkve;
6. Realizacijom projekta ugrožavaju se istorijski spomenici kao što su: Manastir Morača iz 13-og vijeka, Danilov most i Kaluđerski most;
7. Potencijalno klizište Đurđevina je latentna katastrofalna opasnost za Podgoricu i Zetsku ravnicu;
8. Rijeka Morača ima pad od više od 1300m, a postojeći projekat isti koristi samo u dijelu od 200m;
9. U odnosu na prirodni protok, instalisni protok je koncipiran približno sa odnosom 1:3, što odgovara odnosu koji se praktikuje za ravničarske rijeke, a ne za planinske, buičave rijeke, kakva je rijeka Morača<sup>3</sup>;
10. Projekat je neusaglašen. Naime, poslednja verzija tehničko-tehnološkog dijela je urađena 1988. godine. Nije inoviran, nego je kroz indeksiranje cjenovno aktuelizovan nekoliko puta. Tehničko- tehnološki aspekti su ostali nepromijenjeni. Ekonomski dio je inoviran studijom „Poyry“ Tehnički i ekonomski savjeti za hidroelektrane na Morači 4 2009.godine. Naručilac studije je zanemario veoma kvalitetne primjedbe i sugestije obrađivača ekonomske studije po pitanju zastarjelosti tehničkih podloga i neusaglašenosti sa ekonomskim dijelom. Neprihvatljiv je stav da se u tehnici, a posebno u tehnici gradnje, ništa nije promijenilo za poslednjih 40 g.
11. Poslednjih 40 godina, evidentno je veliko neprihvatanje projekta od strane ekologa i šire javnosti zbog ugrožavanja kanjona Morača, Manastira Morača i Podgorice.

Prethodne konstatacije problematizuju skoro svako navedeno pitanje. Razrješenje navedenih problema ne može se izvršiti u okviru postojećeg pristupa, jer je on zasnovan na ciljnoj funkciji – maksimizirati proizvodnju električne energije, a čije favorizovanje je po prirodi stvari konfliktno.

## **3. NOVI PRISTUP U KORIŠĆENJU VODNIH RESURSA CRNE GORE**

### **3.1. Generalna postavka pristupa**

Novi pristup u korišćenju hidro potencijala rijeke Morača zasnovan je na sledećem principu:

Upravlјati vodnim potencijalom rijeke Morača, umjesto upravljati hidropotencijalom rijeke Morača.

Potrebno je dati prioritet kriterijumima: korišćenje vode za humanu upotrebu, korišćenje vode za poljoprivredu, korišćenje vode za industriju i na kraju korišćenje vode za proizvodnju električne energije.

Upravlјati vodnim resursom, znači upravljati rijekama, konkretno rijekom Morača, rijekom Zeta, rijekom Komarnica, jezerom Piva i drugim rijekama u Crnoj Gori.

Prisutni paradoks - bježanja stanovništva od rijeka, rješava se primjenom principa –upravljati vodnim resursima, a ne hidro energijom i u tom slučaju voda je prvenstveno blagodet lokalnog stanovništva, pa poslije toga svih drugih;



## 3.2. Izvedene pojedinačne postavke pristupa iz generalne postavke

Iz generalne postavke pristupa izvedene su sledeće pojedinačne postavke:

1. Projekat bazirati na akumulacijama koje ne izlaze iz korita rijeke Morača i pritoka. Na taj način izbjegavaju se negativni efekti prethodnog pristupa (visoke brane i velike akumulacije koje prouzrokuju potapanje kuća, imanja, škola, groblja, magistralnog puta, seoskih puteva, ugrožavanje ili potapanje istorijskih spomenika i raseljavanja stanovništva);
2. Pristupiti korišćenju pada od preko 1.300m na integralnom toku rijeke Morača, od izvora do ušća rijeke sa pritokama i izgraditi najmanje 26 hidroenergetskih objekata na glavnom toku i pritokama;
3. Tretirati rijeku Morača kao kao planinsku - buičavu rijeku i instalirati kapacitet projektovanih elektrana adekvatno planinskim - buičavim rijekama. Odnos između prosječnog prirodnog protoka i instalisanog protoka opredijeliti između 1:4 i 1: 10 kako je to pravilo za buičave-planinske rijeke, a ne 1:3 kako je to projektovano u postojećem projektu „ 4 elektrane na Morači“, što je pravilo za ravničarske rijeke;
4. Koristiti povoljnosti prirodnih hidrografskih uslova na cijelom toku - pad od 1300m.
5. Koristiti tržišni mehanizam zasnovan na cijeni električne energije na evropskim berzama koja je pravilu dva puta veća u dnevnoj tarifi nego u noćnoj tarifi i za dane vikenda i praznika.
6. Nedostatak vode u sušnom periodu rješavati izgradnjom reverzibilnih hidro elektrana (RHE).

### 3.2.1. Upravljanje vodnim resursima, upravljanje rijekama, konkretno r. Morača, r. Zeta, r. Komarnica, jezerom Piva i drugim rijekama u Crnoj Gori

Sedamdesetih godina prošlog vijeka, postavljena je ciljna funkcija projekta “4 HE na Morači” – maksimizirati proizvodnju električne energije. Tako postavljenu ciljna funkcija, bila je u skladu sa tadašnjim privrednim sistemom i velikim prostorom Jugoslavije, gdje je žrtvovanje prostora izgledalo proporcionalno manje nego kad je u pitanju sadašnja Crna Gora. Žrtvovanje prostora i prioritetna energetska eksploatacija vode, doveli su do otpora ekologa, intelektualaca i ukupne stručne i laičke javnosti, a time i do kontinuiranog (na neodređeno vrijeme preko 40 godina), odlaganja realizacije izgradnje ovog projekta.

Razrješenje takve bezizlazne situacije, nalazi se u izlasku iz tog „začaranog kruga”. Potrebno je promijeniti pristup i promijeniti razvojni koncept. Potrebno je iznova postaviti ciljnu funkciju, umjesto- upravljanje energijom i maksimizirati proizvodnju električne energije rijeke Morača, potrebno je: upravljanje vodnim resursima rijeke Morača

Nova ciljna funkcija zasnovana je na davanju prioriteta principima i zahtjevima koji se odnose na upravljanje vodnim potencijalom rijeke Morača (shodno pozitivnoj svjetskoj praksi i regulativi) i to: 1) prvenstveno za humane potrebe, za potrebe stanovništva, 2) za potrebe poljoprivrede, 3) za potrebe industrije i na kraju 4) za potrebe proizvodnje električne energije.

Alati za ostvarivanje takvog redosleda su ponuđena tehnička rješenja, koja najmanje remete prirodni tok, a odnose se na uređivanje obala rijeke sa kaskadnim akumulacijama, koje ne izlaze iz prirodnog korita rijeke. Ovim tehničkim rješenjem prirodnom toku rijeke dajemo regulisan, uravnotežen i stalan protok vode (cijele godine) bez suvog korita a dobijamo sledeće:

- 1) Mogućnost navodnjavanja svih nižih poljoprivrednih površina slobodnim padom od izvora do ušća rijeke Morača u Skadarsko jezero;
- 2) Mogućnost gašenja požara na svim kotama nižim od 1.300mm.

- 3) Preduslov za vraćanje stanovništva selu, oživljavanje sela i seoskog domaćinstva i stvaranje uslova za formiranje stabilnog, isplativog i prosperitetnog poljoprivrednog gazdinstva;
- 4) Razvoj i uređenje putne i druge lokalne infrastrukture;
- 5) Proizvodnju električne energije u drugim uslovima; i
- 6) Stvaranje uslova za razvoj seoskog turizma.

Predloženi pristup zasnovan je na prioritarnom humanom i potpunom upravljanju vodama sliva rijeke Morača, na poštovanju ekoloških zahtjeva, na unapređenju životne sredine i na korišćenju ukupnog prirodnog pada od izvora, koji je iznad 1.300mm do ušća rijeke Morača u Skadarsko jezero na 6mm.

## **4. TEHNIČKA RJEŠENJA ZA OSTVARIVANJE NOVOG PRISTUPA U KORIŠĆENJU VODA RIJEKE MORAČA**

Alati za ostvarivanje novog pristupa u korišćenju voda rijeke Morača su ponuđena tehnička rješenja, koja zadovoljavaju zahtjeve najmanjeg remećenja prirodnog toka rijeke Morača, da izgradnjom kaskadnih akumulacija voda ne izlaze iz prirodnog korita rijeke.

Izgradnjom 26 RHE i toliko hidroakumulacija, zavisno od hidroloških prilika i prirodnog dotoka, RHE će raditi radnim danima od 07 sati do 22 sat, kao HE i proizvoditi visokovrijednu električnu energiju, tkz. vršnu energiju, a od 22sat do 07sati, kao i subotom, nedjeljom i praznikom, radiće kao pumpno postrojenje i podizaće vodu iz donje hidroakumulacije u gornju prema zadatom programu, u spregnutom sistemu rada ili djelimično spregnutom sistemu rada.

Projektovani instalirani protok opredijeliti u relaciji između prosječnog prirodnog protoka i instaliranog protoka, koja se kreće do 1:10, kako je to za buičave rijeke predviđeno. Primjenom novog pristupa, optimalno rješenje pronaći će se u viševarijantnom odabiru rješenja između minimalnog rješenja od 1:4, do maksimalnog 1:10, vjerovatno negdje u središnjem dijelu.

Kombinacijom prethodna dva tehnička rješenja omogućuje se relativizovanje odnosa između prosječnog prirodnog protoka i instalisanog protoka, kao mjere za određivanje snage HE ili RHE, tako da instalirani protok ne bude zavisn samo od prosječnog prirodnog protoka. Relativizovanje se izvodi na način što se metodom optimizacije proizvodnje električne energije, sa jedne strane i zahtjeva tržišta sa druge strane, projektuje instalirani protok vode i instalirana snaga elektrane, zavisno od ova dva faktora, a ne samo od prosječnog prirodnog protoka. Zbog toga cijena koštanja električne energije može da varira zavisno od većeg ili manjeg prisustva prirodnog protoka i od većeg ili manjeg prisustva vode iz reverzibilnog rada.

Projektna dokumentacije je razvijena manjim dijelom u nivou studije sistema i većim dijelom u nivou idejnog rješenja. Uz korekzione faktore uporedivosti različitih nivoa obrade investiciono-tehničke dokumentacije postojećeg projekta „4 elektrane na Morači“ i novog predloženog pristupa u korišćenju hidropotencijala Crne Gore – na primjeru elektrana na Morači izvršili smo uporednu analizu dva pristupa i uticaju dva pristupa na rezultate projekta elektrana na Morači.

### **4.1. Rješenja nedostatka hidroakumulacionog prostora**

Nedostatak hidroakumulacionog prostora za izravnanje voda slivova rijeke Morača i njenih pritoka, bez gradnje velikih hidroakumulacija i visokih brana, se rješava postupkom formiranja većeg broja manjih hidroakumulacija na glavnom toku rijeke i na njenim pritokama. Povoljnost je visinska razlika, između izvora glavnog toka i pritoka sa jedne strane i ušća u Skadarsko jezero, kao moćnog donjeg rezervoara vode, sa druge strane. Postupak kojim se postiže povećanje hidroakumulacionog prostora u slivu rijeke Morača i na bazi kojeg se kreiraju nova tehnička rješenja za izgradnju pratećih RHE, odnosi se na formiranje hidroakumulacija na prostoru od izvora rijeke Morača sa pritokama do ušća u Skadarsko jezero. U slivu rijeke Morača sa pritokama projektovano je

26 novih manjih kaskadnih hidroakumulacija korisne zapremine od 222 mil. m<sup>3</sup>, prema tabeli br. 1. Moguće je, po potrebi, izgraditi još najmanje desetak RHE na pritokama, koje još više upotpunjuju i poboljšavaju rezultata i sistem upravljanja vodama rijeke Morača. Projektovani hidroakumulacioni prostor za sliv rijeke Morača zadovoljava kriterijum kojim se obezbjeđuje sezonsko izravnanje voda, što znači da su po pravilu obezbijeđeni hidroenergetski uslovi za proizvodnju električne energije samo u periodima visokog opterećenja sistema, odnosno za proizvodnju tkz. „vršne“ energije.

## 5. UPOREDNA ANALIZA REZULTATA DVA PRISTUPA

### 5.1. Uporedna analiza- kvalitativni aspekt

#### **Pristup projektu „4 elektrane na Morači“ prate sledeći kvalitativni rezultati:**

1. Projekat “4 HE na Morači” je u konfliktu sa životnom sredinom, uzrokuje raseljavanje, potapanje magistralnog puta i lokanih puteva, kuća, imanja, groblja, spomenika duhovnosti i kulture. Projekat daje skupi kWh (oko 70€/MWh), sa malom snagom i malom proizvodnjom električne energije, sa visokim ulaganje po instaliranom MW itd.

2. Limitirajući faktor projekta “4 HE na Morači” količina vode za proizvodnju električne enrgije za vrijeme sušnog perioda, koji traje 4 do 5 mjeseci godišnje, što ugrožava isplativost projekta i direktno utiče na nezainteresovanost stranih investitora.

#### **Prema novom pristupu projekat prate sledeći kvalitativni rezultati:**

1. Prema projektu, voda ne izlazi iz korita rijeke Morača. Samim tim projekat nije u konfliktu sa životnom sredinom, ne uzrokuje raseljavanje, niti potapanje kanjona, magistralnog puta i lokanih puteva, niti kuća, imanja, groblja, spomenika duhovnosti i kulture.

2. Cijena koštanja kWh je između 30€ i 40 €/MWh, sa višestruko većom snagom i više puta povećanom proizvodnjom električne energije, sa niskim ulaganje po instaliranom MW itd.

3. Projekat nema limitirajući faktor vode za proizvodnju električne energije za vrijeme sušnog perioda, koji traje 4 do 5 mjeseci godišnje, čime se povećava isplativost projekta i direktno utiče na zainteresovanost stranih investitora za realizaciju projekta elektrane na Morači. Projektom je obezbijeđeno sezonsko izravnanje sa stepenom izravnjanja  $\beta \approx 0.11-0.12$ , što zadovoljava kriterijum kojim se obezbjeđuje sezonsko izravnanje voda<sup>5</sup>.

4. RHE na glavnom toku i pritokama su koncipirane najčešće kao pribranske ili derivacione elektrane, zavisno od konfiguracije terena. Pribranske elektrane su prisutne kod objekata kad je u pitanju manji neto pad, a derivacione elektrane su zastupljene kad se radi o većem neto padu.

5. Primijenjenim tehničkim rješenjima prirodni tok rijeke dobija regulisan, uravnotežen i stalan protok vode (cijele godine) bez suvog korita.

6. Predložena tehnička rješenja podržavaju realizaciju prioriternih humanih ciljeva sa potpunim upravljanjem vodama sliva rijeke Morača, dajući prednost ekološkim zahtjevima na unapređenju životne sredine.

7. Savremena svjetska poljoprivredna praksa polazi od principa da nema visoko produktivne proizvodnje bez sistema za navodnjavanje zemljišta. Crna Gora navodnjava oko 1% svojih poljoprivrednih površina, dok taj procenat u EU iznosi više od 40%. Brojne studije FAO su ustanovile da je svjetski prosjek prinosa na navodnjavanim površina veći 3,2 puta nego na nenavodnjavanim površinama, dok je profitabilnost veća 6.6 puta. Statistika upućuje da su na ovim prostorima, po pravilu od četiri godine, jedna nerodna i dvije mršave, što znači da je jedna i po godina rodna.

U Crnoj Gori prinosi po hektaru u odnosu na iste u zemljama EU su približno od tri do deset puta manji. Efikasnost primijenjenih agrotehničkih mjera, mehanizacije i rada je na nešto nižem nivou u Crnoj Gori u odnosu na EU, što se mjeri sa procentima 5% do 10% ili 20% ili nešto više, a primjena navodnjavanja je oko 40 puta manja nego u EU, što znači sa približno istim radom, približno istom mehanizacijom i približno istim agrotetničkim mjerama, dobijamo tri do deset puta slabije prinose

po hektaru. U svemu tome, izuzeci potvrđuju pravilo: „Plantaže“ a.d Podgorica, sa proizvodnjom grožđa, sa sistemom za navodnjavanje kap po kap, imaju prinose po hektaru veće ili na nivou EU.

## 5.2. Uporedna analiza - kvantitativni aspekt

### 5.2.1. Povećanje stepena iskorišćenosti hidroenergetskog potencijala r. Morača

Uzroci male iskorišćenosti hidroenergetskog potencijala sliva rijeke Morača, kao i uzroci prisutnih nedovoljnih rezultata ( 240 MW) sa proizvodnjom do oko 700GWh i skupih dosadašnjih investicionih rješenja za HE na rijeci Morača (oko 550 mil.€), nalaze se u pristupu i koceptu, koji uzima najbolji dio a ostalo „baca“ i koji rijeku Morača koristi „na parče“ od 285mm do 64mm.

Pitanje je kako povećati sadašnju malu iskorišćenosti hidroenergetskog potencijala sliva rijeke Morača, tj. kako obezbijediti projektna rješenja za veću proizvodnju električne energije u periodu do 5 godina, odnosno do 10 godina? Razrješenje nalazimo u primjeni koncepta integralnog upravljanja vodnim resursima Crne Gore. U sferi projektovanja budućih HE, odnosno RHE, predlažemo promjenu koncepta na način da se umjesto korišćenja rijeke Morača u dijelu visinske razlike od 285 mm do 64mm, sa rješenjima velikih akumulacija, pristupi projektovanju rješenja korišćenjem ukupnog pada rijeke Morača sa pritokama, od izvora do ušća, od oko 1200 do 1300 mm, odnosno od 1200mm do 6 mm, kolika je projektantska visina Skadarskog jezera.

Predloženo rješenje obezbjeđuje: da se kuće i okućnice ne potapaju, da se groblja i crkve ne potapaju, da se Manastir Morača ne ugrožava, da se ne provocira aktiviranje potencijalnog klizišta Đurđevina i pojava indukovane seizmičnosti, da se magistralni put Podgorica – Kolašin ne potapa, da se za manje hidroakumulacije pretežno koristi neplodno zemljište u koritu rijeka, u neprohodnim jarugama i krševitim dolinama (primjer: kao uzvodno od mosta Grlo do Mioske).

Upravljanjem vodama rijeke Morača i izgradnjom RHE, moguće je ostvariti potpuno korišćenje njihovog hidroenergetskog potencijala, uz korišćenje dopunskih količina vode po osnovu rada u reverzibilnom režimu. Sinteza ključnih rezultata dva pristupa data je u tabeli 1.

Tabela 1. Sinteza ključnih rezultata dva pristupa

R.br	Energetski parametri projekta	Dosadašnji Projekat 4 HE na r. Morača	Novi pristup i nova tehnička rješenja -minimalna varijanta sa instalisanim protokom 1:4	Upoređenje (4:3 =5)
1	2	3	4	5
1	Snaga	240MW	614MW do 2300MW	2,55 do 9,58 puta veća
2	Proizvodnja	720GWh	2.767GWh do 7.000GWh	3,84 do 9,72 puta viša
3	Investicije	550 mil €	614mil € do 2.000mil €	1,12 do 3,64 puta veće

U koloni 4, Tabela 1. r. br.1. instalisana snaga od 614 MW odnosi se na rad RHE na dotoku, a raspon snage do 2300 MW zavisi od instalisanog protoka i izbora količine vode koja se pumpa iz donjih bazena i količine vode koja se projektuje za protok, za rad u reverzibilnom režimu, gdje je kod izbora instalisanog protoka, količina vode promjenljiva veličina.

Predloženi pristup sa novim tehničkim rješenjima, u minimalnoj varijanti instalisanog protoka od 1:4, (kao pokaznog primjera), za povećanje investicija od 12% (sa 550mil.€ na 614mil.€), obezbjeđuju približno dva i po puta veću snagu i veću proizvodnju za 3,84 puta. Instalirani protok 1: 6 daje 50% bolje efekte u odnosu na minimalnu varijantu protoka od 1:4. Instalirani protok 1:8 daje 100% bolje rezultate od prikazanih sa protokom od 1:4. Na opredjeljenje kapaciteta će dominantno uticati i zahtjevi energetskog tržišta na srednji i dugi rok. Model je koncipiran tako da hidroenergetski sistem pokazuje izuzetnu fleksibilnost i efikasnost počev od varijanti velikih voda, kada RHE rade kao HE na dotoku, do varijanti, u sušnom periodu, kada se povećava pumpanje vode, a samim tim i učešće dijela reverzibilne energije.

Detaljni rezultati predloženog pristupa i hidroenergetskog modela dati su u tabeli 2:

Tabela 2. Detaljni rezultati predloženog pristupa

R.b	Naziv elektrane	Naziv akumulacije	Korisna zapr. akumul. u mil m <sup>3</sup>	Neto pad u m	Srednji godišnji protok u m <sup>3</sup> /s	Instalirani protok u m <sup>3</sup> /s	Instalisana snaga u MW	Ukupan broj sati rada na dotoku	Ukupni broj sati rada	Proizvod. energije bez reverz. u Gwh	Proizvod. energije sa reverz. u Gwh
1	2	3	7	9	10	11	15		19	20	21
1	RHE "Rzav"	Rzačko Jezero	5.76	500	0.48	1.91	7.98	2190	4500	17.48	36
2	RHE "Javorski potok"	Javorsko Jezero	14.26	450	0.20	0.80	2.99	2190	4500	6.55	13
3	RHE "LJEVIŠTA"	Jezero Ljevišta	1.00	75	1.32	5.28	3.30	2190	4500	7.23	15
4	RHE "Bojići"	Jezero Bojići	20.14	140	3.49	13.97	16.31	2190	4500	35.72	73
5	RHE "Redice"	Jezero Redice	1.09	140	3.46	13.85	16.17	2190	4500	35.41	73
6	RHE "Dragovića Polje 1"	Jezero Dragovića Polje 1	1.41	45	4.13	16.52	6.20	2190	4500	13.57	28
7	RHE "Dragovića Polje 2"	Jezero Dragovića Polje 2	2.95	65	5.36	21.45	11.63	2190	4500	25.47	52
8	RHE "Krušev Lug"	Jezero Krušev Lug	2.31	65	6.89	27.57	14.94	2190	4500	32.72	67
9	RHE "Topli Potok"	Jezero Topli Potok	3.28	45	7.86	31.43	11.79	2190	4500	25.83	53
10	RHE "Grla"	Jezero Grla	26.06	145	10.28	41.10	49.69	2190	4500	108.83	224
11	RHE "Košetine"	Jezero Košetine	10.19	45	15.02	55.47	22.55	2190	4500	49.38	101
12	RHE "Andrijevo"	Jezero Andrijevo	29.75	45	33.02	117.39	49.55	2190	4500	108.52	223
13	RHE "Raslovići"	Jezero Raslovići	12.72	32	37.71	134.09	40.25	2190	4500	88.15	181
14	RHE "Milunovići"	Jezero Milunovići	16.74	40	40.74	144.87	54.36	2190	4500	119.05	245
15	RHE "Bioče"	Jezero Bioče	4.86	20	41.31	149.64	27.56	2190	4500	60.35	124

16	RHE "Zlatica"	Jezero Zlatica	5.56	11	61.59	236.50	22.60	2190	4500	49.49	102
17	RHE "Podgorica"	Jezero Podgorica	3.41	16	160.00	600.00	85.39	2190	4500	187.00	384
18	RHE "Botun"	Jezero Botun	1.05	14	190.00	660.00	88.72	2190	4500	194.30	399
	Ukupno u glav. toku Pritoke		162				532	2190	4500	1165	2394
1	RHE "Bistrica"	Jezero Bistrica	2.19	95	0.59	2.03	1.85	2190	4500	4.06	8
2	RHE "Koštatica"	Jezero Koštatica	8.38	190	0.92	3.04	5.82	2190	4500	12.75	26
3	RHE "Ibrištica"	Jezero Ibrištica	13.65	145	1.02	4.07	4.93	2190	4500	10.80	22
4	RHE "Luke"	Jezero Luke	13.59	155	7.31	27.07	37.79	2190	4500	82.76	170
5	RHE "Smolnice"	Jezero Smolnice	2.45	40	9.32	34.50	12.43	2190	4500	27.22	56
6	RHE "Sjevernica"	Jezero Sjevernica	11.94	95	2.90	11.09	9.18	2190	4500	20.11	41
7	RHE "Zagradac"	Jezero Zagradac	2.84	55	3.88	14.86	7.13	2190	4500	15.61	32
8	RHE "Jabuke"	Jezero Jabuke	4.71	25	4.20	16.06	3.50	2190	4500	7.67	16
	Ukupno pritoke		59.75				82.29	2190	4500	181.07	373
	Sveukupno		222				614	2190	4500	1346	2767

Minimalna varijanta instalisanog protoke od 1:4, posmatrana sa investicionog aspekta, je testirana preko senzitiv analize, na povećane investicija sa 1mil.€/MW na 1.2mil€/MW, odnosno na 1.4mil€/MW i na kraju na 1.6mil€/MW, uz zadržavanje svih drugih prethodnih inputa. U najgoroj varijanti cijena koštanja se kreće oko 40€/MWh i to u uslovima kad je nabavna cijena električne energije za reverzibilni rad uzeta na maksimalnom nivou od 25€/MWh i kad je prodajna cijena električne energije uzeta na minimalnom nivou od 50€/MWh. Minimalna varijanta služi samo kao pokazni primjer u odnosu na projekat "4 elektrane na Morači", tj. da pokaže da je i ta minimalna varijanta višestuko bolja od projekta „4 elektrane na Morači“. Rezultati senzitiv analize po osnovu povećanja investicionih ulaganja do 60% izlaze iz okvira ovog rada i dajemo ih kao informaciju o visokoj elastičnosti projekta u odnosu na moguća poskupljenja investicija, kao glavnog inputa projekta.

Grafički prikaz projektovanih reverzibilnih hidroelektrana dat je u prilogu na strani 9.

## 6. ZAKLJUČAK

1. Usporedna analiza rezultata pristupa projektu „4 elektrane na Morači“ i projektu sa primijenjenim novim pristupom korišćenja hidropotencijala Crne Gore na primjeru rijeke Morača, daje višestuko prednost novom pristupu. Po novom pristupu saopštenom ovim radom, godišnja proizvodnja električne energije na reverzibilnim elektranama na Morači će iznositi između minimuma od 2700GWh i maksimuma od oko 10000GWh a optimum će biti opredijeljen negdje između.

2. Benefiti projekta prema novom pristupu imaju strukturu: dvije trećine od poljoprivrede i drugih djelatnosti i jedna trećina od električne energije.

3. Autor ovog rada zna da se pristupi, bilo u čemu, pa i u korišćenju hidropotencijala Crne Gore i rijeke Morača, teško mijenjaju i da je visoka cijena tih promjena. Inercijalne sile i razvojne sile su u stalnoj borbi i razvoj je rezultanta tih sila. Očekujemo da je izlaganje ovog rada prvi korak na putu integrisanja razvojnih sila.

## LITERATURA

1. Hidroelektrane na Morači – Investicioni program, energetske i ekonomsko- finansijske analize
2. Hidroelektrane srednje Morače tehnočko-ekonomski izvještaj
3. Prof. Dr. Božo Udovičić, Elektroenergetika
4. „Poyry“ Tehnički i ekonomski savjeti za hidroelektrane na Morači
5. Prof.dr. Branislav Đorđević, Vodoprivredni sistemi
6. The Global Maps of Irrigated Areas, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.



Grafički prikaz projektovanih RHE





