

Reverzibilna hidroelektrana upravljana PLC-om

Medenjak, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:634246>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

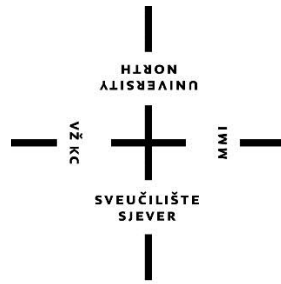
Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





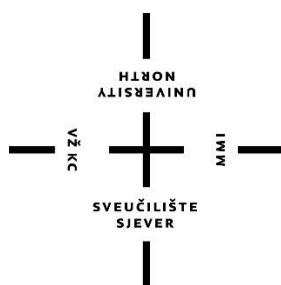
Sveučilište Sjever

Završni rad br. 416/EL/2017

Reverzibilna hidroelektrana upravljana PLC-om

Mario Medenjak, 0025/336

Varaždin, rujan 2017. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za Elektrotehniku

Završni rad br. 416/EL/2017

Reverzibilna hidroelektrana upravljana PLC-om

Student

Mario Medenjak, 0025/336

Mentor

Stanko Vincek, predavač

Varaždin, rujan 2017. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Mario Medenjak	MATIČNI BROJ	0025/336
DATUM	20.09.2017.	KOLEGIJ	Automatizacija strojeva i uređaja
NASLOV RADA	Reverzibilna hidroelektrana upravljana PLC-om		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Reversible hydro power plant controlled by PLC		
MENTOR	Stanko Vincek, struč.spec.ing.el.	ZVANJE	Predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. mr.sc. Ivan Šumiga (predsjednik)		
	2. Stanko Vincek, struč.spec.ing.el (mentor)		
	3. dipl.ing. Dunja Srpak (član)		
	4. dr.sc. Ladislav Havaš (zamjenski član)		
	5.		

Zadatak završnog rada

BROJ	416/EL/2017
OPIS	U uvodu je potrebno u kratko opisati princip rada i svrhu reverzibilnih hidroelektrana. U nastavku je potrebno dati pregled elektroenergetskog ustava, sa naglaskom na hidroelektrane. Objasniti svrhu dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sustava te objasniti koje elektrane pokrivaju pojedine dijelove dijagrama. Potrebno je projektirati i izraditi maketu reverzibilne hidroelektrane te napisati programski kod za nadzor i upravljanje pomoću PLC uređaja. Nadzor i unos parametara realizirati pomoću ekrana osjetljivog na dodir.

ZADATAK URUČEN
21.09.2017



Predgovor

Zahvaljujem se mentoru, profesoru Stanku Vinceku na strpljenju i pomoći prilikom izrade završnog rada.

Ujedno zahvaljujem svim profesorima koji su me pratili kroz moje školovanje za svu njihovu strpljivost, profesionalnost i odnos prema radu sa studentima.

Sažetak

Ovim radom prikazan je proces izrade modela RHE. U uvodu je opisan elektroenergetski sustav, elektrane, dnevni dijagram opterećenja, dok je u radu priložen detaljan opis izrade RHE, opis korištene opreme, konstrukcijskih dijelova te su napravljeni proračuni i dijagrami vezani uz RHE. Od električnih komponenti korišteni su solenoidni ventili, potencijometar, pumpa, releji, stabilizator, senzori tlaka i generator. Za upravljanje je korišten PLC uređaj koji je u svrhu projekta programiran, te je korišten HMI uređaj za vizualizaciju sustava. U radu su izvedeni proračuni te je napravljen P&ID dijagram radi lakšeg razumijevanja funkcioniranja modela.

Ključne riječi: model, RHE, PLC, automatizacija

Popis korištenih kratica

RHE	Reverzibilna Hidroelektrana
HE	Hidroelektrana
PAHE	Pumpno-akumulacijska hidroelektrana
PLC	Programabilni logički kontroler
TIA	Tottaly Integrated Automation
TCP	Transport Control Protocol
IP	Internet Protocol
FBD	Function block diagram
STL	Statment list
DC	Istosmjerna struja

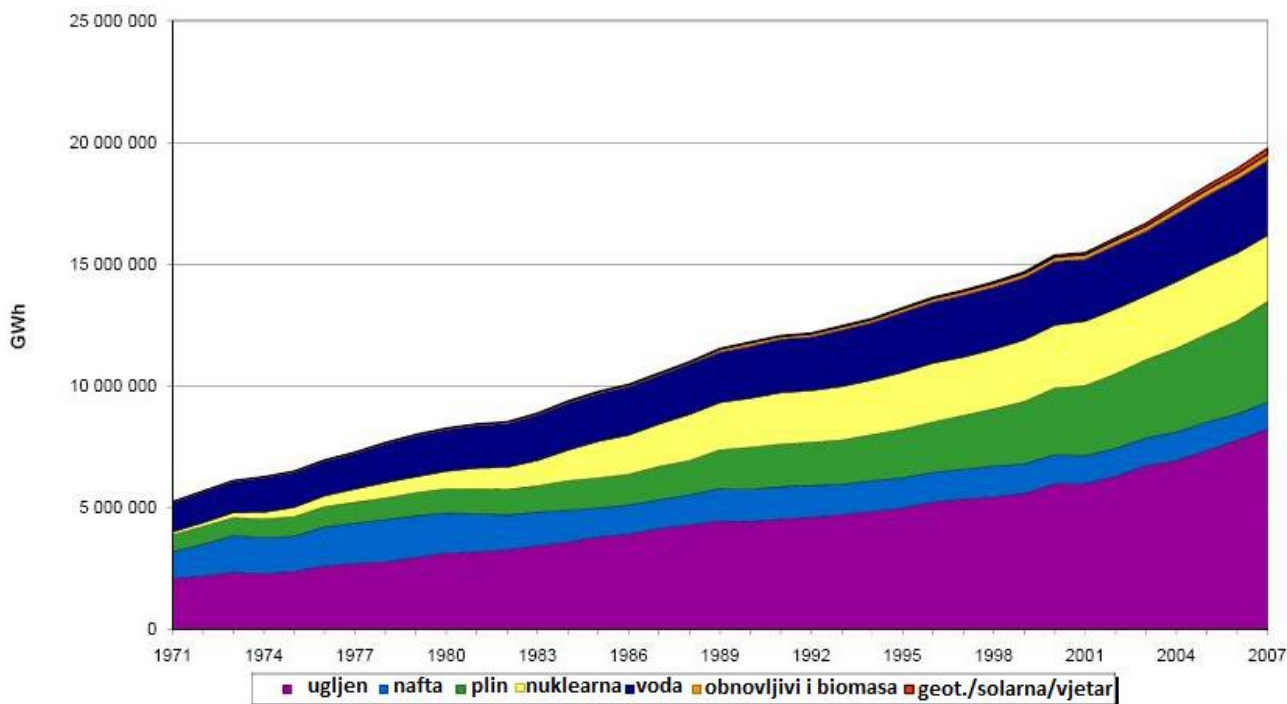
Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Elektrane	4
2.1.	Reverzibilne hidroelektrane.....	7
2.2.	Dnevni dijagram opterećenja	11
2.3.	Reverzibilna hidroelektrana Velebit	15
3.	Reverzibilna hidroelektrana upravljana PLC-om.....	18
3.1.	Komponente korištene u projektu.....	21
3.2.	Proračuni.....	30
3.3.	P&ID diagram.....	33
4.	Realizacija projekta.....	37
5.	Zaključak.....	40
6.	Literatura.....	41

1. Uvod

U radu je prikazan i realiziran model reverzibilne hidroelektrane koji se sastoji od dva spremnika tekućine, generatora, dva solenoidna ventila, pumpe i dva senzora tlaka. Reverzibilna hidroelektrana je upravljana pomoću PLC-a S7-1200 i HMI dodirnog ekrana. U radu je potrebno realizirati model reverzibilne hidroelektrane koja će se uključivati u momentima najveće potrošnje elektroenergetskog sustava te će pokrivati vrhove dnevnog dijagrama opterećenja. Dnevni dijagram opterećenja simulirat će se preko potenciometra i ovisno o njemu reverzibilna hidroelektrana će ili proizvoditi energiju ili uzimati električnu energiju i pumpati vodu u gornji spremnik. Također u obzir se uzima i kolika je razina tekućine u spremnicima, razina tekućine mjeri se pomoću senzora tlaka. Za početak potrebno je objasniti zašto su reverzibilne hidroelektrane potrebne u elektroenergetskom sustavu te od kojih dijelova se sastoji elektroenergetski sustav i koja je uloga dnevnog dijagrama opterećenja.

Potrebe za električnom energijom su sve veće i veće kako se svijet razvija. Težnja je da se ljudi oslobode fizičkog rada, da se sve odvija preko strojeva i da je sve automatizirano, a u budućnosti da umjesto ljudi sve rade roboti. Zbog toga raste potreba za električnom energijom kao što je prikazano na slici 1.0, sve tvornice i strojevi u njima trebaju električnu energiju za rad. Bez električne energije ništa ne bi bilo moguće zato je vrlo bitno razvijati proizvodnju i distribuciju električne energije.



Slika 1.0 Proizvodnja električne energije [9]

Energija je po definiciji sposobnost obavljanja rada, i energija ne može nestati niti se iz ničeg stvoriti nego samo promijeniti oblik. Prema knjizi Bože Udovičića "Elektroenergetski sustav", tri su osnovna izvora energije:

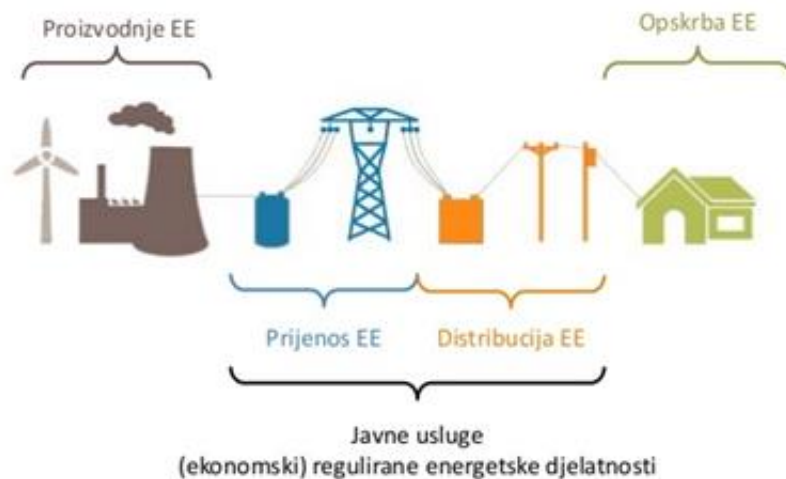
- Energija od Sunca
- Energija od Zemlje
- Energija gravitacije

Iz njih se stvaraju drugi oblici energije: energija sunčeva zračenja, energija goriva, energija hrane, energija vodotoka, energija vjetra, energija morskih struja i valova, energija plime i oseke, energija nuklearnih goriva, energija vrućih izvora, energija topline Zemlje, energija vulkana.[1]

Ti oblici energije se iskorištavaju za dobivanje električne energije koja se dobiva u elektranama i koja se preko rasklopnih postrojenja, prijenosne i distribucijske mreže dovodi sve do potrošača električne energije što sve zajedno čini elektroenergetski sustav prikazan slikom 1.1.

Dakle, elektroenergetski sustav sastoji se od:

- Potrošača
- Rasklopnih postrojenja, prijenosne i distribucijske mreže
- Izvora električne energije



Slika 1.1 Elektroenergetski sustav [5]

Potrošači su krajnji korisnici, oni koriste električnu energiju i plaćaju proizvođačima. Zbog promjenjivosti uključivanja i isključivanja postojećih potrošača ili uključivanja novih potrošača, promjene klimatskih uvjeta dolazi do velike promjenjivosti potrošnje tijekom dana, mjeseca i

godine. Tu je uloga proizvođača da snabdijevaju potrošače potrebnom količinom energije određene kvalitete.

Rasklopna postrojenja se mogu podijeliti na razdjelna i transformatorska postrojenja, a uloga im je da razdjeljuju električnu energiju. Razdjelna postrojenja su čvorišta vodova istog napona, a transformatorska još imaju i transformaciju napona s jedne razine na drugu. U tim postrojenjima postoje aparati za uklapanje i isklapanje, zaštitu, mjerenje te uređaji za upravljanje aparatima i signalizaciju. Glavni elementi rasklopnog postrojenja su sklopke, sabirnice, rastavljači, transformator, a mogu biti postrojenja unutarnje i vanjske izvedbe.

Prijenosne mreže služe za prijenos većih snaga i za veće udaljenosti dok distribucijske služe za manje snage i manje udaljenosti. Kod prijenosa električne energije se javljaju i gubici koji su ovisni o kvadratu struje što vidimo prema formuli 1, stoga je poželjno da je što manja struja. To se postiže tako da povisimo napon. Sve mora biti u takvim vrijednostima da prijenosna snaga ostane nepromijenjena.

Gubici u vodu izračunavaju se prema formuli:

$$P_g = I^2 R \quad (1)$$

Izvori električne energije su elektrane, njihov zadatak je da u svakom trenutku zadovolje potrošnju električne energije i da slijede iznenadne promijene opterećenja. Pod potrošnjom električne energije se podrazumijevaju i gubici koji nastaju kod prijenosa iste. Moraju imati toliko rezerve da u slučaju ispada najvećeg agregata osiguraju normalan rad sustava. U nastavku će biti još riječi o elektranama te o vrstama elektrana i o njihovoj ulozi u elektroenergetskom sustavu.

2. Elektrane

Elektrane su izvori električne energije i kao što je već navedeno njihov je zadatak da zadovolje potrošnju električne energije i da slijede iznenadne promijene opterećenja. Osim što trebaju imati potrebnu rezervu u slučaju ispada agregata, elektrane se trebaju projektirati tako da se mogu napraviti remontu agregata, a da potrošači i dalje dobivaju potrebnu količinu energije. Najvažniji podatak elektrane je instalirana snaga koja se dobije kao aritmetički zbroj snaga turbina mjerenih na stezaljkama generatora.[1]

Vrste elektrana:

- Termoelektrane
- Nuklearne elektrane
- Vjetroelektrane
- Solarne elektrane
- Hidroelektrane

Termoelektrane koriste gorivo za proizvodnju električne energije. Prema tome razlikujemo 4 tipa termoelektrana:

- Parne termoelektrane
- Plinske termoelektrane
- Dieselske termoelektrane
- Kombinirane (koriste plinsku turbinu i parnu turbinu)

Glavni dijelovi klasične termoelektrane su: kotao, agregat, kondenzator, crpka za rashladnu vodu, crpka kondenzata, spremnik pojne vode, pojna crpka i pomoćna postrojenja.[1]

Kao nuspojava kod termoelektrana je vruća para. Postoje postrojenja koja se zovu termoelektrane-toplane koja tu paru iskorištavaju za grijanje vode. Osnovni problem kod takvih postrojenja je da moraju biti blizu gradova jer bi se na dugim prijenosima izgubila toplina.

Nuklearne elektrane su postrojenja u kojima se oslobađa energija nuklearnom reakcijom ili radioaktivnim raspadanjem. Nuklearna energija se iskorištava kada se ta oslobođena energija pretvara najprije u toplinu, a zatim u električnu energiju. Nuklearne elektrane koriste izotop uranija U-235 u kojeg udari neutron te se on dijeli. Oslobođanje velikog broja neutrona nuklearna reakcija se može razvijati i tako se oslobađa velika toplina koja je potrebna za proizvodnju pare. Osnovni dijelovi nuklearne elektrane su: nuklearni reaktor, tlačnik,

parogenerator, parna turbina, električni generator. Najveći problem kod nuklearnih elektrana je odlaganje radioaktivnog otpada jer on ostaje radioaktivan i do nekoliko tisuća godina.

Vjetroelektrane su postrojenja u kojima se kinetička energija vjetra pretvara u mehaničku energiju i na kraju u električnu energiju i to je obnovljivi izvor energije. Vjetroelektrane moraju biti postavljene na dobrim lokacijama na kojima je jako vjetrovito. Danju je vjetrovitije nego kroz noć, što je dobro jer je kroz dan veća potrošnja električne energije. Najbolje lokacije za izradu vjetroelektrana su duž obale jer vodena površina ima jako mali utjecaj na brzinu vjetra. Postoje dva osnovna tipa vjetroelektrana:

- Sa okomitom osi
- Sa vodoravnom osi

Češće se grade vjetroelektrane sa vodoravnom osi. Osnovni dijelovi su: lopatice rotora, kućište, toranj, temelji. Princip rada vjetroelektrane je takav da vjetar okreće rotor i lopatice, rotor i lopatice okreću prijenos koji okreće generator.

Zračna turbina se mora uvijek postaviti tako da krug kojeg opisuje vrtnja turbine bude okomit na smjer vjetra zato da bi se energija vjetra što bolje iskoristila.

Solarne elektrane su obnovljivi izvor energije, u njima se događa neposredna pretvorba energije fotona u električnu energiju. Solarne ćelije skupljaju elektrone i šupljine na odgovarajućim stranama p-n spoja, te to uzrokuje elektromotornu silu na krajevima ćelije. Kada obasjamo svjetlošću solarnu ćeliju proizvode se parovi elektron-šupljina i oni se usred djelovanja unutarnjeg električnog polja počinju gibati prema suprotnim stranama.

Prednosti solarnih ćelija su:

- Nemaju pokretnih dijelova koji bi unijeli dodatne gubitke i trošili se
- Mogu se lako ugraditi na različita mjesta
- Lake su
- Ne zagađuju okoliš i ne stvaraju buku

Solarne ćelije se danas sve više primjenjuju iako imaju neke loše osobine poput velike cijene i toga da im proizvodnja ovisi o intenzitetu svjetlosti. Kada nema sunca, one proizvode manje električne energije. Solarne ćelije proizvode napon od 0,5-0,7V i jakost struje do $20\text{mA}/\text{cm}^2$. [1] Ćelije se mogu spajati serijski i paralelno te se tako dobivaju moduli solarnih ćelija koji izgledaju poput ploče. Kad se one slože jedna do druge dobijemo fotonaponske kolektore koji uz ostale uređaje čine fotonaponski sustav.

Hidroelektrane su postrojenja u kojima se potencijalna energija vode najprije pretvara u kinetičku energiju njezinog strujanja, zatim u mehaničku energiju vrtnje turbine i na kraju u električnu energiju u sinkronom generatoru. Postoji više kriterija podijele hidroelektrana, a to su:

- Prema načinu korištenja vode: protočne i akumulacijske (s dnevnom i tjednom akumulacijom i sa sezonskom akumulacijom)
- Prema padu: niskotlačne do 25 m, srednje tlačne od 25 do 200 m i visokotlačne preko 200 m
- Prema smještaju strojarnice: pribranske i derivacijske

Od temeljne važnosti za izgradnju hidroelektrana je poznavanje protoka po vremenskom rasporedu i količini, radi toga se treba mjeriti vodostaj svaki dan kroz više godina. Visina vode se mijenja iz dana u dan i ovisi o mnogo faktora: količini padalina, sastavu i topografiji tla, temperaturi okoliša i slično. Vrlo je bitno dobiti godišnji dijagram protoka jer se onda zna kojim će se granicama kretati protok. Dijelovi hidroelektrane dimenzioniraju se prema najvećem protoku koji se može koristiti. Akumulacijsko jezero ima svoj volumen, ali ne može se iskoristiti sva voda koja je u njemu nego samo određeni volumen koji se naziva korisni volumen vode, a može se iskoristiti u normalnom pogonu. Voda se akumulira tijekom noći kada je potrošnja mala da bi se tijekom dana kada je potrošnja vode promjenjiva iskoristila. Najvažnija je višegodišnja regulacija protoka. To je potrebno zbog sušnih i vlažnih razdoblja. Radi toga se grade velike akumulacije volumena i do nekoliko stotina milijuna m^3 vode. Hidroelektrane su obnovljivi izvor energije i energija proizvedena u njima je jedna od najčišćih. Prednosti hidroelektrana su: smanjenje stakleničkih plinova, ne koriste fosilna goriva, dulji vijek trajanja u odnosu na elektrane na fosilna goriva i zahtijevaju manje osoblja jer je sve automatizirano. Nedostaci su: gradnjom brana narušava se ekosustav i mijenja se okoliš, rijeka donosi mulj te se on taloži u vodenom bazenu i tako se smanjuje dubina vodenog bazena, urušavanjem brane narušio bi se cijeli eko sustav nizvodno od brane. Glavni dijelovi hidroelektrane su: brana, zahvat, dovod vode, vodna komora, tlačni cjevovod, strojarnica i odvod vode. Brana je jedan od najvažniji dijelova hidroelektrane, ona služi da skrene vodu s njezinog prirodnog toka prema zahvatu i da povisi razinu vode radi većeg pada. Zahvat vodu koja je zaustavljena branom primi i usmjeri prema strojarnici. Dovod vode spaja zahvat s vodenom komorom, a može biti sagrađen kao kanal ili kao tunel. Vodna komora je smještena na kraju dovoda, a uloga joj je da porast tlaka koji nastaje naglim zatvaranjem turbine ili pritvaranjem dovoda ograniči na nisku vrijednost. Tlačni cjevovod služi da dovodi vodu do turbine. Strojarnica je građevina u kojoj su smješteni turbine,

generatori, mosna dizalica, električna komanda i slično. Odvod vode služi da vodu nakon iskorištavanja u turbinama vrati u vodotok.

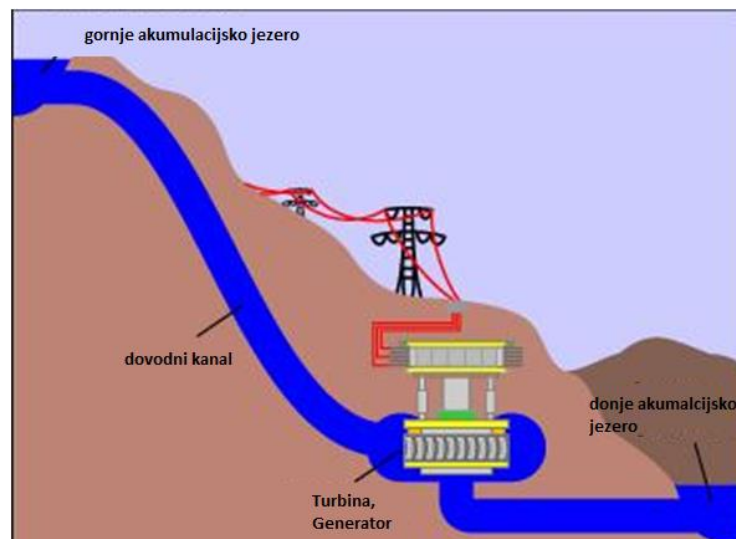
Turbine služe da energiju vode pretvore u mehanički rad. U hidroelektranama se koriste:

- Peltonova turbina
- Francisova turbina
- Kaplanova turbina
- Cijevne turbine

Odabir turbina vrši se obzirom na to koliki su padovi i koliki protoci vode. Peltonova turbina naziva se turbina slobodnog mlaza, a odabire se za padove od 400 do 2000 m i malog protoka vode. Francisova turbina je reakcijska turbina a odabire se za padove od 25 do 50 m. Kaplanova turbina je aksijalna reakcijska turbina i koristi se za padove do 30 m. Cijevne turbine nam služe za velike količine vode i male padove do nekoliko metara. Stupanj korisnosti turbina ovisi o brzini strujanja, vrsti strujanja, hrapavosti, izvedbi i snazi. Najveći stupanj korisnosti imaju Francisove turbine, najpovoljniju korisnost Kaplanove turbine, a Peltonove najmanju ovisnost stupnja korisnosti o snazi.

2.1. Reverzibilne hidroelektrane

Reverzibilne hidroelektrane su slične kao i sve hidroelektrane uz razliku što reverzibilne mogu pumpati iskorištenu vodu natrag u gornje akumulacijsko jezero. Takve hidroelektrane imaju 2 akumulacijska jezera, gornje i donje jezero. Moguće je i da nemaju donje jezero nego se gornje puni iz rijeke. Postoje i takve u koje ne dotječe voda u gornje jezero već se puni samo iz donjeg jezera. RHE radi u 2 režima: turbinskom i crpnom. Turbinski je kada HE radi u normalnom pogonu kao i svaka druga dok u crpnom radi kao potrošač jer generator radi kao elektromotor i pumpa vodu iz donjeg akumulacijskog jezera u gornje. Na slici 2.0 je prikazana je RHE i njezini dijelovi. U RHE se koriste reverzibilne turbine tipa Francis.



Slika 2.0 Reverzibilna hidroelektrana [6]

Reverzibilne hidroelektrane su vrlo važne u elektroenergetskom sustavu jer omogućuju akumuliranje energije kad je manja potrošnja najčešće kroz noć, da bi se ta energija iskoristila u momentima najveće potrošnje u vršnim satima u dnevnom dijagramu opterećenja. Prema karakteristikama stroja postoji podjela na pumpne i reverzibilne hidroelektrane. Prema knjizi Petra Stojića “Hidroenergetika“ postoje 3 vrste podijele:

- Grupa s dva stroja (RHE)
- Grupa s tri stroja (PAHE)
- Grupa s četiri stroja (PAHE)

Grupa s dva stroja sastoji se od turbine koja je ujedno i pumpa i generatora koji je ujedno i motor u crpnom načinu rada. Kod ove turbine načinjen je kompromis tako da ima dobre karakteristike u crpnom načinu rada, a ujedno i u turbinskom. Potrebno je određeno vrijeme da bi se prešlo iz crpnog u turbinski rad i obrnuto ali su velike uštede kod korištenja takvog stroja što zbog cijene stroja što zbog građevinskih radova. Grupa s dva stroja se najčešće koristi.

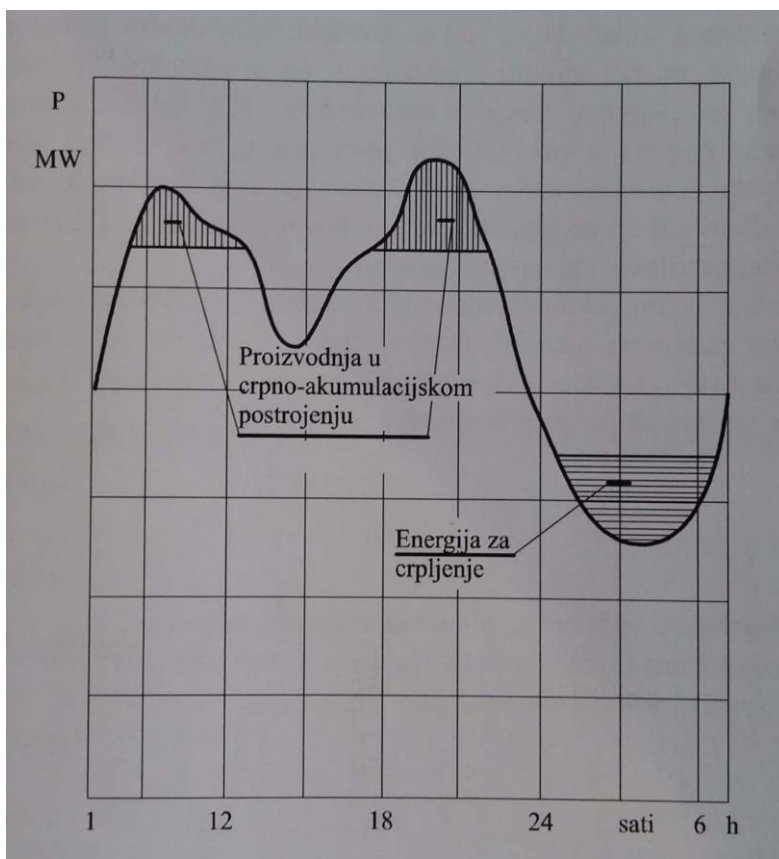
Grupa s tri stroja sastoji se od turbine, pumpe i generatora koji je ujedno i motor u crpnom načinu rada. Kod ovog slučaja javljaju se poteškoće zbog velike dužine osovine stoga takvo rješenje nije najbolje.

Grupa s četiri stroja sastoji se od turbine, generatora, pumpe i motora. Ovakvo rješenje je vrlo skupo i koristi se samo u specijalnim slučajevima. Često se koriste kod dodatne opskrbe akumulacijskog bazena iz susjednog vodotoka.

Vrlo je opasan trenutak kada je snaga u mreži postala niža od one koju pumpa treba u normalnom pogonu, u tom slučaju javljaju se efekti podpritiska, kavitacije i turbulencija koji uzrokuju vibracije; treba predvidjeti i osigurati dopunski izvor snage.[3]

Kavitacija je pojava isparavanja vode i stvaranja mjehura vodene pare, a kod hidrauličnih strojeva podrazumijeva se da je to pojava mjehura pare u vodi. Isplativost pumpanja vode iz donjeg akumulacijskog jezera u gornje je u tome što uzimaju električnu energiju u razdobljima malih opterećenja kad postoje neiskorišteni kapaciteti, a proizvode ju u razdobljima velikih opterećenja. Drugim riječima uzimaju energiju kada je jeftinija i proizvode odnosno prodaju je kada je skuplja. RHE troše više energije za pumpanje vode nego što se dobije u turbinskom pogonu. Iako se troši više energije za pumpanje nego što dobijemo RHE su vrlo korisne jer se smanjuje potreba za izgradnjom termoelektrana i postiže se bolja iskoristivost termoelektrana. Gradnja RHE ne može se opravdati povećanjem proizvodnje električne energije već u smanjenju potrebe za gradnjom drugih elektrana poglavito onih za pokrivanje vršnih opterećenja.[2]

Primjer korištenja RHE prikazan je slikom 2.1. Iz slike je vidljivo da se energija za crpljenje uzima kroz noć kada je potrošnja mala, a proizvodi se kroz dan kad su velika opterećenja.



Slika 2.1 Korištenje reverzibilnih hidroelektrana [1]

Kada se reverzibilne hidroelektrane uključuju u elektroenergetski sustav potrebno je korigirati ukupnu potrošnju električne energije odnosno treba ju povećati za prosječnu mjesečnu potrošnju crpnog postrojenja što je prikazano formulom 2.

$$W_{kp} = W_{uc} \frac{24(r+n)}{24(r+n)-rT_v} \quad (2)$$

Gdje je:

W_{kp} - povećanje energije u dijagramu opterećenja

W_{uc} - mjesečna potrošnja crpnog postrojenja

r-broj radnih dana u vremenskom intervalu

n-broj neradnih dana u vremenskom intervalu

T_v -dnevni broj sati velikih opterećenja

Nije u svim situacijama opravdano koristiti reverzibilne hidroelektrane, primjerice, kada je omjer troškova za gorivo u termoelektranama u kojima se smanjuje proizvodnja zbog proizvodnje u RHE i troškova za gorivo u termoelektranama koje trebaju stvoriti energiju za crpljenje vode manji od omjera između energije za crpljenje vode i proizvedene energije. Ponekad je isplativ samo kratkotrajni rad RHE, odnosno angažiranje samo dijela snage RHE. Način iskorištavanja RHE ovisi o odnosima u sustavu i ovisi: o sezoni, o mogućnosti proizvodnje svih hidroelektrana i njihovoj snazi, strukturi termoelektrana i njihovom tehničkom minimumu. Opravdanost izgradnje RHE treba odrediti sveobuhvatnom energetsko-ekonomskom analizom jer su one vrlo korisne, ali postoji i situacije u kojima se može i bez njih. Smještaj RHE bio bi najbolji kada bi bio blizu industrijskih centara jer je tamo potrebna vršna energija te bi se tako smanjili troškovi prijenosa. U nastavku će biti prikazane i opisane formule koje su bitne za RHE.

Energija potrebna za crpljenje:

$$W_c = \frac{\rho \cdot g \cdot H_c \cdot t_c \cdot Q_c}{\eta_c} \quad (3)$$

Energija koju dobijemo u turbinskom načinu rada:

$$W_t = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H \cdot t_t \cdot \eta_t \quad (4)$$

Gdje je:

ρ -gustoća vode

g-ubrzanje slobodnog pada

Q_c -protok vode kroz crpku

H_c -visina crpljenja

t_c -trajanje crpnog pogona

η_c -stupanj korisnosti crpnog pogona

Q_t -protok vode kroz turbinu

H-neto pad

t_t - trajanje turbinskog pogona

η_t -stupanj korisnosti turbinskog pogona

Snaga koja se proizvede prilikom pražnjenja

$$P = k_t \cdot \rho \cdot g \cdot h_t \cdot Q_t \quad (5)$$

Snaga koja se potroši prilikom pumpanja vode

$$P = k_c \cdot \rho \cdot g \cdot h_c \cdot Q_c \quad (6)$$

Gdje je:

ρ -gustoća vode

g - ubrzanje slobodnog pada

k_t -učinkovitost ciklusa pražnjenja

k_c -učinkovitost ciklusa punjenja

h_t -konstruktivni pad turbine

h_c -konstruktivni pad u crpnom načinu rada

Q_t -instalirani protok u turbinskom radu

Q_c -instalirani protok u crpnom načinu rada

Vrijeme potrebno da se gornje jezero isprazni dobije se prema formuli 7.

$$t = \frac{V}{Q} \quad (7)$$

Gdje je:

V - volumen bazena

Q -instalirani protok

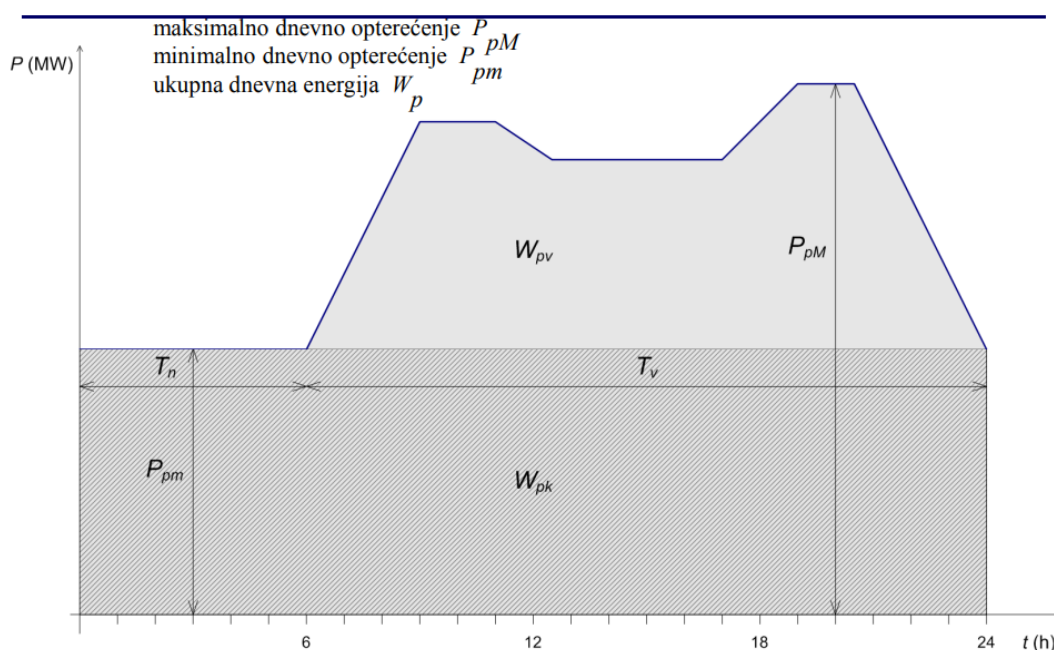
2.2. Dnevni dijagram opterećenja

Dnevni dijagram opterećenja prikazuje promjenu opterećenja tijekom dana i on je ovisan o strukturi potrošača u elektroenergetskom sustavu. U elektroenergetskom sustavu razlikuju se dnevni dijagram opterećenja što ga čine potrošači i dnevni dijagrama opterećenja na pragu elektrana. Zanimljiviji je dnevni dijagram opterećenja na pragu elektrana jer su u njemu

uključeni gubici transformacije, prijenosa i distribucije. Dnevni dijagram opterećenja pokazuje: maksimalno dnevno opterećenje, minimalno dnevno opterećenje, ukupnu dnevnu energiju i faktor opterećenja što je prikazano slikom 2.2. Faktor opterećenja izračunava se kao omjer ostvarene potrošnje energije i energije koja se mogla ostvariti da je elektroenergetski sustav bio opterećen u cijelom vremenskom intervalu maksimalnim opterećenjem.[1]

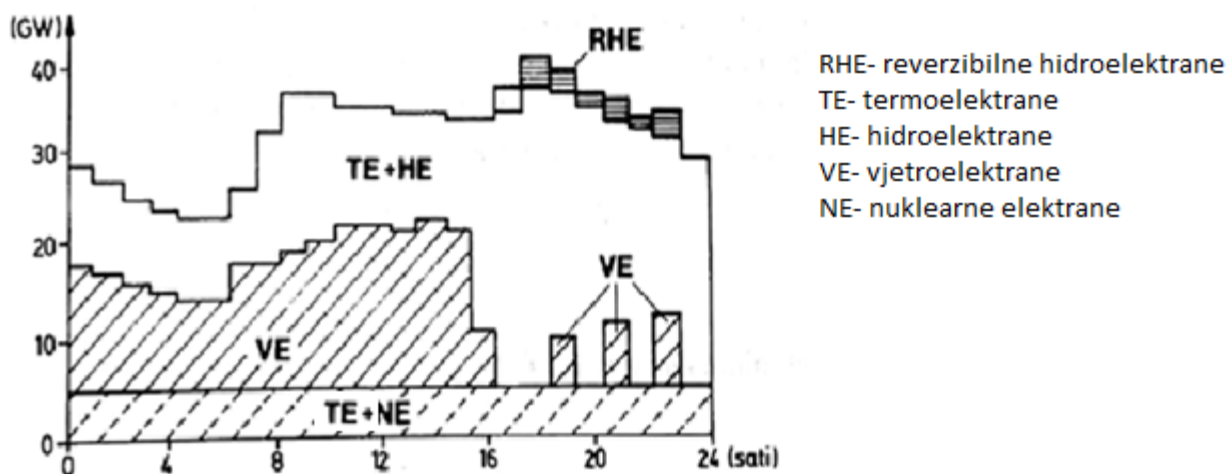
Faktor opterećenja je pokazatelj iskoristivosti postrojenja elektroenergetskog sustava, odnosno što je veći faktor opterećenja to je bolje iskorištenje postrojenja što donosi uštedu u izgradnji i racionalnije korištenje postojećih postrojenja. Izračun faktora opterećenja dan je formulom 8.

$$m = \frac{W_d}{24P_{max}} \quad (8)$$



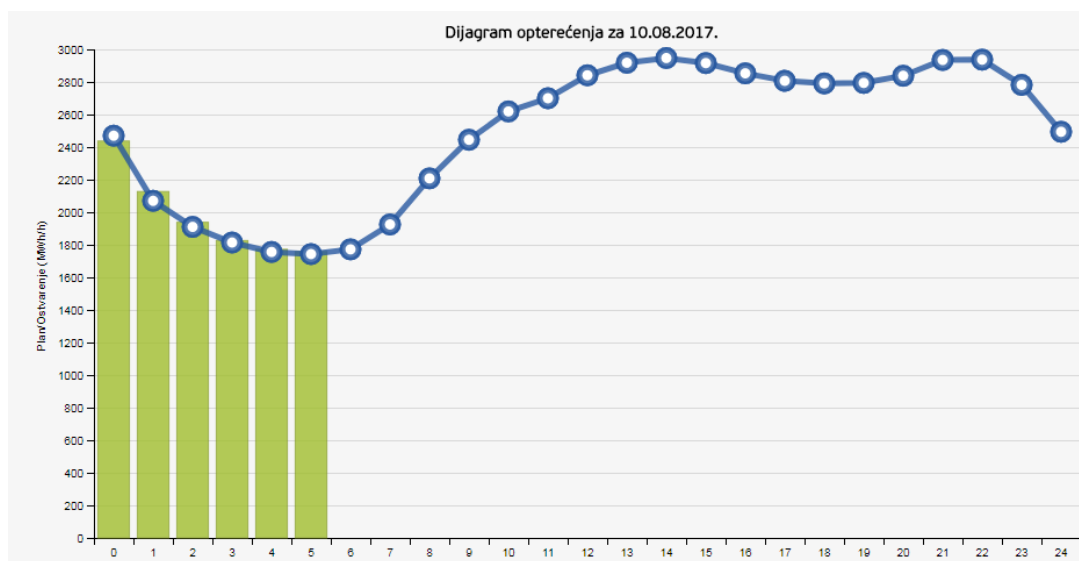
Slika 2.2 Opterećenja u dnevnom dijagramu [9]

U dnevnom dijagramu opterećenja termoelektrane i nuklearne elektrane pokrivaju bazu, a hidroelektrane vrhove dijagrama potrošnje, odnosno u vršnom opterećenju vrhove pokrivaju RHE. Vjetroelektrane mogu pojačati bazu tjednog ili mjesečnog opterećenja. Prikaz pokrivanja dnevnog dijagrama opterećenja prikazan je slikom 2.3 iz koje je točno vidljivo koje elektrane pokrivaju koji dio. Termoelektrane i nuklearne elektrane ne podnose učestale prekide i ponovna uključivanja stoga one pokrivaju bazu tako da se ne gase jer bi to izazvalo velike troškove.



Slika 2.3 Dnevni dijagram opterećenja [4]

Na slici 2.4 prikazan je klasični dnevni dijagram opterećenja i iz njega je vidljivo kako je puno manja potrošnja energije u noćnim satima, i upravo u tim satima RHE uzimaju energiju za pumpanje vode u gornji akumulacijsko jezero. Kako se termoelektrane ne smiju gasiti jer bi to izazvalo veće troškove energija potrebna za crpljenje se može uzimati od njih.



Slika 2.4 Primjer dnevnog dijagrama opterećenja [7]

Postoje dvije podijele dnevnog dijagrama opterećenja, a to su:

- Po trajanju opterećenja
- Po opterećenjima

Ako gledamo dnevni dijagram opterećenja po trajanju opterećenja, moguće je uočiti 3 razdoblja: razdoblje velikih, malih i srednjih opterećenja.

U slučaju da gledamo po opterećenjima može se pretpostaviti da se nađe jedno konstantno opterećenje (P_k), a ostalo opterećenje da varira od konstantnog do maksimalnog opterećenja (P_{max}). Konstantna energija (W_k) tada je jednaka:

$$W_k = 24P_k \quad (9)$$

Varijabilna energija (W_v) je razlika između ukupne dnevne energije (W_d) i konstantne energije i jednaka je:

$$W_v = W_d - W_k \quad (10)$$

Varijabilna snaga (P_v) je dana prema izrazu:

$$P_v = P_{max} - P_k \quad (11)$$

Dnevni dijagram opterećenja razlikuje se za radni i neradni dan. Razlikuju se po iznosu ukupne potrebne energije, maksimalnom opterećenju i trajanju varijabilnog opterećenja. Sve te veličine veće su u radnom danu jer najveći potrošači energije su tvornice koje ne rade neradnim danima. Kod određivanja konstantnog opterećenja u neradnom danu uzima se da je ono jednako konstantnom opterećenju u radnome danu. To nam pojednostavljuje proračune, a ne utječe na tjednu krivulju trajanja. Za energetske-ekonomske analize nije nam podoban dnevni dijagram opterećenja jer ga je teško izraziti matematičkim jednadžbama. Radi toga se umjesto dijagrama opterećenja napravi krivulja opterećenja koja se može lakše matematički izraziti. Krivulja trajanja opterećenja dobiva se na taj način da se opterećenja koja su se pojavila u promatranom vremenskom intervalu poredaju po padajućim vrijednostima od maksimalnog do minimalnog opterećenja.[1]

U krivulji opterećenja sadržano je: maksimalno i minimalno opterećenje i ukupna potrebna energija. Za analizu opterećenja elektroenergetskog sustava najbolje je koristiti tjednu krivulju trajanja opterećenja, jer su svi tjedni u godini jednakog trajanja i tu se događaju najmanje pogreške. Predviđanje potrošnje odnosno određivanje dnevnog, tjednog i godišnjeg dijagrama opterećenja je vrlo bitno i tome treba posvetiti veliku pozornost.

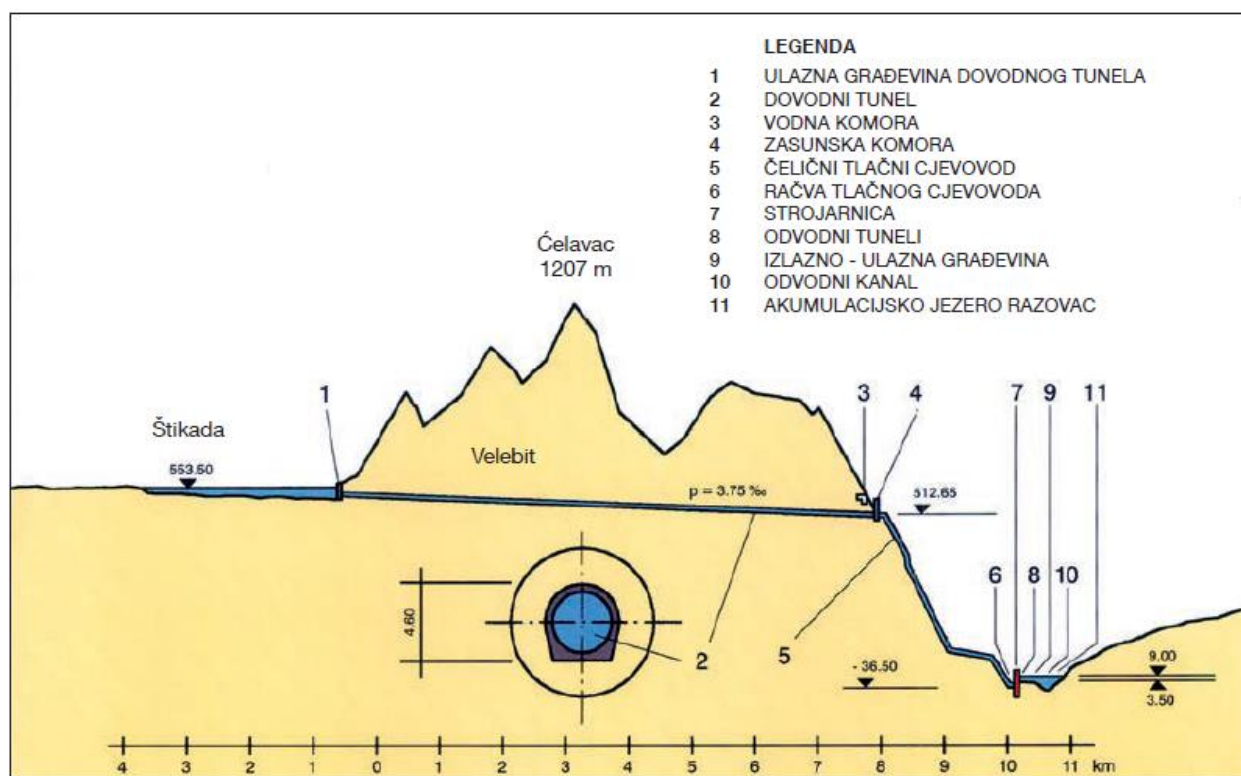
2.3. Reverzibilna Hidroelektrana Velebit

RHE Velebit najveća je RHE u Hrvatskoj uz nju jedina RHE u Hrvatskoj je još RHE Lepenica. Uz dvije RHE u Hrvatskoj postoji još i crpna hidroelektrana Fužine. RHE Velebit je najveća i najpoznatija u Hrvatskoj zbog toga će u nastavku biti detaljno opisana i ona će poslužiti kao primjer reverzibilne hidroelektrane. RHE Velebit smještena je u jugoistočnom dijelu Like, a koristi vode vodotoka Ričica, Opsenica, Otuča i Krivak s Gračačke visoravni. Strojarnica je smještena uz rijeku Zrmanju blizu grada Obrovca. RHE Velebit građena je od 1978. do 1985. godine, a u proizvodnji je od 1984. godine. Elektrana se može podijeliti na 4 dijela:

- Gornja akumulacijska jezera
- Tlačni dovodni sustav
- Strojarnica s pratećim objektima
- Donje akumulacijsko jezero

Gornje akumulacijsko jezero Štikada nalazi se na Gračačkoj visoravni, jezero prihvaća vode iz gračačke visoravni, vodu iz akumulacijskog jezera Opsenica i vode vodotoka Otuča kroz podzemni betonski tunel. Voda se do strojarnice dovodi kroz betonski tlačni tunel i čelični tlačni cjevovod a na početku tunela nalazi se ulazna građevina s tablastom zapornicom. Na izlazu dovodnog tunela nalazi se vodna komora koja je sastavljena od donje komore, dvije bočne komore i vertikalnog šahta. Na prijelazu iz dovodnog tunela u tlačni cjevovod nalazi se zasunska komora. Tlačni cjevovod proteže se od zasunske komore do strojarnice i pri tome svladava visinsku razliku od 549,15 m te se pred strojarnicom račva na dva dijela. Strojarnica je smještena u dubokom armiranom betonskom bunaru. Turbine i crpke su postavljene na dubinu od 47.5 m ispod površine jer se na taj način smanjuju kavitacijske pojave na lopaticama. U zgradi strojarnice su smješteni montažni prostor i mosna dizalica. Oko zgrade strojarnice smještene su: zgrada komande, zgrada rasklopnog postrojenja 35 kV s diesel-električnim agregatom, zgrade u rasklopnom postrojenju 400/110/36,75 kV te zgrade pomoćnih pogona. Uz strojarnicu smješteno je akumulacijsko jezero Razovac. Strojarnica i akumulacijsko jezero su povezani s dva ulazno-izlazna tunela. Akumulacijsko jezero Razovac služi kao akumulacijski prostor za crpni rad pumpe.[8]

Detaljan izgled RHE Velebit prikazan je slikom 2.5.



Slika 2.5 RHE Velebit [8]

RHE Velebit ima ugrađena 2 agregata koja zadovoljavaju turbinski, crpni i kompenzatorski pogon. Pokretanje agregata u crpnom pogonu vrši se statičkim frekvencijskim pretvaračem. Motor-generator pokreće se sinkrono od stanja mirovanja do nazivnog broja okretaja. Pokretanje traje 5 minuta. Tehnološki proces je u potpunosti automatiziran te su mogući brzi i sigurni prijelazi u sva pogonska stanja. U turbinskom radu voda iz gornjeg akumulacijskog jezera se iskorištava za proizvodnju električne energije i pokrivanje vršnih vrijednosti u dnevnom dijagramu opterećenja. Kada je potrošnja električne energije mala voda se pumpa iz donjeg u gornje akumulacijsko jezero da bi se kasnije iskoristila. Instalirana snaga RHE Velebit je 276 MW a snaga crpki je 240 MW. U nastavku će biti navedene neke energetske karakteristike elektrane koje su preuzete iz literature.

Akumulacijska jezera:

- Bazen Opsenica – zapremina $2,7 \times 10^6 m^3$
- Bazen Štikada – korisna zapremina $9,6 \times 10^6 m^3$
- Donji bazen Razovac- zapremina $1,84 \times 10^6 m^3$

Energetski podaci:

- Najveći bruto pad: 550 m
- Instalirani protok elektrane u turbinskom radu: $Q_i = 60 m^3/s$

- Instalirani protok elektrane u crpnom radu: $Q_i = 40 \text{ m}^3/\text{s}$
- Instalirana snaga: 276 MW
- Prosječna godišnja proizvodnja: 430 GWh
- Energetska vrijednost akumulacije (Štikada+Opsenica): 14,8 GWh

Turbine:

- Tip: jednostepena turbina-crpka
- Komada: 2
- Konstruktivni pad turbine: 517 m
- Konstruktivni napor crpke: 559 m
- Snaga turbine: 140 MW
- Instalirani protok: turbina($2 \times 30 \text{ m}^3/\text{s}$), crpka($2 \times 30 \text{ m}^3/\text{s}$)

Generatori:

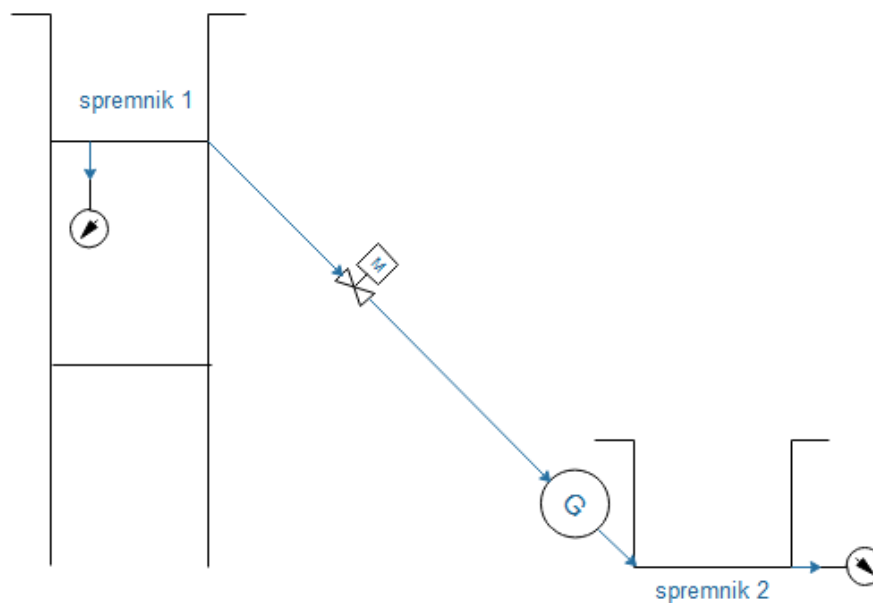
- Tip: sinkroni generator-motor
- Komada: 2
- Snaga: generator ($2 \times 138 \text{ MW}$), motor crpke ($2 \times 138 \text{ MW}$)
- Srednji energetska ekvivalent: $1,25 \text{ kWh}/\text{m}^3$
- Faktor snage: $\cos\varphi = 0,89$
- Broj okretaja agregata: 600 min^{-1}

Transformatori:

- Komada: 4
- Tip: 2- trofazna blok transformatora po 155 MVA, 15,75/400 kV, 1-mrežni transformator od 300/300/100 MVA, 400/115/36,75 kV i 1- regulacijski od 36,75/35 kV, 15000 kVA
- Rasklopno postrojenje: 400 kV, 110 kV, 35 kV i 15,75 kV

3. Reverzibilna hidroelektrana upravljana PLC-om

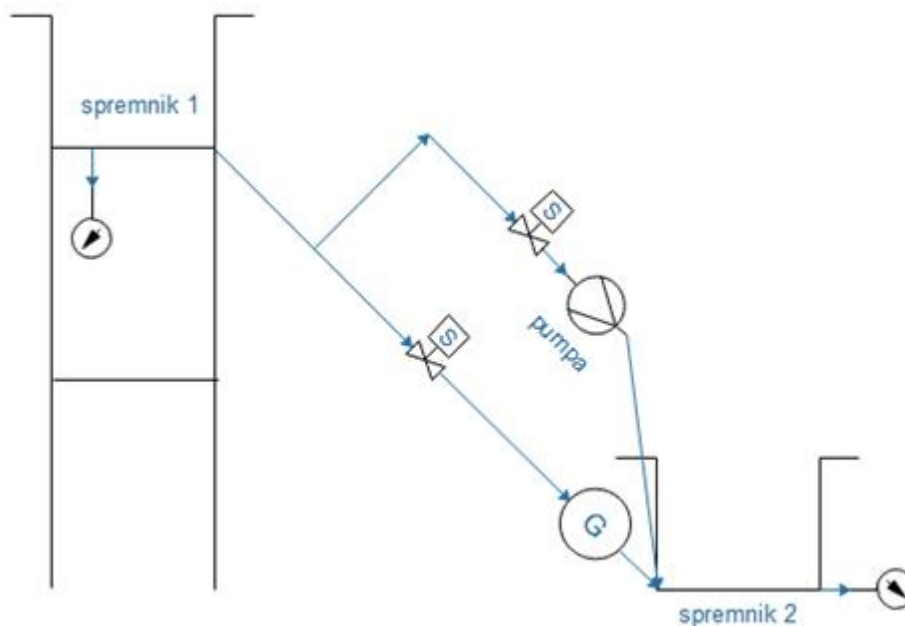
Kao što je već navedeno reverzibilna hidroelektrana se sastoji od: gornjeg i donjeg akumulacijskog jezera, dovodnog kanala, generatora koji je jedno i motor te turbine koja je ujedno i pumpa u crpnom načinu rada. Funkcioniranje takve hidroelektrane zasniva se na pumpanju vode kada je potrošnja električne energije mala. Za potrebu ovog rada trebao je biti izrađen model reverzibilne hidroelektrane koji se sastoji od: gornjeg i donjeg spremnika, električnog ventila, generatora, dovodnog kanala i dva senzora tlaka kojima se mjeri razina tekućine u spremnicima. Slikom 3.1 prikazan je izgled reverzibilne hidroelektrane na kojemu su vidljivi svi dijelovi reverzibilne hidroelektrane, a shema je napravljena u programu *Edraw Max*.



Slika 3.1 Planirana shema RHE

Kao što je već navedeno kod RHE turbina je ujedno i pumpa, a generator je ujedno i motor u crpnom načinu rada. S obzirom da je ovo samo model RHE generator koji je uzet za izradu, nije dovoljno dobre izvedbe da bi mogao pumpati vodu natrag u gornji spremnik. U ovom radu je naglasak više stavljen na upravljanje RHE nego na samu konstrukciju iste, te je zbog toga promijenjen osnovni izgled RHE. Generator je lošije izvedbe te ima elektroniku koja ne dopušta da struja ide u drugom smjeru, zbog toga je potrebno dodati u cijeli sustav pumpu za pumpanje vode te dva solenoidna ventila što je prikazano slikom 3.2. S obzirom da je u sustav dodana pumpa, sada imamo postrojenje sa 4 stroja koje je objašnjeno u poglavlju reverzibilne hidroelektrane i takvo postrojenje se naziva pumpno akumulacijska hidroelektrana (PAHE).

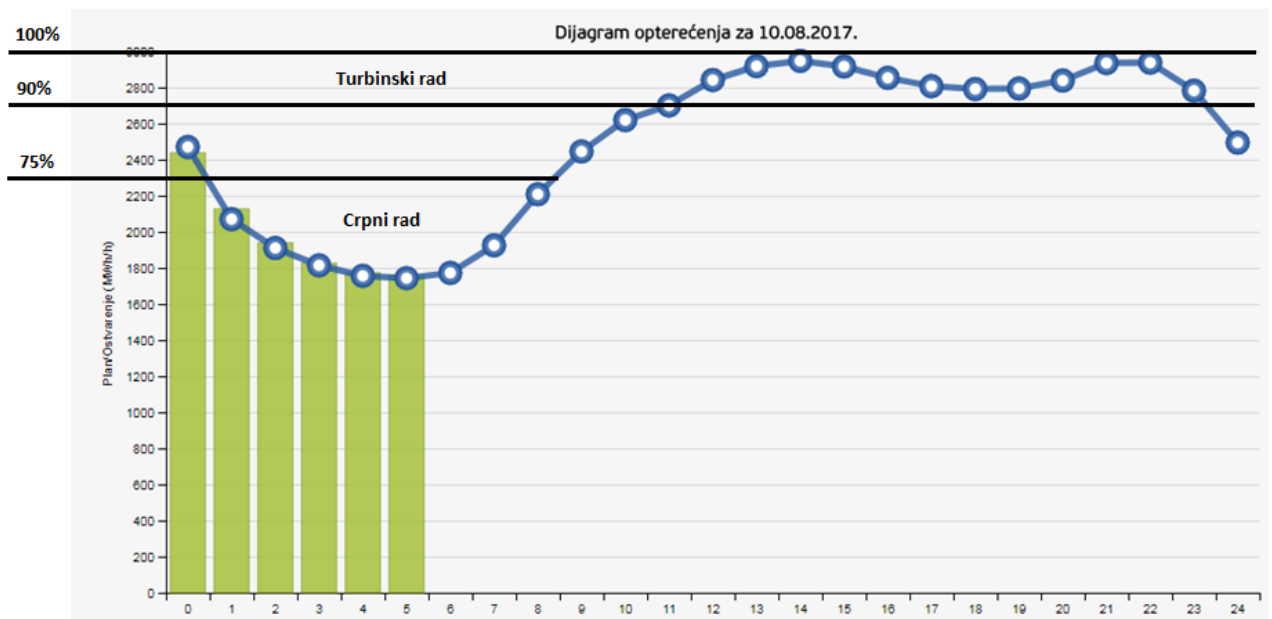
Takvo rješenje je lošije od reverzibilne hidroelektrane iz očitih ekonomskih i konstrukcijskih razloga. Ekonomski razlozi su: povećanje troškova za opremu, a konstrukcijski da treba biti veća strojarnica i treba biti utrošeno više materijala kod izrade takvog postrojenja.



Slika 3.2 Shema RHE

Iz slike 3.2 vidljivo je kako se kod PAHE povećava materijal za izradu te konstrukcija same elektrane. Funkcionalnost elektrane je ostala ista, a voda se pumpa u gornji spremnik kad je mala potrošnja uz razliku da se voda pumpa pomoću pumpe. Pumpa korištena u projektu je centrifugalna i kod izrade projekta mora biti postavljena vodoravno sa spremnikom 2 tako da voda dolazi do nje. Voda mora dolaziti do nje tako da se ona napuni s vodom jer inače ne može pumpati vodu. Ako bi pumpa bila spojena na spremnik pod 45° kao što je generator ne bi mogla pumpati vodu. Spremnik 1 se nalazi na postolju visine 2 m tako da se dobije što veći tlak vode koji djeluje na generator, a samim time i veći napon. Budući da se *Spremnik 1* nalazi na postolju, senzor tlaka je moguće ugraditi na dno spremnika. Kod *Spremnika 2* to nije moguće jer se on nalazi na podu te je kod njega senzor tlaka na bočnoj strani spremnika. To je moguće napraviti jer tlak koji stvara voda djeluje jednako na sve stijenke, tako da se tlak ne bi trebao razlikovati ako ga mjerimo na dnu spremnika ili na bočnoj strani. Solenoidni ventili imaju ulogu da ne propuštaju vodu ovisno da li je turbinski rad, crpni rad ili pak elektrana miruje. Funkcionalnost RHE temelji se na dnevnom dijagramu opterećenja odnosno na potrošnji električne energije. Dnevni dijagram opterećenja simulira se pomoću potencijometra koji je spojen na PLC kao analogni ulaz. Ovisno o dnevnom dijagramu opterećenja i razini vode u spremnicima RHE se uključuje i proizvodi energiju ili uzima energiju i ponaša se kao potrošač i pumpa vodu u gornji

spremnik. RHE se uključuje u turbinski rad kada dnevni dijagram opterećenja prijeđe preko 90%. Opterećenje od 3000 MWh je uzeto kao 100% i ono je konstantno za svaki dan u dnevnom dijagramu opterećenja. Dakle, kada opterećenje naraste iznad 90% od spomenutih 3000 MWh RHE se uključuje u turbinski rad i proizvodi električnu energiju te pokriva vrhove u dnevnom dijagramu opterećenja. Kada opterećenje padne ispod 75% što se događa kroz noć RHE radi u crpnom načinu rada uzimajući električnu energiju iz mreže. Prikaz korištenja RHE dan je slikom 3.3. Cijeli sustav je upravljan pomoću PLC-a te je u potpunosti automatiziran.



Slika 3.3 Korištenje RHE

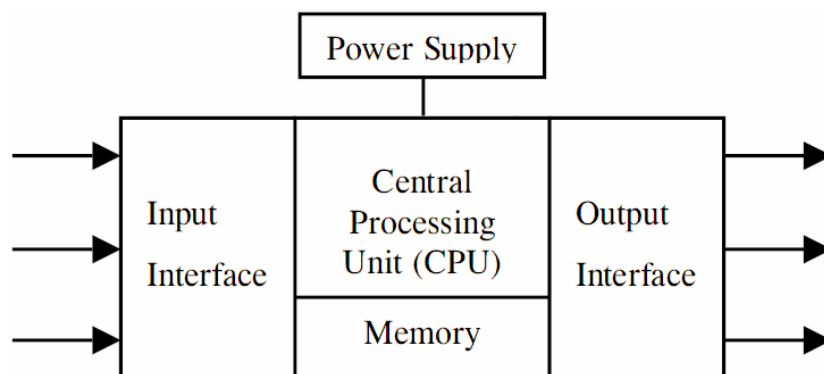
3.1. Komponente korištene u projektu

U ovom potpoglavlju dat će se detaljan opis i funkcioniranje opreme korištene u projektu.

Korištena oprema:

- PLC i HMI dodirni ekran
- Generator
- Pumpa
- Spremnici
- Solenoidni ventili
- Senzori tlaka
- Potenciometar
- Releji
- Stabilizator
- Postolje
- PP-R cijevi

PLC ili programirajući logički kontroler je programirljivo računalo namijenjeno za upravljanje i kontrolu uređaja i procesa. PLC se koristi u industrijskim procesima, a sastoji se od: CPU, memorije, ulaza i izlaza. Izgled PLC-a prikazan je slikom 3.4. CPU je mozak PLC-a, on sadržava mikroprocesor i brine o komunikaciji, povezanosti svih dijelova PLC-a, izvršavanju programa, nadgledanju ulaza i upravljanju izlaza.



Slika 3.4 Izgled PLC-a [10]

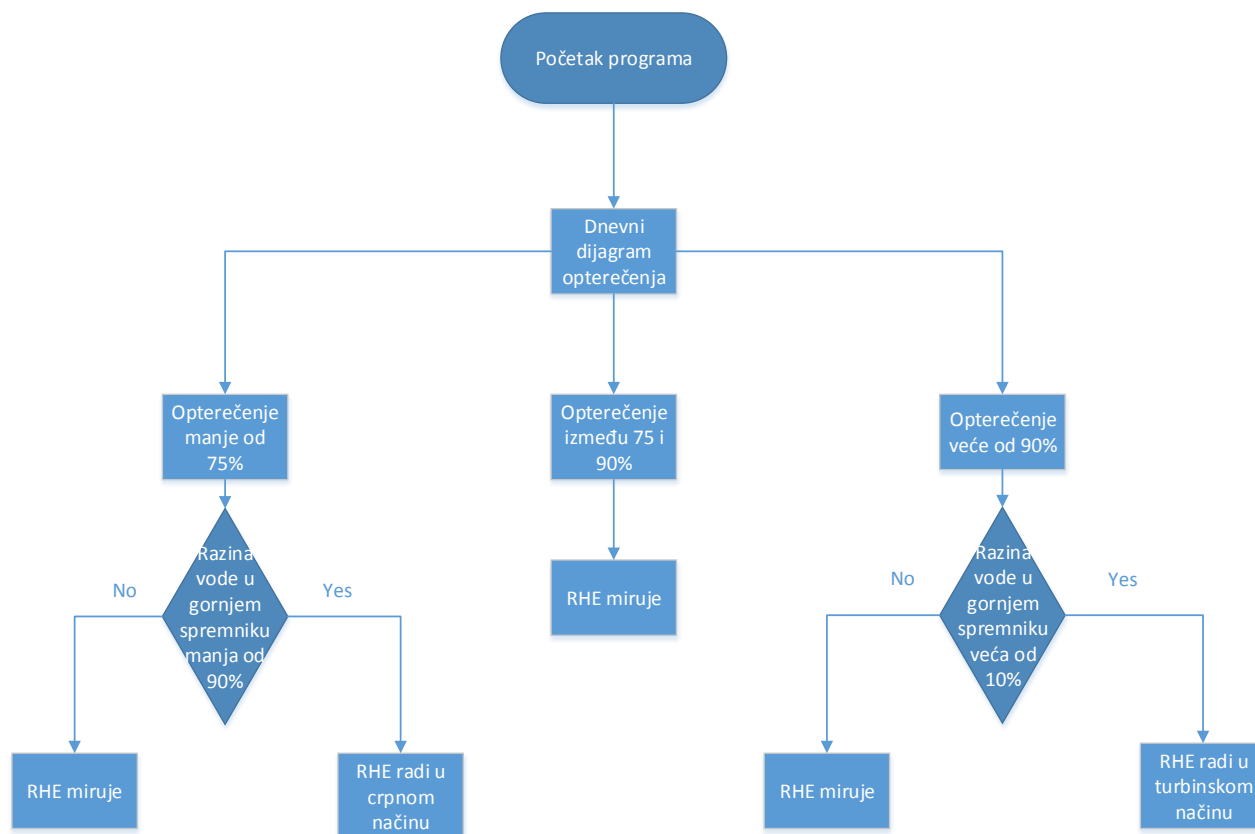
Program PLC-a izvršava se u 4 faze: učitavanje ulaza, izvršavanje programa, postavljanje izlaza i komunikacija s vanjskim jedinicama. Ta obrada se ponavlja ciklički u beskonačnoj petlji. Prednosti PLC-a su: pouzdanost, adaptivnost, fleksibilnost, komunikacija, dijagnostika.

Postoje dvije vrste PLC-a:

- Modularni
- Kompaktni

Modularni uređaji imaju jedno jako važno svojstvo, a to je da se mogu dodavati dodatni moduli na osnovni modul. Svojstvo modularnosti je vrlo bitno kod postrojenja u kojima se konstantno treba nadograđivati sustav. Kompaktni uređaji služe za male projekte koji nisu previše složeni i oni se ne mogu proširiti. Ulazi kod PLC-a imaju ulogu da prihvaćaju ulazne signale i da štite CPU, a mogu biti analogni i digitalni. Analogni signal mogu biti mjerni pretvornici, a digitalni mogu biti sklopka, tipkala i slično. Izlazi PLC-a služe za komunikaciju sa uređajima kojima se upravlja, najčešće motori, ventili, signalizacija i slično. Izlazi PLC-a mogu biti digitalni ili analogni. Napajanje PLC-a je dovođenje električne energije do CPU, a najčešće je to 24V DC. PLC preko modula za napajanje pretvara mrežni napon u istosmjerni napon i ujedno ga i stabilizira. Osnovni razvojni jezici kod PLC-a su: Ladder dijagram, FBD (function block diagram) i STL (statement list). Program za reverzibilnu hidroelektranu bit će pisan u Ladder dijagramu. Ladder dijagram je u obliku mreže koja se sastoji od simbola koji predstavljaju instrukcije i upravljačke komponente. Program se izvodi odozgo prema dolje, mreža po mreža i slijeva na desno u mreži. PLC korišten u projektu je tvrtke Siemens i naziva S7-1200 i pomoću njega se upravlja svim procesima. Za programiranje PLC uređaja i vizualizaciju procesa koristi se alat TIA (Totally Integrated Automation) portal koji ima integrirani programski alat *STEP 7 Basic* i *Wincc* koji služi za izradu nadzorno-upravljačkih aplikacija za HMI uređaje. Izrada projekta u TIA portalu sastoji se od nekoliko koraka: kreiranje projekta, izrada i konfiguriranje mrežnih veza između uređaja, izrada upravljačkog programa za PLC uređaje, izrada vizualizacije za HMI uređaje, provjera rada i otklanjanje grešaka. Sve centralne procesorske jedinice imaju integrirano profinet sučelje koje omogućuje međusobno povezivanje više PLC uređaja i operatorskih panela putem komunikacijskih protokola temeljenih na ethernet i TCP/IP protokolu.[12]

Rad u TIA portalu moguć je u dva načina: portal pregled i projektni pregled. Portal pregled se otvara odmah nakon pokretanja aplikacije i prikazuje samo osnovne akcije. Projektni pregled sadrži mnogo više opcija potrebnih za izradu projekta, od PLC programiranja do vizualizacije. TIA portal omogućuje lakše i jednostavnije povezivanje PLC uređaja i HMI uređaja sa računalom te na jednom mjestu sadrži sve potrebno za izradu upravljačkog programa i vizualizacije. Slikom 3.5 dan je prikaz dijagrama toka i iz njega se lako uočava funkcionalnost RHE.

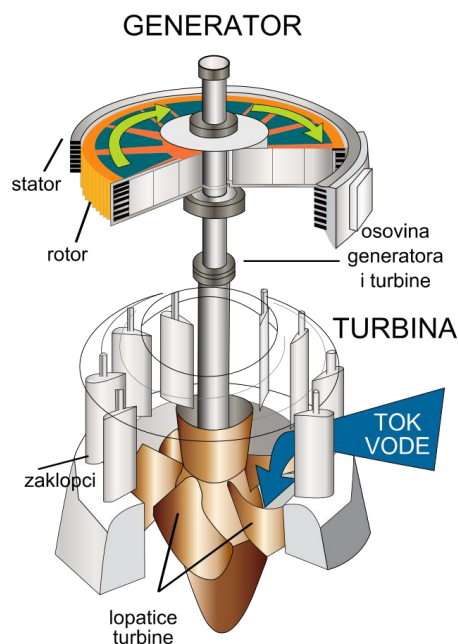


Slika 3.5 Dijagram toka

Generator je električni stroj u kojem se mehanička energija vrtnje turbine pretvara u električnu energiju. Generator sa turbinom koji se koristi kod hidroelektrana prikazan je slikom 3.6. Generator i turbina su povezani osovinom i osovina okreće rotor te se stvara okretno magnetsko polje i inducira se napon. Generatori mogu biti:

- Sinkroni
- Asinkroni

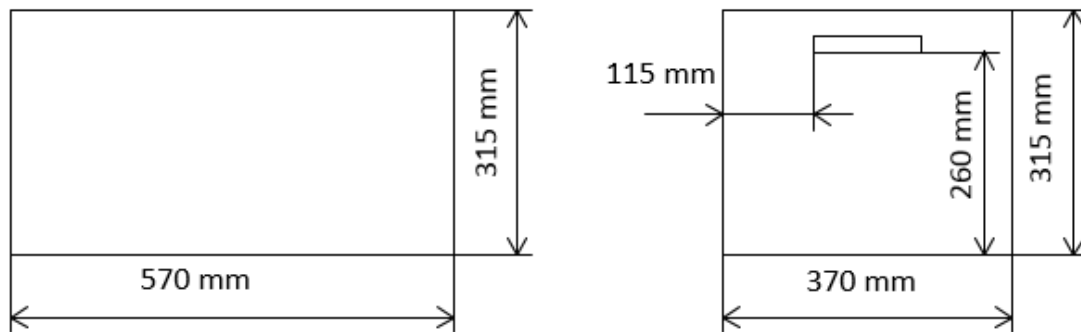
Sinkroni generator može funkcionirati samostalno dok asinkroni mora biti priključen na elektroenergetski sustav. Sinkroni generatori se najčešće koriste kao izvori energije u elektroenergetskom sustavu dok su asinkroni najjednostavnije rješenje za male hidroelektrane. Kod reverzibilnih hidroelektrana generator radi kao motor u crpnom načinu rada što znači da uzima električnu energiju iz mreže i tako pokreće turbinu koja se zatim ponaša kao pumpa i pumpa vodu iz donjeg spremnika u gornji spremnik. Turbine služe za pretvorbu kinetičke energije strujanja vode u mehaničku energiju vrtnje turbine i mogu biti akcijske i reakcijske. Reakcijske su: Kaplanova, Francisova i propelerna, a akcijska je: Peltonova turbina. Mini generator-turbina korišten u ovom radu daje maksimalno 12V DC te je izrađen od plastike i nešto je lošije izvedbe. Budući da je lošije izvedbe ne može raditi u crpnom načinu rada.



Slika 3.6 Generator sa turbinom [13]

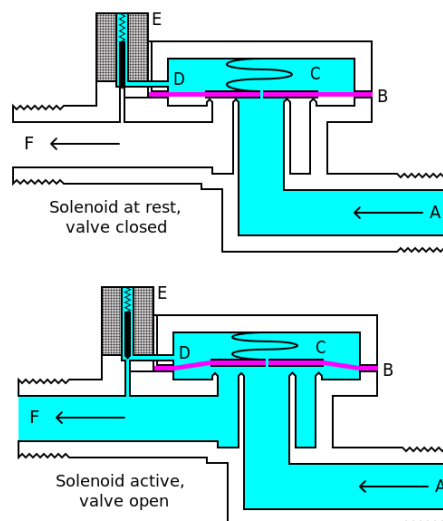
Pumpa korištena za ovaj projekt je centrifugalna pumpa što znači da tekućina protječe od smjera crpljenja prema tlačnoj strani djelovanjem centrifugalne sile. Takve pumpe se koriste za male i srednje dobavne visine i nisu samousisne tj. nisu u mogućnosti iscrpiti zrak iz usisnog cjevovoda. Mogu biti jednostupanjske ili višestupanjske. Centrifugalne pumpe se sastoje od: spiralnog kućišta i rotora pričvršćenog na vratilu koji se vrti velikom brzinom. Princip rada zasniva se na tome da se rotor vrti i potiskuje vodu koja se nalazi između lopatica, djelovanjem centrifugalne sile tekućina povećava brzinu. Pumpa korištena u projektu ima mogućnost dizanja tekućine do 3 m.

Koriste se 2 spremnika tekućine koji simuliraju gornje i donje akumulacijsko jezero. Donji bazen mora imati najmanje toliki volumen da se crpljenjem može napuniti gornji volumen. Ako nema dotoka ni u gornji ni u donji akumulacijski bazen veličina gornjeg i donjeg bazena je ista. Stoga su u projektu uzeti spremnici jednakih volumena. Spremnici su od plastike i zapremnine su do 50 l. U njima se dakle akumulira energija i oni su zapravo spremnici energije jer kada je manja potrošnja višak energije se koristi da bi se voda pumpala iz donjeg u gornji spremnik te se iskoristila kada je najpotrebnije odnosno kada je velika potrošnja. Slikom 3.7 prikazan je nacrt i bokocrt spremnika sa naznačenim mjerama. Slike su napravljene u programu *Visio*.



Slika 3.7 Nacrt i bokocrt spremnika

Solenoidni ventil je elektromehanički ventil, njime se upravlja strujom koji prolazi kroz njega i može biti uključen ili isključen. Veliku primjenu nalaze u industriji jer se pomoću njih isključuju, doziraju ili miješaju tekućine. Solenoidni ventili osiguravaju brzo i sigurno uključivanje i isključivanje, dugotrajnost te visoku pouzdanost. Ako je ventil zatvoren kada nema struje onda se naziva normalno zatvoren i obratno, ako je otvoren kad nema struje onda se naziva normalno otvoren. U projekt je korišten ventil normalno zatvoren i plastične izvedbe. Vrijeme odziva solenoidnih ventila može biti između 5 i 150 ms. Slikom 3.8 prikazan je princip rada solenoidnog ventila.

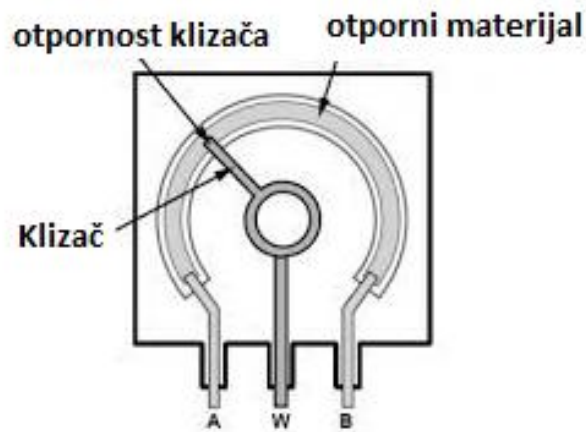


Slika 3.8 Princip rada solenoidnog ventila [15]

Voda pod pritiskom ulazi u A, B je elastična dijafragma i iznad nje ja slaba opruga koja ju gura dolje. Dijafragma ima malu rupu u središtu i tako omogućuje da vrlo malo vode prolazi kroz nju. Ta voda koja prolazi napuni C dio tako da je pritisak jednak na obje strane dijafragme. Opruga je slaba i može zatvoriti izlaz samo radi toga jer je tlak na obje strane dijafragme jednak. Ovo radi jer je mali prolaz za odvod D blokiran pomoću igle koja je armatura solenoida E i koja je gurnuta od strane opruge. Ako prođe struja kroz solenoid igla se povuče pomoću magnetske sile, a voda u komori C prolazi kroz prolaz D brže nego se može napuniti. Tlak u komori C pada i dijafragma se podiže i tako voda teče direktno od A do F.

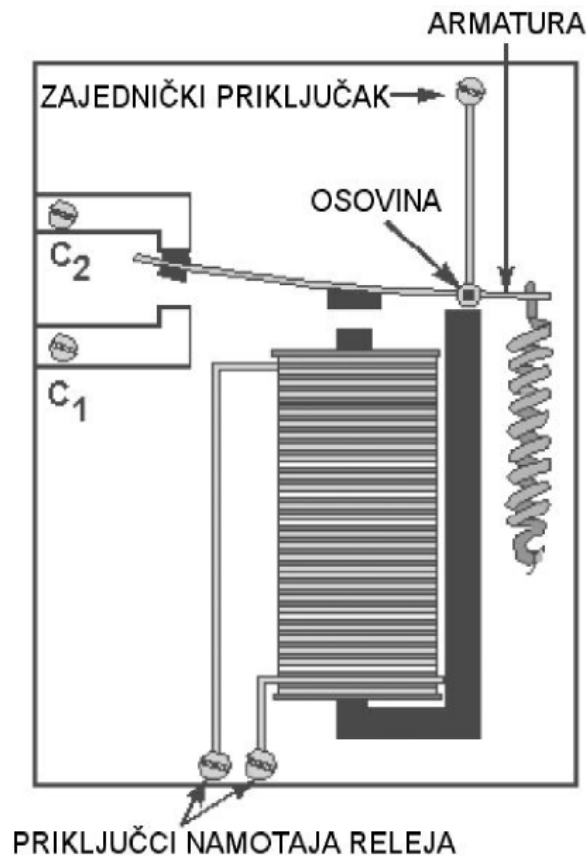
Senzor tlaka je naprava pomoću koje se mjeri tlak tekućina i djeluje kao pretvarač odnosno generira signal kao funkciju tlaka. Ti senzori su poznatiji pod nazivom manometri. U radu se upotrebljava senzor tlaka takve vrste kada pokazuje da je tlak jednak 0 onda je u stvarnosti tlak jednak atmosferskom tlaku. Atmosferski tlak iznosi $101325 P_a$ i on se uzima kao 0 kod ovog senzora tlaka. U radu je upotrebljavan senzor tlaka koji mjeri tlak od 0-15 psi. Psi je jedinica za mjerenje tlaka i on označava masu po kvadratnom inču. 1 psi je $6894,757 P_a$ i zbog nemogućnosti pronalaska adekvatnog senzora tlaka koji bi mjerio manji tlak uzet je ovaj koji mjeri do 15 psi. Pretvornik tlaka mjeri tlak od 0-15 psi što je približno 1 bar. Pomoću pretvornika tlaka mjerimo razinu u oba spremnika jer kada je maksimalan tlak odnosno kada je tlak 15 psi senzor daje električni signal od 4,5V a kada je tak minimalan odnosno kada pokazuje 0 psi tj. kada je tlak jednak atmosferskom tlaku dobije se električni signal od 0,5V. Iako senzor tlaka mjeri do 15 psi što je puno više od tlaka koji je u spremnicima PLC uspije pročitati promjenu stanja razine vode pa tako se za prazan spremnik dobije 0,5V a za pun spremnik 0,555V. U PLC-u je napravljeno skaliranje te se može očitavati razina vode u spremnicima iako sa jednom manom a to je da je razina treperi. Zbog neadekvatnog senzora tlaka razina vode u spremnicima se malo mijenja ali to nisu velike varijacije tako da se može regulirati razina vode pomoću tih senzora tlaka. Vrlo je važno znati razinu vode u spremnicima da se može stvarati energija ako je gornji spremnik dovoljno pun odnosno pumpati voda ako je prazan.

Potencijometar je promjenjivi otpornik koji funkcionira kao razdjelnik napona i on služi da pomoću njega simuliramo krivulju opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja. Ovisno o opterećenju RHE će se uključivati u rad ili će uzimati električnu energiju za pumpanje vode iz donjeg spremnika u gornji spremnik. Slikom 3.9 prikazano je funkcioniranje potencijometra.



Slika 3.9 Potenciometar [17]

Relej je uređaj koji prekida ili uspostavlja strujni krug pomoću elektromagneta koji otvara ili zatvara svoje kontakte. Releji mogu biti obični(oni odmah po dolasku zatvore ili otvore kontakte), vremenski, termički, bimetalni i slični. Princip rada releja sastoji se od toga da zavojnica koja je pod naponom i kroz koju poteče struja stvara jako magnetsko polje koje vuče armaturu prema kontaktu C1 te se on zatvara i uspostavlja se strujni krug a kad nestane napona sve se vraća u početni položaj što je prikazano slikom 3.10.



Slika 3.10 princip rada releja [9]

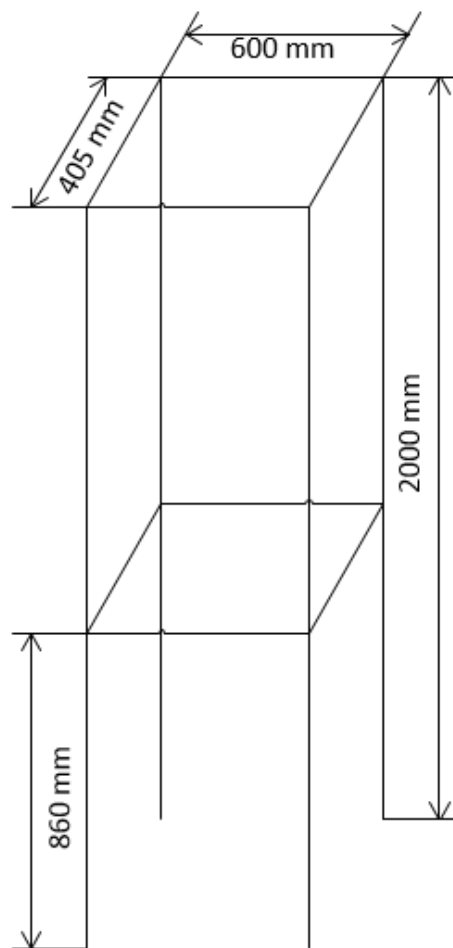
Osnovni dijelovi releja su: magnetska jezgra, namotaji, kontakti, armatura, opruga, jezgra, izolator. Osnovni podaci koji određuju relej su: nazivni napon uzbude svitka, snaga uzbude, vrijeme uključivanja/isključivanja, broj preklopa u sekundi, broj i vrsta kontakata, nazivna trajna struja opterećenja kontakata, napon aktiviranja, mehaničko vrijeme života.[9]

U radu je korišten relej 24V DC koji je priključen na PLC. Releji su potrebni iz tog razloga što solenoidni ventili i pumpa rade na 12V DC i taj napon smo doveli na relej sa izvora napajanja. Kada preko PLC-a relej dobije napon on zatvori svoje kontakte te se zatvori strujni krug koji se sastoji od stezaljke na koje je doveden napon od 12V DC i stezaljke na koje je doveden kontakt jednog od uređaja bilo pumpe ili solenoida. Korištena su tri releja svaki za jedan od navedenih elemenata.

U radu je korišten i stabilizator napona koji je potreban iz razloga što senzori tlaka koriste napajanje od 5V DC. Stabilizator napon od 12V DC pretvori u 5V DC potreban za napajanje senzora. U radu je korišten stabilizator LM7805.

PP-R cijevi su korištene za spajanje svih komponenata te one služe za protok vode između spremnika. PP-R cijevi su odabrane iz tog razloga što se mogu lako obraditi te zbog toga što postoje spojnice pomiču kojih je lako učvrstiti cijevi sa spremnikom. Cijevi korištene u projektu su promjera $\varnothing 25$ iako svi elementi imaju priključke na $\varnothing 20$. Veći promjer cijevi je uzet radi toga što PP-R cijevi imaju nešto deblju stjenku te da se dobije čim veći protok vode. U projektu su osim cijevi korištene i spojnice koje povezuju električne komponente sa cijevima i te spojnice su dimenzija $\varnothing 25$ na $\varnothing 20$. U projektu su korištena još i koljena pod nagibom od 45° i 90° . Spajanje PP-R cijevi vrši se pomoću varilice PP-R cijevi koja postiže veliku temperaturu te se cijevi koje su od plastike počnu lagano taliti i onda se lako spajaju. Cijela obrada je vrlo jednostavna.

Postolje je izrađeno od kvadratne željezne cijevi dimenzija 20×20 mm te je spojeno pomoću aparata za elektrolučno zavarivanje. Izgled i dimenzije postolja prikazane su slikom 3.11.



Slika 3.11 Postolje

3.2. Proračuni

Proračuni kod reverzibilnih hidroelektrana su najvažniji. Pomoću njih dobivamo informacije koliki je potrebni volumen akumulacije, koliku snagu će proizvoditi RHE, kolike će biti jačine generator odnosno motor te koja turbina je potrebna za određenu elektranu itd. To sve je vrlo važno i proračuni se izvode pri projektiranju elektrana. Iz njih dobivamo uvid u potrebnim ulaganjima i hoće li se isplatiti izgradnja elektrane te da li je uopće moguća izgradnja elektrane na određenom mjestu. Za potrebe ovog rada potrebno je odrediti koliki će tlak biti u spremnicima te pod kojim tlakom će akumulirana voda djelovati na turbinu.

Proračun tlaka je važan da bi se mogao odabrati pravilan senzor tlaka pomoću kojeg se saznaje kolika je razina tekućine spremnicima. Tlak koji djeluje na spremnik računa se prema formuli:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (12)$$

Gdje je :

ρ - gustoća vode

g - ubrzanje slobodnog pada

h - visina tekućine

Vrijednosti podataka su sljedeće:

$$\rho = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3; g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2; h = 0,26 \text{ m}$$

Pomoću formule i podataka koji su dati dobije se tlak koji djeluje na spremnik:

$$P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,26 = 2550,6 \text{ Pa}$$

Tlak koji se može dobiti na generatoru jednak je zbroju tlaka što ga stvara tekućina u spremniku i tlaka koji se dobije prilikom pada tekućine sa određene visine zbog vlastite težine vode. Prema tome tlak na generatoru dobije se iz sljedećih relacija:

Tlak što ga stvara tekućina u spremniku

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Tlak koji se dobije prilikom pada tekućine s određene visine

$$P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (13)$$

Tlak što ga stvara tekućina koja pada s određene visine se približno povećava za 0,1 bar za svaki 1 metar visine što će biti prikazano u nastavku.

$$P = 1000 \cdot 9,81 \cdot (1 - 0) = 9810 P_a$$

Ako određeni tlak treba pretvoriti iz P_a u bar-e treba određeni iznos tlaka u P_a pomnožiti sa 10^{-5} jer je $1 P_a = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ bar}$.

$$P = 9810 \cdot 10^{-5} = 0,0981 \approx 0,1 \text{ bar}$$

Prema tome približna vrijednost tlaka koji djeluje na generator u ovom radu je:

Tlak što ga stvara tekućina koja pada s visine

$$h = 2 \text{ m}$$

$$P_1 = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2 = 19620 P_a \approx 0,2 \text{ bar}$$

Tlak što ga stvara sama tekućina u spremniku

$$h = 0,26 \text{ m}$$

$$P_2 = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,26 = 2550,6 P_a = 2550,6 \cdot 10^{-5} = 0,025506 \text{ bar}$$

$$P_2 \approx 0,0255 \text{ bar}$$

Ukupni tlak koji se dobije na generatoru je približno jednak:

$$P = P_1 + P_2 = 0,2 \text{ bar} + 0,0255 \text{ bar} = 0,2255 \text{ bar}$$

Uz neke pretpostavke moguće je i odrediti energiju potrebnu za crpljenje vode te energiju koju dobijemo u turbinskom načinu rada. Za izračun tih jednadžbi potrebno je pretpostaviti koeficijente η_c koji označava stupanj korisnosti crpnog pogona i η_t koji označava stupanj korisnosti turbinskog pogona. S obzirom da je kvaliteta tih proizvoda loša pretpostavka je da su ti koeficijenti mali. Koeficijenti se kreću između 0-1 a u ovom slučaju su dosta bliže 0 i za daljnje računanje pretpostaviti će se da su $\eta_c = 0,2$ a $\eta_t = 0,1$. Ti će koeficijenti koristiti u daljnjem računanju. Sljedećim relacijama dane su i objašnjene formule.

Energija potrebna za crpljenje:

$$W_c = \frac{\rho \cdot g \cdot H_c \cdot t_c \cdot Q_c}{\eta_c}$$

Gdje je:

ρ -gustoća vode

g -ubrzanje slobodnog pada

Q_c -protok vode kroz crpku

H_c -visina crpljenja

t_c -trajanje crpnog pogona

η_c -stupanj korisnosti crpnog pogona

Energija koja se dobije u turbinskom načinu rada:

$$W_t = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H \cdot t_t \cdot \eta_t$$

Gdje je:

ρ -gustoća vode

g -ubrzanje slobodnog pada

Q_t -protok vode kroz turbinu

H -neto pad

t_t - trajanje turbinskog pogona

η_t -stupanj korisnosti turbinskog pogona

Energija potrebna za crpljenje:

$$W_c = \frac{\rho \cdot g \cdot H_c \cdot t_c \cdot Q_c}{\eta_c} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 2,21 \cdot 600 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}}{0,2} = 11707,25 J$$

Energija koja se dobije u turbinskom načinu rada:

$$W_t = \rho \cdot g \cdot Q_t \cdot H \cdot t_t \cdot \eta_t = 1000 \cdot 9,81 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 500 \cdot 0,1 = 49,05 J$$

Vrijeme potrebno da se isprazni gornji spremnik dobije se prema formuli:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{0,04 m^3}{5 \cdot 10^{-5} m^3/s} = 800 s$$

Gdje je:

V -volumen bazena

Q -instalirani protok

3.3. P&ID dijagram

Dijagram cjevovoda i instrumentacije ili P&ID dijagram pokazuje tokove i prateće komponente koje se koriste u procesu. Funkcija P&ID dijagrama je da detaljno prikaže kako funkcionira neki proces te da svatko uz osnovno znanje P&ID dijagrama može shvatiti kako proces funkcionira.

U P&ID dijagramu može se naći:

- Glavni detalji cjevovoda i instrumentacije
- Kontrolne sheme
- Sigurnosni i regulacijski zahtjevi
- Osnovne početne i operativne informacije

P&ID dijagram se koristi u poljima instrumentacije, upravljanja i automatizacije jer prikazuju funkcionalnost cjevovoda, instrumentacije i ostale opreme. Ako se nešto u procesu u nekoj tvornici pokvari, pregled P&ID dijagrama bi bio odlično mjesto za započeti tražiti kvar. P&ID dijagrami su vrlo korisni bilo da se koriste za razumijevanje postojećeg procesa, zamjenu pokvarenog dijela ili implementaciju novog pogona. P&ID dijagrami imaju i neke mane poput toga da se ne mogu shvatiti kao stvarno postrojenje jer nisu nacrtani prema skali ili geometrijski točni i mogu se dosta razlikovati ovisno o proizvođaču.

P&ID dijagram bi trebao sadržavati:

- Instrumentaciju i njezine oznake
- Sve ventile i njihove oznake
- Procesni cjevovod i njegove oznake
- Ostalu opremu cjevovoda
- Smjer protoka fluida
- Ulazne i izlazne veličine automatske regulacije
- Računalni sustav upravljanja i slično

P&ID dijagrami crtaju se prema sljedećim uputama. Na slici 3.12 i slici 3.13 prikazan je prvi i drugi dio oznake te što znače određena slova i prema njima se označavaju instrumenti.

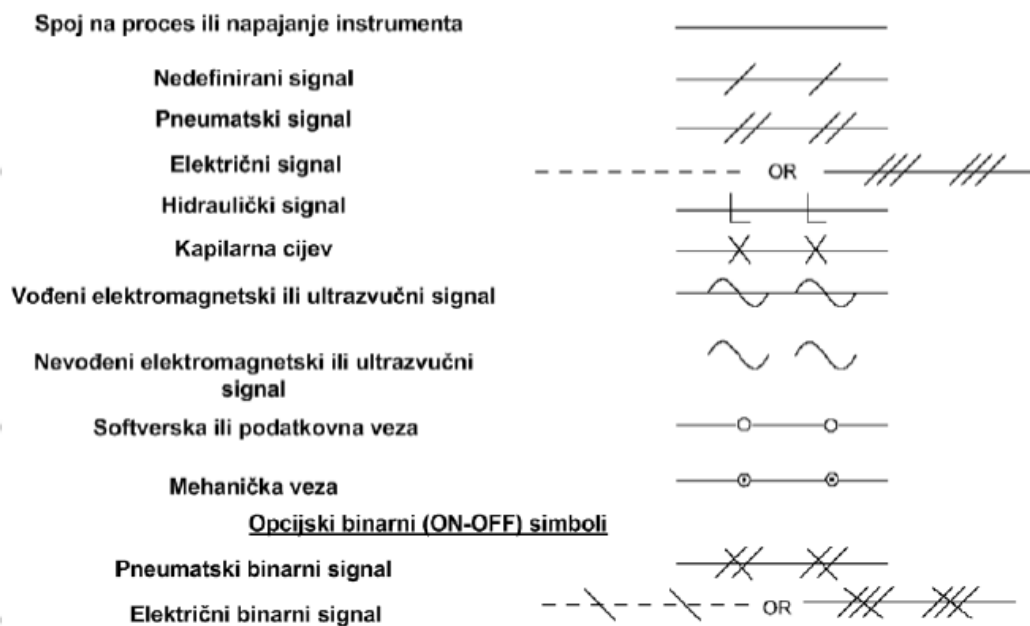
PRVI DIO OZNAKE		
	Mjerena ili aktivirana varijabla	Modifikacija
A	Analiza	
B	Plamenik, Izgaranje	
C	Slobodni izbor	
D	Slobodni izbor	Diferencijalno
E	Napon	
F	Protok (Flow)	Omjer
G	Slobodni izbor	
H	Ručno (Hand)	
I	Struja	
J	Snaga	Uzorkovanje
K	Vrijeme	Vremenska promjena
L	Razina (Level)	
M	Slobodni izbor	Trenutno (Momentary)
N	Slobodni izbor	
O	Slobodni izbor	
P	Tlak (Pressure)	
Q	Količina (Quantity)	Ukupno
R	Radijacija (Radiation)	
S	Brzina, Frekvencija (Speed)	Sigurnost (Safety)
T	Temperatura (Temperature)	
U	Multivarijabilno (Multivariable)	
V	Vibracije (Vibration)	
W	Težina, Sila (Weight)	
X	Neklasificirano slovo	X os
Y	Događaj, Stanje, Prisustvo	Y os
Z	Pozicija, Dimenzija	Z os

Slika 3.12 označavanje P&ID dijagrama [9]













DRUGI DIO OZNAKE			
	Očitavanje ili pasivna funkcija	Izlazna funkcija	Modifikacija
A	Alarm		
B	Slobodni izbor	Slobodni izbor	Slobodni izbor
C		Upravljanje, Regulacija	
D			
E	Osjetilo, Senzor		
F			
G	Staklo za gledanje (Glass)		
H			Visoko (High)
I	Indikator (Indicate)		
J			
K		Kontrolna stanica	
L	Svjetlo (Light)		Nisko (Low)
M			Srednje (Intermediate)
N	Slobodni izbor	Slobodni izbor	Slobodni izbor
O	Mjerna prigušnica (Orifice)		
P	Ispitni spoj (Test Connection)		
Q			
R	Snimač, Pisač (Record)		
S		Sklopka (Switch)	
T		Prenijeti (Transmit)	
U	Više funkcija (Multifunction)	Više funkcija (Multifunction)	Više funkcija (Multifunction)
V		Ventil, Prigušnica (Valve)	
W	Izvor (Well)		
X	Neklasificirano slovo	Neklasificirano slovo	Neklasificirano slovo
Y		Relej, Računaj, Pretvori	
Z		Drajver, Aktuator	

Slika 3.13 Označavanje P&ID dijagrama [9]

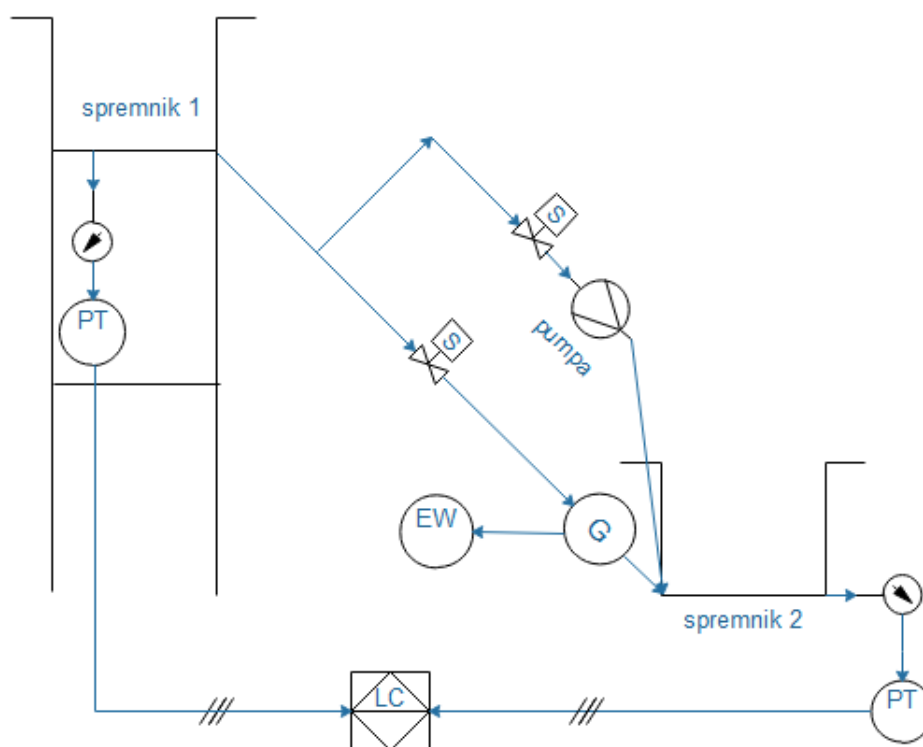
Na slici 3.14 vidljivo je kako se označava koji signal odnosno cijevi i njihovi spojevi. Iz slike 3.15 je vidljivo kako se označavaju instrumenti te gdje su u procesu smješteni. Slikom 3.16 prikazan je P&ID dijagram reverzibilne hidroelektrane koja je napravljena za svrhu ovog rada te je upravljana PLC-om. Na slici su prikazana 2 solenoidna ventila koja su označena oznakom S, generator označen slovom G, pumpa, 2 senzora tlaka koji očitavaju i šalju tlak te se pomoću tlaka mjeri razina vode u 2 spremnika. Razina se mjeri pomoću tlaka, ta funkcija je realizirana u PLC-u. Oznaka PT označava prijenos tlaka a oznaka LC označava kontrolu razine. Određeni tlak pretvaramo u signal i tako saznajemo razinu u spremnicima. Shema je nacrtana u programu *Edrav Max* koji služi za crtanje svih vrsta dijagrama te ima veliku knjižnicu simbola s kojom je moguće napraviti i P&ID dijagram.



Slika 3.14 Označavanje signala [9]

	Instrument smješten na glavnom upravljačkom mjestu	Instrument smješten uz proces	Instrument koji nije smješten na glavnom upravljačkom mjestu
Samostalni instrument	1 *  IP1**	2 	3 
Instrument sa dijeljenim prikazom i upravljanjem	4 	5 	6 
Funkcija realizirana u računalu	7 	8 	9 
Funkcija realizirana u PLC-u	10 	11 	12 

Slika 3.15 Oznake instrumenata [9]



Slika 3.16 P&ID dijagram RHE

4. Realizacija projekta

U ovom poglavlju biti će razrađena izrada, funkcionalnost te eksperimentalna provjera projekta. Izrada projekta sastojala se od nekoliko dijelova a to su: prikupljanje svih potrebnih komponenata za izradu, izrada postolja, spajanje modela sa PP-R cijevima, ožičavanje te naposljetku programiranje i vizualizacija. Neke od komponenata koje su korištene u projektu naručene su putem portala za internet kupnju naziva eBay te je bilo potrebno određeno vrijeme za njihovu dostavu. Putem eBaya su naručeni su: senzori tlaka, generator, pumpa i solenoidni ventili. Glavni razlog naručivanja komponenata putem interneta je taj što su te komponente teško dostupne za tako mali model, jer sve komponente se većinom izrađuju za stvarne projekte koji su puno većih dimenzija od ovog modela. Sve komponente koje su korištene u projektu opisane su u potpoglavlju 3.1. Početak izrade projekta bio je sastavljanje postolja za gornji spremnik vode. Postolje je spojeno pomoću aparata za elektrolučno zavarivanje i visine je 2 m, a detaljne dimenzije i izgled je dan u prije navedenom potpoglavlju. Spajanje modela vrši se sa PP-R cijevima. Spremnici te sve komponente rada spojeni su pomoću PP-R cijevi zbog njihove lake obrade. Cijevi su promjera $\varnothing 25$ te su spojene pomoću varilice PP-R cijevi. Cijevi promjera $\varnothing 25$ uzete su radi toga jer imaju nešto deblju stjenku, te su uzete da se dobije što veći protok vode. Slikom 4.1 dan je izgled modela RHE.



Slika 4.1 model RHE

Ožičavanje je bio sljedeći korak u realizaciji projekta. Ožičavanje je ustvari spajanje električnih komponenata sa PLC-om. Svo spajanje odvija se u razvodnoj kutiji koja je ugrađena na postolje. Za početak je bilo potrebno spojiti sve električne elemente: generator, pumpu, 2 solenoidna ventila, 2 senzora tlaka sa žicama, i naposljetku te žice dovesti do razvodne kutije u kojoj se vršilo dalje spajanje. U razvodnoj kutiji bilo je potrebno spojiti sve električne komponente sa relejima koji služe da bi se na njih dovelo napajanje od 12V DC koje je potrebno za rad pumpe i solenoidnih ventila. Na releje se također dovode i žice iz PLC-a i preko njih dolazi 24V DC i kada dođe to napajanje na relej on preklopi svoje kontakte i upali se jedna od električnih komponenata. U razvodnoj kutiji također je bilo potrebno spojiti stabilizator napona koji smanjuje napon sa 12V DC na 5V DC koji je potreban za napajanje senzora tlaka. Na razvodnu kutiju su namontirane 4 utičnice buksne, 2 služe da se dovede napajanje 12V DC sa izvora a druge 2 su izlaz generatora. Na njih možemo priključivati različita opterećenja i pratiti kako nam brzina okretaja generatora ovisi o opterećenju. Sa istosmjernog izvora napajanja dovodi se 12V DC na razvodnu kutiju te 24V DC na PLC. Spajanje PLC sa komponentama vrši se također u razvodnoj kutiji i za spajanje su korištena 2 UTP kabla, 1 za digitalne izlaze a drugi za analogne ulaze. Krajnji izgled modela RHE prikazan je slikom 4.2.



Slika 4.2 Krajnji izgled modela RHE

Finalni dio projekta bio je programiranje PLC-a te vizualizacija projekta. Za programiranje i vizualizaciju korišten je TIA portal. Funkcionalnost programa zasniva se na dnevnom dijagramu opterećenja koji se simulira pomoću potenciometra. Kada opterećenje naraste više od 90 % i ako ima više od 10 % vode u gornjem spremniku te u donjem spremniku manje od 90 % uključuje se ventil uz generator koji pušta vodu na generator te se proizvodi električna energija i to je turbinski način rada. Ako opterećenje padne ispod 75 % i ako u gornjem spremniku ima manje od 90 % vode te u donjem više od 10 % vode uključuje se pumpa i to je crpni način rada. Solenoidni ventil koji se nalazi ispred pumpe je uvijek uključen jer kada u gornjem spremniku ima vode on ju ne propušta natrag u donji a kada je crpni rad treba isto biti uključen da bi pumpa mogla pumpati vodu u gornji spremnik. Kada je opterećenje između 75 % i 90 % RHE miruje. Vizualizacija je napravljena također u TIA portalu koji ima ugrađeni Wincc te je vizualizacija prikazana na HMI dodirnom zaslonu koji se nalazi uz PLC. Program PLC-a te vizualizacija prikazani su u prilogu završnog rada.

5. Zaključak

Prilikom izrade RHE i proučavanjem literature, dolazi se do zaključka da su RHE vrlo korisne u elektroenergetskom sustavu zbog mogućnosti skladištenja energije. Iako kod izrade i projektiranja RHE treba uzeti u obzir isplativosti izgradnje takve elektrane jer nije u svim slučajevima opravdana izgradnja. S obzirom da je Hrvatska zemlja sa velikim vodnim potencijalima koji se mogu iskoristiti, ovo je jedan od načina za to. Upravljanje RHE bilo bi bolje ako bi se ona upravljala pomoću SCADA sistema koji je puno pogodniji za nadzor i vizualizaciju. Model RHE je mali zbog toga je i teža dostupnost komponenata koji su potrebni za izradu, te se usred projekta moralo prilagođavati dostupnosti komponenata i stoga je malo izmijenjen primarni izgled hidroelektrane. U ovom radu je težište stavljeno na upravljanje RHE a ne na izradu iste. Nadogradnja automatizacije je svakako moguća u vidu postavljanja elektromotornog ventila pomoću kojeg bi se vršila fina regulacija proizvodnje električne energije te pronalaskom adekvatnijih senzora tlaka pomoću kojih bi mogli točnije mjeriti razinu vode u spremnicima odnosno izbjeći treperenje iste.

6. Literatura

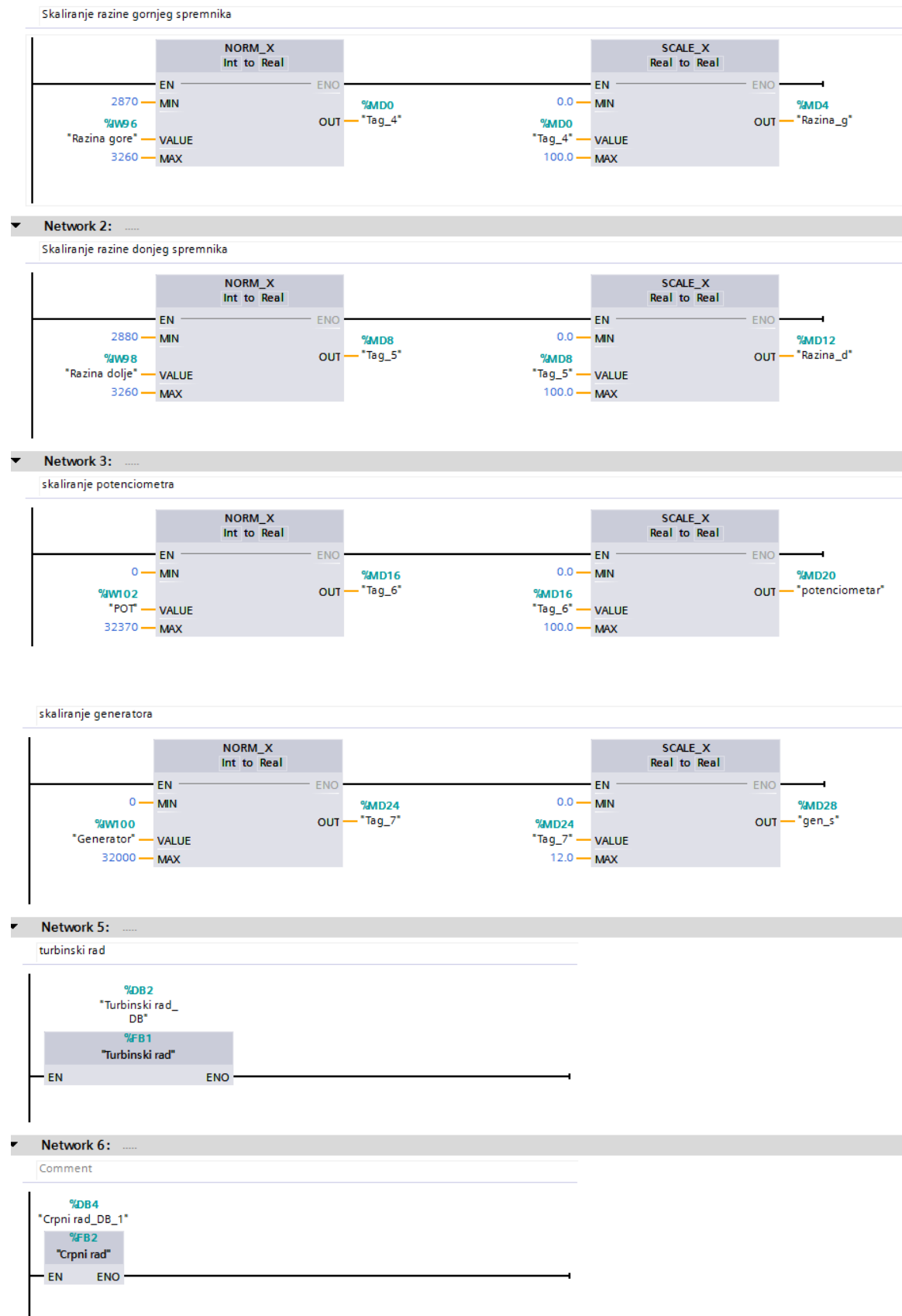
- [1] Božo Udovičić: Elektroenergetski sustav, Kigen, Zagreb, 2005.
- [2] L.Ujević, Z.Buntić: Elektrane, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [3] Petar Stojić: Hidroenergetika, Građevinski fakultet sveučilišta u Splitu, Split, 1995.
- [4] Ljiljana Pilić Rabadan, Darko Stipaničev, Zoran Milas: Hidroenergetska i aeroenergetska postrojenja, Školska knjiga, Zagreb, 1996
- [5] <https://www.slideshare.net/mobile/UNDPPhr/zakonski-okvir-za-obnavljanje-energetskih-djelatnosti-u-hrvatskoj-i-prilike-za-zadrugehr>
- [6] http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE
- [7] <https://www.hops.hr/wps/portal/hr/web/hees/dijagram/dnevni>
- [8] http://www.hro-cigre.hr/downloads/RHE_Velebit.pdf
- [9] <http://www.unin.hr>
- [10] https://www.fer.unizg.hr/download/repository/EAP_PLC_dio
- [11] <https://www.automatika.rs/baza-znanja/tutorijali/konstrukcija-plc-a.html>
- [12] https://bib.irb.hr/datoteka/514970.S/-1200_MIPRO_2011CTS.pdf
- [13] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>
- [14] <http://www.pumpe.hr/opcenito-o-pumpama/centrifugalne-pumpa>
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Solenoid_valve
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure_sensor
- [17] <http://resonator1.blogspot.hr/2013/07/potenciometri-promjenljivi-otpornici.html?m=1>
- [18] <https://www.lucidchart.com/pages/p-and-id>

Popis slika

Slika 1.0 Proizvodnja električne energije [9].....	1
Slika 1.1 Elektroenergetski sustav [5].....	2
Slika 2.0 Reverzibilna hidroelektrana [6].....	8
Slika 2.1 Korištenje reverzibilnih hidroelektrana [1].....	9
Slika 2.2 Opterećenja u dnevnom dijagramu [9].....	12
Slika 2.3 Dnevni dijagram opterećenja [4].....	13
Slika 2.4 Primjer dnevnog dijagrama opterećenja [7].....	13
Slika 2.5 RHE Velebit [8].....	16
Slika 3.1 Planirana shema RHE.....	18
Slika 3.2 Shema RHE.....	19
Slika 3.3 Korištenje RHE.....	20
Slika 3.4 Izgled PLC-a [10].....	21
Slika 3.5 Dijagram toka.....	23
Slika 3.5 Generator sa turbinom [13].....	24
Slika 3.7 Nacr i bokocrt spremnika.....	25
Slika 3.8 Princip rada solenoidnog ventila [15].....	25
Slika 3.9 Potenciometar [17].....	27
Slika 3.10 Princip rada releja [9].....	27
Slika 3.11 Postolje.....	29
Slika 3.12 Označavanje P&ID dijagrama [9].....	34
Slika 3.13 označavanje P&ID dijagrama [9].....	34
Slika 3.14 Označavanje signala [9].....	35
Slika 3.15 Oznake instrumenta [9].....	36
Slika 3.16 P&ID diagram RHE.....	36
Slika 4.1 Model RHE.....	37
Slika 4.2 Krajnji izgled modela RHE.....	38

Prilog

Prilog 1: PLC program

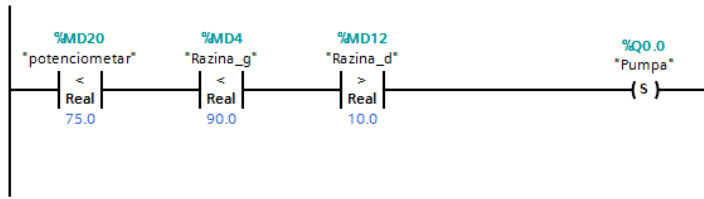


▼ Block title:

▼ crpni rad

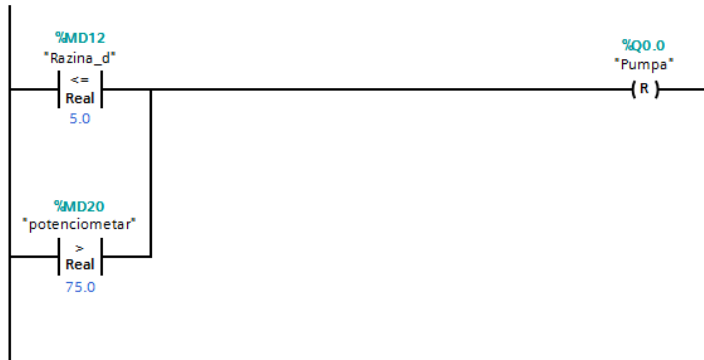
▼ Network 1:

Comment



▼ Network 2:

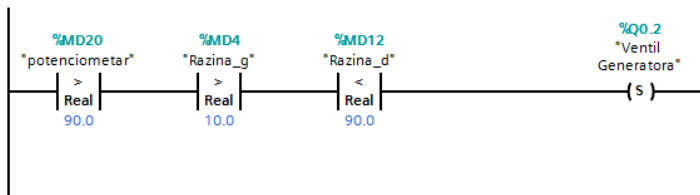
Comment



Turbinski rad

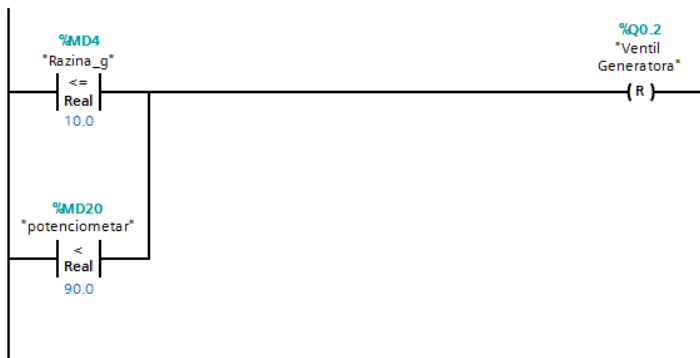
▼ Network 1:

turbinski rad

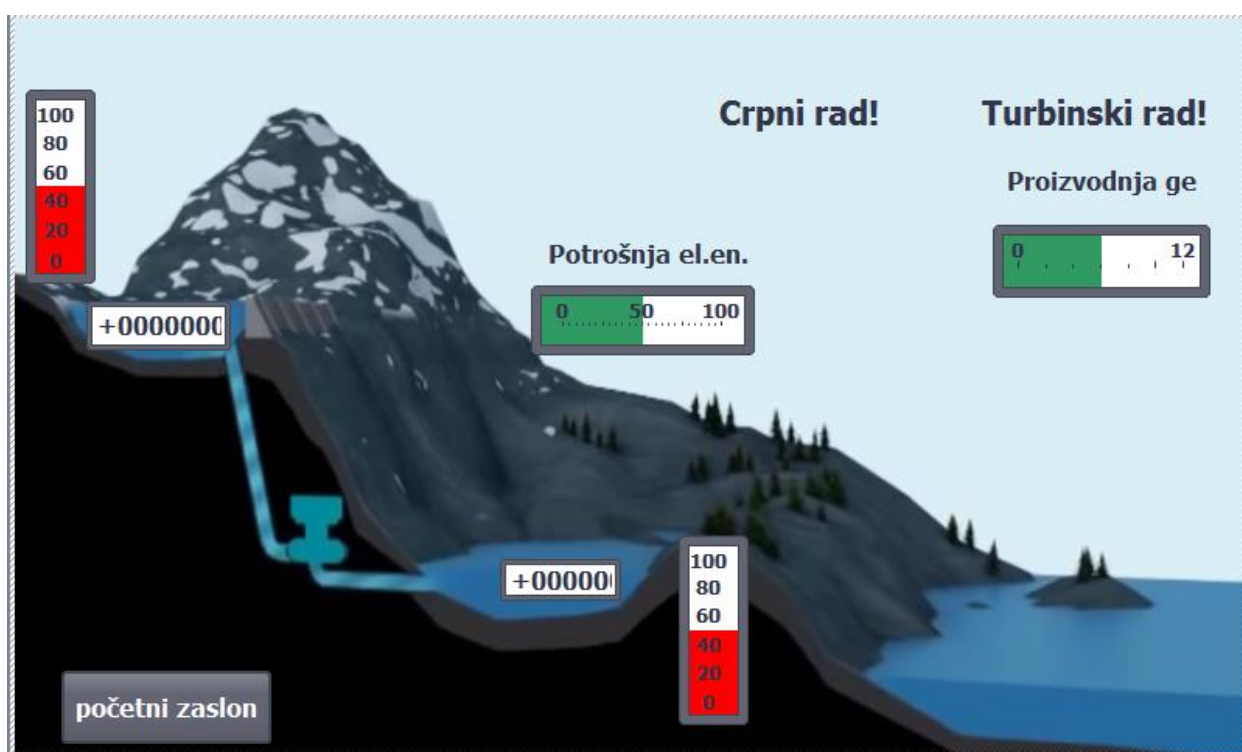


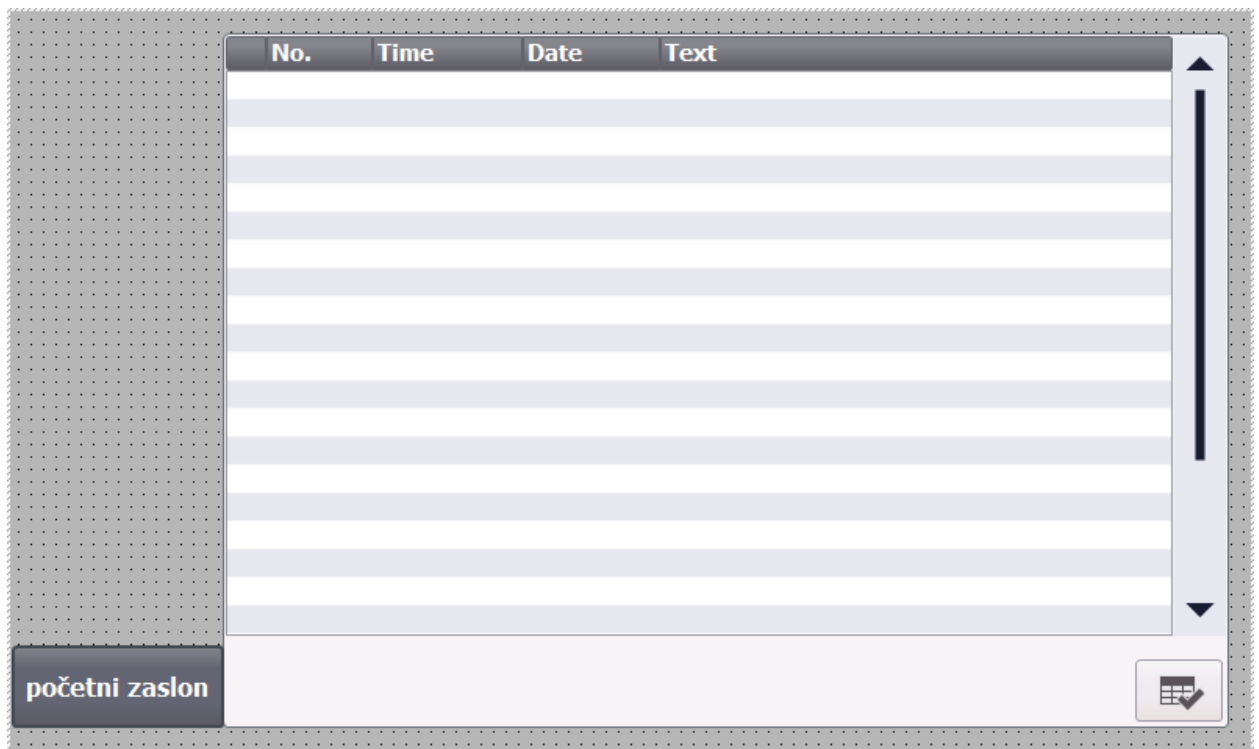
▼ Network 2:

Comment



Prilog 2: Vizualizacija







IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MARIO MEDENJAK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom REVERZIBILNA HIDROELEKTRANA UPRAVLJANA PLC-OM (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Medenjak

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MARIO MEDENJAK (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom REVERZIBILNA HIDROELEKTRANA UPRAVLJANA PLC-OM (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Medenjak

(vlastoručni potpis)