Pogoni hidroelektrana

Bukovčan, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:762561

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

POGONI HIDROELEKTRANA

Završni rad

Mario Bukovčan

Osijek, 2016.

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 07.09.2016.

Odboru za završne i diplomske ispite

Prijedlog ocjene završnog rada

Ime i prezime studenta:	Mario Bukovčan
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3719, 27.08.2013.
OIB studenta:	47796392504
Mentor:	Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić
Sumentor:	
Naslov završnog rada:	Pogoni hidroelektrana
Znanstvena grana rada:	**Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)**
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 Jasnoća pismenog izražavanja: 3 Razina samostalnosti: 3
Datum prijedloga ocjene mentora:	07.09.2016.
Datum potvrde ocjene Odbora:	12.09.2016.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 12.09.2016.

Ime i prezime studenta:	Mario Bukovčan
Studij:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
Mat. br. studenta, godina upisa:	3719, 27.08.2013.
Ephorus podudaranje [%]:	3 %

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom**: Pogoni hidroelektrana**

izrađen pod vodstvom mentora Izv.prof.dr.sc. Tomislav Barić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Rad je pregledao član odbora: Danijel Topić

Bodovi člana Odbora za primjenu znanja stečenih na fakultetu: 2

Bodovi člana Odbora za postignute rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1

Bodovi člana Odbora za jasnoću pismenog izražavanja: 3

Potrebne izmjene na osnovi bodova: Potrebne manje izmjene

Ukupna ocjena na ispitu: Izvrstan (5)

Mišljenje i odluka člana odbora

1. Naziv 2. poglavlja. Mislim da bi umjesto ''Hidroelektrana kao obnovljivi izvor'' možda trebalo ići ''Voda kao obnovljivi izvor energije'' ili možda još bolje ''Osnovne karakteristike hidroelektrana''. Hidroelektrana je postrojenje.
2. Poglavlje 2.1. (3. str.) – Prva rečenica – korištenje potencijala energije započelo tek u 19.stoljeću??? Mislim da bi tu rečenicu trebalo izbaciti.
3. Slika 2.2. i zadnja rečenica na 3. stranici. Obavezno navesti na koju se to godinu odnosi, jer proizvodnja iz HE uvelike ovisi o hidrološkim karakteristikama pa iz godine u godinu može jako varirati. Kod naziva slike 2.2. navesti da se radi o RH i za koju godinu.
4. Stranica 4. – prva rečenica. Male hidroelektrane nisu bile zanemarene zbog male visinske razlike jer postoje male hidroelektrane koje imaju padove i nekoliko 1oaka metar što nije pad. Promijeniti tu rečenicu.
5. Slika 2.3. – na ovoj slici nešto ne štima. Ako se pogleda primjerice 2000. godina, onda ispada da je broj elektrana cca 18, a ukupna instalirana snaga cca 11 GW. Prema tome ispada da je prosječna snaga male hidroelektrane 0,61 GW odnosno 611 MW (11 GW/18 elektrana = 0,61 GW/elektrana). Provjeriti izvor te slike. Možda je došlo neke greške prilikom prijevoda ili sl.
6. Slika 3.1 – dalekovod na slici ide nakon transformatora.
7. 4.4.2. Energy Management System (EMS) – prevodi se kao Sustav upravljanja energijom.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
1.1 Opis zadatka 1
2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE HIDROELEKTRANA 2
2.1 Dostignuća i trendovi modernih hidroelektrana 3
2.2 Definicija male hidroelektrane 4
2.3 Prednosti i nedostaci hidroelektrana 6
3. OSNOVNI DIJELOVI HIDROELEKTRANE 7
3.1 Brana hidroelektrane 7
3.2 Zahvat 8
3.3 Dovod 9
3.4 Vodna komora 9
3.5 Cjevovod 9
3.6 Vodne turbine 10
3.7 Generator i njegova zaštita 11
3.8 Strojarnica 13
3.9 Rasklopno postrojenje 13
3.10 Odvod vode 13
3.11 Transformator i njegova zaštita 13
4. SUSTAVI NADZORA I REGULACIJE 16
4.1 Regulacija djelatne snage i napona elektrane pri radu na vlastitu mrežu 17
4.2 Regulacija djelatne snage i napona elektrane pri paralelnom radu 19
4.3 Koordinirana regulacija napona u elektroenergetskom sustavu 20
4.4 Upravljanje elektroenergetskim sustavom 22
4.4.1. Sustav za nadzor SCADA 23
4.4.2. Sustav upravljanja energijom EMS 25
4.5 Regulacija brzine vrtnje 26
5. PRORAČUN SNAGA U HIDROELEKTRANAMA 28
5.1 Odabir lokacije za gradnju hidroelektrane 29
5.2 Redoslijed gradnje hidroelektrane 30
6. OSTALI TIPOVI HIDROELEKTRANA 32
6.1 Hidroelektrane na plimu i oseku 32

6.1.1. Proračun snaga turbina na plimu i oseku 35
6.2 Hidroelektrane na valove 36
6.2.1. Salterova patka 37
6.2.2. Wellsova turbina 38
6.2.3. Arhimedova valna ljuljačka 39
6.2.4. Morska zmija (Pelamis) 39
6.2.5. McCabova pumpa na valove 40
6.2.6. Crijevna pumpa 40
6.2.7. Čuškaš (Flapper) 40
7. ZAKLJUČAK 42
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA 42
POPIS KORIŠTENE LITERATURE I DRUGIH IZVORA INFORMACIJA 44
ŽIVOTOPIS 46
SAŽETAK/ABSTRACT 47
PRILOZI 48

1. UVOD

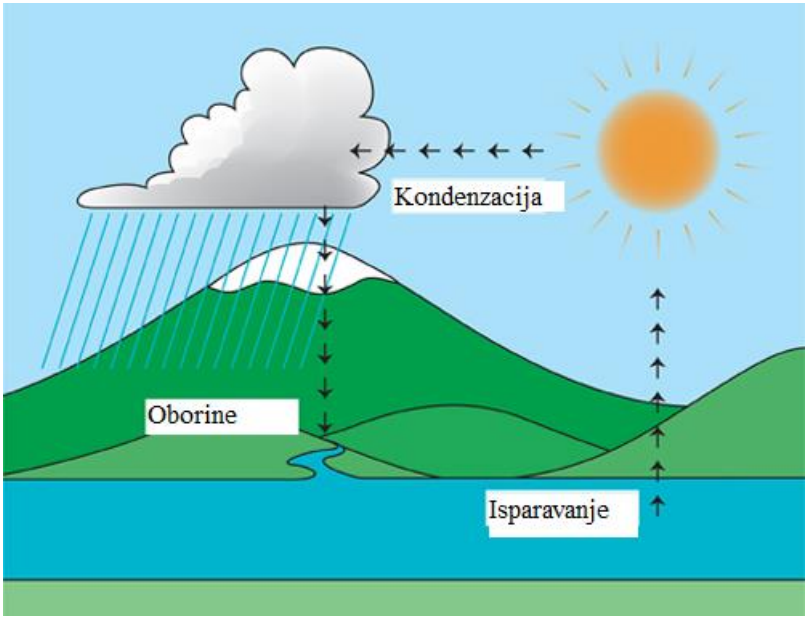
Voda, resurs koji svakodnevno koristimo u životu za osnovne ljudske potrebe, za piće, higijenu, transport, ali i jedno od najbitnijeg, za proizvodnju električne energije. Ljudi su od davnih dana naučili koristiti njezin potencijal, jedan od prvih izuma u samoj pretvorbi energije bio je izum vodenog kotača pomoću kojega su se potencijalna i kinetička energija vode pretvarale u mehaničku te na taj način preko osovine pokretale mlin. Hrvatska je jedna od vodećih zemalja kada je u pitanju generiranje električne energije iz obnovljivih izvora, baš iz tog razloga jer je prepoznala taj potencijal, pa je u pogonu čak 26 hidroelektrana akumulacijskog i protočnog tipa čiji smještaj možete vidjeti u prilogu P.1.1. U ovom završnom radu upoznat ćete se sa ciklusom vode u prirodi, načinom na koji hidroelektrana upotrebljava energiju vode, njezinim osnovnim dijelovima čije je razumijevanje nužno za razumijevanje sljedećih poglavlja ovog završnog rada. Opisana su dostignuća i trendovi hidroelektrana, njihova podjela te kako odrediti koje su lokacije pogodne za gradnju hidroelektrana, njihove osnovne prednosti kao i nedostaci u odnosu na druge elektrane. Opisane će biti i regulacija osnovnih parametara koje je potrebno prilagoditi kako bi se zadovoljila potreba krajnjih potrošača te kako se cijeli rad hidroelektrane nadzire. Rad sadrži osnovne proračune koji su bitni za razumijevanje cijelog procesa hidroelektrana. U završnom poglavlju na kraju rada objašnjene će biti i hidroelektrane koje nisu još toliko razvijene, rade na principu valova te plime i oseke, a također spadaju u hidroelektrane.

1.1 Opis zadatka

U završnom radu potrebno je izložiti pregled dostignuća, trendove, građu i tehnička rješenja modernih hidroelektrana. Opisati prednosti i nedostatke, područja primjene pojedinih tipova hidroelektrana. Opisati sustave nadzora i regulacije. Opisati cikluse, regulaciju brzine vrtnje, regulaciju protoka i snage. Izlaganje poduprijeti izračunima, grafičkim prikazima i slikama.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE HIDROELEKTRANA

Hidroelektrane spadaju u obnovljive izvore energije zbog kruženja vode u okolini. Zbog sunčeve energije, voda isparava, kako voda zbog te energije počinje isparavati, podiže se u obliku vodene pare jer je njezina gustoća manja od gustoće zraka. Vodena para se postepeno hladi u atmosferi te se počinje kondenzirati zbog čega nastaju oblaci. Vlaga iz oblaka nakon nekog vremena, preko kiše ili snijega pada natrag na Zemlju, a pomoću voda tekućica se ulijeva ponovno u ocean. Kako taj proces cijelo vrijeme cirkulira, voda je zapravo neiscrpni izvor energije, a sama hidroelektrana obnovljivi izvor energije. Zbog neravnomjerne površine Zemlje, voda na dijelovima koji se nalaze na većoj nadmorskoj visini zbog utjecaja gravitacije struji prema površini na manjoj nadmorskoj visini. Na slici 2.1. [1] jednostavno je prikazano kako cijeli ciklus vode u prirodi izgleda, te kako je cirkulacija vode zapravo jedan zatvoreni krug.



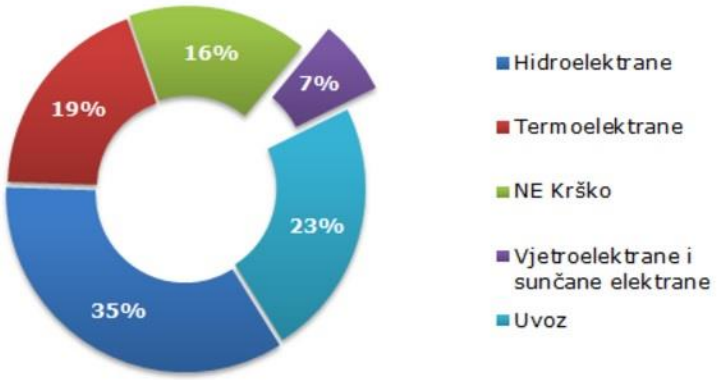
Slika 2.1. Cirkulacija vode u prirodi

Postrojenja u kojima se potencijalna i kinetička energija vode pomoću turbina i električnih generatora pretvaraju u električnu energiju nazivaju se hidroelektrane i danas predstavljaju jedan od najčešćih izvora električne energije. U Hrvatskoj trećina ukupne električne energije proizvodi se u hidroelektranama zbog čega Hrvatska spada u vodeće zemlje u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora.

2.1 Dostignuća i trendovi modernih hidroelektrana

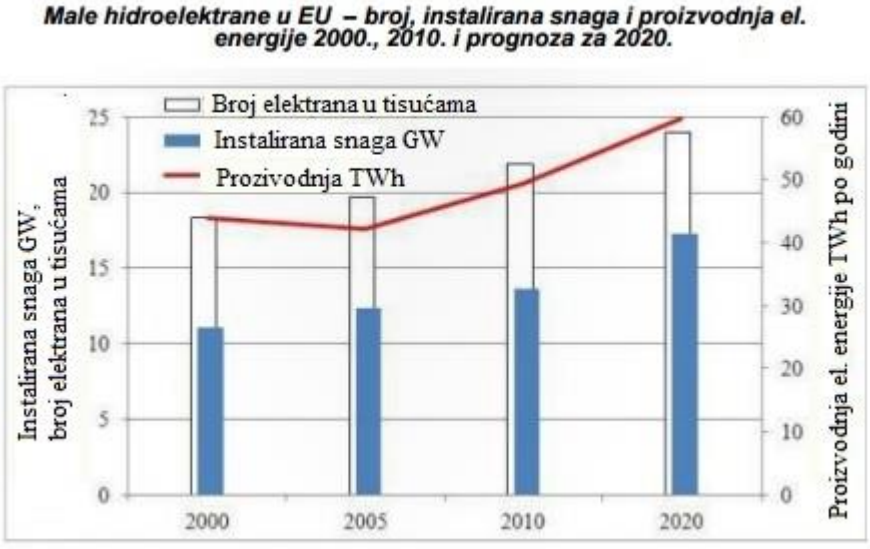
Razvoj prvih hidroelektrana doveo je do naglog razvoja cjelokupne industrije. Razvojem električnog generatora i vodnih turbina te porast potražnje za električnom energijom dovele su do prve komercijalne hidroelektrane, čija je proizvodna snaga bila samo 12,5 kW kojom je opskrbljivala dvije tvornice papira i jedan stan. Početkom 20. stoljeća velike komercijalne tvrtke počele su sa izgradnjom velikog broja malih hidroelektrana, a ubrzo nakon toga i prvu veliku efikasniju hidroelektranu kod koje su primijetili kako hidroelektrane mogu biti korištene i u druge svrhe poput zaštite od poplava i navodnjavanja.

Danas, proizvodna snaga hidroelektrana iznosi od nekoliko stotina kilovata pa do nekoliko stotina megavata, dok se neke elektrane ističu proizvodnom snagom blizu 10.000 megavata kako bi zadovoljile potrebe milijuna ljudi za električnom energijom. Ukupna proizvodna snaga hidroelektrana diljem svijeta iznosi čak 675.000 megavata koje proizvode preko 2,3 trilijuna kilovat-sati, što je 24 % ukupne električne energije kojom se opskrbljuje preko milijardu ljudi [2]. U Hrvatskoj električna energija proizvedena u hidroelektranama 2015. godine je iznosila 35 % od ukupne energije kao što je to i prikazano na slici 2.2. [3].



Slika 2.2. Udjeli pojedinih izvora električne energije u RH 2015. godine

U moderno vrijeme pažnja se sve više skreće na male hidroelektrane koje su prije bile zanemarene zbog male instalirane snage. Ali ako se u obzir uzme broj potencijalnih lokacija, cijena same izgradnje kao i utjecaj na okolinu, postoji veliki potencijal za dobivanje električne energije. Hrvatsku karakterizira veliki broj lokacija s manjim padovima, pa je tehnički iskoristivi energetski potencijal oko 177 MW [4]. Na slici 2.3. [4] može se vidjeti kako se sve više iskorištavaju potencijali koje male hidroelektrane sadrže.



Slika 2.3. Male hidroelektrane u Europskoj Uniji

Sve više novaca, vremena i truda ulaže se u razvoj novih materijala i proizvodnih tehnika kako bi se povećao učinak hidroelektrana, a ujedno smanjili njihovi troškovi. Također, istražuju se i načini na koje bi se povećale učinkovitost i pouzdanost generatora. Sve više se ulaže i u tehnologije koje bi smanjile troškove održavanja i samog vođenja hidroelektrana, pa se procesi sve više automatiziraju kako bi se obavljali poslovi koje čovjek ne može obavljati sam. Povećavaju se proizvodna snaga hidroelektrana, njihova raspoloživost, smanjuju se rizici neželjenih pojava tako da se povećava pouzdanost cijelog sustava, smanjuju se utjecaji na okoliš te se traže načini kako bi se potencijal vode što bolje iskoristio [5].

2.2. Definicija male hidroelektrane

U Hrvatskoj se mala hidroelektrana definira kao postrojenje sa instaliranom električnom snagom do 10 MW. Koriste se za područja koja imaju malu potrošnju električne energije te za otočne pogone. Vlasnik malih hidroelektrana može biti privatni poduzetnik, ali one također mogu biti i u vlasništvu velikih elektroprivrednih poduzeća kao što je kod nas HEP.

Hidroelektrane kao postrojenja možemo podijeliti na više načina:

S obzirom na instaliranu snagu, hidroelektrane se mogu podijeliti na:

velike (iznad 10 MW),

male (od 100 kW do 10 MW),

mikrosustavi (definirani do 100 kW), ekološki prihvatljivi pa su u porastu [5].

Male hidroelektrane imaju mnoge prednosti zbog kojih se koriste, iako su investicijski troškovi njihove izgradnje relativno visoki, izgrađuju se u vrlo kratkom roku. Imaju vrlo dugi vijek trajanja, brzo se prilagođavaju promjenama opterećenja i imaju niske pogonske troškove [6].

Prema visini pada razlikuju se: niskotlačne (pad vode do 25 m), srednjetlačne (od 25 do 200 m) i visokotlačne (iznad 200 m).
Ovisno o visini pada koriste se različite vrste turbina, pa se tako za niskotlačne koriste Kaplanove turbine, za srednjetlačne Francisove turbine, a za visokotlačne se koriste Peltonove turbine kod kojih se potencijalna energija u potpunosti pretvara u kinetičku pa preko lopatica turbine u mehaničku energiju [7].

Hidroelektrane je moguće podijeliti i s obzirom na način iskorištavanja vode. Postoje protočne hidroelektrane (Slika.2.4. [8]) u kojima se voda iskorištava onako kako dotječe, akumulacijske hidroelektrane koje akumuliraju dio vode da bi se mogla iskoristiti kada se pojavi potreba te pumpno-akumulacijske koja koristi energiju iz mreže kada je malo opterećenje za pumpanje vode [9].



Slika 2.4. Protočna hidroelektrana Rijeka

Akumulacijske hidroelektrane se još mogu podijeliti i po načinu punjenja akumulacijskog bazena na one sa dnevnom (punjenje akumulacije noću, a pražnjenje danju), sezonskom (punjenje tijekom kišnog, a pražnjenje tijekom sušnog razdoblja godine) i godišnjom akumulacijom kod kojih se akumulacija puni tijekom kišnih, a prazni tijekom sušnih godina [9].

Prema udaljenosti strojarnice od brane postoje pribranske, kod kojih je strojarnica smještena neposredno uz branu te derivacijske, čija je strojarnica podalje od brane [9].

Prema položaju strojarnice razlikujemo podzemne i nadzemne hidroelektrane. Podzemne su one čiji je položaj strojarnice ispod razine tla, dok je kod nadzemnih strojarnica iznad tla [7].

Osim navedenih, postoje i posebne vrste hidroelektrana kao što su hidroelektrane na valove i hidroelektrane na plimu i oseku koje će biti detaljnije objašnjene u kasnijem poglavlju [9].

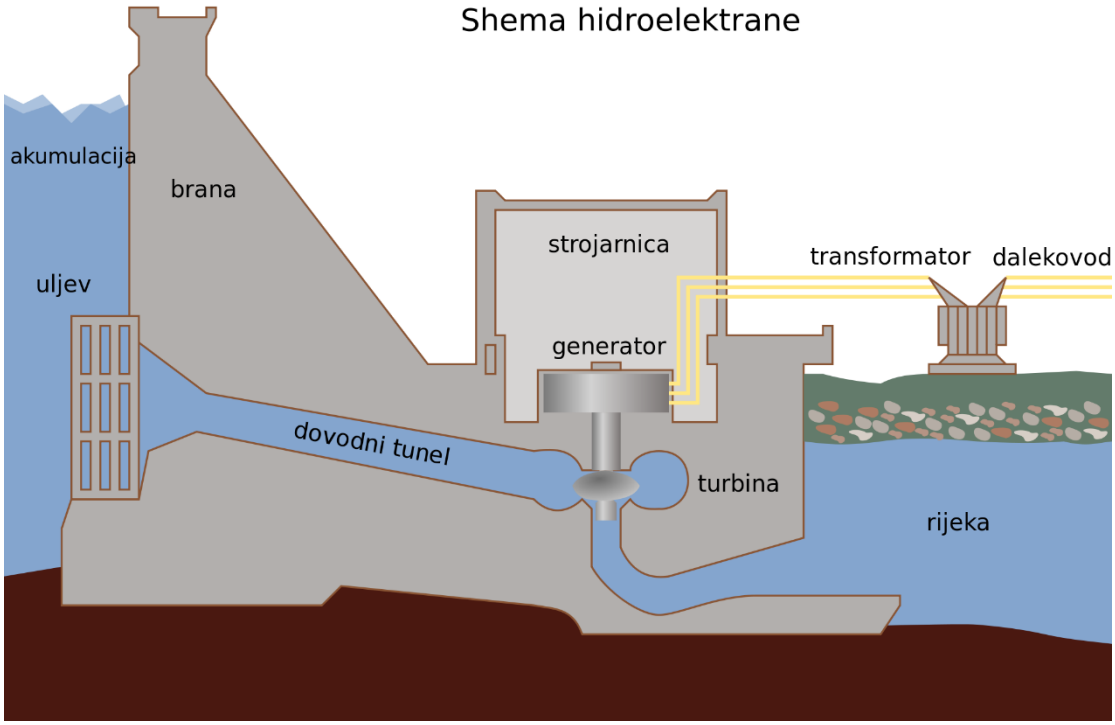
2.3. Prednosti i nedostaci hidroelektrana

Kao i sve ostale elektrane, i hidroelektrana ima svoje prednosti i nedostatke. Jedna od glavnih prednosti je ta što se kod hidroelektrane, proizvodnjom električne energije ne stvara otpad i nema emisija stakleničkih plinova, niski su troškovi proizvodnje jer nema troškova goriva, a jednom izgrađena brana traje više godina [10]. Protočne hidroelektrane pomažu u sprječavanju poplava i reguliranju riječnog prometa, dok vodospremnici akumulacijskih hidroelektrana osiguravaju vodu za navodnjavanje i za kućnu upotrebu. Hidroelektrane ne koriste fosilna goriva, voda neprestano kruži prirodom zbog čega je ona neiscrpni izvor energije, iskorištena voda se vraća u okoliš u jednakom stanju u kojem je i dovedena. Ukoliko nema potrebe za električnom energijom zatvaranjem zahvata brane, može se zaustaviti proizvodnja energije, te se na taj način voda može pohraniti za vrijeme kada je velika potražnja za električnom energijom.

Glavni nedostatak hidroelektrana je njihov utjecaj na lokalne hidrološke sustave i mikroklimu. Imaju veliki utjecaj na okolinu i životinje koje u njoj borave, poplavljivanje zemljišta, a moguće je i da se pojavi potreba za raseljavanjem stanovništva. Također, velike brane utječu na riječni tok i postoji opasnost od njihovog loma. Izgradnja same brane je vrlo skupa te mora biti građena tako da zadovoljava visoke standarde. Osim navedenog, bitno je i naglasiti kako sama proizvodnja električne energije pomoću hidroelektrana ovisi o hidrološkim uvjetima. Jedan od najpoznatijih primjera lošeg utjecaja hidroelektrane je izgradnja jedne od najpoznatijih hidroelektrana „Tri klanca“ zbog koje je došlo do raseljavanja 1,2 milijuna stanovnika [11].

3. OSNOVNI DIJELOVI HIDROELEKTRANE

Osnovni dijelovi hidroelektrana su: Brana ili pregrada, zahvat vode, dovod vode, vodostan ili vodna komora, tlačni cjevovod, vodne turbine, generator, strojarnica, rasklopno postrojenje i odvod vode. Na slici 3.1. [7] prikazana je shema jedne akumulacijske hidroelektrane te njezini osnovni dijelovi.



Slika 3.1. Osnovni dijelovi hidroelektrane

3.1 Brana hidroelektrane

Dok protočne hidroelektrane ne zahtijevaju branu za akumulaciju vode ili imaju malu ograničenu pohranjenu količinu, akumulacijske hidroelektrane pomoću brana akumuliraju vodu. Akumulacija vode nije jedina zadaća brana, one imaju višestruku namjenu: pomoću brane se voda s njezinog prirodnog toka usmjerava prema zahvatu hidroelektrane dok je druga zadaća brane povišenje razine vode radi većeg pada, a time i boljeg iskorištavanja energije vode. Dva osnovna tipa brana su visoke i niske. U visoke brane spadaju one čija visina od njezinog temelja do krune iznosi više od 15 m, brane sa više od 10 m čija je dužina po kruni veća od 500 m, veća umjetna jezera od 100.000 m^3, ili ako je njihov protok vode veći od 2.000 m^3/s [9].

Sve druge brane smatraju se niskima. Brane mogu biti masivne odnosno armirano-betonske ili nasute. Nasuta brana izgrađuje se od prirodnih materijala poput zemlje ili kamenja, a najstarija je vrsta brane. Ukoliko se prikladno pripreme temelji, osiguraju izdrživost vode i hidraulična stabilnost, može se upotrijebiti na bilo kojoj vrsti tla (Slika 3.2.) [12]. Masivna brana može biti u tri različita oblika: gravitacijska, raščlanjena ili lučna. Gravitacijska se vlastitom težinom suprotstavlja tlaku vode pa ima široki temelj i veliki obujam (Slika 3.3.) [13]. Lučna je mnogo tanja i zakrivljena, učvršćuje se za okolni teren pa je veći dio opterećenja prenesen na bokove gdje je brana oslonjena i čvrsto vezana za stijene. Raščlanjena se gradi u širokim dolinama, sastoji se od teških stupova temeljenih u koritu doline.



Slika 3.2. Nasuta kamenjem brana Ričica



Slika 3.3. Betonska gravitacijska brana Lešće

3.2 Zahvat

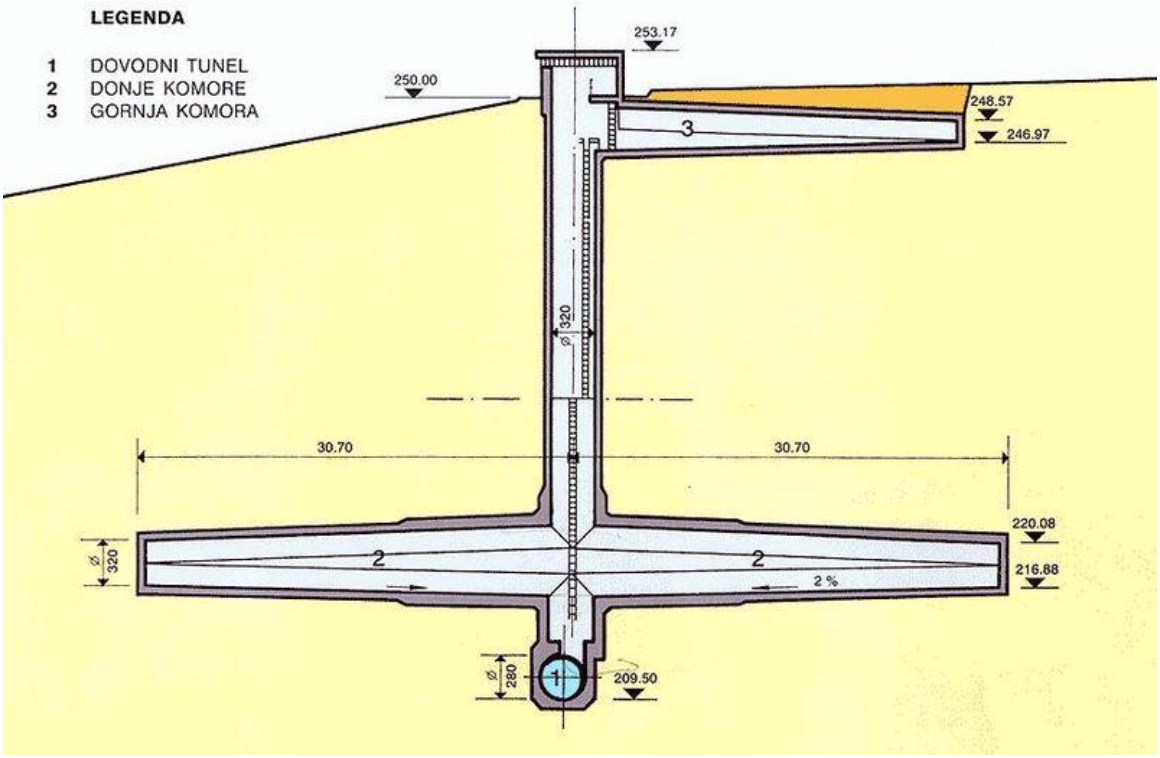
Zahvat vode je dio hidroelektrane koji usmjerava vodu prema dovodu, odnosno prema turbini. Druga zadaća zahvata je smanjenje količine ostataka i taloga koji su nošeni dolazećom vodom. Prema današnjim ekološkim standardima zahvati imaju sustave za odvraćanje riba od zahvata i prolaze za ribe. Zahvat je općenito izgrađen od armiranog betona, okna za sprječavanje otpada izrađuju se od čelika, a vrata (ventil) na ulazu kanala od drveta ili čelika. Razlikuju se dva osnovna tipa zahvata: zahvat na površini vode kada je pregrada niska i zahvat ispod površine vode kada se razina vode tijekom godine mijenja [9].

3.3 Dovod

Dovod spaja zahvat s vodostanom ili vodnom komorom. Može biti izgrađen kao otvoreni-kanal ili zatvoreni-tunel ovisno o topografiji terena kojim se dovod vodi te o pogonskim zahtjevima hidroelektrane.

3.4 Vodna komora

Vodna komora (Slika 3.4.) [7] ili vodostan gradi se u slučaju da je dovodni tunel dugačak, pa se pri pokretanju hidroelektrane vodna masa ne može u kratkom roku pokrenuti i dobiti brzinu da bi se vodnim turbinama stvorila dovoljna snaga za proizvodnju električne energije, kako bi se umanjilo neželjeno djelovanje tromosti vode i kako bi se izbjegao vodni udar. Prilikom pokretanja turbine, dolazi do pražnjenja vodne komore kako bi se smanjio tlak na kraju dovodnog tunela što izaziva pokretanje vode u njemu. Voda se u tunelu ubrzava sve dok je protok u dovodnom tunelu veći od protoka prema turbinama pa razina vode u komori raste zbog čega se tlak na kraju tunela smanjuje, a time dolazi i do smanjenja protoka [9].



Slika 3.4. Vodna komora u hidroelektrani Rijeka

3.5 Cjevovod

Tlačni cjevovod iz vodne komore ili izravno sa zahvata vode, dovodi vodu do turbine. Kod velikih padova koriste se zavareni čelik i kovano željezo, a kod manjih padova beton. Može biti

položen po površini ili u tunelu. Na ulazu cjevovoda uvijek postoji zaporni organ koji se konstruira ovisno o tlaku na početku cjevovoda. Najvažniji je sigurnosni zaporni organ koji sprječava daljnji dotok vode u cjevovod u slučaju puknuća cijevi. Također postoji i pomoćni zaporni organ kojim su omogućeni pregled i popravci sigurnosnog organa bez pražnjenja dovodnog tunela ili kanala [9].

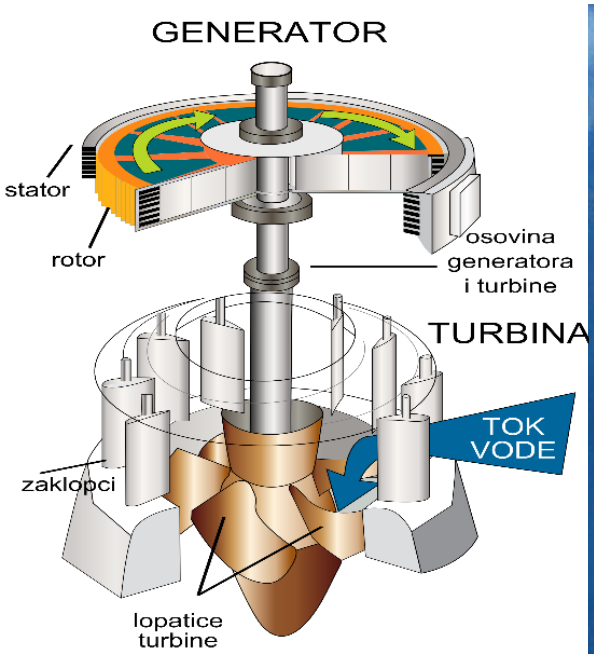
3.6 Vodne turbine

Vodne turbine općenito se dijele na turbine slobodnog mlaza (akcijske) ili na pretlačne turbine (reakcijske) ovisno o padu, protoku i tlaku. Kod akcijskih turbina tlak na ulazu u rotor jednak je tlaku na njegovom izlazu, u pravilu imaju udubljene lopatice, a koriste se za velike okomite padove veće od 200 metara te za velike tlakove. Najpoznatiji tip ove vrste turbine je Peltonova turbina, a izvodi se sa jednom ili više mlaznica (Slika 3.5.) [14].



Slika 3.5. Peltonova turbina

Kod reakcijskih turbina tlak na ulazu u rotor je veći nego na njegovom izlazu, lopatice su potopljene u vodi, a koriste se za male padove, pri velikom protoku i malom tlaku. Osnovni tipovi reakcijskih turbine su Kaplanova (Slika 3.6.) [15], Francisova (Slika 3.7.) [16] te Kaplanova s nepomičnim rotorskim lopaticama koje se još nazivaju propelerne.



Slika 3.6. Kaplanova turbina



Slika 3.7. Francisova turbina

Koju od tih turbina ćemo koristiti ovisi o padu, do 25 metara koriste se Kaplanove turbine, a za veće padove Francisove. U prilogu P.3.1. može se vidjeti podjela turbina ovisno o brzini vrtnje i padu. Pri prolasku vode kroz turbinu nastaju gubici te turbina nije sposobna dati svu raspoloživu snagu. Gubici se uzimaju u obzir stupnjem djelovanja turbine η_t koji se dobiva umnoškom hidrauličkog (η_h), volumetrijskog (η_v) i mehaničkog (η_m) stupnja djelovanja.

3.7 Generator i njegova zaštita

Generatori su zajedno sa turbinama smješteni u strojarnici. Vodne turbine pogone generator izravno preko svojih vratila. To su općenito strojevi koji mehaničku energiju pretvaraju u električnu, a s obzirom odnosa brzine okretnog magnetnog polja i brzine rotora mogu se podijeliti na sinkrone i asinkrone. Izvor magnetskog polja kod generatora je u samom rotoru, a električni napon se inducira u zavojnicama na statoru. Sinkroni generator je onaj u kojem je rotor stalni magnet ili elektromagnet, kod njega se sa svakim pojedinim okretom rotora dobiva uvijek isti broj perioda induciranog napona što znači da se taj inducirani napon mijenja sinkrono ovisno o zakretanju osovine rotora. U velikim generatorima najčešće se koristi elektromagnet iz razloga ograničenosti gustoće magnetskog polja kod stalnih magneta. Elektromagnet se stalno napaja sa strujom preko izvoda koji su konstruirani kao neprekinuti klizni prstenovi na koje se prislanjaju

četkice. Jakost elektromagneta može se regulirati tako da se regulira njegova električna struja kojom je on napajan. Kod asinkronih je rotor izveden kao kavezni rotor, te on rotira brže od okretnog magnetskog polja, što dovodi do induciranja napona unutar samog rotora zbog čega struja protječe kroz njega i time proizvodi magnetsko polje. Sinkroni generator koristi istosmjerni sustav uzbude pa može raditi izoliran od mreže, dok asinkroni generator koristi jalovu energiju iz mreže, te ne može raditi ako se ne poveže sa mrežom. Sinkroni generatori skuplji su od asinkronih, ali se asinkroni mogu koristiti samo tamo gdje je njihov doprinos u ukupnoj snazi sustava zanemariv. Kod Kaplanovih turbina potreban je mali broj okretaja pa se rotor generatora izrađuje sa velikim brojem pari polova pa čak i preko 30 pari [17]. Hidrogeneratori se pretežno rade u vertikalnoj izvedbi zbog ekonomičnije izvedbe hidrauličkog dijela elektrane. Generatori sa horizontalnim vratilom susreću se u postrojenjima manje snage i kada dvije Peltonove ili Francisove turbine pogone jedan generator. Grade se s istaknutim polovima u širokom rasponu snaga i do 500 MVA.

Uslijed raznih mehaničkih, termičkih i električnih naprezanja može doći do proboja izolacije i kvara. Kako bi se to spriječilo koriste se sljedeće vrste zaštite:

Zaštita od kratkog spoja između statorskih namotaja: generatori se na mrežu priključuju preko transformatora u blok spoju. Postoje diferencijalna zaštita, zasebna zaštita generatora, zaštita cijelog bloka ili svaki element sa svojom zaštitom [18].

Zaštita od zemljospoja namotaja statora: Koristi se da bi se spriječio proboj izolacije statora prema uzemljenim dijelovima.

Zaštita od spoja zavojaka iste faze: spoj koji dolazi uslijed oštećenja izolacije u utoru generatora ili na glavi namota iste faze, ili čak dva zemljospoja na istoj fazi.

Zaštita od zemljospoja u uzbudnom namotaju: zemljospoj uzbudnog namota je česta pojava zbog jakih centrifugalnih sila koje djeluju na rotorski namotaj. Zaštita signalizira pojavu zemljospoja i isključuje generator.

Zaštita od preopterećenja: izvodi se pomoću termičkih releja koji su spojeni na sekundarne strujne transformatore.

Tu su i druge zaštite: od struja kratkog spoja, previsokog napona, povratne snage, asinkronog rada, pregrijavanja ili previsokog broja okretaja generatora [18].

3.8 Strojarnica

U strojarnici se osim agregata hidroelektrane nalaze i upravljački pult i drugi pomoćni uređaji za pogon, montažu i popravke. Postoje strojarnica na slobodnom i ukopana strojarnica. Lako su izgradive konstrukcije kako bi se postigli što niži troškovi. Povezivanje turbine i generatora u jednu vodootpornu (podvodnu) cjelinu koja se može ugraditi izravno u tok rijeke znači da tom postrojenju konvencionalna strojarnica nije potrebna [9].

3.9 Rasklopno postrojenje

Rasklopno postrojenje je veza hidroelektrane i elektroenergetskog sustava, a izvodi se u neposrednoj blizini strojarnice. U rasklopnom postrojenju, transformira se proizvedena električna energija u skladu s parametrima sustava i isporučuje se u elektroenergetski sustav.

3.10 Odvod vode

Odvod vode izveden je ili kao tunel ili kao kanal, a funkcija mu je da vodu nakon što se iskoristi u turbinama vrati u korito vodotoka ili do zahvata sljedeće hidroelektrane.

3.11 Transformator i njegova zaštita

Kako bi se povećao, odnosno smanjio iznos napona koji se dobije na izlazu generatora ili pak promijenio njegov kut, koristi se transformator. Kako je njegova snaga jednaka umnošku napona i struje, jasno je da se povećavanjem jednog parametra drugi smanjuje i obrnuto. Električna energija se od elektrane prenosi do potrošača putem vodova koji se zagrijavaju zbog prolaska struje kroz njih. Kako su prema Jouleovom zakonu gubici razmjerni kvadratu struje i otporu vodiča, vrijedi sljedeće [19]:

$$Q = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t\,, \tag{3-1}$$

gdje je: Q - energija disipirana zagrijavanjem vodiča [J], U - napon [V], I - struja [A],

R - otpor [Ω], t - vrijeme [s]

Iz formule (3-1) možemo vidjeti kako gubici rastu s kvadratom struje, što znači da dvostruko povećanje struje uzrokuje četiri puta veće gubitke. Iz tog se razloga transformatorom povećava napon, kako bi struja bila što manja, a samim time i toplinski gubici. Dakle napon se odmah na izlazu generatora povećava, a smanjuje se prije same isporuke električne energije potrošačima do iznosa od 230 V koji potrošači zahtijevaju [19]. Slika 3.8. [20] prikazuje primjer jednog trofaznog transformatora snage 100MVA.



Slika 3.8. Trofazni transformator sa snagom 100 MVA

Veliki broj transformatora je stalno u pogonu, ispadanje samo jednog od njih može uzrokovati ispadanje jednog dijela mreže, a samim time i gubitak električne energije za potrošače. Iz toga razloga koriste se sljedeći principi zaštite:

Plinska zaštita: Naziva se još i Bulhotz zaštita, štiti od svih vrsta unutarnjih kvarova u transformatoru. Ukoliko se pojavi električni luk, rasplinjava se ulje ili se stvaraju plinovi zbog gorenja izolacijskih materijala. Pošto je plin lakši, diže se prema gornjim dijelovima posude i konzervatora [18].

Diferencijalna zaštita: koristi se za zaštitu od međufaznih kratkih spojeva sa zemljom kod direktno uzemljenih neutralnih točaka transformatora. Ima vrlo brzo djelovanje 25-40 ms, a zasniva se na djelovanju razlika struja iste faze na primarnoj i sekundarnoj strani transformatora.

Zemljospojna zaštita: Zaštita koja ovisi o vrsti uzemljenja nul-točke transformatora, a štiti od kvarova prema uzemljenim dijelovima. Kod transformatora s velikom snagom, diferencijalna struja može biti velika i neće osjetiti zemljospoj.

Trenutna nadstrujna zaštita: Koristi se kod malih snaga od 100 kVA do nekoliko MVA, gdje se ne isplati ugrađivati diferencijalna zaštita, takva vrsta zaštite koristi se na primarnoj strani.

Termička zaštita: Koristi se kod preopterećenja transformatora u mreži uslijed kojih dolazi do većeg zagrijavanja transformatora. Provodi se pomoću strujnih transformatora u jednoj fazi u

kombinaciji sa termosondom. Kod manjih distribucijskih transformatora provodi se pomoću kontaktnog termometra.

Zaštita od struje kratkog spoja u mreži: Izvodi se trofazno te se ugrađuje na strani sa višim naponom. Nedostatak ove zaštite je dugo vrijeme djelovanja.

Osim navedenih postoje i druge vrste zaštita kao što su: zaštita od preopterećenja jezgre transformatora, zaštita regulacijske sklopke, protupožarna zaštita ili distantna zaštita transformatora [18].

4. SUSTAVI NADZORA I REGULACIJE

Jedno od najvažnijih pravila u elektroenergetskom sustavu je da u svakom trenutku postoji ravnoteža između proizvedene snage i potrošnje, odnosno da je zbroj snaga elektrana jednak ukupnoj snazi potrošača. Kako bi se isto ostvarilo, potrebna je stalna regulacija djelatne snage na izlazu elektrana. Osim snage potrošača u proračun se moraju u obzir uzeti i gubici nastali prijenosom električne energije. Pri tome se moraju održati konstantna frekvencija od 50 Hz i konstantan napon jer sa povećanjem frekvencije mijenja se i brzina vrtnje motora pri čemu se uz isti moment tereta razvija i veća snaga. Kako bi se uspješno regulirao sustav, mora se unaprijed procijeniti opterećenje za neki slijedeći sat ili doba dana [21]. Tako se za ravnotežu snaga sustava s n agregata, m potrošača i l mrežnih elemenata može pisati:

$$\sum_{l=1}^{n} P_{pi} = \sum_{j=1}^{m} P_{tj} + \sum_{k=1}^{l} P_{gk} \,. \tag{4-1}$$

Pri čemu je:

P_{pi} - proizvedena snaga i-tog agregata [W], P_{tj} - snaga opterećenja j-tog potrošača [W],

P_{gk} - snaga gubitaka k-tog mrežnog elementa [W].

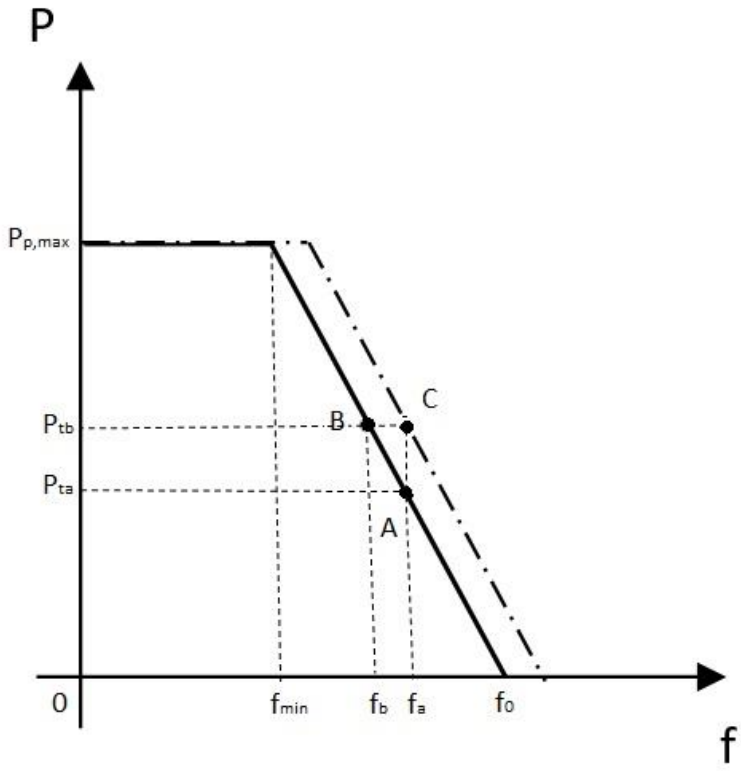
Osim djelatne snage nekim potrošačima bitna je i jalova snaga koja dodatno opterećuje mrežu stvaranjem većeg pada napona od djelatne snage, dok njezin manjak uzrokuje smanjenje napona. Stoga, osim ravnoteže djelatne snage, bitna je i regulacija jalovih snaga i napona. Kako bi se održala njihova ravnoteža koriste se automatski regulatori [21].

Kako bi se uspješno riješili ti osnovni zadaci elektroenergetskog sustava postoje dispečerski centri koji uz što bolju ekonomičnost i što veću sigurnost, pomoću svojih tehničkih sustava, obavljaju vođenje pogona elektroenergetskog sustava. I dok čovjek zbog svoje tromosti može u nekim određenim granicama prihvatljivosti savladavati manje i sporije poremećaje, one brže savladavaju automatski regulacijski uređaji [21].

Dakle, automatski uređaji ostvaruju zadatke naglog povećanja uzbude generatora, automatsko upravljanje opterećenjem elektrana, najpogodnije otvaranje mreže ili čak automatsko odbacivanje nekog dijela opterećenja. Sve su to mjere koje se moraju obavljati kako se cijeli elektroenergetski sustav ne bi raspao.

4.1 Regulacija djelatne snage i napona elektrane pri radu na vlastitu mrežu

Kao što je prethodno objašnjeno, elektrana u svakom trenutku mora dati onoliko djelatne snage koliko se zahtjeva od potrošačkog područja zajedno sa gubicima prijenosa. Opterećenje se s vremenom mijenja, pa se stalno mora regulirati i mehanička snaga koju daje turbina. Ukoliko dođe do smanjenja snage opterećenja takve da je ona manja od proizvedene snage, pojavit će se višak snage koja dovodi do ubrzanja rotora agregata , a time i povećanja frekvencije. Isto vrijedi i u suprotnom, povećanjem opterećenja dolazi do smanjenja broja okretaja te opadanja frekvencije. Na slici 4.1. [21] prikazana je karakteristika primarnog regulatora turbine.



Slika 4.1. Karakteristika primarnog regulatora turbine

Kako se regulacija izvršava na gotovo konstantnoj frekvenciji, u slučaju smanjenja snage opterećenja potrebno je zatvarati ulazne ventile turbine, a u slučaju njezina povećanja otvarati. Ovo automatsko otvaranje i zatvaranje vrši se automatski pomoću primarnih regulatora turbina dok se sam zahvat zove primarna regulacija. Na slici 5.1. puna crta naziva se statička karakteristika koja je približno pravac. Pri frekvenciji f_0 stroj je neopterećen pa se i najbrže vrti, pri frekvenciji f_a dolazi do uspostavljanja ravnoteže pri opterećenju P_{ta}, analogno za

opterećenje P_{tb}. Frekvencija $f_{\min}$ je frekvencija pri maksimalnoj proizvedenoj snazi $P_{p,\max}$. Ukoliko se frekvencija još više smanji, značajno pada snaga agregata. U odnosu na frekvenciju od 50 Hz, opseg promjene frekvencije je između 2 i 3 Hz, a postotna vrijednost tog opsega u odnosu na nazivnu frekvenciju nazivamo srednjom statičnošću regulatora. Označava se sa x, a računa se prema sljedećoj formuli:

$$x = \frac{f_0 - f_{\min}}{50} \cdot 100\ \% = 2 \cdot (f_0 - f_{\min})\ \%. \tag{4-2}$$

Karakteristika regulatora opisuje se još i strminom, odnosno regulacijskom energijom. Pri primarnoj regulaciji kao nepoželjna pojava dolazi do promjene frekvencije, tada se može napraviti i regulator sa strmijom karakteristikom, ali je rizik kod smanjivanja statičnosti ispod 2 do 3 posto jer regulacija tada postaje sklona oscilacijama. Najbitniji nedostatak ovakve regulacije je da pri promjeni snage opterećenja nemamo dovoljno održavanje frekvencije pa se to izbjegava uvođenjem sekundarne regulacije.

Sekundarna regulacija je pomicanje karakteristike na slici 5.1. lijevo - desno dok se iznos frekvencije pri nekom opterećenju ne približi nazivnoj vrijednosti. Ona ne znači automatsku intervenciju jer se s njom ne izjednačavaju trenutne oscilacije, nego se otklanjaju odstupanja od standardne frekvencije. Točka C predstavlja točku krajnje karakteristike nastale pomicanjem u desno za razliku frekvencije u radnoj točki A i frekvencije u radnoj točki B ukoliko opterećenje poraste na P_{tb} [21].

Također, sekundarna regulacija omogućuje postavljanje broja okretaja praznog hoda bez čega se nijedan agregat ne bi mogao uključiti paralelno drugom sustavu. Ukoliko se neki agregat pak isključuje s mreže, drugi preuzima njegovo opterećenje tako da frekvencija pri tome ostane konstantna. U elektrani kod koje je opseg regulacije moguće pokriti snagom samo jednog agregata, može se koristiti astatički regulator s vodoravnom karakteristikom, a omogućuje automatsku regulaciju frekvencije.

Važno je i da u slučaju ako dođe do prijelaza preopterećenja mogućnosti sekundarne regulacije, da se automatski smanjuje frekvencija. A to znači automatsko i proporcionalno smanjenje potrošnje. Promjenom opterećenja, regulirati se mora i uzbuda generatora kako bi se održao nepromijenjeni napon na stezaljkama generatora, ali i fazni kut opterećenja. Ta se regulacija nekada ručno provodila, dok su danas tu brzi automatski regulatori [21].

4.2 Regulacija djelatne snage i napona elektrane pri paralelnom radu

U slučaju paralelnog rada sami odnos veličine jednog agregata nasuprot veličini sustava, stanje uzbude ili promjena djelatne snage jednog agregata ili čak cijele elektrane jedva da utječe na frekvenciju odnosno napon u sustavu. Ali zato mala promjena frekvencije ili napona sustava značajno mijenja djelatnu i jalovu snagu promatranog agregata ili elektrane. Kod ove regulacije promatramo 3 slijedeća slučaja:

a) Povećanje djelatne snage generatora pri stalnoj uzbudi i stalnoj transfernoj reaktanciji

U tom slučaju raste kut opterećenja, smanjuje se jalova snaga koja je predana, smanjuje se napon na stezaljkama, ali i napon sabirnica elektrane.

b) Povećanje uzbude generatora pri stalnom djelatnom opterećenju i stalnoj transfernoj reaktanciji

Tada se smanjuje kut opterećenja raste jalova snaga koja je predana, raste napon na stezaljkama kao i napon sabirnica elektrane.

c) Povećanje ekvivalentne mrežne reaktancije X_{mr} pri stalnoj djelatnoj snazi i stalnoj uzbudi

Nastaje kada visokonaponska prijenosna mreža oslabi u neposrednoj okolini elektrane. U tom slučaju kut opterećenja raste, predana jalova snaga se smanjuje, a napon stezaljki i sabirnica se povećavaju u manjoj mjeri. U slučaju smanjenja mrežne reaktancije svi efekti su obrnuti.

d) Utjecaj promjene broja agregata s jednakim jedinicama u pogonu na pogon pojedinih agregata, promjena broja agregata u elektrani koji se nalaze u pogonu oslikavaju se na pogon jednog na način da se mrežna reaktancija poveća koliko je jedinica u pogonu, vrijedi sve pod c).

e) Utjecaj granice statičke stabilnosti elektrane u paralelnom radu sa sustavom povećavanjem unutarnjeg napona (uzbude) povećava se i vrijednost do koje se snaga maksimalno može povećati.

Frekvencija sustava se znatno ne mijenja sa promjenom proizvedene i sustavu predane snage. Pa se promjena opterećenja agregata postiže samo sekundarnom regulacijom. Agregat se vrti sinkrono sa sustavom u praznom hodu, ne daje veću snagu. Uz to turbina pokriva samo male gubitke praznog hoda gdje su gotovo potpuno zatvoreni ulazni ventili.

4.3 Koordinirana regulacija napona u elektroenergetskom sustavu

Zadatak regulacije napona je održavanje pogonskog napona unutar dozvoljenih granica. Sva trošila, da bi ispravno funkcionirala, projektirana su tako da im održavanje napona mora biti u granicama od 95 % do 105 % od nazivnog napona. Ukoliko taj napon nije u granicama dolazi do nepravilnog rada trošila, pa tako smanjenjem napona raste klizanje asinkronog motora, opada moment prekreta, dok žarulja nema svjetlosni tok koji bi trebala imati.
U prijenosnim se mrežama naponi mogu držati unutar širih granica, preniskim naponom smanjuje se faktor rezerve statičke stabilnosti elektrane, pa kod prijenosa iste snage gubici rastu kvadratno jer dolazi do povećanja struje prijenosa.
Ukoliko je napon previsok izolacija postrojenja se pojačano napreže, što povećava mogućnost kratkih spojeva, koji nastaju kao posljedica proboja ili preskoka izolacije. Dakle regulacija napona koja se vrši u elektranama, mreži ili kod samih potrošača može biti složen zadatak elektroenergetskog sustava.
Bitna je veza između jalove snage i napona, povećanjem jalove snage proizvodnje dolazi i do povećanja napona, dok se povećanjem jalove snage potrošnje napon smanjuje. Kao što je već ranije navedeno jalova snaga proizvodnje i potrošnje moraju biti jednake. Glavni izvori jalove snage u elektroenergetskom sustavu su:

a) Sinkroni generatori kod kojih se preko uzbude regulira proizvedena jalova snaga
b) Motori u praznom hodu koji su preuzbuđeni (sinkroni kompenzatori)
c) Nadzemni vodovi i kabeli, njihovi kapaciteti punjeni jalovom snagom
d) Statičke kondenzatorske baterije ugrađene kod industrijskih potrošača

Cijela operacija koja je zadužena za održavanje ravnoteže jalove snage naziva se raspodjelom jalovih opterećenja. Bitno je naglasiti kako kod bilance djelatne snage dolazi do smanjenja frekvencije, a kod bilance jalove do smanjenja napona. Ravnoteža jalove snage mora se osigurati unutar užeg geografskog područja, ne samo kao djelatna na razini sustava.

Regulacija napona zahtjeva mogućnost prilagođavanja unutar određenog područja prijenosni omjer transformatora čija je zadaća povezivanje mreža različitih napona. Ako se prijenosni omjer može prilagoditi tada je riječ o regulacijskim transformatorima, a ako je prijenosni omjer stalan tada je riječ o transformatoru s odcjepima kod kojeg se promjena ne može izvršiti u pogonu.

Kako bi se cijela ta pogonska regulacija napona mogla izvršiti, potrebna su nam neka osnovna sredstva:

a) Regulacija uzbude sinkronih strojeva pomoću brzih automatskih regulatora

b) Promjena prijenosnih omjera regulacijskih transformatora koje je nekad obavljao dispečerski centar upravljanja i kontrole, a danas je i taj proces automatiziran

c) Promjena kapaciteta statičkih kondenzatorskih baterija pomoću kondenzatorske automatike

Još uvijek najvećim dijelom se u današnjim elektranama uzbuda generatora vrši na klasični način odnosno pomoću istosmjernog porednog generatora koji je na istoj osovini s agregatom. Kod manjih je jedinica uzbudnik istosmjerni generator s paralelnom uzbudom, dok se kod srednjih i velikih jedinica uzbudni sustav sastoji od glavnog uzbudnika u obliku porednog istosmjernog generatora [21].

Automatski regulatori upravljaju naponom stezaljki i strujom statora generatora, dok se napon rotora prilagođava pomoću promjena regulacijskog otpora. Ukoliko regulator ustanovi da je napon na stezaljkama manji od referentne vrijednosti, automatski povećava struju uzbude generatora, ako je napon veći tada istu smanjuje.

Kako bi cijela ta promjena bila dovoljno brza, regulatori moraju imati jaku nadregulaciju, elastični povraćaj i prigušenje.

Razvojem i usavršavanje tiristora i visokoučinskih silicijskih dioda omogućena je proizvodnja i regulacija velikih istosmjernih snaga. Zbog toga, istosmjerna uzbudna snaga generatora se može dobiti i statičkom, regulirano usmjerenom izmjeničnom strujom. Za veću snagu generatora, potrebna je i veća uzbudna snaga pa se kod generatora koriste većinom statički regulatori.

Kao što je već ranije navedeno, u procesu regulacije napona bitnu ulogu imaju i transformatori, odnosno promjena njihovih prijenosnih omjera. Kako je napon kod napojnih točaka srednjenaponske mreže viši nego kod krajnjih točaka, transformatorima bližim napojnim točkama potreban je veći prijenosni omjer dok je kod onih udaljenijih potreban manji prijenosni omjer. Iz tog se razloga distributivni transformatori od 10 kV, odnosno 0,4 kV izrađuju s tri odcjepa na strani višeg napona. To postavljanje željenog napona moguće je odraditi samo u beznaponskom stanju mreže. Zbog tog razloga, transformatori 110/35 i 110/20 KV izvode se kao regulacijski kako bi se prijenosni omjer mogao promijeniti pod opterećenjem. Regulacijski opseg

je najčešće ± 15 %, a sama regulacijska sklopka se pokreće daljinskim upravljanjem izravno iz komandnih prostorija transformatorskih stanica.

Sami zahtjevi koje automatski regulatori napona transformatora moraju posjedovati su sljedeći:

a)Neosjetljivost regulatora - toliko odstupanje napona od propisane vrijednosti koje izaziva regulacijsko djelovanje mora bit veće od naponskog skoka između susjednih stupnjeva transformatora.

b) Održavanje napona - na srednjonaponskim sabirnicama podstanice, mora biti veći za vrijeme velikih opterećenja, a manji za vrijeme malih.

c) Regulator ne bi trebao reagirati na prijelazne promjene napona.

d) Granični uvjeti koji su propisani moraju blokirati djelovanje regulatora u jednom ili oba smjera.

Još jedno bitno sredstvo za regulaciju napona je napon na statičkim kondenzatorima koji služe za prevladavanje problema uzrokovanih prijenosom jalove snage. Nastali problemi su povećavanje strujnog opterećenja mreža, odnosno djelatnih gubitaka, povećavanje padova napona te vremenska promjena jalove snage koja uzrokuje intenzivno kolebanje napona. Ti problemi rješavaju se tako da se na niskonaponsku ili srednjenaponsku mrežu priključuju statičke kondenzatorske baterije koje popravljaju faktor snage. U tom slučaju može doći do prekompenzacije ako kod potrošača vlada viši napon nego u napojnoj točki, te da od potrošača prema izvoru teče jalova struja. Kako se na strani potrošača ne bi pojavio previsoki napon, isključuju se kondenzatorske jedinice ili ponekad čak cijela baterija. Tu nastupa stepenasta automatska regulacija čiji je kriterij sama veličina napona, a čija je funkcionalna struktura jednaka onoj kod regulacijskih transformatora. Ugradnja kondenzatora ekonomična je investicija samo ako se faktor snage cjelokupne potrošnje može povećati na $\cos\varphi = 0,95$.

4.4 Upravljanje elektroenergetskim sustavom

Kako bi cijeli elektroenergetski sustav pravilno funkcionirao potrebno je kvalitetno procesno upravljanje čime se održava dinamička ravnoteža na više razina. Potrošač u bilo kojem trenutku mora imati na raspolaganju električnu energiju kontinuirano i u dovoljnim količinama. Cijeli pogon mora odolijevati smetnjama. U slučaju ispada ili kvara nekog elementa, ne smije se ugroziti sigurnost ostalih elemenata pogona ili sustava. Električna energija mora također imati i

određenu kvalitetu čije su osnovne značajke frekvencija, iznos i sinusoidalnost napona. Zadatak upravljanja je baš to održavanje kvalitetne i optimalne opskrbe potrošača električnom energijom. Snaga proizvodnje u elektrani mora biti planirana na temelju procijenjene potražnje električne energije od strane potrošača po satu, uz uvjet optimizacije pogonskih troškova agregata, najčešće za jedan dan unaprijed.

Osim zadataka pripreme pogona, bitni su i zadaci operativnog upravljanja pogonom i zadaci analize pogona.

Operativno upravljanje pogonom je skup zadataka koji se kontinuirano izvršavaju u stvarnom vremenu. Glavna aktivnost mu je kontrola injektirane proizvodnje elektrane, održavanje salda uvoza i izvoza u propisanim granicama, dozvoljavanje i provođenje planiranih i neplaniranih sklapanja i preraspodjele opterećenja te pohranjivanje podataka značajnih za pogon te kontrola održavanja propisanih vrijednosti za tokove snaga.

Zadaci analize pogona obrađuju podatke pohranjene od strane operativnog upravljanja na temelju kojih se rade obračuni uvoza i izvoza, različiti statistički prikazi i izvješća o pogonskim poremećajima. Te obrađene informacije preko povratne veze šalju se do faze pripreme pogona kako bi se prognozirala opterećenja, isplanirala održavanja i proračunala pouzdanost.

4.4.1. Sustav za nadzor SCADA

SCADA (engl. *Supervisory Control And Data Acquisition*). je osnova računalnog upravljanja elektroenergetskim sustavom za nadzor i prikupljanje podataka, funkcionira na principu prijema rezultata daljinskog mjerenja i daljinskih signala, kontrolira njihovu vjerodostojnost, sistematizaciju, osvježavanje, prikazivanje i pohranjivanje. Korišteni programi imaju mali aritmetički zahtjev, i vrlo kratko vrijeme odziva, a provode nekoliko sljedećih funkcija:

a)Prijem rezultata daljinskog mjerenja i daljinskih signala:

Daljinska mjerenja tokova djelatnih i jalovih snaga u vodovima, frekvencija, napona sabirnica i drugih podataka, te daljinski signali uklopa rastavljača i prekidača, stanje regulacijske sklopke transformatora i sl.

b)Prikazivanje - objavljivanje informacija na zaslonima računala i sinoptičkim pločama sa shemama mreže. Zadaća sinoptičke ploče je pregledni prikaz cjelokupnog upravljanog sustava te da kontinuirano oslikava trenutno pogonsko stanje.

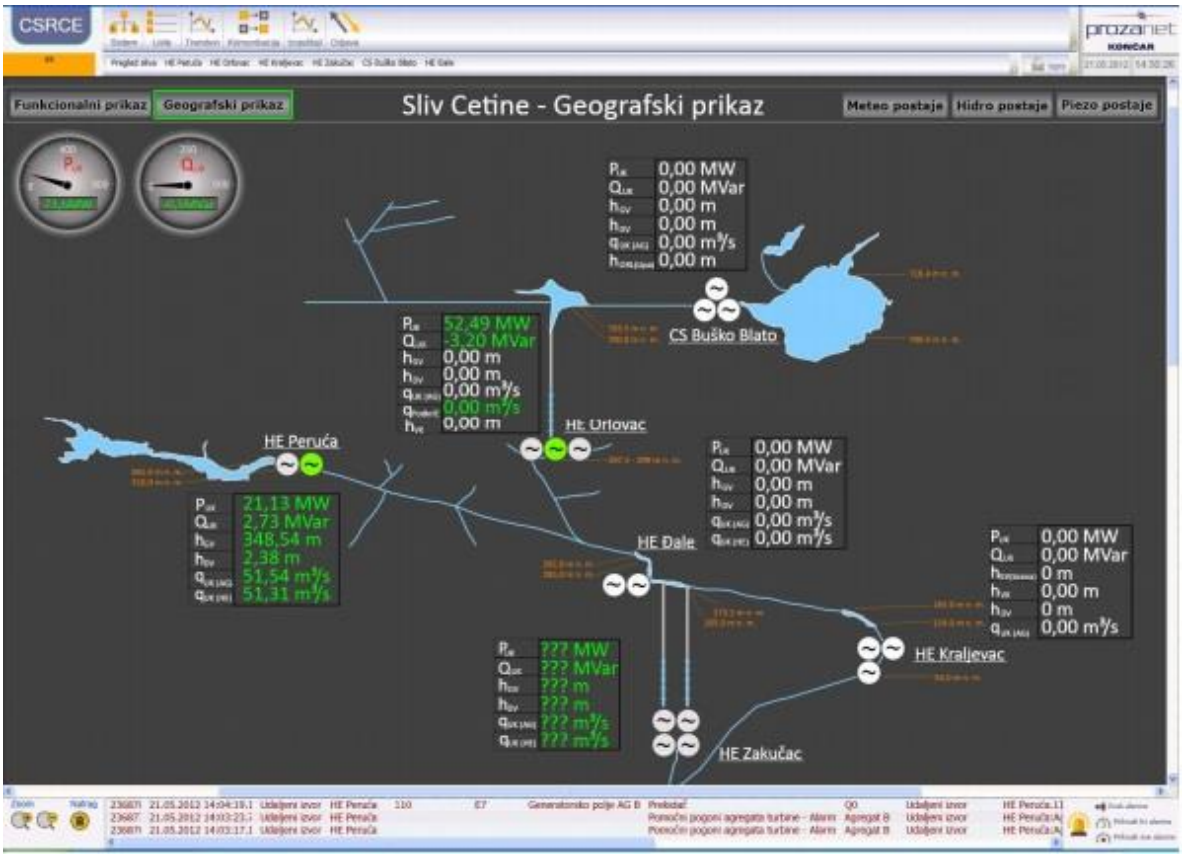
c)Vođenje pogonskog dnevnika - informacije u bazi podataka stvarnog vremena pohranjuju se s vremenom ciklusa koje odgovara analizi pogona na osnovu čega se rade obračuni energije i dnevna izvješća. Pogonski dnevnik čini podlogu za analizu eventualnih poremećaja i kvarova.

d)Tu su i neke ostale zadaće poput promatranja graničnih vrijednosti i gradijenata koja osoblju prosljeđuje obavijest o ugroženom, odnosno opasnom stanju.

- Topološka analiza - prepoznaje uklopna stanja, za kontrolu povezanosti mreže, za prepoznavanje poremećaja i registraciju promjena.

- Telekomanda.- naredbe upravljačkog stola i vrijednosti koje je potrebno postaviti izračunate od strane EMS-a.

Na slici 4.2. [22] može se vidjeti primjer sustava SCADA za sliv rijeke Cetine



Slika 4.2 SCADA prikaz sliva rijeke Cetine

4.4.2. Sustav upravljanja energijom EMS

Sustav EMS (*Energy Management System*) obavlja funkcije potpore pripreme pogona, upravljanje sustava u stvarnom vremenu i analizu pogona. EMS softveri djeluju na osnovi analize pogonskog stanja, imaju veliki aritmetički zahtjev sa iterativnim algoritmima za rješavanje sustava nelinearnih jednadžbi. Najčešće korištene EMS funkcije su:

- Automatska regulacija (djelatne snage) generatora izračunava osnovni signal podešavanja za regulatore snage agregata uključenih u regulaciju, obično se sastoji od dvije komponente: ekonomična raspodjela opterećenja i regulacija snaga-frekvencija. Funkcija ekonomične raspodjele opterećenja određuje raspodjelu opterećenja te određuje ekonomične radne točke agregata s obzirom na vozni red opterećenja, potrebnu rezervu i troškove proizvodnje. Zadatak regulacije snaga-frekvencija je da pomoću poznate snage razmjene sustava i frekvencije odredi regulacijsku pogrešku područja s kojom se korigiraju injektirane snage elektrana [21].

- Procjena stanja: na osnovu mjerenja i primljenih stanja od SCADA sustava, određuje najvjerojatnije stanje elektroenergetskog sustava te stvara bazu podataka za potrebe softvera za proračun mreža.

- Proračun tokova snaga: iterativnim postupkom, zbog nelinearnosti sustava jednadžbi koje je potrebno riješiti, određuju se snage elemenata i naponi mrežnih čvorišta. Dispečerski proračun tokova snaga analizira utjecaj planiranih sklapanja odnosno preraspodjele opterećenja. Proračun optimalnih tokova snage uzima u obzir ograničenja i iskorištavanje mogućnosti regulacije preuređuje pogonsko stanje tako da krajnji troškovi proizvodnje, prijenosa i razdiobe budu minimalni [21].

- Izrada voznog reda U-Q i automatska regulacija napona - za potrebu regulacije napona čvorišta na zadanu vrijednost te njegovo održavanje unutar zadanih granica, određuje kolika će biti proizvodnja jalove snage elektrana, položaj regulacijske sklopke transformatora pod opterećenjem i uklopno stanje elemenata za kompenzaciju jalove snage.

- Analiza sigurnosti - kao što i sam naziv kaže, analizira sigurnost pogonskog stanja te prepoznaje ugrožena stanja.

- Dispečerski trening-simulator – simulator za educiranje i vježbanje dispečera.

4.5 Regulacija brzine vrtnje

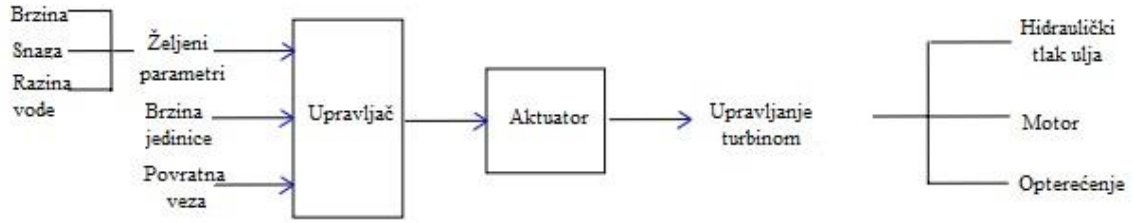
Regulacija brzine vrtnje provodi se upravljačkim sustavom ili upravljačem tako da regulira protok vode kroz turbinu, a samim time i njezinu brzinu i snagu. Nekada su se za tu svrhu koristili mehanički upravljači, dok su ih danas gotovo u potpunosti zamijenili digitalni. Upravljački sustav za vodne turbine je zapravo sustav sa povratnom vezom koji podešava brzinu i snagu proizvodne jedinice, a sastoji se od kontrolnog odjeljka i mehaničko hidrauličkog aktuatora.

Kontrolni odjeljak može biti mehanički, analogni ili digitalni dok aktuator može biti hidraulički upravljan ili mehanički. Mehanički se koriste do otprilike 1000 kW, pa su hidraulični upravljani ipak najčešći. Aktuator uspoređuje željenu poziciju turbine koju smo namjestili sa njezinim stvarnim položajem.

U većini hidroelektričnih sustava koriste se reakcijske turbine. Kod njih se zahtjeva pozicioniranje prolaznih vrata, uključujući i lopatice turbine kod Kaplanovih jedinica.

Kod Peltonovih regulacija se vrši pozicioniranjem regulacijske igle i pozicioniranjem regulacijskog deflektora koji služi za rezanje vodnog mlaza.

Najčešće korišteni aktuator je servomotor koji radi na principu prijenosa sile tekućinom, najčešće ulja. Shema jednog upravljačkog sustava prikazana je na slici 4.3. [23].



Slika 4.3. Upravljački sustav

U novije vrijeme koriste se digitalni električno-hidraulični regulatori koji su u pravilu PID regulatori. Takvi regulatori zapravo su vrlo fleksibilni mogu se koristiti za funkcije koje nisu izravno povezane sa upravljanjem turbine. Glavne prednosti takvog mikroprocesorskog sustava temeljenog na ranijim analognim upravljačima su velika pouzdanost, značajka dijagnosticiranja svog rada, modularni dizajn, fleksibilnost za izvođenje više različitih funkcija pomoću softvera, stabilnost zadavanja parametara, smanjeno ožičenje i jednostavno daljinsko upravljanje putem

optičkih kablova. Osim za kontrolu brzine sposoban je i upravljati u izoliranoj mreži, a i za obavljanje sljedećih funkcija: upravljanje izlaznom snagom ovisno o odstupanju frekvencije, zajedničko kontroliranje snaga više proizvodnih jedinica u elektrani, kontroliranje snage ovisne o razini vode, automatsko pokretanje i zaustavljanje jednom naredbom, brzo reagiranje na prijelazne pojave i mnoge druge [13].

5. PRORAČUN SNAGA U HIDROELEKTRANAMA

Općenito snaga koju voda sadrži naziva se bruto snaga P [W] i jednaka je:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_b . \tag{5-1}$$

Gdje je: ρ - gustoća vode [kg/m^3], iznosi 1000 kg/m^3,

g - ubrzanje sile teže [m/s^2], uzimamo 9,80665 m/s²,

Q - uzimamo srednju vrijednost protoka [m^3/s],

H_b - gornja visina vode (bruto) [m].

Turbina se nalazi na nekoj visini nižoj od visine vode, tu visinu nazivamo donja visina vode. Visina koju možemo iskoristiti jednaka je razlici gornja visine vode te donje visine vode umanjena za gubitke, ta visina se naziva neto pad vode H_n. Tako da je snaga na turbini:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_n . \tag{5-2}$$

Turbina također sadrži gubitke pa je snaga na izlazu još manja:

$$P = \eta_t \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_n . \tag{5-3}$$

Gdje je η_t - korisnost turbine.

Na kraju gubitke nam još sadrže generator i transformatori pa je izlazna električna snaga:

$$P = \eta_e \cdot \eta_t \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_n . \tag{5-4}$$

Pri čemu nam η_e označava ukupnu korisnost generatora i transformatora.

5.1 Odabir lokacije za gradnju hidroelektrane

Pri izgradnji hidroelektrane prvo nam je bitno odrediti koja nam je lokacija pogodna za tu namjenu. Lokacija za hidroelektranu ovisi nam o više faktora. Prikupljaju se podaci i određuje se potencijal.

Posebnost malih hidroelektrana je u tome da je broj potencijalnih lokacija veći što je manja predviđena snaga instalacije, jer su češće prirodne vodne stepenice s manjom visinskom razlikom nego one s većom visinskom razlikom. Za određivanje potencijala mjeri se protok tijekom duljeg vremenskog razdoblja, određuje se krivulja trajanja protoka, ispituje se izvodljivost i cijena projekta, gleda se utjecaj na okoliš i kulturnu baštinu.

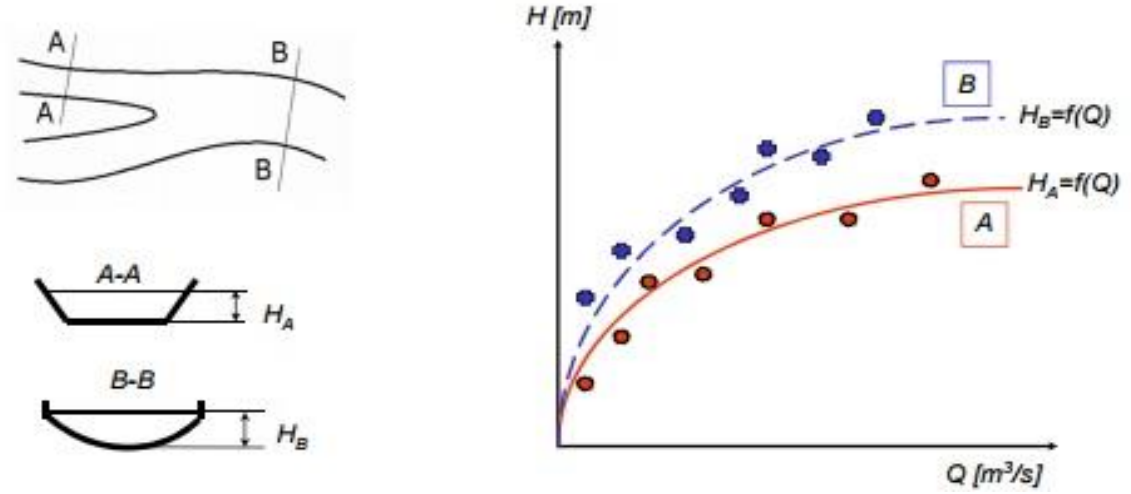
Količina vode koja pritječe u vodotoke definira se kao:

$$\text{faktor otjecanja} = \frac{\text{voda u promatranom vodotoku}}{\text{oborinsko područje} \cdot \text{količina padalina}} \ . \tag{5-5}$$

Faktor otjecanja iznosi od zanemarivog do 0,95.

Proticajni profil vodotoka – definira proticajne površine uzduž vodotoka, dobiva se snimanjem prirodnog korita poprečno na smjer toka.

Vodostaj se kontinuirano mjeri vodokazom te se iz tih mjerenja se pomoću statistike i vjerojatnosti dobiju reprezentativni vodostaji za neki proticajni profil. Slika 5.1 [4] prikazuje primjere proticajnog profila i konsumpcijske krivulje.



Slika 5.1. Proticajni profili i konsumpcijska krivulja

Konsumpcijska (proticajna) krivulja predstavlja prosječan odnos vodostaja i protoka u nekom trenutku na mjestu razmatrane vodomjerne postaje. Također se dobije statističkim proračunom iz niza simultanih mjerenja vodostaja i protoka.

Protok Q se na mjestu vodomjerne postaje određuje u pravilnim vremenskim razmacima. Za svaki izmjereni vodostaj, protok se izračuna pomoću konsumpcijske krivulje, a zatim se statističkim i vjerojatnosnim proračunom dobiju reprezentativni protoci za neki proticajni profil.

Podatke tijekom dana možemo uzet konstantnima te se iz njih dobiju srednji mjesečni podaci koji ovise o dobi godine i vlažnosti, a iz kronološki poredanih srednjih mjesečnih protoka dobije se godišnja krivulja protoka [4].

Srednji protok je prosječna količina vode koja protječe vodotok tijekom jedne ili više promatranih godina, označavamo ga sa Q_{sr} [m^3/s].

Iskoristivi pad vode H_n u [m] jednak je razlici gornje visine H_b vode i donje visine vode H_{dr} umanjenoj za gubitke uslijed protoka vode ΔH .

$$H_n = H_b - H_{dr} - \Delta H \ . \tag{5-5}$$

Dakle osnovni parametri prema kojima određujemo povoljnu lokaciju sa stajališta snage su srednja vrijednost protoka i iskoristivi (neto) pad vode.

5.2 Redoslijed gradnje hidroelektrane

Potražnja za električnom energijom u svim elektroenergetskim sustavima konstantno raste, niti u jednoj zemlji još nije zabilježeno zasićenje sa električnom energijom. Zbog tog stalnog porasta potražnje potrebna je i stalna gradnja novih postrojenja odnosno elektrana, transformatorskih stanica i vodova. O elektranama u promatranom području, ovisi i prijenosna mreža, dok je distribucijska zadana razmještajem potrošača.

Pri gradnji elektrana uvijek se prvo traži ona varijanta koja bi imala najpovoljnije energetsko-ekonomske rezultate. S povoljnim redoslijedom gradnje može se postići ušteda u cijelom elektroenergetskom sistemu koja je puno veća od izdataka za takve analize.

Prije određivanja samog optimalnog redoslijeda gradnje, provode se opsežni pripremni radovi i proučavanja. Prvo se promatra razvoj potrošnje jer o tome ovisi i potreba i brzina izgradnje elektrane. Za sve hidroelektrane, osim tehničkih parametara odnosno veličine elektrane, instalirane snage, volumena akumulacije i drugih, moraju se poznavati prosječni protoci u svim jediničnim vremenskim razdobljima, a da se pritom u obzir uzima i utjecaj sezonskih akumulacijskih bazena. Također je potrebno poznavati podatke o trajanju izgradnje i o godina kad se ona najranije može započeti graditi. Najnesigurniji podatak za planiranje elektroenergetskog sistema su potrebna investicijska sredstva za izgradnju hidroelektrane zbog čega je potrebno na osnovu već izgrađenih hidroelektrana izraditi podlogu za određivanje opsega građevinskih radova u ovisnosti o osnovnim karakteristikama hidroelektrane odnosno veličine i vrste brane, duljine i vrste vodova, pada, smještaja strojarnice i sličnih radi određivanja mase opreme [24].

Redoslijed gradnje elektrana se određuje poznavajući relativne energetske vrijednosti što je omjer uštede i troškova nove elektrane. Prvo se grade one sa većim omjerom, a tek onda one s manjim, pri čemu se u obzir mora i uzeti vrijeme trajanja gradnje.

Prvo se određuju približne energetske vrijednosti koje se dobiju u prvoj godini razmatranja za koju se određuju troškovi u sustavu kad nije izgrađena i kada je ona izgrađena, na taj se način dobiju podaci o uštedama u sustavu. Zatim je potrebno odrediti ograničenja zbog nemogućnosti dovršenja elektrane do početka one godine koja se razmatra ili zbog snage agregata koja je prevelika za promatrano stanje sustava. Hidroelektrane manje snage promatraju se kao jedna hidroelektrana [24].

6. OSTALI TIPOVI HIDROELEKTRANA

Kao što je već ranije navedeno osim klasičnih hidroelektrana postoje i hidroelektrane na valove te hidroelektrane na plimu i oseku koje nisu toliko raširene, ali imaju veliki potencijal. Kako oceani sadrže veliku količinu energije koju dobivaju od sunca, traže se novi načini kako tu energiju pretvoriti u neki korisni oblik kao što je električna energija. Zbog toga se razvijaju nove tehnologije kojima bi se te energija iskoristila.

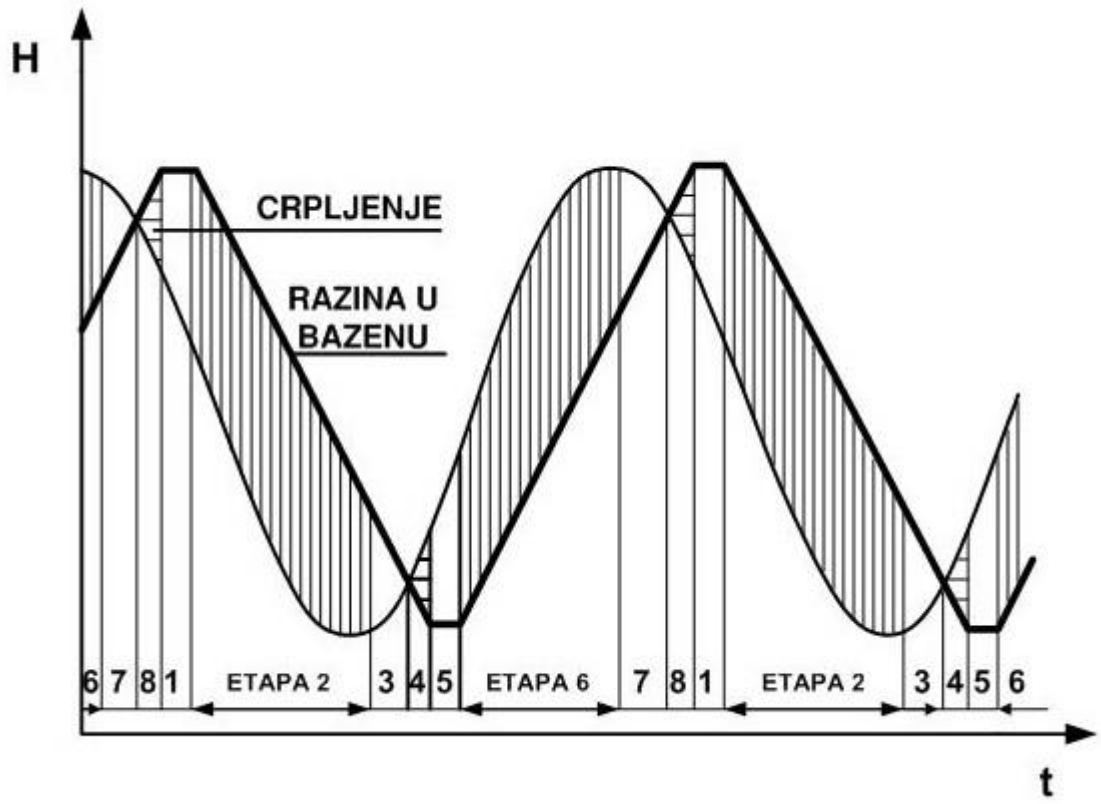
6.1 Hidroelektrane na plimu i oseku

Gibanje mora nastaje kao posljedica mjesečevih mijena ili pada i porasta razine mora. Energija plime i oseke spada u takav oblik energije koja tu energiju mora pretvara u električnu i druge oblike energije. Energija plime i oseke može se iskoristiti samo u određenim dijelovima svijeta i to na mjestima gdje su morske mijene jako naglašene. Bitno je za naglasiti kako takva proizvodnja električne energije spada u obnovljive izvore električne energije. Ovisno o lokaciji razlika između plime i oseke može biti između 4,5 i 12 m. Kako bi proizvodnja imala smisla i bila ekonomična razlika bi morala biti barem 7 m. Nažalost, broj takvih lokacija se procjenjuje na samo oko 40 u svijetu. Za razvoj ovih turbina bitno je i da su morske mijene periodične i da ih je moguće predvidjeti u 98 % slučajeva. Tehnološki razvoj i poboljšanja doveli su do raspoloživosti snage plime i oseke puno veće nego što je to prije bilo, a ekonomski i ekološki izdaci su smanjeni na minimalnu razinu [25]. Na slici 6.1. [26] može se vidjeti najveća hidroelektrana na plimu i oseku Sihwa u Južnoj Koreji sa snagom od 254 MW.



Slika 6.1. Hidroelektrana na plimu i oseku Sihwa

Hidroelektrana na plimu i oseku radi na principu etapa. Prvu etapu zatvara se zapornica, voda u bazenu ostaje na određenoj razini dok razina mora opada. U drugoj etapi, kada se razina mora spusti na dovoljno nisku razinu, takvu da pad vode bude dovoljan, potencijalna energija vode u bazenu pretvara se u mehaničku, a zatim u električnu sve dok je razlika između razina dovoljna za rad turbine. U trećoj etapi, kada je pad vode minimalan, rad turbine se zaustavlja, ali se bazen s vodom prazni kroz zapornicu kako bi on imao što manju razinu da se ostvari što veća razlika u obrnutom smjeru od druge etape. U četvrtoj etapi kada su razina bazena i mora jednake, voda iz bazena počinje se crpiti u more kako bi razina vode u bazenu bila što manja, kada je ta razina najmanja, u petoj etapi, rad crpki se obustavlja te bazen ostaje na toj razini sve dok se ne postigne dovoljna razlika da turbina radi u obrnutom smjeru. U šestoj etapi turbina se ponovno pokreće i koristi vodu iz mora prema bazenu sve do najmanjeg pada kod kojeg turbina više ne može raditi . U zadnjoj etapi, turbina se opet obustavlja, zapornica se otvara, a bazen se ponovno puni [25]. Na slici 6.2. [27] vidi se rad hidroelektrane na plimu i oseku po etapama.



Slika 6.2. Rad hidroelektrane na plimu i oseku po etapama

Hidroelektrane na plimu i oseku mogu biti konvencionalne i nekonvencionalne. Kod konvencionalnih voda može strujati u dva smjera. Pomoću brane regulira se visinska razlika razine mora i razine bazena kako bi pad bio što veći. Troškovi izgradnje brane kod ovog tipa elektrana su vrlo veliki pa se štedi na duljini pregrade tako da se one grade na mjestima kod

kojih su što zatvorenije uvale, ušća rijeka ili fjordovi. Proizvodnja električne energije pomoću ovog tipa elektrana je tipična po tome da se maksimalna proizvodnja ostvaruje svakih 12 sati radi periodičnosti plime i oseke. Prednosti konvencionalnih hidroelektrana na plimu i oseku su čista, jeftina i obnovljiva energija, a najbitniji nedostaci su veliki troškovi izgradnje, manjak pogodnih lokacija za izgradnju i veliki utjecaj na okoliš zbog mogućeg istjecanja maziva i buke. Sama izgradnja ovakve hidroelektrane traje i do 10 godina pa se ovakva vrsta energije još nije toliko proširila [27].

Nekonvencionalne elektrane rade na principu vjetroelektrana sa razlikom da se umjesto zrakom energija prenosi morskim strujama. Njihova proizvodnja električne energije je oko 4 puta veća od konvencionalnih, a i ekološki su prihvatljive. Turbine im se grade na dubini od 20 do 30 metara gdje su morske struje izraženije, a mogu se podijeliti na:

1.Turbine sa vertikalnom osi
2.Turbine sa horizontalnom osi
3.Oscilirajuće turbine
4.Turbine sa venturijevim efektom

Najpoznatije su turbine sa horizontalnom osi koje su slične vjetroturbinama, oscilirajuće ne sadrže rotirajuće dijelove kao rotor već se pomiću naprijed i nazad čime se pomoću hidraulike proizvodi električna energija, dok se turbine sa venturijevim efektom koriste za ubrzavanje vode kroz turbinu, a često su kombinirane sa turbinama sa horizontalnom i vertikalnom osi.

Najpoznatiji prototipi turbina na plimu i oseku su:

1.*Openhydro* - prva nekonvencionalna turbina na plimu i oseku spojena na elektroenergetsku mrežu, ima proizvodnu snagu od 250 MW, te ima brojne prednosti zbog svoje konstrukcije kod koje rotor nije spojen na vratilo nego leži unutar prstena, pa zbog toga nema potrebe za podmazivanjem.
2.AR 1000 - turbina sa snagom od 1 MW, teži čak 140 tona, a rotor je radijusa 18 metara.
3.HS 1000 - također ima snagu od 1 MW, postavljena na mrežu u Norveškoj te je unutar 17000 sati generirala 1,5 GWh, učinkovita sa 98 % spremnosti prilikom rada.
4.Evopod– još uvijek u fazi testiranja sa modelom koji je 10 puta manji od stvarnog.

Na slici 6.3. [27] može se vidjeti prototip turbine Evopod postavljene u pogon 2008. godine.



Slika 6.3. Prototip turbine Evopod

Prednosti i nedostaci turbine Evopod:

Prednosti: brzine plime i oseke su veće kod površine i padaju prema dubini, neometan tok vode pri površini, nije joj potrebna konstrukcija za održavanje pri dnu kao kod drugih turbina, jednostavno brtvljenje i lakše održavanje jer je postavljen na površini.

Nedostaci: moguće oštećenje dijelova zbog naleta valova, moguće ju je potopiti i otežava promet.

6.1.1. Proračun snaga turbina na plimu i oseku

Snaga turbine izračunava se prema sljedećoj formuli:

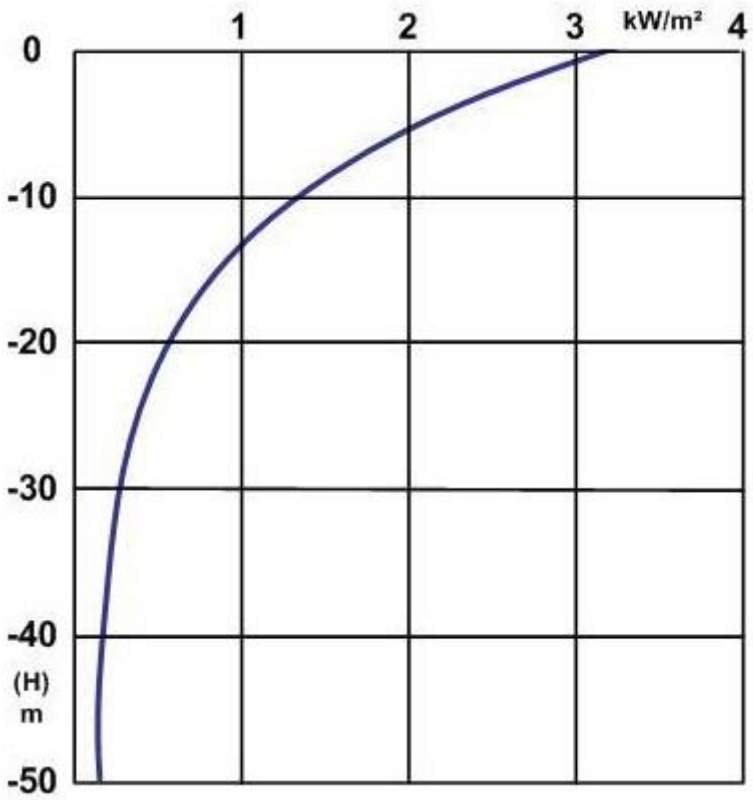
$$P_t = \frac{A \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_p}{2} \quad \text{[W]}, \tag{6-1}$$

pri čemu je: A - efektivna površina [m^2], ρ - gustoća morske vode, uzima se 1027 $\mathrm{kg/m}^3$, v - brzina protoka m/s, C_p - koeficijent snage

Koeficijent snage ograničen je Betzovim koeficijentom koji se kod turbina na plimu i oseku uzima od 0,35 do 0,5 zbog čega su efektivnije i isplativije po vatu snage od turbina vjetroelektrana [27].

6.2 Hidroelektrane na valove

Energija koja je sadržana u valovima je zapravo transformirana sunčeva energija. Valovi nastaju kao posljedica razlike tlakova zraka, odnosno vjetra, a te razlike nastaju zbog različitog zagrijavanja dijelova Zemljine površine. Da bi se energija tih valova mogla iskoristiti potrebna je stalna valovitost koja nastaje pomoću stalnih, odnosno planetarnih vjetrova. Osnovne karakteristike valova su visina, duljina i brzina, to su parametri o kojim ovisi količina njihove energije. Val sadrži potencijalnu energiju zbog deformacije površine i kinetičku energiju zbog gibanja vode, a njegova snaga se definira po jedinice površine okomite na smjer kretanja valova te može iznositi čak do 10 kW/m^2. Valovi su obnovljivi izvor energije koji se u vremenu mijenja s obzirom na brzinu vjetra, godišnjeg doba i vremenskih prilika. Bitno je i naglasiti kako sama energija vala opada s dubinom vala, pa je ona puno veća na površini što je moguće vidjeti na slici 6.4 [27]. Najjednostavniji oblik iskorištavanje te energije je neposredno uz obalu zbog lakšeg i jeftinijeg prijenosa te energije. Procjenjuje se kako ukupna energija valova koji udaraju u svjetsku površinu iznosi 2 do 3 milijuna MW, što je ogroman neiskorišteni potencijal [27].



Slika 6.4. Ovisnost snage morskih valova o dubini ispod morske površine

Prema slici 6.4. vidi se kako je snaga morskih valova obrnuto proporcionalna sa dubinom, pa na dubini od 50 metara njihova snaga iznosi svega 2 % od ukupne energije neposredno ispod površine vode.

Prema metodama kojima prihvaćaju valove, najpoznatiji načini korištenja energije valova su preko plutače, pomičnog klipa i njihalica ili lopatica. A razvijaju se i crijevna i McCabova pumpa, morska zmija i čuškaš (*flapper*). U nastavku poglavlja bit će pojašnjene osnovne metode dobivanja električne energije pomoću valova.

6.2.1. Salterova patka

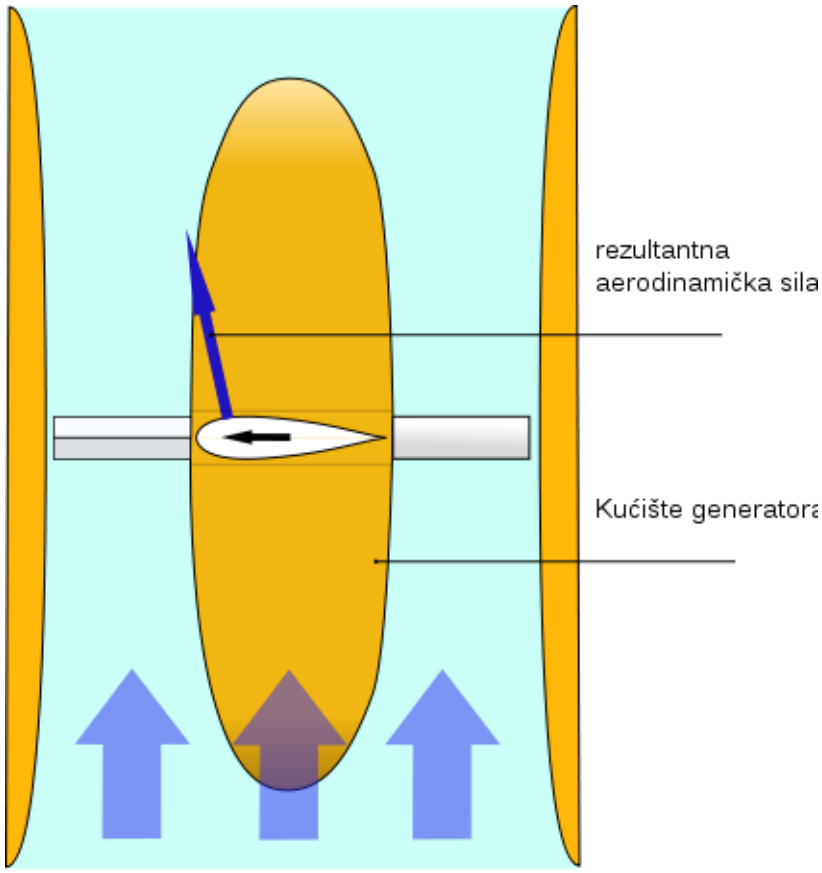
Salterova patka je jedan od mnogih izuma kojim se energija valova pretvara u korisnu energiju, a spadaju u klasu terminatora. Terminatori su uređaji koji su orijentirani okomito na smjer gibanja vala. Razbija valove koji nailaze, dok s druge strane ostavlja mirnije more. Salterova patka oblikovana je kao kapljica kiše, a često ih je više spojeno te tako tvore Salterov sustav. Funkcionira na način da je prednji dio patke okrenut prema nadolazećim valovima njišući se kako oni prolaze. Ovaj proces njihanja sakuplja 90 % energije valova, te koristi tu energiju kako bi se u pokretu održali klipovi koji naizmjenice komprimiraju hidrauličko ulje u cilindru. Kada je ulje dovoljno komprimirano, ono ulazi u hidraulički motor koji zatim generira električnu energiju. Sama patka ima visoku učinkovitost od 90 % po čemu predstavlja najbolju metodu dobivanja električne energije pomoću valova. Na slici 6.5 [27] prikazan je model Salterove patke.



Slika 6.5. Salterova patka

6.2.2. Wellsova turbina

Wellsova turbina je zapravo niskotlačni vjetroagregat koji je u mogućnosti neprestano se okretati, bez obzira ulazi li zrak u turbinu ili se vraća. Lopatice Wellsove turbine nalik su na krila zrakoplova, samo simetrične, što smanjuje stupanj iskoristivosti. Stupanj iskoristivosti Wellsove turbine kreće se od 0,4 do 0,7. Na slici 6.6. [28] prikazan je shematski prikaz Wellsove turbine.



Slika 6.6. Shematski prikaz Wellsove turbine

Wellsova turbina radi tako da valovi svojim gibanjem pomiču razinu vode u zatvorenom stupcu, kako voda ulazi u taj stupac dolazi do potiskivanja zraka u obliku vjetra kroz turbinu na vrhu stupca. Prvi prototip ove vrste turbina imao je proizvodnu snagu od 75 kW, dok je do sada najveća snaga ovakve hidroelektrane na valove projekt Limpet sa nazivnom snagom od 500 kW, te je uspješno priključena na elektroenergetski sustav u Škotskoj [27]. Također u španjolskoj hidroelektrani na valove Mutriku, ugrađeno je čak 16 ovakvih turbina sa ukupnom snagom od 300 kW.

6.2.3. Arhimedova valna ljuljačka

Arhimedova valna ljuljačka sastoji se od cilindrične komore napunjene zrakom koja se pomiče okomito u odnosu na cilindar manjeg promjera koji je ujedno i usidren. Gornji plutajući cilindar širok je 10 do 20 metara i napunjen zrakom što mu omogućuje plutanje. Kako val pređe preko plutače, mijenja se njezina dubina u skladu sa promjenom tlaka, a kao posljedica se plutača pomiče gore - dolje. Za proizvodnju električne energije koristi se relativno gibanje između plutajućeg i usidrenog dijela. Arhimedova valna ljuljačka prikazana na slici 6.7. [27] je uređaj sa najvećom snagom od svih ostalih uređaja koji koriste energiju valova.



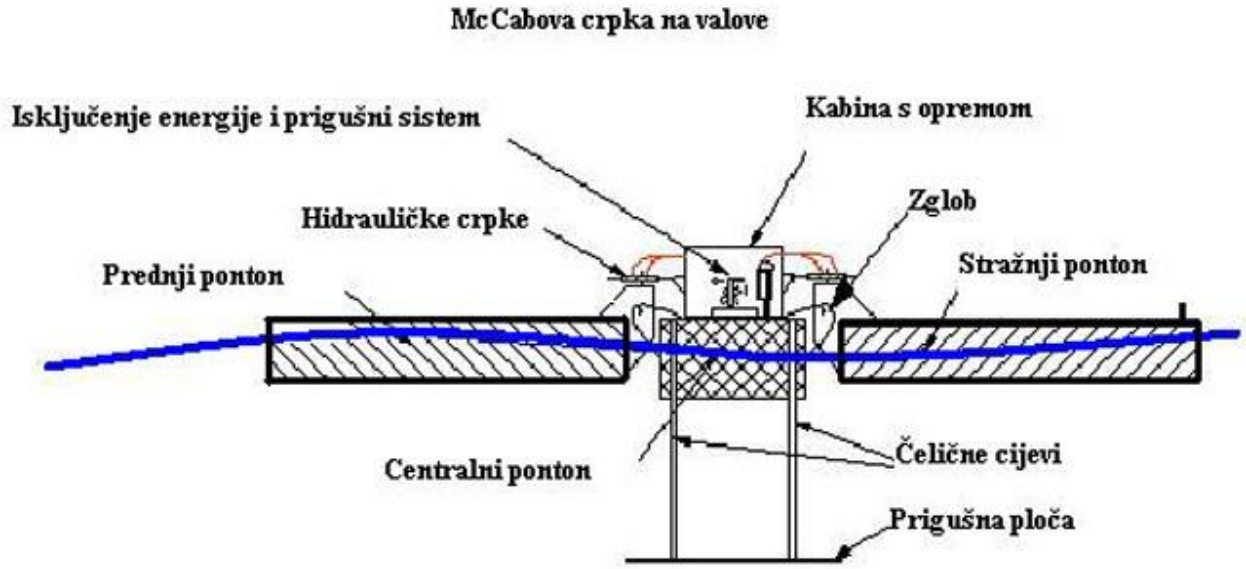
Slika 6.7. Arhimedov valni uređaj u Portugalu

6.2.4. Morska zmija (Pelamis)

Slično kao i Salterov sustav, ova konstrukcija radi po principu spojenih plutača koje vertikalno gibanje valova pretvaraju u horizontalno pomicanje klipova pumpi. Sustav je potpuno odvojen od mora, a funkcionira tako da pumpa komprimira zrak u spremnik koji pokreče turbinu i generator. Tako je omogućena jednolika rotacija generatora koja je neovisna o stohastičkoj prirodi valova. Maksimalna snaga im je 750 kW [27].

6.2.5. McCabova pumpa na valove

McCabova pumpa na valove razvija se od 1980-ih čija je osnovna namjena bila desalinizacija morske vode. Ona izvlači energiju iz valova pomoću rotacije pontona oko nosača preko hidrauličkih linearnih pumpi. Ponton je plutajući objekt u obliku četverokuta izrađen od gume, drveta ili metala. McCabova pumpa može biti sa zatvorenim krugom koristeći ulje ili sa otvorenim ukoliko se koristi morska voda. Na slici 6.8. [28] prikazan je shematski prikaz McCabove pumpe i njezini osnovni dijelovi.



Slika 6.8. Shematski prikaz McCabove pumpe

6.2.6. Crijevna pumpa

Crijevna pumpa se sastoji od elastičnog crijeva koje rastezanjem smanjuje unutarnji volumen. Crijevo je povezano sa plovkom koji se giba zajedno sa površinskim valovima. Kako se voda u crijevu komprimira, ona izlazi van kroz protupovratni ventil na turbinu. Kako bi se proizvela što veća količina električne energije, u sustav se povezuje više takvih pumpi [27].

6.2.7. Čuškaš (Flapper)

Čuškaš je uređaj koji se sastoji od više plutajućih pontona oblikovanih bregaste osovine. Svaki ponton rotira odvojeno kako val prelazi preko njega, te se tako pogone kapilarne pumpe koje tjeraju radni medij kroz zajedničko crijevo na turbinu. Uređaj je pogodan za nemirno more.

Osim navedenih uređaja postoje i drugi koji se za sada manje koriste, a neki od njih su:
- ljuljajući uređaj - funkcionira tako da se kinetička energija valova transformira u rad gibanja zaustavne ploče i hidrauličke pumpe koja pogoni generator, za sada postoji samo eksperimentalni model u Japanu.
- plutače - moguće ih je polagati u velikom broju na određenoj površini čime se povećava mala snaga koju svaka plutača pojedinačno proizvodi. Snage im se kreću do 50-ak kW, a najčešće se koriste za oceanske senzore poput svjetionika, komunikacijskih repetitora i slično.
- elise - uređaji koji rotiraju zajedno sa promjenom plime i oseke, slični vjetroturbinama.
- zmajevi - niz malih turbina koji je usidren za dno mora ili rijeke, proizvodi energiju i od relativno malih tokova.
- školjkasta elektrana na valove – pomiče se zajedno sa valovima te tako pumpa hidraulični fluid koji se tako odvodi do stanice na obali gdje se generira električna energija.

S obzirom na lokaciju naveden elektrane mogu se podijeliti na one na otvorenom moru i na one na obali.
Pri tome u one na morskoj obali spada ljuljajući uređaj, a u one na otvorenom more su plutače, Arhimedova valna ljuljačka, morska zmija (Pelamis), McCabova pumpa na valove, crijevna pumpa, čuškaš (Flapper), elise, zmajevi i školjkaste elektrane na valove.
Elektrane na otvorenom moru bolje iskorištavaju valni potencijal jer imaju veću raspoloživu površinu za njihovo postavljanje, a zajedno s time i veću snagu za određenu lokaciju. Osim toga mogu napajati objekte koji su udaljeniji od obale, pa tako mogu i napajati različite senzore. Njihov glavni nedostatak je pouzdanost zbog korozivne i mehaničke nepredvidljive okoline.
Elektrane na morskoj obali imaju prednosti zbog lakše izgradnje jer se mogu koristiti uobičajeni strojevi za izgradnju, lakše se održavaju jer nisu potrebni brodovi i ronioci, brže i lakše se kontroliraju i mijenjaju oštećeni dijelovi. Glavni nedostaci ovog tipa elektrana na valove su manji broj pogodnih lokacija za izgradnju [27].
Inače, glavni tehnički izazovi koji se stavljaju pred hidroelektrane na valove jesu da: uređaj mora obuhvatiti veći dio energije u nepravilnim valovima, moraju se izdržati jake promjene snaga u valovima, uređaj mora izdržati moguća oštećenja od oluja i moguću koroziju zbog slane vode, potencijalna opasnost na morsku okolinu mora se smanjiti na minimum. Općenito, snaga valova je dostupna i pri niskim brzinama valova s velikom silom, ali većina električnih generatora radi na većim brzinama, a većina turbina pri ujednačenom i mirnom toku vode.

7. ZAKLJUČAK

Danas je potreba za energijom u svijetu porasla, a energije iz nafte i plina je sve manje pa je sve više u značaju energija iz obnovljivih izvora kao što su hidroelektrane, ali i mnogi drugi. Hrvatska je bogata sa lokacijama koje su za to pogodne te ako ih dobro iskoristi neće se naći u problemu sa nedostatkom energije. Prednost električne energije iz hidroelektrana je velika jer nema lošeg utjecaja na okoliš koliko imaju druge elektrane. Povećava pouzdanost u vezi sa obranom od poplava, razvija zone za rekreaciju i sportove uz vodu, razvija turizam i stvara nove turističke atrakcije, zapošljava nove radne snage na upravljanju postrojenjima i drugim posrednim gospodarskim aktivnostima. Izgradnjom hidroelektrana smanjuje se emisija štetnih plinova, ugljikovog i sumporovog dioksida, te dušikovih oksida koji pregrijavaju naš planet i koji uzrokuju sve veće klimatske promjene.

Sukladno sporazumu o Energetskoj zajednici iz Atene, kojeg je prihvatila i Hrvatska, u trajnom nastojanju da se poveća energetska učinkovitost proizvodnje električne i toplinske energije i povećanje energije dobivene iz obnovljivih izvora, u svim se proizvodnim pogonima HEP proizvodnje razmatraju i provode tehnološka rješenja i postupci koji mogu pridonijeti 'čistijoj proizvodnji' energije. Time HEP proizvodnja provodi mjere za ograničenje emisija u zrak iz velikih termoelektrana te potiče proizvodnju iz obnovljivih izvora energije, među kojima su i hidroelektrane.

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SIMBOLA

Tablica 8.1 Popis korištenih oznaka i simbola prema abecednom redu

Oznaka ili simbol	Naziv	Iznos	Mjerna jedinica
A	efektivna površina turbine na plimu i oseku		m^2
C_p	koeficijent snage		-
$\cos\varphi$	faktor snage		-
ΔH	gubici uslijed protoka vode		m
EMS	Sustav elektroenergetskog menadžmenta (engl. *Energy Management System*)		
η_e	ukupna korisnost generatora i transformatora		-
η_h	hidraulički stupanj djelovanja		-
η_m	mehanički stupanj djelovanja		-
η_t	ukupna korisnost turbine		-
η_v	volumetrijski stupanj djelovanja		-
$f_{\min}$	frekvencija pri maksimalnoj proizvedenoj snazi		Hz
f_0	frekvencija praznog hoda		Hz
g	ubrzanje sile teže	$g = 9,80665$	$\mathrm{m/s}^2$
H_b	gornja visina vode (bruto)		m
H_{dr}	donja visina vode		m
H_n	iskoristivi pad vode		m
HEP	hrvatska elektroprivreda		
I	jakost električne struje		A
NE	nuklearna elektrana		
P	snaga		W
P_t	snaga turbine		W
$P_{p,\max}$	maksimalna proizvedena snaga		W
P_{pi}	proizvedena snaga i-tog agregata		W
P_{tj}	snaga opterećenja j-tog potrošača		W
Q	energija disipirana		J

	zagrijavanjem vodiča		
Q_{sr}	srednji protok		m^3 / s
R	električni otpor		Ω
RH	Republika Hrvatska		
ρ	gustoća vode	uzima se 1000 kg/m^3	kg/m^3
SCADA	nadzorna kontrola i prikupljanje podataka (engl. *Supervisory control and data acquisition)*		
t	vrijeme		s
U	napon		V
v	brzina protoka		m/s
x	srednja statičnost regulatora		-

POPIS KORIŠTENE LITERATURE I DRUGIH IZVORA INFORMACIJA

[1] Hidroelektrana kao obnovljivi izvor, url: http://www.sustainable-energybih.org/res-2/hpp, (20.03.2016.)

[2] Dostignuća hidroelektrana, url:

http://www.waterencyclopedia.com/Ge-Hy/Hydroelectric-Power.html **(**05.06.2016.)

[3] Službena stranica HEP-a, url: http://www.hep.hr/opskrba/ienergije.aspx (09.06.2016.)

[4] D. Šljivac: Materijali za praćenje nastave iz kolegija "Osnove energetike i ekologije" (28.05.2016.)

[5] Razvoj hidroelektrana i tehnološke opreme, url: http://energy.gov/eere/water/hydropower-technology-development (05.06.2016.)

[6] Male hidroelektrane i njihova važnost, url: http://www.zelenazona.hr/home/wps/wcm/connect/zelena/zona/gospodarstvo/obnovljivi_izvori_energije/male-hidroelektrane-velika-buducnost (22.03.2016.)

[7] Wikipedija, slobodna enciklopedija, hidroelektrane općenito url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana (23.03.2016.)

[8] url: http://www.croinfo.net/vijesti-regija/6847-obilazak-hidroelektrane-rijeka-u-vodovodnoj-ulici.html (19.06.2016.)

[9] L. Józsa:„Energetski procesi i elektrane", Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera,Osijek, 2008.

[10] Prednosti i nedostaci hidroelektrana, url: http://www.technologystudent.com/energy1/hydr2.htm (07.04.2016.)

[11] Hidroelektrana „tri klanca", url: http://www.scientificamerican.com/article/chinas-three-gorges-dam-disaster/ (07.04.2016.)

[12] url: http://www.panoramio.com/photo/121071358 (15.06.2016)

[13] Wikipedija, slobodna enciklopedija, url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana_Le%C5%A1%C4%87e#/media/File:HE_Lesce_2.jpg (07.04.2016.)

[14] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Peltonova turbina, url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turbina (08.04.2016.)

[15] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Kaplanova turbina, url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina (08.04.2016.)

[16] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Francisova turbina, url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Francisova_turbina (08.04.2016.)

[17] Wikipedija, slobodna enciklopedija , Električni generator, url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_generator (09.04.2016.)

[18] S. Nikolovski, Zaštita u elektroenergetskom sustavu, ETF, Osijek,2007.

[19] Artikl znanja, Elektroenergetski sustavi, url: https://element.hr/artikli/file/2537 (09.04.2016.)

[20] http://e-elektro.blogspot.hr/2012/08/povijesni-razvoj-transformatora.html (09.04.2016.)

[21] L. Józsa:„Vođenje pogona elektroenergetskog sustava”, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera,Osijek, 2008.

[22] Sustavi SCADA i EMS, url: http://www.koncar-ket.hr/docs/koncarketHR/documents/127/1_0/Original.pdf (13.04.2016.)

[23] Regulacija brzine hidroelektrana, regulacija turbina, url: http://ahec.org.in/publ/Modern_Hydroelectric_Engineering_Practice_Prof_OD_Thapar/Volume_I/Chapter-6_Hydro-Turbine_Governing_System.pdf (07.06.2016.)

[24] H. Požar:„Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima“, 2. izdanje, Informator, Zagreb 1985.

[25] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Hidroelektrane na plimu i oseku, url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_plimu_i_oseku (14.06.2016.)

[26] url: http://www.power-technology.com/features/featuretidal-giants---the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/ (14.06.2016.)

[27] url: http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Elektrane_na_valove (14.06.2016.)

[28] Wikipedija, slobodna enciklopedija, Hidroelektrane na valove url: https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrane_na_valove (13.06.2016.)

ŽIVOTOPIS

MARIO BUKOVČAN

Rođen je u Virovitici 29. svibnja 1994. 2009. završava osnovnu školu „Ivana Brlić Mažuranić“ s odličnim uspjehom zatim se upisuje u „Elektrotehničku školu Virovitica“, stručni smjer koji završava 2013., predstavljao školu na državnom natjecanju iz matematike.

2013. godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Ostvaruje pravo na državnu stipendiju. 2014. godine počinje raditi kao student u Hrvatskom Telekomu kako bi mogao i dalje pohađati fakultet i plaćati si stanarinu.

Tečno govori engleski jezik. Informatički je pismen te se izvrsno služi programskim paketom Microsoft office (Excell, Word, PowerPoint, Visio) te programskim jezicima Matlab, C++, C#, DraftSight, Autocad. U slobodno vrijeme igra nogomet, te se druži s obitelji i prijateljima.

Nakon završetka preddiplomskog studija namjera mu je upisati diplomski studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

U Osijeku, 20. lipnja 2016. Mario Bukovčan

Potpis: _____

SAŽETAK

U završnom radu hidroelektrana je opisana kao jedan veliki pogon koji se sastoji od više dijelova, opisani su ciklusi kroz koje energija prolazi, njezine pretvorbe iz potencijalne i kinetičke energije u mehaničku, a potom u električnu. Ukratko su opisani osnovni dijelovi hidroelektrane, njezine prednosti i nedostaci, na koji se način i zašto se vrši regulacija frekvencije, napona, djelatne i jalove snage. Dani su osnovni proračuni snaga koji su bitni za hidroelektranu. Na kraju su opisani moderni načini pretvorbe energije vode u hidroelektranama na plimu i oseku i hidroelektranama na valove koje se još uvijek razvijaju pa nisu toliko raširene.

Ključne riječi: djelatna snaga, električna energija, frekvencija, hidroelektrana, hidroelektrana na plimu i oseku, hidroelektrana na valove, jalova snaga, kinetička energija, napon, nedostaci, potencijalna energija, prednosti, regulacija.

ABSTRACT

The final thesis describes hydroelectric power plant like a big drive which consists of more parts, here were described cycles through which energy passes, conversion from the potential and kinetic energy into mechanical and then into electrical energy. The final thesis briefly describes the basic parts of hydroelectric power, advantages and disadvantages, how to and why to regulate frequency, voltage, active and reactive power. There are basic calculations that are essential for understanding hydropower plant. At the end, the final thesis describes modern ways of converting energy of water in tidal plants and wave power stations that are still under development and not so widespread.

Key words: Active power, advantages, disadvantages, electrical energy. frequency, hydroelectric power plant, kinetic energy, potential energy, reactive power, regulation, tidal power stations, voltage, wave power stations.

PRILOZI

PRILOG P.1.1

Smještaj hidroelektrana u Hrvatskoj



PRILOG P.3.1

Podjela turbina ovisno o padu

VRSTA PRETLAČNE TURBINE		Brzina vrtnje (min^{-1})	Pad (m)
PELTON	s 1 mlaznicom	do 30	do 2000
	s 2 mlaznice	17 - 42	
	s 4 mlaznice	24 - 60	
FRANCIS	sporohodna	50 - 125	300 – 150
	normalna	125 - 250	150 – 80
	brzohodna	250 – 350	80 – 50
	extremno brzohodna	350 - 500	50 - 30
KAPLAN (PROPELERNA)		450 –600	30 – 18
		600 – 800	18 – 11
		800 - 1200	11 - 7