

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Методе прорачуна у развоју производа

Број индекса: 403/2014

Срђан Р. Радојевић

Пројекат за изградњу мале хидроелектане Витуш

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Мирко Благојевић, ванредни професор - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да опише основне обновљиве изворе енергије са посебним акцентом на хидроелектране малих снага. Такође, потребно је да уради пројекат једне конкретне хидроелектране.

Препоручена литература:

- [1] Д. Ивановић: ХИДРОЕНЕРГИЈА, ПОДГОРИЦА, 2014.
- [2] П. Рохлик: МИКРОХИДРОЕЛЕКТРАНА, ЗАГРЕБ, 2014.

Крагујевац, 2018

ментор:

др Мирко Благојевић, ванредни професор

Резиме

У данашње време када је потреба за енергијом у свету у сталном порасту, а расположиви ресурси у облику нафте и гаса нестају, производња енергије из обновљивих извора енергије од изузетне је важности. Обновљиви извори енергије имају предност пред традиционалним енергентима нафтом и гасом и јер не загађују атмосферу те се производњом енергије из обновљивих извора у великој мери смањује емисија гаса CO₂ у атмосферу. Обновљиви извори енергије и мале хидроелектране, као њихов атрактивни део, у нашој јавности су представљени на неадекватан начин, зато ће у овом раду бити представљен пројекат и прорачун за изградњу мале хидроелектране са свим њеним деловима.

Кључне речи : обновљиви извори, енергија, хидроелектрана, заштита, прорачун

Abstract

Nowadays, when the world's energy demand is on a steady pace, and available resources in the form of oil and gas disappear, the production of energy from renewable energy sources is of paramount importance. Renewable energy sources take precedence over traditional oil and gas fuels and do not pollute the atmosphere, and the production of energy from renewable sources greatly reduces CO₂ emissions in the atmosphere. Renewable energy sources and small hydropower plants, as their attractive part, are presented in our public in an inadequate way, therefore in this work will be presented a project and a budget for the construction of a small hydroelectric power plant with all it's.

Keywords : renewable sources, energy, hydroelectric power, protection, budget

Садржај

1. УВОД.....	3
1.1 Обновљива енергија.....	4
2.0 ХИДРОЕНЕРГИЈА.....	8
2.1 Мале хидроелектране.....	9
2.1.1. Делови мале хидроелектране	10
2.2 Врсте водених (хидрауличких) турбина	12
2.2.1 Франсисова турбина.....	14
2.2.2 Капланова турбина.....	16
2.2.3 Пелтонова турбина.....	17
2.2.4 Турго турбина.....	18
2.2.5 Банки турбина.....	19
2.2.6 Теслина турбина.....	21
2.3 Типови малех хидроелектрана.....	23
3. ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК.....	25
3.1. Израда машинског пројекта МХЕ Витуш.....	25
3.2 Хидролошке подлоге	26
3.3 Основни подаци који су преузети из хидро-грађевинског пројекта МХЕ „Крепољин“ ...	27
Инвеститор од пројектанта захтева следеће	28
3.4 Технички опис	29
3.4.1 Увод	29
3.4.2 Коришћене подлоге – Хидролошке подлоге.....	35
4.0 ПРОРАЧУНИ	37
4.1 Избор инсталисане висине за МХЕ „Витуш“ у условима постојећег водног режима реке	37
4.2 Димензионисање дебљине зида челичног цевовода под притиском на споју GRP-цевовода и турбина	40
4.3 Прорачун константе инерције деривације	43
4.4 Прорачун хидрауличног удара.....	44
4.5 Усвојено време затварања/отварања лептирастих затварача.....	46
4.6 Избор турбине и одређивање броја агрегата	47
4.7 Прорачун снаге и производње електричне енергије МХЕ.....	48

5.0 ИЗБОР ТУРБИНСКИХ АГРЕГАТА.....	53
5.1 Специфичан број обртаја турбине за услове на месту микролокације.....	53
5.2 Одређивање геометријских карактеристика турбине.....	54
6.0 ХИДРОМЕХАНИЧКА, ХИДРОМАШИНСКА И МАШИНСКА ОПРЕМА.....	56
7.0 ТУРБИНСКА РЕГУЛАЦИЈА	57
7.1 Дигитални турбински регулатор	57
7.2 Управљачки хидраулички део	59
7.3 Уређај за генерисање притиска.....	59
7.4 Турбинска заштита.....	60
8.0 ПОМОЋНА ОПРЕМА И ПОГОНИ У МХЕ.....	61
8.1 Кочење турбина и искакање система из радног режима	61
8.1.1 Хидрауличко кочење.....	61
8.1.2 Механичко кочење	61
8.1.3 Електрично кочење	62
8.2 Заштита агрегата	63
8.3 Лептирасти затварач у затварачници	63
8.4 Решетка на чеоном водозахвату НА.....	63
8.5 Цевни табласти затварач на муљном испусту.....	64
8.6 Избор порталне дизалице	64
8.7 Премери и предрачун.....	65
9.0 ПОСЕБАН ПРИЛОГ	66
9.1 Опасности и штетности које могу настати у току монтаже опреме и инсталације у објекту	66
9.2 Мере предузете ради отклањања наведених опасности и	66
9.3 Општи и технички услови извођења радова.....	67
10.0 ЗАКЉУЧАК	71
11.0 ПРИЛОГ	72
12. ЛИТЕРАТУРА.....	73

1. УВОД

Учешће обновљивих извора енергије у укупној потрошњи светске финалне енергије је у 2010. години износило 16,7%, са трендом сталног раста, док је део обновљивих извора енергије у светској производњи електричне енергије око 19%, од чега се 16% електричне енергије производи у великим хидроелектранама, а 3% из нових обновљивих извора.

Данас је у употреби више облика коришћења енергије воде. Неки облици су искључиво механички, али је ипак већина усмерена ка претварању енергије воде у електричну енергију. Међу ширим подручјима су: а) воденице, које се користе вековима за погон млинова и осталих машина; б) електрична енергија добијена из воде, што се обично односи на водене бране или објекте уз реке; ц) енергија водених токова, која се добија из енергије кретања река, потока и океана; д) енергија плиме и осеке; е) енергија добијена из протока проузрокованих плимним променама; ф) енергија таласа; г) испитивачка енергија, односно енергија градијента салинитета, помоћу које се енергија добија из разлике у концентрацији соли између морске и речне воде; х) енергија морских страја; и) енергија добијена из разлике температуре океана на различитим дубинама [1,2].

У свету се око 20% електричне енергије произведе коришћењем енергије водених токова, тј. хидроенергије (720 000 MW). Хидроенергија углавном не ствара емисију угљендиоксида CO_2 као ни остале штетне материје, за разлику од сагоревања фосилних горива, и зато није значајни учесник глобалног загревања услед штетних емисија CO_2 . Енергија добијена из хидроелектрана је знатно јефтинија од енергије добијене из фосилних горива или нуклеарне енергије. Подручја са великим хидропотенцијалом привлаче индустрију, међутим и сувише наглашена брига за животну околину може бити препрека даљем развоју хидроенергетике.

На локацијама где је велика промена нивоа мора за време плиме и осеке може се изградити хидроелектрана за производњу електричне енергије, као што је већ примимењено у Француској, Канади и Русији.

Истражена је и могућност искоришћавања површинских океанских таласа с обзиром да дају знатно више енергије од плимних кретања. Генератори су причвршћени на пливајће платформе, а проласком воде кроз шупље бетонске конструкције производе електричну енергију. Очекује се да би прототип генератора из енергије таласа могао произвести енергију од 500 000 KWh годишње [1,2].

У свету се данас све чешће користе мале хидроелектране као алтернативни извор енергије, а посебно у удаљеним подручјима где остали извори енергије нису доступни. Оне се могу инсталирати на малим рекама или потоцима уз мали или занемарљив утицај на животну околину, а нарочито на појаву попут миграције риба. Приликом постављања мале хидроелектране потребно је узети у обзир количину воде која је стално доступна, с обзиром да недовољно кише може угрозити рад електране, као и пад, односно висинску разлику захвата и испуста воде. Исто тако постоји и потреба за усклађивањем са прописима и законима о заштити вода. Последњих неколико година, многе земље у свету подстичу алтернативне изворе енергије, тако да су за мале хидроелектране доступне многе повластице, као што су донације, повољникредит и и пореске олакшице.

1.1 Обновљива енергија

Под обновљивом енергијом подразумева се енергија која потиче од природних ресурса као што су сунце, киша, ветар, плима и осека, таласи, геотермална топлота и природно је обновљива. Утицај традиционалне биомасе у укупној потрошњи светске финалне енергије је око 10%, и углавном се користи за грејање, док је део хидроелектрана, такође у укупној светској потрошњи енергије 3,4%, тако да су остали обновљиви енергетски извори, као што су мале хидроелектране, савремена биомаса, енергија ветра, сунца, геотермална енергија, биогориво, а који чине нове обновљиве изворе енергије у 2010. години, учествовали са 3,3% у глобалној енергетској потрошњи. Дакле, удео обновљивих извора енергије, а нарочито нових, у укупној потрошњи светске финалне енергије је у 2010. години износио 16,7% (слика 1.1), са трендом сталног раста.



Слика 1.1 – Удео обновљиве енергије од 16,7% у потрошњи светске
финалне енергије у 2010. Год.

Значајно је да је удео обновљивих извора енергије у светској производњи електричне енергије око 19%, од чега се 16% електричне енергије производи у хидроелектранама, а 3% из нових обновљивих извора. По годишњој стопи од 20% расте у свету употреба енергије ветра, тако да су крајем 2011. године светски инсталирани капацитети износили око

240000 MW, и у широкој употреби су у САД, Европи и Азији. Фотонапонска енергија као енергетски извор има најбржи раст почевши од 2004. године и већи је од годишњег раста употребе енергије ветра, тако да се од 2007. године раст тог оновљивог извора удвостручи сваке две године. Крајем 2011. године широм света, снага инсталираних фотонапонских капацитета (PV) је била око 67 000 MW, и највише их је у Немачкој и Италији. У Шпанији и САД су изграђене соларне термалне електране од којих је највећа у пустињи Мојаве снаге 354 MW. У Бразилу су развијени једни од највећих програма у свету за искоришћење обновљивих извора енергије, а тичу се производње етанолског горива из шећерне трске, тако да етанол сада у Бразилу обезбеђује око 18% свих горива за моторна возила. И у САД је етанол широко распрострањен као моторно гориво. Највећа инсталирана геотермална енергија у свету снаге 750 MW су Гејзири у Калифорнији. И поред ових великих и нових развојних пројеката за искоришћење обновљивих извора енергије, досадашња технологија је веома заступљена на сеоским подручјима као и на удаљеним областима гдје је енергија пресудна за људски развој, тако да су до 2011. године мали соларни фотоволтажни (PV) системи обезбеђивали струју за неколико милиона домаћинстава, док микро хидроелектране чак и знатно више. Такође, преко 44 милиона домаћинстава у свету користи биогаз за осветљавање и/или кување, док се преко 170 милиона домаћинстава данас ослања на коришћење нове генерације биомасе веће енергетске ефикасности [1,2].

Забринутост због све присутнијих климатских промена на глобалном нивоу, као и високе цене нафте, довели су до све уочљивијег повећавања подршке влада у свету за примену и комерцијализацију обновљивих извора енергије, тако да у ово време финансијске кризе нове владе спроводе регулативу и политику која овој грани индустрије даје знатно боље финансијске могућности него другим секторима. Према пројекцији Међународне агенције за енергију (*International Energy Agency-IEA*) из 2011. године, соларни генератори ће произвести у наредних 50 година највише електричне енергије у свету уз драстично смањење емисије гасова стаклене баште који итекако оштећују и загађују животну околину.

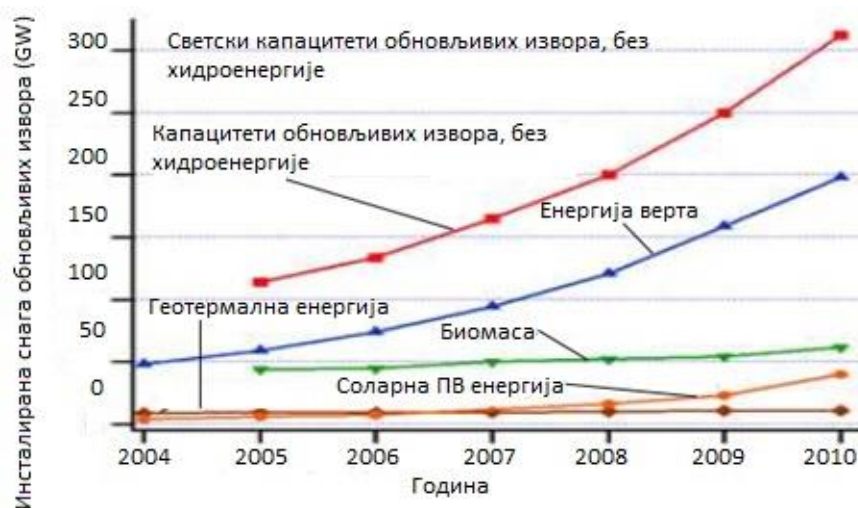
Иначе, обновљиви извори енергије укључују искоришћавање природних феномена као што су енергија сунца, воде, ветра, плиме и осеке, раст биљака као и геотермална топлота, а то су све природни процеси који се стално обнављају. Дакле, сви ови обновљиви извори енергије директно потичу од сунца или од топлоте која се ствара дубоко у земљи. Према томе дефиниција обновљивих извора енергије подразумева производњу електричне енергије и топлоте из енергије сунца, ветра, воде, океана, као и производња биогорива и водоника. Ресурси обновљивих енергетских извора са значајним могућностима енергетске ефикасности постоје готово у свим светским географским подручјима, што је велика предност у односу на друге енергетске изворе који су углавном концентрисани у малом броју земаља. Данас, обновљива енергија замењује конвенционална горива (угаљ, нафта, гас) у производњи електричне енергије, грејању воде и загревању

просторија, у производњи моторних горива, као и у енергетском сервисирању руралних подручја. Тако обновљиви извори учествују са 19% у укупној производњи електричне енергије у свету. Снага енергије добијена из обновљивих извора се повећава у многим земљама широм света, тако да само снага ветра у многим земљама производи знатан део електричне енергије (у Данској преко 20%, а у Немачкој покрајини Шлезвиг-Холштајн око 40%). Неке земље у свету већину енергије добијају из обновљивих енергетских извора, и то у Парагвају и Исланду 100%, Норвешкој 98%, Бразилу 88%, Аустрији и Новом Зеланду 65% а у Шведској 54% [2,3].

У многим земљама вода се греје коришћењем соларне енергије, па тако најмногољуднија земља у свету Кина производи топлу воду овим путем снаге 180 GWh годишње, што чини око 70% светске потрошње. Преко 50 милиона домаћинстава у Кини има данас на својим кућама инсталиране системе за добијање топле воде на овај начин. Такође је у свету забележен и пораст коришћења биомасе за добијање топле воде, што је добро. Тако је на пример у Шведској употреба биомасе за добијање топле воде превазишла у потребу нафте у те сврхе. Такође је у порасту и употреба геотермалне енергије за потребе загревања.

У 2009. години у свету је произведено око 90 милијарди литара биогорива, што је заменило 65 милијарди литара нафте, односно 5% светске производње нафте.

Данас у свету постоји веома снажна подршка за промовисање обновљивих извора енергије, а нарочито употреба соларне енергије и енергије ветра. Чак и при повећавању трошкова државе захтевају од својих предузећа и индустрије да што више користе обновљиве изворе енергије, тако да се пружају пореске олакшице за подстицање тог развоја и коришћење свих тих технологија. Зато је и присутан оптимизам да ће се улагања у коришћење обновљивих извора енергије дугорочно са економске тачке гледања веома исплатити [1,2].



Слика 1.2. Светски капацитет обновљивих извора, без хидроенергије

Инсталисана снага обновљивих извора енергија 2010. године у свету, без хидроенергије износила је око 320 000 MW (320 GW), где је енергија ветра учествовала са 200 GW или 62,5%. Снага капацитета који користе биомасу у тој години је износила 65 GW или 20,3%, соларна PV енергија 40 GW (12,5%), а геотермална енергија са 15 GW , односно са 4,7 % укупних светских капацитета обновљивих извора у 2010. години, слика 1.2. За пет година, од 2005. до 2010. године, инсталисана снага светских капацитета обновљивих извора без хидроенергије повећани су са 120 GW на 320 GW, или више од 2,5 пута. Док се у прве четири године, од 2005. до краја 2009. године, инсталисана снага повећавала годишње од 18% до 25%, то је пораст у 2010. години износио читавих 60% у односу на претходну 2009. годину. Са слике 1.2. се види да је запажени скок снаге у 2010. години имала примена енергије ветра и соларне ПВ енергије.

2.0 ХИДРОЕНЕРГИЈА

Хидроенергија, или енергија воде, је енергија добијена из силе односно текуће масе воде, која се употребљава за корисне сврхе. Пре него што је електрична енергија постала широко доступна, енергија воде се користила за наводњавање и погон разних уређаја, као што су воденице, машине у индустрији, лучке дизалице итд. Користио се и компресор, који би сабијао ваздух помоћу млаза воде, па се енергија тако сабијеног ваздуха могла користити за погон машина удаљених од воде. Од давнина се користила енергија воде. Тако се у Римском царству користила за погон млинова који су производили брашно, за обраду камена, резање дрвета, а у Индији су се градиле воденице. У средњем веку, за издвајање металне руде у старом рударском процесу користила се снага воденог таласа испуштеног из резервоара. Касније се из тог процеса развило хидраулично рударење које се користило током трке за златом у Калифорнији. Постојали су такође и системи хидрауличких мрежа, који су се састојали од цеви у којима се налазила вода под притиском, која би преносила енергију од извора, на пример пумпе, до крајних корисника[1].

Услед кретања воде њена енергија се испољава кроз деловање силе на корито и обале река, и та појава је нарочито присутна у случајевима високог водостаја или поплава. Снага воде делује на корито и обале реке, односећи с њих талог и остале материјале, што проузрокује ерозију и остале промене у речном току. Данас је у употреби више облика коришћења енергије воде. Неки облици су искључиво механички, али је ипак већина усмерена ка претварању енергије воде у електричну енергију. Међу ширим подручјима су: а) Воденице, које се користе вековима за погон млинова и осталих машина; б) Електрична енергија добијена из воде, што се уобичајно односи на водене бране или објекте уз реке; ц) Енергија водених токова, која се добија из енергије кретања река, потока и океана; д) Вртложна енергија, која се добија из вртлога; е) Енергија плиме и осеке; ф) Енергија добијена из протока проузрокованих плимним променама; г) Енергија таласа; х) Енергија морских струја; и) Енергија добијена из разлике температуре океана на различитим дубинама.

Данас се око 20% електричне енергије произведе коришћењем енергије водених токова, тј. хидроенергије снаге 720 000 MW. Још увек се пројектују велике бране, тако да је тренутно највећа хидроелектрана у свету “Три клисуре” изграђена у Кини на најдужој светској реци Јангцекјанг. Изузев у неколико земаља које имају енергије воде довољно за покривање већине потреба за електричном енергијом, данас хидроелектране уобичајно покривају вршне потребе за електричном енергијом захваљујући могућности брзог пуштања у погон. Исто тако, хидропотенцијал се може користити као велики резервоар

јефтине енергије када се при сувишној производњи хидрогенератор користи као пумпа, што је заступљено код реверзибилних хидроелектрана.

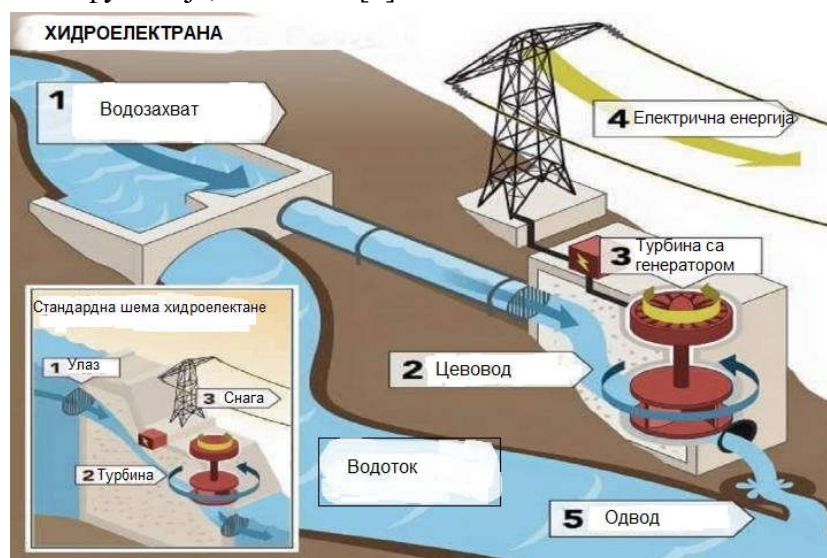
У свету се данас све чешће користе мале хидроелектране као алтернативни извор енергије, а посебно у удаљеним подручјима где остали извори енергије нису доступни. Она се могу инсталирати на малим рекама или потоцима уз мали или занемарљив утицај на животну околину, а нарочито на појаву попут миграције риба. Већина малих хидроелектрана не користи брану нити веће преусмеравање тока реке, него је заснована углавном на воденицама. Приликом постављања мале хидроелектране потребно је узети у обзир количину воде која је стално доступна, с обзиром да недовољно кише може угрозити рад електране, као и пад, односно висинску разлику захвата и испуста воде, пошто се при већем паду може добити већа електрична енергија. Исто тако постоји и потреба за усклађивањем са прописима и законима о заштити вода. Мале хидроелектране, снаге испод 100 kW, омогућавају многим удаљеним и сиромашним срединама добијање електричне енергије. Исто тако могу се користити и за директни погон осовина машина за многе индустријске примене[1].

2.1 Мале хидроелектране

Мале хидроелектране су постројења у којима се потенцијална енергија воде, а то је трансформирана енергија сунчевог зрачења, прво претвара у статору турбине у кинетичку енергију њеног струјања, а затим у ротору турбине у механичку енергију обртања вратила турбине и, на крају, у генератору у електричну енергију. Сматра се да мале хидроелектране немају штетан утицај на околину, за разлику од великих хидроелектрана чија се штетност описује кроз велике промене екосистема због изградње великих брана, утицаја на земљиште, поплаве, утицаја на слатководни живи свет, повећана емисија метана и постојање штетних емисија у читавом животном циклусу хидроелектране које су углавном везане за период изградње електране, производње материјала и транспорт. Такође се велике количине воде у цевоводима пијаће воде намећу као потенцијални извор енергије, где се ток воде кроз цеви углавном постиже самом гравитацијском силом, постављају турбине и припадни електрични генератори који не угрожавају транспорт пијаће воде, а у исто време и производе електричну енергију. Технологија везана за хидроенергију, која се сматра обновљивим извором енергије, је технички најпознатија и најразвијенија данас у свету, са високим степеном енергетске ефикасности, тако да 22% светске производње електричне енергије припада малим и великим хидроелектранама.

2.1.1. Делови мале хидроелектране

Мала хидроелектрана се састоји од свих објеката и делова који служе за скупљање, довођење и одвођење воде, за претварање механичке у електричну енергију. Карактеристични делови мале хидроелектране су: бране, захват, довод, водостан, цевовод, машинска зграда у којој се налази турбина и генератор, и одвод воде. Зависно од типа хидроелектране неки од делова могу потпуно изостати, а у другим случајевима може исти део преузети више функција, слика 2.1 [2].



Слика 2.1. Шема хидроелектране

Бране имају вишеструку намену и служе за скретање воде са њеног природног тока према захвату хидроелектране, као и за повећавање нивоа воде због постизања бољег пада и остваривање акумулације. Воду заустављену браном прима захват и упућује је према хидроелектрани. Постоје два типа захвата, захват на површини и захват испод површине. Довод спаја захват са водном комором, односно водостаном, и он може бити изграђен као канал или тунел. Тунел се гради као притисни или гравитацијски, и хидроелектране са притисним тунелом су знатно флексибилније у погону јер могу без икаквих деловања пратити промене оптерећења. Цевовод за транспорт воде из водене коморе до турбине најчешће се израђује од челика, а за мање падове може и од бетона. Гравитацијско довођење воде изводи се у каналима чија је конструкција таква тако да се постигну најмањи хидраулички губици, са профилем углавном трапезног облика и слободном нивоу течности у њему. На крају цевовода налази се водена комора, и њено димензионирање има велики утицај на правилно функционирање хидроелектране. Генератори заједно са турбинама се налазе у машинској згради, и постављају се углавном вертикално због економичнијег извођења хидрауличног дела електране. Хидрогенератори

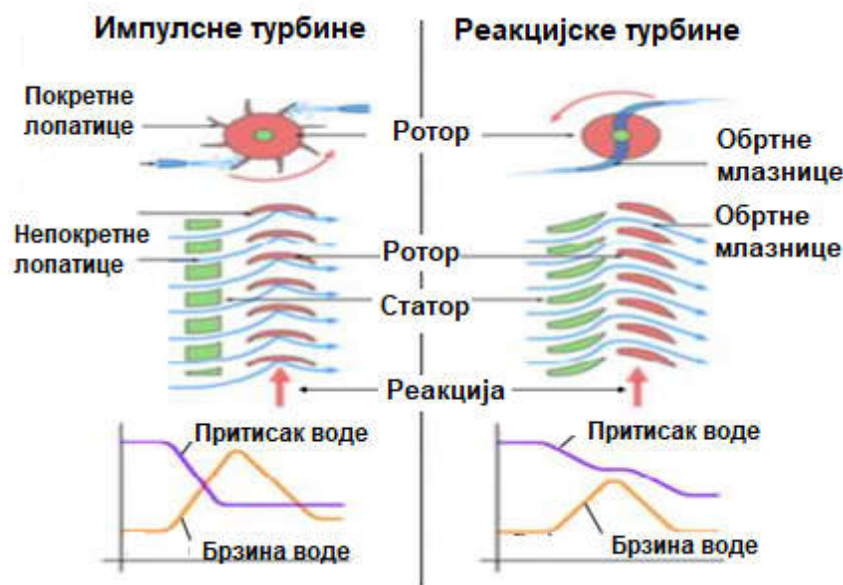
са хоризонталном осовином монтирају се у постројењима мање снаге или кад две Пелтон или Францис турбине погоне један генератор. На улазу у цевовод налази се затварач тзв. предтурбински затварач, који има сигурносну улогу, и он аутоматски спречава даљи доток воде у цевовод ако пукне цев, док постављање затварача на крају притисног цевовода зависи од броја турбина које су спојене на један цевовод.

Водена турбина је погонски уређај у којему се потенцијална енергија воде претвара у кинетичку, а затим променом количине кретања у радном колу, у механичку енергију обртања вратила турбине и генератора. Вратило турбинског радног кола спојено је са генератором у којем се механичка енергија обртања претвара у електричну енергију. Према начину претварања енергије односно према промени притиска воде при струјању кроз радно коло, водене турбине се деле на: предпритисне или реакцијске и турбине слободног млаза, односно акцијске или импулсне турбине. Предпритисним турбинама називају се водне турбине у којима је притисак на улазу у ротор већи од онога на његовом излазу, и у њима се део потенцијалне енергије трансформише у кинетичку енергију у статору, а део у ротору. Заокретање радног кола проузрокује промена количине кретања и реактивне силе, тј. разлика притиска, Кориолисова сила итд. У предпритисне турбине спадају Францисова, Капланова, Пропелерна (Капланова са непокретним роторским лопатицама) и Дериазова турбина. У турбинама слободног млаза притисак је на улазу у ротор једнак притиску на његовом излазу, јер се сва потенцијална енергија трансформише у кинетичку енергију воде у статору турбине. Сила настаје само на основу промене количине кретања због скретања млаза у радном колу. Турбине слободног млаза су Пелтон, Турго као варијанта Пелтонове турбине пројектована да има већу специфичну брзину, и Banki-Michell турбина употребљива за велике водене токове и мање падове од Пелтонове турбине која се обично изводи са хоризонталним вратилом [4].

2.2 Врсте водених (хидрауличких) турбина

Турбина је ротациона машина која добија енергију од покретне воде. Пронађене су још у деветнаестом веку и биле су у широкој употреби за добијање снаге у различитим индустријским процесима, и то пре употребе за производњу електричне енергије, што им је данас главна сврха.

Турбине се деле на реакцијске и импулсне. Тачан облик турбинских лопатица је функција притиска воде која снабдева турбину изабраног типа ротора којег та вода okreће.



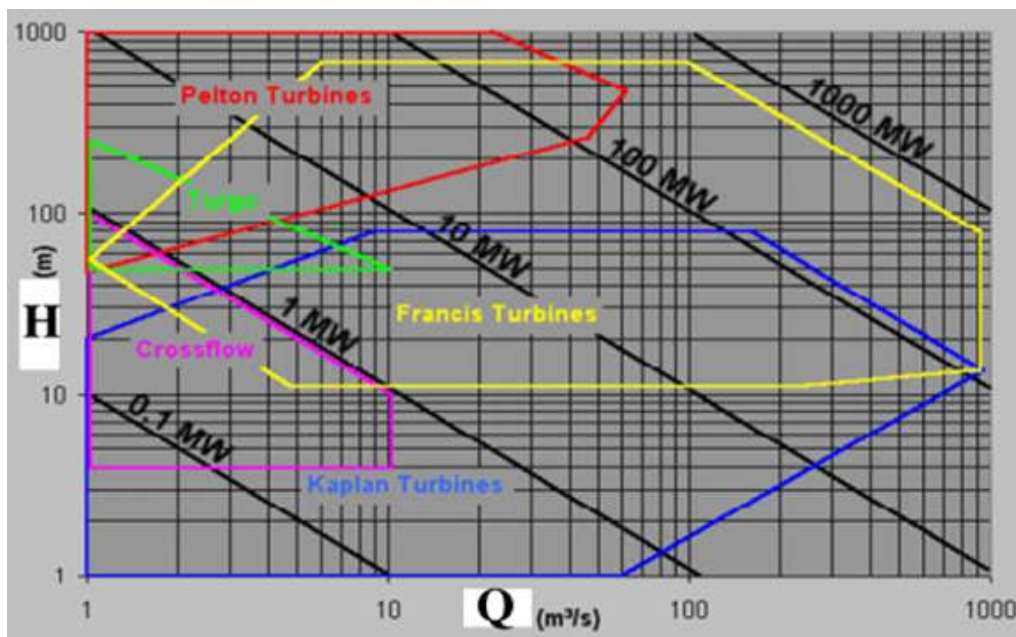
Слика 2.2. Шема импулсне и реакцијске турбине

Како су реакцијске турбине у води, то вода крећући се преко лопатица турбине мења свој притисак као и брзину и предаје колу своју енергију. Овај трансфер енергије са воде на лопатице турбине описује трећи Њутнов закон акције и реакције. Већина турбина које су у употреби су реакцијске турбине и углавном се користе за мале ($H < 30$ м) и средње ($H = 30-300$ м) падове. Код ових турбина пад притиска се појављује и код непокретних и код покретних лопатица, слика 2.2. Од реакцијских турбина најпознатије су Франсисова и Капланова турбина.

Импулсне турбине мењају брзину воденог млаза који великом брзином излази из млазница и удара у искривљене лопатице радног кола које мењају правац воде, слика 2.2. Промена количине кретања, односно импулса воденог млаза, ствара силу којом млаз делује на турбинску лопатицу. За сво време док вода струји преко лопатица притисак јој је константан, па је рад настао искључиво због промене њене кинетичке енергије. Пре удара воде у турбинску лопатицу, притисак воде тј. њена потенцијална енергија због пада H , се у млазници претвара у кинетичку енергију која је усмерена ка лопатици. Како се од тренутка удара млаза у лопатицу притисак воде не мења то онда и није потребно кућиште

турбине за њен рад као што је био случај код реакцијских турбина. Овај трансфер енергије са воде на турбину код импулсних турбина описује други Њутнов закон, односно закон о промени кинетичке енергије. Импулсне турбине су најчешће у употреби код хидроелектрана са великим падовима ($H > 300$ m). Као импулсне турбине најчешће су у употреби Пелтонова, Турго и Мишел-Банкијева турбина.

Уобичајно се Капланове турбине користе при падовима $2 < H < 40$ m, Франсисове за падове $10 < H < 350$ m, Пелтонове за $50 < H < 1300$ m, Турго при $50 < H < 250$ m, што је и приказано на слици 2.3 [2,3].

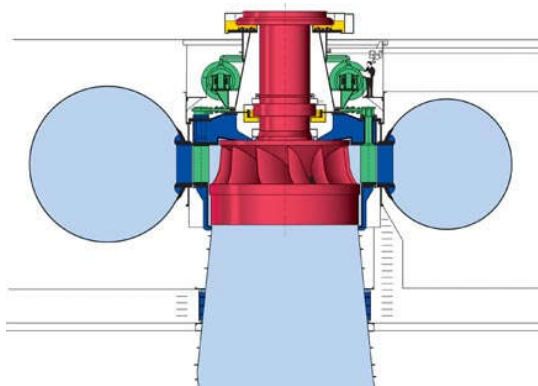


Слика 2.3. Примена турбина у зависности од протока Q и пада H

Тако, на пример при протоку воде $Q = 5$ m³/s и паду $H = 20$ m, снага хидроелектране износи $P = 1$ MW, а у њој се, према слици 2.3. може уградити Франсисова, Капланова или Банкијева турбина. Уколико је пак, проток $Q = 2$ m³/s а пад $H = 60$ m, снага хидроелектране ће такође износити $P = 1$ MW, а од турбина могу бити Франсисова, Турго или Банкијева. За случај великих протока, на пример $Q = 100$ m³/s и при паду $H = 100$ m, када је снага $P = 100$ MW, у хидроелектрану се уграђује искључиво Франсисова турбина. При протоку $Q = 10$ m³/s и при паду $H = 1000$ m, када је снага такође $P = 100$ MW, уграђују се само Пелтонове турбине.

2.2.1 Франсисова турбина

Франсисова турбина је реакцијска турбина коју је 1849. године конструисао Амерички проналаза Џејмс Франсис (*James B. Francis*) и то је данас турбина која је најчешће у употреби. Првенствено се користе у хидроелектранама за производњу електричне енергије и то у веома широком дијапазону пада воде $H = 10 - 650$ м и снаге $P = 10 - 750$ MW, док код мини хидроелектрана оне могу бити знатно мање. Пречници улазне цеви у турбину, слика 2.5., су између 1 и 10 м, док се број обртаја радног кола са лопатицама у минути креће од 85 до 1000, или $1,42$ до $16,7$ s⁻¹. Франсисова турбина се готово увек са генератором спаја преко вертикалне осовине, да би генератор био што удаљенији од воде и да би одржавање целе инсталације било што лакше. Вода улази хоризонтално у цев спиралног облика која омотава турбинско ротирајуће коло, а излази вертикално наниже кроз центар турбине, слика 2.4.

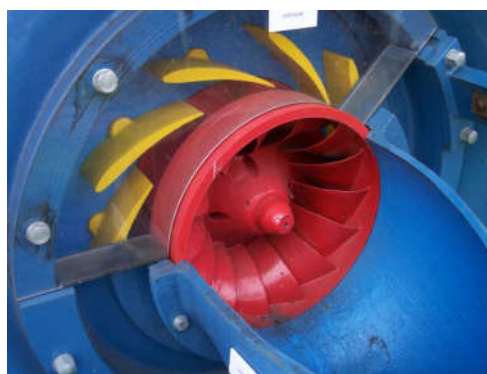


Слика 2.4 Пресек вертикалне Франсисове турбине

На сликама 2.5 и 2.6. приказане су усмеравајуће лопатице при минималном и максималном протоку воде кроз турбинско коло. Оне усмеравају воду тангенцијално на радно коло, тако да ово радијално струјање делује и на лопатице турбине, у исто време их и окрећу.



Слика 2.5. Усмеравајуће лопатице при минималном протоку воде



Слика 2.6. Усмеравајуће лопатице при максималном протоку воде

Вода излази кроз центар кола гдје јој је притисак знатно мањи од оног под којим је она ушла у турбину. На слици 2.7. је приказано коло Франсисове турбине у хидроелектрани снаге 750 MW, а на слици 2.8. Франсисова турбина у највећој хидроелектрани на свету Три клисуре у Кини.



Слика 2.7 Коло Франсисове турбине у хидроелектрани снаге 750 MW



Слика 2.8. Франсисова турбина у хидроелектрани Три клисуре у Кини

За мале хидроелектране могу се применити Франсисове турбине које изгледају као на слици 2.9. и 2.10.



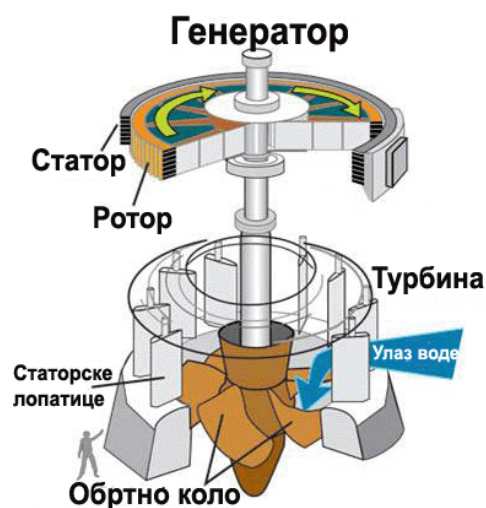
Слика 2.9. Францисова турбина спојена са генератором



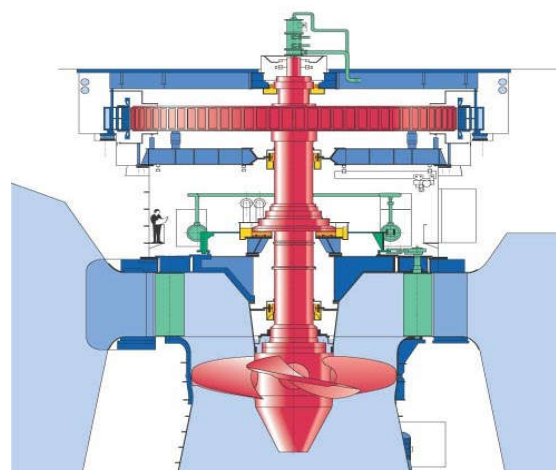
Слика 2.10 Францисова турбина за малу хидроелектрану

2.2.2 Капланова турбина

Капланова турбина је пропелерног типа са лопатицама које се могу подешавати, слика 2.11 и 2.12. Аустријски професор Виктор Каплан развио је 1913. године ову турбину комбинујући аутоматско подешавање пропелерних лопатица турбинског кола са аутоматским подешавањем улазних канала за воду са циљем постизања што веће ефикасности у широком опсегу различитих протока воде кроз турбину, при различитим падовима H .



Слика 2.11 Пресек Капланове турбине и електричног генератора



Слика 2.12 Вертикална Капланова турбина

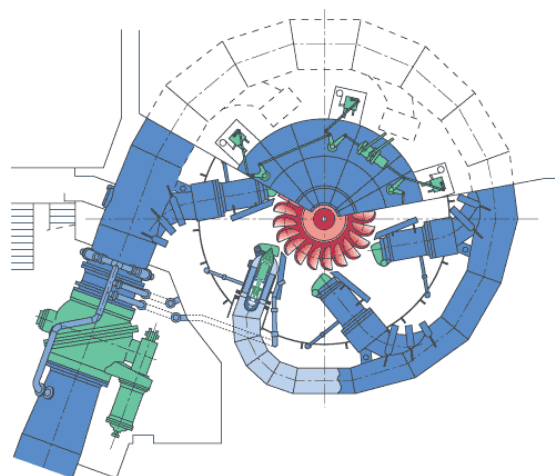
У неку руку се може рећи да је Капланова турбина напреднија Френсисова турбина, у којој се може остварити врло ефикасна производња енергије и при малим падовима (висинска разлика нивоа воде испод улаза у турбину и нивоа воде након излаза из турбине, тј H), а што се није могло остварити Френсисовом турбином. При падовима $H = 10 - 70 \text{ m}$ излазна снага хидроенергетског постројења се креће у границама $P = 5 - 120 \text{ MW}$. Обично је код Капланове турбине број окретаја кола у минути од 80 до 430, док је пречник турбинског кола од 2 до 8 м. Данас су ове турбине у широкој употреби у свету за све оне хидроелектране које захтевају веома велике протоке воде и веома ниске падове.

2.2.3 Пелтонова турбина

Пелтонова турбина, названа по проналазачу Л.А. Пелтону (*Lester Allan Pelton*) из 1870. године, припада групи импулсних турбина. Коло Пелтонове турбине добија енергију окретања из импулса покретне воде која великом брзином излази из млазница и удара у лопатице кола. И пре Пелтонове турбине постојале су различите импулсне турбине код којих је ефикасност у трансферу енергија била врло мала, имајући у виду да је вода након удара у лопатице кола и даље са њих одлазила са прилично великом брзином односећи са собом неискоришћену енергију. Тек је Пелтон, након правилно дефинисане геометрије лопатице и при брзини окретања кола на 50% од брзине млаза воде, успео да вода са лопатица кола одлази са веома малим брзинама, чиме се скоро сва енергија млаза искористила, а самим тим и повећала ефикасност турбине, слика 2.13. и 2.14 [2].



Слика 2.13 Коло Пелтонове турбине



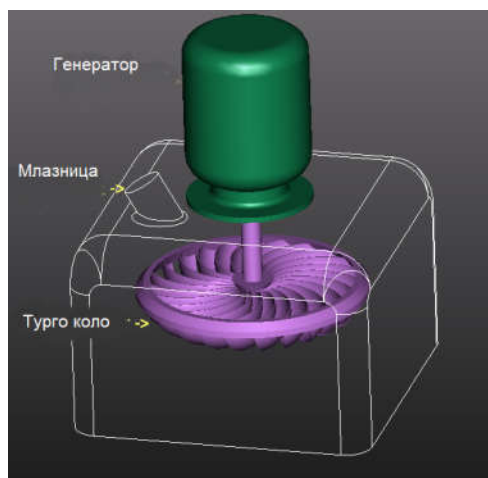
Слика 2.14 Попречни пресек Пелтонове турбине

Вода из млазнице струји у правцу тангенте на обод кола по којем су постављене лопатице у облику кашике, слика 2.14. После удара воде у лопатицу, мења се брзина воде јер она прати и контуру лопатице улазећи у већи простор. При контакту воде и лопатице, вода врши притисак на лопатицу, након чега се вода креће у супротном смеру од почетка удара и успоравају и напушта лопатицу са знатно nižом брзином од оне у тренутку удара. То значи да се количина енергије млаза воде у тренутку удара у лопатицу тј. импулс трансформише у енергију обртања кола, односно у рад турбине. Турбина је због максималне снаге и њене ефикасности конструисана тако да је брзина воденог млаза из млазнице два пута већа од обимне брзине лопатице кола, те је врло мала количина, свега неколико процената кинетичке енергије млаза остала у води. Та чињеница омогућава да се лопатица празни истим интензитетом као што се и пуни водом, што је у скаладу са законом о одржању масе, тако да је проток воде кроз турбину без прекида и константан. Обично се две лопатице састављају и монтирају дуж ивица, тако да заједничка ивица цепа млаз на две симетричне половине, чиме се уравниожежава бочно оптерећење на турбинско коло и

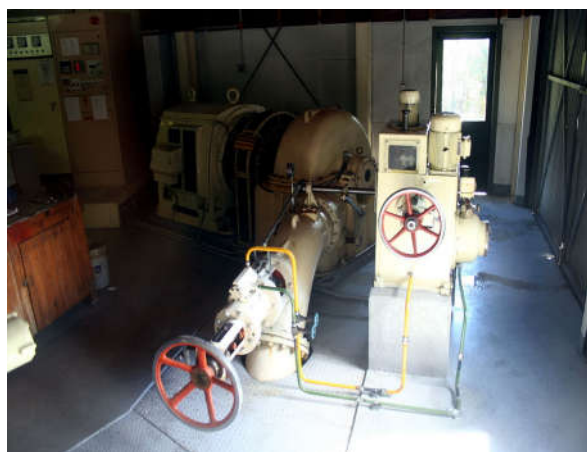
помаже да се обезбеди несметано и ефикасно преношење енергије, односно импулса са воденог млаза на турбинско коло. Готово сво преношење енергије са млаза на лопатицу дешава се у тренутку њиховог контакта, имајући у виду да су вода као и друге течности нестишљиви флуиди за које се сматра да су им густине константне у струјном току [1,2].

2.2.4 Турго турбина

Турго турбина је намењена за хидроелектране са средњим падом H , и припада типу импулсних турбина, при чему коефицијент ефикасности η достиже вредност до 87 %. При лабораторијском тестирању ефикасност може достићи и 90 %. Ова турбина се употребљава за падове H од 20 м до 300 м. Гилкес је 1919. године конструисао турго турбину модификујући Пелтоново коло, и за неке примене показује се да има предности у односу на Франсисову и Пелтонову турбину. Предности се састоје у томе што је ово коло јефтиније направити него Пелтоново коло, није потребно да има херметички затворено кућиште као код Франсисове турбине, има већу специфичну брзину n_s тако да може пропустити кроз коло већу количину воде него што то може при истом пречнику омогућити Пелтоново коло, што доводи до редукције самог генератора а исто тако и до снижења трошкова целе инсталације. Турго турбине се користе код оних хидроелектрана и при оним падовима H где се Франсисове и Пелтонове турбине преклапају.



Слика 2.15 Турго турбина и генератор



Слика 2.16 Турго турбина

И поред тога што данас у свету постоје многе велике Турго инсталације, оне су нарочито популарне као турбине у малим хидроелектранама где ниска цена игра веома важну улогу.

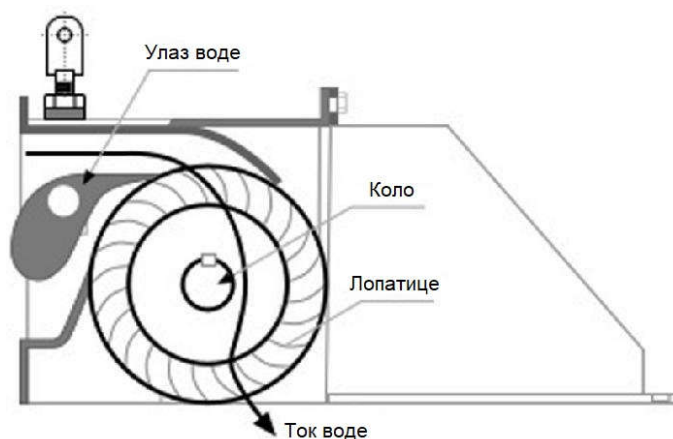
Приликом пролаза кроз лопатице импулсне Турго турбине вода не мења свој притисак и сва њена потенцијална енергија прелази у кинетичку енергију воденог млаза на излазу из млазнице. Веома брзи млаз се усмерава тангенцијално на лопатице турбине које скрећу

водени ток, слика 2.15. и 2.16. Услед промене количине кретања млаза ствара се импулс који покреће турбинско коло, преносећи енергију на окретање турбинског вратила које је спојено са вратилом генератора, док вода излази из кућишта турбине са веома малом енергијом, што показује да је коефицијент ефикасности η изузетно висок. При истој снази пречник кола Турго турбине износи 50 % пречника Пелтоновог кола, а специфична брзина n_s је два пута већа него код Пелтонове турбине. Конструкција лопатица Турго турбине је тако изведена да се кроз коло може пропустити већа количина воде него код Пелтонове турбине, јер при изласку воде из једног лопатичног простора не омета се излазак воде из суседног простора. Вредност специфичне брзине n_s Турго кола се налази између специфичне брзине кола Франсисове и Пелтонове турбине. Турго турбине се изграђује са једном или са више млазница, зависно од снаге турбине. Са повећавањем броја млазница повећава се специфична брзина n_s кола с обзиром да је пропорционална квадратном корену броја млазница. Тако, на пример, четири млазнице дају дупло већу специфичну брзину n_s кола, него кад је у турбину смештена само једна млазница, па се може закључити да ће при већем n_s бити већа и снага P турбине [1,4].

2.2.5 Банки турбина

Ову импулсну турбину су развили Мађар Банки (*Donát Bánki*), Аустралијанац Мичел (*Anthony Michell*) и Немац Озбергер (*Fritz Ossberger*). Мичел је патентирао ову турбину 1903. године, а Озбергер 1933., тако да се компанија коју је основао Озбергер и данас сматра да је лидер у производњи овог типа турбине.

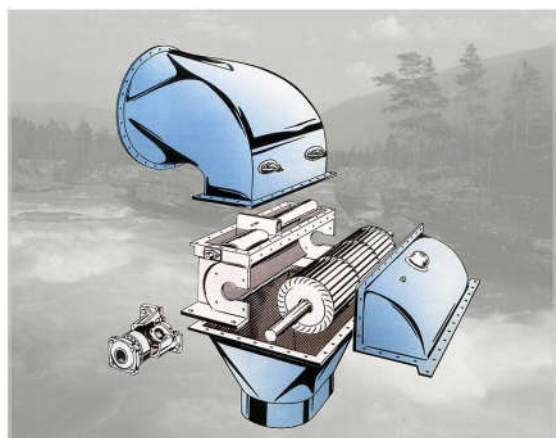
За разлику од наведених турбина код којих је струјање воде кроз турбинско коло било радијално или аксијално, овде вода пролази кроз турбину попречно, односно преко лопатица кола, слика 2.17. Вода улази у турбину са једне стране, прелази преко лопатица, и напушта коло на супротној страни турбине. Током прелажења воде преко лопатица кола турбини се даје додатна ефикасност. Банки турбине су спороходне машине и углавном се смештају у хидроелектранама са малим падом H (m) и високим протоком воде Q (m³/s). Банки турбина углавном садржи две млазнице које су подешене тако да се вода при излазу из њих не меша.



Слика 2.17 Попречни пресек Банки турбине

Ниске цене коштања ових турбина су узроковане њиховом релативно једноставном конструкцијом. Обично се производе као две турбине смештене на истој осовини, и оба турбинска кола имају исте пречнике, али су им лопатице различите ширине, због различите количине воде, обично у односу 1:2, које при истом притиску треба да прихвате те исте лопатице.

Цилиндрично коло Банки турбине налази се на хоризонталном вратилу, а по ободу су радијално постављене лопатице којих има и до 37, слика 2.18 и 2.19. Вода кроз млазнице улази у коло под углом од 45° до 120° .



Слика 2.18 Секција Озбергер турбине



Слика 2.19 Коло Озбергер турбине

Највећа ефикасност је ипак нешто мања него код Франсисове, Капланове или Пелтонове турбине, међутим предност Банки турбине се огледа у томе што има равну криву ефикасности за различита оптерећења. Турбина са овако подељеним турбинским колом и комором, одржава своју ефикасност све док се проток воде и оптерећење мења од $1/6$ па до максимума.

Пошто ове турбине имају ниску цену коштања, а добру регулацију, оне се углавном користе у малим и микро хидроелектранама снага мањих од 2000 kW (2 MW) и при падовима H мањим од 200 м.

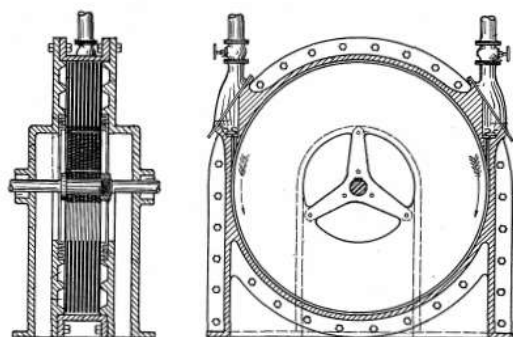


Слика 2.20 Мала деривациона хидроелектрана

С обзиром да је ниво воде у речним токовима обично нижи по неколико месеци, крива ефикасности ове турбине даје боље годишње перформансе него други турбински системи, што је нарочито заступљено код малих деривационих хидроелектрана, слика 2.20. Заправо, ефикасност турбина се огледа у томе да ли је електрична енергија произведена у периодима када је у рекама нижи проток воде. Ако су употребљене турбине са високом максималном ефикасношћу, али су лоше искоришћене с обзиром на мали проток, а то значи при делимичном оптерећењу, добија се онда мањи енергетски учинак него да се користе турбине које имају равну криву ефикасности.

2.2.6 Теслина турбина

Теслина турбина је без лопатица, коју је пронашао Никола Тесла 1913. године. Она уместо лопатица користи деловање граничних слојева између флуида и вишеструких врхова глатких дискова. Због вискозности односно трења флуида као и привлачних сила слојева диска и флуида, ови гранични делови флуида делују на дискове. Ротор је веома чврст, јер нема лопатица нити било каквих истурених делова. Размак између дискова је врло мали, највише 0,4 mm, а површина мора бити веома глатка, слика 2.21 и 2.22. Теслина турбина није доживела комерцијални успех јер у то време се нису могли наћи такви материјали за танке дискове, с обзиром да су се под оптерећењем кривили и деформисали. Тако да се и данас испитују начини примене Теслине турбине, па од 2010. године постоји и конструкција ове турбине за ветроелектране.



Слика 2.21 Теслина турбине без лопатица



Слика 2.22 Теслина турбине

Предност је у коришћењу за мале снаге, а Теслина жеља је била искористити је за коришћење геотермалне енергије. Она има више предности у односу на традиционалне турбинане са лопатицама, а и њена производња енергије није скупа, што значи да би требала производити струју по истој цени као и електрана на угаљ. Како нема лопатица, нижи су и оперативни трошкови, јер одржавање не представља проблем. Турбина се углавном налази на магнетним лежајевима, а предност је и што се сва њена опрема за производњу електричне струје налази на нивоу тла, па и то олакшава одржавање. Завршни трошкови рада ове турбине ће износити око 1,5 милиона америчких долара по kWh или $\frac{2}{3}$ трошкова конвенционалних турбина с лопатицама. Теслина турбина ради тако што користи вискозни ток флуида који покреће турбину и тако ствара енергију. Она има више глатких дискова са млазницама које шаљу флуид према ивицама диска. Флуиди се повлаче по диску следећи начело вискозности и пријањања слоја флуида уз површину. Како флуид успорава и предаје снагу дисковима, тако се он ковитла у средишту испуста. Како ротор нема лопатица, он је снажан и чврст. Дискови у турбини морају бити тесно распоређени да могу користити вискозни ток. Теслина турбина има нарочито танке дискове из разлога да се смање турбуленције на ивицама диска и тако повећа њихова ефикасност [2].

2.3 Типови малох хидроелектрана

Због заштите животне околине, под појмом мала хидроелектрана подразумева се енергетски објекат који искоришћава хидропотенцијал, а истовремено има следећа својства [3]:

1. карактерише их проточни рад или веома мала акумулација, тако да је мали утицај на водоток;
2. паралелан рад са мрежом и уградња асинхроних генератора;
3. ако је инсталисана снага мања од 100 kW нема изградње трафостанице већ се предвиђа постављање трансформатора на стубу;
4. постројење мХЕ се састоји од бране, односно ниског преливног прага који служи да успори водоток пре уласка у доводни канал, доводног канала и/или цевовода, машинске зграде и одводног канала;
5. уместо ниског преливног канала може се употребити тзв. тиролски захват;
6. уколико је доводни канал затвореног типа онда је он предвиђен само за вођење захваћене воде по стрмим обронцима и већим делом је укопан, а може бити и потпуно укопан;
7. ако је доводни канал отвореног типа тада је он предвиђен за веће количине воде и по правилу се налази на мање стрмим теренима;
8. потребно је да цевовод буде што мањих димензија и предвиђен је да воду најкраћим путем доведе до машинске зграде, односно турбине;
9. машинска зграда је што мањих габарита и манипулисање у њој је у потпуности аутоматизовано;
10. Одводни канал је отворен и кратак и њиме се вода враћа из машинске зграде у водоток.

Ова вода је јако обогаћена кисеоником, и рибе се радо задржавајућу овом подручју.

Уколико се при категоризацији и пројектовању малих хидроелектрана пројектант држи ових десет начела утицаји на околину су сведени на минимум.

Код малих хидроелектрана се не практикује изградња великих резервоара или акумулација да би се користиле залихе воде када је то најпотребније, јер је цена изградње релативно велике бране прескупа и економски неисплатива. Међутим, уколико је акумулација већ изграђена за друге сврхе, као што су прикупљање воде за велике градове, наводњавање, заштита од поплаве итд, могуће је тада производити електричну енергију користећи постојећи одвод или природни ток воде из резервоара или акумулације.

У случају да брана није превисока може се уградити сифонски довод, који омогућава конструкцију постројења до 1000 kW, и висине најчешће до 10 м, иако постоје постројења са сифонским доводом инсталисане снаге до 11 MW као што је у Шведској и висине до 35м у Сједињеним Америчким Државама.

Такође постоје две конструкције малих хидроелектрана које користе канал за наводњавање: 1. Уколико је је канал довољно велики за смештај захвата, машинске зграде, одвода и бочног обиласка за воду, и да би обезбедили снабдевање воде за наводњавање, постројење тада мора да садржи бочно обилажење у случају гашења турбине. Овакво постројење захтева пројектовање истовремено када и пројектовање канала за наводњавање, јер би уграђивање у канал који је већ у функцији могло бити врло скупо; 2. Кад канал већ постоји, онда би он требао незнатно да се повећа и то за смештај захвата и прелива. Да би се ширина захвата редуковала на минимум, уграђује се издужени прелив и вода се затим од захвата до турбине доводи кроз цевовод, па се кроз кратки испуст враћа у канал, тако да у каналима углавном нема миграције риба те су и пролази за рибе непотребни [1].

Често се мале хидроелектране уграђују у системе за водоснабдевање града. Наиме, вода за пиће се испоручује у град транспортом воде из повишеног резервоара кроз цевовод под притиском. У таквим врстама инсталације на нижем крају цевовода, тј. на уласку у постројење за прочишћавање воде, губитак енергије воде се ублажава коришћењем специјалних вентила. И зато је постављање турбине на крај цевовода потпуно оправдано. Ради обезбеђивања трајног снабдевања водом мора бити уграђен систем обилазних вентила. Код неких система за водоснабдевање турбина има испуст у отворени базен или језеро, где систем за контролу одржава ниво воде у њему, чак и случају механичког застоја или застоја турбине. Када главни обилазни вентил испадне из погона појављује се предпритисак, тако да се помоћни обилазни вентил одмах отвара. Контролни системи су још сложенији за случај кад је излаз из турбине подвргнут противпритиску водене мреже.

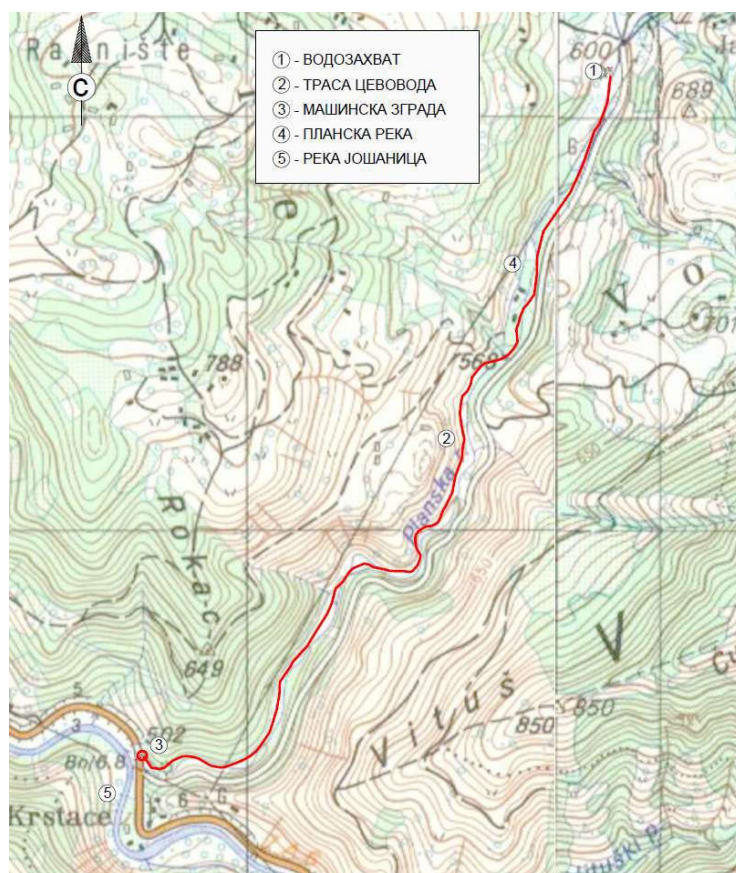
3. ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК

3.1. Израда машинског пројекта МХЕ Витуш

За потребе инвеститора потребно је изградити техничку документацију пројекта за грађевинску дозволу машинске опреме за МХЕ Витуш на Планској реци. Овај пројекат заједно са пројектом електроопреме и електроинсталација, као и хидрограђевинским пројектом је саставни део пројекта за грађевинску дозволу за МХЕ Витуш.

Локација МХЕ „Витуш“ се налази на Планској реци која је десна притока реке Јошанице, на територији општине Рашка, на територији ПД за дистрибуцију електричне енергије „Електросрбија“ Краљево д.о.о.

Хидротехнички систем МХЕ „Витуш“ састоји се од Водозахвата са таложницом и рибљом стазом на Планској реци, цевовода са течењем под притиском и Машинске зграде са каналом за спој са доњом водом.



Слика 3.1 Географски приказ смештене локације са сасзавним деловима

Водозахват МХЕ „Витуш“ је Тиролског типа са таложницом у десном боку и рибљом стазом у левом боку и налази се на делу катастарске парцеле к.п.бр.4304 и 3931/2 К.О. Ковачи општина Рашка [5].

Цевовод DN 600 mm, NP 10 и NP 16 бар са течењем под притиском који се налази на к.п.бр. 1742/1, 1742/2, 3928, 3930, 3932, 3934, 3935, 3937, 3938, 3945, 3947, 3953, 3948/1, 3948/2, 4304, 4291, 4289 све К.О. Ковачи општина Рашка. Укупна дужина цевовода је 2450 m [5].

Машинска зграда са одводним каналом за смештај агрегата, машинске и електроопреме, налази се на катастарској парцели к.п.бр. 1742/2 К.О. Ковачи. Концепција и функционално решење зграде условљено је типом и бројем агрегата, а у нашем случају то је једна Пелтон турбина, као и одводним каналом којим се вода враћа у корито Планске реке.

3.2 Хидролошке подлоге

За потребе израде техничке документације израђен је Хидролошки елаборат који је дат у Главном хидро-грађевинском пројекту (Пројекту за грађевинску дозволу) МХЕ Витуш.

У предметном елаборату су дате основне хидролошке карактеристике слива, прорачун максималних вода у профилу водозахвата, прорачун средње воде, мале воде и прилози. На резултате спроведеног хидролошког пројекта је добијено Мишљење Републичког хидрометеоролошког завода. Усвојене су следеће вредности [5]:

Велике воде: $Q_{0.1\%} = 119,10 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_{1\%} = 63,10 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_{2\%} = 50,60 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_{5\%} = 36,00 \text{ m}^3/\text{s}$

Средње воде: $Q_{ST} = 0,289 \text{ m}^3/\text{s}$

Мале воде трајања 30 дана: $Q_{mv,95\%} = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$

Основни елементи техничко-технолошке целине МХЕ Витуш:

- ВОДОЗАХВАТ - Тиролски водозахват укупне висине преграде од око 3,20 метра са котом горње воде на 597 метара надморске висине на левој страни Планске реке на катастарским парцелама 4304 и 3931/2 К.О. Ковачи.

- ЦЕВОВОД – полисетерски цевовод дужине 2,45 km са пречником од 600 mm, који ће бити постављен по граници водног земљишта у парцелама за које је инвеститор решио имовинско правне односе и који је у складу са урбанистичким пројектом на основу којег је издата локацијска дозвола.
- МАШИНСКА ЗГРАДА- машинска зграда ће бити изграђена на левој обали Планске реке на катастарској парцели бр.1742/2 К.О. Ковачи, на 499 метара надморске висине која је у власништву инвеститора и која је приведена намени.

3.3 Основни подаци који су преузети из хидро-грађевинског пројекта МХЕ „Крепољин“

На основу израђених подлога, прикупљених података, извршених прорачуна и захтева Инвеститора усвојени су основни елементи МХЕ Витуш.

Инсталисани протицај, бруто и нето пад:

Инсталирани протицај:	$Q_{ins} = 0,550 \text{ m}^3/\text{s}$
Бруто пад:	$H_{bT} = 97,50 \text{ m}^3/\text{s}$
Нето пад:	$H_n = 85,53 \text{ m}^3/\text{s}$

Предвиђен је инсталисани протицај од $Q = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ при чему је $k = Q_{ins} / Q_{ST} = 1,903$

Изабрани пречник, називни притисак и материјал цевовода

Након извршеног трасирања цевовода добијена је дужина трасе: $L = 2450 \text{ m}$

На основу извршених хидрауличких проби, прикупљених јединичних цена цевовода различитог пречника, а уз консултације и одобрење инвеститора изабран је пречник цевовода DN600 mm.

Називни притисак цевовода је усвијен на основу максималног притиска који се може очекивати у цевоводу при нормалном раду ($P = 10 \text{ bar}$) који је увећан за 50%.

Усвојене су цеви за називни притисак $NP 16 \text{ bar}$ у доњој зони цевовода ка машинској згради и $NP 16 \text{ bar}$ у горњој зони цевовода ка водозахвату.

Врста цеви, тј. материјал од којег су направљене цеви је инвеститор одредио, и усвојена је [5]:

Врста цеви **GRP (Glass Reinforced Polyester) SN 5000**

Инвеститор од пројектанта захтева следеће [5]:

1. Извршити прорачун и дефинисати инсталисани проток турбине и нето пад на основу хидролошких подлога.
2. Дефинисати их тако да при оптималном раду МХЕ дају највећу производњу електричне енергије.
3. Извршити прорачун укупних хидрауличких губитака (енергетских губитака) у целом систему за транспорт воде и на основу ових губитака изабрати пречнике цевовода.
4. На основу резултата прорачуна Q и H параметара изабрати тип турбине и дефинисати турбине.
5. Дати све потребне графичке прилоге и цртеже објекта у одговарајућој размери који одговара нивоу главног машинског пројекта.
6. Да да технички опис остале пратеће хидромашинске опреме.
7. Да изабере одговарајућу дизалицу за монтажу и касније одржавање турбина, генератора и остале турбинске опреме.
8. Да одреди времена затварање лептирастих затварача, са циљем избегавања хидрауличног удара, односно појаве потпритиска у цевоводу.
9. Да процени трошкове за машинску опрему.

3.4 Технички опис

3.4.1 Увод

Мала хидроелектрана (МХЕ) "Витуш" налази се у општини Рашка, на Планској реци.

Предмет овог пројекта је машинска опрема, део којим је дефинисано техничко решење и дати детаљи на нивоу пројекта за грађевинску дозволу МХЕ Витуш.

Хидротехнички систем МХЕ Витуш се састоји од водозахвата са таложницом и рибљом стазом, цевовода и машинске зграде са водном комором и каналом за спој са доњом водом.

У наставку су дати основни подаци о локацији објекта.

Вода се захвата преко водозахвата на Планској реци. Из таложница које се налазе непосредно поред водозахвата вода се упушта у цевовод у којем се остварује течење под притиском и транспортује до машинске зграде. У машинској згради је смештена опрема (турбине, генератор, трансформатор, аутоматика, идр..). Од машинске зграде вода се преко одводног канала упушта у корито Планске реке.

3.4.1.1. Водозахват

Тиrolски водозахват укупне висине преграде од око 3,20 метра са котом горње воде на 597 метара надморске висине на левој страни Планске реке на катастарским парцелама 4304 и 3931/2 К.О. Ковачи.

Изабран је "Тиrolски" водозахват који се састоји од од следећих елеманата:

- Преливна преграда са низводним осигурањем,
- Прелив за загарантовани еколошки протицај (биолошки минимум),
- Рибља стаза,
- Захватни канал са решетком смештен дуж прелива,
- Таложница,
- Хидролошка станица за систематско праћење протока воде.

Основне димензије и коте водозахвата:

Кота нормалног успора (уједно и кота преливне ивице):	KNU = 597,80 mm
Кота дна реке на профиле преграде:	KDR = 596,10 mm
Кота темеља преграде:	KTP = 594,60 mm

Кота прелива за загарантовани протицај (биолошки минимум):	$KBM = 597,67 \text{ mm}$
Кота зида таложнице:	$KZT = 600,00 \text{ mm}$
Висина преграде изнад терена:	$h = 1,70 \text{ m}$
Укупна висина преграде:	$H = 3,20 \text{ m}$
Укупна дужина преграде са низводним осигурањем:	$L = 11,65 \text{ m}$
Ширина преливне ивице преграде:	$B = 6,00 \text{ m}$
Ширина преливне ивице за загарантовани протицај (биолошки минимум):	$b = 0,70 \text{ m}$
Инсталисани протицај водозахвата:	$Q_{inst.} = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$
Загарантовани еколошки протицај (биолошки минимум = 20% Q_{sr}):	$Q_{b.m.} = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$

Преливна преграда са низводним осигурањем

Анализом теренских услова, а у првом реду морфологије, геоморфологије и геотехничких услова на профилу речног корита на месту преграде као и услов да се преко преграде мора прелити релативно велики протицај меродавне велике воде усвојена је бетонска гравитациона преливна преграда.

Хидрауличко-статичком анализом односа висине преливног млаза меродавне велике воде и дужине преграде, усвојена је гравитационо-преливна преграда од набијеног бетона са преливом обликованим по Кригер-Офицеровој функцији.

За обликовање прелива усвојена је велика меродавна вода вероватноће појаве једном у 50 година тј. $Q_{2\%}$ при чему су добијена висине преливног млаза од $H_p = 2,20 \text{ m}$ са дужином преливне ивице $b = (6,00 + 0,90) \text{ m}$

Усвојена је дубина фудирања од око 1,50 m са напоменом да се дубина фундирања мора прилагодити самим теренским условима и појавама приликом ископа за темељ преграде [5].

Пре изградње објекта неопходно је извршити геомеханичка испитивања како би се утврдио дозвољени напон притиска на стену, коефицијент трења и кохезија. Повећање дубине фундирање ће се извршити у случају да наведени параметри не одговарају предпостављеним параметрима у прорачуну о чему одлучује надзорни орган уз консултацију са пројектантом. Евентуално повећање дубине фундирања се односи само на повећање дубине фундирања узводног темељног зуба преграде ради спречавања

евентуалне филтрације испод преграде и осигурања стабилности преграде уколико на контакту стене и темеља нема задовољавајуће кохезије.

Прелив за загарантовани еколошки протицај (биолошки минимум)

У десном боку преливне преграде предвиђена је изградња преливне ивице за обезбеђивање загарантованог еколошког протока (биолошки минимум). Кота ове преливне ивице је за 13 cm нижа од преливне ивице преграде. Преливна ивица за обезбеђивање загарантованог еколошког протока је ширине 70 cm и преко ње се вода упушта у рибљу стазу одакле се непосредно низводно од преливне преграде враћа у речни ток.

Овако формирана висина преливања од 13 cm са преливном ивицом дужине 70 cm, заједно са рибљом стазом, гарантује да се непосредно низводно од преливне преграде обезбеђује загарантовани еколошки протицај од

$$Q_{b.m.} = 20\% \times Q_{ST} = 0,20 \times 0,289 = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$$

(дефинисано мишљењем и водним условима).

Рибља стаза

Рибља стаза чини хидротехничку целину са преливом за загарантовани еколошки протицај. Смештена је у десном боку тела преливне преграде и састоји се канала са преградним зидовима- платнима.

Захватни канал са решетком

Захватни канал је смештен у телу преграде дуж преливне ивице и његова ширина је $B = 0,70 \text{ m}$, највећа висина $H = 1,00 \text{ m}$, а пад дна 5%. Овако димензионисан канал обезбеђује захватање инсталисаног протицаја од $Q_{inst} = 0,550 \text{ m}^3/\text{s}$. Преко захватног канала се поставља решетка која се ослања на убетониране “L” профиле.

На крају захватног канала (на улазу у таложницу) смештен је табласти зидни затварач који има вододрживост са све четири стране димензија 70x70 cm.

Таложница

Таложница се налази у левом боку водозахвата и у њу се улива вода из захватног канала.

Састоји се од предкоморе, коморе, песколова и сужења за спој са цевоводом. Након таложења вода пролази кроз фину решетку пре уласка у цевовод.

На низводном зиду таложнице је кружни отвор са убетонираним елементом на који се спаја цевовод.

Хидролошка станица за систематско праћење протока воде

Узводно од преливне преграде у продужетку таложнице је предвиђена изградња зида на који се монтира лимниграф. На основу забележене висинске разлике између коте водостаја и коте прелива могуће је из дате криве протока одредити протицај реке.

Опис конструкције водозахвата

Сви конструктивни елементи преграде и пратећих грађевина и објеката су од хидротехничког неармираног и армираног бетона МБ-30.

Предвиђено је да се водозахват ради по деловима и то следећим редом:

- први део: таложница
- други део: рибља стаза са бочним зидом
- трећи део: средња кампада преливне преграде
- четврти део: лева и десна кампада преливне грађевине
- пети део: крилни зидови управни на ток реке

На саставу описаних делова и кампада су дилатационе спојнице ширине 2 cm. По вертикали спојница уграђује се заптивне гумене траке. Унутрашња испуна дилатационих спојница је тврди стиропор а спољна испуна је од цементног малтера на дубини од око 10 cm.

Осигурање дна низводно од преливне преграде је дужине 6,00 m. Дно осигурања је од хидротехничког бетона дебљине 0,5 m. Предвиђено је да се осигурање дна ради у 3 кампање са дилатационим спојницама [5].

3.4.1.2.Цевовод

Полисетерски цевовод дужине 2,45 km са пречником од 600 mm, који ће бити постављен по граници водног земљишта у катастарским парцелама к.п.бр. 1742/1, 1742/2, 3928, 3930, 3932, 3934, 3935, 3937, 3938, 3945, 3947, 3953, 3948/1, 3948/2, 4304, 4291, 4289 све К.О. Ковачи општина Рашка и за које је инвеститор решио имовинско правне односе и који је у складу са урбанистичким пројектом на основу којег је издата локацијска дозвола.

На захтев Инвеститора пројектован је цевовод од цеви GRP (*Glacc Reinforced Polyecter*) SN 5000 пречника DN600 mm и то [5]:

Цевовод са течењем под притиском:

DN600	NP 10	L = 1850,00 m (km 0 + 600,00 do km 2 + 450,00)
DN600	NP 16	L = 600,00 m (km 0 + 000,00 do km 0 + 600,00)

Хоризонтално и вертикално вођење цевовода је дефинисано теменима.

Ширина рова за цевовод за DN600 је 1,30 m. Цеви се полажу на слој песка дебљине минимум 10cm, док се на делу где је потребна замена материјала поставља слој до 30cm. Цеви су заштићене слојем песка дебљине 40cm изнад цеви као и песком по боковима. Остатак рова се попуњава материјалом из ископа. Усвојена је минимална висина надслоја изнад темена цеви од 1,00 m.

У прилогу пројекта је дат карактеристични пресек рова.

Осигурање цевовода на хоризонталним и вертикалним преломима-луковима се постиже изградњом бетонских блокова. Уколико се прелом трасе састоји из више делова т.ј. од више лукова међусобно повезаних спојницама, потребно је анкер блоком осигурати све лукове из којих се састоји прелом на траси.

Траса цевовода је пројектована тако да се на целој својој дужини цевовод налази у расположивим парцелама.

Током постављања цевовода у исти ров је потребно и поставити сигнални и енергетски кабл у свему према решењу датом у пројекту– електро део [5].

3.4.1.3. Машинска зграда

Положај зграде мале хидроелектране је одређен топографијом терена. Положај машинске зграде такође је одређен и одводним каналима који морају бити тако постављени да вода која излази из њих не еродира обале и дно Колске реке, односно да има миран ток.

Објекат машинске зграде мале хидроелектране има приземне габарите 10,6 x 6,25 m, бруто површине 66,25 m², а испод ње је одводни канал са турбинским одводом који је уграђен у армиранобетонске склопове.

Машинска зграда састоји се из једне просторије у којој је смештен агрегат, електрохидраулични актуатор, цевовод под притиском са комплетном арматуром, нисконапонски-управљачко разводни орман, исправљач са батеријама, вентилатори за елиминацију загрејаног ваздуха, бројило електричне енергије и противпожарни апарати. Унутар зграде у посебној просторији која се налази смештен је кућни и енергетски трансформатор са сабирницама и осталом средњенапонском електро-опремом.

Машинска зграде за смештај агрегата, машинске и електроопреме, са водном комором и каналом за спој са доњом водом ће бити изграђена на левој обали Планске реке на катастарској парцели бр. 1742/2 К.О. Ковачи општина Рашка на 499 метара надморске висине која је у власништву инвеститора и која је приведена намени.

Да би се обезбедио што већи нето пад, а са друге стране што повољније испуштање воде у корито реке, усвојена је кота пода машинске зграде од 499,00 mm. Ова кота је усвојена на основу следећих критеријума:

- Кота пода машинске зграде мора бити изнад коте велике воде која се јавља једном у сто година;
- Тежило се да кота пода машинске зграде буде што нижа како би се добио што већи расположиви нето пад;
- Кота пода машинске зграде не сме бити нижа од приступног пута како би се омогућио неометан приступ за монтажу опреме.

Машинска зграда се састоји из следећих целина:

- Одводни канал за спој са доњом водом са узводном котом дна 497,00 mm и низводном котом на уливу у Планску реку од 496,70 mm. Одводни канал је земљани.
- Доња водна комора са котом дна 497,10 mm
- Просторија за смештај опреме са котом пода 497,00 mm
- Просторија за смештај трансформатора са котом пода 497,00 mm
- Просторија за смештај хелија и мерног ормана са котом пода 497,00 mm

3.4.2 Коришћене подлоге – Хидролошке подлоге

Разматрано сливно подручје Планске реке са гледишта хидролошке изучености, припада категорији хидролошки делимично неизучених сливова, те су примењене методе за неизучене сливове, као и методе за делимично изучене сливове, које се користе у хидролошкој пракси.

У основи примењене методологије базирају се на успостављању просторних зависности између различитих хидрометеоролошких променљивих у ширем региону и просторној интерполацији добијених резултата на разматрани хидролошко неизучени профил. При томе се тежи да се одабере једна или више хидролошких станица као "аналог", са веома сличним физичко-географским и морфолошким карактеристикама слива, као и разматрани хидролошки неизучени профил [5].

Примењујући исти принцип аналогности, дефинисана је и расподела минималних средње месечних протицаја и криве трајања средње дневних протицаја у профилу водозавата МХЕ "Витуш". Резултати тих прорачуна дати су у табелама 3.1 и 3.2.

Табела 3.1: Статистичке вредности средње месечних протицаја у профилу ВЗ МХЕ „Витуш“

Oznaka %	Q _{sr.mes} (m ³ /s)											
	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VII I	IX	X	XI	XII
K _{sr}	0,830	0,934	1,418	1,938	1,765	1,211	0,830	0,588	0,623	0,588	0,727	0,795
Q _{sr.mes} (m ³ /s)	0,24	0,27	0,41	0,56	0,51	0,35	0,24	0,17	0,18	0,17	0,21	0,23

Табела 3.2: Координате криве трајања протицаја у профилу БЗ МХЕ „Витуш“

Oznaka %	Q _{sr.mes} (m ³ /s)													
	1	2	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K _{sr}	4,53	3,63	2,63	1,93	1,59	1,42	1,11	0,86	0,72	0,62	0,52	0,41	0,38	0,14
Q _{sr.dn} (m ³ /s)	1,31	1,05	0,76	0,56	0,46	0,41	0,32	0,25	0,21	0,18	0,15	0,12	0,11	0,04

На основу корелационе анализе на основу вишегодишњих просечних протицаја и површине слива одређени су средње месечни протицаји Млаве у профилу водозавата МХЕ Крепољин и датису у табели 3.3.

Табела 3.3: Статистичке вредности средње месечних протицаја у профилу водозавата МХЕ Крепољин

Oznaka %	Q _{sr.mes} (m ³ /s)											
	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VII I	IX	X	XI	XII
K _{sr}	1,064	1,345	2,004	2,232	1,348	0,906	0,446	0,334	0,254	0,355	0,526	0,893
Q _{sr.mes} (m ³ /s)	4,77	6,03	8,98	10,0	6,04	4,06	2,00	1,50	1,14	1,59	2,36	4,00

У складу са препорукама као меродавни минимални протицај („биолошки минимум”), који се мора оставити у рекама за потребе одржавања биодиверзитета, износе:

$$Q_{\text{bio.min}} = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$$

На основу разматрања у претходним табелама може се усвојити да инсталирани протицај у МХЕ када се од месеца где имамо максимални проток одузме биолошки минимум:

$$Q_{\text{in.max}} = Q_{\text{april}} - Q_{\text{bio.min}}$$

$$Q_{\text{in.max}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

По договору са инвеститором, сагледавајући све економске аспекте пројекта усвојене су следеће вредности инсталираних протицаја:

Усвојени инсталирани протицај :

$$Q_{\text{in.max}} = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

На резултате спроведеног хидролошког пројекта је добијено Мишљење Републичког хидрометеоролошког завода. Усвојене су следеће вредности:

Велике воде: $Q_{0,1\%} = 119,10 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{1\%} = 63,10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{2\%} = 50,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{5\%} = 36,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

Средња вода:

$$Q_{\text{ST}} = 0,289 \text{ m}^3/\text{s}$$

Мале воде трајања 30 дана: $Q_{\text{mv},95\%} = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$

4.0 ПРОРАЧУНИ

4.1 Избор инсталисане висине за МХЕ „Витуш“ у условима постојећег водног режима реке

Инсталисана снага МХЕ зависи од много параметара, а најважнији су нето инсталисани пад и количина воде односно инсталисани проток. Бруто инсталисана висина МХЕ може се добити на основу израза:

$$H_{br}=KGV-KDR$$

тако да добијамо следеће вредности бруто инсталисаних висина:

$$H_{br}=KGV-KDR=240,45-215,65=24,80 \text{ m}$$

За транспорт воде цевима данас се користе армирани бетон, челик и разни пластични или композитни материјали. Ова МХЕ има цевовод под притиском и линијски хидраулични губици који неће бити мали умногоме зависе од избора материјала цевовода.

Челичне цеви се одликују великом чврстоћом зато се користе у системима под притиском и у условима који захтевају отпор динамичким утицајима и савијањима. Израђују се од челичног лима с уздужним или спиралним варењем (шавне цеви). Ове цеви имају добра хидрауличка својства, мада у односу на РЕ и PVC цеви имају већи коефицијент трења. Мана челичних цеви је осетљивост на корозију, што захтева посебне заштитне премазе да би се то спречило [5].

Цеви од полиетилена се одликују високом флексибилношћу и малом специфичном масом што омогућава лак транспорт и једноставну уградњу. Корозиона резистентност, хемијска постојаност, отпорност на хабање уз високу унутрашњу хидростатичку отпорност гарантују дуг животни век овим цевима. Лоше стране пластичних цеви су: знатно истезање на високим температурама, запаљивост, опадање чврстоће код температура већих од 20°C, крутост PVC цеви на температурама мањим од 0°C.

На основу техноекономских анализа о цевоводима која су извршене, изабран је GRP (*Glass Reinforced Polyester – SN5000*) цевовод, па ће сви прорачуни који буду вршени у овом пројекту бити везани за напоменути тип цевовода. У даљим фазама пројектовања и у договору са инвеститором биће донета коначна одлука о избору материјала цевовода [5].

Нето инсталисана висина се може добити ако се од бруто инсталисане висине одузму губици, који се прорачунавају на основу следећих улазних параметара који ће бити коришћени у даљим прорачунима:

- Инсталисани проток: $Q_{in} = 0,55 \text{ m}^3/\text{s}$
- Дужина цевовода: $L = 2450 \text{ m}$
- Унутрашњи пречник цевовода: $D = 0,6 \text{ m}$
- Кота горње воде: $KG V = 597 \text{ m}$
- Кота дна реке: $KDR = 497,8 \text{ m}$
- Кота доње воде: $KDV = 499,5 \text{ m}$
- Усвојена класа цеви: $PN16 ; P = 16 \text{ bar}$
- Дебљина зида цеви: $\delta_c = 15 \text{ mm}$

Прво је неопходно одредити брзину струјања флуида у цевоводу на инсталисаном протоку према следећој једначини:

$$v_c = \frac{4 \cdot Q_{in}}{D^2 \cdot \pi}$$

Укупни енергетски губитци при инсталисаном протоку могу се срачунати као збир свих губитака који се јављају у цевоводу и пратећим арматурама.

$$H_{gub} = \Delta E = \Delta E_{ul} + \Delta E_{lin} + \Delta E_{kr} + \Delta E_r + \Delta E_z$$

- $\Delta E_{ul}(m)$ – Губитак енергије на улазу у цевовод

$$\Delta E_{ul} = \xi_{ul} \frac{v_c^2}{2 \cdot g} = 0,05 \cdot \frac{1,945^2}{2 \cdot 9,81} = 0,0096 \text{ m}$$

$\xi_{ul} = 0,05 \div 0,10$ - коефицијент локалних губитака за јако заобљене улазне ивице

- $\Delta E_{lin}(m)$ – Линијски губитак енергије у цевоводу

Према препорукама произвођача ГРП-цеви за срачунавање линијских губитака у цевоводу користе се две методе: Manning-ова и Hazen-Williams метода:

- Manning-ова метода:

$$\Delta E_{lin} = H_f = L \cdot S = L \cdot \frac{Q^2 \cdot n^2}{0,0973 \cdot D^{16/3}} = 9,402 \text{ m}$$

$n = 0,009$ – Manning-ов коефицијент храпавости на GRP цеви

- Hazen-Williams метода:

$$\Delta E_{lin} = H_f = L \cdot S = L \cdot \frac{Q^{1,85}}{0,08905 \cdot C^{1,85} \cdot D^{4,87}} = 10,214 \text{ m}$$

$C = 150$ – Hazen-Williams-ов коефицијент храпавости за GRP цеви

- $\Delta E_{kr}(m)$ – Губитак енергије на кривинама у цевоводу

$$\Delta E_{kr} = \sum \xi_{ul} \frac{v_c^2}{2 \cdot g} = 12,25 \cdot \frac{1,945^2}{2 \cdot 9,81} = 2,362 \text{ m}$$

$\sum \xi_{ul}$ – Сума коефицијената губитка на кривинама цевовода

- $\Delta E_r(m)$ – Губитак енергије на редукцији (конфозору) цевовода

$$\Delta E_r = \sum \xi_r \frac{v_{c450}^2}{2 \cdot g} = 0,1443 \cdot \frac{3,458^2}{2 \cdot 9,81} = 0,088 \text{ m}$$

$$\xi_r = \frac{0,8 \cdot \sin(\mu/2)(1 - A_{iz}/A_{ul})}{(A_{iz}/A_{ul})} = \frac{0,8 \cdot \sin(15^\circ/2)(1 - 0,5625)}{(0,5625)^2} = 0,1443$$

$\xi_r = 0,2 \div 0,5$ – коефицијент губитка на лептирастом затварачу

$$\frac{A_{iz}}{A_{ul}} = \frac{D_{iz}^2}{D_{ul}^2} = \frac{0,45^2}{0,6^2} = 0,5625$$

ξ_r – Коефицијент губитка на редукцији (конфузору)

- $\Delta E_z(m)$ – Губитак енергије на леотирастим затварачу

$$\Delta E_z = \xi_z \frac{v_{c450}^2}{2 \cdot g} = 0,2 \cdot \frac{3,458^2}{2 \cdot 9,81} = 0,122 \text{ m}$$

$$v_{c450} = \frac{4 \cdot Q_{in}}{D^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,55}{0,45^2 \cdot \pi} = 3,458 \text{ m/s}$$

Према томе збир локалних губитака у цевоводу износи

$$H_{\text{gub}} = \Delta E = \Delta E_{\text{ul}} + \Delta E_{\text{lin}} + \Delta E_{\text{kr}} + \Delta E_r + \Delta E_z$$

па је према томе:

$$\Delta E = 0,0096 + 9,402 + 2,362 + 0,088 + 0,122$$

За усвојени цевовод пречника $\varnothing 600 \text{ mm}$ добија се да су хидраулички губици у цевоводу под притиском:

$$H_{\text{inst}} = H_{\text{brut.}} - \Delta h = 97,50 - 11,98 = 85.52 \text{ m}$$

4.2 Димензионисање дебљине зида челичног цевовода под притиском на споју GRP-цевовода и турбина

Пошто је усвојени цевоводи од GRP-цеви, спој цевовода и турбина биће изведен челичном рачвом са прирубницама DN600 за спој са цевоводом и DN450 за спој са турбином и лептирастим затварачем [5].

Прорачун дебљине зида цеви на основу материјала, пречника и притиска цеви:

$$\delta = \frac{p \cdot d \cdot S_F}{2 \cdot \varphi \cdot R_{p0,2}} + C_1 + C_2$$

где је:

Вредност притиска у цеви: $p = 16 \text{ bar} = 1600 \text{ kN/m}^2$

Унутрашњи пречник цеви: $d = 0,6 \text{ m}$

Вредност степена сигурности S_F за цеви без атеста за проток флуида са ударима:

$$S_F = 2,5 - 4$$

Напон течења:

$R_{p0,2} = 240 \text{ MPa} = 240000 \text{ kN/m}^2$ - који је изабран из табеле 4.1

Табела 4.1: Затезна чврстоћа R_m и напон течења $R_{p0,2}$ челика за лимове и цеви

Ознака	$R_m, \text{N/mm}^2$	$R_{p0,2}, \text{N/mm}^2$
Č.0000	330 - 500	150
Č.0261, Č.0271	340 - 420	210
Č.0361, Č.0371	370 - 450	240
Č.0461, Č.0471	420 - 500	260
Č.0561, Č.0562	520 - 620	360
Č.1212, Č.1214	350 - 440	240
Č.1213, Č.1215	450 - 550	260
Č.1402	550 - 650	300
Č.1502	650 - 750	400
Č.3100	520 - 620	360
Č.3130, Č.3131	650 - 800	420

Коефицијент слабљења цеви за цеви обострано заварене, жарене, испитане: $\varphi = 0,9$

На дебљину зида δ цеви додају се још и:

$C_1 \cong 0,0005m$ - додатак због нетачности израде, тј толеранција у производњи

$C_2 \cong 0,001 - 0,0015m$ - додатак због корозије и трошења цеви током експлоатације

Стога прорачунски добијена дебљина цевовода за рачву:

$$\delta = \frac{1600 \cdot 0,6 \cdot 2,5}{2 \cdot 0,9 \cdot 240000} + 0,0005 + 0,0015 = 0,0076 \text{ m}$$

$$\delta = 7,6 \text{ mm}$$

Стога је дозвољени напон прочитан из таблице за челик:

Табела 4.2: Хемијске и механичке карактеристике челика

Ознака челика	C	Si	Mn	P	S	N
S235JRG2 (Č.0361) умире	0,17	-	-	0,005	0,005	0,009

Ознака челика	σ_m (MPa) затезна чврстоћа	σ_v (MPa) граница развлачења	δ_d (%) издужење	A_v (J) живавост на + 20°C
S235JRG2 (Č.0361) умирен	340-470	230	24	27

Дозвољени напон напрезања цеви је:

$$\sigma_{\text{doz}} = \frac{\sigma_v}{k} = \frac{230}{1,7} = 135,3 \text{ MPa}$$

Утицај вакуума:

$E_\epsilon = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$ - модул еластичности челика

Критични притисак на цев кружног попречног пресека може се одредити изразом:

$$p_{\text{kr}} = 2E_\epsilon (\delta/D)^3$$

За усвојени коефицијент резерве $k_r = 2$ добија се:

$$\frac{\delta}{D} > \sqrt[3]{\frac{p}{E_\epsilon}}$$

p – разлика спољашњег и унутрашњег притиска.

За потпуни вакуум када је притисак $p = 0,1 \text{ MPa}$ попречни пресек је стабилан:

$$\frac{\delta}{D} > \sqrt[3]{\frac{p}{E_\epsilon}} \approx 0,007$$

Те је за рачву: $\delta \geq D \cdot 0,007 = 600 \cdot 0,007 = 4,2 \text{ mm}$

$$\delta \geq 4,2 + 1 = 5,2 \text{ mm} \leq 7,6 \text{ mm}$$

Попречни пресек рачве је довољно крут и може да прими дејство вакуума, али због апсолутне сигурности препоручује се израда улазног цевовода од лима $\neq 8 \text{ mm}$.

Табела 4.3: Основне карактеристике цевовода под притиском

МХЕ ВИТУШ	
ЦЕВОВОД ПОД ПРИТИСКОМ - GRP	
Дужина цевовода (m)	2450
Номинални (радни) притисак	10 bar (16 bar)
Врста цевовода	GRP SN5000
Унутрашњи пречник (mm)	600
Дебљина зида цевовода (mm)	15
Маса по јединици дужине (kg/m)	38,6
Спољашњи пречник (mm)	630
ЦЕВОВОД ПОД ПРИТИСКОМ - ЧЕЛИК	
Дужина цевовода (m)	4
Номинални (радни) притисак	16 bar
Врста цевовода	Челик Č.0361
Унутрашњи пречник (mm)	600/450
Дебљина зида цевовода (mm)	8
Маса по јединици дужине (kg/m)	120
Спољашњи пречник (mm)	616/466

4.3 Прорачун константе инерције деривације

За прелиминарно сагледавање потребе увођења у систем водостана или синхроног регулатора притиска, користи се константа инерције деривације под притиском (T_l) [5].

$$T_l = \frac{Q_{\max}}{g \cdot H_0} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{A_i}$$

$Q_{\max}$ - максимални проток кроз деривацију

L_i - дужина i -тог дела деривације чија је површина попречног пресека A_i

H_0 - рачунски пад

У прелиминарним анализама могу се усвојити следећи оријентациони критеријуми:

$$T_l < 3 \div 4$$

- могу се изоставити и водостан и синхрони регулатор притиска

$$3 \div 4 < T_l < 10 \div 12$$

- потребан је синхрони регулатор притиска, при чему се оправданост изградње водостана мора посебно анализирати, пре свега са становишта економичности

$$10 \div 12 < T_l$$

- неопходна је изградња водостана

$$H_0 = \min RN - KDV = 97,50 \text{ m}$$

$$A_i = r^2 \cdot \pi = 0,28274 \text{ m}^2$$

Одакле следи:

$$T_i = \frac{0,55}{g \cdot 97,5} \cdot \frac{2450}{0,28274} = 4,9827$$

Види се да се у овом случају препоручује уградња синхрони регулатор притиска. У каснијим фазама пројектовања коначна одлука се доноси на основу хидрауличног, енергетског и економског упоређивања варијанти са различитим системима заштите од водног удара.

Напомињемо да је принцип заштите самог турбинског агрегата такав да нема наглог заустављања тока флуида приликом збацивања агрегата са дистрибутивне мреже, већ се струјање наставља скретањем млаза са радног кола уз помоћ механизма за скретање млаза, тако да је потребно пажљиво прорачунати време затварања млазница и предтурбинског затварача. На тај начин могуће је избећи уградњу синхроног регулатора притиска [5].

4.4 Прорачун хидрауличног удара

За затварање/отварање лептирастог затварача турбине као и синхроних вентила, који имају функцију сигурносног затварача, мора се прорачунати промена притиска у цевоводу, и потребно време затварања/отварања, а да се не изазове хидраулички удар у цевоводу. За цеви од полестера не сме се дозволити да дође до појаве потпритиска у цевоводу, при затварању/отварању лептирастог затварача [5].

Гранични услови:

- Протицај у цевоводу	$Q = 550 \text{ l/s}$
- Пречник цевовода	$D = 0,6 \text{ m}$
- Дужина цевовода	$L = 2450 \text{ m}$
- Пијезометар на узводном крају цеви	$KGV = 597 \text{ mm}$
- Кота осовине турбине	$KOT = 499,5 \text{ mm}$

Номинална брзина струјања у цевоводу:

$$v_c = \frac{4 \cdot Q}{D^2 \cdot \pi} = 1,945 \text{ m/s}$$

Модул еластичности воде $E_v = 2.040.000.000 \text{ N/m}^2$

Модул еластичности цевовода $E_c = 10.000.000.000 \text{ N/m}^2$

Густина воде $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Максимални притисак у турбинама:

$$H_{hs} = KGV - KDV = 597 - 499,5 = 97,5 \text{ m}$$

Енергетски губитци у цевоводу:

$$H_{gub} = \Delta E = 11,98 \text{ m}$$

Радни притисак у турбинама:

$$H_r = H_{hs} - H_{gub} = 97,5 - 11,98 = 85,52 \text{ m}$$

Брзина ширења хидрауличког пропорционалног таласа:

$$\alpha \frac{1}{[(\rho/g)(1/10^9 E_v + d/10^9 E_c)]^{0,5}} = 471,919 \text{ m/s}$$

На основу брзине ширења ударног таласа и дужине цевовода добијамо време путовања таласа кроз цевовод према формули:

$$t_f = \frac{2L}{\alpha} = \frac{2 \cdot 2450}{471,919} = 10,383 \text{ s}$$

Свако прекидање инсталисаног протока, односно затварање турбине или предтурбинског затварача са временима краћим од $t_f = 10,383 \text{ s}$ и доводи до пуног хидрауличког удара, чија вредност износи:

$$\Delta H = \frac{\alpha \cdot v_c}{g} = \frac{471,919 \cdot 1,945}{9,81} = 93,566 \text{ m}$$

Према томе максимални притисак на крају доводног цевовода изразен пијезометарском висином износи:

$$H_{\max} = H_{hs} + \Delta H = 97,50 + 93,566 = 191,066 \text{ m}$$

Минимални притисак на крају доводног цевовода има вредност

$$H_{\min} = H_r - \Delta H = 85,52 - 93,566 = -8,046 \text{ m}$$

Намеће се закључак да се при пуном хидрауличком удару јавља и подпритисак у цевоводу, који је изузетно опасан за усвојену врсту цеви тако да је неопходно посебну пажњу обратити на системе заштите од хидрауличног удара.

Према приручнику за GRP цеви, као пројектни услов јавља се:

$$P_w + P_s \leq 1,4 P_c, \text{ односно, } H_{hs} + \Delta H \leq 1,4 H_N$$

Где је : P_w, H_{hs} - радни притисак

$P_s, \Delta H$ - импулсни притисак

P_c, H_N - номинални притисак тј. класа притиска цевовода (усвојени PN 16 bar)

$$H_N = \frac{P_N}{\rho \cdot g} = \frac{16 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 1000} = 163,099 \text{ m}$$

$$97,50 + 93,566 = 191,066 \text{ m} \leq 1,4 \cdot 163,099 = 228,338 \text{ m}$$

па пројектом предвиђени цевовод може да издржи максимални (унутрашњи) притисак при пуном хидрауличком удару, али се мора напоменути да посебну опасност за GRP цевовод представља подпритисак који се може јавити при пуном хидрауличком удару.

4.5 Усвојено време затварања/отварања лептирастих затварача

За MXE „Витуш“, и припадајући цевовод под притиском, од полиестера GPR DN 600/NP16, дужине 2450 m у којем се у ниједном случају затварања/отварања не сме догодити потпритисак, бира се минимално време за затварање/отварање лептирастих затварача од 60 s, при којем постоји одређена сигурност да неће доћи до појаве потпритиска или превеликог притиска који би угрозили цевоводе.

За време затварања од $t_z = 60 \text{ s}$ добија се брзина ширења ударног таласа:

$$a_t = \frac{2L}{t_z} = \frac{2 \cdot 2450}{60} = 81,67 \text{ m/s}$$

Па је промена притиска за време затварања/отварања од 60 s:

$$\Delta H = \frac{a_t v_c}{g} = \frac{81,67 \cdot 1,945}{9,81} = 16,192 \text{ m}$$

односно максимални притисак износи :

$$H_{\max} = H_{hs} + \Delta H = 97,5 + 16,192 = 113,692 \text{ m}$$

Минимални притисак на крају доводног цевовода има вредност:

$$H_{\min} = H_r - \Delta H = 85,52 - 16,192 = 69,328 \text{ m}$$

Закључује се да нема појаве потпритиска у цеви, већ се притисак при времену затварања од 60 s, креће од 113,692 до 69,328 mVS. У сваком случају сигурно је повољније усвојити и нешто дуже време затварања/отварања лептирастог затварача.

4.6 Избор турбине и одређивање броја агрегата

У случају МХЕ "Витуш" могуће је уградити четири типа турбине: Пелтон, Турго, Францис и Банки турбине, а за овај инсталисани пад Банки турбине су врло практичне за уградњу јер раде у широком опсегу промене протицаја, цена израде им је ниска мада имају мањи коефицијент искоришћења. Пелтон турбине, такође раде на овом инсталисаном паду, али су скупље од Банки турбина и имају већи коефицијент искоришћења. У наставку ће бити презентован прелиминарни прорачун Пелтонове турбине која је за наведени инсталисани пад и протицај.

Број агрегата који ће се уградити у МХЕ зависи од много фактора, али најбитнија је хидролошка слика одређене реке односно вредност промене протицаја током године и способности изабране турбине да у одређеном опсегу промене протицаја ради са високим степеном искоришћења.

Наведена промена протицаја дата је на графицима који се налазе у хидролошкој студији и која се бави хидролошким подлогама нарочито на дијаграмима који одређују временско трајање протицаја као и анализом која је у ту сврху спроведена. Међутим, узимајући у обзир распон од минималног до максималног инсталисаног протока који је доста широк јасно је да се и у овом случају при примени најсавременијих и

најквалитетнијих турбина овај распон може покрити са добрим коефицијентом искоришћења уколико се користи и само једна турбине.

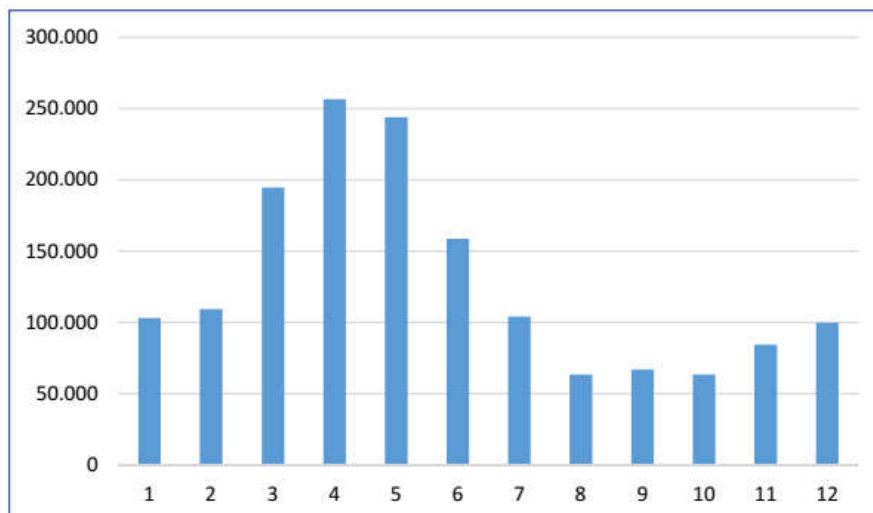
На основу претходно наведених чињеница, може се закључити да у циљу потпуног искоришћења расположивог хидропотенцијала локације и покривања комплетног распона протицаја воде, у машинској згради треба поставити агрегат са Пелтоновом турбином која пружа високе степене искоришћења и при минималним и максималним протицајима.

4.7 Прорачун снаге и производње електричне енергије МХЕ

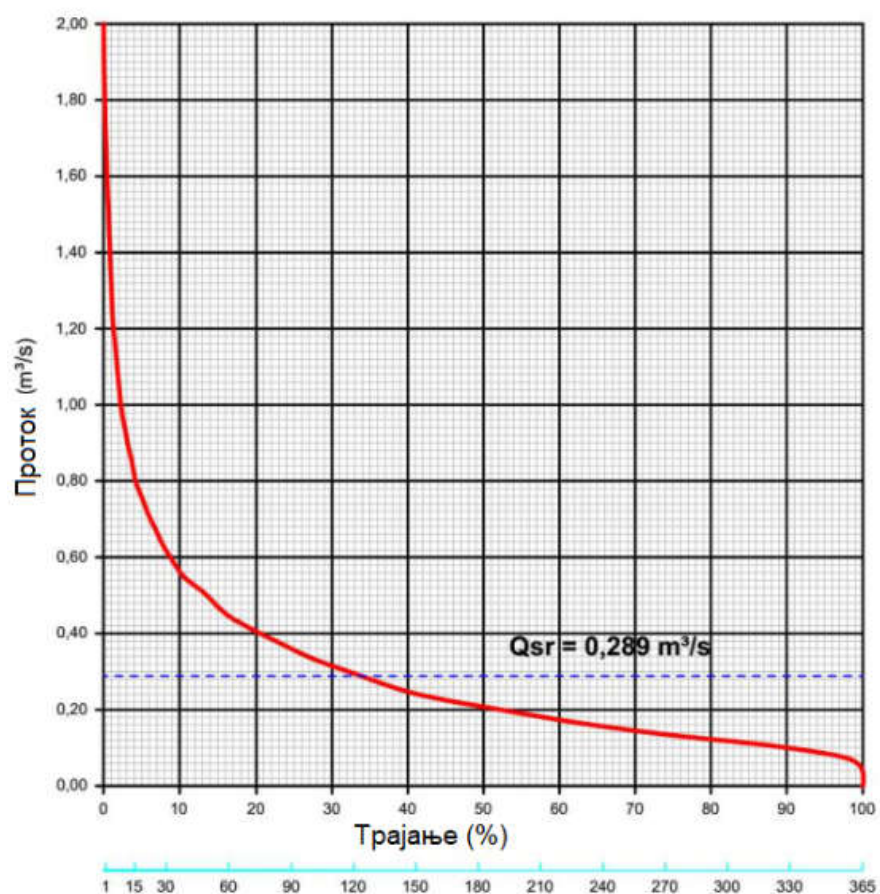
У табелама 4.4 и 4.5 одређује се промена снаге агрегата и производња електричне енергије као и графички приказ истих у зависности од средњемесечних и средњедневних расподела протицаја и у случају да МХЕ ради са једним, агрегатом. Протицаји су умањени за биолошки минимум који се за потребе биоценозе мора оставити у реци [5].

Табела 4.4: Производња електричне енергије током године на основу средњемесечних протицаја реке Млаве

Месец	$Q_{sr.mes}$ (m^3/s)	$Q_{sr.mes} - Q_{b.min}$ (m^3/s)	H_{in}	η_T	$P_T(kW)$	η_m	η_G	$P_A(kW)$	br. dana	E (kWh)
Јануар	0,24	0,18	95,94	0,88	149,08	1	0,93	138,65	31	103.152,04
Фебруар	0,27	0,21	95,42	0,89	174,94	1	0,93	162,70	28	109.332,83
Март	0,41	0,35	92,06	0,89	281,31	1	0,93	261,62	31	194.645,80
Април	0,56	0,5	86,86	0,9	383,44	1	0,93	356,60	30	256.749,88
Мај	0,51	0,45	88,77	0,9	352,69	1	0,93	328,00	31	244.035,61
Јун	0,35	0,29	93,68	0,89	237,19	1	0,93	220,59	30	158.822,12
Јул	0,24	0,18	95,94	0,89	150,77	1	0,93	140,22	31	104.324,22
Август	0,17	0,11	96,88	0,88	92,00	1	0,93	85,56	31	63.655,77
Септембар	0,18	0,12	96,77	0,88	100,25	1	0,93	93,23	30	67.126,41
Октобар	0,17	0,11	96,88	0,88	92,00	1	0,93	85,56	31	63.655,77
Новембар	0,21	0,15	96,39	0,89	126,24	1	0,93	117,40	30	84.529,03
Децембар	0,23	0,17	97,26	0,89	144,36	1	0,93	134,25	31	99.884,08
										1.549.913,57



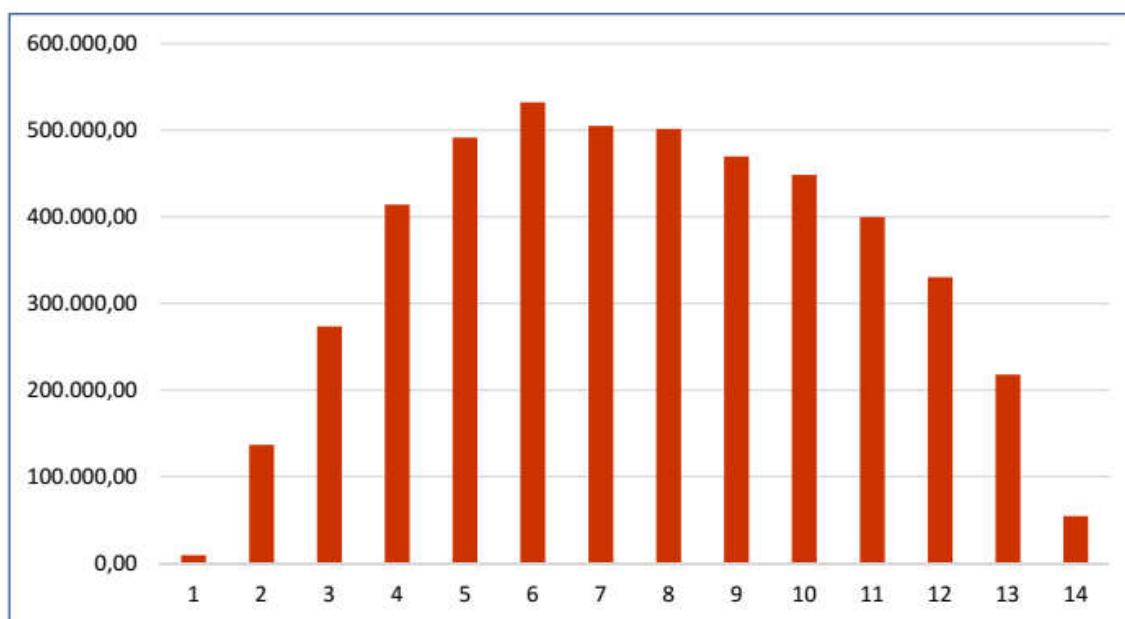
Слика 4.1: Производња електричне енергије током године на основу средњемесечних протицаја



Слика 4.2: Крива трајања дневних протока Планске реке у профилу водозахвата МХЕ Витуши

Табела 4.5: Производња електричне енергије током године са Пелтон турбином

Дани	Q (m ³ /s)	H _{neto} (m)	η	P _t (kW)	P _a (kW)	E (kWh)
1	0,55	84,77	0,9	411,64	380,00	9.120,00
15	0,55	84,77	0,9	411,64	380,00	136.800,00
30	0,55	84,77	0,9	411,64	380,00	273.600,00
60	0,45	90,83	0,89	309,28	287,63	414.191,20
90	0,36	93,43	0,89	244,71	227,58	491.573,59
120	0,30	94,82	0,89	198,69	184,78	532.173,46
150	0,24	95,94	0,89	150,77	140,22	504.794,63
180	0,21	96,39	0,88	124,82	116,08	501.475,62
210	0,18	96,77	0,88	100,25	93,23	469.884,84
240	0,16	96,98	0,88	83,72	77,86	448.485,96
270	0,14	97,16	0,87	66,34	61,69	399.779,21
300	0,12	97,47	0,86	49,34	45,89	330.373,62
330	0,10	97,49	0,85	32,52	30,24	217.725,20
365	0,04	97,5	0,85	8,13	7,65	54.438,27
Укупно:						4.784.415,60



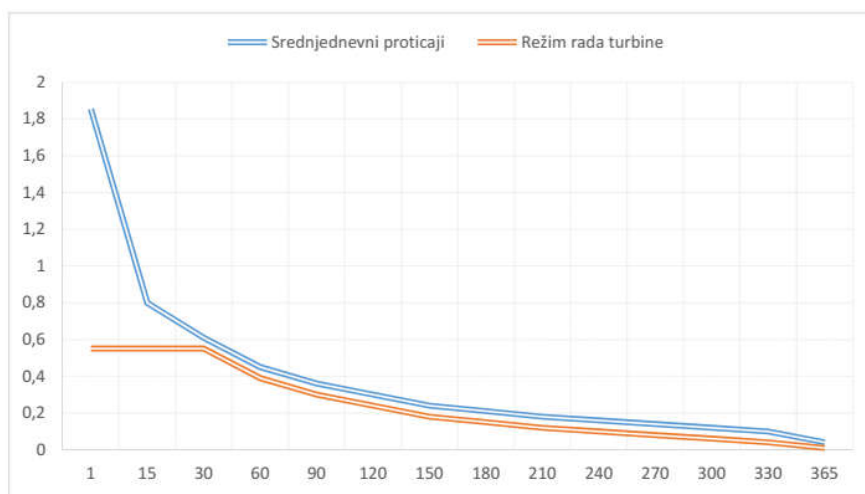
Слика 4.3: Производња електричне енергије током године на основу средњедневних протоцаја

На основу претходних табела види се да је добијена значајна количина произведене електричне енергије у просечној години. Ако се ова количина електричне енергије подели

са укупном инсталисаном снагом на МХЕ „Витуш” добиће се укупно време рада агрегата током године па је:

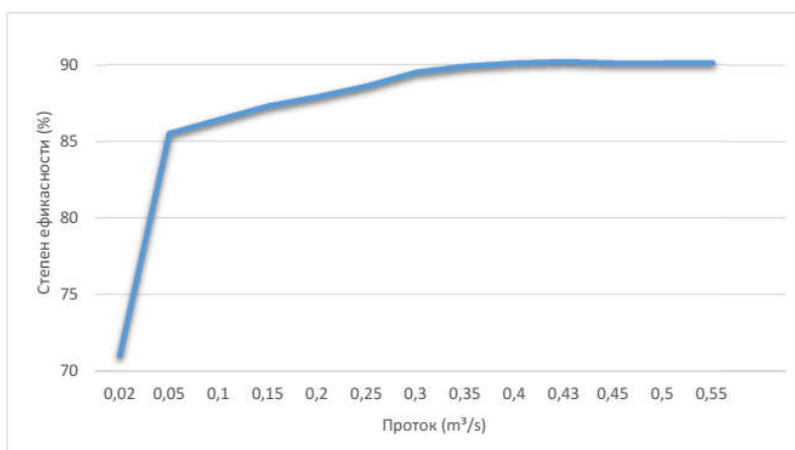
$$n = \frac{E}{P_A} = \frac{1.549.913,57}{380} = 4078,7 \text{ часова}$$

У зависности од промене протицаја мења се режим рада турбине и то је графички приказано на следећем дијаграму.



Слика 4.4: Графички приказ рада турбине у зависности од средњедневних протицаја

Може се видети да на производњу електричне енергије у великој мери утиче степен корисности турбине. Пелтонове турбине имају висок степен корисности, а промена степена корисности Пелтонове турбине у зависности од промене протока дата је на дијаграму.



Слика 4.5: Промена степена корисности турбине у зависности од промене протока

Треба напоменути да су и средњедневне и средњемесечне расподеле статистичке величине, и да дате вредности представљају статистичке појмове, што практично значи да ће у току појединих година електрана имати и веће и мање протицаје од представљених вредности.

5.0 ИЗБОР ТУРБИНСКИХ АГРЕГАТА

У овом случају је примењена скраћена метода прорачуна основних параметара турбина. Прорачун укупне инсталисане снаге агрегата за МХЕ је:

за агрегате на цевоводу на реци Ресави:

$$P = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q_{in} = 0,9 \cdot 0,93 \cdot 1 \cdot 9,81 \cdot 85,59 \cdot 0,55 = 386,53 \approx 380 \text{ kW}$$

У машинској згради МХЕ „Витуш” предвиђа се инсталација једног агрегата са Пелтон турбином. Инсталисана снага једног агрегата за МХЕ „Витуш” износи:

$$P = 380 \text{ kW}$$

Прорачун инсталисане снаге турбине МХЕ „Витуш” се врши према добијеним хидроенергетским подацима добијеним из хидрологије, геодезије, али и из хидрауличких губитака за GRP цевовод, па је [5]:

- Инсталирани протицај 0,55 m³/s
- Инсталирана висина 97,50 m

Снага турбине може се добити из израза:

$$P_t = \frac{P_a}{m \cdot \eta_{gen}}$$

где је :

- P_a - инсталирана снага агрегата
- η_{gen} - степен искоришћења генератора
- m - број агрегата

За МХЕ „Витуш” добија се снага турбине која износи $P_t = 408,6 \text{ kW}$

5.1 Специфичан број обртаја турбине за услове на месту микролокације

Специфичан број обртаја турбине (n_s) често се назива и коефицијент брзоходности. Овај коефицијент даје везу између инсталисаног пада, снаге и номиналног броја обртаја (n) турбине. За израчунавање овог коефицијента користи се следећи образац:

$$n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{\frac{P_{opt}}{i}}$$

За сваку турбину специфичан број обртаја је везан за синхрони број обртаја па специфичан број обртаја износи:

$$n_n = 600 \text{ min}^{-1}; n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{\frac{P_t}{m}} = \frac{600}{85,59^{5/4}} \sqrt{\frac{408,6}{4}} = 23,29 \text{ min}^{-1}; m=4$$

$$n_n = 750 \text{ min}^{-1}; n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{\frac{P_t}{m}} = \frac{750}{85,59^{5/4}} \sqrt{\frac{408,6}{4}} = 29,12 \text{ min}^{-1}; m=4$$

$$n_n = 600 \text{ min}^{-1}; n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{\frac{P_t}{m}} = \frac{600}{85,59^{5/4}} \sqrt{\frac{408,6}{5}} = 20,83 \text{ min}^{-1}; m=5$$

$$n_n = 750 \text{ min}^{-1}; n_s = \frac{n_n}{H_n^{5/4}} \sqrt{\frac{P_t}{m}} = \frac{750}{85,59^{5/4}} \sqrt{\frac{408,6}{5}} = 26,04 \text{ min}^{-1}; m=5$$

$n_n = 600 \text{ min}^{-1}$ – усвојен синхрони број обртаја генератора и радног кола Пелтонове турбине.

Ове вредности специфичног броја обртаја турбине говоре да се ради о турбини са пет млазница за синхрони број обртаја генератора од **600 min⁻¹**.

5.2 Одређивање геометријских карактеристика турбине

Хидродинамички параметри омогућавају да се израчуна пречник радног кола Пелтонове турбине, а у односу на њега и остали геометријски параметри који дефинишу физичке димензије исте, па се одређује вредност пречника радног кола:

$$D_1 = \frac{60 \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{n_n \cdot \pi} \cdot 0,47 = \frac{60 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 97,5}}{600 \cdot \pi} \cdot 0,47 = 0,65 \text{ m}$$

Дефинисањем пречника радног кола турбине могу се израчунати и остали параметри који дефинишу остале димензије Пелтонове турбине, па је:

- Највећи пречник улаза:

$$d_0 = D_1 \cdot \frac{n_s}{250 \cdot \sqrt{i}} = 0,65 \cdot \frac{20,83}{252 \sqrt{i}} = 0,0542 \text{ m} = 54,2 \text{ mm}$$

Усвојено: $d_0 = 0,0542 \text{ m} = 54 \text{ mm}$

- Пречник светлог отвора млазнице:

$$D_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 0,054 = 0,064 \text{ m} = 64 \text{ mm}$$

Усвојено: $d_2 = 0,064 \text{ m} = 64 \text{ mm}$

- Ширина лопатице:

$$b = (2,8 \div 3,6) \cdot d_0 = 3,6 \cdot 0,054 = 0,1944 \text{ m} = 200 \text{ mm}$$

- Висина лопатице:

$$l = (2,5 \div 2,8) \cdot d_0 = 2,8 \cdot 0,054 = 0,151 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

- Дубина лопатице:

$$t = (0,9 \div 1) \cdot d_0 = 1 \cdot 0,054 = 0,054 \text{ m} = 54 \text{ mm}$$

- Спољашњи пречник радног кола:

$$D = D_1 + l = 0,65 + 0,15 = 0,8 \text{ m} = 800 \text{ mm}$$

На основу ових параметара Пелтон турбине, инвеститор ће се одредити када буду достављене комплетне понуде опрема од разних произвођача која ће детаљније бити приказана у главном пројекту.

6.0 ХИДРОМЕХАНИЧКА, ХИДРОМАШИНСКА И МАШИНСКА ОПРЕМА

Хидромеханичка опрема МХЕ обухвата систем устава и затварача, у машинској згради и одводним каналима. У ову групу спадају такође и заштитне решетке на улазним грађевинама или одводним каналима као и аутоматске односно ручне чистилице истих. У хидромашинску опрему спада сва опрема којом се покреће и зауставља турбина и којом се регулише рад турбине. У машинску опрему спадају дизалице и кранови инсталирани у машинској згради и/или осталим постројењима и објектима МХЕ.

Хидромашинска опрема има различит дизајн с обзиром на задатак и намену у оквиру хидроенергетског постројења. Ова опрема се ради од челика за конструкцију, нерђајућих хром – никл челика, нискоугљеничних и високоугљеничних челика и других материјала и уграђује се најчешће у хидрограђевинске објекте који садрже машинску и хидромашинску опрему као што је машинска зграда и сама брана.

У хидромашинску опрему спада и помоћна опрема која је неопходна за безбедан и квалитетан рад постројења и погонских машина. Хидромашинска опрема ради у врло отежаним условима најчешће на отвореном простору, па се она мора заштитити, извести и уградити у објекат према одговарајућим прописима и стандардима. На овај начин хидромашинска опрема је у сваком моменту спремна за функционалан рад. [1], [3].

7.0 ТУРБИНСКА РЕГУЛАЦИЈА

Регулација учестаности врши се контролом активне снаге и то применом турбинске регулације при чему се регулише броја обртаја турбине или доток воде у турбину.

Тип примењене турбинске регулације зависи од произвођача опреме мада се у последње време скоро по правилу користи дигитални тип регулације. У случају МХЕ „Витуш” такође ће бити примењени дигитални системи турбинске регулације са електрохидрауличким актуаторима мада се могу применити и неки други типови турбинске регулације истих или сличних карактеристика.

Турбински регулатор врши регулацију брзине обртаја турбине, снаге и отвора усмерног апарата односно предтурбинског затварача у свим режимима рада агрегата. Осим наведеног ПЛЦ рачунара, турбински регулатор у МХЕ „Крепољин” имају у свом саставу и електрохидрауличке елементе као актуаторе. Актуатор претвара електронске сигнале на излазу из турбинског регулатора у механичке помераје регулационих органа турбине чиме се врши регулација турбине [3].

У склопу регулатора налазе се следеће јединице:

- Електронски дигитални турбински регулатор
- Хидраулички управљачки део
- Уређај за генерисање притиска
- Турбинска заштита

7.1 Дигитални турбински регулатор

Основни задатак турбинског регулатора је да одржава константну брзину обртања агрегата у празном ходу и код рада електране у острвском режиму. Регулација броја обртаја практично представља и регулацију фреквенције. Осим овога турбински регулатор регулише или држи константну снагу приликом паралелног раду агрегата на мрежи. У оба случаја регулатор управља лопатицама предтурбинског кола (статором турбине) чиме регулише проток воде кроз турбину.

Основне функције овог регулатора су:

- Мерење брзине обртања агрегата
- PID-регулатор са компензацијом хидрауличног удара
- PID-регулатор снаге
- PID-регулатор отвора статора турбине управљањем лопатицама предтурбинског кола
- Секвентне функције покретања и заустављања
- Дијагностика и надзор рада регулатора

- Обрада сигнала на показним инструментима и на операторском панелу

Турбински регулатор, програмиран у дигиталној програмабилној јединици изводи аутоматску регулацију турбине. Регулатор је увек у функцији и обавља све потребне функције управљања и регулације фреквенције, снаге и отвора статора турбине у свим режимима рада.

Ручни режим регулатора је предвиђен као помоћ код радова на одржавању као и за евентуалан ручни рад агрегата за случај да други режими нису могући. У ручном режиму регулатор омогућава оператеру да ручно подешава отвор на лопатицама статора турбине преко магнетног вентила притискањем одговарајућег тастера. У ручном режиму није активан регулатор брзине и препуштено је оператеру да сам подешава, а једино су активне заштитне функције и функције надзора.

Предвиђен је посебан режим импулсног управљања положаја лопатица статора турбине из дигиталне јединице која омогућава управљање лопатицама у аутоматском режиму, али преко положајног магнетног вентила за ручно управљање у случају квара пропорционалног вентила, а да је при томе дигитална јединица у нормалном радном режиму и да је сигнал повратне везе положаја сервомотора статора исправан.

Дигитални турбински регулатор (ДТР) састављен је од дигиталног процесног дела, аналогних елемената и електрохидрауличног претварача (актуатора). Аналогни елементи изводе појачање сигнала за управљање претварачем, трансформацију и прилагођавање хидрауличног појачања сигнала положаја сервомотора [3], [6].

Јединица за контролу и надзор брзине обртања турбине налази се у регулатору. Дигитални управљачки део регулатора састоји се из:

- Централне процесорске јединице (CPU)
- Улазних и излазних модула (I/O) за дискретне и аналогне сигнале
- Бројачког модула који се користи за мерење брзине обртања турбине

Сви ови модули су појединачно прикључени и повезани конекторски на основну плочу која повезује све модуле. Модуларни начин повезивања омогућава рад регулационог система на најприкладнији начин да би се постигле најбоље радне карактеристике погона.

Регулатор је предвиђен за регулацију брзине обртања агрегата у празном ходу и регулацију снаге или отвора статора турбине у паралелном раду на мрежи.

Радни режим регулатора обухвата следеће:

- Регулацију брзине обртања агрегата,
- Фреквентну регулацију,
- Регулацију снаге агрегата,
- Регулацију отвора статора турбине,

- Адаптивни PID-регулатор - варијабилна динамика са променљивим појачањима,
- Функцију компензације хидрауличног удара,
- Систем програмиран за специфичне захтеве електране,
- Булову алгебру,
- Филтерске алгоритме,
- Апдејт интервал од 10 ms,
- Дискретне и аналогне улазне и излазне сигнале,
- Секвенце регулатора за покретање и заустављање агрегата,
- Заштите и брзо затварање,
- Дијагностику грешака и интерне контроле,
- Ручно управљање,
- Аналогно и дигитално показивање сигнала на мерним инструментима.

Аутоматски режим је нормалан режим регулатора чије су све функције током рада активне. У аутоматском режиму активна је у целини дигитална јединица, фреквентни део регулатора је активан, активан је регулатор снаге или отвора статора турбине и позиционирање сервомотора статора турбине који се изводи пропорционалним вентилом.

7.2 Управљачки хидраулички део

Управљачки хидраулички део обухвата елементе који управљају сервомотором статора предтурбинског кола по налогу дигиталног регулатора. У тај управљачки део су укључени пропорционални вентил за аутоматско-континуално управљање лопатицама статора турбине и електромагнетни вентил за ручно, односно аутоматско управљање сервомотором.

Управљачки вентили су уграђени у хидрауличке блокове што значајно смањује цевну инсталацију. У блоковима се налазе и вентили за брзо затварање. Поред хидрауличких вентила за управљање лопатицама, који су постављени кружно, такође су кружно постављени и показивачи положаја сервомотора лопатица.

7.3 Уређај за генерисање притиска

Овај уређај има функцију припреме и акумулисања уља под притиском које је потребно за сервомотор и вентиле који врше регулацију и управљање лопатицама статора турбине. Сви хидраулички управљачки модули су повезани са уљним резервоаром чија је функција да скупља уље из целог система као и за одвајање пене из уља.

На резервоару са уљем налазе се две зупчасте пумпе које раде интермитентно, што

значи да се укључују само онда када је притисак уља у систему пао на доњу радну границу (min), а престају са радом када притисак у систему достигне горњу радну границу (max). Акумулација притисне енергије се врши у мембранском акумулатору који је напуњен азотом.

На овом уљном резервоару се налазе вентили за блокаду регулационих елемената, сви уређаји за мерење притиска, нивоа и температуре уља.

7.4 Турбинска заштита

Овом турбинском заштитом обухваћени су модули и елементи који су укључени у регулациони систем. То је електромагнетни вентил за брзо затварање, заштите од побега турбине које се налазе у дигиталном регулатору и механичка заштита од побега.

Заштита од побега турбине је трострука:

- Заштита изведена у дигиталној јединици од добијеног сигнала за мерење брзине обртања у централно процесорској јединици (CPU),
- Заштита на основу сигнала који је мерен бројачким модулом,
- Заштита механичким центрифугалним окидачем који непосредно активира брзо затварање.

8.0 ПОМОЋНА ОПРЕМА И ПОГОНИ У МХЕ

У помоћну опрему су сврстани и уређаји за затварање и отварање довода воде којима се може ручно и аутоматски манипулисати.

Такође, у помоћну опрему спада и опрема која се користи у противпожарној заштити, громобранској заштити, осветљењу и електричним прикључцима - ваздушним или кабловским, уређајима за грејање машинске зграде, одговарајуће ручне дизалице, санитарни уређаји итд.

8.1 Кочење турбина и искакање система из радног режима

Кочење код турбина може се извести на три начина: хидраулично кочење, механичко кочење, електрично кочење. Свако од ових кочења биће описано укратко у следећем тексту и инвеститор ће се кроз Извођачки пројекат изјаснити какву врсту кочења жели у свом пројекту.

8.1.1 Хидраулично кочење

Хидраулично кочење се врши тако што се монтира замајац на пакнове и затим се цела констукција стави између турбине и генератора, и на тај начин се остварује хидраулично кочење.

8.1.2 Механичко кочење

Након растерећења и искључења с мреже, и затварања довода воде на турбину, агрегат због великог момента инерције ротирајућих маса наставља с ротирањем. Услед кочионог момента турбине, чији се ротор врти у води, долази до трења у лежајевима и до вентилацијских губитака агрегата, обртна брзина се смањује и опада према нули. Време заустављања, без додатних мера кочења, зависи од низа фактора.

У неким случајевима може бити дуже и од пола сата, што значи да агрегат све то време није расположив и мора бити под надзором посаде. Осим тога, у подручју мањих брзина, од неколико постотака називне, због смањеног самоподмазивања, долази до повећаних губитака у лежајевима (тзв., „суво трење”). Проблем је посебно изражен ако не постоји високопритисна уљна пумпа која врши додатно подмазивање лежајева при заустављању.

Да би се избегли наведени проблеми, а оптерећење лежаја и могућност њиховог оштећења свело на најмању могућу меру и да би што пре зауставио агрегат, готово увек се примењује механичко кочење. Механичко кочење се заснива на трењу ферида кочница које притискају кочиони прстен, који се налази на ротору генератора.

Саме кочнице и њихове фереде смештене су на кућишту статора. Механичко кочење се обично не примењује у подручју великих обртних брзина агрегата (30-100%) јер се претварање велике кинетичке енергије у топлотну доводи до превисоких температура опреме за кочење и великих механичких напрезања. Због тога примена механичког кочења не смањује битно време заустављања. Примена механичког кочења има и негативне ефекте. Након одређеног времена рада, фереде кочница се истроше па их је потребно заменити новима. Трошење фереда кочница ствара прашину која прља кућиште генератора.

8.1.3 Електрично кочење

За разлику од механичког, електрично кочење се укључује већ неколико тренутака након растерећења генератора и одвајања од мреже (80-90% називне брзине) и траје до заустављања агрегата. На тај начин врши се кочење кроз цео период заустављања, а не само у подручју малих обртних брзина, што знатно смањује време заустављања.

Након почетка процеса заустављања агрегата и аутоматског разбуђивања генератора помаком окидних импулса усмеривача (брзински релеј код око 90% називне брзине делује на разбуђивање), уколико су задовољени сви потребни услови почиње секвенца електричног кочења:

- Укључење секвенце електричног кочења активирањем брзинског релеја (80% брзине),
- Кратко спајање арматурног круга генератора, директно или преко додатног радног отпора растављачем,
- Одвајање узбудног трансформатора отварањем прекидача,
- Укључење напајања узбуде током кочења прекидачем преко трансформатора из напајања властите потрошње електране,
- Укључење узбуде и узбуђивање генератора на одговарајући константни износ струје узбуде који у арматурном кругу индуцира приближно називну струју, а њихово међуделовање ствара електромагнетни кочни момент,
- Укључење механичких кочница при смањеној брзини агрегата, од неколико постотака називне брзине, те њихово деловање све до коначног престанка ротирања како би се још више убрзало заустављање агрегата, а након заустављања онемогућило клизање ротора,
- Разбуђивање генератора помаком окидних импулса усмеривача,
- Враћање свих апарата у почетни положај након потпуног заустављања агрегата (агрегат је спреман за поновни старт).

8.2 Заштита агрегата

Агрегат и уређаји морају радити сигурно и безбедно по опрему, људе и околину. Заштита агрегата делује мимо свих система управљања и на најсигурнији начин зауставља агрегате.

Код одлучивања које заштите уградити, могу се у обзир узети и следећи документи:

- ИЕС стандард за заштиту синхроних генератора,
- Техничке препоруке ЕПС Србија.

Заштите су подељене на:

- Механичке заштите,
- Електричне заштите.

8.3 Лептирасти затварач у затварачници

Димензије лептирастог затварача са монтажном демонтажним комадом DN450 су у складу са стандардом за ту врсту опреме и биће смештени у десном непреливном делу бране (дато у грађевинском пројекту). Конструкција затварача је од челичних елемената и лимова. Заптивач је гумена трака профила музичке ноте, која је причвршћена тракама и завртњима од нерђајућег челика. Класа квалитета конструкцијског челика од ког се израђује затварач је Č.0361, према SRPS C.B0.500 [2], [5].

8.4 Решетка на чеоном водозахвату НА

Отпад, односно оптерећење на решетки, састоји се углавном од ситног урбаног отпада (пластичних кеса, пластичних флаша), урбаног отпада средње величине (аутомобилских гума, разних врста врећа), ситног природног отпада (траве, ситног грања) и крупног природног и урбаног отпада (крупног грања, стабала, олупина аутомобила).

Поред непосредног проблема чишћења решетке, појављује се и значајан еколошко-хигијенски проблем евакуације, одлагања и транспорта прикупљеног отпада.

8.5 Цевни табласти затварач на муљном испусту

Цевни табласти затварачи су намењени за уградњу на крајевима цеви из којих истиче флуид стално или повремено при чему затварач може да буде потпуно или делимично отворен или затворен. Цевни табласти затварач израђен је за називни притисак NP 16 bar и називног пречника 200 mm.

Овакав табласти затварач се везује завртњима за цевну прирубницу која се налази на крају цеви која се уграђује. Затварање се може вршити ручно или електромеханички, а погон је одговарајуће удаљен уз помоћ дистантног механизма.

Покретна табла, навртка и навојно вретено су од одговарајућег конструкционог челика. Заптивна површина на непокретној табли клизне површине вођица су наварене одговарајућом прокромском електроном.

8.6 Избор порталне дизалице

За потребе монтаже и ремонта турбине, генератора као и целокупног машинског постројења потребно је предвидети набавку и монтажу порталне дизалице. За предвиђену врсту турбине, а у складу са пројектованим димензијама и карактеристикама постројења предвиђена је дизалица максималне носивости до 4.000 kg, висине дизања 6 m и распона носача 5,6 m.

8.7 Премери и предрачун

Предрачун машинске и хидромашинске опреме						
Р.бр.	НАЗИВ ОПРЕМЕ	Кол.	Ј.мер е	Маса [kg]	Ј. цена [€/kg]	Ук.цена [€]
1.	Пелтон турбина, Dc=0,67 m, nT=750 min-1, Qi=0,1715 m ³ /s, Hmax=167,61m, P =236 kW	ком.	1	/	/	125.000
2.	Уређај за аутоматско управљање турбином, турбински регулатор	ком.	1	/	/	15.000
3.	Механичка табласта устава на доводном каналу 700x700 mm	ком.	1	500	5	2.500
4.	Цевни табласти затварач на испусном цевоводу под притиском DN 250 PN 25	ком.	1	200	12	2.400
5.	Портална дизалица носивости 5t	ком.	1		/	8.000
6.	Цевовод под притиском од водозавхата до машинске зграде, Ф 500 mm са припадајућом арматуром	m	4771	35	1,4	234.000
7.	Груба челична решетка на улазу у кана, 6500x800 mm	ком.	1	1200	2	2.400
8.	Фина челична решетка у таложници, 2000x3000 mm са чистилицо	ком.	1	2500	3	7.500
9.	Челична цев за спајање турбина и GRP цевовода	ком.	1	3000	2	6.000
10.	Остали помоћни системи у МХЕ (дренажне пумпе, вентилација, грејање, ПП апарати и др.)	/	250		4	1.000
11.	Транспорт, монтажа и испитивање (10%)	/	/		/	30.000
12.	Непредвиђености (5%)	/	/		/	21.700
Укупно:			455.500 €			

9.0 ПОСЕБАН ПРИЛОГ

О примењеним прописаним мерама безбедности и заштите на раду (у смислу важећих прописа)

9.1 Опасности и штетности које могу настати у току монтаже опреме и инсталације у објекту

1. Опасност од неправилног димензионисања појединих елемената,
2. Опасност од настајања недопуштених попречних напрезања цевовода као и од појаве прекомерних напрезања услед дилатација цевовода,
3. Опасност од уграђивања неквалитетног материјала и опреме,
4. Опасност од корозије,
5. Опасност од замрзавања,
6. Штетност услед губљења воде из цевовода и опреме,
7. Штетност услед појаве ваздуха у водним инсталацијама.

9.2 Мере предузете ради отклањања наведених опасности и

1. Сви елементи инсталације су прорачунати и димензионисани према важећим прописима и препорукама за овакве инсталације, правилно је извршен избор опреме. Сигурносни аспект посебно је наглашен и испоштован прорачуном и избором одговарајуће сигурносне опреме која треба да онемогући настајање недопуштеног притиска у цевоводу и хаварију, сигурносно затварање/ отварање турбина.

2. Правилно су одабрана растојања ослонаца на цевоводу а решена је и компензација дилатација.

3. Сав уграђени материјал и опрема морају имати атест надлежне установе, као и гаранцију произвођача.

4. Предвиђена је одговарајућа антикорозивна заштита за сав цевовод и друге делове инсталације подложне корозији.

5. Сви делови инсталације који би могли доћи у опасност од замрзавања воде у њима предвиђени су за термичку изолацију, а дата су и друга потребна решења за заштиту од замрзавања према врсти пројектованих инсталација.

6. Дато је решење за одзрачивање и пражњење инсталације.

При изради овог Прилога коришћени су следећи важећи законски прописи:

- Закон о планирању и изградњи,
- Закон о безбедности и здрављу на раду,
- Правилник о општим мерама и нормативима заштите на раду за грађевинске објекте намењене за радне и помоћне просторије,
- други важећи прописи.

9.3 Општи и технички услови извођења радова

Општи услови

1. Уговор за извођење радова предвиђених предмером, има се извести на основу одобреног елабората. Понуђачи су дужни поднети понуду за све позиције наведене у приложеној спецификацији.
2. Документација одобреног пројекта има да служи као база за састављање уговора.
3. Уговор о извођењу радова се сматра закљученим када су стране потписале исти, и када су испунили евентуалне услове који су у самом уговору наведени као обавезни за његову пуноважност.
4. Уговор о извођењу радова мора да садржи још и следеће :
 - рок почетка и рок завршетка радова,
 - начин наплате изведених радова,
 - пенале због кашњења,
 - гарантни рок,
 - надзор инвеститора над извођењем радова,
 - обавезе извођача да постројење изради према одобреном пројекту у складу са постојећим стандардима, техничким упутствима и нормама.
5. По уступању посла извођач је дужан да провери градилиште и утврди стање грађевинских и других радова који морају предходити монтажним радовима. Наведене недостатке, примедбе и неиспуњене предуслове пријавиће послодавцу - инвеститору, те ће са њим и пројектантом постићи споразум о почетку радова и о евентуалним изменама. Извођењу се не сме приступити без грађевинске дозволе коју прибавља инвеститор.

6. Гарантни рок за квалитет монтажних радова је рок предвиђен законским прописима, уколико у уговору то није друкчије одређено. За уграђену опрему важи гаранција произвођача. Гарантни рок почиње у начелу тећи од техничког пријема објекта. Уколико до пријема не дође благовремено, а извођач је то затражио, гарантни рок тече од дана када је требало извршити технички пријем, а за опрему важи гаранција произвођача. За време гарантног рока, извођач је дужан да све недостатке који се појаве, услед лоше изведених радова, или лошег материјала, отклони одмах по обавештењу. Ако се у разумном року те примедбе, недостаци и застоји не отклоне, извођач ће их отклонити сам или ангажовати другог извођача, а те трошкове наплатити од извођача.

7. Извођач је одговоран једино за квалитет монтажних радова и уграђеног материјала ако су радови изведени по одобреном пројекту или по одобреним изменама. Уколико извођач изврши измене без сагласности пројектанта и надзорног органа, сноси одговорност за неправилно функционисање инсталације.

8. Ако извођач радова утврди да се услед грешке у пројекту или услед погрешних упутстава инвеститора, односно његовог надзорног органа, радови изводе на штету трајности, стабилности, функционалности и квалитета постројења, одговара и сам за насталу штету ако на утврђене грешке или погрешна решења не упозори инвеститора.

9. Уграђени материјал и опрема морају да одговарају техничким прописима и стандардима. Ако надзорни орган буде захтевао испитивање неког материјала извођач ће га поднети на испитивање признатој установи, а трошкове уколико материјал одговара наплатиће посебно као вишак рада, с тим што има право на сразмерно продужење рока. Уколико материјал не одговара стандардима, трошкове сноси произвођач. Ако није друкчије договорено, сав материјал за уградњу мора да буде неупотребљаван (нов). Ако уграђује материјал инвеститора извођач ће га прегледати, па ако утврди да није квалитетан, одбиће уградњу писменом констатацијом у грађевинском дневнику. Ако и поред тога надзорни орган буде наредио да га угради он ће тако и поступити, али неће одговарати за њега нити за последице. Такође се изузима гаранција за овај део инсталације.

10. Извођач је дужан:

- да постројење изводи по одобреном пројекту,
- да постројење изводи сагласно техничким прописима, упутствима и стандардима,
- да преузима све потребне мере за сигурност радника, пролазника и саобраћаја, као и за сигурност постројења која се изводе из суседних објеката,
- да изврши правилну организацију посла тако да што мање омета рад других предузећа или служби.

11. Ако извођач утврди да монтажни радови неће бити завршени у уговореном року потребно је да у договореном року, а пре истека рока, обавести инвеститора за закашњење са образложењем.

12. У цену монтаже постројења урачуната је:

- потпуна монтажа, испитивање, пробни рад и регулација рада МХЕ,
- дневнице и друге надокнаде за монтере и друго особље које је запослено на извођењу радова.

13. Ако извођач за време монтаже примети да се морају извести накнадни радови на постројењу који нису обухваћени у погодбеном предрачуну или измене које могу имати последице на учинак или на обим радова, дужан је одмах поднети инвеститору предрачун за те накнадне радове.

14. Извођач мора водити прописну грађевинску књигу и грађевински дневник.

15. Извођач је на градилишту одговоран једино надзорном органу и са њим општи преко грађевинског дневника. Наређење надзорног органа, телефоном или писмено, обавезна су за извођача тек када се упишу у дневник. На све захтеве извођача, надзорни орган мора донети решење у уговореном временском року. У противном извођач има право на сразмерно продужење рока или накнаду штете услед застоја.

16. Радове наведене у спецификацији извођач ће извести са потребним бројем својих стручних монтера и помоћника монтера. Број потребног стручног и помоћног особља за извршење уговорених радова одређује извођач по свом нахођењу водећи при том рачуна о одржавању уговореног рока.

17. За оверу грађевинске књиге, дневника и других службених докумената, као и за надзор над радовима, инвеститор је дужан да одреди своје стручно лице које ће га уједно заступати у свим пословима у вези извођења уговорених радова. Име тог лица инвеститор је дужан писмено саопштити извођачу, водећем монтеру односно руководиоцу градилишта.

18. Сви главни цевоводи и прикључци, као и остали делови цевне инсталације морају бити испитани на чврстоћу и на непропустност.

19. Испитивање цевовода, и других инсталација мора вршити извођач радова уз обавезно присуство надзорног органа.

20. О извршеном испитивању морају се саставити записници који морају садржавати:

- предмет испитивања (цевовод, деоница цевовода и остала инсталисана опрема),
- попис лица која су вршила и присуствовала испитивању,
- датум и време испитивања,
- околности под којим се врше испитивања (температура, киша и сл.),

- начин испитивања, са ознаком апарата и уређаја помоћу којих је вршено испитивање,
- притисак и време трајања испитивања,
- резултате испитивања са тачно добијеним вредностима уз евентуални графички приказ добијених резултата,
- закључак у коме се констатује да ли испитивање задовољава или не,
- својеручни потпис лица која су вршила испитивања и која су присуствовала испитивању.

21. Као завршетак монтажних радова сматра се када извођач поднесе надзорном органу писмени извештај о завршетку уговорених радова и овај то писмено потврди у грађевинском дневнику односно затражи од инвеститора писмено да се образује комисија за технички пријем.

22. Пре подношења захтева надлежном органу за вршење техничког пријема објекта и добијање одобрења за пуштање у рад, корисник (инвеститор) одређује стручна лица која ће извршити интерни технички преглед урађених радова према пројекту. О интерном техничком прегледу сачињава се извештај.

23. За технички пријем, извођач односно инвеститор дужан је да комплетира следећу документацију:

- одобрење за градњу објекта, укључујући сагласности надлежних установа (ПТТ, водовод, итд.), геомеханички елаборат о саставу тла,
- комплетну инвестиционо техничку документацију (машинске, грађевинске и електро пројекте) са унесеним допунама и изменама које су настале у току градње објекта,
- оцену овлашћене стручне установе да су при пројектовању примењене прописане мере и нормативи заштите на раду,
- атестну документацију употребљеног материјала и опреме у току градње (за бетон, материјал, арматуру и уређаје),
- записник о извршеној контроли и извршеном пријему пре монтаже,
- извештај о извршеним испитивањима цевовода, цевних инсталација, опреме и уређаја са резултатима тих испитивања,
- атесте електрода којима је вршено заваривање у току монтаже,
- атесте заваривача,
- документацију о спроведеној контроли заварених спојева (радиографска контрола варова и др.),
- дневник рада,
- извештај о контроли пробојности изолације.

10.0 ЗАКЉУЧАК

Обновљиви извори енергије и мале хидроелектране, као њихов атрактивни део, у нашој јавности су представљени на неадекватан начин. Представљени су тако да су многи у томе видели несвакидашњу шансу за велики бизнис, неки су видели шансу да део природних ресурса немилосрдно приграбе себи, неки су добили идеју да своје тешко тржишно привређивање преточе у стабилно и лагодно.

Мале хидроелектране могу значајно допринети производњи електричне енергије. Подршка и инвестирање у мале хидроелектране као резултат има немерљиво већи допринос по животну околину а самим тим и по човечанство. Коришћењем обновљивих извора, у овом случају воде, има дугорочну корист, пре свега на глобално загревање које је у последње време све веће.

Из свега наведеног, у овом раду је одрађен пројекат за изградњу мале хидроелектране са жељом за повећањем свести код људи о значају коришћења и употребе обновљивих извора, у овом случају воде.

Овај пројекат заједно са пројектом електроопреме и електроинсталација, као и хидрограђевинским пројектом је саставни део пројекта за грађевинску дозволу за МХЕ Витуш са инсталираном снагом агрегата од 380 kW.

11.0 ПРИЛОГ

11.1 – Висинска диспозиција

11.2 – Распоред опреме у машинској хали

11.3 – Изглед машинске зграде

11.4 – Приказ турбинског агрегата

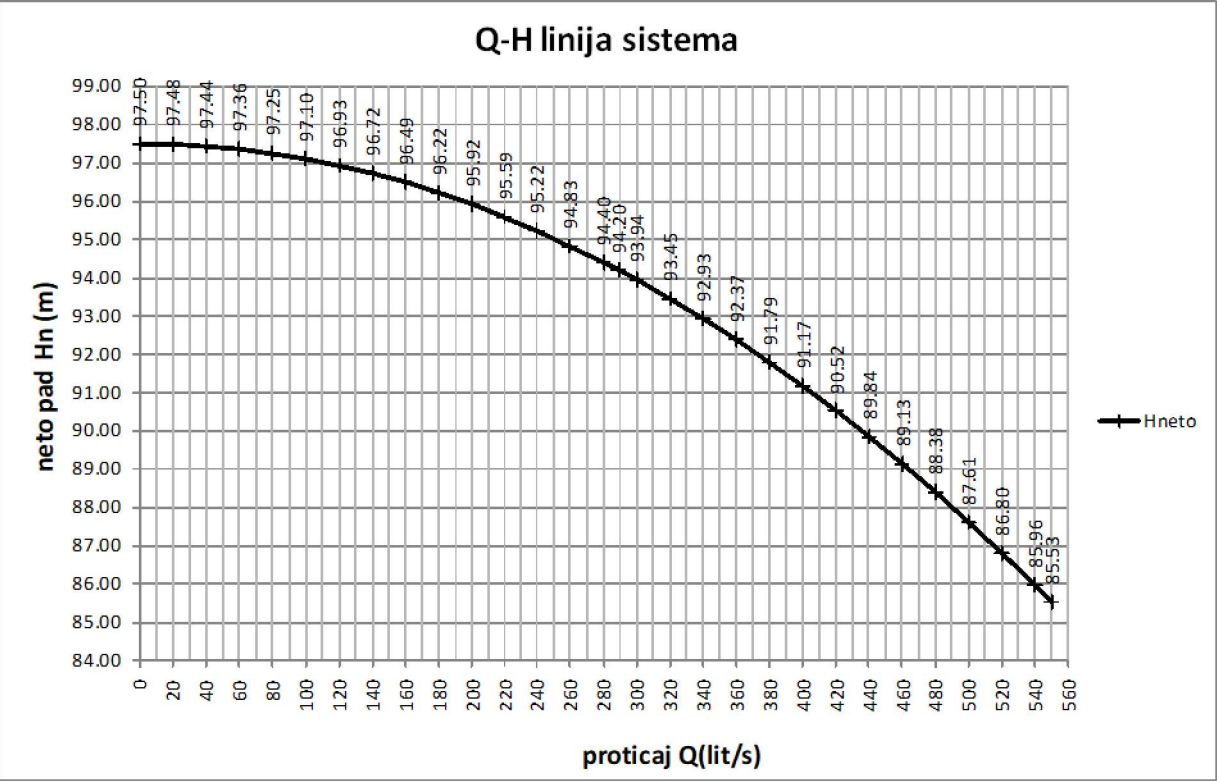
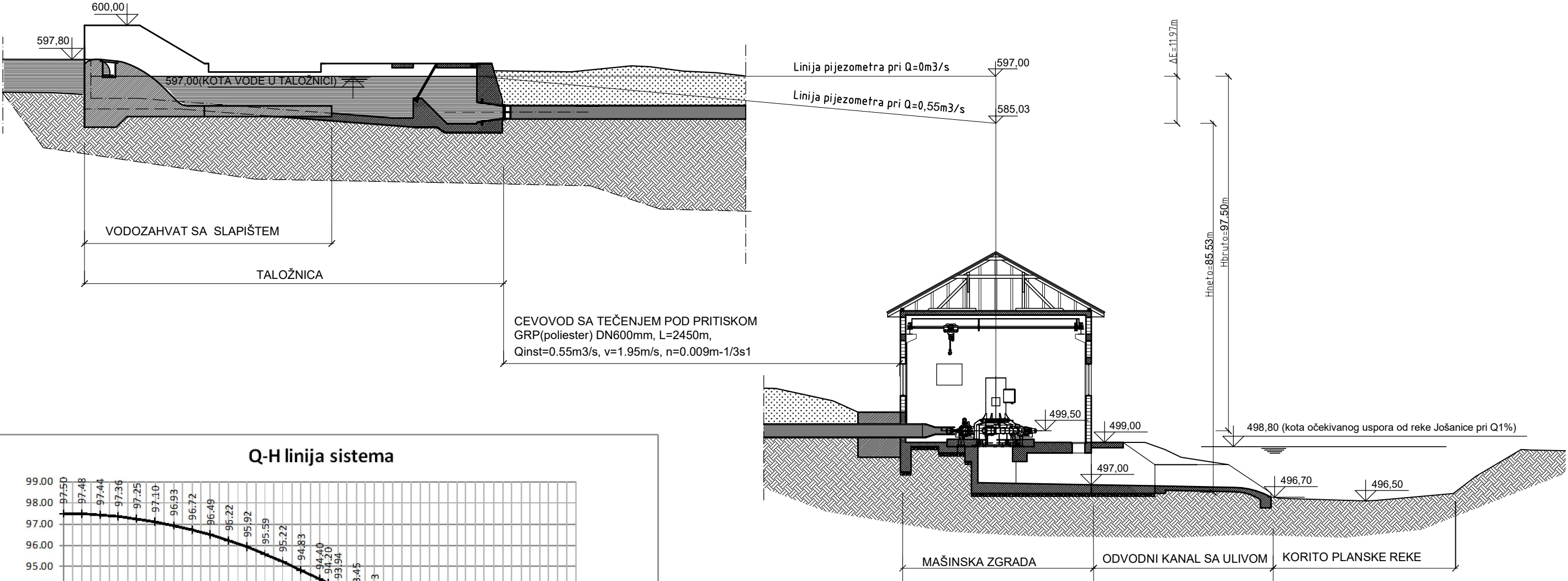
11.5 – Приказ предтурбинског затварача

11.6 – Шема хидрауличког агрегата

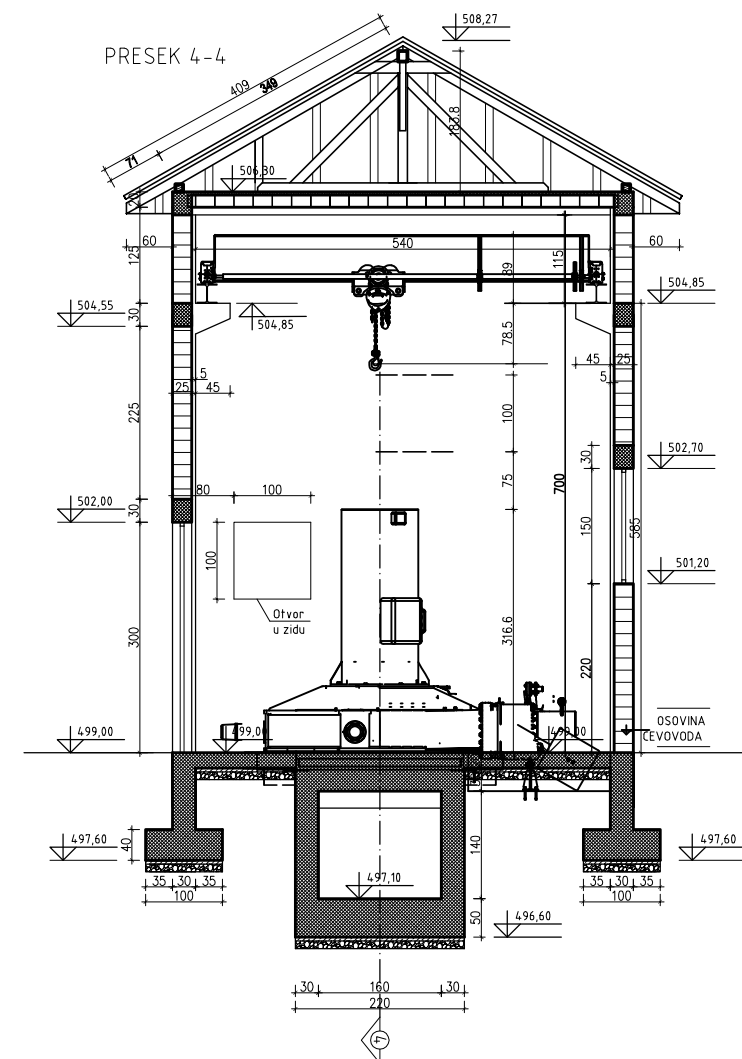
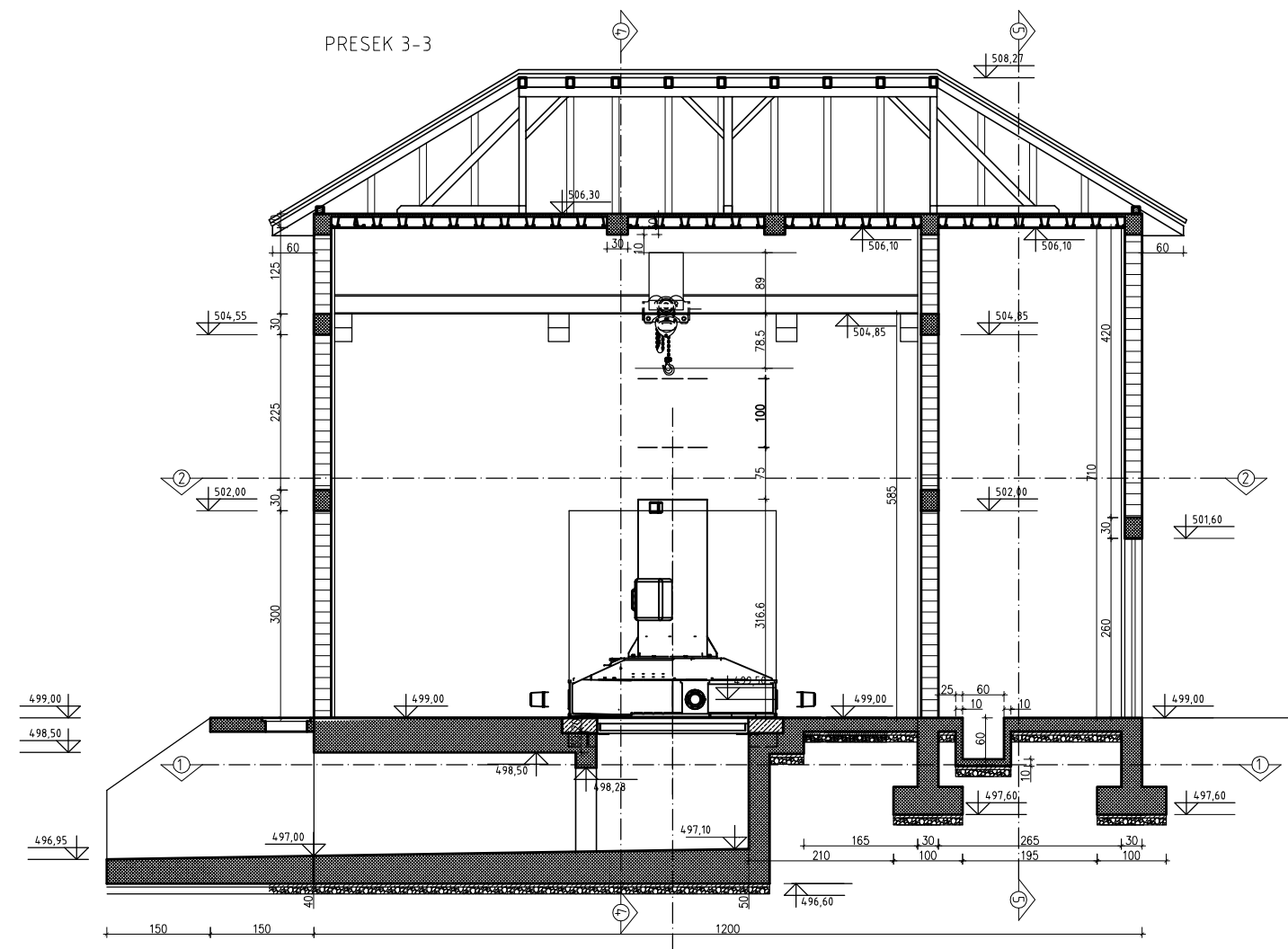
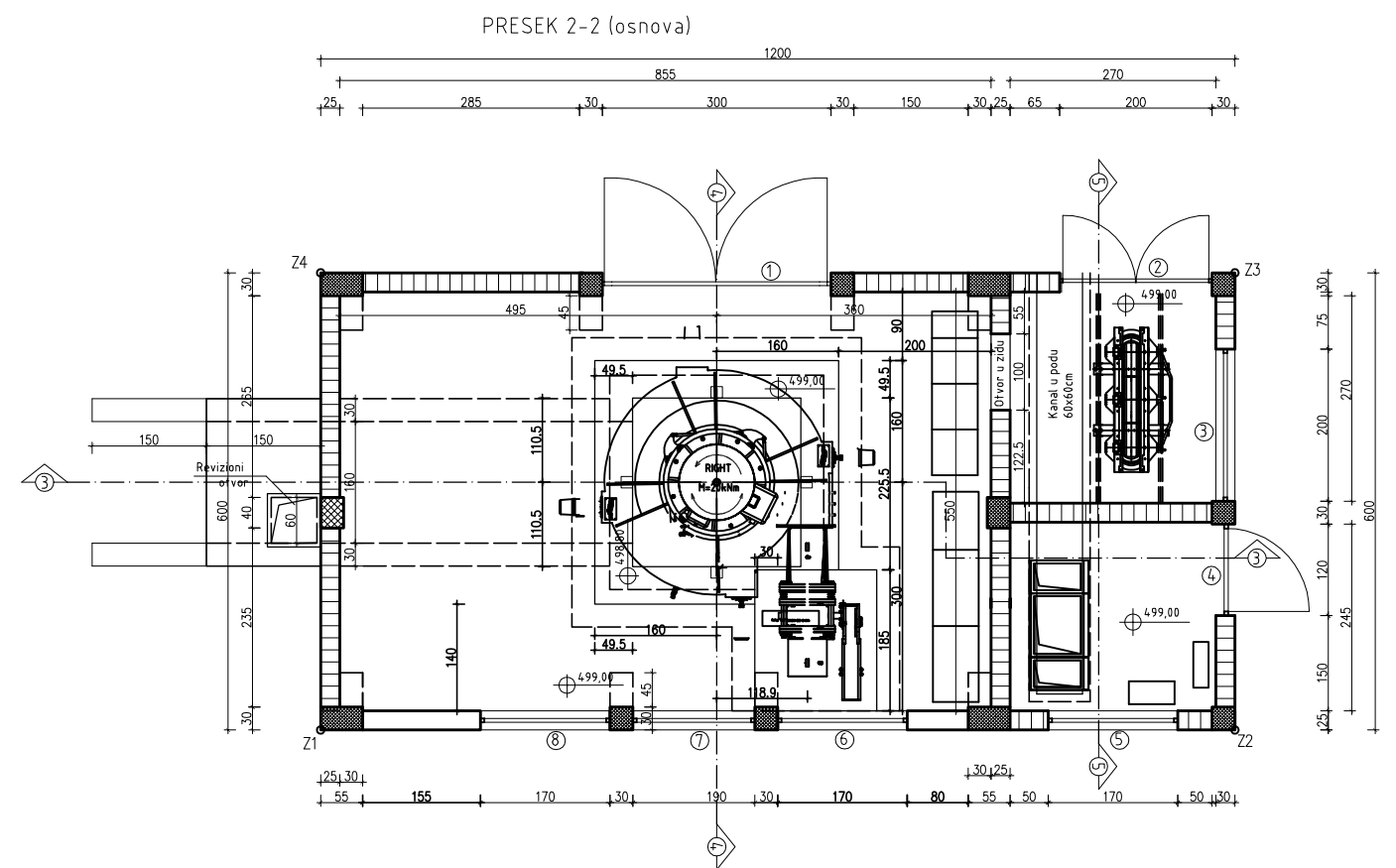
12. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Ивановић: ХИДРОЕНЕРГИЈА, ПОДГОРИЦА, 2014.
- [2] П. Рохлик: МИКРОХИДРОЕЛЕКТРАНА, ЗАГРЕБ, 2014.
- [3] М. Симеуновић : ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ МАЛЕ ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ, ЧАЧАК, 2012.
- [4] С. Маричевић: ОДРЕЂИВАЊЕ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТИ ЗА ИЗГРАДЊУ МАЛЕ ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ.
- [5] В. Јенић: ПРОРАЧУН ЗА ИЗГРАДЊУ МХЕ ЛИСИНЕ, КРАЈУЈЕВАЦ, 2016.
- [6] В. Лецковић: SMALL HYDRO PROJECT ANALYSIS, ЊУЈОРК, 2006.

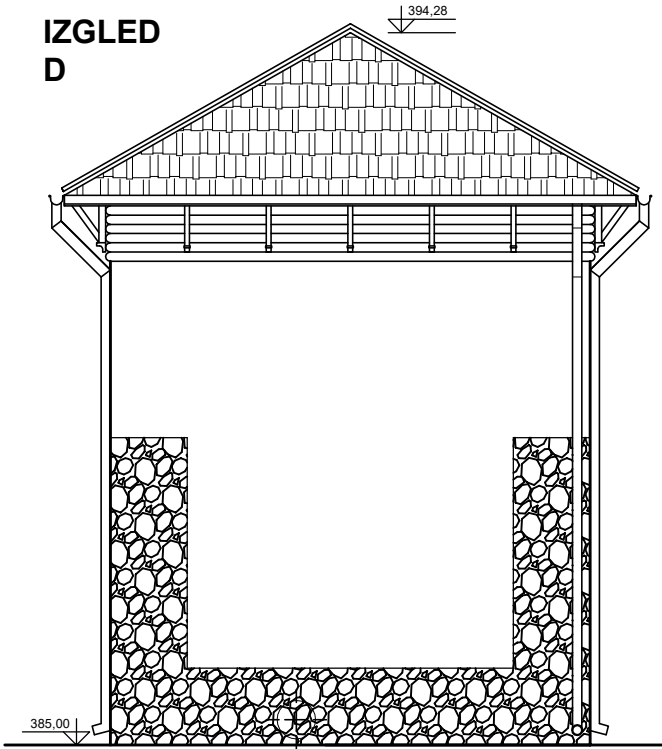
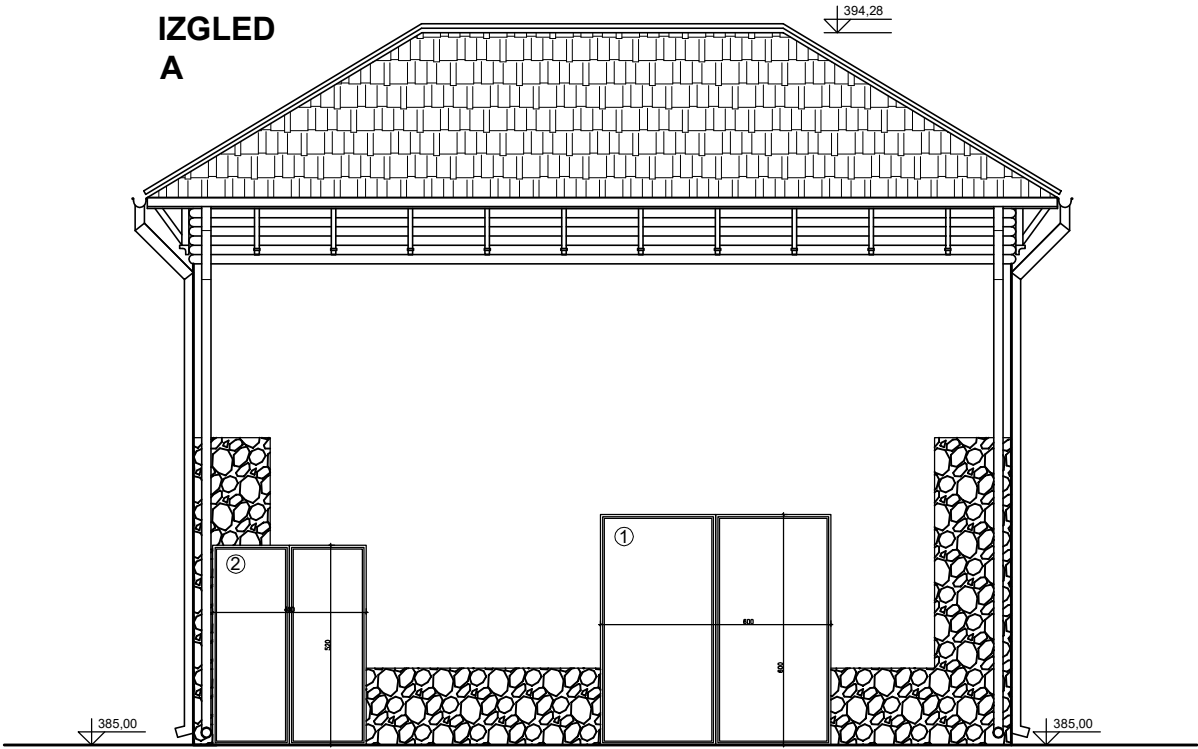
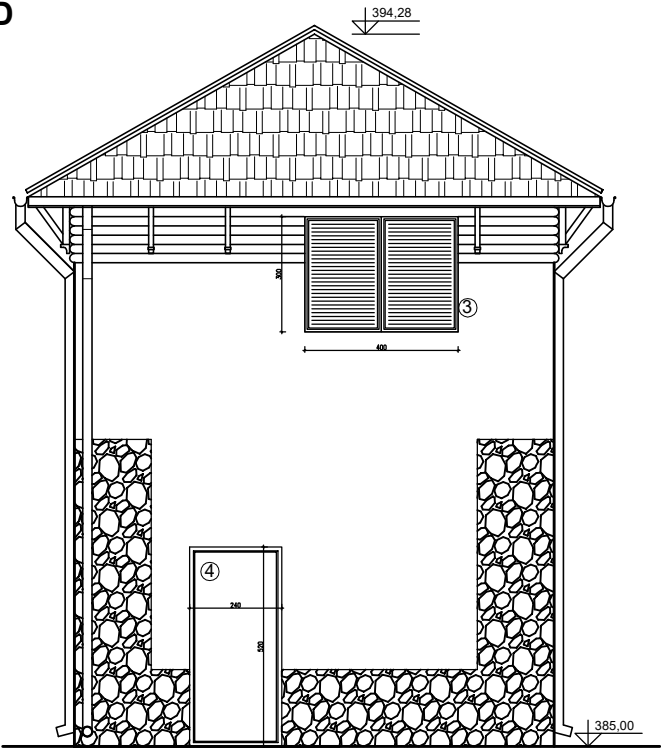
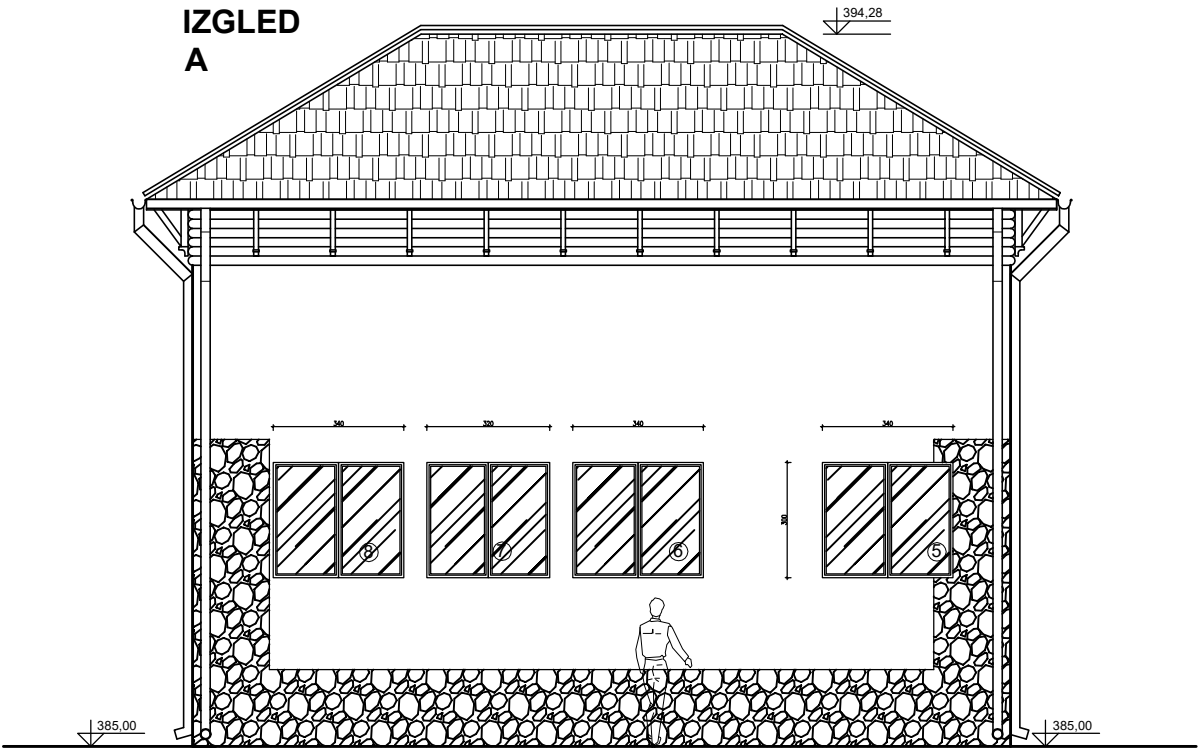
Naziv MHE		Investitor	Opština	Reka	Srednji godišnji proticaj	Instalisani proticaj	Koficijent	CEVOVOD							APSOLUTNE VISINE			Bruto pad	NETO PAD		UKUPNA SNAGA			
								Dužina cevovoda	vrsta tečenja	Računski prečnik	Usvojeni prečnik	brzina vod pri instalisanom proticaju	brzina vode pri srednjem proticaju	Energetski gubitak duž cevovoda pri srednjem proticaju	Energetski gubitak duž cevovoda pri instalisanom proticaju	kota normalnog uspora	kota vode u taložnici		donja voda - osovina pelton turbine	pri instalisanom proticaju	pri srednjem proticaju	maksima snaga turbina	maksima snaga generatora	Usvojena instalisana snaga
-			-	-	Qsr (m3/s)	Qins (m3/s)		Lc (m)	-	Dr (m)	Du (m)	v (m/s)	v (m/s)	Δh (m)	Δh (m)	(mm)	(mm)	(mm)	Hbr (m)	Hneto,in (m)	Hneto,sr (m)	Ptur(kW) n=0.90	Pgen (kW) n=0.93	Pg (kW)
1	VITUŠ	Arsenal - Hidro d.o.o. Kraljevo	Raška	Planska reka	0.289	0.550	1.9	2450.0	pod pritiskom	0.57	0.60	1.95	1.02	3.30	11.97	597.80	597.00	499.50	97.50	85.53	94.20	415	<u>386</u>	380



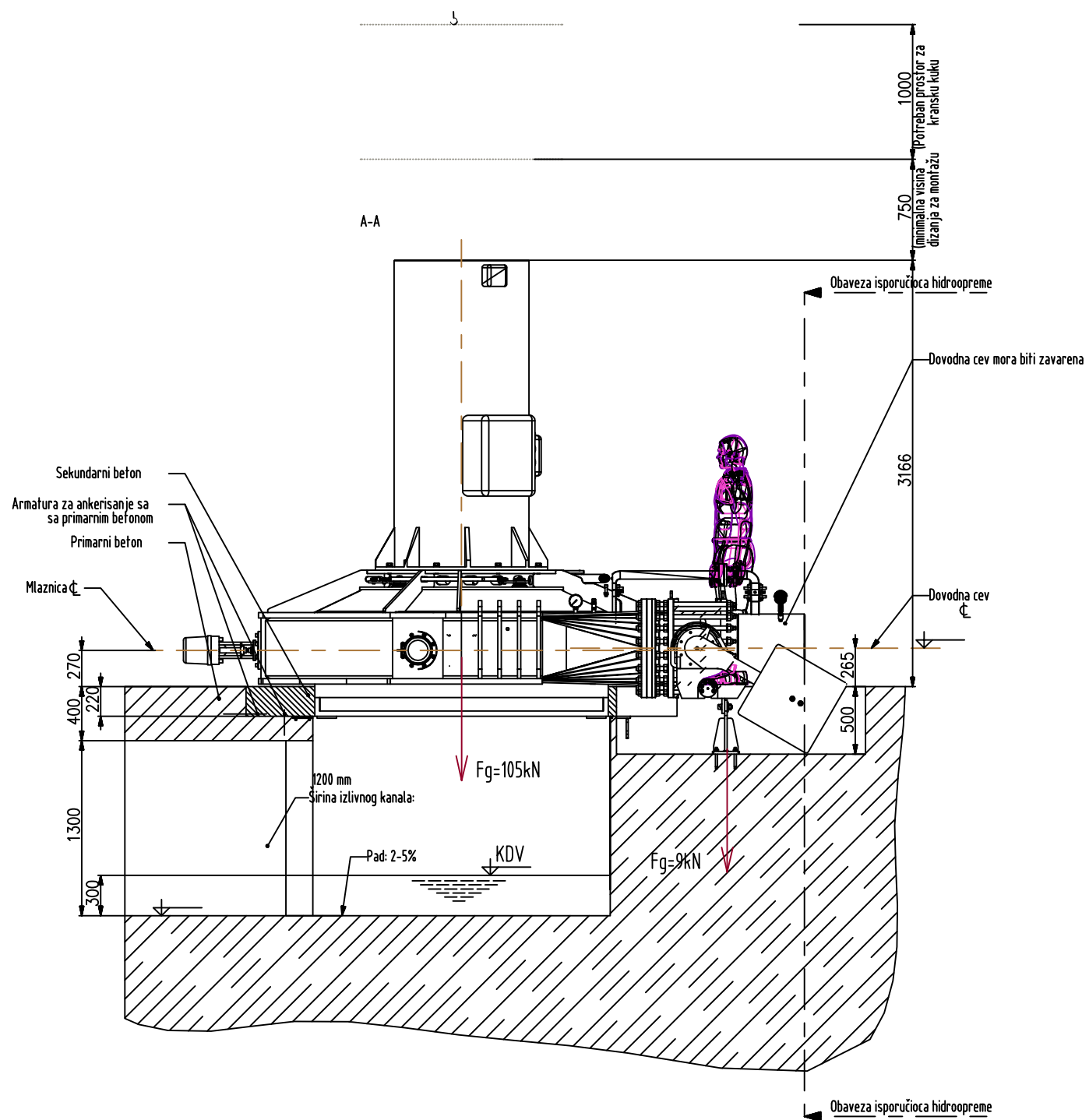
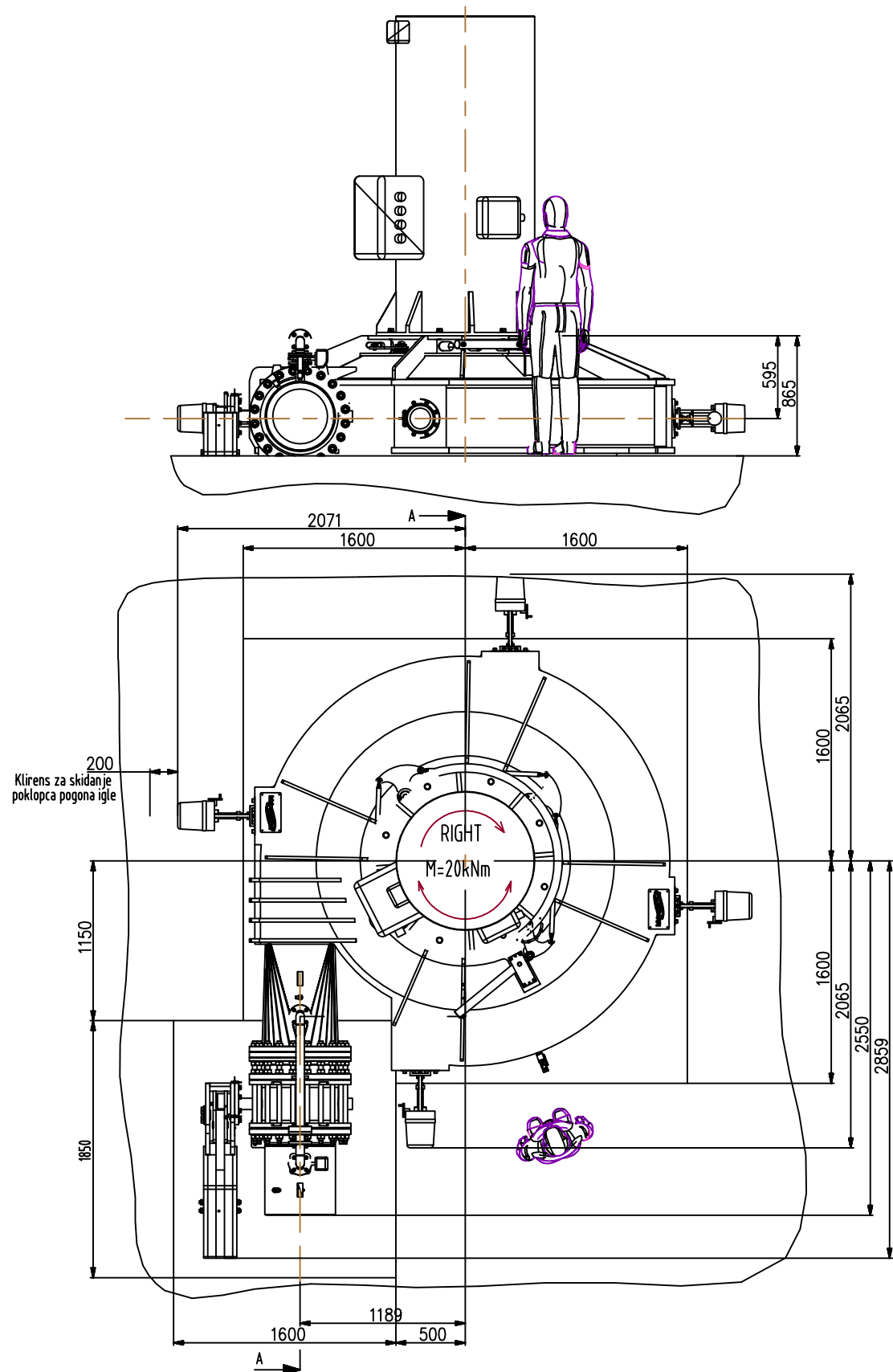
01	1							
Poz.	Kom.	Naziv dela	Dimenzije	Materijal	Po kom. Masa – kg	Ukupno	Br.crt./stand.	Primedba
Konstruisao	02.04.2018.			W&W ENERGY KRAGUJEVAC				
Crtao		S.Radojević						
Kontrolisao								
Overio				Program: Hidro–elektrana VITUŠ				
Razmera:	Naziv sklopa:					Broj sklopa:		Broj knjige
1: 200	Mala hidroelektrana Vituš					y		
	Naziv crteza:					Broj crteza:		
					VISINSKA DISPOZICIJA			
					11.1			
Veza sa crtezima:					List:	1	Listova:	1



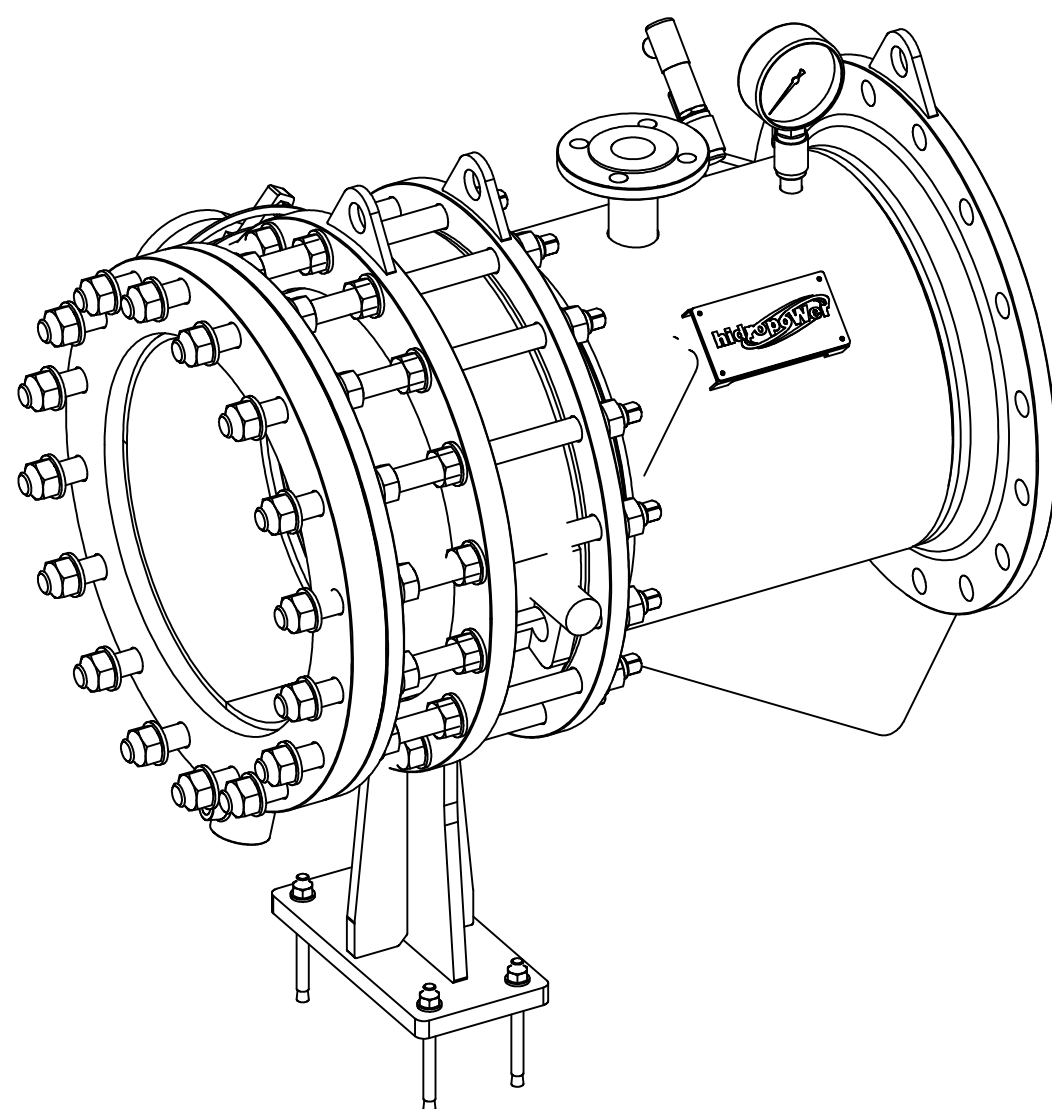
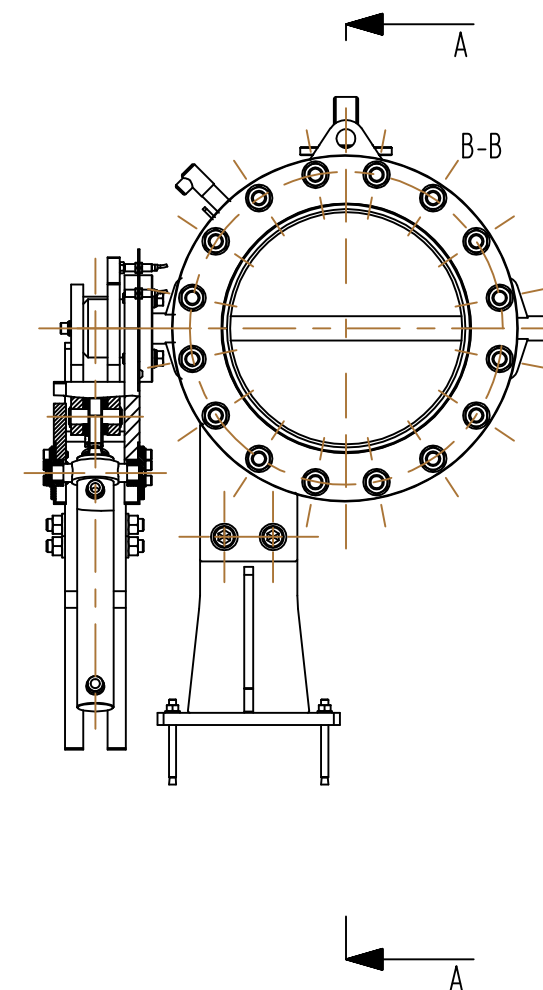
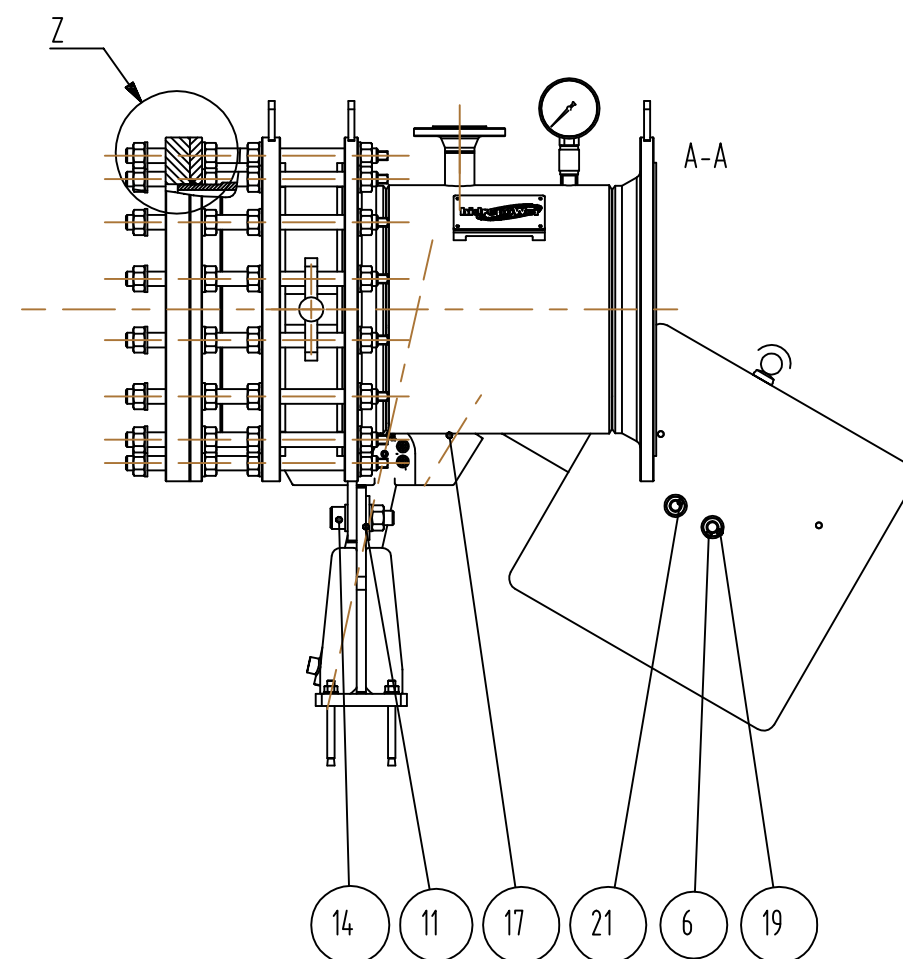
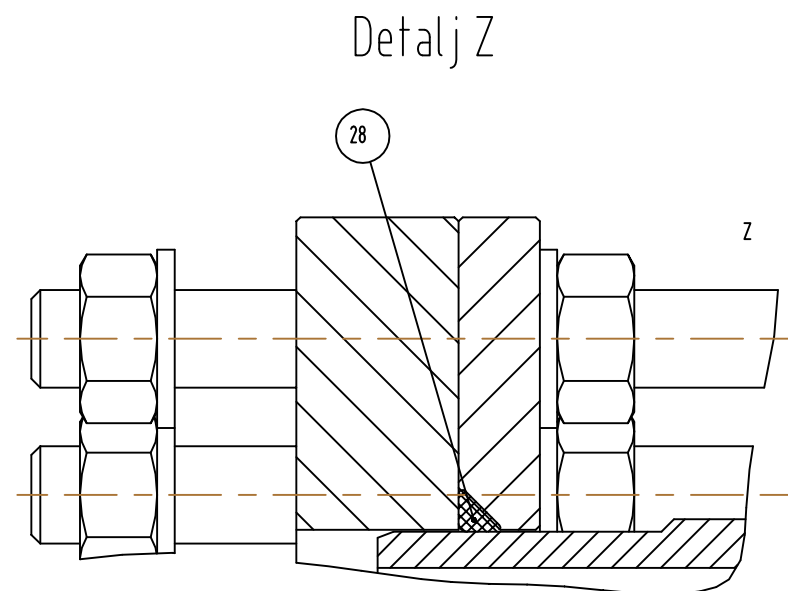
O1	1							
Poz.	Kom.	Naziv dela	Dimenzije	Materijal	Po kom. Masa – kg	Ukupno	Br.crt./stand.	Primedba
Konstruisao					W&W ENERGY KRAGUJEVAC			
Crtao	29.03.2018.	S.Radojević						
Kontrolisao								
Overio					Program: Hidro–elektrana VITUŠ			
Razmera:	Naziv sklopa:				Broj sklopa:		Broj knjige	
1:20	Mala hidroelektrana Vituš				y			
	Naziv crteza:				Broj crteza:			
Raspored opreme u maš. hali					11.2			
Veza sa crtezima:					List: 1		Listova: 1	



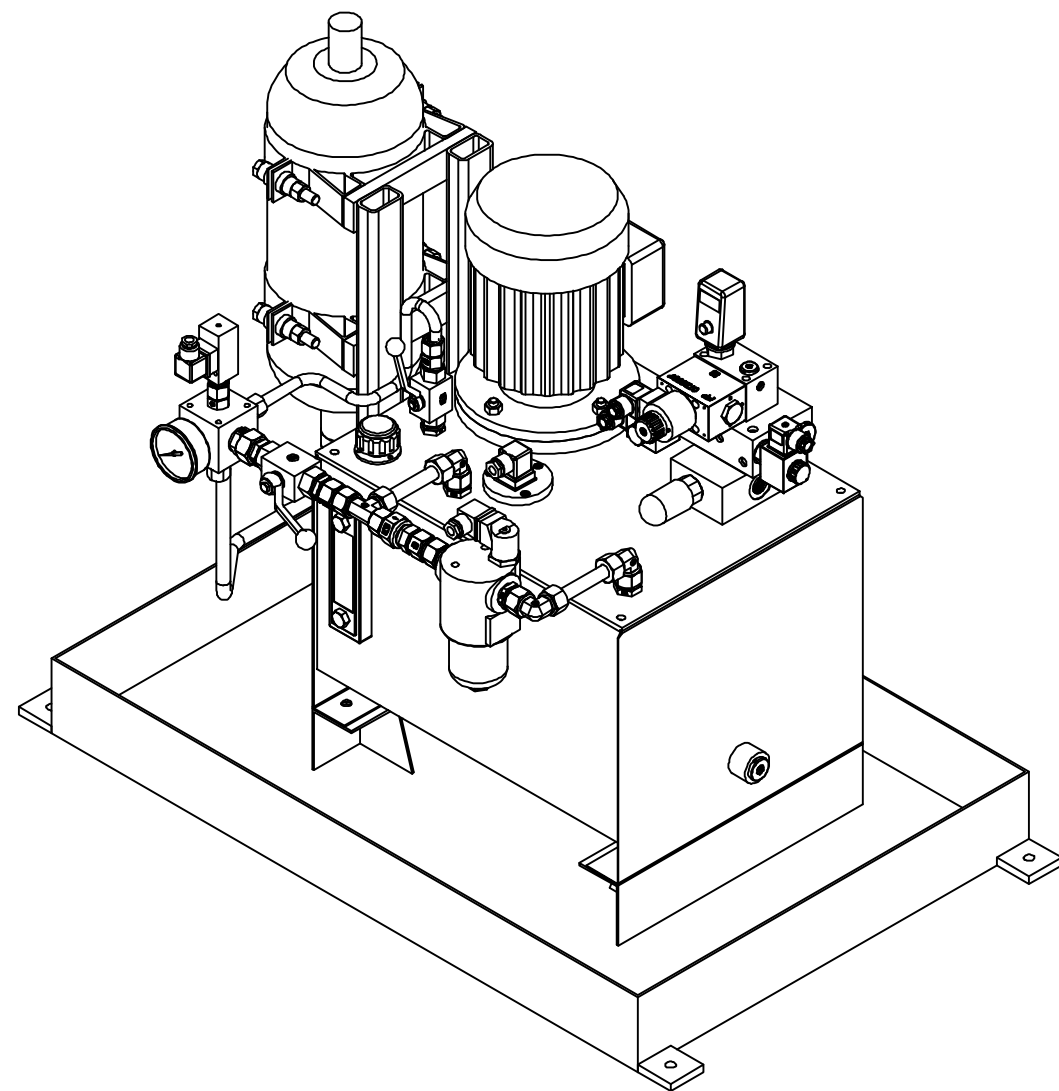
01	1							
Poz.	Kom.	Naziv dela	Dimenzije	Materijal	Po kom. Masa – kg	Ukupno	Br.crt./stand.	Primedba
Konstruisao					W&W ENERGY KRAGUJEVAC			
Crtao	04.04.2018.	S.Radojević						
Kontrolisao								
Overio					Program:	Hidro–elektrana VITUŠ		
Razmera:	Naziv sklopa:					Broj sklopa:	Broj knjige	
1: 20	Mala hidroelektrana Vituš					y		
	Naziv crteza:					Broj crteza:		
					Izgled mašinske zgrade		11.3	
Veza sa crtezima:						List:	1	Listova: 1



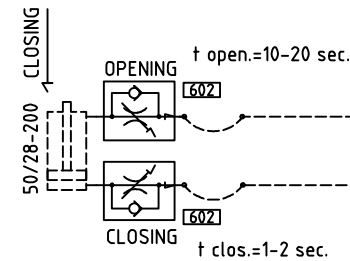
01	1							
Poz.	Kom.	Naziv dela	Dimenzije	Materijal	Po kom.	Ukupno	Br.crt./stand.	Primerba
					Masa	- kg		
Konstruisao								
Crtao	04.04.2018.	S.Radojević						
Kontrolisao								
Overio								
Razmera:	Naziv sklopa:	Mala hidroelektrana Vituš				Broj sklopa:	Broj knjige	
						y		
	1:10	Naziv crteza: PRIKAZ TURBINSKOG AGREGATA				Broj crteza:	11.4	
Veza sa crtezima:					List:	1	Listova:	1



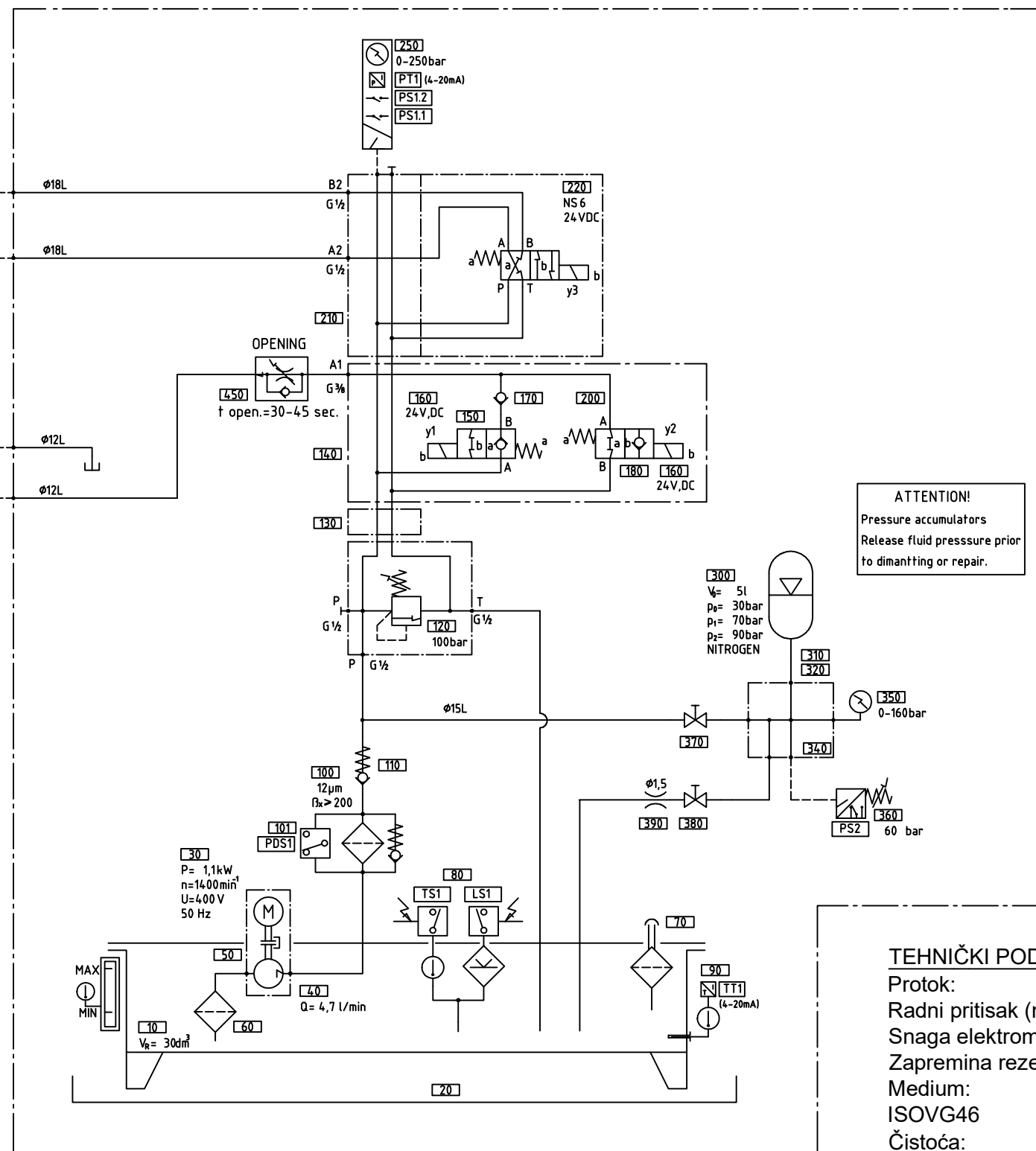
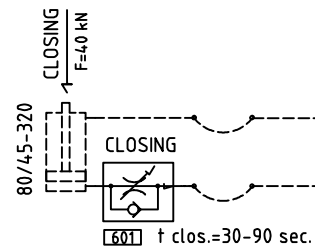
01	1							
01	1							
01	1							
01	1							
01	1							
01	1							
01	1							
01	1							
Poz.	Kom.	Naziv dela	Dimenzije	Materijal	Po kom. Masa – kg	Ukupno	Br.crt./stand.	Primedba
Konstruisao				W&W ENERGY KRAGUJEVAC				
Crtao	04.04.2018.	S.Radojević						
Kontrolisao								
Overio				Program: Hidro–elektrana VITUŠ				
Razmera:	Naziv sklopa:					Broj sklopa:		Broj knjige
1:10	Mala hidroelektrana Vituš					y		
	Naziv crteza:					Broj crteza:		
PRIKAZ PREDTURBINSKOG ZATVARAČA					11.5			
Veza sa crtezima:					List:	1	Listova:	1



SKRETAČ
MLAZA



LEPTIRASTI
ZATVARAČ



ATTENTION!
Pressure accumulators
Release fluid pressure prior
to dismantling or repair.

TEHNIČKI PODACI:

Protok: 4.7 l/min

Radni pritisak (max): 100 bar

Snaga elektromotora: 1,1 kW

Zapremina rezervoara: 30 l

Medium: HLP(DIN51524);

ISOVG46

Čistoća: 19/17/14

(ISO4406:1999)

Temperatura ulja: 30-50°C

01	1							
Poz.	Kom.	Naziv dela	Dimenzije	Materijal	Po kom. Masa – kg	Ukupno	Br.crt./stand.	Primedba
Konstruisao					W&W ENERGY KRAGUJEVAC			
Crtao	04.04.2018.	S.Radojević						
Kontrolisao								
Overio					Program: Hidro–elektrana VITUŠ			
Razmera: 1:10	Naziv sklopa:	Mala hidroelektrana Vituš				Broj sklopa:	Broj knjige	
	Naziv crteza:	SEMA HIDRAULIČKOG AGREGATA				Broj crteza:	11.6	
Veza sa crtezima:						List:	1	Listova: 1

W&W ENERGY
KRAGUJEVAC

Program: Hidro-elektrana VITUŠ