

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Управљање енерго-еко пројектима
Број индекса: 320/2012

Милош В. Митровић
**Пројекат малих хидроелектрана интегрисаних у
систему за наводњавање пољопривредног
земљишта равнице Стиг
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Милун Ј. Бабић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Пројекат малих хидроелектрана интегрисаних у систему за наводњавање пољопривредног земљишта равнице Стиг

Мастер рад

Студентски тим који сачињавају: Александар Милојковић, Милош Митровић, Мрослав Миладиновић и Владимир Милијановић, има задатак да уради пројекат Система за наводњавање пољопривредних површина Стига.

Циљ овог пројекта је да се повећа годишњи принос пољопривредних култура. Значај пољопривреде за развој Стига је све већа како ово поднебље све учесталије погађа суша, па се процењује да би се наводњавањем обрадивих површина у равници Стиг код Пожареваца знатно могао да подигне годишњи принос. Наша је идеја да се за наводњавање ове равнице искористи вода која се испумпава са површинског угљокопа Дрмно, чиме би се постигле значајне еколошке и енергетске користи, али и омогућило Електропривреди Србије да узврати становницима овога краја за све штете које угљенокоп и електрана доносе овом крају. Из угљокопа Дрмно ископава се лигнит за потребе Костолачких термоелектрана, а по начину експлоатације је специфичан и у европским оквирима, јер се налази на терену који је изложен протицању јаким подземних вода, па као такав поседује јединствени систем за заштиту од површинских и подземних вода приликом експлоатације. Задатак студенског тима је да:

Након консултација са члановима тима, решено је да се у оквиру пројекта ураде четири подстудије које својим обимом и садржајем одговарају захтевима које мора да има један мастер рад на мастер студијама енергетике и процесне технике на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

Унутар, тимска подела посла налаже студенту **Милошу Митровићу** да уради сегмент студије који носи назив „**Пројекат малих хидроелектрана интегрисаних у систему за наводњавање пољопривредног земљишта равнице Стиг**“, који треба да:

- уведе читаоца у материју,
- опише локацију пројекта, идејно решење наводњавања,
- изврши одабир и димензионисање турбине и генератора,
- опише системе управљања и регулације малих хидроелектрана,
- изврши утицај хидроелектрана на животну средину.

Веома је било важно да уз помоћ савремених софтверских прорачунских и пројектантских алата комплетну идеју проверимо, али и да израдимо 3D виртуалне документације свих виталних компоненти водозаливног система, али и да утврдимо економску оправданост инвестиције у изградњу тог система.

Кључне речи:

Мале хидроелектране, турбине, SCADA, управљање, акумулационо језеро, цевовод, контролна кутија, рачунар, PLC.

Small hydroelectric power projects in the integrated system for irrigation of agricultural land plains Stig

Master work

Student team consisted of: Alexander Milojković Milos Mitrovic, Mroslav Miladinovic and Vladimir Milijanović, has a duty to do system design for irrigation of agricultural lands Stiga.

The aim of this project is to increase the annual yield of agricultural crops and its significance for the development of region characterized by drought, irrigation of farmland in the valley Stig in Pozarevac water that is pumped from the surface open pit Drmno. From this ugljokopa mined lignite for Kostolac thermal power plant, and the way exploitation is special and within the European framework, as it is on the ground which is exposed to the flow of strong ground water, and as such has a unique system for the protection of surface and ground water during operation . The task of the student team that pomunutu water used for irrigation, do adequate treatment partially restore electricity bills, which is used for pumping water by installing hydraulic turbine, a network of pipelines and control the entire system.

After consultation with team members, it was decided to do the project four sub-study of its scope and content meet the requirements that must have a master work of the master studies of Energy and Process Engineering at the Faculty of Engineering Sciences in Kragujevac.

Inside, team division of labor requires the student **Miloš Mitrović** do segment of the study entitled "**Small hydroelectric power projects in the integrated system for irrigation of agricultural land plains Stig**", which should:

- Introduce the reader to the subject matter,
- A description of the location of the project, preliminary design of irrigation
- Make a selection and sizing of the turbine and generator,
- Description of the management and control of small hydro power plants,
- Make the impact of hydropower on the environment.

It was important that with the help of modern software budget and design tools complete idea check, but also to create a 3D virtual documentation of all vital components vodozalivnog system, but also to determine the economic feasibility of investment in the construction of the system.

Keywords:

small hydroelectric power, turbine, SCADA, control, reservoir, piping, control box, computer, PLC.

Крагујевац, јул 2014. године

Проф. др Милун Бабић, ментор

Садржај:

1. Увод.....	6
2. Хидроенергија	7
2.1 Карактеристике потенцијала хидроенергије	8
2.2 Хидроелектране.....	8
2.2.1 Принцип рада хидроелектране	9
2.2.2 Саставни делови хидроелектране.....	9
2.2.3 Врсте хидроелектрана	11
2.2.3.1 Подела хидроелектрана по нивоу воденог пада	11
2.2.4 Врсте турбина код хидроелектрана.....	11
2.3 Мале Хидроелектране	12
2.3.1 Конструкција малих хидроелектрана.....	13
2.4 Опис принципа дејства хидрауличне турбине, као класичног представника турбомашина	14
2.5 Класификација хидрауличних турбина	17
2.5.1 Реакцијске хидрауличне турбине	17
2.5.1.1 Аксијалне хидрауличне турбине	17
2.5.1.2 Полуаксијалне хидрауличне турбине	18
2.5.2 Акцијске хидрауличне турбине	20
2.5.2.1 Банки турбина	20
2.5.2.2 Турго турбина.....	23
2.5.2.3 Пелтонова турбина	23
2.6 Теориске основе одређивања напора турбине и турбинског постројења	24
2.6.1 Одређивање напора турбине.....	24
2.6.2 Одређивање напора турбине према параметрима турбинског постројења.....	25
3. Опис система за наводњавање у коме би се интегрисала мала хидроелектрана.....	28
4. Акумулационо језеро.....	30
5. Одређивање локације мале хидроелектране на новој хидроакумулацији „Стиг“	33
5.1 Одређивање енергетског потенцијала водног тока	33
5.2 Хидраулички губици у турбини	34
5.3 Осврт на изабрану локацију мале хидроелектране.....	36

5.3.1	Одређивање протока.....	37
5.3.2	Одређивање расположивог пада воде.....	38
6.	Одабир и димензионисање турбине и генератора	39
6.1	Одређивање напора турбине према параметрима турбинског постројења.....	39
6.2	Одабир произвођача	44
6.2.1	Проточна Банки турбина.....	44
6.2.1.1	Паметри постројења Банки-турбине (димензионисање главних елемената Банкијеве турбине)	48
7.	Одабир управљачких и регулационих компоненти.....	53
8.	3D изведба МХЕ са свим компонентама	58
8.1	Увод у програмске пакете	58
8.1.1	CATIA V5	58
8.2	3D израда основних делова Банки-турбине	62
8.2.1	Радно коло Банки турбине	62
8.2.2	Кућиште Банки турбине	63
8.3	3D конструкција склопа Банки турбине	65
8.4	3D изведба МХЕ и система наводњавања	66
9.	Ток масе и енергије.....	67
9.1	Прорачун цевовода	68
10.	Техно-економска анализа изградње мале хидроелектране.....	72
11.	Утицај хидроелектрана на животну средину	73
11.1	Позитиван утицај хидроелектрана	73
11.2	Негативан утицај хидроелектрана.....	74
12.	Закључак	76
13.	Литература.....	77

1. Увод

Живимо у данима када је питање искоришћења енергије врло актуелно. Ресурси које користимо су потрошиви и сваким даном се њихове количине смањују. Човечанство се због тога све више окреће према обновљивим изворима енергије од којих је хидроенергија велики део, а посебно у производњи електричне енергије у хидроелектранама.

Тема рада је пројектовање и имплементација малих хидроелектрана у склопу постројења за наводњавање пољопривредног земљишта равнице Стиг, тј. одабир локације, одабир главних параметара хидроенергетског постројења и њихова 3D изведба у програмским пакетима. Циљ је, такође, и да се креира комплетна техно-економску анализа и изнесу утицаји хидроенергетског постројења на животну средину.

Вода која се користи за наводњавање пољопривредних поседа равнице Стиг се из акумулационог језера допрема гравитационим цевоводом. У оваквом постројењу долази до губљења енергије од уласка у постројење за пречишћавање воде, кроз разводне цевоводе, па све до крајњих потрошача, тј. локација на којима се вода излива у напојне канале, или у пригушницама које обезбеђују напајање по принципу „кап по кап“. На овом делу сложеног цевовода постављају се вентили који ће смањити енергију воде и обезбедити несметано кретање воде кроз постројење за њено пречишћавање. Уместо оваквих вентила, може се користити турбина, која ће претварати енергију воде у механички рад, а даље се у генератору механички рад претварати у електричну енергију. На овај начин би, ионако изгубљену, енергију воде посредством мале хидроелектране претварали у електричну енергију.

2. Хидроенергија

Хидроенергија је енергија чији назив потиче од речи (hidro), што значи вода и (energy), што значи енергија па одатле и њен назив. Хидроенергија је најстарији извор енергије који се вековима користи за добијање механичке, а већ дуже од сто година и електричне енергије. Хидромеханички енергетски потенцијал речних токова представља последицу природних кретања воде под дејством топлоте Сунца и гравитационе силе.

Искоришћавање хидроенергије има историјат од више хиљада година. На основу археолошких налаза, познајемо системе наводњавања старе 5000 година. Сигурно је да су воденице (дакле, претварање хидроенергије у механички рад) већ користиле велике империје Старог века (Египат, Кина, Индија). Воденице су једнако радиле и код Римљана и код Грка. У првој половини 19. века, углавном почев од 30-их година, уместо воденица појавиле су се прве водене турбине, које су биле способне да експлоатишу енергију река које карактерише велики пад и велики принос воде. [12]



Слика 2.1 Приказ воденице[12]

Напокон, 1860-их година, Werner von Siemens је изградио електрични генератор кога је покретала водена турбина, којим се могла производити електрична енергија, док 1896. године је ангажовањем Thomasa Alve Edisona и Николе Тесле изграђена на водопаду Нијагара прва хидроелектрана наизменичне струје. Данас око 20% светске производње електричне енергије потиче из хидроенергије, у укупној количини од око 2030 TWh. [12]

Енергија добијена коришћењем снаге воде је релативно чиста, међутим, велике хидроелектране изазивају велике проблеме између осталог и око уређења водотокова, нарушавања пејзажа, утицаја на флору и фауну и индиректног ослобађања гасова стаклене баште (метан који настаје распадањем седимента у акумулацијама). Међутим, технолошка решења која не подразумевају изградњу бране, акумулације или расељење становништва, немају негативан ефекат на људске потребе за водом нити утичу негативно на биолошку

разноврсност подручја, прихватљива су и препоручљива. Као једно од најисплативијих и еколошки најприхватљивијих решења почиње се са изградњом хидроелектрана и искоришћавањем енергије воде, односно хидроенергије.

2.1. Карактеристике потенцијала хидроенергије

Ради проучавања хидроенергије потребно је познавати неколико карактеристика овог потенцијала.

Теоријски потенцијал водених снага је теоретски могућа снага коју водени ток може дати без обзира на техничку и економску страну остварљивости постројења. За рачун овог показатеља је потребно познавати висинске разлике за дата јединична одстојања, тј. подужни профил река и потока, трајање и учестаност снага, распоређеност снага дуж тока, расподела снага у функцији времена, просечне и максималне протоке.

Технички водени потенцијал се одређује на основу разраде неког техничког решења када се утврди реално остварив потенцијал годишње производње енергије.

Економски потенцијал је онај део технички искористивог потенцијала чија се експлоатација економски исплати.

2.2. Хидроелектране

Хидроелектрана је електрично постројење за производњу електричне енергије са погоном на воду. Овај вид електрана се гради на местима где постоји довољно текуће воде у смислу количине и висинске разлике. Такође, хидроелектране се обично граде са вишим и нижим нивоом, што заправо чини ову технологију јако повољном и флексибилном за контролисање количине произведене струје. Помоћу акумулације воде, више енергије може да се произведе у току повећане потрошње, а ноћу када је потрошња смањена се производи мање струје и ствара нова акумулација воде.



Слика 2.2 Хидроелектрана Бајина Башта[12]

Снага хидроелектране је сразмерна количини воде и висинској разлици. Зато се бирају водотокови са великим протоком воде или планинске реке са мањим током, али великим падовима, док равничарске реке са малим висинским разликама нису повољне. Међутим количина произведене енергије зависи од количине дотока воде и варира током године.

Технологија хидроелектране је поуздана и након изградње, подразумева само трошкове одражавања и праћења стања конструкције

2.2.1. Принцип рада хидроелектране

Потенцијална енергија воде се претвара у кинетичку енергију воде која се доводи кроз канале, односно цевоводе. Кинетичка енергија воде у покрету са ротацијом турбине претвара у механичку енергију. Текућа вода обрће својом кинетичком енергијом хидрауличну турбину, која је повезана са електричном машином - генератором електричне енергије. Сваки генератор је састављен од ротора и статора, где се у ротору налазе магнети и самим окретањем магнетног поља се индукује струја у бакарним навојима у статору, по принципу електромагнетне индукције. У хидроелектранама генератор има јак електромагнет, односно ротор па померањем магнетног поља, изазива се померање електрона који "скачу" са атома на атом и тим се производи електрични ток, односно струја.

2.2.2. Саставни делови хидроелектране

Брана или преграда је основни део хидротехничког система хидроелектране, а функција јој је скретање воде с природног тока према захвату, повећање дубине воде како би добили што већи пад и остваривање акумулације воде. Бране могу бити масивне (армирано-бетонске) и насуте (земља, камење).

Захват воде је структура која усмерава воду према доводу, односно према турбини. Постоје примери захвата испод и изнад површине воде. Задатак захвата је да потребну количину воде усмери према доводу воде или директно према цевоводу, под притиском а да при том битно не угрози околину, и да не захтева посебна одржавања. Према данашњим еколошким стандардима захвати имају системе за одвраћање риба од захвата и пролазе за рибе.

Довод воде је део система који спаја захват са воденом комором. Може бити изведен као отворени – канал или затворени – тунел. Отворени довод (канал) може бити изведен у облику трапезоида, правоугаоника, троугла или полукружно. Проток кроз канал зависи од врсте материјала од којег је израђен (земља, челик, дрво или бетон) од чистоће канала и од облика канала. Затворени довод (тунел) може бити изведен као гравитациони или притисни. Код гравитационих тунела вода не испуњава цео тунел, па се проток регулише на захвату, док код притисних тунела вода испуњава цео попречни пресек, па не треба утицати на захват за промену протока.

Водена комора налази се на крају одвода, а служи за регулацију приликом промене оптерећења. Када је довод изведен као гравитациони тунел водена комора мора имати

одговарајући волумен како би се у њој могла стати већа количина воде, а када је тунел притисни димензије коморе морају бити такве да ниво воде у доводу не порасте преко допуштене границе.

Притисни цевовод доводи воду до турбина из водене коморе или директно са захвата воде, а карактеристичан је по материјалу, размери, дебљини и типом спајања појединих делова. Размера се бира тако да се губици због трења смање на прихватљиву меру док се дебљина бира тако да је цевовод отпоран на хидрауличке притиске. Данас постоји широк избор материјала за израду цевовода, зависно од пада. За велике падове користи се заварени челик, док је за мале и средње падове челик мање пожељни јер се унутрашњи и спољашњи слој заштите не смањује са смањењем дебљине цеви услед мањег притиска. Зато се на мањим и средњим падовима користе још и полиетиленски, пвц, бетонски и азбестно-бетонски цевоводи. На улазу у притисни цевовод налази се уређај којим се може спречити даље протицање воде у случају пуцања цеви. Испред главног уређаја редовно се поставља и помоћни, који омогућава било какве радове на главном без потребе за пражњењем система.

Водене турбине претварају кинетичку енергију струјања воде у механичку енергију окретањем ротора турбине, односно генератора. Турбине се зависно од начина преноса енергије водотока деле на импулсне (акционе) и реакционе. У импулсним турбинама притисак на улазу у ротор воде једнак је притиску воде на излазу, јер се сва потенцијална енергија воде претвара у кинетичку енергију у статору турбине. Главни представник импулсних турбина је Пелтонова турбина код које вода са велике висине од 400 до 600 м слободно пада и користи се за мале протоке.

Генератор је уређај који механичку енергију окретањем ротора претвара у електричну енергију. С обзиром на брзину окретног магнетног поља у односу на брзину ротора генератори се деле на синхроне и асинхроне. Синхрони генератор има истосмерни систем и може радити изолован од мреже, док асинхрони генератор узима чисту енергију из мреже, и не може радити ако није повезан на мрежу. Синхрони генератори су скупљи од асинхроних, али се асинхрони могу користити само на местима гдје је њихов допринос у укупној снази система занемарив.

Расклопно постројење представља везу између хидроелектране и електроенергетског система, а изводи се у непосредној близини хидроелектране. Његова основна намена је трансформација произведене електричне енергије у складу с параметрима система и испорука те енергије у електроенергетски систем. Одвод воде служи за враћање воде искоришћене у турбини натраг у водоток, а може бити изведен као канал или као тунел.

2.2.3. Врсте хидроелектрана

По количини воде и начину конструкције се разликују следеће врсте:

Акумулациона хидроелектрана, која се прави преграђивањем реке и заустављањем тока (брана), што води стварању великог акумулационог језера узводно од бране које садржи велике количине воде што представља резервоар енергије, али се може користити и у друге сврхе (наводњавање, риболов, итд). Код овакве врсте електране обично постоје велике годишње варијације у количини дотока воде. Акумулационо језеро поседује потенцијалну енергију која је резултат висинске разлике горње коте језера и тачке монтаже генератора, а која се претвара у кинетичку енергију воде која покреће лопатице турбине. Вода се од бране води тунелима који могу бити километрима дуги до места где је саграђено постројење електране са турбинама и генераторима. За електране на рекама са великим падовима и малим протоком користе се Пелтонове турбине, а у случајевима када је количина воде довољна користе се Францисове турбине.

Реверзибилна хидроелектрана је слична по конструкцији акумулационој хидроелектрани, али има велике пумпе које у време мање потрошње струје враћају воду у акумулационо језеро, док у време несташице енергије пуштају воду из акумулације и производе струју у ситуацији када је потребнија и скупља. Овакве електране служе уравнотежењу производње и потрошње у електричној мрежи.

Проточна хидроелектрана има малу висинску разлику испред и иза места захватања воде тако да не користи потенцијалну енергију разлике нивоа већ само кинетичку енергију коју поседује водени ток. Стога је снага овакве електране зависна од тренутне количине протока воде. Код ових електрана се за покретање генератора користе Капланове турбине које су погодне за велике протоке воде и мале падове.

2.2.3.1. Подела хидроелектрана по нивоу воденог пада

Према количини воде и висини воденог пада, који користе, разликују се:

- хидроелектране с ниским падовима и релативно великом количином воде,
- хидроелектране са средњим и ниским падовима и
- хидроелектране с високим падовима и релативно малом количином воде.

2.2.4. Врсте турбина код хидроелектрана

За високе падове (преко 200 метара) примјењују се такозване Пелтонове турбине код којих се потенцијална енергија воде у проводном делу потпуно претвара у кинетичку, и у облику воденог млаза покреће лопатице турбине претварајући кинетичку енергију у механичку.

За средње падове (до 200 метара) користе се такозване Францисове турбине, код којих проводни део са лопатицама окружује точак. У проводном делу ових турбина потенцијална енергија воде само се делимично претвара у кинетичку тако да са одређеним притиском доспева у обртно коло и њему предаје своју енергију.

За ниске падове (до приближно 40 метара) користе се такозване Капланове турбине које раде слично као и Францисове турбине, с тим да је број лопатица далеко мањи.

2.3. Мале хидроелектране

Хидроелектране су постројења у којима се потенцијална и кинетичка енергија воде преко турбине, генератора и осталих делова претварају у електричну енергију. Тачна дефиниција малих хидроелектрана не постоји и она зависи од улоге и значаја који им се приликом изградње предодреди. На одређивање горње границе МХЕ утиче већи број параметара:

- степен привредног развоја земље;
- електроенергетска и електропривредна развијеност;
- расположиви и искористиви привредни ресурси;
- природни услови топографије, геологије и др.;
- ниво развијености индустрије машиноградње, електроградње и хидроградње;
- богатство угљем, нафтним дериватима и другим енергетским сировинама;
- величина и површина насеља, односно густина насељености [1].

Већина земаља стога има различиту поделу МХЕ, и горња граница снаге ових постројења варира између 1,5 и 50 MW. У Италији се на пример граде мале хидроелектране од 50 W, што представља инсталисану снагу једне обичне сијалице, док се у неким земљама као што су Португалија, Шпанија, Ирска, Грчка и Белгија под појмом МХЕ подразумевају објекти инсталисане снаге до 10 MW. У Француској је за горњу границу снаге ових постројења усвојена вредност од 8 MW, у Индији 15 MW, у Кини 25 MW док се у Шведској граде хидроелектране са горњом границом снаге од 1,5 MW. У Европи се све више прихвата граница од 10 MW коју су усвојиле ESHA (European Small-Hydropower Association), Европска комисија (European Commission) и UNIPED (International Union of Producers and Distributors of Electricity) [2].

Земље у развоју и индустријски слабо развијене земље по правилу су почињале електрификацију, а неке то и сада чине, изградњом МХЕ, с тим што се у тим земљама не врши било каква подела по јачини јер она практично и нема неког већег значаја. Тек по изградњи већег броја електрана, а нарочито после изградње већег броја ХЕ релативно велике инсталисане снаге, долази до поделе електрана. Уз то треба истаћи једно потврђено искуство: мале електране па самим тим МХЕ, интензивно граде и неразвијене и индустријски веома развијене земље. Економски и привредни мотиви, који утичу на изградњу МХЕ, како у слабо развијеним земљама, тако исто и у развијеним земљама између осталог су:

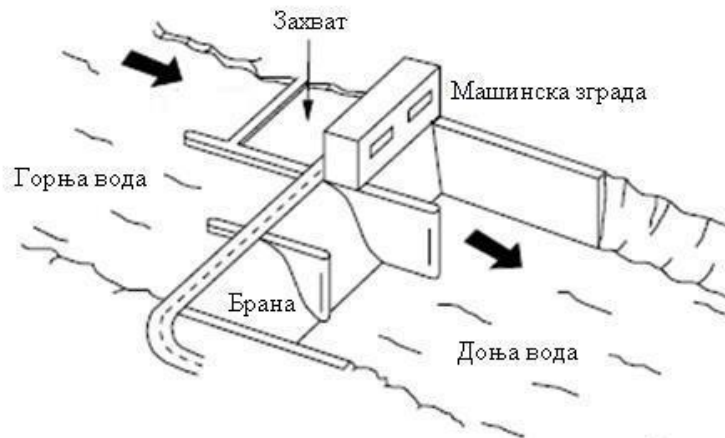
- користи се обновљива сировина – вода;
- МХЕ не загађују животну средину;
- потреба за електрификацијом терена удаљених од путева и саобраћајница;
- поскупљује довод опште енергетске мреже;
- интензивно се развила електро и машинска индустрија, итд.

2.3.1. Конструкција малих хидроелектрана

Конструкција МХЕ зависи од типа и места на ком се изграђује. Постоје два основна облика извођења:

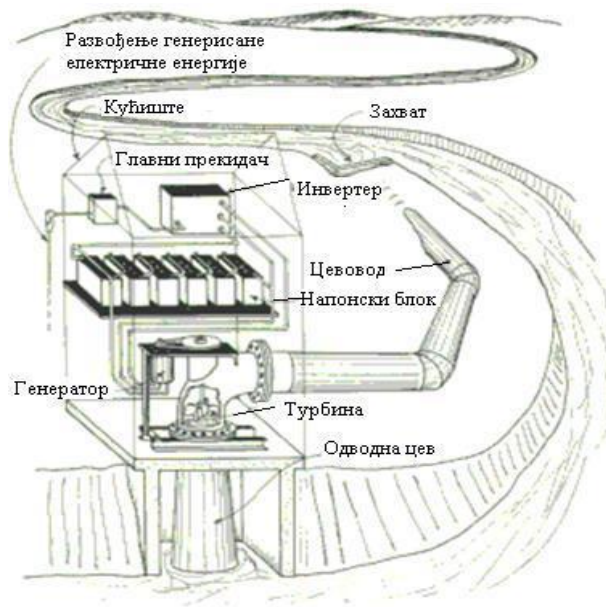
- проточне (на речним токовима), и
- деривацијске (високо и средње притисне)

Код проточних електрана, машинска зграда за производњу електричне енергије је смештена на речном току, непосредно уз брану.



Слика 2.3 Проточна хидроелектрана [2]

Деривацијска хидроелектрана је врста хидроелектране код које се машинска зграда за производњу електричне енергије налази измештена на некој удаљености (низводно од бране), а вода се доводи посебним цевима са захвата од машинске зграде.



Слика 2.4 Деривацијска хидроелектрана [2]

Карактеристични делови хидроелектрана су:

- брана или преграда,
- захват,
- довод,
- водна комора или водостан,
- притисни цевовод,
- машинска зграда (турбина, генератор...),
- одводни цевовод.

2.4. Опис принципа дејства хидрауличне турбине, као класичног представника турбомашина

У овом одељку биће укратко описан принцип дејства хидрауличне турбине, као виталног дела хидроелектране. Овај део текста преузет је из литературе [1].

Познато је да се при претварању механичког рада у струјну енергију радног флуида, и обрнуто, у пракси користе два основна принципа дејства: запремински принцип, и хидродинамички, или турбо принцип. Хидрауличне турбине функционишу на бази хидродинамичког принципа дејства, припадају класи турбомашинама и користе се за претварање енергије воде у механичку енергију која се посредством вратила предаје, најчешће, генератору електричне струје. То претварање енергије воде (флуида) остварује се посредством лопатичног радног кола (сл. 2.5.) .

Хидродинамички (турбо) принцип дејства карактеристичан је по томе што је процес претварања рада у турбини, праћен релативно великим брзинама струјања радног флуида кроз међулопатичне канале радног кола у току његовог обртања око сопствене осе симетрије.

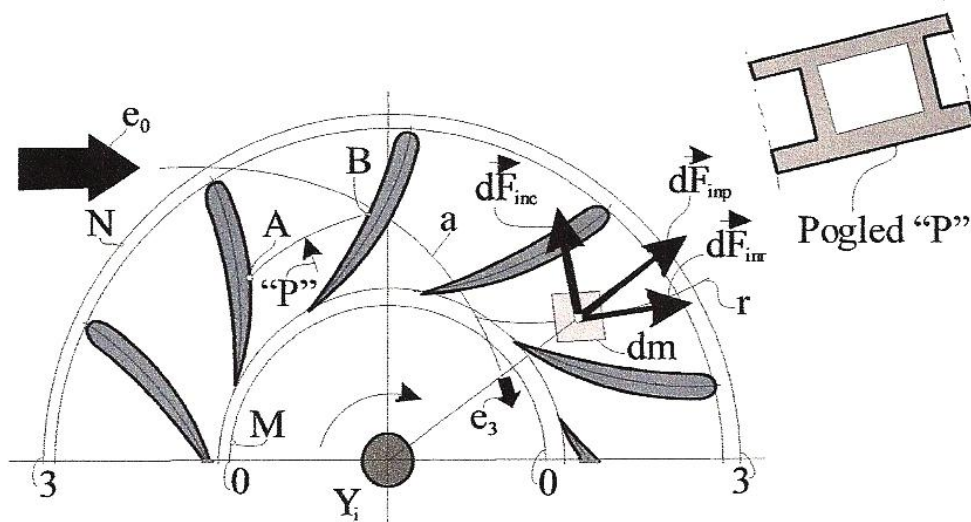
Динамичка интеракција радног флуида са лопатицама радног кола, праћена је дејством инерцијских сила (сл. 2.5.) које делују на сваки делић радног флуида који протиче кроз међулопатичне канале радног кола. Због дејства вискозних сила, ова интеракција се преноси узводно и низводно од радног кола. При том, тај утицај се осећа низводно на већој удаљености, него узводно од радног кола.

У наредном тексту биће описана суштина размене рада у радним колима турбомашина уз помоћ основних кинематичких и динамичких релација, којима се описује сложено кретање делића радног флуида као материјалне тачке. [1]

Када се кретање флуидног делића у радном колу хидрауличне турбине анализира из релативног цилиндричног координатног система који се обрће угаоном брзином $\vec{\omega}$ радног кола, онда се елементарни пређени пут $d\vec{s}$ тог флуидног делића, мерен у апсолутном цилиндричном координатном систему, може представити [1] као геометријски збир његових елементарних путева, мерених у правцу преносног $d\vec{s}_u$ и релативног $d\vec{s}_w$ кретања (слика 2.5), тј.:

$$\vec{ds} = \vec{ds}_w + \vec{ds}_u.$$

Треба напоменути да се осе 3 релативног и апсолутног цилиндричног координатног система поклапају са осом око које се обрће радно коло турбомашине.



Слика 2.5 Приказ инерцијских сила које делују на делић радног флуида при његовој динамичкој интеракцији са радним колом хидрауличне турбине [1]

Вектор преносне брзине $\vec{u}$ флуидног делића, који се креће кроз радно коло, може се изразити као прираштај пређеног пута $d\vec{s}_u$ флуидног делића у обимском правцу у јединици времена dt , односно као векторски производ радијуса $\vec{r}$, који дефинише тренутни положај флуидног делића у односу на почетак релативног цилиндричног координатног система, и угаоне брзине $\vec{\omega}$ радног кола, тј.:

$$\vec{u} = \vec{ds}_u/dt = [\vec{\omega}, \vec{r}] .$$

Вектор релативне брзине $\vec{w}$ флуидног делића приказаног на сл. 2.5., може се изразити као прираштај пређеног пута $d\vec{s}_w$ флуидног делића дуж релативне струјнице у јединици времена dt , тј.:

$$\vec{w} = d\vec{s}_w/dt .$$

Апсолутна брзина $\vec{c}$ флуидног делића приказаног на сл. 2.5., којом се креће у односу на апсолутни координатни систем, може се одредити као векторски збир релативне $\vec{w}$ и преносне $\vec{u}$ брзине, тј.:

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u} .$$

Посматрано из апсолутног цилиндричног координатног система, на сваки флуидни делић елементарне масе dm у међулопатичним каналима радног кола турбине делује инерцијска сила:

$$d\vec{F}_{in} = \vec{a} \cdot dm ,$$

где је $\vec{a}$ апсолутно убрзање флуидног делића.

Пошто се кретање флуидног делића у међулопатичном каналу радног кола у односу на апсолутни цилиндрични координатни систем, може, гледано из релативног координатног система, представити као векторски збир његовог преносног и релативног кретања (сл. 2.5.), онда се апсолутно убрзање $\vec{a}$ тог флуидног делића може изразити [1] као векторски збир релативног $\vec{a}_w$, преносног $\vec{a}_u$ и Кориолисовог $\vec{a}_c$ убрзања, тј.:

$$\vec{a} = \vec{a}_w + \vec{a}_c + \vec{a}_u .$$

Сагласно претходном, гледано из релативног координатног система, напосматрани делић радног флуида у међулопатичном каналу радног кола делује инерцијска сила:

$$d\vec{F}_{in} = \vec{a} \cdot dm = \vec{a}_w \cdot dm + \vec{a}_c \cdot dm + \vec{a}_u \cdot dm,$$

односно:

$$d\vec{F}_{in} = d\vec{F}_{inr} + d\vec{F}_{inc} + d\vec{F}_{inp} ,$$

где је [1]:

$$d\vec{F}_{inr} = \vec{a}_w \cdot dm = dm \cdot \frac{d\vec{w}}{dt},$$

компонента инерцијске силе настале као резултат кретања флуидног делића у смеру релативне брзине:

$$d\vec{F}_{inc} = \vec{a}_c \cdot dm = dm \cdot 2 \cdot [\vec{\omega}, \vec{w}].$$

Кориолисова сила која се јавља као последица промене обимске брзине у току кретања флуидног делића у правцу релативне брзине и промене релативне брзине у току кретања флуидног делића у правцу преносне брзине:

$$d\vec{F}_{inp} = \vec{a}_u \cdot dm = dm \cdot \frac{d\vec{u}}{dt} = dm \cdot [\vec{\omega}, [\vec{\omega}, \vec{r}]].$$

Радови инерцијских сила, $d\vec{F}_{inr}$, $d\vec{F}_{inc}$ и $d\vec{F}_{inp}$ дуж релативне путање $\vec{s}_w$ флуидног делића масе dm , од тренутка када ступи (ознака 0) до тренутка када напусти (ознака 3) међулопатични канал радног кола износе [1]:

$$(d\vec{F}_{inr}, d\vec{s}_w) = dm \cdot \int_0^3 d\left(\frac{w^2}{2}\right) = dm \cdot \frac{(w_3^2 - w_0^2)}{2},$$

$$(d\vec{F}_{inc}, d\vec{s}_w) = 0,$$

$$(d\vec{F}_{inp}, d\vec{s}_w) = -dm \cdot \int_0^3 \frac{d(\omega^2 \cdot r^2)}{2} = dm \cdot \omega^2 \cdot \frac{(r_0^2 - r_3^2)}{2} = dm \cdot \frac{(u_0^2 - u_3^2)}{2},$$

а укупан рад инерцијских сила, сведен на масу флуидног делића, има вредност:

$$\frac{(d\vec{F}_{in}, d\vec{s}_w)}{dm} = \frac{(d\vec{F}_{inr}, d\vec{s}_w)}{dm} + \frac{(d\vec{F}_{inc}, d\vec{s}_w)}{dm} + \frac{(d\vec{F}_{inp}, d\vec{s}_w)}{dm} = \frac{(w_3^2 - w_0^2)}{2} + \frac{(u_0^2 - u_3^2)}{2}.$$

Претходни израз указује да се суштина хидродинамичког дејства у хидрауличним турбомамаа састоји у:

- обртању радног кола и производњи инерцијских сила у радном флуиду унутар међулопатичних канала и
- вршењу рада тих инерцијских сила и додавању, или одузимању, струјне енергије радном флуиду, која је еквивалентна оствареном раду.

Из израза који дефинише специфични рад инерцијских сила у радном колу турбомашине, очигледно је, коначно, да се размена струјне енергије у њему остварује променом апсолутних $\vec{c}$ и преносних $\vec{u}$ брзина делића радног флуида од улаза до излаза из међулопатичних канала радног кола. [1]

2.5. Класификација хидрауличних турбина

Једна од кључних класификација хидрауличних турбина врши се према томе да ли је у току њеног рада доминантна притисна, или кинетичка. Ако је у току претварања енергије воде у механичку енергију доминантна притисна енергија, онда се такве турбине називају реакцијским, а ако је доминантна кинетичка енергија, онда се оне називају акцијским турбинама.

2.5.1 Реакцијске хидрауличне турбине

Реакцијским хидрауличним турбинама називају се оне турбине у којима се размена енергије између воде и радног кола турбине остварује, претежно, на рачун промене притиска у струји воде која протиче кроз радно коло. При том је притисак у води на излазу из радног кола мањи него притисак у води на улазу у радно коло, што говори да се водена маса која протиче кроз радно коло ових турбина успорава, и да је процес претварања струјног рада у механички рад праћен појавом инерцијских (реактивних) сила.

У међулопатичним каналима радног кола реакцијске турбине вода мења брзину како по интензитету тако и по правцу, што узрокује промену момента количине кретања водене масе која протиче кроз радно коло, а што се манифестује обртањем радног кола. [1]

Уобичајено је да се класификација реакцијских хидрауличних турбина врши према глобалном правцу струјања воде у радном колу, пројектованом на меридијанску раван турбине. Сагласно том критеријуму, њихова класификација је дата у следећој табели:

Табела 6.1 Класификација реакцијских хидрауличних турбина [1]

Реакцијске хидрауличне турбине		
Аксијалне турбине	Полуаксијалне турбине	Радијалне турбине

а конструкцијске особености и принципи њиховог рада изложени су у следећим одељцима.

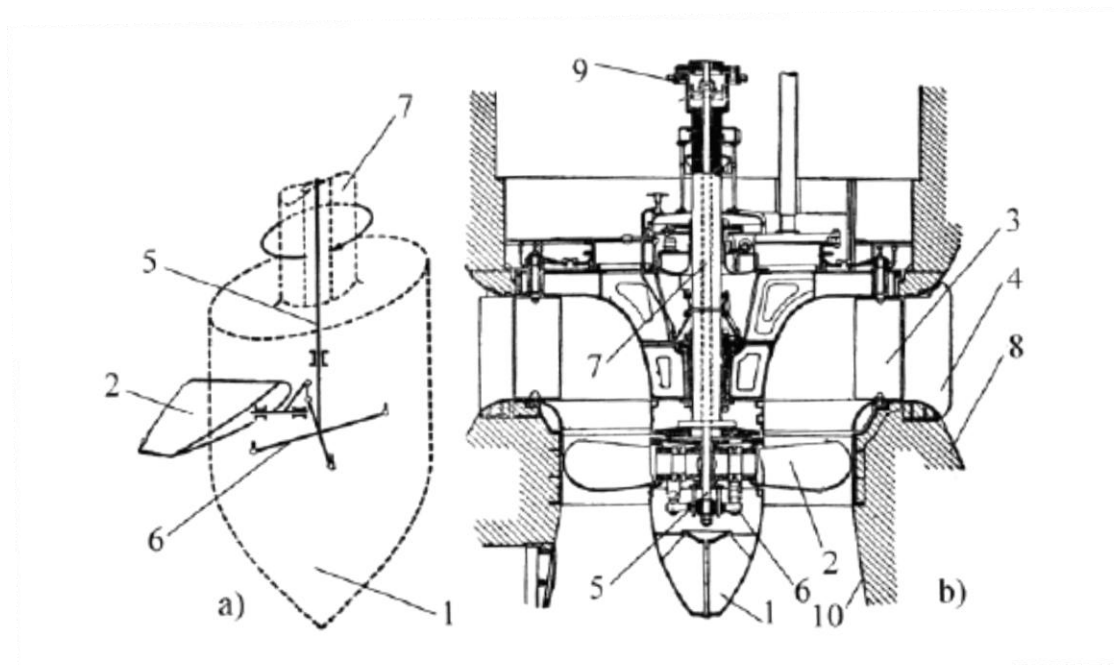
2.5.1.1 Аксијалне хидрауличне турбине

Аксијалне турбине намењене су енергијској експлоатацији водотокова које одликују релативно мали падови и велики протоци. Ову врсту турбина карактерише чињеница да се кроз њихова радна кола водени делићи крећу по струјницама за које се може рећи да чине струјне површи приближно цилиндричног облика и чије се осе поклапају са осама њихових радних кола. Пресек ових струјних површи са меридијанском равни турбине даје меридијанске струјнице чији је општи положај у односу на осу радног кола аксијалан.

Међу аксијалним хидрауличним турбинама, посебан значај има тзв. Капланова турбина (слика 2.6). Ову класу аксијалних турбина одликује такво конструкцијско решење које јој омогућава да регулацију хидрауличке снаге остварује не само уз помоћ лопатичног преткола, него и синхроним закретањем лопатица радног кола око сопствених оса, и то све

у току рада турбине. На тај начин се постиже виши степен корисности турбине у ширем дијапазону могућих радних режима.

Класично извођење Капланове турбине одликује и то што се вода из акумулације доводи, најпре, у спирално кућиште 8, а затим центрипетално усмерава, кроз венац потпорних лопатица 4 и лопатично претколо 3, према оси турбине. На излазу из лопатичног преткола водена маса мења, гледајући у меридијанској равни турбине, свој општи правац кретања, тако да радном колу 2 турбине прилази аксијално. [1]



Слика 2.6 Капланова турбина

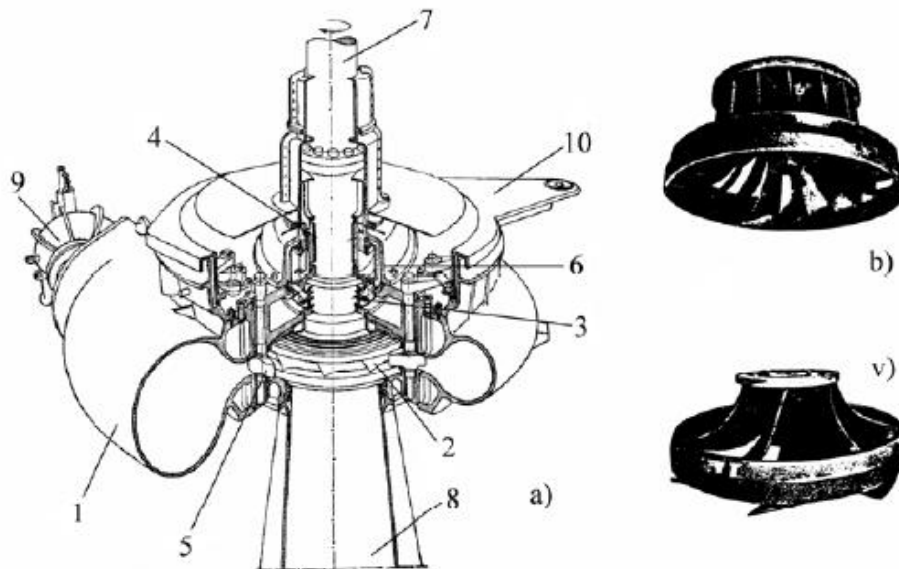
а - шема уређаја за заокретање лопатица радног кола, б- меридијански пресек Капланове турбине, 1 - главчина радног кола, 2 - лопатица радног кола, 3 – лопатице преткола, 4 - потпорне лопатице, 5 - регулациона полука, 6 - крстаста механизам, 7 - вратило турбине, 8 - спирално кућиште, 9 - спојница, 10 – сифон. [1]

2.5.1.2 Полуаксијалне хидрауличне турбине

Полуаксијалне турбине су намењене енергијској експлоатацији водотокова које одликују средњи падови и средњи протоци. Ову врсту турбина карактерише чињеница да се кроз њихова радна кола водени делићи крећу по струјницама за које се може рећи да чине струјне површи које немају цилиндричан облик, али чије се осе поклапају са осама њихових радних кола. Пресек ових струјних површи са меридијанском равни турбине даје меридијанске струјнице чији је општи положај у односу на осу радног кола полуаксијалан.

Принципска конструкција једне полуаксијалне хидрауличне турбине дата је на сл. 2.7. Полуаксијална хидраулична турбина, приказана на слици 2.7, функционише на следећи начин:

- вода из акумулације, најпре, се доводи у спирално кућиште 1 и равномерно разводи по обиму, а затим центрипетално усмерава кроз лопатично претколо 5;
- при проласку кроз лопатично претколо 5, чије лопатице могу да се синхронно закрећу око сопствених оса, мења се општи правац кретања водених делића, тако да они настављају да се крећу даље, према радном колу 2, по трајекторијама које имају облик завојнице;
- пре него што напусти турбину, водена маса пролази кроз лопатично радно коло 2, чије су лопатице постављене тако да са најмањим хидрауличким губитком примају њене наилазеће делиће, и да им промене општи правац кретања у односу на онај који су имали на улазу у радно коло;- због промене правца кретања делића воде од улаза до излаза из лопатичног венца радног кола 2 јавља се промена количине кретања водене масе која протиче кроз радно коло, што условљава појаву обимске силе и момента, и обртање радног кола.



Слика 2.7 Радијално-аксијална хидраулична турбина: а - делимични пресек Францисове турбине, б, в - варијантни облици радних кола Францисове турбине, 1 - спирално кућиште, 2 - радно коло, 3 - зативачи, 4 - клизни лежај, 5 - лопатично претколо, 6 - прстен за синхронно закретање лопатица преткола, 7 - вратило турбине, 8 - дифузор (сифон) турбине, 9 - предтурбински затварач

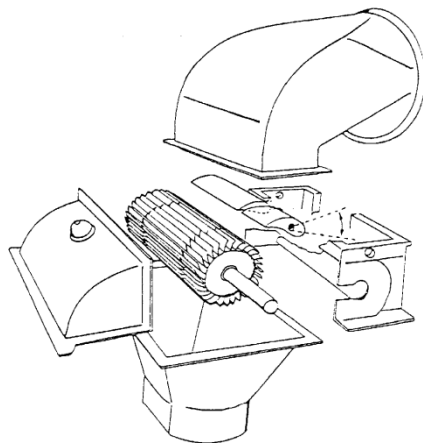
Регулисање доведене хидрауличке снаге у циљу њеног усклађивања са текућим захтевима електричног генератора (потрошача механичке снаге са вратила 7 турбине) и одржавања константног броја обртаја радног кола, остварује се уз помоћ лопатичног преткола 5, и то на тај начин што се синхроним закретањем његових лопатица у односу на меридијанску раван турбине, смањује, односно повећава, проточна површина међулопатичних канала преткола, а тиме и проток воде кроз турбину. [1]

2.5.2 Акцијске хидрауличне турбине

Размена енергије између радне течности и радног кола у акцијској хидрауличној турбини остварује се на рачун кинетичке енергије млаза који истиче из једног, или више, млазника и напада лопатице радног кола које су равномерно распоређене по његовом обиму. У току интеракције млаза и лопатица, млаз скреће и врши промену количине кретања, што се манифестује појавом обимске силе на радном колу и његовим обртањем око осе симетрије. Посебно је карактеристично да се интензитет брзине флуидних делића млаза у току интеракције са лопатицама занемарљиво мења и да је притисак у млазу приближно константан. [1]

2.5.2.1 Банки турбина

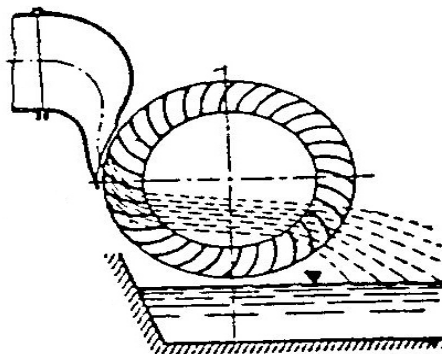
Назване су по проналазачима (Аустралијанац А. S. Michell и Мађар D. Banki), а у литератури се могу пронаћи и као Ossberger-ова турбина по произвођачу који их производи више од пола века. Поред тога, због свог принципа рада назива се и Crossflow турбином. Користи се у широком опсегу падова, па се њене радне области могу преклопити са радним областима које су „резервисане“ за Капланову, Францисову или Пелтонову турбину. Банки турбина (слика 2.8) може радити са протоцима између 20 l/s и 10 m³/s и падовима између 1 и 200 m при чему остварује снаге до 2 MW. [6]



Слика 2.8 Растављена Банки турбина [7]

Банкијева турбина много личи на водно коло са бочним доводом воде, само што коморе код Банкијеве турбине немају дно. Бочно доведена вода улази у простор између лопатица, затим излази из тог простора, ступа у унутрашњост кола и поново улази у простор између других лопатица на супротној страни кола (слике 2.8, 2.9, 2.10 и 2.11). Енергија воде се преноси на коло на два места лопатичног венца. Вода истиче из сиска брзином $c_0 = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ са којом улази у коло у тачки 1. Лопатица има профил криве линије 1 – 2. Од тачке 1 до тачке 2 вода се креће по лопатици, па је крива 1 – 2 релативна путања воде у односу на лопатицу. Како се, међутим, у исто време лопатица окреће, то ће тачка 2 – излаз из лопатице – налазити у положају 2' када водени делић превали пут од 1 до 2. Крива линија од 1 до 2' представља апсолутну путању воде. Делић воде који у коло

уђе у тачки 1, напушта лопатице у тачки 2' и улази у унутрашњост кола брзином c_2 . Од тачке 2' вода се креће у виду слободног млаза и поново долази у унутрашњи лопатични круг у тачки 3. Путања од 2 до 3 је парабола као код сваког слободног млаза. Пошто је брзина c_2 прилично велика, може се сматрати путања 2 – 3 као права линија јер се при великој брзини парабола млаза не разликује много од праве. У тачки 3 вода улази брзином c_2 по други пут у лопатични венац. После тога се вода креће по лопатици чији је профил 3 – 4 исти као 2 – 1. За време док се делић креће од тачке 3 до 4, коло се окреће и тачка долази у положај 4'. Путања 3 – 4' је апсолутна путања воде. Из тачке 4' вода слободно пада у одводни канал брзином c_4 .



Слика 2.9 Принцип рада Банкијеве турбине [3]

Величине и правци брзина c_1 и u_1 одређују (конструисањем троугла брзина) истовремено и релативну брзину w_1 . Тако одређен угао релативне брзине према ободу кола, узима се као улазни угао лопатице – да се не би јавили удари воде о лопатицу чиме би се изгубио један део енергије. Да би вода и у тачки 3 улазила у коло без удара, и на том месту се угао лопатице мора поклапати са углом релативне брзине w_3 . Пошто је растојање од 2' до 3 кратко, то је правац брзине сталан, тј. правац брзине c_2 истовремено је и правац брзине c_3 . Пошто тачке 2 и 3 леже на истом кругу, то ће имати исту обимску брзину. Ако конструисамо троуглове брзина у тачкама 2 и 3, видећемо да је горње услове немогуће сложити ако на унутрашњем кругу све лопатице немају завршетак у радијалном правцу, тј. $\beta_2 = 90^\circ$.

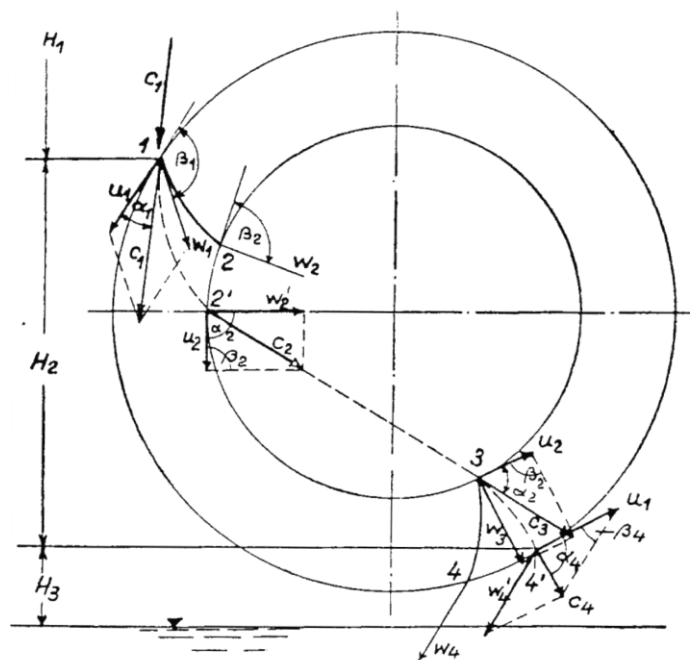
Сви делићи воде немају у овој турбини исте путање. Еволвентним завршетком спроводног апарата (слика 2.11) постиже се да апсолутне путање свих делића воде буду на првом улазу сталне, а тек би се у унутрашњости кола упредала (услед расипања млаза које изазивају околности истицања на првом излазу, тј. радијални правац брзине w_2). Уствари до тога не долази већ цео млаз заузме правац средњег струјног влакна (слика 2.11), али се изгуби знатан део енергије.

У овој турбини користи се само пад H_1 до уласка у коло док се пад H_2 утроши на савлађивање трења о лопатице и усмеравање и одржавање брзине у унутрашњости кола. Због тога је Банкијева турбина погодна једино ако је њен пречник сразмерно мали према паду па је губитак пада ($H_2 + H_3$) услед тога безначајан.

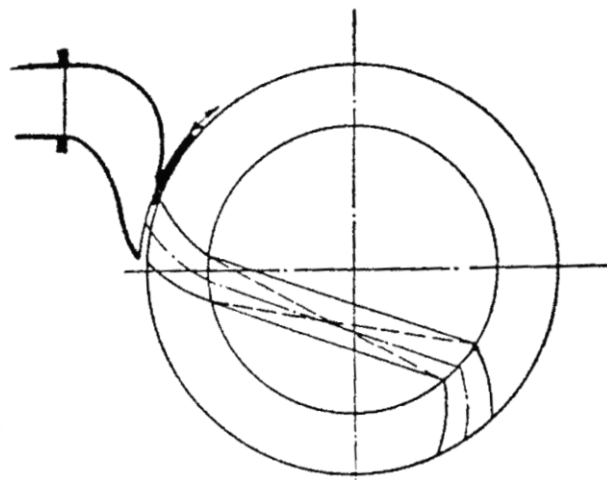
Профил лопатице има облик кружног лука, те се лопатице најлакше израђују од челичних цеви одговарајућег пречника. Цев се одсече на потребну дужину, а затим се једноставним уздужним сечењем добијају готове лопатице. Бочне ивице лопатица су

савијене те су за бочне тачкове везане завртњима, заковцима или заваривањем, или су у њих уливане.

Регулисање Банкијеве турбине је врло једноставно. Проток се мења померањем простог затварача, као на слици 2.8. Најважнија особина Банкијеве турбине је њена једноставност и ниска цена. Коефицијент корисности је сразмерно добар и достиже и до 80%. Једноставност целог уређаја омогућује да се турбина изради и са примитивним средствима прилично добро и са успехом.



Слика 2.10 Троуглови брзина код Банкијеве турбине [3]

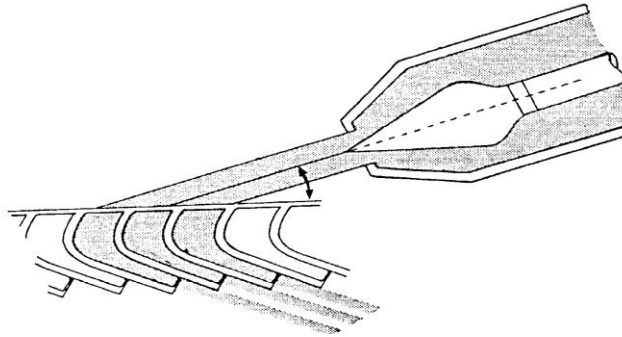


Слика 2.11 Регулисање Банкијеве турбине [3]

2.5.2.2 Турго турбина

Ради при великим падовима, од 30 до 300 метара. Слична је Пелтоновој турбини, спада у групу акцијских (импулсних) турбина при чему су лопатице радног кола другачијег облика од лопатица Пелтонове турбине. Код ове турбине (слика 2.12), млаз воде пада на раван коју образују улазне ивице лопатица под углом од 20° . Вода улази у радно коло са једне његове стране, а излази са друге. За разлику од Пелтонове турбине код које је, због тога што на воду која напушта једну лопатицу наилази суседна лопатица, количина воде коју може прихватити ограничена, код Турго турбине оваква ограничења практично не постоје. Из истог разлога радно коло је мање, а и једноставније је.

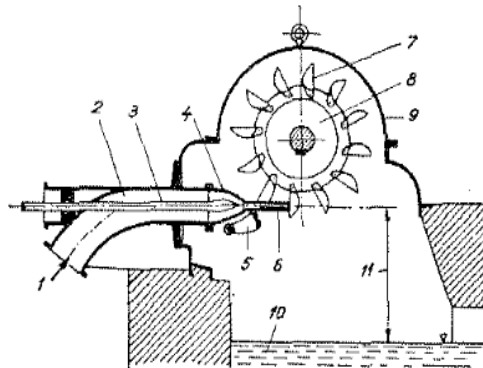
Често се користи као алтернатива Францис-овој турбини у случајевима великих варијација протока јер скретац млаза Турго турбине може ефикасно спречити побег карактеристичан за Францис-ову турбину. [7]



Слика 2.12 Турго турбина [7]

2.5.2.3 Пелтонова турбина

Пелтонове турбине (слика 2.13) користе искључиво кинетичку енергију воде. На млаз воде делује атмосферски притисак, па се ове турбине још зову и турбине слободног млаза. Граде се за коефицијенте брзоходности од 2 до 50.



Слика 2.13 Скица Пелтонове турбине [9]

1 - довод воде, 2 - спроводна цев, 3 - копље, 4 - млазница, 5 - скретац млаза,
6 - млаз, 7 - лопатица, 8 - обртно коло, 9 - оклоп, 10 - доња вода, 11 - издизање обртног
кола

Употребљавају се у хидроелектранама брдских предела где су падови од 400 до 2000 метара и протоци воде мали. Главни делови турбине су радно коло, млазнице и кућиште. [8]

Током рада турбине, поједине лопатице су само повремено у додиру са млазом, а за време додира, нагиб лопатице према млазу, као и место где млаз улази у лопатицу, стално се мења. [10]

2.6 Теориске основе одређивања напора турбине и турбинског постројења

2.6.1 Одређивање напора турбине

Улазом у хидрауличну турбину сматра се пресек непосредно иза претурбинског затварача (пресек I–I), а излазом из турбине пресек II–II у коме радни флуид напушта турбину. Када турбина није опремљена сифоном (што је веома редак случај) онда се излазни пресек II–II поклапа са пресеком 2 – 2 (слика 2.14).

У улазном пресеку I–I увек влада неки натпритисак p_m , а у излазном пресеку турбине II–II неки притисак p_{II} чија се вредност може мерити, али се то због непрактичности веома ретко чини. Апсолутни притисак у пресеку I–I може се одредити на основу показивања манометра М (слика 2.14) помоћу израза:

$$p_I = p_0 + p_m + \rho \cdot g \cdot h_0$$

а у пресеку II–II, приближно, као хидростатички притисак воденог стуба доње воде који влада у средишту излазног пресека сифона:

$$p_{II} = p_0 + \rho \cdot g \cdot h_{II}$$

Имајући у виду геометријску везу (сл. 2.14):

$$h = (z_I + h_I) - (z_{II} + h_{II}),$$

и релације (3.11), (3.21) и (3.22), коначно се може добити следећи израз :

$$Y = \frac{p_m}{\rho} + g \cdot h + \frac{c_I^2 - c_{II}^2}{2},$$

који показује које величине треба мерити да би се експериментално одредио напор турбине, и на основу кога се измерени подаци могу нумерички обрађивати.

Заменом брзина преко протока кроз турбину и одговарајућих проточних површина, претходни израз може се, коначно, свести на облик:

$$Y = \frac{p_m}{\rho} + g \cdot h + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{A_I^2} - \frac{1}{A_{II}^2} \right) \cdot V^2,$$

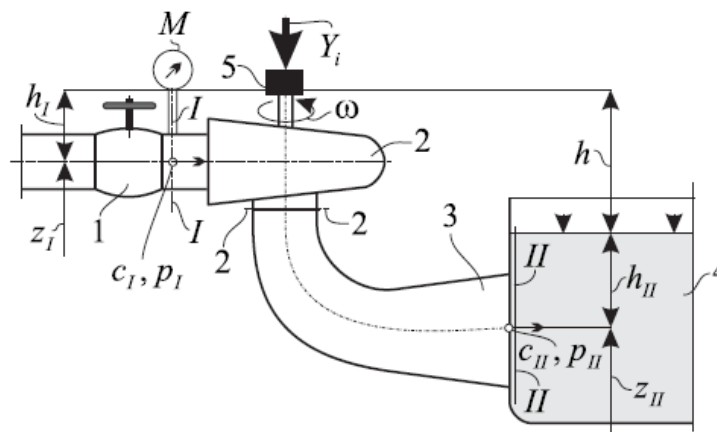
где је:

Y [J/ kg]- напор хидрауличне турбине,

p_m [Pa]- показивање манометра прикљученог на улазном пресеку турбине,

ρ [kg /m³]- густина радног флуида,

$h[m]$ - висинско одстојање улаза у манометар од нивоа доње воде,
 $A_I, A_{II} [m^2]$ - величине улазног и излазног попречног пресека хидрауличне турбине,
 $\dot{V}[m^3 / s]$ - запремински проток кроз хидрауличну турбину,
 који омогућује једноставно експериментално добијање функционалне зависности
 $Y = Y(\dot{V})$ за хидрауличну турбину, на бази измерених величина. [1]



Слика 2.14 Скица хидрауличне турбине са делом доводног цевовода и сифоном M - манометар, 1 - претурбински затварач, 2 - турбина, 3 - сифон, 4 - доња вода, 5 - вратило турбине са спојницом[1]

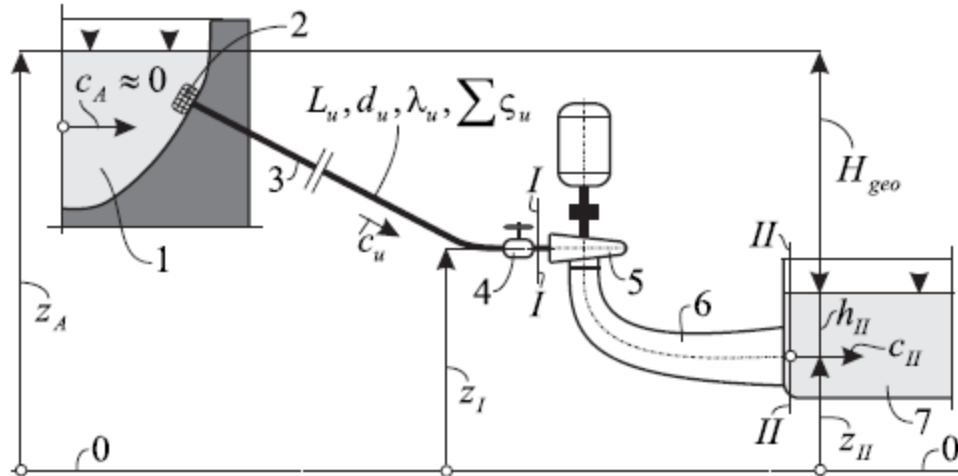
2.6.2 Одређивање напора турбине према параметрима турбинског постројења - нето напор турбине

На слици 2.15 приказано је турбинско постројење за транспорт нестишљивог радног флуида (воде) од акумулационог језера према хидрауличној турбини ради претварања струјне енергије радног флуида у електричну енергију. У наредном разматрању узето је:

- да је акумулационо језеро велике површине и да му се ниво занемарљиво мало мења током времена,
- да изнад слободних површина у акумулационом језеру и доњој води влада приближно исти барометарски притисак p_0 ,
- да се нивои воде у акумулационом језеру и доњој води налазе на различитим висинским котама z_A и $z_{II} + h_{II}$ у односу на хоризонт,
- да се радни флуид у акумулационом језеру креће веома малом средњом брзином,
- да су познати унутрашњи пречник d_u и дужина доводне деонице цевовода L_u која спаја акумулационо језеро и улаз хидрауличне турбине I-I, као и површина излазног пресека II-II сифона A_{II} и
- да је познат коефицијент трења λ_u , као и збир свих локалних отпора $\sum \zeta_u$ у доводној деоници цевовода.

Потребно је одредити функционалну зависност енергијских могућности хидроенергетског постројења, тј., колика се јединична струјна енергија радног флуида ставља на располагање хидрауличној турбини, ради претварања у механички рад, при сваком могућем запреминском протоку $\dot{V}$ из акумулационог језера према доњој води.

Решење оваквог, у пракси веома честог, пројектног задатка може се постићи, као и код турбопумпе, уколико се, одреде јединичне струјне енергије e_I и e_{II} које фигуришу у изразу за напор турбине преко енергијских и геометријских параметара везаних за акумулационо језеро, доводни цевовод, сифон и доњу воду.



Сл. 2.15 Шема турбинског постројења

1 - акумулационо језеро, 2 - решетка, 3 - доводни цевовод,
4 - претурбински затварач, 5 - турбина, 6 - сифон, 7 - доња вода,
8 - генератор трофазне наизменичне струје[1]

Поступак одређивања јединичних струјних енергија e_I и e_{II} , и принцип решавања овог пројектног задатка описан је у наредном тексту.

Постављањем енергијске једначине за пресеке А-А и II-II, (слика 2.15), уз занемаривање брзине воде у акумулационом језеру ($c_A \approx 0$), добија се релација:

$$\frac{p_0}{\rho} + g \cdot z_A = \frac{p_I}{\rho} + \frac{c_I^2}{2} + g \cdot z_I + Y_{vu},$$

која омогућује, уз посредство израза за напор турбине (3.11), формуле за израчунавање излазног притиска (3.22) и геометриске везе:

$$H_{geo} = z_A - (z_{II} + h_{II}),$$

добијање израза за одређивање напора турбине преко геометријских и хидрауличких параметара турбинског постројења:

$$Y = g \cdot H_{geo} - Y_{vu} - \frac{c_{II}^2}{2}.$$

Хидраулички губици у доводном цевоводу могу се, за случај турбулентног струјања, одредити уз помоћ формуле:

$$Y_{vu} = \left(\sum \zeta_u + \lambda_u \cdot \frac{L_u}{d_u} \right) \cdot \frac{c_u^2}{2}.$$

Изражавањем брзина e_u и e_{II} преко запреминског протока кроз турбину и одговарајућих попречних пресека, уз коришћење једначине континуитета, израз за напор турбине може се трансформисати у криву турбинског постројења:

$$Y = Y_{br} - m \cdot \dot{V}^2,$$

где новоуведене ознаке имају следеће значење:

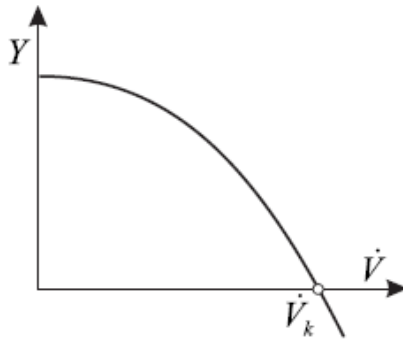
$Y_{br} = g \cdot H_{geo} [J / kg]$ -брuto напор турбине,

$m [Js^2 / kgm^6]$ -коэффициент карактеристике турбинског постројења.

Крива турбинског постројења може се дијаграмски представити као што је то учињено на слици 2.16.

Са слике 2.16. види се да нема смисла користити хидрауличну турбину за протоке $\dot{V} > \dot{V}_k$, при чему $\dot{V}_k$ износи:

$$\dot{V}_k = \sqrt{\frac{Y_{br}}{m}}$$

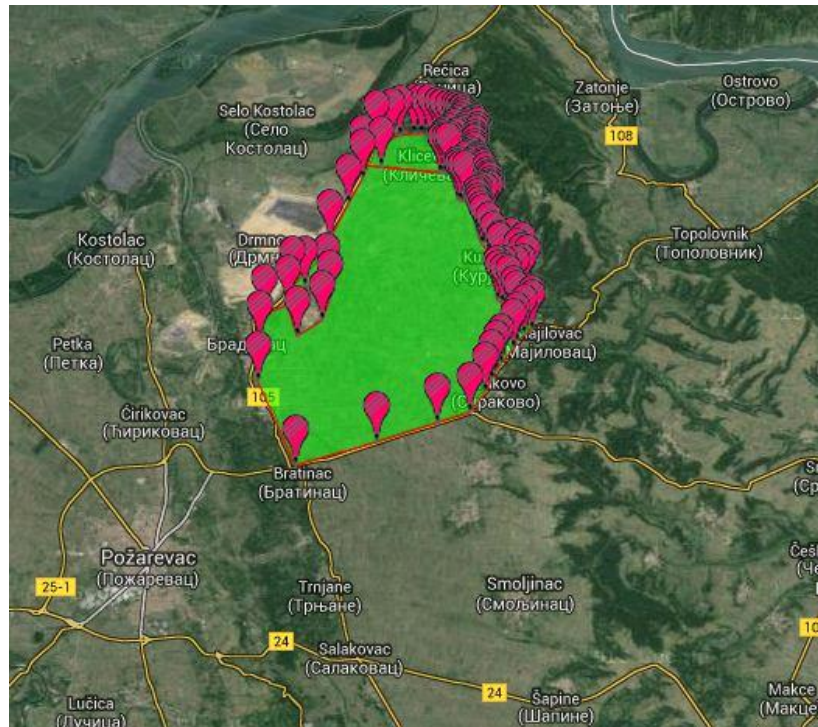


Сл. 2.16 Карактеристика турбинског постројења[1]

3. Опис система за наводњавање у коме би се интегрисала мала хидроелектрана

Пошто се у непосредној близини равнице Стиг налази површински коп Дрмно који је посебан у Европи по експлоатацији на терену који је изузетно изложен површинским и подземним водама па се самим тим ради експлоатације црпи веома велика количина воде а која није искоришћена, дошло се на идеју да се управо сва та вода искористи на тај начин што ће адекватно димензионисаним системом наводњавања побољшати и олакшати пољопривредну производњу.

Укупна просечна количина воде која се са површинског копа Дрмно сакупи помоћу оба система одводњавања у току једног месеца износи 2150000 m^3 . За годину дана ова количина износи 25800000 m^3 што је према потребама земљишта и биљних култура и више него довољна за наводњавање 66 km^2 од укупне површине равнице Стиг (Слика 3.1). [13]

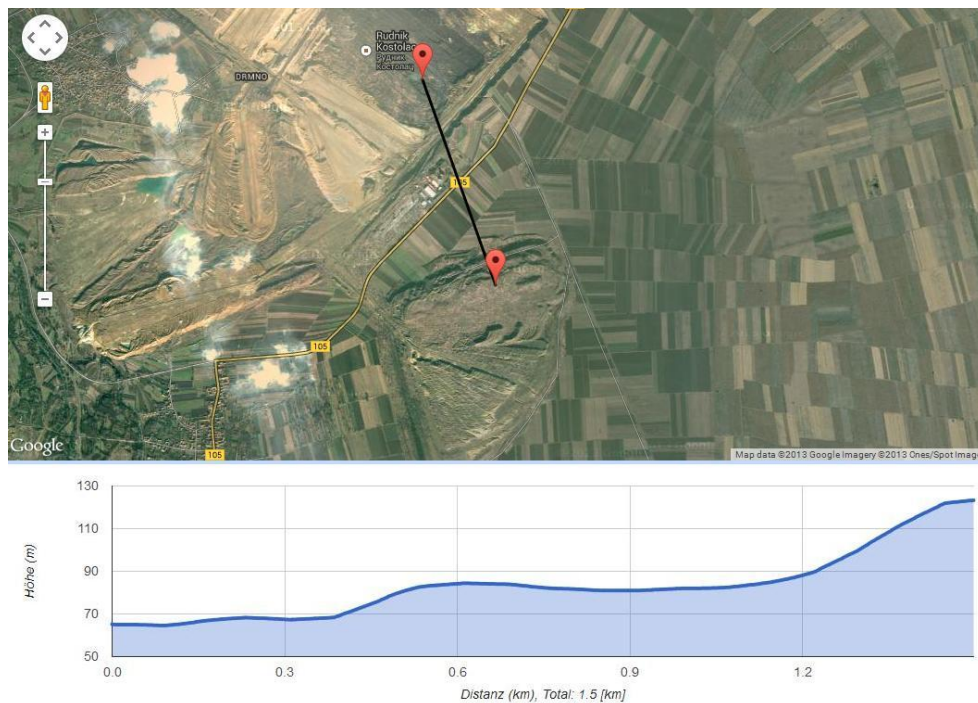


Слика 3.1 Приказ предвиђене површине [13]

Систем за наводњавање пољопривредног земљишта Стиг би требало да функционише на следећи начин. Вода са водосабирника VS-1 помоћу пумпне станице би се потисним цевоводом препумпавала у акумулационо језеро које би требало да буде изграђено на локацији садашњег одлагалишта јаловине (Слика 3.1).



Слика 3.2 Приказ одлагалишта [13]



Слика 3.3 Приказ терена од VS-1 до одлагалишта [13]

Вода која се користи за наводњавање пољопривредних поседа равнице Стиг се из акумулационог језера допрема гравитационим цевоводом. У оваквом постројењу долази до губљења енергије од уласка у постројење за пречишћавање воде, кроз разводне цевоводе, па све до крајњих потрошача, тј. локација на којима се вода излива у напојне канале, или у пригушницама које обезбеђују напајање по принципу „кап по кап“. На овом делу сложеног цевовода постављају се вентили који ће смањити енергију воде и обезбедити несметано кретање воде кроз постројење за њено пречишћавање. Уместо оваквих вентила, може се користити турбина, која ће претварати енергију воде у механички рад, а даље се у генератору механички рад претварати у електричну енергију.

4. Акумулационо језеро

Акумулационо језеро би захватало запремину од 28000000 m^3 , идеализоване димензије (димензије ваљка) би износиле:

- полуречник 670 m,
- дубина 20 m.

Вода се транспортује од водосабирника и других захватних објеката са површинског копа Дрмно до акумулационог језера које се налази на садашњем одлагалишту.

Мале хидрпелектране не могу приуштити изградњу великих резервоара или акумулација да се користе залихама воде када је то најпогодније. Цена изградње релативно велике бране би била прескупа и економски неисплатива. Али ако је акумулација већ изграђена за друге сврхе, као што је наводњавање, могуће је производити електричну енергију користећи постојећи одвод или природни ток резервоара (акумулације).

Машинска зграда мале хидроелектране са турбинским постројењем налази се на дну акумулационог језера па вода после проласка кроз турбину несметано отиче у постројење за третман воде.



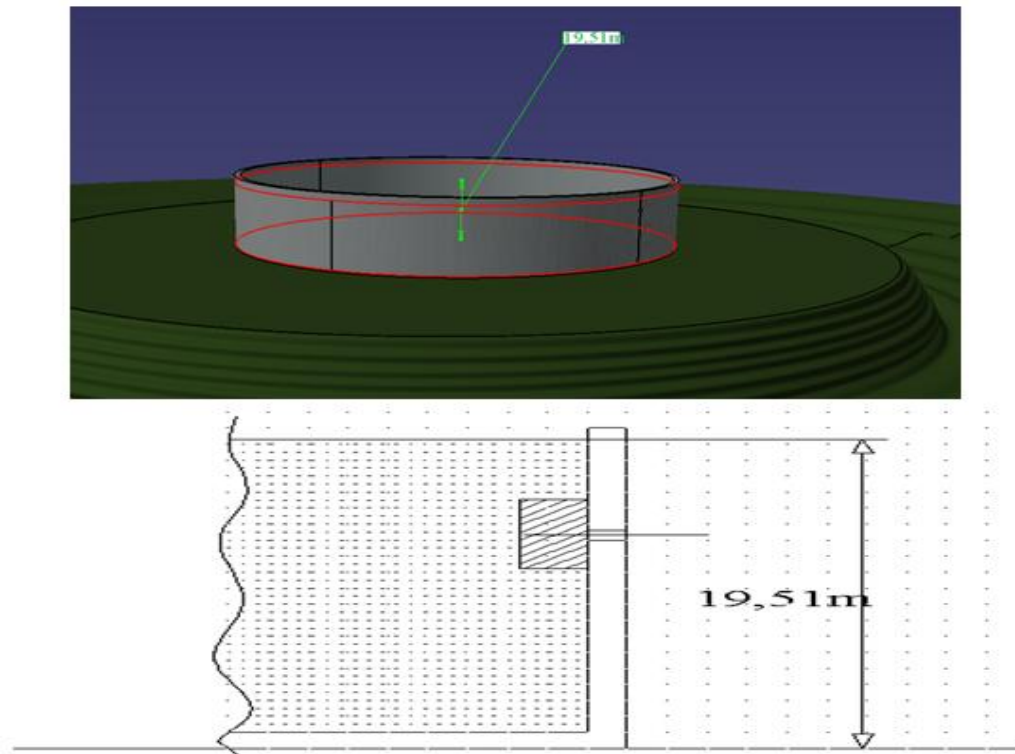
Слика 4.1 Приказ магистралних цевовода и акумулационог језера

Прорачун потребне количине воде реализован је под претпоставком да падавина уопште нема или да их има јако мало као што је случај у изузетно сушним годинама. Оваква претпоставка је постављена из сигурносних разлога, односно, да би се са сигурношћу постигла потребна влажност земљишта без обзира на климатске карактеристике године Табела 4.1. [13]

Табела 4.1 Приказ дотицаја воде са изворишта у акумулацију и потрошња воде у току експлоатације система. [13]

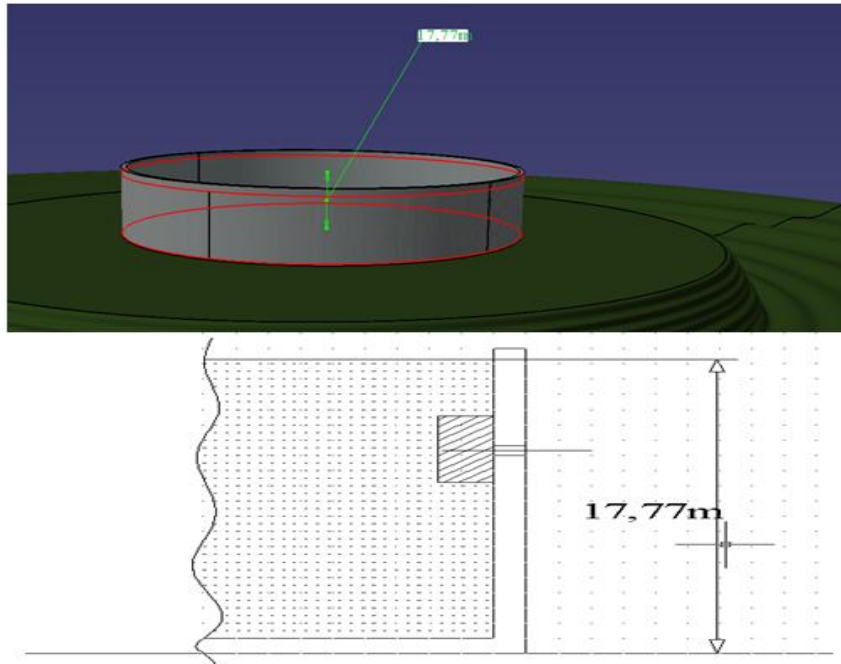
Месец	Дотицај воде са изворишта у акумулацију (m ³)	Количина воде у акумулацији за време потрошње (m ³)	Потрошња воде (m ³)	Количина воде у акумулацији након потрошње (m ³)	Активност
Јануар	2175000	24435000	-	24435000	Акумулира се
Фебруар	2175000	26610000	-	26610000	Акумулира се
Март	890000	27500000	-	27500000	Акумулира се
Април	-	27500000	3300000	24200000	Троши се
Мај	2175000	26375000	2640000	23735000	Троши се
Јун	2175000	25910000	1320000	24590000	Троши се
Јул	2175000	26765000	2310000	24455000	Троши се
Август	2175000	26630000	2970000	23660000	Троши се
Септембар	2175000	25835000	2970000	22865000	Троши се
Октобар	2175000	25040000	-	25040000	Акумулира се
Новембар	2175000	27215000	-	27215000	Акумулира се
Децембар	285000	27500000	-	27500000	Акумулира се

У претходној табели су приказане вредности, распоређене по месецима, воде која је доступна са изворишта и воде која је потребна за наводњавање биљних култура. Максимална количина воде у акумулационом језеру је 27500000 m³, при овој количини воде у акумулационом језеру ниво воде је на коти $H_{\max}=19,51$ m од дна акумулационог језера.



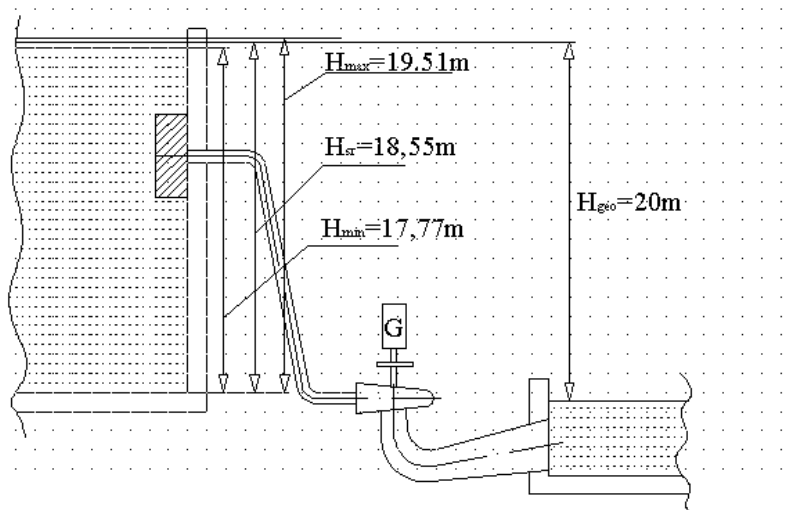
Слика 4.2 Ниво воде у акумулационом језеру при максималној количини воде у језеру

Минимална количина воде је 25040000 m^3 , при овој количини воде у акумулационом језеру ниво воде је на коти $H_{\min}=17,77 \text{ m}$ од дна акумулационог језера



Слика 4.3 Ниво воде у акумулационом језеру при минималној количини воде у језеру

При најчешћим експлатационим условима висина воде у акумулационом језеру је на коти од 18.55 m , при овој висини воде у акумулационом језеру остварује се бруто пад од 20 m .



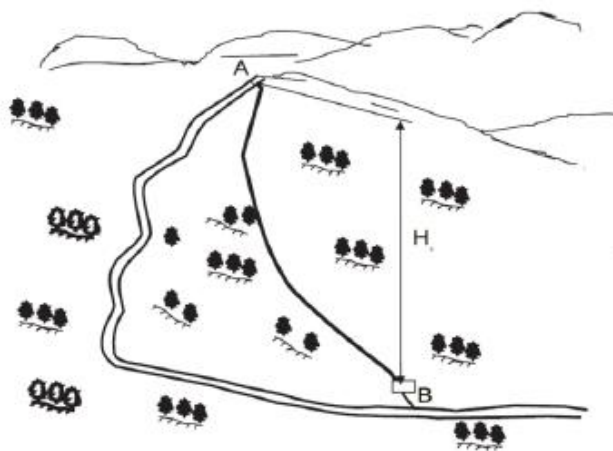
Слика 4.4 Ниво воде у акумулационом језеру при средњој количини воде у језеру

5. Одређивање локације мале хидроелектране на новој хидроакумулацији „Стиг“

5.1. Одређивање енергетског потенцијала водног тока

Износ енергије у хидропостројењу (малој хидроелектрани) које ће се поставити у хидроенергетски систем „Стиг“, веома зависи од локације њеног постављања у овом водпривредном систему, те се због тога морала извршити одговарајућа анализа. А у току те анализе веома је вођено рачуна да мала хидроелектрана треба да повољно утиче и на квалитет воде за наводњавање, што је, поред осталог предодређивало и сам тип хидрауличне турбине.

Планирање експлоатације воденог потенцијала при избору локације за њену градњу било је праћено одговарајућом оптимизационом анализом, која је у овом случају упућивала на то да се хидроелектрана мора градити низводно од нове хидроакумулације, али и на улазу у постројења за пречишћавање воде. Том приликом, у складу са сликом 5.1 дефинисан је бруто пад турбине, док проток кроз турбину одређен потебом за водом комплетног заливног система, с једне стране, и жељом да хидропостројење ради са максимано могућим степеном корисности.



Слика 5.1 Одређивање водног потенцијала [2]

Принцип одређивања расположиве хидрауличке бруто снаге хидротурбине која представља саставни део мале хидроелектране на предметној локацији приказан је на слици 5.4. Са те слике се види да вода протичући од тачке А (водозахват на акумулацији) до тачке В (улаз у хидротурбину на локацији мале хидроелектране) губи потенцијалну енергију, која је сразмерна висинској разлици тачака А и В - (означена са H_g на слици 5.1), и ставља хидроелектрани потенцијалну хидрауличку бруто снагу:

$$P_{Hg} = \rho \cdot g \cdot \dot{V} \cdot H_g,$$

где су:

P_{Hg} [kW] – расположива хидрауличка бруто снага воде,

$\dot{V}$ [m³/s] - проток воде,

Hg [m] – бруто напор,

ρ [kg/m³] – густина воде $\rho=1.000$ kg/m³,

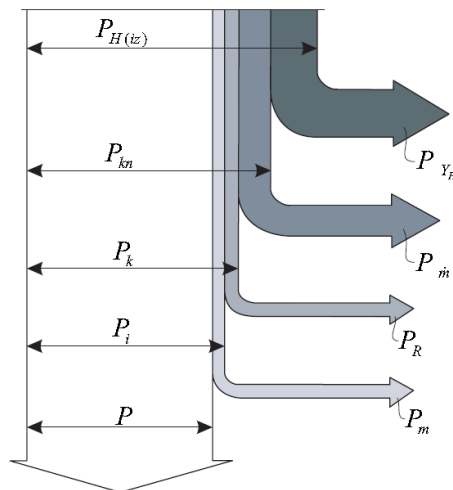
g [m/s²] – гравитационо убрзање $g=9,81$ m/s².

5.2. Хидраулички губици у турбини

У доводном цевоводу који спаја хидроакумулацију и турбину део расположиве бруто хидрауличке снаге се потроши на покривање губитака у цевоводу, тако да хидроелектрани (хидрауличној турбини) преостане на располагање хидрауличка снага P_H , која се, даље, троши на покривање губитака у самој турбини, тако да она може предати генератору електричне ступе снагу P (слика 5.2).

Део енергије воде који се губи у турбини се претвара у нискотемпературну неискористиву топлотну енергију, а механичка енергија вратила турбине P у генератору електричне струје претвара се у електричну енергију (слика 5.2).

Дакле, вода у турбину уноси хидрауличку снагу P_H , а излазна (корисна) снага из турбине је она која се остварује на излазном вратилу турбине P (слика 5.2).



Слика 5.2 Дијаграм тока снаге у хидрауличној турбини

Однос између појединих снага приказаних на слици 5.2 може се представити следећим изразима:

$$P_H = \rho \cdot \dot{V} \cdot Y, ,$$

$$P_{kn} = P_H - P_{\Delta Y_H} = \rho \cdot \dot{V} \cdot Y_{th},$$

$$P_k = P_{kn} - P_{\Delta \dot{m}} = \rho \cdot \dot{V}_k \cdot Y_{th},$$

$$P_i = P_k - P_R = \rho \cdot \dot{V}_k \cdot Y_i,$$

$$P = P_i - P_m = \omega \cdot M,$$

где су:

P_H - хидрауличка снага турбине,

P_{kn} - нето снага радног кола,

P_k - снага кола,

P_i - унутрашња снага турбине,

P - снага на вратилу турбине,

P_m - снага механичких губитака у турбини (лежајеви и заптивачи),

P_R - снага губитака услед трења воде о спољашње површине кола,

$P_{\Delta \dot{m}}$ - снага волуметријских губитака у турбини,

$P_{\Delta Y_H}$ - снага хидрауличких губитака у радном колу и усменим и спроводним органима турбине,

$\dot{V}$ - проток кроз турбину,

$\dot{V}_k$ - проток кроз радно коло турбине ($\dot{V}_k = \dot{V} - \Delta \dot{V}$),

Y - напор турбине,

Y_k -напор радног кола турбине,

Y_i - технички рад турбине

M - момент на вратилу турбине,

ω - угаони број обртаја вратила турбине.

Вратило турбине најчешће се спреже спојницом са вратилом генератора трофазне наизменичне струје. Привидна електрична снага коју остварује електрични генератор у спрези са турином може се, знајући његов фактор снаге генератора $\cos \phi$, и његов степен корисности η_G , изразити на следећи начин:

$$S = \frac{P \cdot \eta_G}{\cos \phi},$$

где су:

$S = U \cdot I [\text{VA}]$ -привидна електрична снага генератора,

$\eta_G [-]$ -степен корисности генератора.

Степен корисности хидрауличне турбине може се изразити следећом релацијом:

$$\eta = \frac{P}{P_H}.$$

Из претходног текста се види да је циљ доброг идејног решења да се умање губици снаге који настају од тачке А до тачке В, и губици у самој турбини, да би што већа снага била на располагању за рад генератора.

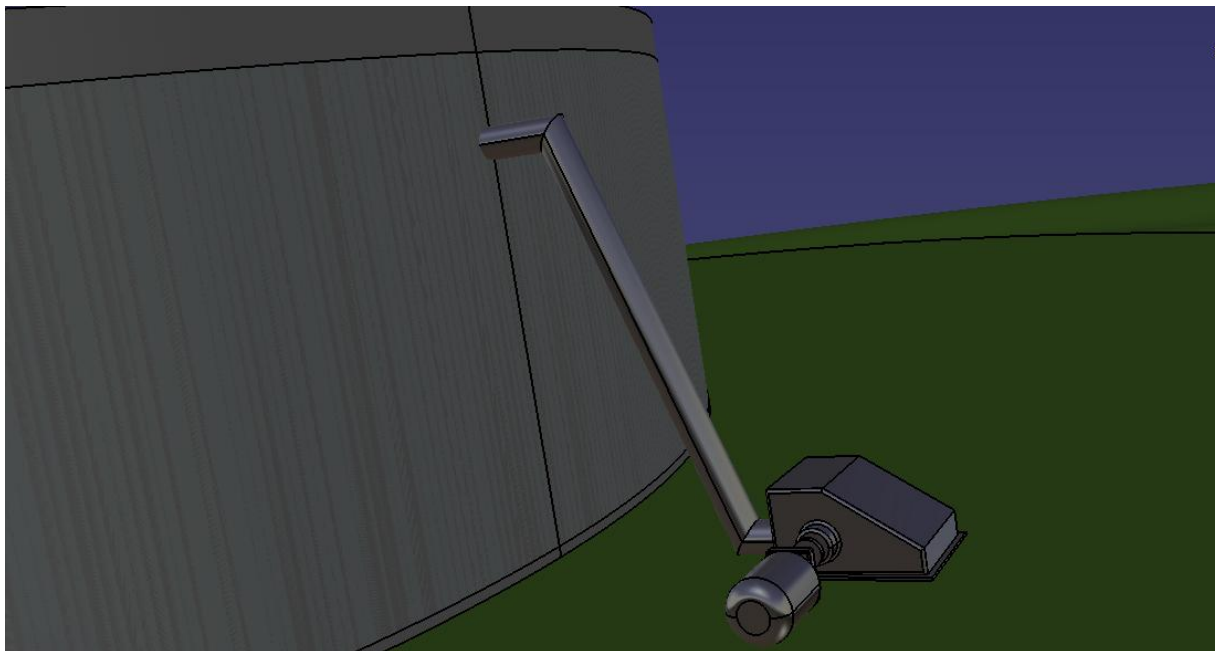
Како би се проценила могућа производња електричне енергије у току календарске године неопходно је познавати:

- промене протока у водозахватном систему током године,
- расположиви бруто напор хидрауличне турбине током године и
- број радних часова хидроелектране у току године.

Сва ова три параметра, због карактера хидроакумулације су веома стабилни, те се производња електричне енергије може прилично тачно проценити.

5.3. Осврт на изабрану локацију мале хидроелектране

С једне стране, при одређивању локације мале хидроелектране у хидропостројењу је веома важно да се комплетна хидроелектрана изгради са минималним инвестиционим улагањима. С друге, опет из економских и еколошко-енергетских разлога, је важно да се хидроенергетски потенцијал хидроакумулације оптимално искористи, тј. да се одреди оптимални проток кроз турбину $\dot{V}$ и његова варијација у току године у зависности од климатских прилика и радне активности на угљенокопу из кога се акумулационо језеро снабдева водом за наводњавање Стишке равнице.



Слика 5.3 Приказ локације за изградњу мале хидроелектране, турбине и цевовода

Изабрана локација за изградњу мале хидроелектране (слика 5.3) налази се непосредно после акумулационог језера, на крају прве деонице гравитационог цевовода који спаја хидроакумулацију и постројење за прчишћавање и хемијски третман воде. На тај начин се избегава енергетски неисплативо обарање притиска воде уз помоћ вентила и других техничких метода за ту сврху, већ се користи хидраулична турбина која, производећи електричну енергију, обара притисак воде на одговарајући ниво. Пошто је овде изабрана и турбина Банки типа, она додатно, због свог начина рада, врши аерацју језерске воде, што је веома корисно за биљне културе које се наводањавају из разгранатог водоснабдевног

гравитационог система који се простире по целој стишкој равници (слика 4.1), почев од постројења за пречишћавање и хемиски третман воде овог водопривредног система до сваке парцеле за коју је наводњавање предвиђено.

5.3.1. Одређивање протока

Још једном напомињемо да је комплетним пројектом, чији је овај мастер рад један део, предвиђено да се отпадна вода из угљенокопа Дрмно, уместо што се сада пумпама депонује у привремене таложнике, па потом у реку, транспортује у новоизграђено акумулационо језеро, на постојећем брду које је настало одлагањем јаловине, у коме се из воде, најпре таложи земљано-угљени муљ, а потом таква вода кроз хидроелектрану и постројење за пречишћавање и хемијски третман, дистрибуира до парцела које се наводњавају у Стишкој равници.

Доступан проток воде за изградњу мале хидроелектране једнак је протоку воде која истекне из новоформираног акумулационог језера. Нашим пројектом је на врху одлагалишта пројектовано акумулационо језеро капацитета 28000000 m³. У ово језеро се пумпама допрема вода која је одстрањује са копа Дрмно, а подаци које смо прикупили на овом угљенокопу говоре да се из њега месечно, у просеку, испумпа око 2150000 m³.

У летњем периоду, и када за то има потребе у зимском периоду, вода се транспортује гравитационим цевоводом до пољопривредних парцела и то је по месецима дато у следећој табели.

Табела 5.1 Количина воде на локацији 2 [13]

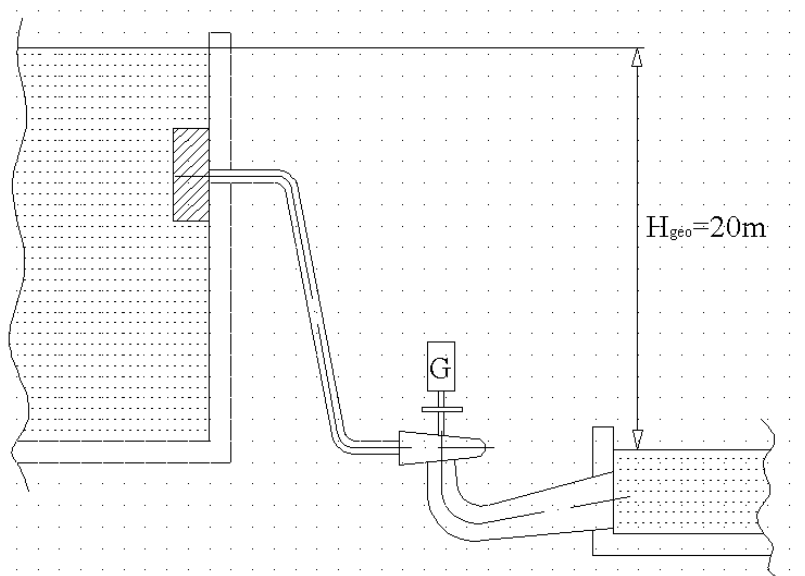
Месец	Количина воде која се троши m ³
Јануар	-
Фебруар	-
Март	-
Април	3000000
Мај	4500000
Јун	5400000
Јул	6000000
Август	5700000
Септембар	2400000
Октобар	-
Новембар	-
Децембар	-

Израчунавањем протока у периоду када је суша, а сагласно потребама биљака у Стишкој равници, анализом смо дошли да ће средњи проток кроз главни гравитациони цевовод износити 2,5 m³/s.

5.3.2. Одређивање расположивог пада воде

При одређивању расположивог пада воде, тј. бруто пада (H_g), узима се у обзир да је надморска висина садашњег одлагалишта 130 m и да ће се акумулационо језеро налазити на врху одлагалишта.

Машинска зграда мале хидроелектране на овој локацији налазила би се у подножју акумулационог језера и на улазу у постројење за пречишћавање и хемијски третман воде (слика 5.4). Због тога ће малој хидроелектрани стајати на располагању бруто пад сразмеран висини од 20 m.



Слика 5.4 Приказ локације за изградњу мале хидроелектране

6. Одабир и димензионисање турбине и генератора

6.1. Одређивање напора турбине према параметрима турбинског постројења - нето напор турбине

На слици 6.1 приказано је турбинско постројење мале хидроелектране. У наредној анализи њеног енергетског учинка узето је:

- да је акумулационо језеро велике површине и да му се ниво занемарљиво мало мења током дана,
- да изнад слободних површина у акумулационом језеру и доњој води, чија се површина поклапа са слободном површином воде у постројењу за пречишћавање и хемијски третман воде, влада приближно исти барометарски притисак p_0 ,
- да се нивои воде у акумулационом језеру и доњој води налазе на висинским котама z_A и $z_{II} + h_{II}$ у односу на хоризонт,
- да се радни флуид у акумулационом језеру креће веома малом средњом брзином,
- да су познати унутрашњи пречник d_u и дужина доводне деонице цевовода L_u која спаја акумулационо језеро и улаз хидрауличне турбине I–I, као и површина излазног пресека II–II излаза из турбине A_{II} и
- да су у доводној деоници цевовода су коефицијент трења λ_u , а збир свих локалних отпора $\sum \zeta_u$.

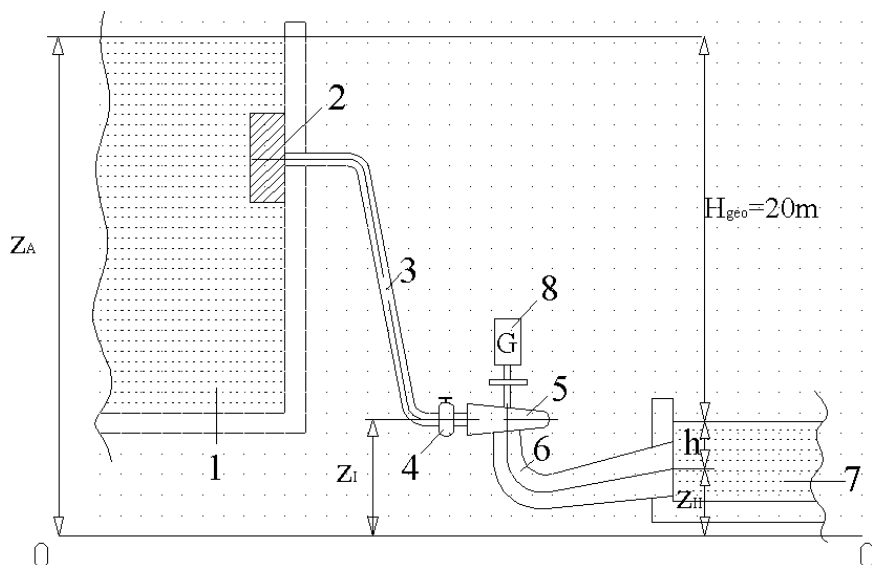
Функционална зависност између енергијских могућности хидроенергетског постројења која показује колика се јединична струјна енергија воде ставља на располагање хидрауличној турбини, ради претварања у механички рад, при сваком могућем запреминском протоку $\dot{V}$ из акумулационог језера према доњој води приказана је у наредном тексту.

Пошто се одреде јединичне струјне енергије воде (e_I и e_{II}) преко енергијских и геометријских параметара везаних за акумулационо језеро, доводни цевовод, сифон и доњу воду, долази се до следеће релације:

$$\frac{p_0}{\rho} + g \cdot z_A = \frac{p_I}{\rho} + \frac{c_I^2}{2} + g \cdot z_I + Y_{vu}$$

која омогућује, да се напор турбине може представити изразом:

$$Y = g \cdot H_{geo} - Y_{vu} - \frac{c_{II}^2}{2}$$



Сл. 6.1 Шема турбинског постројења

1 - акумулационо језеро, 2 - решетка, 3 - доводни цевовод, 4 - претурбински затварач, 5 - турбина, 6 - сифон, 7 - доња вода, 8 - генератор трофазне наизменичне струје[1]

Хидраулички губици у доводном цевоводу који фигуришу у претходном изразу могу се, за случај турбулентног струјања, одредити уз помоћ формуле:

$$Y_{vu} = \left(\sum \zeta_u + \lambda_u \cdot \frac{L_u}{d_u} \right) \cdot \frac{c_u^2}{2}$$

па се нето напор турбине може представити на следећи начин:

$$Y = Y_g - m \cdot \dot{V}^2$$

где новоуведене ознаке имају следеће значење:

$Y_g = g \cdot H_g [J/kg]$ - бруто напор турбине,

$m [Js^2 / kgm^6]$ - коефицијент карактеристике турбинског постројења.

Овај последњи израз се често у литератури среће и под називом крива турбинског постројења.

За пројектовано турбинско постројење које је предвиђено за водозаливни систем „Стишка равница“ израчунати су сви параметри:

$$m = \left(\sum \zeta_u + \lambda_u \cdot \frac{L_u}{d_u} \right) \cdot \frac{8}{d_u^4 \pi^2} + \frac{8}{D^4 \pi^2},$$

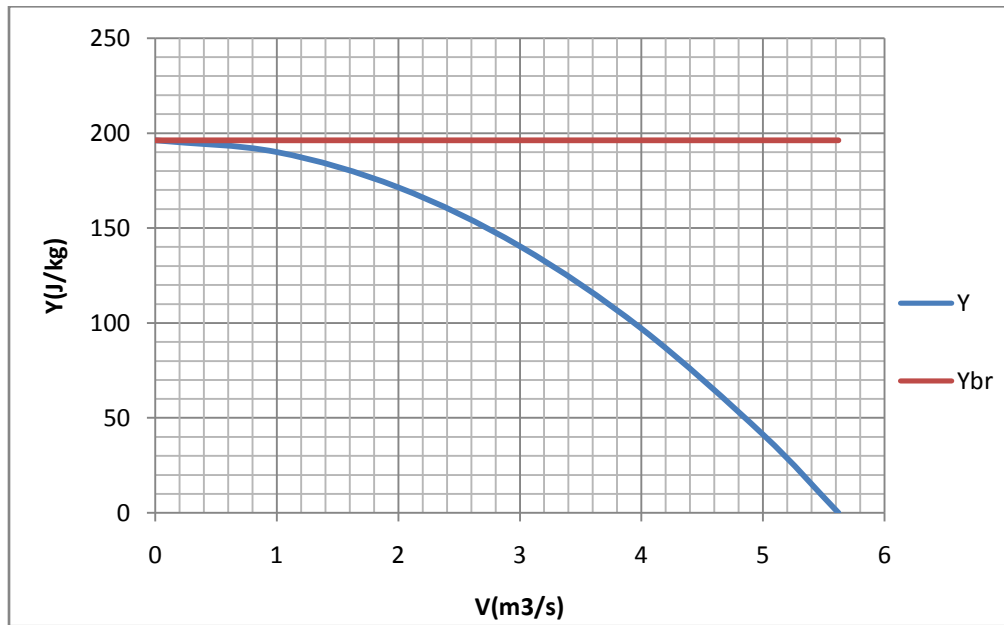
$$m = \left(\zeta_{k1} + \zeta_{k2} + \zeta_v + \zeta_s + \lambda_u \cdot \frac{L_u}{d_u} \right) \cdot \frac{8}{d_u^4 \pi^2} + \frac{8}{D^4 \pi^2} = 6.2,$$

и математички и графички (слика 6.2) представљена крива турбинског постројења:

$$Y = Y_{br} - m \cdot \dot{V}^2 = 9,81 \cdot 20 - 6.2 \cdot \dot{V}^2 = 196.2 - 6.2 \cdot \dot{V}^2.$$

Са слике 6.2 се види да не би имало смисла користити хидрауличну турбину за протоке $\dot{V} > \dot{V}_k$, при чему $\dot{V}_k$ износи:

$$\dot{V}_k = \sqrt{\frac{Y_{br}}{m}} = \sqrt{\frac{196.2}{6.2}} = 5,62 \frac{m^3}{s}.$$



Сл. 6.2 Карактеристика турбинског постројења[1]

Одређивање оптималних параметара за које треба изабрати малу турбину у датом водозаливном систему описана је у наредном тексту.

Најпре се одреди зависност хидрауличне снаге турбине од протока на изабраној локацији приказана (слика 6.3):

$$P = \dot{V} \cdot \rho \cdot Y = \dot{V} \cdot \rho \cdot (g \cdot H_g - m \cdot \dot{V}^2) = \rho \cdot g \cdot H_g \cdot \dot{V} - \rho \cdot m \cdot \dot{V}^3.$$

Затим се одреди проток кроз турбину при коме ће она остваривати максималну хидрауличку снагу:

$$\frac{dP}{dQ} = \frac{d}{dQ} (\rho \cdot g \cdot H_g \cdot \dot{V} - \rho \cdot m \cdot \dot{V}^3) = 0$$

$$\rho \cdot g \cdot H_g - \rho \cdot 3 \cdot m \cdot \dot{V}^2 = 0$$

$$\dot{V}_{p_{max}} = \sqrt[3]{\frac{g \cdot H_g}{3 \cdot m}} = 3,24, m^3/s$$

Максимална хидраулична снага која би у овом систему могла да стоји на располагање турбини износи:

$$P_{max} = V_{p_{max}} \cdot \rho \cdot (g \cdot H_g - m \cdot V_{p_{max}}^2) = 424,67 \text{ kW}.$$

При избору оптималних енергетских параметара на основу којих ће се изабрати турбина за ову малу хидроелектрану, мора се водити рачуна о томе да турбина у току свога рада мора имати неопходну резерву снаге за регулацију рада, тј., за одржавање задатог броја обртаја радног кола и генератора електричне струје. Због тога се уобичајено узима да радни проток мора бити око:

$$\dot{V}_{opt} = 0,95 \cdot \dot{V}_{p_{max}} = 0,95 \cdot 3,24 = 3,04 \frac{m^3}{s},$$

А оптимална хидрауличка снага са којим ће радити турбина постављена на датој локацији треба да износи:

$$P_{opt} = \rho \cdot \dot{V}_{opt} \cdot Y_{\dot{V}_{opt}} = \rho \cdot (Y_{br} - m \cdot \dot{V}_{opt}^2) \cdot \dot{V}_{opt} = 1000 \cdot (9,81 \cdot 20 - 6,2 \cdot 3,04^2) \cdot 3,04 = 422262,32 \text{ W},$$

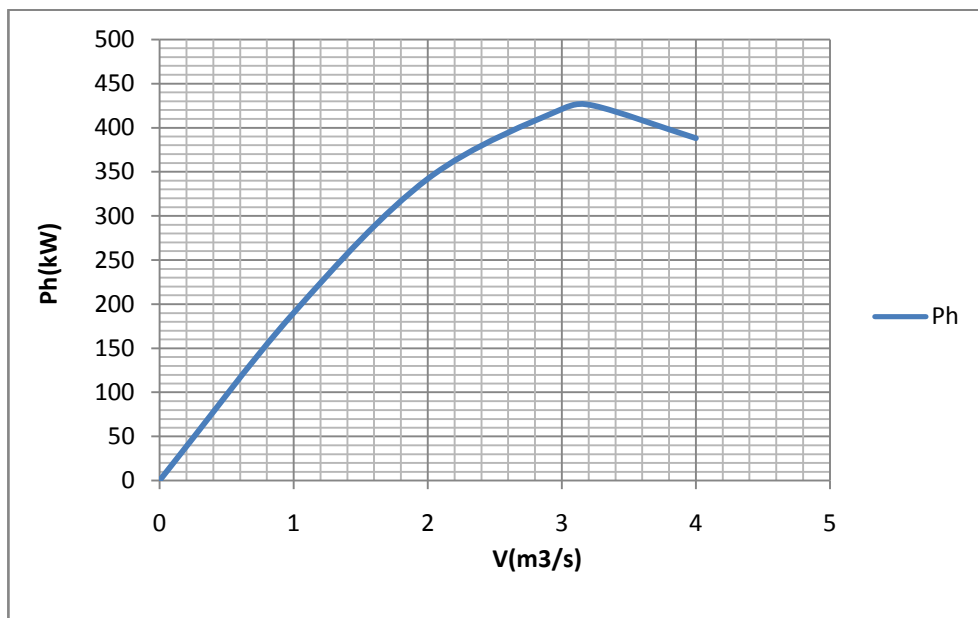
тј.:

$$P_{opt} = 422,26 \text{ kW}.$$

Снага турбине на вратилу износиће:

$$P_T = \eta_T \cdot P_{opt} = 0,89 \cdot P_{opt} = 375,8 \text{ kW}$$

и на основу ње и усвојеног броја обртаја изабраће се одговарајућа турбина.

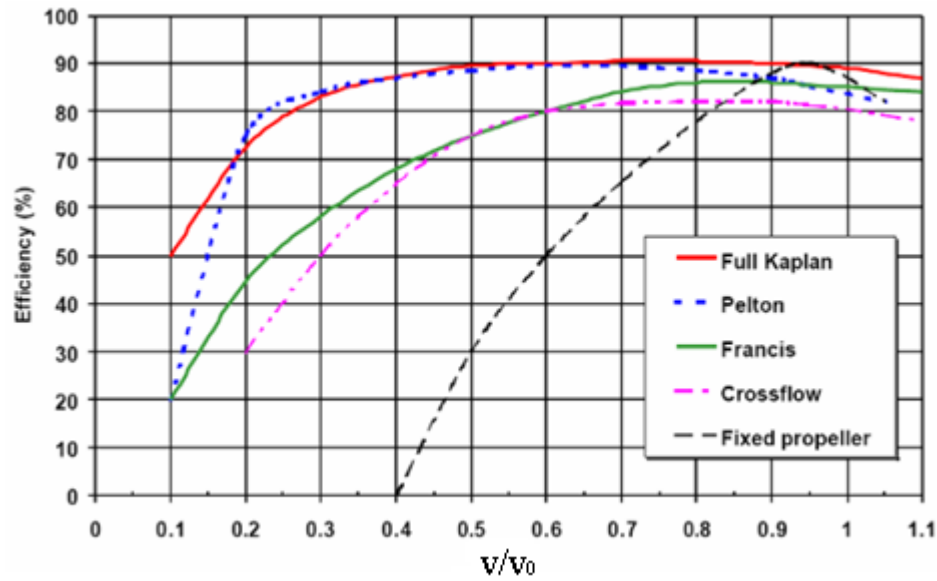


Сл. 6.3 Крива хидрауличке снаге турбинског постројења која стоји на располагању турбини

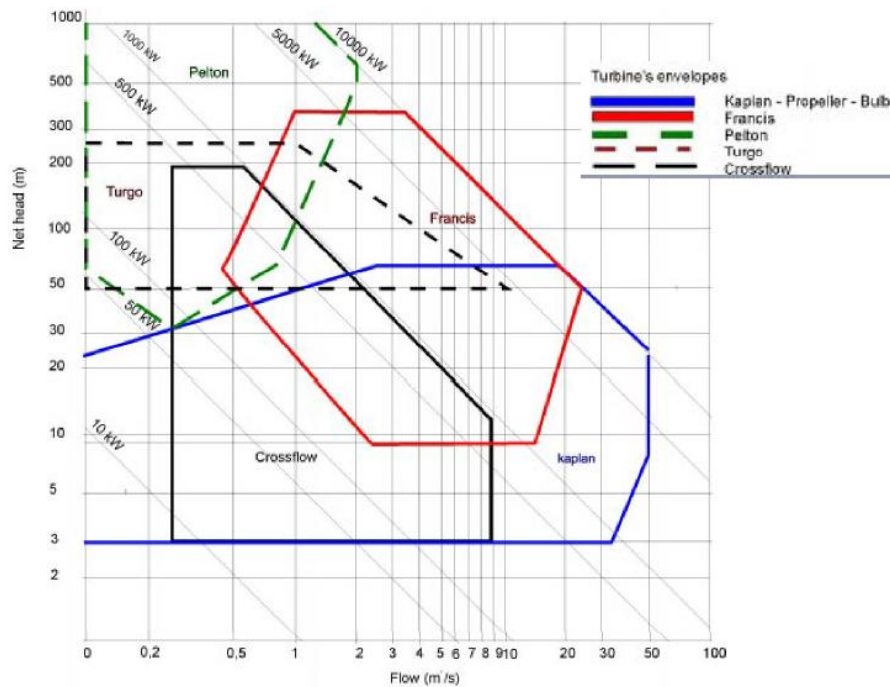
Избор најбољег типа турбине и генератора првенствено зависи од карактеристика локације за коју се пројектује мала хидроелектрана. При томе морамо узети у обзир расположив пад и количину воде која нам протекне што зависи од саме локације мале хидроелектране, а да одредимо потребну снагу на улазу у турбину и генератор.

При пројектовању мале хидроелектране посебна пажња се обраћа анализи да ли ће се турбина радити са стабилним протоцима.

За такву анализу коришћени су дијаграми дати на сликама 6.4 и 6.5 [2].



Слика 6.4 Ефикасност различитих типова турбина при смањеном протоку[2]



Слика 6.5 Избора типа турбине при пројектовању мале хидроелектране за ратличите вредности нето пада и протока[2]

Сагласно компленој претходној анализи и дијаграмима, у овом пројекту је изабрана Банкијева турбина снаге $P_{opt} = 425 \text{ kW}$.

6.2. Одабир произвођача

Како би се елиминисала одговорност при неизбежним техничким отказима турбине, мултипликатора и генератора и осталих делова, одлучио сам да се набави мала хидроелектрана по систему „кључ у руке“ од поузданог и светски признатог произвођача.

6.2.1. Проточна Банки турбина

Изабрана Банки турбина снаге $P_{opt} = 425 \text{ kW}$, може обезбедити водозаливном систему максимални проток који износи $\dot{V}_{opt} = 3.04 \frac{m^3}{s}$. Пошто се не сме дозволити да заливање

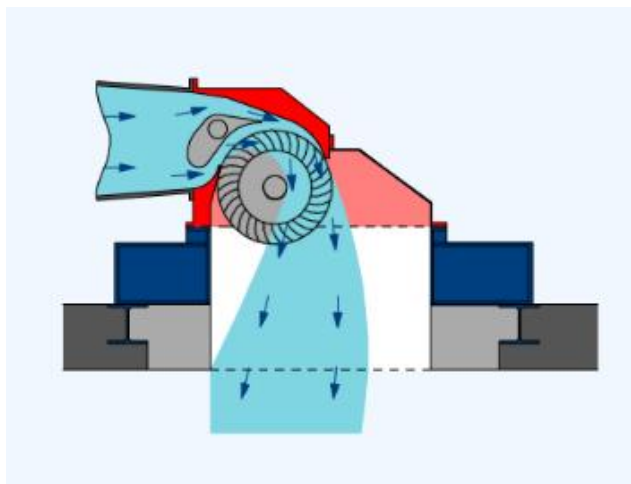
Стишке равнице буде ограничено протоком који може пропустити мала хидроелектрана (јер ће у току експлоатације овог система у одређеним периодима бити потребни и већи протоци) мора се пре улаза у турбину поставити рачва и на оној грани која директно води до постројења за пречишћавање поставити аутоматски вентил, којим се може аутоматски командовати и регулисати проток низводно од постројења за пречишћавање.

На слици 6.6, приказана је изабрана банки турбина.



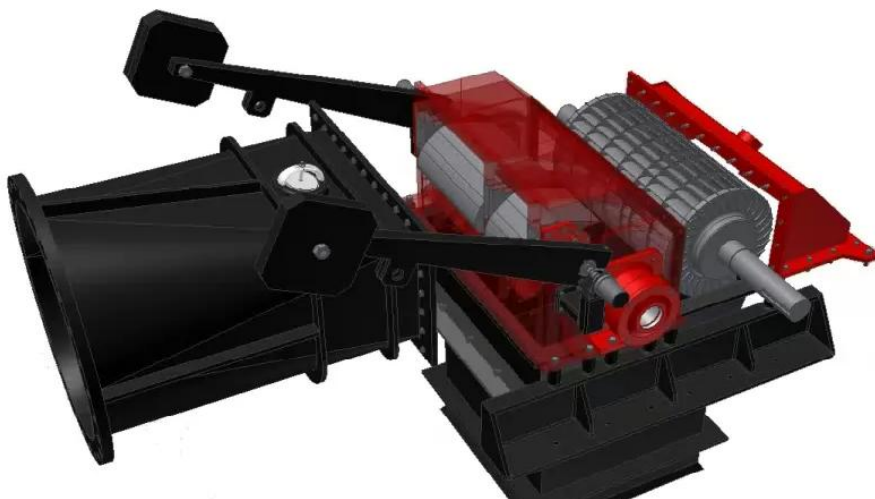
Слика 6.6 Банки турбина[5]

Банки турбина је радијална центрипетално-центрифугалног карактера и спада у класу благо реакционих турбина, са тангенцијалним распоредом лопатица обртног кола које има хоризонтално вратило. Према специфичним обртајима спада међу спороходне турбине. Усмерни органи турбине усмеравају водни млаз центрипетално на лопатице кола, да би затим на супротној страни, тај млаз по други пут прошао кроз радно коло крећући се центрифугалним правцем (слика 6.7). Након напуштања радног кола вода, кроз ваздушни просуор отиче према доњој води (слободној површини воде у постројењу за пречишћавање).



Слика 6.7 Хоризонтални доток воде[5]

У пракси овакав ток воде у обртном колу обезбеђује ефекат самочишћења. Нечистоће које при уласку воде у обртно коло упадну међу лопатице, под дејством центрифугалне силе и протока воде избацују се након половине сваког обртаја поново напоље ван простора обртног кола и одлазе у одвод.

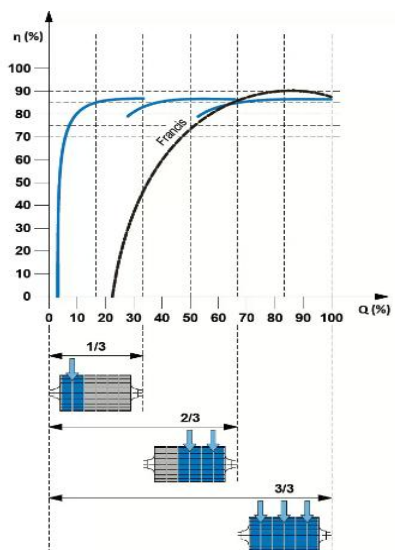


Слика 6.8 Банки турбина[5]

Уколико је количина воде у водном току променљива, Банки турбина се конструише као двокоморна или трокоморне. Стандардна расподела доводних комора је у односу 1:2. Ужа комора прима мали проток воде, а шира комора средњи проток. Обе коморе заједно примају пун проток. Таквом расподелом количина воде искоришћена је у распону пуног протока са оптималним учинком све до његове $1/6$. Банки турбине на овај начин веома ефикасно, са учинком преко 80% искоришћавају и веома променљиве протоке река.

Укупни учинак Банки турбина код малих падова и снаге у целом обиму протока достиже 84 %. Средње и веће турбине на вишим падовима достижу учинак и до 87%.

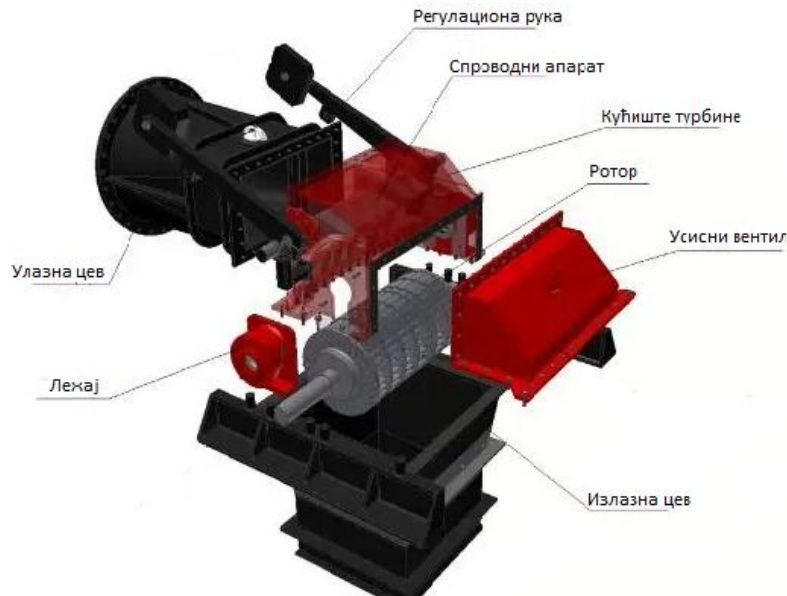
Слика 6.9 показује предности проточне турбине у случају делимичног оптерећења. Речни токови често имају по неколико месеци годишње веома мале протоке. Могућност производње електричне енергије у тим месецима зависи од степена учинка одређене турбине. Турбине са високим вршним степеном учинка, али мањом ефикасношћу при нижим протоцима воде, достижу на местима са променљивим протоком воде мању годишњу производњу него турбине са праволинијском кривом учинка.



Слика 6.9 Графикон учинка Банки турбине састављен од 3 криве учинка при регулацији подељеним клапнама у односу 1:2, у поређењу са Франсисовом турбином. [5]

У двокоморној Банки турбини воду усмеравају две избалансиране, профилисане регулационе клапне. Они деле водни млаз, уједначавају га и омогућују да без удара уђе у обртно коло – независно од ширине комора. Обе регулационе клапне су прецизно монтиране у кућиште турбине и при мањим падовима могу служити и за затварање турбине. Тада није потребно користити арматуру за затварање између цевовода под притиском. Обе регулационе клапне независно једна од друге имају продужена рамена на којима је постављена аутоматска или ручна регулација. Регулационе клапне смештене су у самоподмазајућим лежиштима и не захтевају никакво одржавање. Додавањем тегова на крајеве рамена постиже се могућност гравитационог, хитног затварања турбине у случају њеног прекида рада.

Кућиште Банки турбине произведено је од конструкцијског челика, веома је робусно, отпорно на ударе и мраз (слика 6.10).



Слика 6.10 Конструкција двокоморне Банки турбине[5]

Најважнији део турбине је обртно коло. Оно се састоји од лопатица које су произведене према провереном поступку од вученог, профилисаног челика. Обострано су смештене у крајње дискове и заварене, по специјалном поступку, са унутрашњим дисковима обртног кола. Према величини, обртно коло може имати до 37 лопатица. Линеарно постављене лопатице стварају само незнатну осну силу, тако да није потребно уграђивати ојачане аксијалне лежајеве који захтевају сложено причвршћивање и подмазивање. Код обртних кола веће ширине лопатице су вишеструко подупрте уметнутим дисковима. Обртна кола се пре коначне монтаже турбине пажљиво балансирају и пролазе кроз дефектоскопску контролу.

Банки турбине опремљене су стандардизованим, сферичним, ваљкастим лежајевима, који имају неоспорне предности, као што је мала сила трења и лако одржавање. Конструкција кућишта лежајева спречава да вода процури до лежајева и сваки контакт мазива са радном водом. То је кључна особина патентиране конструкције кућишта лежајева наше проточне турбине. Обртно коло уједно је, захваљујући позицији лежајева, центрирано у кућишту турбине. То практично техничко решење допуњују заптивни елементи који не захтевају никакво друго одржавање осим једногодишње замене мазива. Примењено техничко решење омогућава једноставну замену обртног кола без потребе демонтажа целе турбине.

Према свом принципу рада Банки турбина функционише са слободним водним падом. У области средњих и нижих падова ипак је потребан сифон. Он служи да машински део буде заштићен од поплава и истовремено да се без губитака искористи читав висина пада. Код турбине са слободним отицањем воде водени ковитлац мора бити у сифону под контролом. То обезбеђује вентил за подешавање који утиче на подпритисак у кућишту турбине. На тај начин турбине са усисном висином 1 – 3 m оптимално су искоришћене, а да не постоји опасност од настанка кавитације. Осим тога, коришћење усисног ценовода

као челичног колекторског цевовода битно смањује трошкове за доњу изградњу код ниских падова, чиме многи проблематични пројекти постају ценовно повољни.

Код Банки турбина не долази до кавитације, на основу чега отпада потреба да обртно коло буде смештено испод нивоа доње воде и с тим повезана скупа изградња и могући проблеми у раду турбине.

За падове до 90 m у производњи се користи стандардни, конструкцијски челик. За падове од 90 до 120 m обртно коло испоручује се од легираног нерђајућег челика. Код падова преко 120 m цела турбина, заједно са кућиштем и цевоводом, је од нерђајућег материјала.

Обртаји проточних турбина при раду ван електричне мреже углавном су 2,3 пута већи од номиналних обртаја. То омогућује коришћење серијски произведених генератора.

Све већи позитиван однос људи према животној средини подразумева идеално коришћење природних ресурса без угрожавања животне средине, напр. производњу електричне енергије из обновљивих извора. Изградња хидроелектрана ограничена је, међутим, следећим битним факторима: високим инвестиционим трошковима повезаним са пројектовањем и планирањем, конструисањем, као и реализацијом машинског постројења.

Инжењери и конструктори турбини стога су покушавали да смање укупне трошкове стандардизовањем хидро турбина. Та варијанта могућа је за велике турбине, али код малих хидро турбина доводи до проблема у вези са пројектованим падом и распоном променљивости годишњег протока воде.

Проточне турбине наше конструкције састоје се од стандардизованих појединачних компоненти које су према захтеву – тј. према количини воде и висини пада сваког локалитета – конфигуриране по жељи купца као цело постројење. Тај систем слагалице омогућује ценовно повољно решење уз истовремено обезбеђивање свих функција утврђених пројектом.

Проточне турбине истичу се дугогодишњим веком трајања, при чему није потребно никакво посебно одржавање. Током рада није потребно обезбедити скупе и сложене резервне делове. Евентуална поправка углавном је могућа директно на месту инсталирања турбине. Специфичну предност проточних турбина представља могућност њиховог коришћења у гравитационим системима са пијаћом водом, и то код веома дугих цевовода, при чему у раду не изазивају непожељне хидрауличке ударе и на тај начин не угрожавају квалитет пијаће воде. Наша фирма је то пуно пута успешно доказала у многим земљама широм света. [5]

6.2.1.1. Параметри постројења Банки-турбине (димензионисање главних елемената Банкијеве турбине)

1) Полазни подаци

Пројектни подаци за наручивање Банки турбине су раније одређени и овде се поново рекапитулирају.

а) Оптимални напор турбине

Оптимални напор турбине износи:

$$Y_{opt} = 138.9 \frac{J}{kg}.$$

б) *Оптимални проток кроз турбину*

Оптимални проток кроз турбину има вредност:

$$\dot{V}_{opt} = 3.04 \frac{m^3}{s}.$$

с) *Оптимална снага турбине*

Оптимална снага турбине износи:

$$P_{opt} = 425 \text{ kW}.$$

Максимална вредност степена корисности Банкијеве турбине (η_t) се може изразити износи [15]:

$$\eta_t = \frac{1}{2} \cdot C^2 \cdot (1 + \psi) \cdot \cos^2(\alpha) = 0,893,$$

где је:

α [°] – улазни угао,

ψ [–] – коефицијент храпавости лопатица ($\psi \approx 0,98$),

C [–] – ефикасност храпавости млазнице ($C \approx 0,98$), [15]

д) *Оптимални број обртаја радног кола (N)*

Корелација између специфичне брзине (N_s) и пада водотока (Y_{opt}) се према [15] може одредити изразом:

$$N_s = \frac{513,25}{\left(\frac{Y_{opt}}{g}\right)^{0,505}} = 134,65 \text{ o/min}.$$

Из израза за специфичну брзину турбине (N_s), која зависи од од снаге турбине (P_{opt}), брзине (N), и расположивог пада водотока [15]:

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P_{opt}}}{\left(\frac{Y_{opt}}{g}\right)^{5/4}}$$

Може се одредити да је оптимални број обртаја турбине:

$$N_{opt} = \frac{513,25 \cdot \left(\frac{Y_{opt}}{g}\right)^{0,745}}{\sqrt{P_{opt}}} = 179,3 \text{ o/min}.$$

е) Оптимални спољашњи пречник радног кола (D_0)

При максималној ефикасности, тангенцијална брзина (c_{tr}) се одређује на следећи начин [15]:

$$c_{tr} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \sqrt{2 \cdot Y_{opt}} \cdot \cos(\alpha),$$

односно:

$$c_{tr} = \omega \frac{D_0}{2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_{opt} \cdot D_0}{120}.$$

при чему је са ω [rad/s] означена угаона брзина радног кола.

Из претпоследњег израза следи да је оптимални спољашњи пречник радног кола Банки турбине:

$$D_0 = 40 \cdot \frac{\sqrt{Y_{opt}}}{N_{opt}} = 0.839 \text{ m}.$$

ф) Одређивање међулопатичног лучног одстојања (t_b)

Међулопатично лучноо одстојање одређује се по поступку које је описан у наредном тексту.

Дебљина улазног млаза (t_e), мерена под правим углом у односу на тангенцијалну брзину (c_{tr}) одређује се према изразу [15]:

$$t_e = K \cdot D_0 = 0,073 \text{ m},$$

при чему је константа која износи $K = 0,087$ [15].

Тангенцијално растојање (t_b) између лопатица се према [15] одређује изразом:

$$t_b = \frac{t_e}{\sin \beta_1} = \frac{K \cdot D_0}{\sin \beta_1} = 0,146 \text{ m},$$

где је β_1 [о] улазни угао ($\beta_1 = 30^\circ$ за $\alpha = 16^\circ$).

У том случају се претходни израз може свести на облик:

$$t_b = 0,174 \cdot D_0.$$

г) Прорачун ширине радијалног обода (a)

Ширина радијалног обода представља разлику између спољашњег (r_o) и унутрашњег (r_i) полупречника радног кола турбине, и то је простор за смештај лопатица радног кола може се одредити на следећи начин [15].

$$a = 0,174 \cdot D_0 = 0,146 \text{ m.}$$

h) Прорачун броја лопатица радног кола (n_b)

Број лопатица радног (n_b) кола се одређује према изразу [15]:

$$n = \frac{\pi \cdot D_0}{t_b} = 18,04, \text{ усваја се } 19.$$

i) Прорачун дебљине млаза (t_j)

Дебљина млаза, такође, представља и ширину пресека млазнице, а према [15] се може одредити релацијом:

$$t_j = \frac{A_j}{L} = \frac{\dot{V}_{opt}}{C \cdot \sqrt{2 \cdot Y_{opt}} \cdot L} = \frac{0,233 \cdot \dot{V}_{opt}}{L \cdot \sqrt{Y_{opt}}} = 0,244 \text{ m,}$$

где је:

$A_j [m]$ – површина попречног пресека млазнице,

$L [m]$ – дужина радног кола.

j) Прорачун дужине радног кола (L):

Према [15], дужина радног кола се прорачунава изразом:

$$L \cdot D_0 = \frac{0,81 \cdot \dot{V}_{opt}}{\sqrt{\frac{Y_{opt}}{g}}},$$

одакле следи:

$$L = \frac{\dot{V}_{opt} \cdot N}{50 \cdot \frac{Y_{opt}}{g}} = 0,770 \text{ m,}$$

односно:

$$t_j = \frac{11,7 \cdot \sqrt{\frac{Y_{opt}}{g}}}{N} = 0,245,$$

или, коначно:

$$t_j = 0,29 \cdot D_0 = 0,245 \text{ m.}$$

k) Одређивање растојања између воденог млаза и вратила радног кола (y_1)

Растојање између воденог млаза и вратила радног кола износи[15]:

$$y_1 = 0,116 \cdot D_0 = 0,097 \text{ m.}$$

l) Одређивање растојања између воденог млаза и унутрашњег обода вратила (y_2)

Растојање између воденог млаза и унутрашњег обода вратила има вредност [11]:

$$y_2 = 0,05 \cdot D_0 = 0,0419 \text{ m.}$$

m) *Одређивање унутрашњег пречника радног кола (D_i)*

Унутрашњи пречник радног кола има вредност [11]:

$$D_i = D_0 - 2 \cdot a = 0,547 \text{ m.}$$

n) *Одређивање полупречника лопатица радног кола (r_c)*

Полупречник лопатица радног кола (r_c) износи [11]:

$$r_c = 0,163 \cdot D_0 = 0,136 \text{ m.}$$

o) *Одређивање улазног (β_1) и излазног угла лопатица (β_2)*

Улазни углови лопатица Банкијеве турбине се могу одређивати према изразу:

$$\tan \beta_1 = 2 \cdot \tan \alpha .$$

За случај идеалног радијалног тока излазни угао лопатица $\beta_2 = 90^\circ$, међутим за случај максималне ефикасности он је једнак улазном углу β_1 [15]:

$$\beta_2 = \beta_1 .$$

Сви основни параметри изабране Банки турбине приказани су у наредној табели.

Табела 6.2 Параметри и димензије Банки турбине

Параметар	Ознака	Јединица	Резултат димензионисања
Расположиви проток	$\dot{V}$	m ³ /s	3,04
Бруто пад	H_g	m	20
Нето пад	Y	J/kg	138,9
Снага турбине	P	kW	425
Број обртаја	N	o/min	179
Ефикасност турбине	η	-	0,893
Специфичан број обртаја	N_s	-	134
Дужина радног кола	L	m	0,770
Спољашњи пречник радног кола	D_o	m	0,839
Унутрашњи пречник радног кола	D_i	m	0,547
Тангенцијално растојање лопатица	t_b	m	0,146
Дебљина улазног млаза	t_j	m	0,245
Растојање воденог млаза и вратила	y_1	m	0,097
Растојање млаза и периферије р. кола	y_2	m	0,0419
Радијус закривљења лоптице	r_c	m	0,136
Улазни угао	β_1	o	90
Излазни угао	β_2	o	90

7. Одабир управљачких и регулационих компоненти

Разводни систем

У двокоморној проточној турбини воду усмеравају две избалансиране, профилисане регулационе клапне. Они деле водни млаз, уједначавају га и омогућују да без удара уђе у обртно коло – независно од ширине комора. Обе регулационе клапне су прецизно монтиране у кућиште турбине и при мањим падовима могу служити и за затварање турбине. Тада није потребно користити арматуру за затварање између цевовода под притиском и турбине. Обе регулационе клапне независно једна од друге имају продужена рамена на којима је постављена аутоматска или ручна регулација. Регулационе клапне смештене су у самоподмазајућим лежиштима и не захтевају никакво одржавање. Додавањем тегова на крајеве рамена постиже се могућност гравитационог, хитног затварања турбине у случају њеног прекида рада.

Управљачки уређај турбинског агрегата обезбеђује следеће деловање:

- аутоматски старт и везивање агрегата на изоловану мрежу,
- аутоматски старт и везивање агрегата на дистрибутивну мрежу,
- регулацију учестаности обртања у изолованом погону,
- промену снаге агрегата у паралелном раду,
- програмско деловање при потпуном и делимичном збацивању снаге,
- заустављање агрегата са искључењем генератора са изоловане мреже,
- заустављање агрегата са искључењем генератора са дистрибутивне мреже,
- заустављање агрегата при преоптерећењу код изолованог погона,
- заустављање агрегата при побегу, и
- заустављање агрегата при деловању електричних заштита генератора.

Управљачки систем постројења

Мала Банки-хидроелектрана је спојена преко 7“ Widescreendisplay са мемориским програмом, којим се врши управљање (SPS).

WAGO серија 750 за управљање, поседује Ethernet интерфејс за комуникацију са надређеним јединицама или за комуникацију на даљинско управљање. Преко аналогних и дигиталних карти се шаљу сигнали од постројења према управљачкој јединци или се сигнали шаљу од управљачке јединице према различитим компонентама постројења, нпр. спроводном апарату. Управљачка јединица прерађује улазне сигнале и на основу њих врши аутоматску регулацију Банки -постројења.

Преко површине дисплеја, се може проверити актуелно стање Банки -постројења, различити подаци и вредности температуре. Осим наведеног, је могуће преко дисплеја вршити одређене наредбе, које се односе на управљање Банки -постројењем, али само када је укључен тзв. ручни начин управљања.

Хидроелектране у класама снаге од 160кW до 380 кW су уобичајено опремљене са 48 дигиталних улаза, 32 дигитална излаза, 8 аналогних улаза, 2 аналогна излаза, као и са улазима од Pt 100, за мерење температуре.

Микро плоча фирме Eaton Micro Innovation са TFT дисплејом у боји у формату 16:9, опремљена је са 400 MHz RISC-procesorom, као и са уграђеном меморијом од 128 MB, који се може додатно повећати коришћењем SD меморијске картице.

7“ Touchdisplay“

- Eaton Micro Innovation
- TFT дисплеј у боји,
- Резолуција:800x480,
- Ethernet сучеље,
- Profibus DP или CAN-Bus (опционално) и
- RS232/ RS485.



Слика 7.1 Eaton Micro Innovation Micropane TFT Color Display 16:9

SPS 750 WAGO

- Ethernet интерфејс,
- велики распон функционалности,
- тачна дијагноза и
- велики меморијски простор за податке.

Улазно / Излазне карте до 380 kW:

- 48 дигиталних улаза,
- 32 дигитална излаза,
- 8 аналогних улаза и
- 4 Pt100 улаза за мерење температуре.



Слика 7.2 WAGO Serie 750 управљање

Код великих вредности снаге постоји могућност потребе додавања дигиталних картица.

Управљачки ормар

Управљачка јединица, која поред SPS обухвата и расподелу наизменичног напона 230V као и истосмерног напона 24V, надзор над мрежом и инвертором, испоручује се у разводном ормару (произвођач „Rittal“) димензија 1000x2000x600mm.

У управљачком ормару се налази и управљачки систем који је задужен за управљање боцом са азотом и притиском у турбини, који спречава настанак корозије и гарантује надпритисак.

Поред Touchdisplay -а су у вратима разводног ормара, постављени и тастери за важне команде (Старт, Стоп, Ресет) као и тастер за искључење у случају нужде (опасности). Управљачка јединица која, по потреби, регулише горњи ниво воде, контролисана је путем хидрауличног агрегата. При том се, помоћу одговарајуће сонде, мери горњи ниво воде, и прилагођава се отвор спроводног апарата одговарајућем нивоу воде. Осим тога, мере се и притисак, ниво уља као и температура уља хидрауличног агрегата.

Допунски управљачки подсистеми постројења:

- радне утичнице /осветљење разводног ормара, једнофазно, 20А, три осигурача 16А,
- тастер за нужду (опасност) са сигурносним релејом,
- 24VDC напајање, 100W непрекидно, обезбеђено путем батерије (акумулатора),
- 24VDC вршно оптерећење, 250W, (није непрекидно напајање),
- релеј за надгледање мреже, произвођач Bender VMD 423,
- преднапајање инвертора и
- сигурносни надзор за 8 апарата.

Напајање склопки

У оквиру стандардне испоруке налази се једна монофазна разводна склопка FI - заштићена (20А, 0,03А), која прије свега служи за снабдијевање осветљења разводног ормара и склопки у склопу разводног ормара потребном електричном енергијом.

Снабдевање са 24VDC

Уређаји за управљање постројењем снабдевени су са напонам од 24VDC. Овај напон се узима из властите производње и има вредност од 250W (24VDC, 10A).

Додатно се, ради обезбеђивања непрекидног напајања, управљачка јединица повезује на акумулатор (само неопходни струјни кругови, са вредношћу до 100W), како би се обезбедио несметан рад за неколико минута, у случају комплетног испада система (електричне мреже). Велики потрошачи, као нпр. магнетни вентили или осигурачи против прекомерног оптерећења су изузети, будући да би узимали превелику количину енергије. Технички гледано, није неопходно напајање великих потрошача.

Предвиђени акумулатори су израђени као олово-гел систем, за који није потребно одржавање, али је неопходна замена акумулатора, у правилним временским интервалима, због смањења њиховог капацитета (цца. 3-5 година).

Такође је могуће снабдевати постројење електричном енергијом путем екстерног УСВ-уређаја 24VDC, који набавља и монтира купац, по властитом нахођењу.

Сигурносни надзорни систем

Како би се на време могао уочити испад осигурача заштите проводника или мотора, који су важни за рад постројења, неопходно је континуирано пратити следеће сигурносне уређаје:

- осигурач заштите мотора (нпр. за хидрауличну пумпу),
- 3 осигурача 230VAC (нпр. пумпа расхладног система),
- сви 24VDC одводи са изузетком резервних одвода и
- преднапон.

Надзор над мрежом

За надзор над мрежом служи релеј VMD произвођача Bender. Овај релеј испуњава све захтеве за дистрибуцију произведене електричне енергије у јавну електричну мрежу, те је овај начин надзора мреже најчешће признат код енергетских снабдевача.



Слика 7.3 Bender VMD релеј за надзор над мрежом

Постоји могућност да се монтира и било који други тип уређаја, који испуњава захтеве и стандарде EVU (надлежне Електропривреде). Уређај може набавити купац или платити испоручиоцу трошкове набаве уређаја.

Енергетски ормар са воденим хлађењем

Само уз помоћ претварачке технике је могућ рад Банки -Турбине на промењивом броју обртаја и на тај начин је повећана њена ефективност. За постизање овакве ефективности потребна је употреба инвертора, који врше оптимизацију промењивих вредности напона за електричну мрежу.

Инвертори, укључујући филтер пакет, као и заштите за електричну мрежу и генератор се испоручују у тзв. ТС8 – разводном ормару димензија 1200x2000x600mm. Опционално се може, у разводни ормар уградити осигурач за мрежу, уколико није уграђен у разводни ормар купца.

Понекад није могућа уградња осигурача у разводни ормар, што може бити условљено димензијама разводног ормара, односно, непостојањем резервног места за уградњу осигурача. У том случају се осигурач уграђује изван разводног ормара.

Број енергетских ормара и инвертора зависи од снаге, коју постројење може да постигне.

Компоненте енергетског ормара:

- инвертори са филтер пакетом,
- заштита за генератор,
- заштита за електричну мрежу,
- надзор над напоном,
- заштита од прекомерног напона, на страни генератора и
- сигурносни уређаји за електричну мрежу.

Главна нисконапонска расподела

У овом склопу се, у правилу, налази један главни прекидач, којим се комплетно Банки -постројење одваја од мреже са одговарајућим осигурачима.

Развођење каблова

У опсег испоруке спада искључиво развођење каблова између разводних ормара. Набавка и развођење свих електричних прикључних водова ван разводних ормара, нпр. генератора и прикључак на трансформатор, нису обухваћени опсегом испоруке.

Развођење каблова од сензора и актуатора, који се налазе екстерно од Банки - постројења, обрачунава се посебно, на основу количина употребљених материјала и насталих трошкова. [11]

8. 3D изведба МХЕ са свим компонентама

8.1. Увод у програмске пакете

Иако је машинство постојало много пре него што је измишљен рачунар, инжењери који конструишу машинске елементе, подсклопове, склопове, и машине су схватили да цртаћа табла која се до тада користила не може да се мери са оним што пружају специјални софтвери који су произведени за ту намену.

Ови софтвери се могу поделити у две групе и то:

- У прву групу, која је и по датуму настанка нешто старија могу се уврстити они софтвери који су орјентисани ка дводимензијоналном цртању (2D), један од програма који је нај заступљенији у овој групи је AutoCAD. Овакви програми су увелико олакшали разраду техничке документације за делове и склопове делова који су веома сложени и тешки за ручну израду.
- Друга група софтвера је мало новијег датума и намењена је тродимензионалном моделирању (3D) и склапању машинских делова али и све више САЕ концепту, који се заснива на употреби рачунара у инжењерству. У ову групу програма могу се навести Pro Enginner, Solid Works, CATIA. Конструисање у овим програмима се своди на цртање затворене дво димензионалне контуре неког машинског дела у одговарајућој равни, даљим поступком конструисања манипулише се том контуром врши се њена ротација, транслација или кретање по неким задатим путањама да би се добио машински део који је потребан. Ови програми су првобитно настали да се у њима само направи део и од ради склоп али данас се они користе за много шире појмове па сада могу да помогну у изради техничке документације, лако мењању материјала, приказивач толеранција, анализе напона у деловима, буквално прави се прототип дела и врше се испитивања на њему. [6]

8.1.1. CATIA V5

CATIA V5 представља нов алат за пројектовање подржано рачунаром (computer-aided desing– CAD), који инжењери и дизајнери користе при развоју производа. При раду са сваким новим програмским пакетом важно је стећи основно разумевање његових могућности и ограничења. Програм CATIA V5 је написан као решење независно од оперативног система рачунара, које нуди велики број могућности за структурирање програмских модула и прилагођавање кориснику. Овај програмски пакет се у многоме заснива на основним елементима изгледа и понашању оперативног система Windows. [6]

Подлога програма CATIA V5

Овај програм је најпре развила компанија Dassault Systemes у раним осамдесетим годинама прошлог века, првенствено за потребе авио индустрије. CATIA је скраћеница од Computer-aided Three-dimensional Interactive Application (рачунаром подржан, тродимензионални интерактивни програмски пакет). Даље развијан уз подршку компаније IBM, CATIA V2/V3/V4 је постао моћан програмски пакет. Компанија Dassault Systemes је

увођењем програма CATIA V5 поставила нови стандард, доносећи побољшања у архитектури система и корисничком радном окружењу.

CATIA се примарно користи у аутомобилској и авио индустрији за развој аутомобила и авиона. Такође се може срести у најразличитијим гранама, укључујући свемирски програм, индустријски прибор, архитектуру, грађевинарство, производе широке потрошње, електронику, медицину, индустрију намештаја, пројектовање машина алатки, ливење и дубоко извлачење и бродоградњу.

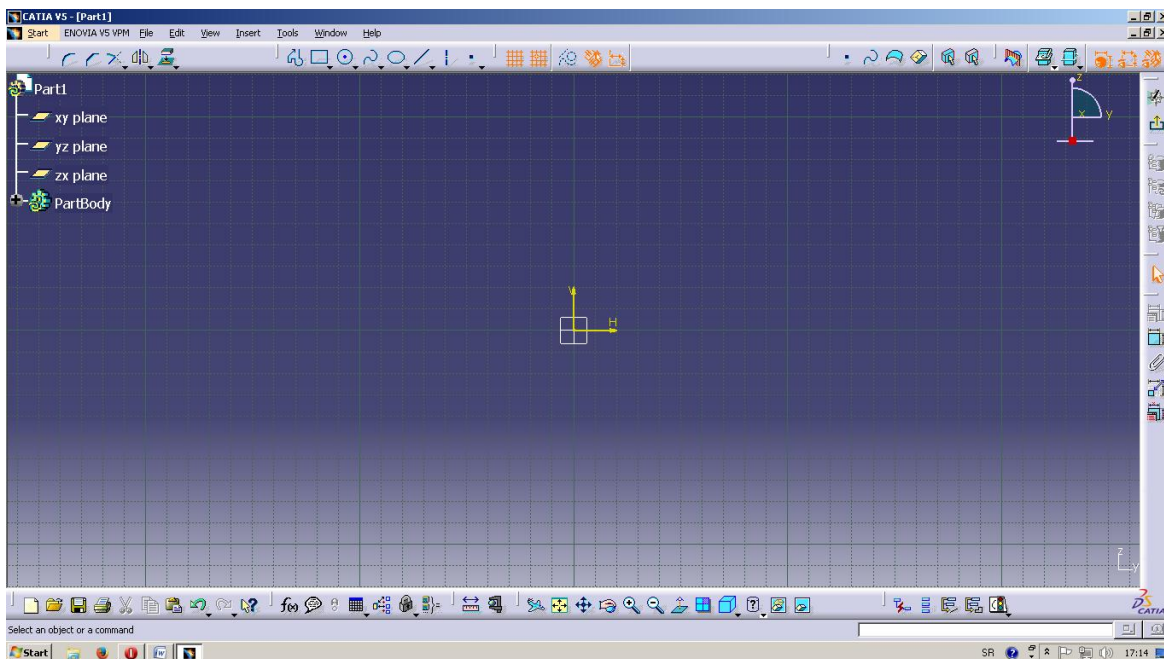
Интеграција у Windows окружење

Окружење програма CATIA V5 је прилагођено природном окружењу оперативног система Windows. Ово је велики корак напред у поређењу са програмом CATIA V4, који има првенствено текстуално оријентисан систем менија и ради превасходно у UNIX окружењу. Главни циљ при развоју програма CATIA V5 било је комбиновање лакоће рада у Windows окружењу са језгром за запреминско моделирање.

Ново корисничко окружење је оптимизовано тако да извођење највећег дела операција захтева најмањи могући број команди. Корисничко окружење омогућава да се ради у низу могућих конфигурација. На пример, нови корисник може користити падајуће меније, док искусан корисник за исте операције може користити пречице са тастатуре.

Модул за скицирање

Модул за скицирање (*Sketcher*) представља основни и интегрални део програма CATIA V5. Окружење за скицирање је мост између 2D елемената и 3D геометрије. Модул за скицирање обезбеђује функционалност за креирање и модификацију 2D геометрије која се користи при креирању 3D запремина и површина.



Слика 8.1 Радно окружење програмског пакета CATIA

Креирање многих запреминских (*Solid*) елемената почиње од 2D профила, који се називају скицирани профили и у које се уграђује замисао пројектанта. На геометрији се, такође, могу дефинисати параметри и ограничења. Окружење за скицирање, приказано на слици 1.1., представља кључни елемент система за пројектовање применом техничких елемената, зато што повезује 2D елементе са 3D елементима, који се, обично, називају технички елементи базирани на скици. Уобичајени технички елементи су блокови (екструзије), џепови (резови), осовине (ротациони елементи) и "ребра" (sweep елементи, који се добијају кретањем скице по путањи).

Знаћете да се налазите у окружењу за скицирање по томе што ћете на екрану видети мрежасту структуру која помаже при креирању 2D геометрије. Скицирани елементи могу се димензионисати (котирати) ручно, или аутоматски, зависно од личних афинитета. Способност да скице могу, али и не морају да буду у потпуности димензионисане чини програм CATIA веома флексибилним у "одолевању" изазовима било ког пројекта.

Параметарско варијационо моделирање

CATIA V5 је програмски пакет за параметарско варијационо моделирање, који омогућава да се замисао пројектанта представи додавањем параметара, или димензија које покрећу креирање модела и измене на њима. Параметризација додаје делу интелигенцију, представљајући и одржавајући замисао пројектанта помоћу дефиниције међузависности између елемената, димензија и параметара модела. Ово омогућава извршавање промена на елементима модела који су повезани са елементом који се мења "освежавањем" модела који прелази у нову жељену конфигурацију, задржавајући при том, првобитну замисао пројектанта.

Снага програма CATIA V5 омогућава да се параметризују сви геометријски објекти, укључујући запремине, површине, жичане моделе и конструктивне елементе. Целокупан модел, или део модела могу се параметризовати да би обезбедили већу флексибилност у развоју вишеструких пројектних варијанти. У току развоја производа димензије се у сваком тренутку могу додавати, или уклањати са модела. Одлуке које донесете у димензионисању и ограничавању модела кључне су за развој робусних модела.

Када је модел параметеризован, нека од његових димензија могу се променити уношењем нове вредности и "освежавањем" модела. "Освежавање" ће променити положај геометријских објеката. Поврх тога, параметарско моделирање омогућава запреминским елементима, као што су отвори, заобљене ивице, испусти и џепови, да буду повезани са одређеним ивицама, или страницама модела. Када се ивице, или странице помере услед "освежења", зависни елементи се померају заједно са њима, задржавајући оригиналне релације.

Функционалност асоцијативности

Асоцијативност се у програму CATIA дефинише као фаза између две различите функције, или објекта. Када се у једној области пројекта изврши промена, она се одражава на све области које су са њом повезане. На пример, промена на машинском делу (моделу са екстензијом CATPart) "освежиће" одговарајући цртеж (типа CATDrawing) и придружене погледе.

Двосмерна асоцијативност односи се на "освежавање" у два смера, што значи да се промена може пренети са модела на цртеж, или са цртежа на модел. То значи да промена извршена у било којој етапи процеса развоја производа може да се пренесе у оба смера у односу на тачку настанка.

Конфигурације програма

CATIA V5 је програмски пакет који "покрива" и повезује све активности једног производног предузећа. Програм може бити конфигурисан на различите начине.

- платформске конфигурације,
- наменски скупови модула (Application portfolios) ,
- скупови палета алата (Workbenches).

Платформске конфигурације

CATIA V5 је организована кроз три различите платформе. Оне су означене са P1, P2 и P3, а конфигурисане су да нуде различите улазне тачке у процес развоја производа употребом програма CATIA V5. Подаци креирани унутар једне од платформи могу се, без прекида у раду, користити унутар друге.

Платформа P1

Ова платформа пружа основне могућности за запреминско моделирање корисницима који желе да буду уведени у рад са програмима високе класе. Ово решење је идеално за почетнике који желе да изврше прелаз са традиционалних 2D система. Платформа P1 омогућава пораст функционалности; сви производи који су у њој креирани потпуно су употребљиви унутар платформе P2.

Платформа P2

Платформа P2 је процесно оријентисано решење које у већој мери подржава интегрисано окружење за развој производа током његовог "животног века". Она нуди могућности за интегрисано пројектовање, анализу, производњу и развој инфраструктуре производа.

Платформа P2 се, такође, базира на принципима Windows оперативног система, али са већим нивоом интеграције у Windows корисничко окружење. Углавном се издваја по изгледу корисничког окружења, у коме је конфигурационо стабло модела интегрисано у прозор за креирање геометрије.

Платформа P3

Платформа P3 нуди напредна решења базирана на знању, посебно прилагођена за одређене врсте индустрије, као што су аутомобилска и авио индустрија. Изглед корисничког окружења ове платформе је сличан ономе из платформе P2. Једина разлика је што су поједини P3 производи оптимизовани за развој у специфичном окружењу.

Наменски скупови модула

CATIA V5 се нуди у облику различитих скупова програмских модула (Application portfolios), слика 1.2. Ови скупови имају за циљ да групишу различите скупове палета са алатима (Workbenches) да би се удовољило потребама корисника са различитим улогама у процесу развоја производа.



Слика 8.2 Палета алата програмског пакета CATIA

Скупови палета алата

Термин "workbench", који се односи на наменски скуп палета алата, слика 1.3, често се користи унутар окружења програма CATIA V5. Овај термин означава, пре свега, радно окружење унутар наменског скупа модула, које нуди јединствену функционалност намењену креирању и мењању геометрије. Већина скупова палета је специфична за поједини наменски скуп модула. Међутим, неки од њих (као што је скуп палета за скицирање) интегрисани су у вишеструке платформе. [6]

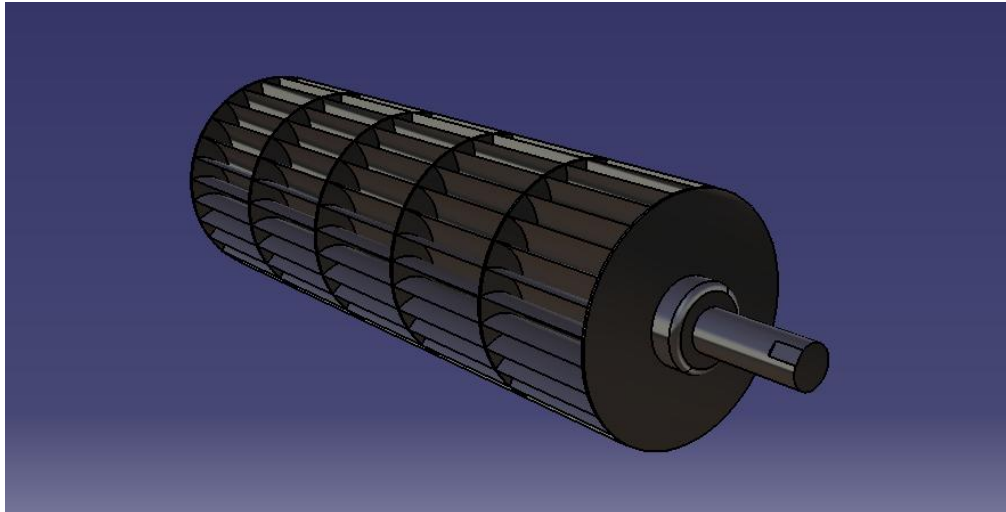
CATIA V5 нуди широк спектар скупова палета са алатима и релевантних производа. [6]

8.2. 3D израда основних делова Банки-турбине

8.2.1. Радно коло Банки турбине

Најважнији део турбине је обртно коло. Оно се састоји од лопатица које су произведене према провереном поступку од вученог, профилисаног челика. Обострано су смештене у крајње дискове и заварене, по специјалном поступку, са унутрашњим дисковима обртног кола. Према величини обртно коло може имати до 37 лопатица.

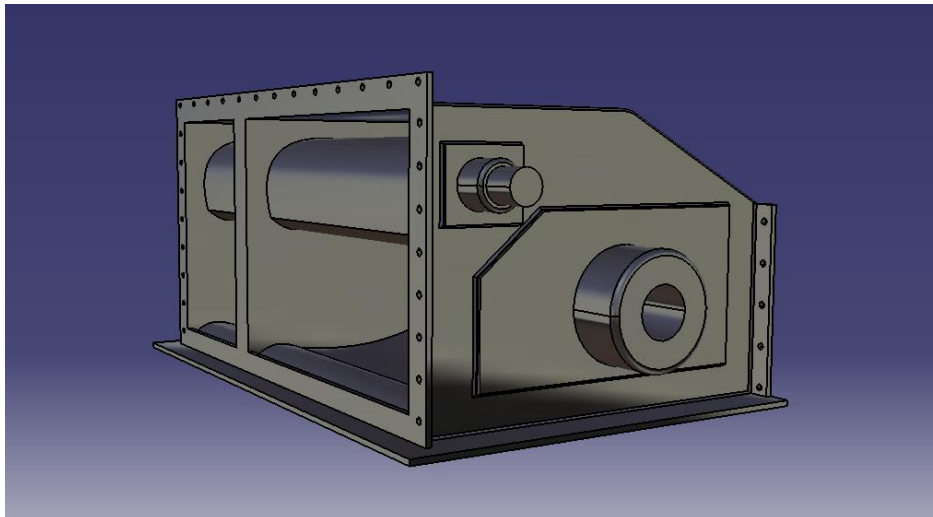
Линеарно постављене лопатице стварају само незнатну осовинску силу, тако да није потребно уграђивати ојачане аксијалне лежајеве који захтевају сложено причвршћивање и мазање. Код обртних кола веће ширине лопатице су вишеструко подупрте уметнутим дисковима.



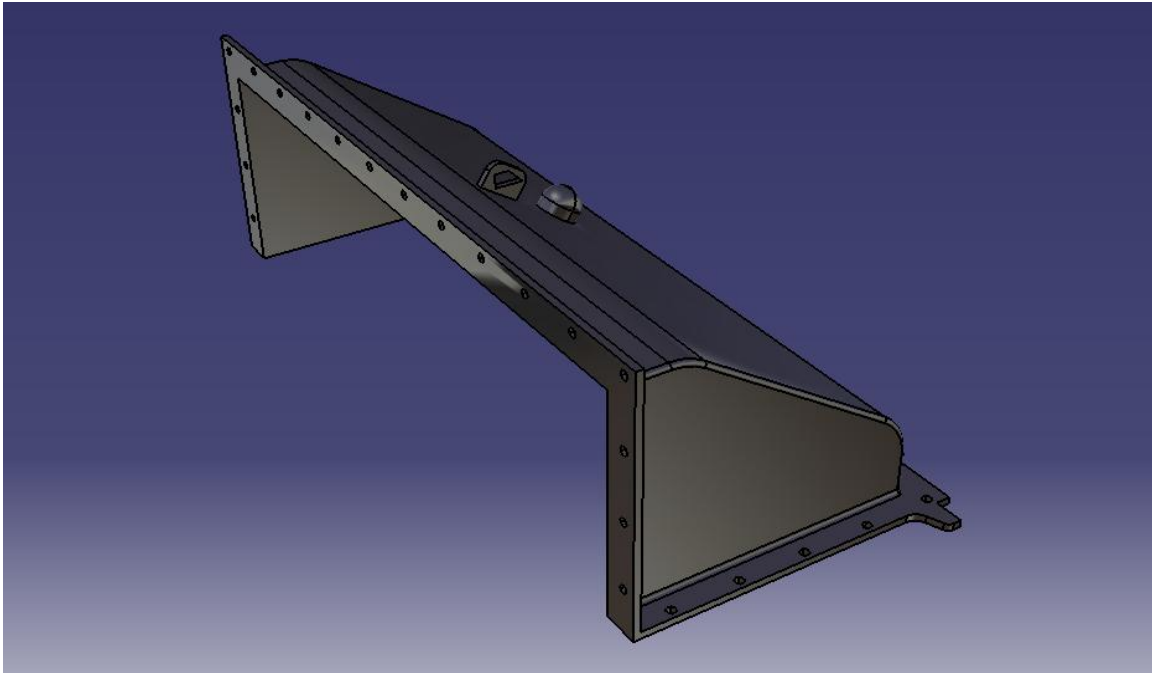
Слика 8.3 Радно коло банки турбине

8.2.2. Кућиште Банки турбине

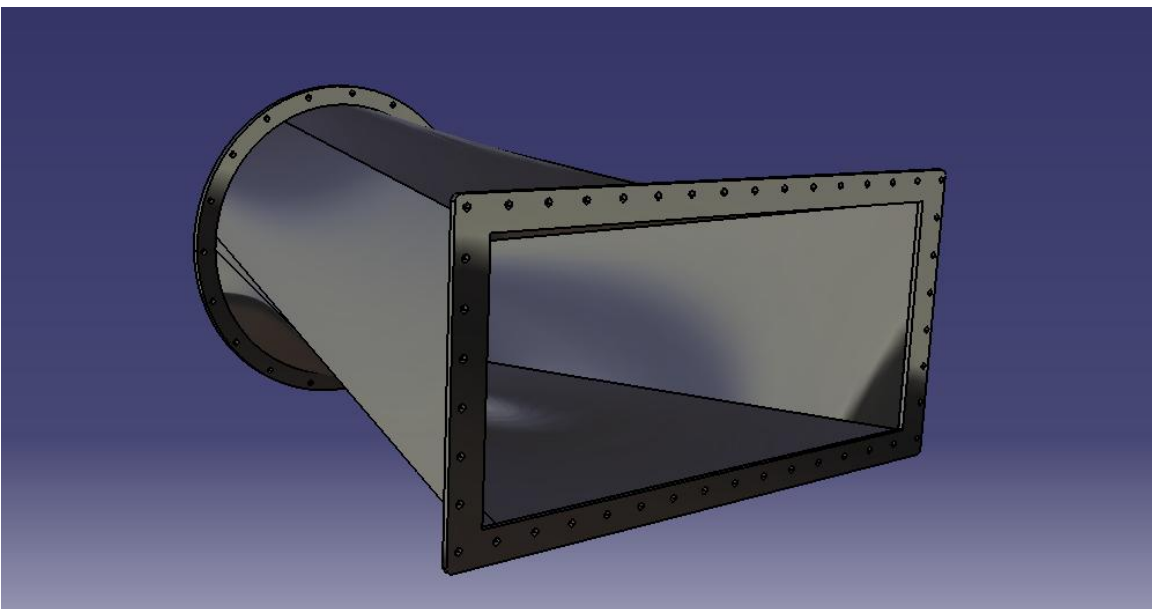
Кућиште проточне турбине произведено је од конструкцијског челика, веома је робусно, отпорно на ударе и мраз. Делови кућишта Банки турбине биће приказани на следећим сликама.



Слика 8.4 Кућиште Банки турбине



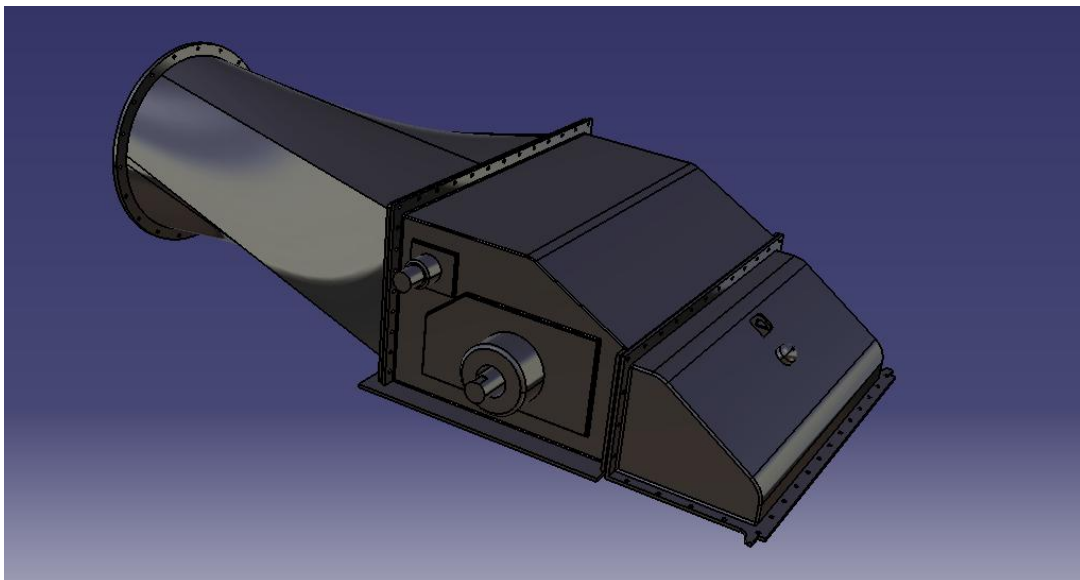
Слика 8.5 Поклопац кућишта банки турбине



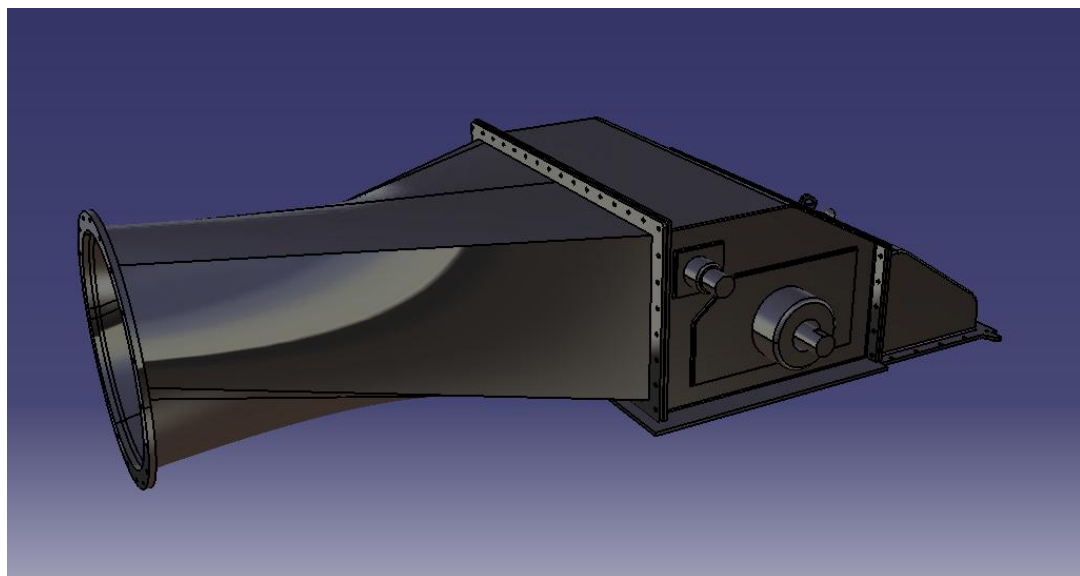
Слика 8.6 Улазна цев Банки турбине

8.3. 3D конструкција склопа Банки турбине

Конструкциско решење дива турбине дато је на следећим сликама.



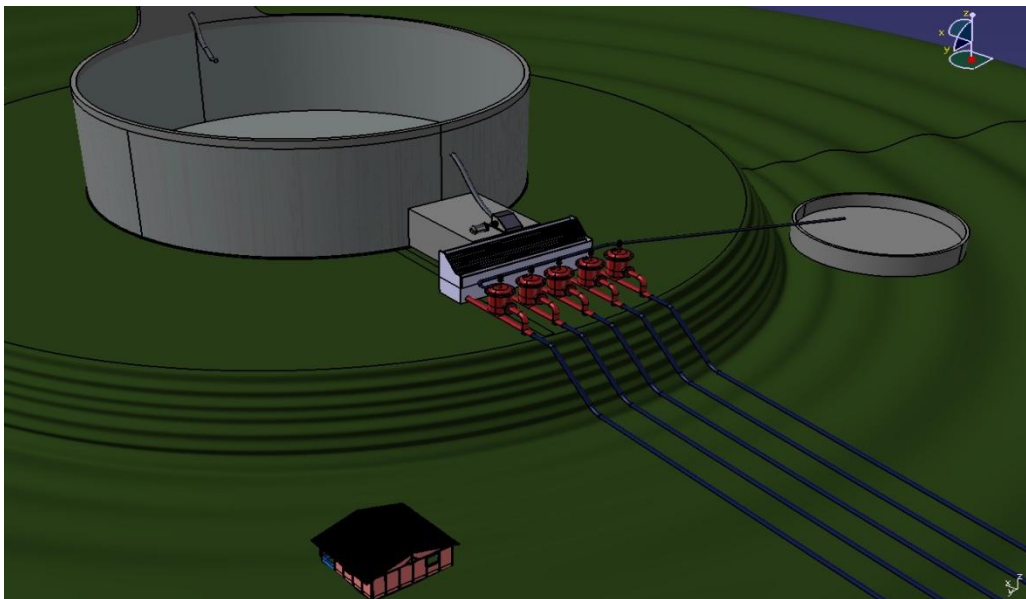
Слика 8.7 Склопни цртеж Банки турбине



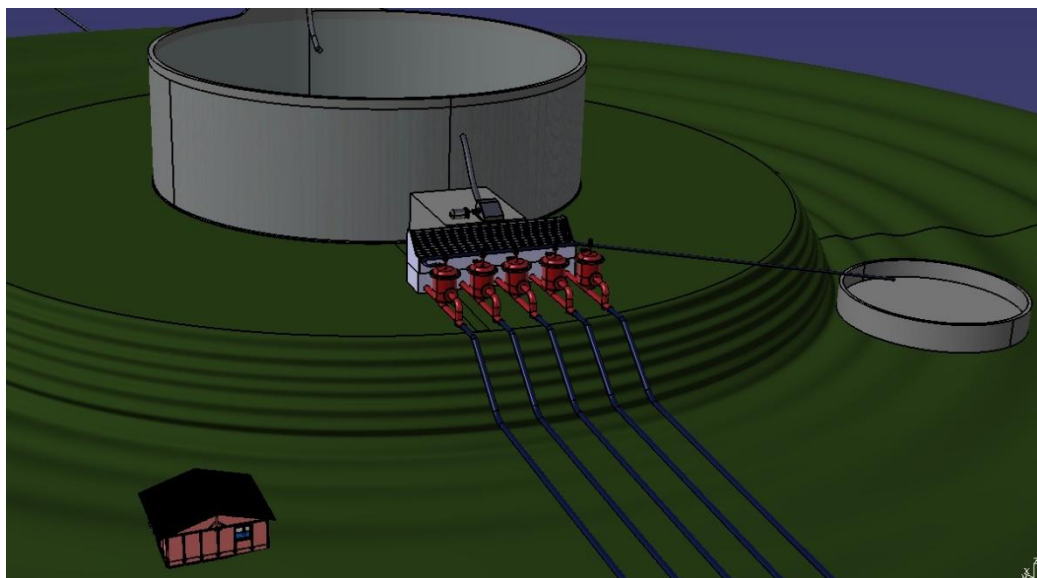
Слика 8.8 Склопни цртеж Банки турбине

8.4. 3D изведба МХЕ и система наводњавања

Приликом испумпавања воде са главног водосабирника који се налази на најнижој коти површинског копа Дрмно, вода преко главног одводног цевовода шаље у акумулационо језеро. До пре уласка у језеро вода ће проћи кроз турбину која ће бити постављена на понтону изнад самог језера. Након делимичног таложења у акумулационом језеру вода наставља ток кроз цевовод и пролази кроз другу турбину. Након проласка кроз другу турбину, вода пролази кроз филтерско постројење и гравитационим цевоводом наставља ток ка пољопривредним површинама (слике 8.9 и 8.10).



Слика 8.9 Приказ комплетног постројења за наводњавање са малим хидроелектранама

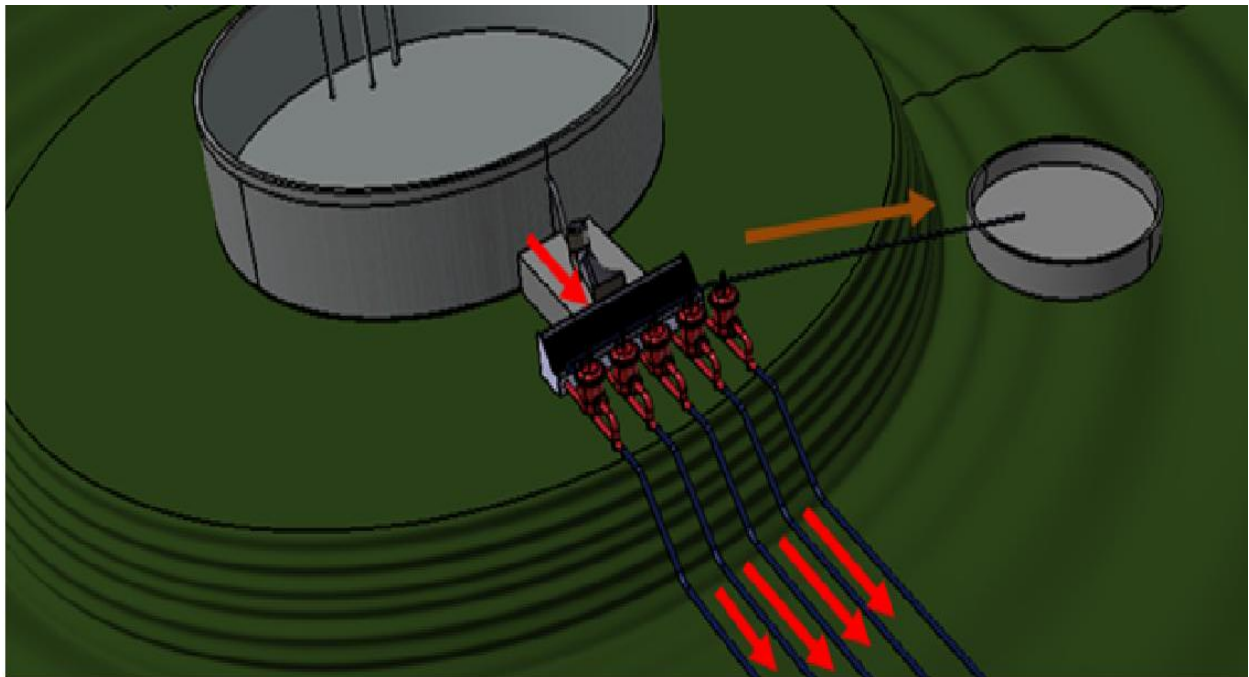


Слика 8.10 Приказ комплетног постројења за наводњавање са малим хидроелектранама

9. Ток масе и енергије

Приликом испумпавања воде са главног водосабирника који се налази на најнижој коти површинског копа Дрмно, вода преко главног одводног цевовода шаље у акумулационо језеро. До пре уласка у језеро вода ће проћи кроз турбину која ће бити постављена на понтону изнад самог језера (Слика 9.1.). Како би се добио одговарајући пад, односно напор, цевовод ће се издигнути изнад турбине, односно акумулационог језера како би се искористила енергија воде са којом би се пунило језеро.

Са друге стране, вода приликом напуштања акумулационог језера пролазиће кроз другу турбину која ће бити постављена непосредно испред филтерског постројења. На овај начин, електрична енергија уложена за транспорт воде пумпама до акумулационог језера једним делом ће бити обновљена. Вода након проласка кроз турбину пролази кроз филтерско постројење где даље гравитационим путем пуни магистрални цевовод.



Слика 9.1. Приказ тока енергије и масе кроз цело постројење

9.1 Прорачун цевовода

Полазни подаци за прорачун

$L = 50m$ - дужина цевовода,

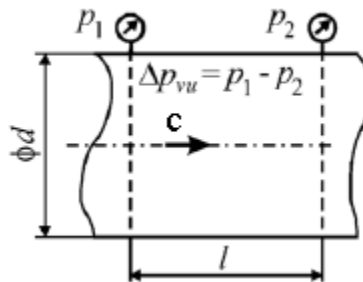
$H_g = 20m$ - висинска разлика водозахвата и доње воде,

$Q = 3,04 \frac{m}{s}$ - проток,

Губици у доводном цевоводу

Успутни губици

Успутни губици настају при струјању радног флуида на праволинијском делу цевовода. За одређивање пада притиска услед успутних губитака користи се Дарсијев (Darcy) образац:



Слика 9.2 Успутни губици енергије у цевоводу

$$\Delta h_{vl} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2 \cdot g},$$

где је:

$\lambda[-]$ - коефицијент отпора трења флуида у правој цеви,

$l[m]$ - дужина цеви,

$d[m]$ - пречник цеви.

Коефицијент отпора трења зависи од режима струјања. При турбулентном режиму струјања не постоји универзална формула за израчунавање коефицијент отпора трења, већ постоје емпириски изрази за одређивање вредности λ у зависности од R_e броја и релативне храпавости површина преко којих флуид струји.

$$R_e = \frac{d_{st} \cdot c_{max}}{\nu} = 3.98 \cdot 10^6.$$

При овој вредности R_e броја, за хидраулично глатке цеви може се користити формула Никуразеа (Nikuradse).

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{R_e^{0.237}} = 0,0092 .$$

Локални губици

Локални губици настају на местима промене величине и облика проточних површина. Јављају се на следећим местима у хидрауличном систему: нагло проширење, нагло сужење, рачва, кривина, и у различитим хидрауличним компонентама, као што су: усисне корпе, славине, засуни, вентили, пригушници, итд.

Пад притиска услед локалних губитака, без обзира на врсту локалних отпора, одређује се изразом:

$$\Delta h_{vl} = \zeta \cdot \frac{c^2}{2 \cdot g}$$

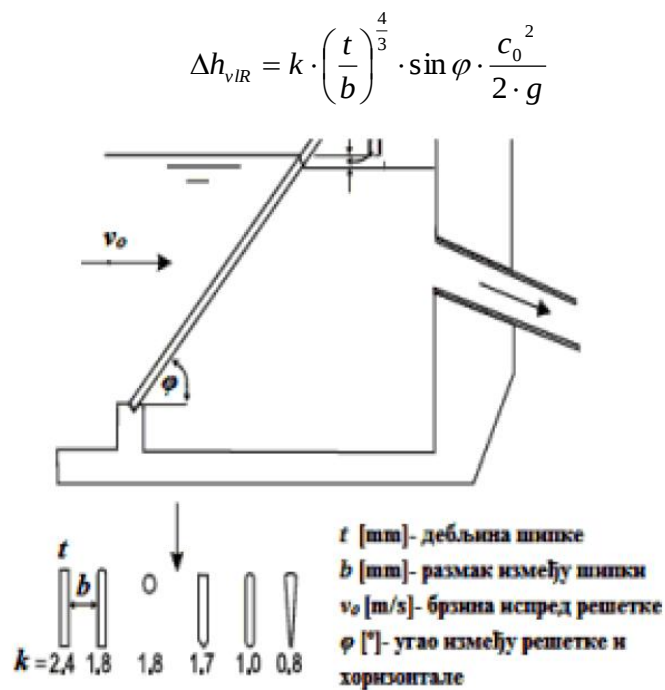
где су:

$\zeta [-]$ - коефицијент одговарајућег локалног отпора,

$c [m/s]$ - карактеристична брзина (непосредно испред или иза локалног отпора).

Локални губици у решетки

Да би се спречило продирање чврстих предмета који пливају у води, у захвату се на улазу у доводни канал или цевовод поставља решетка. Иако је, по правилу, овај губитак релативно мали, његова вредност се може израчунати применом Кирхмерове формуле (Kirchmer).



Слика 9.3 Губици енергије у решетки

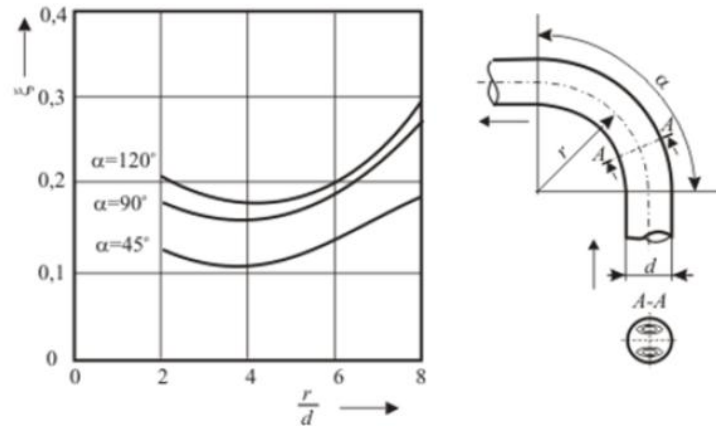
Брзина флуида испред решетке се добија помоћу следећег израза:

$$v_0 = \frac{\dot{V}}{K_1} \left(\frac{b+t}{b} \right) \cdot \frac{1}{A_R} \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right) = 2,26, \frac{m}{s},$$

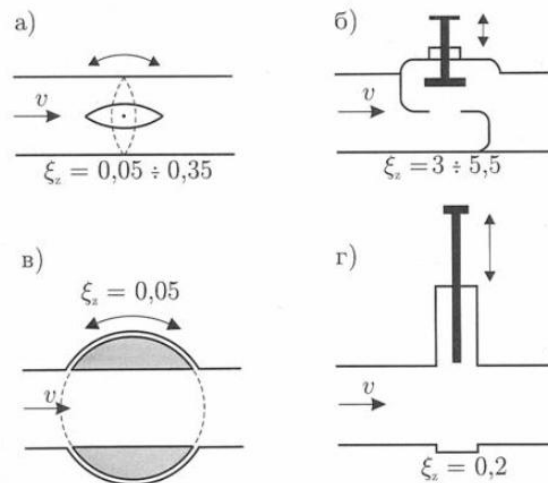
$$\Delta h_{vIR} = k \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin \varphi \cdot \frac{c_0^2}{2 \cdot g} = 0.2112, J / kg.$$

Локални губици притиска у коленима

Губици у коленима већи су од губитака у правим цевима исте дужине. Ти додатни губици проузроковани су повећаном турбуленцијом која је последица промене смера струјања. Промена струјања изазива повећање притиска на спољашњој страни кривине и смањење притиска на унутрашњој. Због тога се нарушава профил брзине и центрифугалне силе изазивају секундарно струјање као што је приказано на слици 2.3. Струја флуида напушта колено крећући се у дуплој спирали која нестаје тек у доста удаљеном низводном пресеку. Међутим, подразумева се да је пун ефекат губитка концентрисан на колено.



Слика 9.4 Коефицијент губитка ζ за колено од $45^\circ, 90^\circ$ и 120° у зависности од односа r/D



Слика 9.5 Вредности коефицијената локалних губитака за потпуно отворени затварач:
а) лептираст, б) плочаст, в) лоптаст и г) табласт.

$$\zeta_v = 0,2 .$$

Вредности коефицијената локалних губитака у коленима износе:

$$\zeta_{k1} = 0,07 ,$$

$$\zeta_{k2} = 0,07 .$$

Локални губици притиска у предтурбинском затварачу

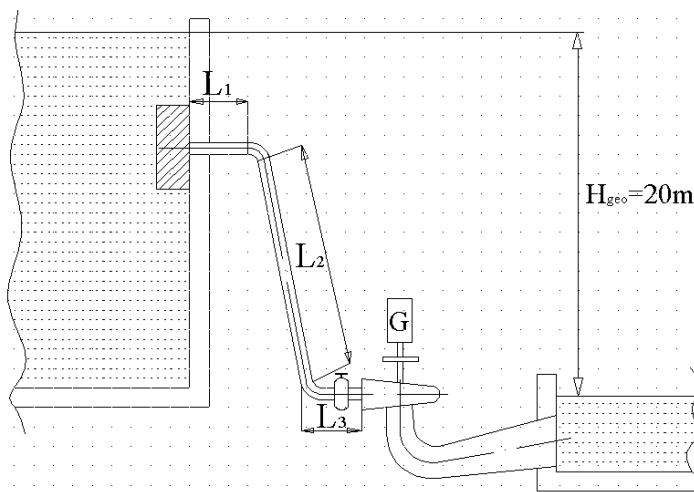
Вентил је уређај који регулише проток течности кроз цевовод. Ради тако што делимично или потпуно затвара пролаз кроз цев. Постоје разне конструкције за различите примене.

Пречник доводног цевовода који може да обезбеди турбини потребни проток износи:

$$d = 2,69 \cdot \left(\frac{n^2 \cdot \dot{V}^2 \cdot L}{H_g} \right) = 0,77 \approx 0,8 \text{ m} ,$$

а брзина струјања воде кроз њега:

$$c = \frac{\dot{V}}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = 6,05 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Слика 9.7 Приказ цевовода спрегнутог са турбином

Нето напор турбине се израчунава помоћу следећег израза:

$$Y = g \cdot H_g - \left(\zeta_{k1} + \zeta_{k2} + \zeta_v + \zeta_s + \lambda \frac{L}{d_{st}} \right) \frac{c^2}{2} - \Delta h_{vIR} = 138,9 \text{ J/kg}$$

10. Техно-економска анализа изградње мале хидроелектране

Задатак техно-економске анализе је испитати оправданост улагања у мале хидроелектране интегрисане у систем наводњавања пољопривредног земљишта равнице Стиг.

Табела 10.1 Вредност инвестиције

Инвестиција	Износ (EUR)	Век трајања (година)
БАНКИ турбина	150.000	30
Електро и мерно управљачка опрема	20.000	30
Дифузор	20.000	30
Грађевински радови	100.000	30
Транспорт, монтажа, пробни рад	30.000	-
Пројекти, дозволе, надзор	50.000	-
Укупно	370.000	-

Уколико би се произведена електрична енергија испоручивала у јавну мрежу по цени од 0.09 EUR/kWh, добили би приход малих хидроелектрана који је приказан у табели 10.2.

Табела 10.2 Приход малих хидроелектрана

Постројење	Инсталисана снага (kW)	Годишња производња ел. Енергије (kW)	Годишњи приход (EUR)
Диве турбина	303	2591646	233248

Из табела се види да је укупна инвестиција за изградњу малих хидроелектрана 370000 EUR док је годишњи приход 233248 EUR.

Из свега наведеног лако се израчунава период повратка новца уложеног у изградњу малих хидроелектрана интегрисаних у склопу система за наводњавање па период отплате износи **1,58 године**.

11. Утицај хидроелектрана на животну средину

Изградњом хидроенергетских објеката настају позитивни али и негативни утицаји на животну средину. Карактеристике околине, карактер и величина хидроенергетског објекта одређују међусобне утицаје животне средине на објекат и обрнуто. Зато могу постојати битне разлике у карактеру и интензитету утицаја појединих хидроелектрана на животну средину.

Позитивни утицаји се углавном односе на водоснабдевање, наводњавање или одводњавање, туризам и рекреацију, док негативни утицаји се односе на утицај хидроенергетских објеката на квалитет воде, приобаље и околна земљишта, а ублажавају или елиминишу се предузимањем одговарајућих мера заштите у току изградње објеката и њихове експлоатације. Негативни утицаји на животну средину су благог интензитета али су изузетно комплексни, као што је активирање потенцијалних клизишта, падавина, промена микроклиме, измена физичко-хемијских карактеристика вода и др.

11.1. Позитиван утицај хидроелектрана

Кључна предност обновљивих извора енергије, па тако и хидроелектрана, је смањена или у потпуности елиминисана емисија ефекта стаклене баште. Главни разлог је што не користе фосилна горива као покретач турбине, односно електричног генератора. Тиме електрична енергија настала у хидроелектранама постаје рентабилнија. Хидроелектране такође имају предвиђен дужи животни век него електране на фосилна горива. Оно што је битно, у разматрању хидроелектрана са економског аспекта, јесте да данашње модерне, хидроелектране захтевају врло мали број особља, због великог степена аутоматизације. Тако да, цена инвестиције у изградњи хидроелектране се поврати у раздобљу до десетак година.

Емисија ефекта стаклене баште је у потпуности елиминисана, ако се искључиво посматра само процес производње електричне енергије. Али се не може рећи и за целу хидроелектрану. Међутим, занимљива је студија која је спроведена у сарадњи Paul Scherrer Института у Штутгарту. Она је показала да су, међу свим изворима енергије, хидроелектране најмањи произвођачи емисије гасова стаклене баште. Следе ветроелектране, нуклеарне електране, енергија добијена фото напонским ћелијама.

Хидроакумулацијска језера хидроелектрана могу осим своје примарне функције имати још неколико позитивних аспеката. Својом величином могу привлачити туристе, те се на њиховој површини могу одвијати разни водени спортови. Такође велике бране могу играти значајну улогу у наводњавању, и у регулацији тока река. Предност примене разних типова хидроелектрана јесте да, с обзиром да нема емисије угљен-диоксида, њима се штити животна средина и, омогућује се ефикасна одбрана од поплава, пошто је у интересу заштите речних турбина потребно да се из реке одстрани отпад, а тиме се смањује и загађеност река.

Обзиром да не користи гориво, поготово не фосилно, хидроелектране имају позитиван утицај на природу. Следеће што је битно да не постоји зависност цене произведене енергије од скокова цена нафте, гаса или другог горива.

Један kWh енергије произведен у хидроелектрани је значајно јефтинији од оног у термоелектрани и има мањи негативни утицај на животну околину. Из овог разлога су хидроелектране популарније и пожељније као извор енергије за једну државу.

Електрична енергија која се производи путем хидроенергије јефтинија је у поређењу са енергијом која се производи коришћењем фосилних горива. Поред тога, она има две значајне квалитативне предности:

- веома је предвидљива;
- електране на речним токовима производе електричну енергију 24 сата дневно.

У блиској будућности она ће играти све важнију улогу у комбинацији енергената у свету.

Међутим као и сви други извори енергије, и хидроелектране имају свој негативан утицај на животну средину.

11.2. Негативан утицај хидроелектрана

Кључни део хидроелектране је њена брана. Урушавање бране може довести до великих катастрофа за цели екосистем. Сам квалитет градње, конструкције и одржавање бране није довољна гаранција да је брана осигурана од оштећења. Ево једног примера: хидроелектрана Брана три кањона у Кини. Брана три кањона је највећа хидроелектрана на свету. Хидроелектрана се налази на реци Јангце. То је највећа Кинеска река, што оправдава изградњу хидроелектране на њој. Међутим, водени базен, тј. хидроакумулацијско језеро те бране, је толико велико да својом тежином оптерећује земљину кору.

Река својим током носи водени материјал у облику песка и муља. То с временом доводи до таложења тог материјала у воденом базену, а последица тога је смањивање дубине воденог базена. Захваљујући томе, водени базен губи своју улогу. То се може избећи градњом разноразних канала који имају улогу премостнице.

Такође негативни, аспект приликом градње брана је нужност уништавања природног богатства. Приликом пуњења акумулацијског језера долази до потапања свега онога што се нашло испод површине језера. Фауна тог подручја је приморана на пресељење. Што се флоре тиче, ситуација је мало другачија, првенствено у тропским подручјима. У тим подручјима, где је температуре виша, приликом труљења, распадања, биљних остатака заробљених под водом, долази до стварања гасова стаклене баште. То јест настају угљен диоксид (CO_2) и метан. Стварање угљен диоксида заправо није толико забрињавајуће. Занимљиво је рећи да је емисија CO_2 , ослобођена у акумулацијским језерима, већа него у електранама у које покреће фосилно гориво, уколико пре пуњења базена водом површина није била у потпуности очишћена. Међутим, већи проблем је стварање метана, који је много опаснији од угљендиоксида, а одлазећи у атмосферу потпомаже стварању ефекта стаклене баште.

У ситуацији када је акумулационо језеро на равничарској реци, тада долази до успоравања тока узводно и подизања нивоа подземних вода (случај са хидроелектраном Ђердап). Велико језеро чини промену микроклиме на једном мањем подручју повећањем влаге, па се дешава да људи за заштиту културних вредности не дозвољавају прављење

акумулација у близини објеката са осетљивим фреско сликарством. Такође, бране прекидају миграционе путеве рибљих врста које се мресте узводно, уколико на брани нема специјално предвиђених пролаза за рибе. Планинске реке које праве кањоне и клисуре су погодне за прављење акумулација са великим падом и потенцијалом хидроенергије, али уз цену потпуног потапања и измене екосистема.

Недостатак је то што су хидроелектране јако скупе за изградњу, али са друге стране је то најјефтинији начин да се произведе електрична енергија, јер је снага воде бесплатна и обнавља се константно - падавинама снега или воде у циклусу кружења воде.

Међутим, свака хидроелектрана има свој животно век, након којег постаје неекономична.

12. Закључци

Изградња предметне мале хидроелектране, по методологији која је описана у овом раду, и која представља квалитетно уклопљен подпројекат у укупном пројекту обезбеђивања воде за наводњавање пољопривредних култура које се гаје у Стишкој равници је, дакле, брзо исплатив посао са наглашеним енергетским и еколошким доприносима становницима и њиховом окружењу у Стишкој равници, која је ширењем угљенокопа Дрмно и еколошки и биосистемски веома угрожена.

Посебан допринос целокупног пројекта, на коме сам заједно са својим колегама, радио је у томе што се коришћењем отпадних вода из угљенокопа Дрмно, обезбеђује повећање приноса пољопривредних култура, заштита речних токова од загађених вода које се сада после краткотрајног таложења угљено-замљаног муља изливају у оближње реке и загађују их, али и у томе што се уградњом мале хидроелектране у гравитациони заливни цевовод који је пројектован у току овог пројекта, део енергије који се сада улаже у испумпавање воде из угљенокопа делимично, посредством пројектоване мале хидроелектране, надокнађује.

Овај пројекат, такође, представља и наш покушај да допринесемо бржем приближавању Европској унији, и то, управо, у оним областима у којима представници тог ентитета стављају Србији највеће замерке.

Изграђена описане мале хидроелектрана може представљати и сјајан полигон за едукацију младих, а и укупног становништва Стичког краја о значају обновљивих видова енергије и савремених метода заштите животне средине за подизање укупног квалитета живота.

13. Литература

- [1] Милун Ј. Бабић, Светислав Стојковић, 1997: *Турбомашине-теорија и математичко моделирање*, Београд-Крагујевац
- [2] Душан Гордић: Скрипта, *Обновљиви извори енергије 2*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013. год.
- [3] Јаћим Перић: *Хидраулични мотори и постројења*, Знање, Београд, 1952. г.
- [4] СЗП. „Заваривач“-Врање, 1990: Пројекат изведеног стања понтонске пумпне станице, Београд.
- [5] <http://cink-hydro-energy.com/sr/protochne-turbine>, приступљено јуна 2014 године.
- [6] Fred Karam i Charles Kleismit, 2003: *Catia V5*, New York.
- [7] Adam Harvey: *Micro – hidro design manual*, Intermediate Technology Publications, 1993. год.
- [8] Лука Ујевић, Зијада Бунтић: *Електране*, Школска књига, Загреб, 1993. Год
- [9] Илија Бојанић: *Електране и разводна постројења*, Техничка књига, Београд, 1969. год.
- [10] Драгутин Хорват: *Водне турбине*, Техничка књига, Загреб, 1955. год.
- [11] <http://www.dive-turbine.de/pages/bih/naslovnica.php?lang=BA>, приступљено јуна 2014 године.
- [12] <http://diurnarius.info/index.php/sr/ekonomija/6-ekonomija-opste/149-obnovljivost-energije-nije-garancija-ekoloke-odrivosti>, приступљено јуна 2014 године.
- [13] Мирослав Миладиновић, Милош Митровић, Александар Милојковић, Владимир Милијановић; семинарски рад израђен у оквиру предмета „Управљање енерго-еко пројектима“: *Развој постројења за наводњавање пољопривредног земљишта равнице Стиг*; Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2013.
- [14] Мирослав Миладиновић, Милош Митровић, Александар Милојковић, Владимир Милијановић: *Пројекат имплементације постројења за наводњавање пољопривредног земљишта равнице Стиг*; ЕНЕРГЕТИКА 2014.
- [15] Bilal Abdullah Nasir: *Design of High Efficiency Cross-Flow Turbine for Hydro Power Plant*, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Hawijah Technical Institute, Kirkuk, Iraq. 2013.
- [16] Милун Ј. Бабић, 1990: *Збирка решених задатака из турбомашина*, Београд-Крагујевац