

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Обновљиви извори енергије 2

Број индекса: 426/2017

Душан Д. Петровић

**Пројектовање мале хидроелектране
са завојном турбином**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Душан Гордић- Ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Резиме рада

Тема овог рада је везана за пројектовање мини хидроелектране са завојном турбином. За локацију је узета мерна станица Губеревац на реци Гружи која припада сливу реке Западне Мораве и хидролошкој реонској станици Краљево. Рад постројења је дефинисан тако да не угрожава кретање риба узводно и низводно дуж тока реке. Компоненте овог пројектованог постројења су: завојна турбина, мултипликатор, генератор, решетке, кућиште турбине, поклопац канала. Након извршеног детаљног прорачуна годишњег протока на реци Гружи приступило се израчунавању корисног протока реке на основу кога су одређене одговарајуће димензије за пројектовано постројење, а потом и његов период рентабилности. Изглед МХЕ је приказан у виду тродимензионалног модела израђеног (3D) у симулацијском програму CatiaV5R21. Како је утврђени користан проток речног тока $0,400425 \text{ m}^3/\text{s}$, добијена је турбина снаге $4,299 \text{ kW}$, чија изградња ће се отплати за 4 године и 1 месец.

Кључне речи: мини хидроелектрана са завојном трубином, прорачун, симулацијски програм.

Abstract

The topic of this paper is related to the design of a mini hydro power plant with a helical turbine. The measuring station Guberevac on the river Gruza, which belongs to the catchment area of the river Zapadna Morava and the hydrological regional station Kraljevo, was taken as the location. The operation of the plant is defined so as not to endanger the movement of fish upstream and downstream along the river. The components of this designed plant are: helical turbine, multiplier, generator, gratings, turbine housing, duct cover. After a detailed calculation of the annual flow on the river Gruza, the calculation of the useful flow of the river on the river was started, when the appropriate dimensions for the designed plant were determined, and then its period of profitability. The appearance of SHPP is shown in the form of a three-dimensional model made (3D) in the simulation program CatiaV5R21. As the useful river flow of $0.400425 \text{ m}^3/\text{s}$ has been determined, the turbine of 4.299 kW is obtained while the calculated pay-back period is 4 years and 1 month.

Key words: mini hydro power plant with helical tube, calculation, simulation program.

Садржај

1. Основне напомене.....	1
1.1 Хидроенергија	2
2. Дефиниција МХЕ	5
2.1. Проточна МХЕ	5
2.2. Деривацијска МХЕ	6
2.3. МХЕ са акумулацијом	6
2.4. Предности и мане коришћења МХЕ	8
3. Основи хидроенергетике.....	9
3.1 Једначина континуитета	10
3.2 Бернулијева једначина.....	11
3.3 Локални и успутни губици притисака	12
3.4. Енергетска једначина отвореног тока	13
3.5. Специфична енергија пресека.....	15
4. Хидрауличне турбине.....	16
4.1. Класификација турбина.....	16
4.2. Пелтонова турбина.....	17
4.3. Турго турбина.....	18
4.4. Банки турбина	19
4.5. Францисова турбина.....	20
4.6. Архимедова турбина.....	21
5. Утицај МХЕ на животну средину.....	22
5.1. Утицаји приликом изградње	25
5.1.1. Изградња резервоара	25
5.1.2. Водозахвати, отворени канали, цевоводи, одводни канали	25
5.2. Утицаји који настају током фазе функционисања постројења	26
5.2.1. Звучни ефекти	26
5.2.2. Утицај на пејзаж.....	26
5.3. Биолошки утицај	28
5.3.1. Узводне миграције риба	29
6.3.2. Објекти за заштиту и усмеравање риба	33
5.4. Отпадни материјал.....	34

6. Прорачун МХЕ.....	35
6.1. Локација и улога објекта	35
6.2. Принцип рада	36
6.3. Главне компоненте мини хидро електране.....	37
6.3.1. Грађевински објекти	37
6.3.2. Електро-машинска опрема	38
6.4. Израчунавање годишњег просечног протока	38
6.5. Прорачун потребних димензија турбине.....	42
6.6. Прорачун снаге турбине.....	45
6.7. Прорачун потребне снаге генератора.....	49
7. Конструктивно решење МХЕ са завојном турбином	50
7.1. Моделирање објекта	50
7.2. Изглед објекта	52
7.3. Технички цртежи мини хидроелектране	53
8. Економска анализа.....	56
8.1. Улагање у пројекат	56
8.2. Приходи пројекта.....	59
8.3. Прорачун економске анализе.....	60
9. Закључак	63
10. Литература.....	65

1. Основне напомене

За нормално одвијање живота на земљи неопходна је електрична енергија. Развојем привреде и друштва енергија она постаје један од најважнијих финалних енергената садашњице, при чему непрекидно расте потреба за повећањем њене производње. Данас је готово немогуће замислити производњу неког производа, а да за његову израду није потребно коришћење електричне енергије. Повећањем производње електричне енергије било је потребно развити и технологију за њену производњу.

Данас се електрична енергија може добити на више различитих начина. Генерално извори енергије за производњу електричне енергије могу се сврстати у две основне групе:

- необновљиве изворе енергије и
- обновљиве изворе енергије.

У необновљиве изворе енергије спадају фосилна горива (угаљ, нафта, земни гас, уљни шкриљци...) и нуклеарна горива.

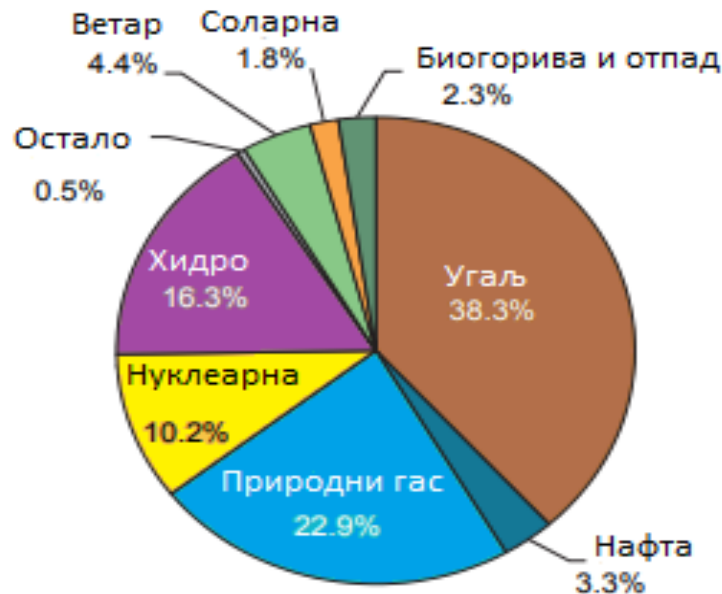
У обновљиве изворе енергије спадају:

- хидроенергија,
- соларна енергија,
- енергија биомасе,
- геотермална енергија,
- енергија ветра,
- енергија плиме и таласа.

У 2018. години производња електричне енергије од фосилних горива чинила је 66,3 % укупне светске бруто производње електричне енергије [1]. Због константног пораста потреба за електричном енергијом, а самим тим и сагоревања фосилних горива, долази до све већег загађивања ваздуха, али и воде, земљишта. Осим што, генерално, нису штетни по природу и околину обновљиви извори имају и друге предности. Тренутно се процењује да 1/6 светске популације нема приступ струји, разлог углавном лежи у непостојању услова да се домаћинства из руралних подручја повежу на енергетску мрежу. Помоћу обновљивих извора ове проблеме је могуће решити; инсталирањем оваквих система омогућује се независно (ван дистрибутивне мреже) коришћење електричне енергије у руралним подручјима.

Још једна у низу предности које красе обновљиве изворе поред обновљивости и сигурног профита је и стално смањење времена повраћаја уложених инвестиција, пре свега због брзог развоја технологије за експлоатацију обновљивих извора енергије. Процењује се да ће до 2050 године убрзани раст остварити највише фотонапонске ћелије (138 пута), соларни колектори (80 пута), геотермална енергија (19,7 пута), ветар (17,7 пута). Један од најпоузданијих извора енергије је хидроенергија и као таква представља главни извор електричне енергије у развијеним земљама као што су Норвешка, Шведска и

Швајцарска. Такође, главни извор енергије је и код земаља у развоју попут Индије, Кине, Бразила, Непала, Замбије, итд. У Србији се, у просеку, око 1/3 произведене електричне енергије добија из хидроенергије. [2]



Слика 1. Светска производња струје у процентима

1.1 Хидроенергија

Хидроенергија представља енергију која се користи вековима за добијање механичке енергије, а од 20. века и за добијање електричне енергије. Једна од првих заступљенијих примена јавља се у воденицама за млевење брашна, чији се начин функционисања заснивао на преносном кретању од осовине на млински камен који је имао улогу да дроби зрневље пшенице у брашно. Предност ових механизма се огледала у једноставности и поузданости воденица, при чему утицаја на околину готово да није било.



Слика 2. *Воденица из околине Крагујевца*

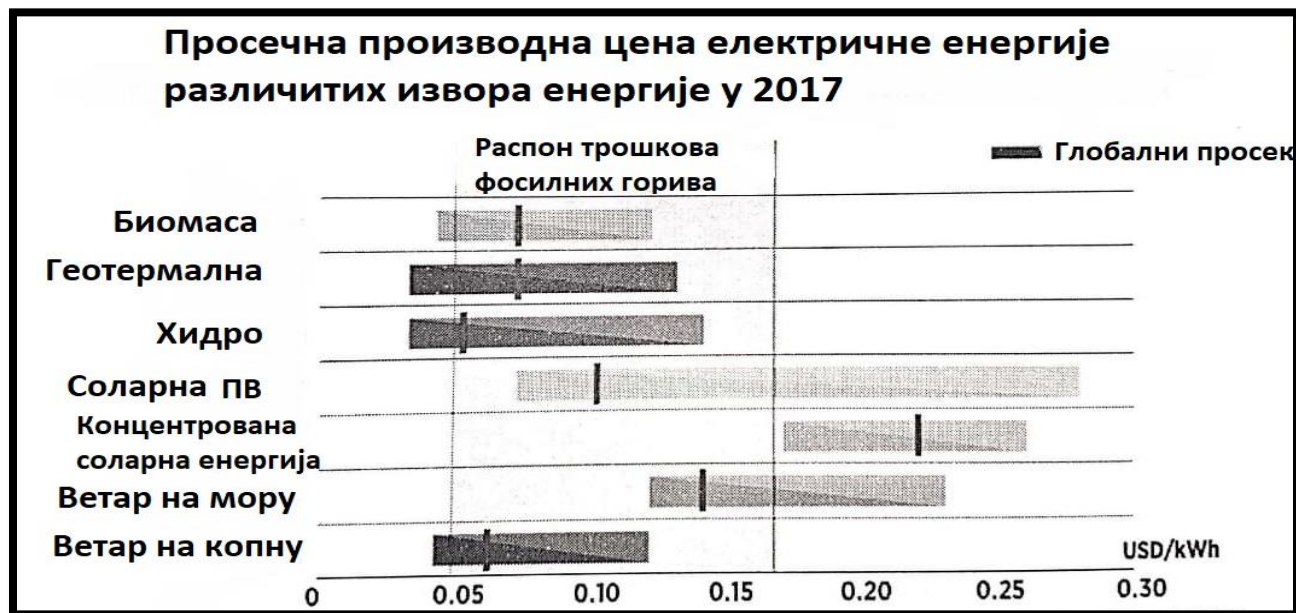
Увидевши потенцијал река средином 19. века долази до првих идеја претварања потенцијалне енергије у кинетичку енергију и енергију притиска, а затим у механички рад. Све ово доводи до развоја првих хидроелектрана у циљу максималног искоришћења, што је касније условило развијање великих брана и водојажа, а затим и до појава првих турбина.



Слика 3. *Приказ хидроелектране коју је конструисао Никола Теска на Нијагариним водопадима*

Открићем електричног генератора почиње градња већих хидроелектрана, где се механичка енергија воде претвара у електричну енергију помоћу генератора. Производњом наизменичне струје омогућило је преношење енергије на велике удаљености, за разлику од претходног периода када су фабрике морале бити на обалама река како би користиле хидроенергију. У протеклих 100 година производња енергије је константно у успону, што је довело да инсталирани производни капацитети хидроенергије у свету порасту са 50 GW у 1950. до 1,055 GW у 2014 [2]. У последње четири деценије

просечан пораст производње електричне енергије из хидроелектрана износи 3 % годишње. Данас хидроенергија представља један од значајнијих видова производње електричне енергије са уделом око 16 % укупне годишње производње [2]. У највеће произвођаче енергије из хидроелектрана убрајају се Кина, Бразил, Канада, САД, Русија, Норвешка, док у уделу производње електричне енергије за сопствене потребе спадају Парагвај (99,9 %), Конго, Замбија, Мозамбик, Етиопија, Намибија (98-99 %), затим следе Таџикистан, Непал (98-99 %) и Норвешка (96 %) [1]. Процена је да за време животног века хидроелектрана генерише до 200 пута више енергије него што је била потребна да се она изгради, одржава и функционише [2].



Слика 4. Просечна производна цена електричне енергије различитих извора енергије у 2017.[2]

И поред пада производне цене електричне енергије из различитих обновљивих извора у последњих неколико година (пре свега из соларних фотонапонских система) , са дијаграма са слике 4. се види да је производња електричне енергије из хидроелектрана и даље најјефтинији вид производње електричне енергије.

2. Дефиниција МХЕ

Мини хидроелектране (МХЕ) имају за циљ да претворе потенцијалну енергију природног пада неког водотока у електричну енергију, тако што најпре потенцијалну енергију претвара струјањем у кинетичку енергију, а потом у механичку окретањем турбине, након чега ту енергију претвара помоћу генератора у електричну енергију. Снага МХЕ пропорционална је протоку и природном паду (висинској разлици од места одакле се вода узима до излазног канала).

Мини хидроелектране према расположивој снази речног тока на коме се инсталира може се поделити на:

- Микро хидроелектрана, мање од 100 kW,
- Мини ХЕ, између 100 kW и 1000 kW,
- Мале ХЕ, између 1 MW и 10 MW.

Према величини напора разликују се три категорије:

- високи напор: 100 m,
- средњи напор: 30-100 m,
- ниски напор: 2-30 m.

Према локацији изградње можемо их поделити на:

- природним водотоковима (рекама, потоцима),
- хидрауличним акумулацијама (друге намене),
- у водоводним каналима (наводњавање, хлађење термоелектрана, отпадне воде после третмана, итд) и системима за водоснабдевање.

Могу се класификовати и према режиму рада:

- паралелни рад са енергосистемом (рад по дотоку),
- рад на изолованој мрежи,
- комбиновани рад на изолованој мрежи или прикључењем на мрежу.

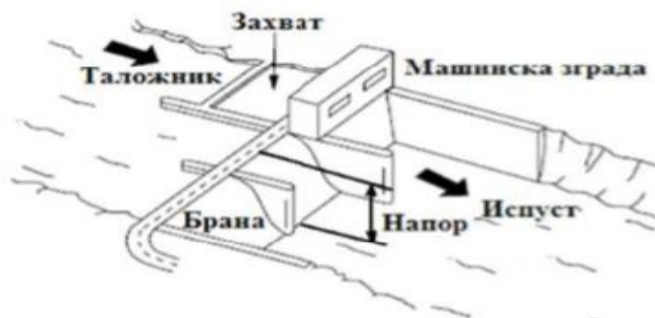
Према извођењу мале хидроелектране се могу поделити на три основне групе:

- проточне МХЕ,
- високо и средње притисне (средњи и велики напор (пад)) или деривацијске,
- МХЕ са акумулацијом.

2.1. Проточна МХЕ

Овакав тип хидроелектране израђује се без акумулације воде или има малу акумулацију која се, при раду хидроелектране при нормалној снази, може испразнити за мање од два сата. Због мале висинске разлике коју поседује испред и иза места захватања,

користи само кинетичку енергију коју поседује водени ток. Снага овакве хидроелектране зависи од тренутне количине воде која се налази у природном току. У главном због недовољне снаге овај тип хидроелектране користи се у већини случајева за изолована подручја или индустријска предузећа, уколико је њихов минималан проток довољан потребама максималне захтеване снаге.



Слика 5. Прибранска МХЕ

2.2. Деривацијска МХЕ

За разлику од проточних код деривацијских хидроелектрана машинска зграда за производњу електричне енергије се налази низводно од бране на одговарајућој удаљености. Део воде се уз помоћ бране или преграде преузима од природног тока и шаље ка захвату. Захват прима воду и преко деривацијског ценовода или канала под притиском шаље према турбини која се налази у машинској згради. Обично се примењују у планинским пределима, где није могуће постављање бране и где су високи падови воде.

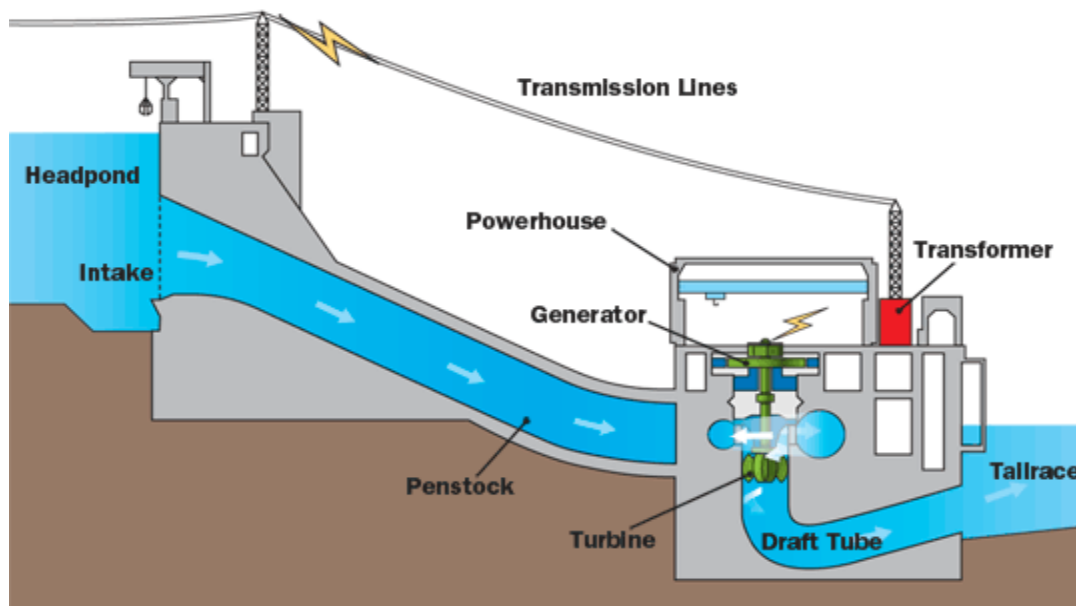


Слика 6. Деривацијска МХЕ

2.3. МХЕ са акумулацијом

На местима где су акумулационе бране изграђене у циљу спречавања поплава, наводњавања, прикупљања воде за велике градове и рекреацију, могуће је користити залихе воде у циљу производње електричне енергије користећи постојећи одвод или природни ток резервоара. Код оваквог типа мини хидроелектрана машинска зграда се

налази на дну бране. Због самих димензија брана најчешће се изводе као нископритисне. Како су цене изградње брана релативно велике и економски неисплативе за изградњу мале хидроелектране овакве акумулације изграђене за друге намене представљају знатно прихватљива решења.



Слика 7. Акумулациона мала хидроелектрана

Када је постојећа брана није превисока могуће је уградити сифонски довод. Интегрисани сифонски довод омогућује елегантно извођење постројења, најчешће до висине 10 m и за постројења снаге до 1000 kW.



Слика 8. Нископритисна хидроелектрана са сифонским доводом

2.4. Предности и мане коришћења МХЕ

Предности коришћења МХЕ се огледају пре свега:

- у брзом периоду отплате укупних уложених средстава у изградњу, уз релативно јефтину изградњу објекта. Просечан период отплате једног објекта износи у просеку од 2 до 4 године;
- грађевински елементи (брана и зграде) могу уз минималан степен одржавања трајати око 100 година. Треба додати да је за изградњу МХЕ је потребно до 2 године,
- лако уграђивање и замена електричне опреме,
- чист обновљиви извор енергије, јер у процесу производње електричне енергије вода се не троши.
- како би се обезбедио простор за акумулацију воде није потребно плављење широких подручја и нарушавање локалног еколошког система.
- могу обезбедити наводњавање земљишта и снабдевање водом околних насеља.
- лоцирани близу корисника имају мање губитке енергије при преносу чиме се уједно и растерећује електро мрежа.
- отварање нових радних места.

Мане коришћења МХЕ могу бити:

- потреба обезбеђења биолошког минимума (резервног тока),
- потреба уградња пролаза за рибе (повреде и миграције риба, утицај на непосредни еко-систем),
- основни проблем при раду у електроенергетском систему - несталан проток: варијације тока и мала акумулација
- компликована изградња и релативно високи инвестициони трошкови.

3. Основи хидроенергетике

Како би се правилно реализовао пројекат потребно је детаљно проучити кретање водотока. Ова проучавања се највише базирају на принципима механике флуида. Проток као и средња брзина се одређују преко количине течности која у јединици времена протекне кроз проточни пресек. У зависности да ли је флуид стишљив или нестишљив примениће се образац за масени $Q_m [kg/s]$, односно запремински проток $Q [m^3/s]$ [3].

$$Q = v \cdot A \quad (3.1)$$

$v [m/s]$ - брзина струјања воде

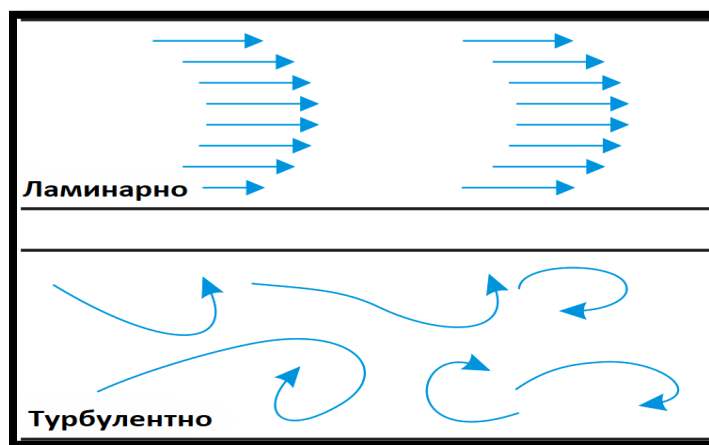
$A [m]$ – површина проточног пресека

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad (3.2)$$

$\rho [kg/m^3]$ – густина воде

Посматрањем кретања течности могу се уочити два режима струјања флуида

- Ламинарно струјање и
- Турбулентно струјање



Слика 9. Приказ режима струјања флуида

Ламинарно струјање је такво струјање код кога се струјнице не укрштају, а уколико постоји слободна површ она је равна. Овакав вид струјања сматра се правилним.

Турбулентно струјање осим што има уздужно кретање флуида има и попречно кретање на правац главног тока, уз интензивна мешања флуидних делића - делићи флуида прелазе из једног слоја у суседне слојеве.

Режим струјања зависи од односа сила инерције и унутрашњег трења у радном флуиду, који се дефинише Рејнолдсовим бројем (Re). Уколико је вредност Рејнолдсовог броја $Re < 2320$ струјање је ламинарно, у супротном је турбулентно:

$$R_e = \frac{v \cdot l_k}{\nu} \quad (3.3)$$

$l_k [m]$ - карактеристична дужина
 $\nu [m^2/s]$ – кинетичка вискозност

За случај да су цеви кружног попречног пресека, карактеристична дужина је пречник цеви $d (m)$.

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (3.4)$$

За случај да струјне цеви нису кружног пресека, карактеристична дужина је еквивалентни пречник $D_h [m]$.

$$D_h = 4 \cdot R_h \quad (3.5)$$

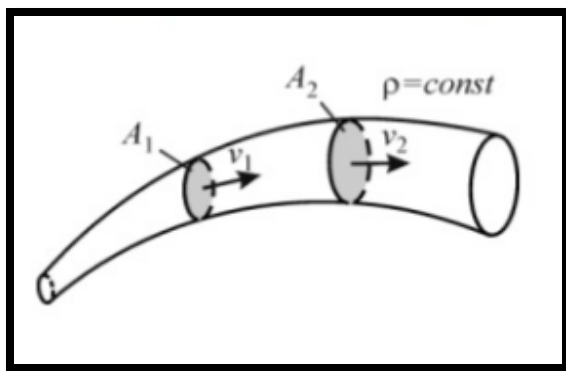
$R_h [m]$ – хидраулички радијус

$$R_h = \frac{A}{O} \quad (3.6)$$

$O [m]$ - оквашени обим, дужина обима проточног пресека у додиру са чврстим површинама.

3.1 Једначина континуитета

Једначина континуитета представља облик закона о одржању масе, по коме масени проток радне течности у струјној цеви променљивог проточног пресека остаје непромењен [3].



$$Q_m = Q_{m1} = Q_{m2} = const \quad (3.7)$$

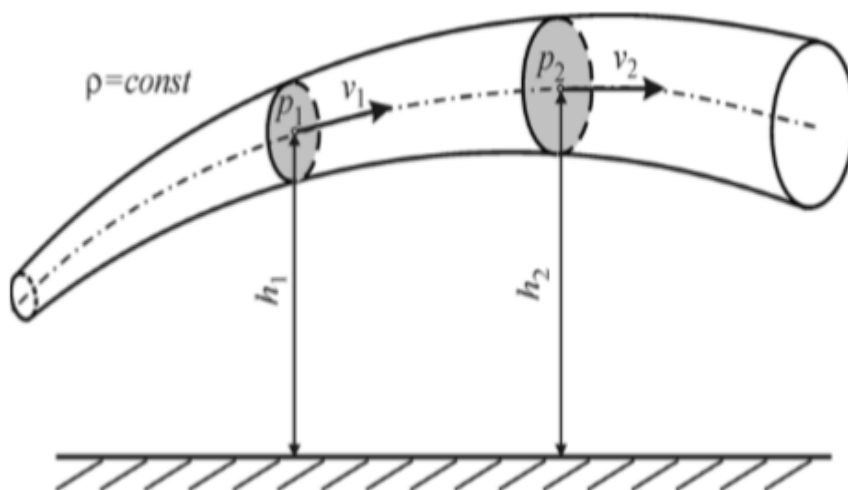
Слика 10. Уз извођење једначине континуитета

Уколико је флуид нестишљив $\rho = const$, једначина континуитета за овај случај гласи:

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = const \quad (3.8)$$

3.2 Бернулијева једначина

Бернулијева једначина преставља облик закона о одржавању енергије примењен на хидрауличне системе. Према овом закону, енергија струјања радне течности коју носи савршени радни флуид (радни флуид без трења) остаје константна. Може се формулисати на следећи начин: у случају да се ради о стационарном струјању савршене течности кроз струјну цев у пољу дејства Земљине теже, и при томе нема промене унутрашње енергије (нема промена температуре радне течности), збир кинетичке, потенцијалне и притисне енергије јединице масе течности у сваком проточном пресеку је константан [2]:



Слика 11. Уз извођење Бернулијеве једначине

$$\alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} = const \quad (3.9)$$

α_1, α_2 [-] - Кориолисови бројеви у пресецима 1 и 2 (слика 11.) за струјање кроз цеви и канале: ламинарно - $\alpha=2$ и турбулентно $\alpha=1,1$,

v_1, v_2 [m/s] – средње брзине у проточним пресецима 1 и 2,

p_1, p_2 [Pa] - притисци у тежиштима пресека 1 и 2,

h_1, h_2 [m] - удаљења тежишта пресека 1 и 2 од референтне хоризонталне равни.

Испитивањем са реалним течностима дошло се до закључка да се при кретању течности њена енергија струјања мења, односно није константна, већ се један њен део троши због трења које се јавља приликом контакта између делића саме течности и између делића саме течности и површина зидова водова кроз које протиче. Изгубљена енергија

струјања пада на терет притисног дела енергије, што се манифестује одговарајућим губитком Δh_v [m].

Бернулијева једначина за реалну течност гласи:

$$\alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} = \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \Delta h_v \quad (3.10)$$

Односно:

$$\alpha_1 \cdot \rho \cdot \frac{v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 + p_1 = \alpha_2 \cdot \rho \cdot \frac{v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2 + p_2 + \Delta p_v \quad (3.11)$$

3.3 Локални и успутни губици притисака

Губитак притиска можемо поделити на локалне и успутне губитке:

$$\Delta p_v = \Delta p_{vl} + \Delta p_{vu} \quad (3.12)$$

Δp_{vl} - локални губитак притиска,

Δp_{vu} - успутни губитак притиска.

Локални губици настају на местима промене величине и облика проточних површина. Према Вазбаху ови губици се рачунају [2]:

$$\Delta p_{vl} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3.13)$$

где је:

$\xi[-]$ – коефицијент одговарајућег локалног отпора,

$v[m/s]$ - карактеристична брзина.

Успутни губици настају при струјању радног флуида на праволинијском делу пута. За одређивање пада притиска услед успутних губитака користи се Дарсијев образац који гласи [2]:

$$\Delta p_{vu} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3.14)$$

где је:

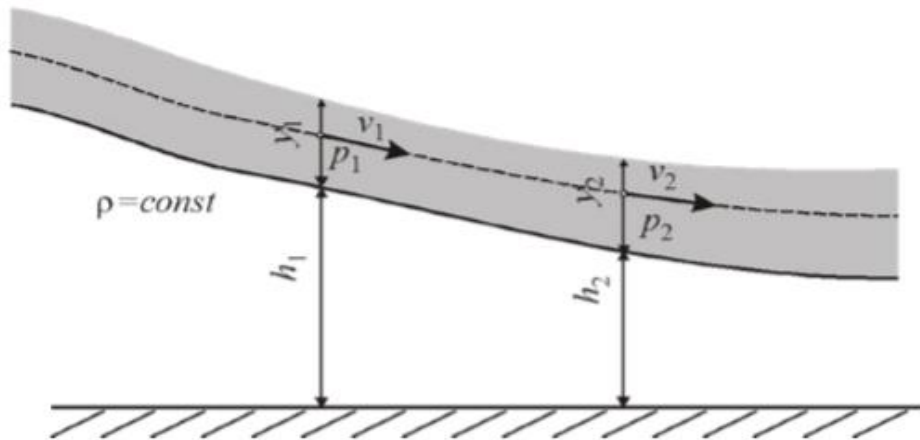
$\lambda[-]$ - коефицијент отпора трења флуида у правој цеви,

$d[m]$ – пречник цеви,

$l[m]$ – дужина цеви.

3.4. Енергетска једначина отвореног тока

Протицање течности у отвореним токовима се одвија под дејством гравитације, за разлику од затворених цеви где се струјање одвија под дејством разлике притисака на крајевима цеви. Оно што такође карактерише протицање течности у отвореним токовима је постојање слободне површине течности на коју делује атмосферски притисак.



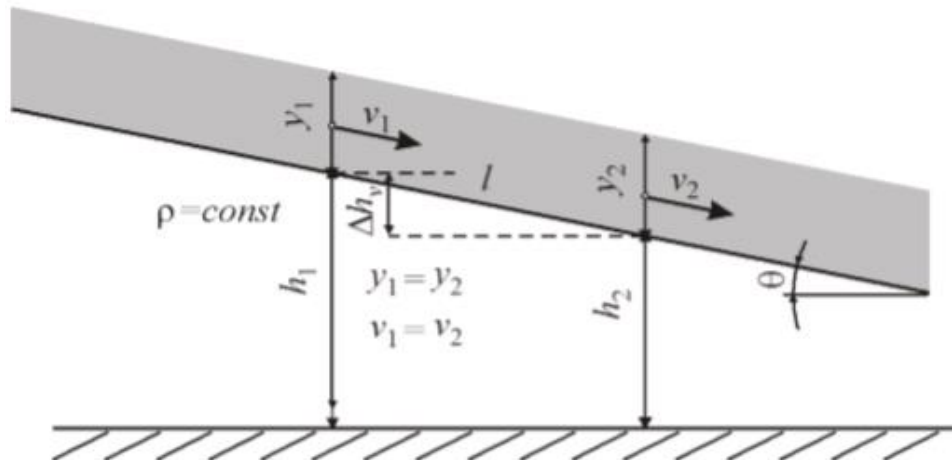
Слика 12. Приказ отвореног тока кретања течности

У случају да је у питању устаљено струјање воде у отвореном дугачком каналу (код кога важи хидростатички закон расподеле притиска по дубини тока) онда енергијска једначина добија облик [3]:

$$\alpha_c \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + y_1 + h_1 = \alpha_c \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + y_2 + h_2 + \Delta h_v \quad (3.15)$$

α_c – Кориолисов коефицијент за брзину воде која није иста у свим тачкама попречног пресека,

y_1, y_2 [m] – дубина воде.



Слика 13. Једнолико кретање течности у отвореном каналу

Како је код отворених токова струјање најчешће турбулентно Кориолисов број се занемарује. Уколико су нагиб дна канала и површина проточног пресека константне, струјање је једнолико па ће самим тим енергетска једначина добити облик [2]:

$$\Delta h_v = h_1 - h_2 = I \cdot l \quad (3.16)$$

Где је

$I [m]$ – нагиб дна струјног тока ($I = \tan\theta \approx \sin\theta$, јер има релативно малу вредност),

$l [m]$ - дужина отвореног тока растојање од пресека 1 до пресека 2 дна струјног тока ($I = \tan\theta \approx \sin\theta$, јер има релативно малу вредност).

У каналу одређеног проточног пресека површине A и нагиба I , проток расте повећањем хидрауличног радијуса R_h што се може закључити из израза за Манингову формулу за униформно струјање течности [3]:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (3.17)$$

$$R_h = \frac{A}{O} \quad (3.18)$$

$n [-]$ – Манингов коефицијент,

$O [m]$ – оквашени обим.

Најмањи оквашени обим за задату површину од свих попречних пресека имају кружни, али због високе цене коштања израде и тешкоће одржавања користе се једино за кратке канале малих проточних пресека. За константну дубину тока најефикаснији је трапезни пресек са углом од 60° , док је најефикаснији правоугаони пресек где је дубина једнака половини ширине канала [2].

3.5. Специфична енергија пресека

Ако се референтна раван постави на коту дна канала и притом занемари Кориолисов број, тада се добија величина H_s која представља специфичну енергију [3]. Специфична енергија се састоји из два члана: потенцијалне енергије (у виду дубине воде y) и из кинетичке енергије и гласи:

$$H_s = y + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3.19)$$

На основу тога минимална вредност специфичне енергије при константном протоку, као и максимална вредност протока за константну специфичну енергију се остварује уколико је следећа релација испуњена:

$$\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3} = 1 \quad \text{или} \quad F_r = \frac{v^2}{g \cdot y_{sr}} \quad (3.20)$$

где су:

$B [m]$ – ширина воденог огледала тј. ширина воденог тока на слободној површини,
 $h_{sr} [m]$ – средња дубина тока.

Ако је нормална дубина једнака критичној, ток у каналу одликује минималном специфичном енергијом, па нагиб канала износи:

$$I_k = \frac{n^2 \cdot g \cdot Q^{\frac{4}{3}}}{B \cdot A^{\frac{1}{3}}} \quad (3.21)$$

У зависности од вредности Фрудовог броја F_r течење у отвореном каналу може бити:

- Бурно или силовито при чему је $F_r > 1$ и силе инерције су доминантне у односу на силе земљине теже,
- Мирно уколико је $F_r < 1$ и у коме су силе теже и доминантне у односу на инерцијалне силе.

4. Хидрауличне турбине

Улога хидрауличних турбина је трансформација кинетичке енергије воде посредством радног кола у механичку енергију. Најчешће се користе за погон генератора у хидроелектранама. Турбину треба одабрати тако да одговара специфичним условима који се јављају на планираној локацији, при томе водећи рачуна да се оствари очекивана висока ефикасност. Уколико се бира турбина за изолован рад (напајање потрошача који нису на електродистрибутивној мрежи) као што је реч у овом случају, онда проток који се јавља са 90 % узимамо као називни проток чиме се обезбеђује сигурност снабдевања потрошача.

У случају потребе за искоришћавањем што већег потенцијала водотока, уграђује се више турбинских агрегата на једној мини хидроелектрани. По правилу, ради лакшег одржавања бира се више турбинских јединица истог капацитета.

Тип облик као и одговарајуће димензије саме турбине зависе од следећих параметара:

- нето пада,
- инсталираног (пројектованог) протока,
- угаоне брзине (брзине обртања), која одређује тип и основни облик ротора турбине и осталих делова,
- критичне брзине (највећа брзина која се може постићи без прикљученог електричног оптерећења,
- захтева одржавања,
- могућност појаве кавитације,
- цене постројења.

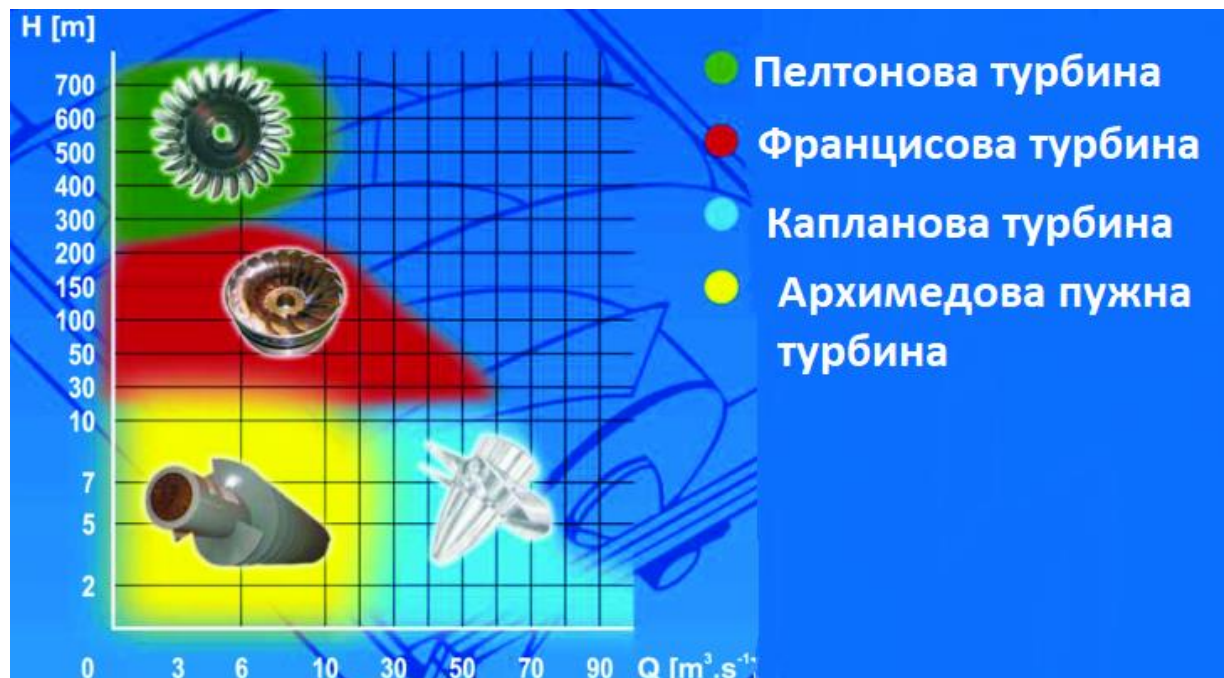
4.1. Класификација турбина

Основна подела хидрауличних турбина може се извршити према начину претварања енергије воде у механичку на:

- акцијске турбине
- реакцијске турбине

Акцијске турбине карактерише коришћење кинетичке енергије млаза за генерисање снаге на вратилу радног кола. Код ових турбина при улазу у доводни орган (млазник) потенцијална енергија се претвара у притисну да би се при изласку претворила у кинетичку. Кинетичка енергија воде изашле из млазника предаје своју енергију при удару у лопатике радног кола преносећи јој енергију. У ове турбине спадају Пелтонова, Турго и Банки турбина.

Реакцијске турбине се користе код мањих падова, где се пренос енергије врши на основу пада притиска кроз турбину. Конструкција ових турбина је изведена тако да се водени ток усмерава на површине лопатица, притисна енергија се предаје радном колу, а притисак воде се смањује како вода пролази кроз турбину. Кућиште оваквих турбина је, због притиска које влада у њему, масивно. Карактеристично за ове типове турбина је постојање дифузора на излазу. Представници ових турбина су Францисова, Аксијалне (Капланова, цевна, итд), Архимедова, Дијагоналне и друге.

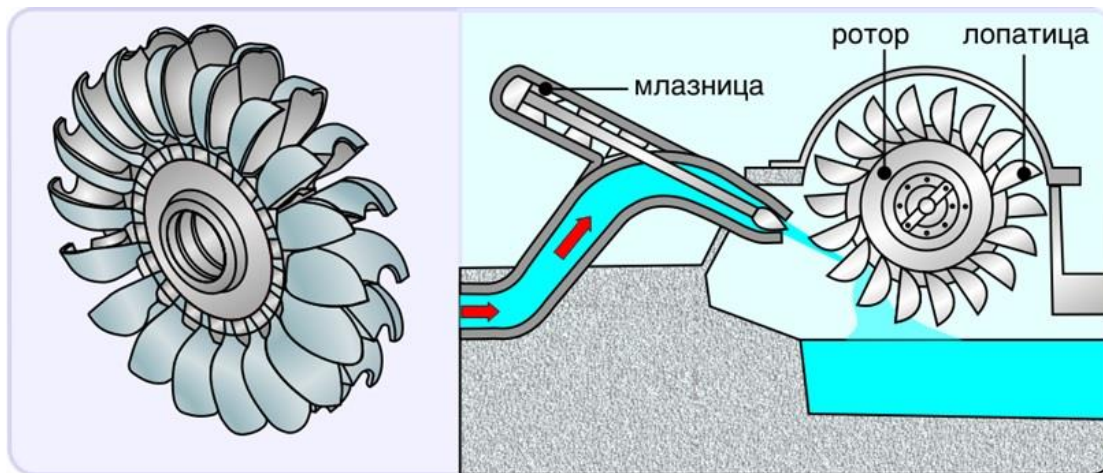


Слика 14. Опсег различитих турбина у зависности од протока и пада [5]

4.2. Пелтонова турбина

Названа по проналазачу (Lester Allan Pelton 1870 године) спада у групу аксијалних турбина код којих турбина добија енергију приликом покретања лопатица радног кола помоћу млазова воде који излазе из млазница и у ударају у лопатице. При контакту воде и лопатице, вода врши притисак на лопатицу, након чега се вода креће у супротном смеру од почетка удара и успоравајући напушта лопатицу са знатно нижом брзином него што је била непосредно пре удара у лопатице. Ово доводи до закључка да се приликом удара у лопатице кинетичка енергија воде трансформише у енергију обртања радног кола, односно у рад турбине. Како би се обезбедило несметано и ефикасно преношење енергије, а уједно и успоставила равнотежа бочног оптерећења на турбинско коло две лопатице се спајају и монтирају дуж ивица, тако да заједничка ивица цепа млаз на две симетричне половине. Углавном се користи код падова од 60 метара па до више од 1000

метара. Карактерише их релативно равна крива ефикасности (могу се користити код протока који се крећу од 10 % па до 100 % од пројектованог протока). Број млазница код ових турбина зависи од вредности брзине, повећањем специфичне брзине повећаће се број млазница. Такође потребно је да млазнице буду на одговарајућем међусобном одстојању како млазови не би стварали негативан утицај између себе. Уколико је потребно Пелтонова турбина се зауставља скретањем млаза помоћу скретача млаза. Ово омогућава правовремено затварање млазника како би се спречио могући хидраулички удар који би настао услед великих падова и високих притисака.



Слика 15. Пелтонова турбина

4.3. Турго турбина

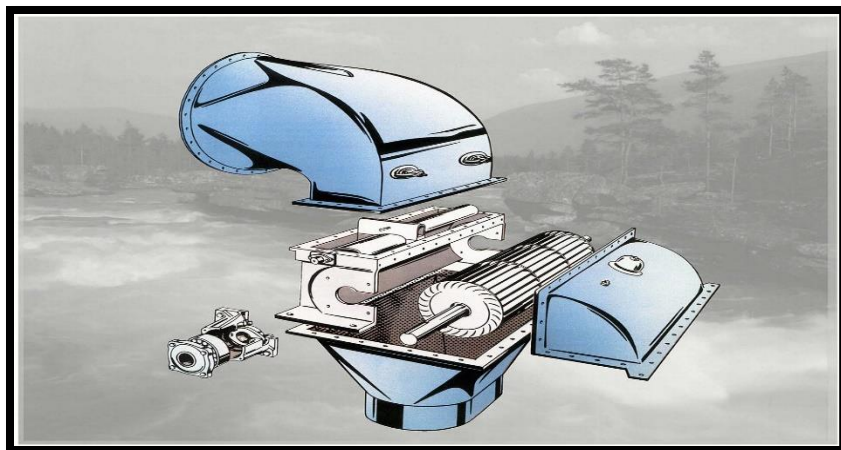
Турго турбина је намњена за хидроелектране са високим падом од 30 m до 300 m тј при оним падовима где се Францисова и Пелтонова турбина преклапају. Припада групи аксијалних турбина при чеми јој коефицијент ефикасности достиже до вредности од 87%. Прва турго турбина је конструисана 1919. године (Gilkes) као резултат модификовања лопатица радног кола другачијег облика од лопатица Пелтонове турбине, чиме добија одређене предности у односу на Францисову и Пелтонову турбину. Предности се састоје у томе што је овакво радно коло јефтиније направити него Пелтоново, није потребно да има херметички затворено кућиште како код Францисове турбине, има већу специфичну брзину тако да може пропустити кроз коло већу количину воде него што може при истом пречнику омогућити Пелтоново коло. За разлику од Пелтонове код Турго турбине вода улази са једне, а излази са друге стране што омогућава да радно коло буде мање и уједно и једноставније, због високог броја обртаја Турго турбине се директно повезују са генератором како би повећали укупну ефикасност и смањили трошкове одржавања. Често се користи као алтернатива Францисовој у случају великих варијација протока.



Слика 16. Турго турбина

4.4. Банки турбина

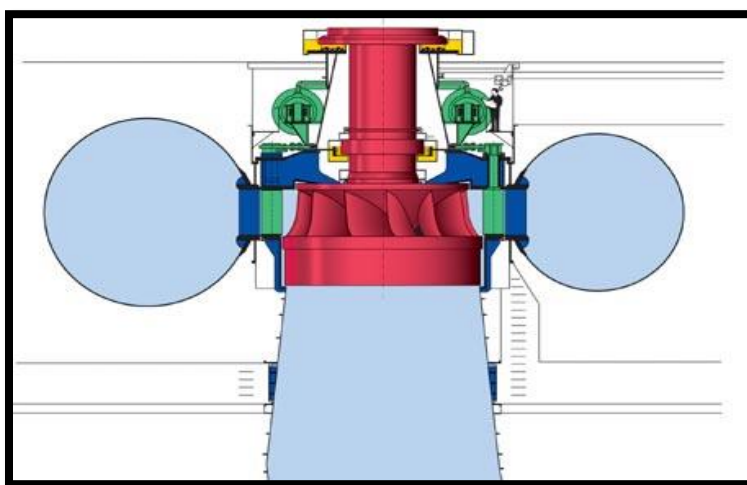
Ову турбину су развили Мађар (Donát Bánki) и Аустралијанац (Anthony Michell) као и Немац (Fritz Ossberger), тако да се овај тип турбине може наћи под њиховим називима. Поред ових назива због свог принципа рада ова турбина се назива и ``Crossflow``- турбина са унакрсним током. За разлику од наведених турбина код којих струјање воде кроз турбинско коло било или радијално или аксијално, овде вода пролази паралелно, односно преко лопатица кола. Вода улази са једне стране, прелази преко лопатица и напушта коло на супротној страни турбине. Банки турбине су споре турбине и као такве користе се углавном код хидроелектрана са малим падом и високим протоком воде. Вода улази у турбину и усмерава се са једном или са више лопатица позиционираних непосредно пре радног кола. Вода пролази кроз централни део радног кола и потом у другом степену још једном мења правац под дејством лопатица и излази из радног кола. Ниске цене коштања ових турбина су узроковане њиховом релативно једноставном конструкцијом. Највећа ефикасност је нешто мања него код Францисове, Капланове или Пелтонове турбине, међутим предност Банки турбине се огледа у томе што има равну криву ефикасности за различита оптерећења. Како је ниво воде у рекама обично нижи неколико месеци, крива ефикасности ове турбине даје боље годишње перформансе него други турбински системи што је нарочито заступљено код малих деривацијских хидроелектрана.



Слика 17. Банки турбина

4.5. Францисова турбина

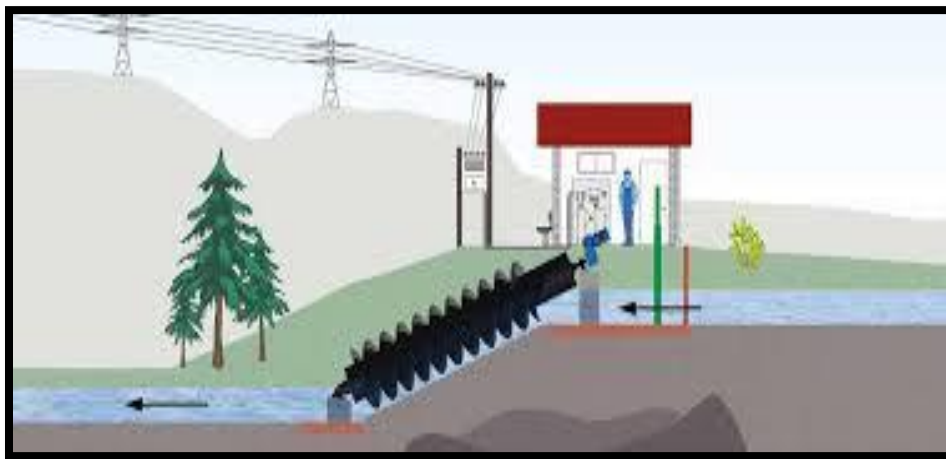
Францисове турбине спада у ред реакцијских турбина које се користе за средње падове од 15 m до 700 m и за водотоке са средњим протоком. Спада у ред турбина које се данас најчешће користе. Израђују се тако да генератор буде што удаљенији од воде и турбина лакша за одржавање због тога се готово увек спајање са генератором врши преко вертикалне осовине. Вода улази хоризонтално у цев спиралног облика која обмотава турбинско ротирајуће коло, а излази вертикално наниже кроз центар турбине са знатно нижим притиском него што је био на улазу. Конструишу се за сваку локацију посебно како би се постигао што већи степен искоришћења, који при називним вредностима пада и протока износи 90 %. Изводи се са непокретним лопатицама радног кола, и углавном са покретним усмереним лопатицама радног предкола.



Слика 18. Францисова турбина

4.6. Архимедова турбина

Примењује се на рекама са релативно ниским падом (од 1 m до 10 m) и са малим протоцима (до 10 m³/s са једном турбином). Принцип рада јој се заснива на узимању потенцијалне енергије из воде тако што се водени ток најпре доведе до турбине и након преласка из горње воде у доњу, при чему предаје енергију турбини која је преко генератора трансформише у електричну енергију. Самом конструкцијом Архимедове турбине и спорим кретањима не представља проблем за животну средину и животињски свет. Овакав вид технологије је познат од давнина, за чијег се оснивача сматра Архимед из Сиракузе (287-212 пне.), док је први патент хидрауличних пужних турбина урадио 1922. године Vilijam Moersch.



Слика 19. Архимедова турбина

5. Утицај МХЕ на животну средину

У свету се данас и поред чињенице да производња струје из малих хидроелектрана не узрокује емитовање угљен диоксида, све више говори о њиховој штетности по екосистеме речног тока. Неспорно је да због изградњи оваквих објеката у осетљивим подручјима може утицати на: развој низа рибљих врста, миграције, нарушавање еколошке равнотеже у том делу где се врши изградња објеката, изумирање неких врста, итд. Како би се ови проблеми решили потребно је успостављање дијалога на знатно вишем нивоу са надлежнима за заштиту животне средине, ради идентификовања утицаја као и одређивања мера које треба предузети да би се ти негативни утицаји спречили. Постоји већа вероватноћа да ће планинска постројења са високим падовима имати већи негативан утицај на природу, за разлику од места са малим падовима и постројењима интегрисаним у брани.



Слика 20. Утицај приликом изградње МХЕ на природу

Правилно одређивање утицаја мини хидроелектране на животну средину спроводи се у сарадњи са надлежним органима. Треба одлучити и које су мере најбоље за ублажавање утицаја на животну средину. С тим у вези израђује се студија утицаја мини хидроелектране на животну средину, како током изградње (табела 1.) тако и током функционисања (табела 2.) .

Табела 1. Утицај на животну средину током изградње [2]

Догађаји током изградње	Утицај на ствари и живи свет	Утицаји	Приоритети
Геолошка премеравања	Дивљи свет	Бука	Низак
Сечење постојеће вегетације	Шумарство	Промена средине	Средњи
Проширивање постојећих путева	Општа јавност	Стварање могућности промена средине	Средњи
Премештање земље	Геологија терена	Постојаност нагиба	Низак
Копање тунела	Хидро-геологија терена	Промена тока реке	Низак
Стално насипање материјала на нагибима	Геологија терена	Постојаност нагиба	Низак
Реализовање насипа	Водени свет, хидроморфологија терена	Измене речне хидраулике	Средњи
Стварање привремених гомила земље	Геологија терена	Постојаност нагиба	Низак
Привремена селидба људи, путева, електричних водова	Општа јавност	Занемарљив	
Реализација путева и покрова за земљиште	Дивљи свет, општа јавност	Јаки визуелни ефекат, ремећење дивљег света	Низак
Дренажа земљишта	Водени екосистем	Промена средине	Средњи
Привремено одвраћање реке	Водени екосистем	Промена средине	Висок
Коришћење багера, камиона, хеликоптера, кола за особље	Дивљи свет, општа јавност	Бука	Висок
Присуство људи у току радова на градилишту	Дивљи свет, општа јавност	Бука	Низак

Табела 2. Утицај на животну средину током функционисања [2]

Догађаји током функционисања	Утицаји на ствари и живи свет	Утицаји	Приоритети
Производња обновљиве енергије	Општа јавност	Редукција материјала које загађују	Висок
Постављање бране на водотоку	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Стални радови у кориту реке	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Одвраћање водотока	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Цевовод	Дивљи свет	Јаки визуелни ефекат	Средњи
Нове електричне линије	Општа јавност, дивљи свет	Јаки визуелни ефекат	Низак
Спречавање одрона обале бетонирањем	Водени екосистем, општа јавност	Модификовање средине, јак визуелни ефекат	Низак
Обалски насип	Водени екосистем, општа јавност	Модификовање средине, јак визуелни ефекат	Низак
Измена водног тока	Рибе	Модификовање средине	Висок
Централе	Дивљи свет	Модификовање средине	Средњи
Општа јавност		Модификација рекреативних активности	
Бука од електро механичке опреме	Општа јавност	Промена квалитета живота	Низак
Уклањање материјала из корита водотока	Водени свет, општа јавност	Унапређење квалитета воде	Висок

5.1. Утицаји приликом изградње

Постројења попут деривацијских мини хидроелектрана и мини хидроелектрана изграђена на вишенаменским објектима изазивају различите утицаје. Мини хидроелектране за вишенаменске бране скоро да немају штетне утицаје за разлику од постројења деривацијског типа код којих је потребно вршити посебне анализе утицаја.

5.1.1. Изградња резервоара

Изградња брана, насипа и пратећих акимулација укључује, уз губитак земљишта, изградњу радних платформи, изградњу и отварање путева, ископавање, минирање као и изградњу бране у зависности од њене величине и изградњу постројења за производњу бетона. Поред ових утицаја ту се јављају и остали утицаји попут ефекта баријера и скретања тока који настаје као последица регулисања речног тока, који раније није постојао и ови утицаје такође се не могу занемарити. Битно је напоменути да већина малих хидроелектрана спада у проточне, које немају велике бране, што значи да акумулације нису карактеристичне за мале хидроелектране

5.1.2. Водозхвати, отворени канали, цевоводи, одводни канали

Треба нагласити да се и приликом саме изградње објеката утиче на животну средину. Најпре треба издвојити губитак земљишта којим се утиче на могућу појаву ерозије, ископавање, минирање, утицај буке на животиње, емисија гасова из возила, прашина од ископавања и остали мање значајни утицаји. Како би се спречила појава ерозије препоручује се обнављање и ојачање вегетације на обалама реке. Потребно је нагласити да је земљиште неопходно поново настанити домаћим врстама, које се могу најбоље прилагодити локалним условима. Такође препорука је да се ископавања одвијају у периоду када је водостај река низак и да се ископано земљиште врати у нормално стање што је пре могуће. Због дугорочног процеса биолошких радова на заштити од ерозије, потребно је да се са радовима почне на одговарајуће време. Најприхватљивије решење представља комбинацију биолошких мера са биотехничким и техничким мерама и радовима. Процена утицаја на животну средину мора узети у обзир ефекте расипања тла у токовима и штетне последице живота радника у не насељеним пределима током изградње. Уколико се ради о постројењима која су лоцирана у националним парковима овај утицај је негативан. Такође треба споменути и емисију гасова из возила, висок ниво буке, прашину и остале мање значајне факторе који угрожавају животну средину када су постројења лоцирана на осетљивим подручјима.

5.2. Утицаји који настају током фазе функционисања постројења

5.2.1. Звучни ефекти

Бука као још један од проблема који долази приликом рада турбине, мултипликатора и асинхроних генератора, може се умањити на одговарајући ниво који пре свега зависи од локалне популације или изолованости домаћинства које се налазе у близини. Овакви проблеми решавају се куповином од добављача код којих су јасно назначене вредности прављења буке при чему се може израчунати укупан ниво буке сабирањем појединачних компонената. Ниво буке пре свега зависи од локалне популације или у којој мери је изоловано домаћинство у близини електране. Данас се бука може смањити, уколико је то потребно до нивоа од 70 dB. Редуковање буке постиже се употребом одговарајуће звучне изолације зидова и кровова електране.

Мере којима се врши редуковање нивоа буке су:

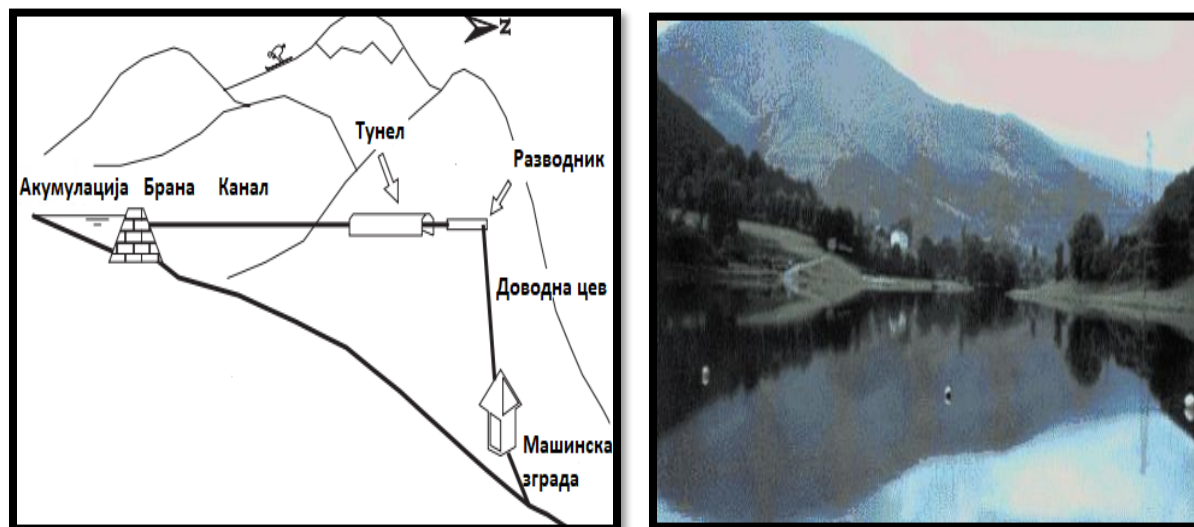
- Куповина компонената у једном пакету од поузданих добављача уз уговор о дефинисаним нивоу буке (турбине, мултипликатор и асинхрони генератор);
- Изоловање машинске зграде;
- Вибрациона изолација зидова и кровова машинске зграде;
- Брзина циркулације ваздуха кроз вентилационе канале не треба да прелази 4 m/s.

Треба напоменути да све унапред задате мере смањења нивоа буке захтевају и додатна улагања. Ово се може сматрати прихватљивим решењима, уколико је дозвољен значајан раст инвестиција.

5.2.2. Утицај на пејзаж

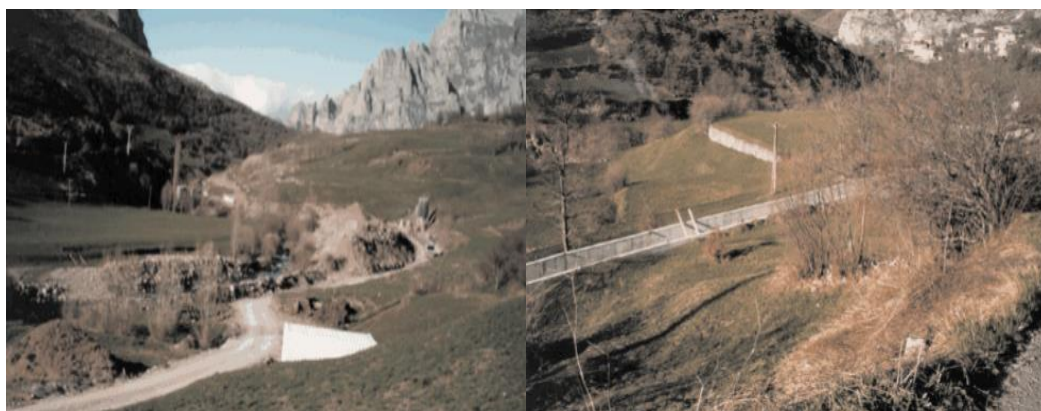
Да би објекат био прихватљив од стране јавности потребно је да визуелно не нарушава изглед околине. Овај проблем је посебно изражен код хидроелектрана у вишим планинским и урбаним подручјима. Свака грађевинска компонента мале хидроелектране може утицати на промену визуелног доживљаја, према томе конструкција, локација као и појава било које од компоненти (машинска зграда, брана, прелив, цевовод, захват, одводни канал), може бити одлучујућа за одобравање пројекта од стране јавности. Већи део ових објеката може бити заклоњен вегетацијом и пејзажом, такође може се утицати одговарајућим бојењем компоненти у неконтрастне боје и текстуре и тиме их стопити у окружење. Изградња доводног цевовода представља један од главних негативних утицаја на пејзаж, зато се мора добро планирати изградња узимајући у обзир сваку природну компоненту. Најбоље решење за брану је да се укопа, иако има негативне последице у смислу отежавања одржавања и контроле. Код машинске зграде, са захватом, водотоковима и електро водовима потребно је извршити вешто уклапање са природним пејзажом.

Мале акумулације осим негативних могу имати и низ позитивних утицаја као што су стабилан ниво воде, туристичке атракције (пливање, пецање, веслање). Једна од познатијих акумулација је Кординанес која се налази на северу Шпаније.



Слика 21. Шематски приказ и спољашњи изглед Кординанес мини хидроелектране [2]

На наредним сликама приказана је изградња канала која се одвијала у три фазе: ископавање земље, ојачање канала бетонирањем и завршни канал са обновљеном вегетацијом.



Слика 22. Конструкционе фазе ископавања земље и бетонирања канала



Слика 23. *Коначан изглед канала након завршетка градње*

5.3. Биолошки утицај

Изградњом малих хидроелектрана у већини случајева долази до преусмеравања речног тока ка хидроелектрани, што доводи до промене еколошких услова за живот и развој одговарајућих биоценоза. Биолошки утицаји су следећи:

- Изградњом брана путеви за миграцију риба према мрестилиштима се прекидају, што има за последицу отежавања мрешћења низа рибљих врста којима је потребна текућа вода;
- Мењају се хидролошки, хидрохемијски и хидробиолошки режими, што доводи до промене услова за разбој низа других врста риба;
- Погоршавање услова низводне миграције;
- Нарушавање равнотеже еколошких односа у изграђеном делу водотока и услови за опстанак неких врста.

Како би се сви ови услови неутралисали предузимају се разне мере као што су:

- Изградња објеката који омогућавају узводну и низводну миграцију риба;
- Постављањем мрежа спречава се долазак риба у додир са деловима објекта који би могао да им нашкоди;
- Врши се изградња вештачких мрестилишта, као и убацивање рибље млађи како би се компензовали неповољни ефекти мрешћења;
- Испуштање биолошког минимума низводно од бране, како би се обезбедили неопходни услови за живот и миграцију риба;
- Уређење посебних мрестилишта на местима у зонама ушћа река.

Да би се обезбедило одговарајуће одржавање речне флоре и фауне потребно је обезбедити одговарајући минималан проток у водотоку који се назива биолошки минимум. Процена вредности биолошког минимума може се одредити преко различитих метода:

- Метод базиран на хидролошким или статистичким вредностима. Прва група метода обухвата средњу вредност протока реке у датом попречном пресеку, док друга метода се вредност односи на минимални средњи проток воде у реци, а трећа на предефинисане вредности криве трајања протока;
- Метод базиран на физиографским принципима. Ови методи обично узимају у обзир константни специфични резервни ток ($\frac{l/s}{km^2}$ сливног подручја);
- Формуле базиране на брзини и дубини воде, код којих брзина воде се мора кретати од 0,3 m/s до 2,4 m/s и дубину воде која мора бити у границама од 10 cm до 24 cm . Други изрази се дефинишу резервисани ток у функцији од ширине реке (30-40 l/s по метру ширине) или оквашеног обима (најмање 75% од оквашеног обима првобитног тока).
- Методи базирани на планирању више циљева узимајући у обзир еколошке параметре. Користи се више посебних метода: MODM (Доношење одлука са више циљева) - узима у обзир и еколошке и економске циљеве. Коефицијент разводњавања - потребан проток мора бити најмање 10 пута од примењеног, биолошки чистог протока. Брзина не сме пасти испод 0,5 m/s , параметри тока - ефекти резервног тока се мере помоћу модела, PHABSIM - базира се на познавању комбинације параметара (дубине воде, брзине речног тока, температуре и седимента), које већина рибљих врста захтева, модел прогнозирања средине - на бази неколико агрегатно - морфолошких параметара, услови резервног тока релевантни за биогенезу се прорачунавају. [2]

5.3.1. Узводне миграције риба

Предузимањем мера попут изградње постројења за узводну и низводну миграцију риба, испуштање биолошког минимума низводно од бране, изградњом вештачких мрестилишта, итд. значајно се смањују ови неповољни утицаји. Да би се правилно изградили ови објекти у циљу што ефикаснијег пролаза за риба, потребно је успоставити добру комуникацију између инжењера и биолога, као и одговарајуће разумевање карактеристика области. Постоје више различитих начина за обезбеђивање узводних пролаза попут степенастих брана, лифтова, пумпи и транспортних операција. У зависности од специфичности рибљих врста и трошкова врши се одабир најприкладнијег решења. Данас постоје више група објеката за пропуштање риба преко успорне грађевине:

- рибље стазе, рибе савладавају самостално денивелацију између доње и горње воде;
- преводнице за рибе, превођење се врши хидрауличким путем;
- преносница риба механичким путем;
- посебно опремање постојећих објеката хидроелектране.

Рибље стазе чине канали који су у саставу брана или се налазе на широј зони, канали су преградног профила при чему омогућују да рибе саме пливајући савладавају пад између доње и горње воде. Најчешће су ти канали направљени у виду каскадних преграда или лавирината који омогућују рибама лако савладавање успорну денивелацију. Да би рибе успеле у савладавању потребно је да вода не пређе одређене највеће вредности које за поједине рибе износе

Табела 3. Брзина воде које рибе могу да савладају [2]

Врста рибе	Брзина тока које могу да савладају (m/s)	
	У равном току	У току са отворима
Шаран	0,5-1,0	0,8-1,2
Јесетра	0,8-1,2	1,0-1,5
Лосос	1,5-2,5	2,0-3,0

Конструкцијски рибље стазе могу бити:

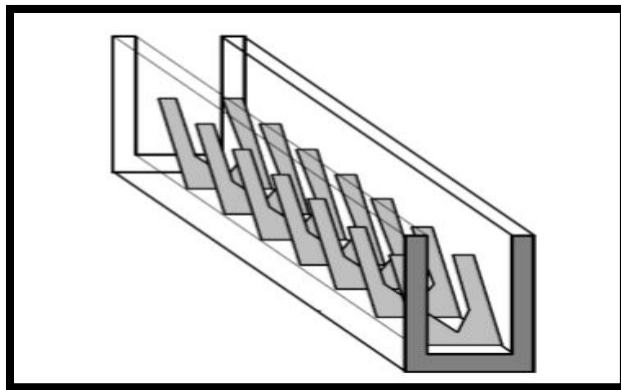
- каналске,
- каскадни базени,
- степенасте каскаде.

Каналске рибље стазе израђују се у зависности од пада. Уколико се ради о малој денивелацији (3-5 m) врши се постављање глатких канала, док уколико се ради о већим падовима (5-15 m) примењују се канали са лавиринтним преградама којима се повећава храпавост, чиме се смањује брзина. Брзина којом се омогућава кретања рибе из доње воде у горњу воду износи од 1 m/s до 3 m/s. На слици 20. су приказани неки од типова канала са преградама. Канали су ширине 2-3 m, дубине 0,5-1,5 m, са преградама на растојању 2-3,5 m, са минималном ширином отвора за пролаз риба 0,4 до 0,8 m³/s са брзином течења 0,8-2,0 m/s.



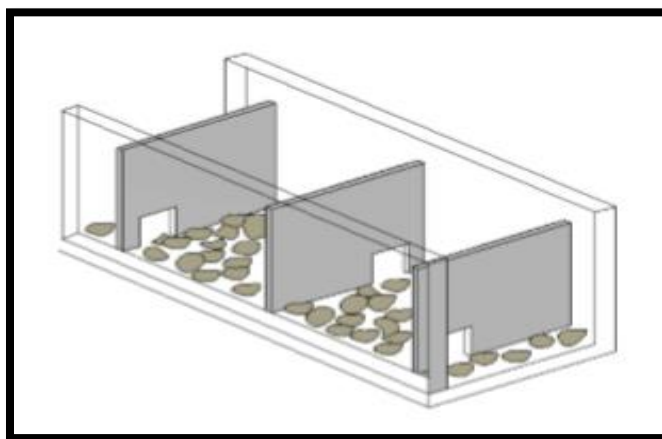
Слика 24. Приказ различитих типова каналских рибљих стаза [2]

Један од познатијих каналских рибљих стаза је Дени пролаз, који се састоји од уског канала у којем су преграде косо постављене у смеру протока воде и распоређене у релативно кратким интервалима са претходницама на дну, док су канали већег нагиба. Улога претходница је да „растуре“ енергију при чему смањују брзину струјања воде чиме рибе могу лако савладати успон. Такође производе и турбулентни ток који је доста погоднији за већину риба за разлику од протока кроз пролазе у виду базена и добро подноси промене дубина воде. Веома су погодне на местима са великим падовима, јер се губитком великог дела енергије на преградама знатно скраћује стаза у односу на друге рибље стазе.



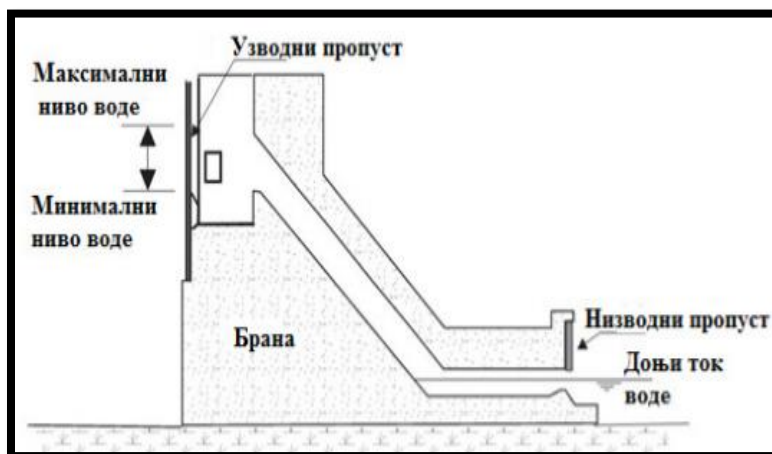
Слика 25. Денилова рибља стаза

Каскаде базена у виду степенастих рибљих стаза, представљају један од најчешће коришћених прелаза риба. Улога оваквих пролаза омогућава одмарање риба преласком из базена у базен при чему се укупни пад савладава мањим падовима кроз низ базена. Базени су конструисани тако да су одвојени вертикалним преградама који у себи садрже мале отворе кроз које рибе пливају. Постављање отвора се врши на дну при чему се отвори налазе на наизменичним странама, док се повећање храпавости врши облагањем зидова канала камењем. Ради очувања рибљих врста потребно је водити брига о ширини и величини базена.



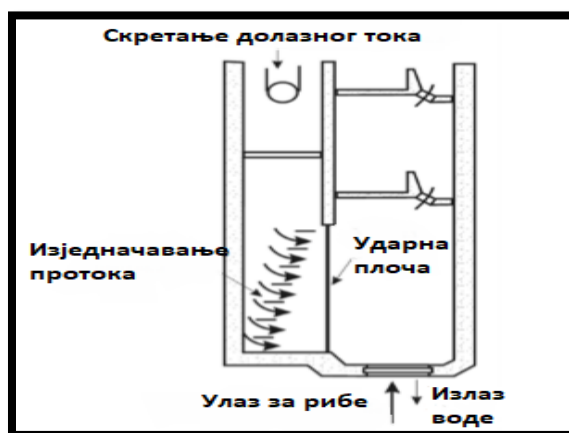
Слика 26. Рибља стаза са базенима

Преводница са косим шахтом или Борланд брана је релативно јефтино решење за транспорт рибе из доње у горњу воду. Принцип рада се заснива на привлачењу риба помоћу струјања воде, при чему рибе улазе у доњу комору. Затварањем доњег отвора врши се испуњавање косог канала водом која долази из базена након чијег испуњавања рибе прелазе у горњу воду.



Слика 27. Борланд брана

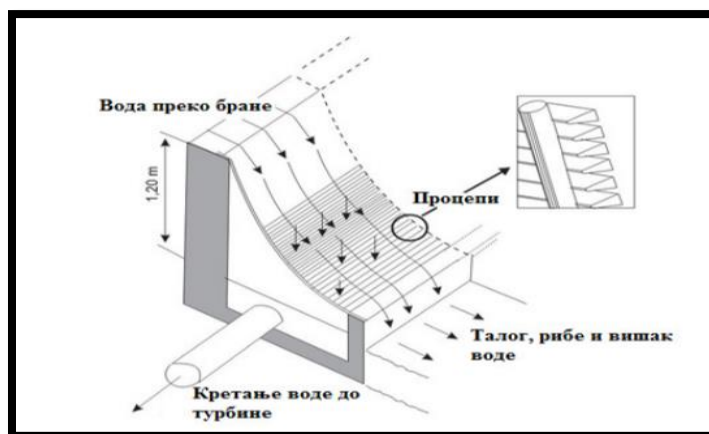
Шахтна преводница се састоји од вертикалног шахта у који улазе рибе, привучене струјањем воде у доводном каналу. Након уласка риба долази до затварања шахта при чему се комора пуни, а решетка са дна подиже при чему тера рибе ка каналу горње воде. Овакве преводнице могу бити и до висина од 6 до 8 метара, уколико постоје два шахта преводница превођење је могуће одвијати континуирано, јер би једна комора увек била отворена за прихватање риба.



Слика 28. Шахтна преводница

Пролаз за рибе (доњи ток) или другачије назван Коанда захват има улогу у мигрирању риба из горњег тока у доњи ток воде. Раније су рибе при пролазу из горње воде у доњу пролазиле кроз турбине при чему је долазило до значајно великог помора риба, највише због велике брзине радног кола. Услед удара са чврстим деловима долазило

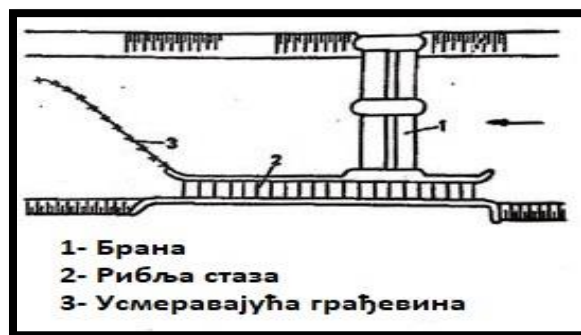
је до механичких повреда попут удара у лопатице радног кола ,такође и изложености промена притисака има значајан утицај на угинуће риба. Да би се спречио помор риба од недавно се користи мрежа са самопречишћавањем на захвату. Мреже користе ефекат по којем течност прати површину чврстих тела на које наилази на свом путу, познатији као Коандин ефекат. Крећући се вода преко бране са собом носи талог и рибе при чему прелазећи брану преко мрежних пролаза кроз отворе пролази одговарајућа количина воде потребна турбини, док остатак воде заједно са талогом и рибама наставља да се креће и враћа се у природни речни ток. Мрежа може да поднесе 250 l/s по дужном метру мреже. Мана ових мрежа је то што захтевају пад најмањи од 1 до 1.2 m губитак пада воде што је проблем код система са ниским падом.



Слика 29. Коанда захват [2]

6.3.2. Објекти за заштиту и усмеравање риба

Како би се спречио долазак риба у зоне које могу да им нашкоде врши се њихово усмеравање помоћу заштитно усмеравајућих грађевина. Овакви објекти се заснивају на систему који преграђује поједине зоне доње и горње воде, сачињен од мрежа и решетки. Један од већих недостатака овог система је нагомилавање пливајућих предмета што доводи до проблема чишћења као и изванредан губитак пада. Да не би ометала лед при кретању поставља се нешто ниже од нивоа до којег лед допире.



Слика 30. Грађевина за усмеравање риба ка рибљој стази [2]

5.4. Отпадни материјал

Поред производње електричне енергије мале хидроелектране могу имати важну улогу и у заштити животне средине. Како код већине малих хидроелектрана постоје машине или други делови попут решетки канала које спречавају улазак отпадног материјала заједно са водом у постројење при чему могу изазвати оштећења електромеханичке опреме или пад хидрауличких перформанси. Оваквим начином заштите опреме мини хидроелектране уједно се остварује и позитиван ефекат пречишћавања река. Наиме сваке године се тоне материјала попут пластичних кеса, флаша и других врста отпада уклањају из воде. У развијенијим државама, када се предмет уклони једном из главног тока аутоматски постаје отпадни материјал који мора бити уклоњен на правилан начин што изискује веома високе трошкове. Да би се овај позитиван еколошки ефекат спроводио правилно потребно је да се донесу одговарајуће мере подршке у виду економских мера попут смањења накнаде за одлагање отпада.



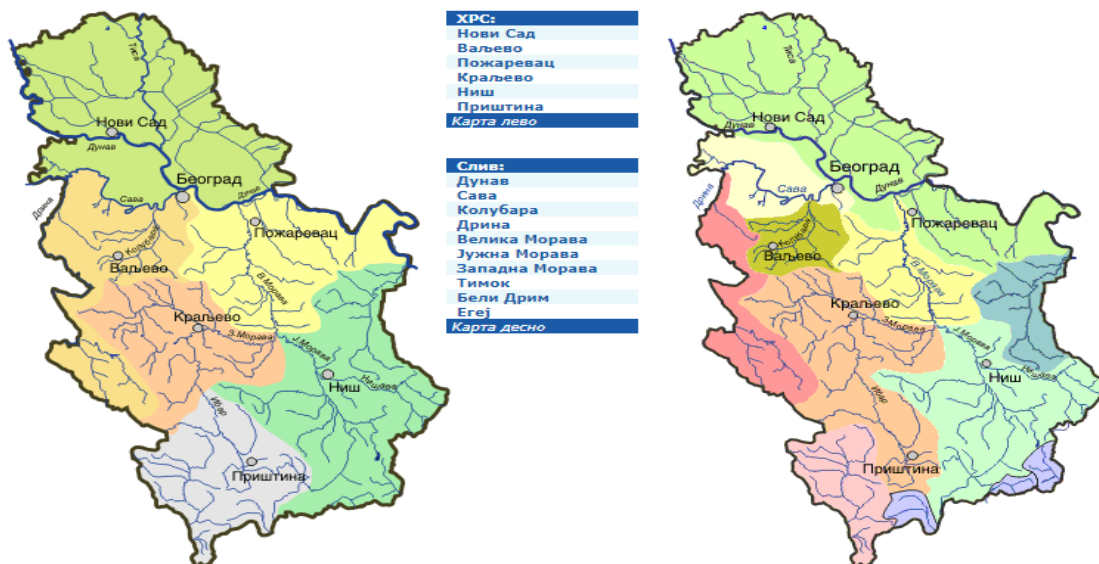
Слика 31. Уклањање отпадног материјала из река

6. Прорачун МХЕ

Прорачун производње електричне енергије добијен је прикупљањем података о годишњем протоку из Хидро-метеоролошког завода. На основу ових података и замишљеног нагиба турбине одређене су потребне димензије завојне турбине. У даљем делу текста биће детаљно приказан целокупан поступак димензионисања турбине.

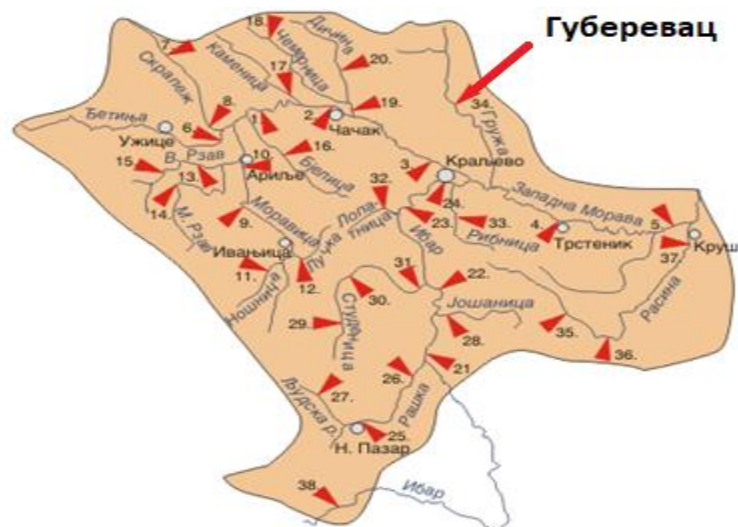
6.1. Локација и улога објекта

За реку на којој ће се вршити изградња мини хидроелектране узета је река Гружа. Гружа припада сливу реке Западне Мораве и хидролошкој реонској станици Краљево (слика 32.)



Слика 32. Приказ хидролошких реонски станица (лево) и сливова (десно) [4]

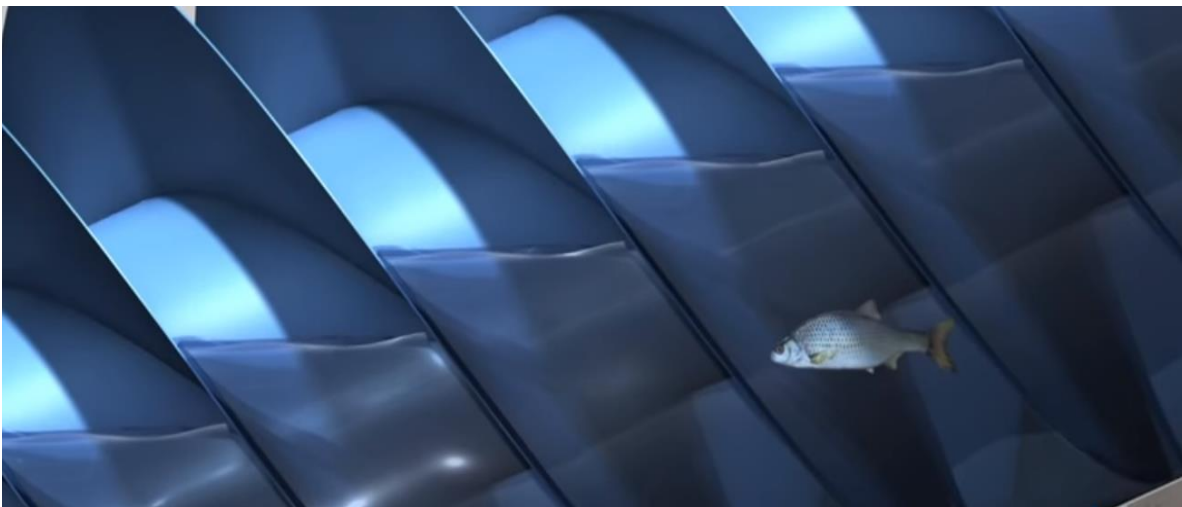
Замишљена локација се налази на месту мерне станице Губеревац. Помоћу прикупљених података по данима, за период од годину дана (подаци за 2017 годину), одређен је просечан проток реке. На основу тих података пројектована је мини хидроелектрана чија је улога да произведе потребну количину електричне енергије за неометано снабдевање једног домаћинства или омање фабрике у изолованом систему.



Слика 33. Локација пројектоване мини хидроелектране [4]

6.2. Принцип рада

Као код свих пројеката пре почетка израде потребно је дефинисати начин функционисања система. Принцип рада овог постројења има за основни циљ производњу електричне енергије уз неометано одвијање речног живота. Из речног тока узима се 95% воде док се остатак, који представља биолошки минимум шаље у канал који омогућава неометано кретање рибе узводно дуж речног тока. Како би се обезбедио константан доток воде (95 % узете воде) ка турбини користи се преливни канал. Након доласка до преливног канала вода се усмерава ка машинској згради. На самом улазу налази се груба решетка која спречава крупније предмете да прођу и тако дођу у контакт са турбином, при чему омогућава неометан пролазак риба и улазак у канал који води ка турбини. Вода из речног тока даље одлази из канала у турбинско кућиште, при чему врши покретање турбине одакле кинетичку енергију воде претвара механичку. Механичка енергија се преко мултипликатора шаље ка генератору који је претвара у електричну енергију одакле се касније шаље ка потрошачу. Завојна турбина по својој конструкцији омогућава неометан пролазак риба кроз кућиште турбине (слика 34.), након чега се изласком из турбине враћа у речни ток.



Слика 34. *Пролаз рибе кроз завојну турбину*

6.3. Главне компоненте мини хидро електране

6.3.1. Грађевински објекти

За израду једне хидроелектране веома је важна њена грађевинска конструкција која може зависити од различити локалних услова терена као и самог типа хидроелектране. Основна карактеристика које при пројектовању коју треба задовољити је пре свега максимално искоришћење напора, елиминисање седимената, спречавање поплава, спречавање турбуленције тока итд.. Посматрана мини хидроелектрана има следеће компоненте:

- захват - има улогу у довођењу воде из речног тока непосредно до турбине при чему треба водити рачуна да губици напора буду минимални и избећи негативно утицати на животну средину,
- преливна брана- преусмерава потребан део речног тока ка машинској згради односно турбини, док остатак вишка воде испуштају преливањем преко ње,
- затварач (поклопац канала) - у случају појаве одређених проблема спречава доток воде ка каналу,
- машинска зграда - у оквиру ње су смештени генератор, мултипликатор, поклопац канала, системи контроле и заштите.

6.3.2. Електро-машинска опрема

Поред грађевинских објеката веома важну улогу игра и електро-машинска опрема. Каква ће се опрема користити пре свега зависи од више фактора, међу којима је најважнији режим рада. За пројектовану МХЕ је одређено да напаја мање потрошаче који си смештени релативно близу локације машинске зграде (режим рада у изолованој мрежи). У оквиру електро-машинске опреме спадају:

- турбине – Архимедова турбина спада у ред акцијских турбина и као таква има улогу да претвара кинетичку енергију воде у електричну при чему притисна енергија остаје непромењена од улаза до излаза;
- мултипликатор – има улогу да, у случајевима када је угаона брзина мања од брзине која је потребна за рад генератора, повећа угаону брзину на одговарајућу, какав је између осталог и случај са пројектованом завојном турбином за ову мини хидроелектрану;
- генератор – електричне машине које на основу ротације механичку енергију претварају у електричну. Састоје се од ротора (покретног дела) и статора (непокретног дела). Према врсти коју струју производе могу се поделити на генераторе једносмерне струје и генераторе наизменичне генераторе. Такође могуће их је и поделити на синхроне који се користе за производњу електричне енергије у изолованим системима и асинхроне за производњу електричне енергије за велику енергетску мрежу;
- аутоматско управљање – мале хидроелектране углавном раде без надзора и као такве њихово управљање мора бити аутоматизовано. Овакви системи морају имати посебне уређаје за откривање квара озбиљније природе, а затим и правилно како би постројење било сигурно. Такође мора имати и на располагању базу за прикупљање података како би се могле доносити правилне пословне одлуке као што је правовремено реаговање на могуће појаве кварова.

6.4. Израчунавање годишњег просечног протока

Полазни подаци на основу којих је одређен номинални проток узети су из Републичко Хидрометеоролошког завода Србије и приказани су у следећој табели (табела 1.)

Табела 4. Просечни протоци воде за 2017 годину приказани по данима [4]

Dan	januar	februar	mart	april	maj	jun	jul	avgust	septembar	oktobar	novembar	decembar
1	0.495	0.468	0.9	0.523	0.581	0.414	0.28	0.414	0.523	0.298	0.337	0.38
2	0.468	0.495	0.9	0.581	0.61	0.363	0.24	0.414	0.468	0.298	0.358	0.429
3	0.468	0.523	0.97	0.523	0.581	0.315	0.28	0.468	0.468	0.337	0.38	0.429
4	0.495	0.523	0.9	0.523	0.64	0.363	0.24	0.468	0.414	0.337	0.38	0.38
5	0.495	1.69	1.04	0.581	0.702	0.315	0.28	0.414	0.414	0.38	0.337	0.38
6	0.523	2.07	1.19	0.64	0.64	0.276	0.32	0.414	0.468	0.429	0.337	0.358
7	0.523	1.97	1.27	0.702	0.581	0.243	0.36	0.414	0.523	0.38	0.298	0.337
8	0.523	1.69	2.8	0.766	0.523	0.276	0.41	0.468	0.523	0.38	0.337	0.429
9	0.523	1.27	3.14	0.702	0.468	0.315	0.47	0.523	0.38	0.429	0.337	0.38
10	0.495	0.831	3.26	0.671	0.495	0.363	0.47	0.468	0.38	0.429	0.38	0.38
11	0.468	0.581	3.14	0.64	0.523	0.315	0.41	0.523	0.337	0.38	0.429	0.429
12	0.468	0.64	2.8	0.581	0.581	0.363	0.41	0.581	0.337	0.429	0.38	0.38
13	0.441	0.523	2.69	0.64	0.64	0.363	0.47	0.64	0.298	0.429	0.337	0.38
14	0.441	0.552	2.53	0.581	0.581	0.414	0.47	0.702	0.298	0.38	0.337	0.38
15	0.468	0.523	2.16	0.523	0.64	0.363	0.41	0.64	0.298	0.38	0.298	0.38
16	0.468	0.468	2.07	0.523	0.523	0.315	0.41	0.581	0.298	0.38	0.337	0.38
17	0.414	0.468	1.78	0.468	0.468	0.276	0.47	0.581	0.263	0.337	0.358	0.337
18	0.468	0.414	1.6	0.523	0.414	0.294	0.47	0.523	0.263	0.337	0.38	0.358
19	0.414	0.441	1.43	0.495	0.363	0.315	0.41	0.523	0.23	0.298	0.429	0.337
20	0.468	0.468	1.19	2.26	0.414	0.276	0.41	0.468	0.23	1.15	0.38	0.358
21	0.468	0.468	1.12	1.27	0.414	0.315	0.36	0.468	0.263	1.03	0.38	0.298
22	0.468	0.523	0.97	0.523	0.363	0.363	0.36	0.441	0.263	0.808	0.358	0.358
23	0.414	0.523	0.83	0.831	0.414	0.315	0.41	0.414	0.298	0.604	0.358	0.38
24	0.414	0.552	0.77	1.27	0.468	0.276	0.47	0.414	0.298	0.429	0.337	0.429
25	0.414	0.64	0.7	1.19	0.414	0.276	0.47	0.468	0.298	0.38	0.298	0.38
26	0.468	0.766	0.64	1.08	0.363	0.315	0.41	0.468	0.298	0.38	0.298	0.429
27	0.468	0.831	0.58	1.04	0.363	0.315	0.47	0.523	0.263	0.337	0.337	0.38
28	0.468	0.899	0.64	0.831	0.414	0.294	0.47	0.523	0.298	0.298	0.337	0.337
29	0.414		0.7	0.702	0.468	0.315	0.47	0.468	0.337	0.337	0.358	0.298
30	0.414		0.64	0.64	0.414	0.315	0.41	0.468	0.298	0.337	0.358	0.337
31	0.414		0.58		0.468		0.41	0.468		0.298		0.38



Слика 35. Приказ расподеле протока по процентима

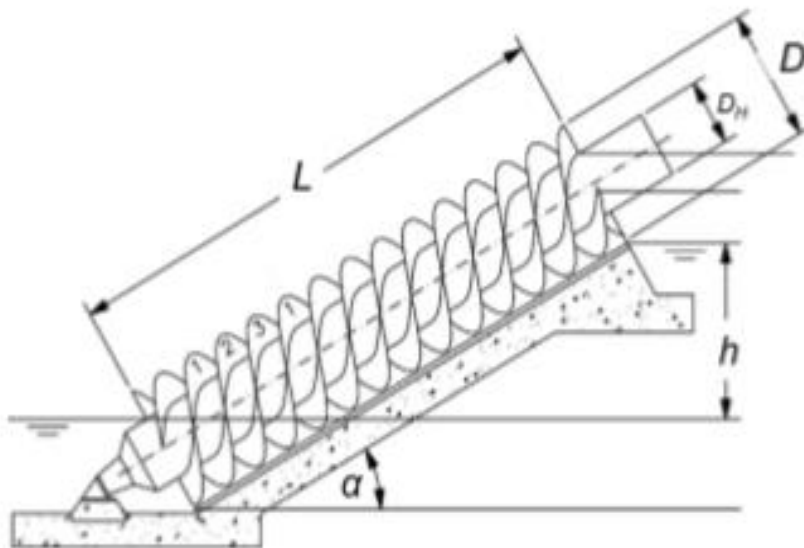


Слика 36. Приказ дозвољеног протока за коришћење

На основу добијених података дневних вредности протока, приступило се њиховом класификовању по процентуалном јављању у току године (слика 35). Највећи проток је забележен 11. марта када је просечни дневни проток износио $3,26 \text{ m}^3/\text{s}$, док је најмањи проток забележен 19. односно 20. септембра у вредности од $0,23 \text{ m}^3/\text{s}$. Како би изабрали правилно турбину потребно је одредити проток који се јавља у 50 % у току године. Уз то треба додати да се од речног тока не сме узети одређени део воде који представља биолошки минимум. Када одредимо вредност од 5 % за целу годину, која представља биолошки минимум, тада на основу преосталих 95 % одређујемо 50 % према коме бирамо одговарајућу турбину. На слици 36. приказани су максимални проток који је означен плавом линијом, док је вредност биолошког минимума обележена наранџастом бојом. Детаљном анализом одређена је вредност номиналног протока на основу које ће се пројектовати турбина износи $0,400425 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.5. Прорачун потребних димензија турбине

Профил турбине осим од протока зависи и од угла нагиба као и од висине пада. Како би степен корисности био што већи према препорукама [5] за угао нагиба је узет угао од 22° , док је вредност нето пада 2 м. За почетак прорачуна прво је било потребно израчунати потребну дужину турбине:



Слика 37. Приказ димензија турбине

Табела 5. Вредности полазних података

Величина	Вредност
$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	0,400425
$h \text{ (m)}$	2
$\alpha \text{ (}^\circ\text{)}$	22

Како добијена вредност угла нагиба износи:

$$\sin \alpha = 0.3746$$

Можемо изразити потребну једначину за добијање потребне дужине турбине преко израза:

$$h = L \cdot \sin \alpha \quad (6.1)$$

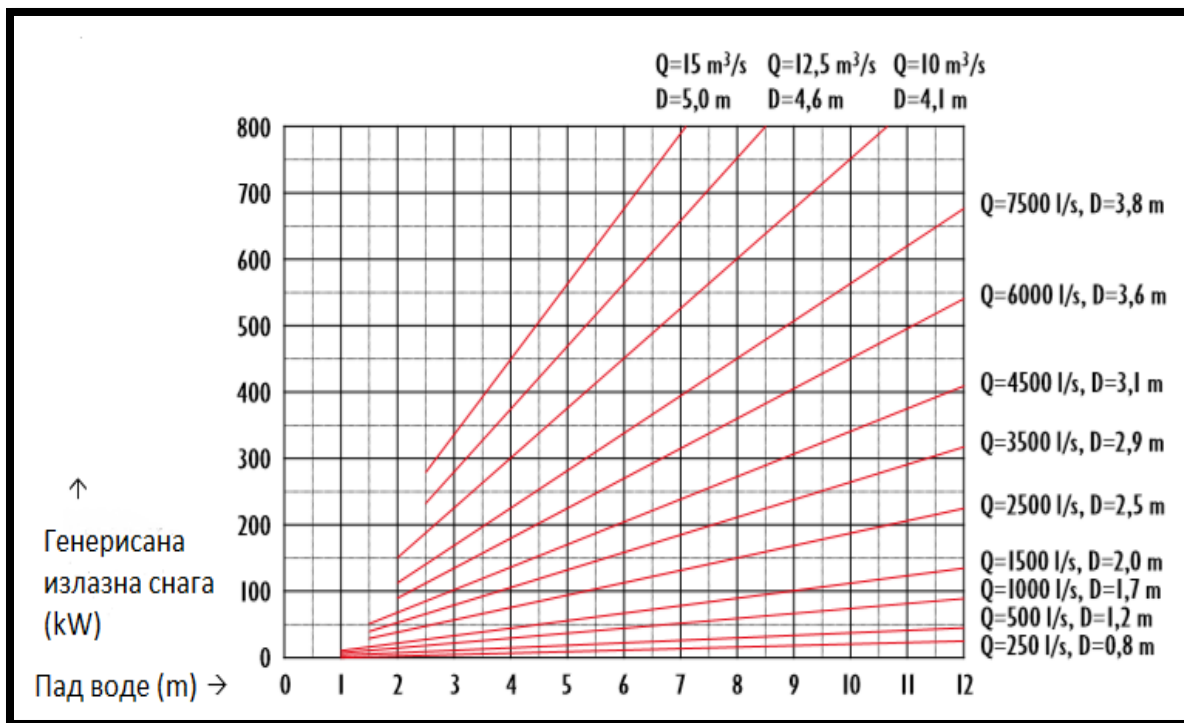
из чега следи:

$$L = \frac{h}{\sin \alpha} = 5.34 \text{ m}$$

Табела 6. Оптимални параметри односа [6]

Број лопатица (N)	Однос полупречника (ρ^*)	Однос висине (λ^*)	Однос запремине по окретном односу ($\lambda^* v$)	Оптимална запремина ротације (v)
1	0.5358	0.1285	0.0361	0.2811
2	0.5369	0.1863	0.0512	0.2747
3	0.5357	0.2217	0.0598	0.2697
4	0.5353	0.2456	0.0655	0.2667
5	0.5352	0.263	0.0696	0.2647
6	0.5353	0.2763	0.0727	0.2631
7	0.5354	0.2869	0.0752	0.2619
8	0.5354	0.2957	0.0771	0.2609
9	0.5356	0.3029	0.0788	0.2601
10	0.5356	0.3092	0.0802	0.2592

На основу израчунате дужине турбине и називног протока турбине претпоставком (слика 37.) је одређена димензија спољашњег полупречника (R_o) чија вредност износи 0,5 m. Такође претпоставком је одређено да турбина има једну лопатицу. Коришћењем табеле 6. помоћу познатих вредности броја спирале (N) и спољашњег пречника (R_i) израчуната је одговарајућа вредност унутрашњег пречника турбине (R_i).



Слика 38. Приказ вредности димензија турбине и протока у зависности од генерисане излазне снаге и пада воде [7]

Табела 7. Приказ вредности величина

Величина	Вредност
Број лопатица (N)	1
Однос полупречника (ρ^*)	0.5358
Однос висине (λ^*)	0.1285
Оптимална запремина ротације (ν)	0.2811

Вредност унутрашњег пречника износи:

$$\rho^* = \frac{R_i}{R_o} \quad (6.2)$$

Одакле следи:

$$R_i = R_o \cdot \rho^* = 0.2679$$

Након израчунавања димензија (L, R_i, R_o) како би правилно димензионисали турбину потребно је одредити и њен корак спирале (P). Корак спирале може се израчунати преко следећег обрасца:

$$\lambda = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot P}{2\pi \cdot R_o} \quad (6.3)$$

Сређивањем овог израза добија се:

$$P = \frac{\lambda \cdot 2\pi \cdot R_o}{\operatorname{tg} \alpha} = 0.999 \text{ m}$$

Израчунавањем вредности корака познате су све вредности (табела 8.) потребне за димензионисање турбине.

Табела 8. Приказ вредности потребних за димензионисање турбине

Величина	Вредност
N	1
$L \text{ (m)}$	5.34
$R_i \text{ (m)}$	0.5
$R_o \text{ (m)}$	0.2679
$P \text{ (m)}$	0.999

6.6. Прорачун снаге турбине

Како би добили вредност снаге турбине прво је потребно одредити потенцијалну снагу речног тока. Њену вредност рачунамо на основу следећег обрасца:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (6.4)$$

где су:

ρ - густина воде (kg/m^3),
 g - сила земљине теже (m/s^2),
 Q - проток воде (m^3/s),
 h - бруто напор (m).

Усвојене вредности наведених величина су приказане у табели 9.

Табела 9. Приказ вредности величина из једначине

Величина	Вредност
$\rho (kg/m^3)$	1000
$g(m/s^2)$	9.81
$Q(m^3/s)$	0.400425
$h(m)$	2

Потенцијална енергија воде износи:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h = 7.856 \text{ kW}$$

Након добијања потенцијалне енергије даље следи израчунавање запремине воде у једном циклусу завојнице (V_t). Израз за његово израчунавање можемо добити из следећег обрасца:

$$v = \frac{V_t}{\pi \cdot R_o^2 \cdot P} \quad (6.5)$$

Даљим сређивањем добијамо израз који гласи:

$$V_t = P \cdot \pi \cdot R_o^2 \cdot v$$

при чему знамо да је:

$$P = \frac{\lambda \cdot 2\pi \cdot R_o}{\operatorname{tg} \alpha}$$

одакле следи:

$$V_t = \frac{\lambda \cdot v \cdot 2\pi^2 \cdot R_o^3}{\operatorname{tg} \alpha}$$

где су:

λ – Однос висине;

v – Оптимална запремина ротације;

π – Математичка константа;

R_o – Спољашњи пречник турбине (m);

α – Угао нагиба турбине.

Табела 10. Приказ вредности величина из једначине

Величина	Вредност
λ	0.1285
v	0.2811
π	3.14
$R_o(m)$	0.5
$\alpha (^{\circ})$	22

Вредност запремине у једном циклусу завојнице износи:

$$V_t = \frac{\lambda \cdot v \cdot 2\pi^2 \cdot R_o^3}{\operatorname{tg} \alpha} = 0.0702 \, m^3$$

Да би израчунали снагу коју ће турбина производити потребно је одредити њену ефикасност. За израчунавање ефикасности неопходно је познавати и вредност угаоне брзине, односно број обртаја у секунди турбине. Вредност угаоне брзине добијамо преко израза:

$$n = \frac{Q}{V_t} \, [rad/s] \quad (6.6)$$

Како би добили вредност за број обртаја у секунди турбине потребно је помножити са следећим разломком

$$n = \frac{Q}{V_t} \cdot \frac{1}{2\pi} \, [o/s]$$

где су:

n - број обртаја турбине (o/s),

Q - Номинални проток (m^3/s),

V_t - Запремина воде у једном циклусу завојнице (m^3).

Табела 11. Приказ вредности величина из једначине

Величина	Вредност
$Q (m^3/s)$	0.400425
$V_t(m^3)$	0.0702

Број обртаја турбине износи:

$$n = \frac{Q}{V_t} \cdot \frac{1}{2\pi} = 0.1445 [o/s]$$

Након добијања потребног броја обртаја турбине следећи корак представља израчунавање степена корисности. Израз за одређивање степена корисности гласи:

$$\eta = \frac{1 - \frac{0.01125 \cdot D_o^2}{Q} \cdot (2n + 1)}{2n + 2} \quad (6.7)$$

где су:

η - степен корисности,
 D_o - спољашњи пречник (m),
 Q – номинални проток (m^3/s),
 n - број обртаја (o/s).

Табела 12. Приказ вредности величина из једначине

Величина	Вредност
$D_o(m)$	1
$Q(m^3/s)$	0.400425
$n(o/s)$	0.1445

Вредност израчунатог степена корисности износи:

$$\eta = \frac{1 - \frac{0.01125 \cdot D_o^2}{Q} \cdot (2n + 1)}{2n + 2} = 0.547$$

На крају остаје још да се израчуна излазна снага коју турбина производи:

$$P_{out} = P_h \cdot \eta \quad (6.8)$$

из чега следи:

$$P_{out} = 4.299 \text{ kW}$$

6.7. Прорачун потребне снаге генератора

Одређивањем излазне снаге турбине, пре почетка моделирања пројекта мини хидроелектране са завојном турбином потребно је одредити још снагу генератора како би пројектовање постројења било извршено на одговарајући начин. Снагу генератора могуће је одредити помоћу израза:

$$S = \frac{P_{out} \cdot \eta_G}{\cos \varphi} \quad (6.9)$$

Где су:

S - снага генератора (kW),
 P_{out} - излазна снага турбине (kW),
 η_G - ефикасност генератора,
 $\cos \varphi$ - фактор снаге генератора.

Табела 13. Приказ вредности величина из једначина

Величина	Вредност
$P_{out} \text{ (kW)}$	4.299
η_G	0.93
$\cos \varphi$	0.8

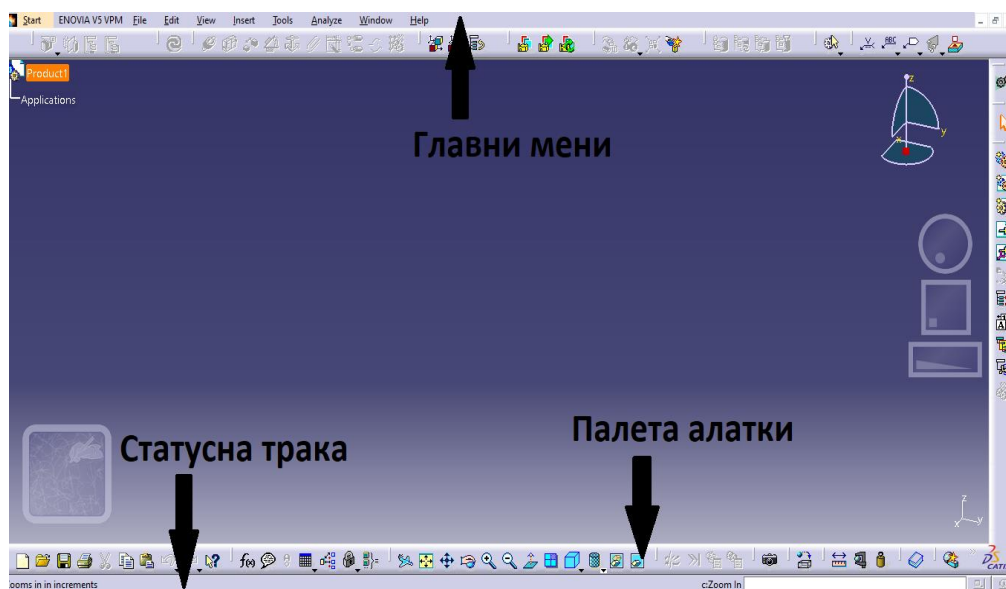
Потребна снага генератора је:

$$S = \frac{P_{out} \cdot \eta_G}{\cos \varphi} = 4.998 \text{ kW} \approx 5 \text{ kW}$$

7. Конструктивно решење MXE са завојном турбином

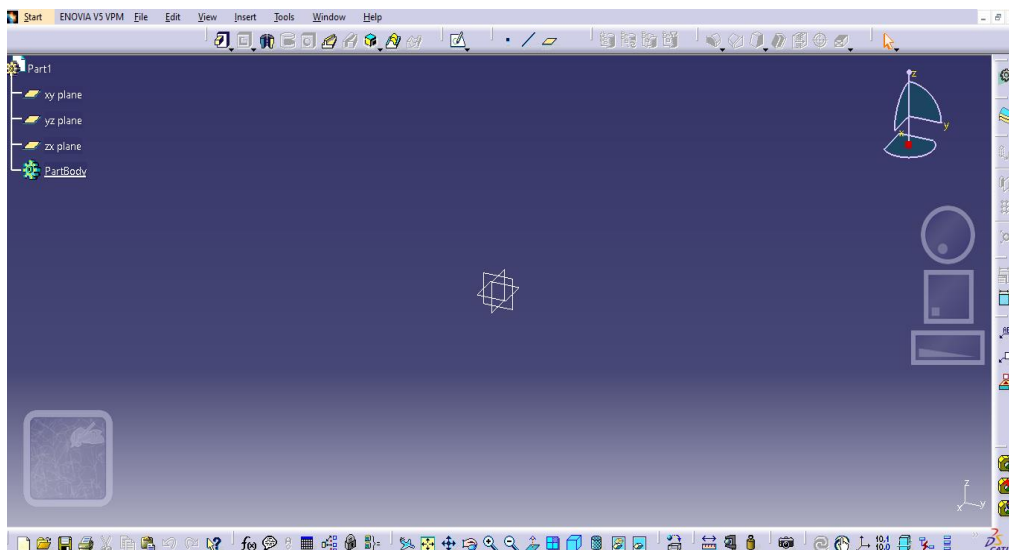
7.1. Моделирање објекта

Моделирање MXE извршено је у програму CatiaV5R21 (слика 39.) намењеном изради геометријских модела чија геометрија тражи графичку презентацију у виду тродимензионалног моделирања (3D). Спада у ред најмоћнијих програма своје врсте међу CAD (Computer Aided Design) софтверима у свету. По могућностима које пружа представља јединствен програм, осмишљен тако да је једноставан и лак за употребу. Основни радни задаци се обављају у радном окружењу које је састављено од скупа алатки које омогућавају кориснику да обави одређене задатке у одређеној области. Основна радна окружења система Catia V5R21 су Part Design (пројектовање склопова), Wireframe and Surface Design (пројектовање жичаних модела и површина), Assembly Design (пројектовање склопова), Drafting (израда техничких цртежа) и Generative Sheetmetal Design (генеративно пројектовање лимених делова). Наведена окружења биће детаљно описана у наставку.



Слика 39. Изглед програма Catia V5R21 [8]

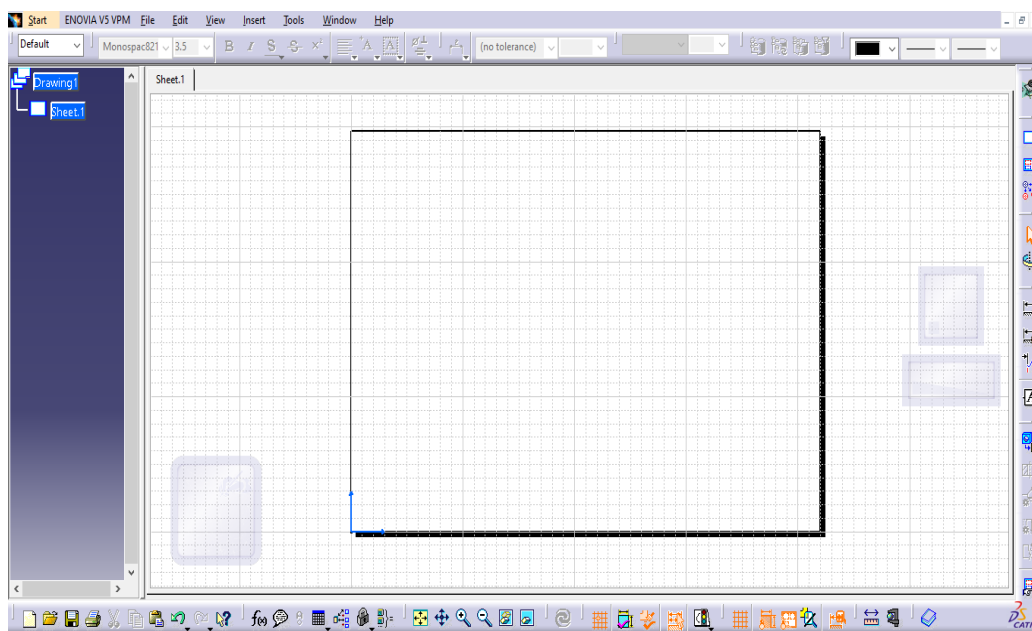
Part Design (слика 40.) је параметарско окружење засновано на пројектовању делова при чему је основни услов за правилно пројектовање скица (engl. sketch). Скица се црта у радном окружењу које се може покренути унутар Part Design помоћу дугмета Sketcher са истоимене палете алатки. Скица се црта помоћу алатки из датог окружења. Након цртања скице, излазом из окружења Sketcher можемо претворити скицу у типски облик заснован на скици. Такође доступне су и друге алатке којима се могу обарати ивице, заобљавати делови итд. У овом радном окружењу могуће је и доделити материјале моделу.



Слика 40. Приказ окружења *Part Design*

Assembly Design (слика 39.) се користи за склапање компонената у датом окружењу. Такође могуће је и спојити већ постојане склопове са текућим склопом.

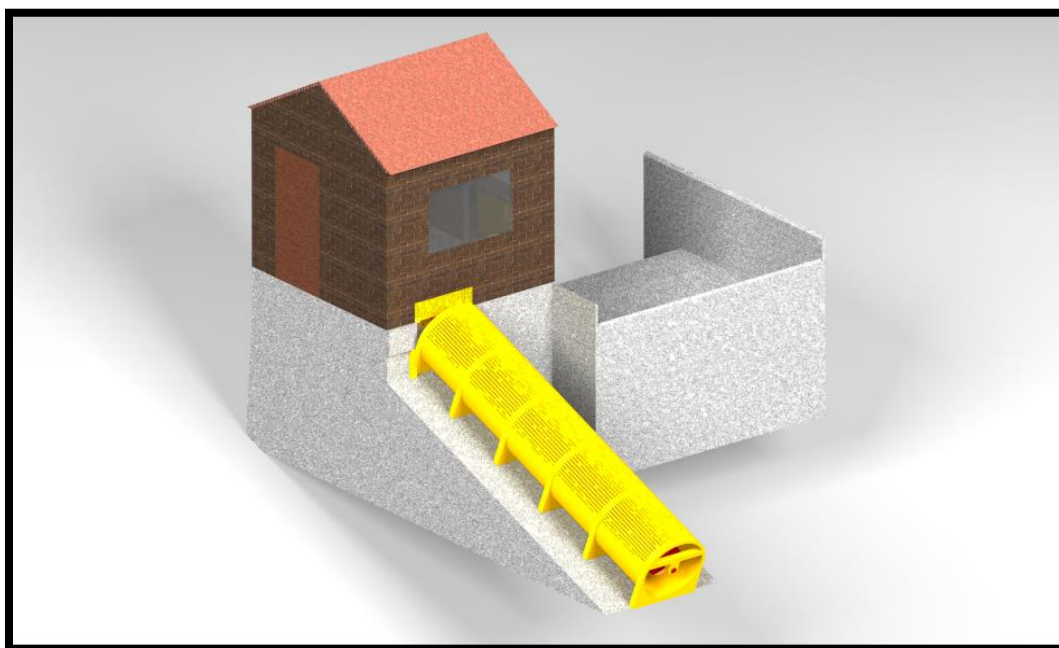
Drafting (слика 41.) окружење се користи за израду документације (техничких цртежа и детаља) за направљене делове или склопове који су направљени.



Слика 41. Приказ окружења *Drafting*

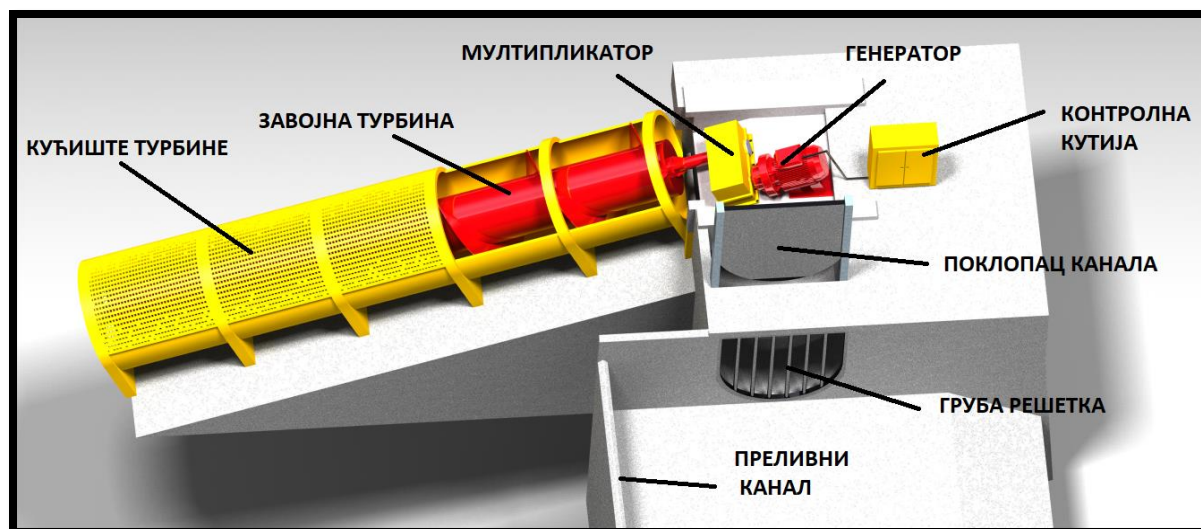
7.2. Изглед објекта

Мини хидроелектрана са завојном турбином, која се пројектује у овом раду приказана је на слици 42. Постројење се састоји од турбине, кућишта турбине, преливног канала, мултипликатора, генератора, грубе решетке за третман вода, поклопаца канала итд. Унутар машинске зграде смештени су генератор, мултипликатор, поклопац канала и други мањи делови, док се изван машинске зграде налази турбина која је смештена у кућишту турбине, преливни канал и груба решетка. Поред овог постројења замишљена је и израда омањег канала за неометано узводно кретање риба.



Слика 42. Приказ пројектоване мини хидроелектране са завојном турбином

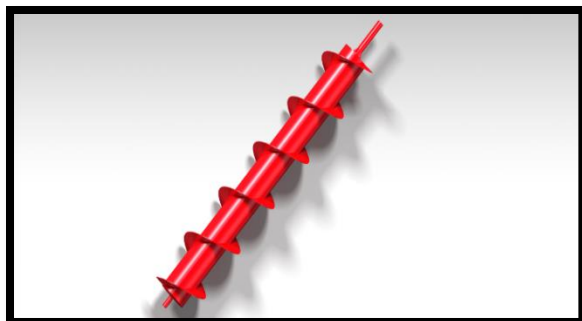
Материјал од којег је изграђена подлога МХЕ и преливни канал је бетон, док је за материјал машинске зграде узет бетонски блок. Комплетан распоред делова у пројектованој МХЕ приказан је на слици 43.



Слика 43. Приказ распореда делова у пројектованој МХЕ

7.3. Технички цртежи мини хидроелектране

Након извршеног прорачуна приступило се моделирању делова МХЕ као и њиховој изради техничких цртежа. У даљем делу текста биће приказане појединачне слике делова као и њихови технички цртежи.



Техничке карактеристике

Број лопатица: 1;
 Дужина: 5.34 m;
 Спољашњи полупречник: 0.5 m;
 Унутрашњи полупречник: 0.2679 m;
 Корак завојнице: 0.999 m;
 Маса: 3367 kg;
 Материјал: Челик;
 Боја: Црвена.

Слика 44. Техничке карактеристике турбине [9]



Техничке карактеристике

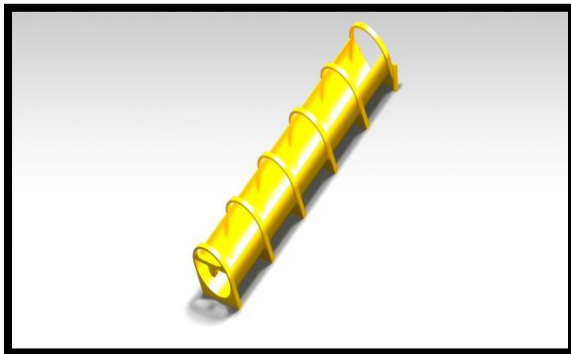
Напон: 230 V;
 Фреквенција: 50 Hz;
 Снага: 5 kW;
 Број полова: 4;
 Брзина обртаја: 1500 o/min;
 Фактор снаге: 0.8.

Слика 45. Техничке карактеристике генератора [10]



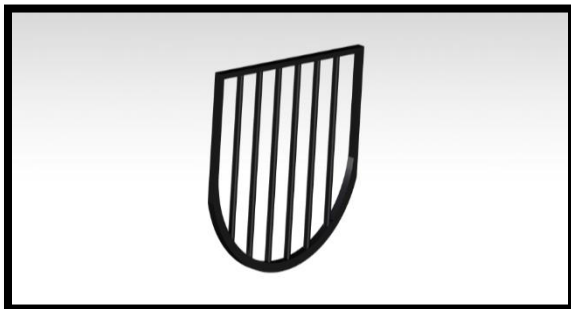
Техничке карактеристике
 Улазна брзина обртаја: 8.7 o/min;
 Излазна брзина обртаја: 1500 o/min;
 Боја: Плава.

Слика 46. Техничке карактеристике мултипликатора [11]



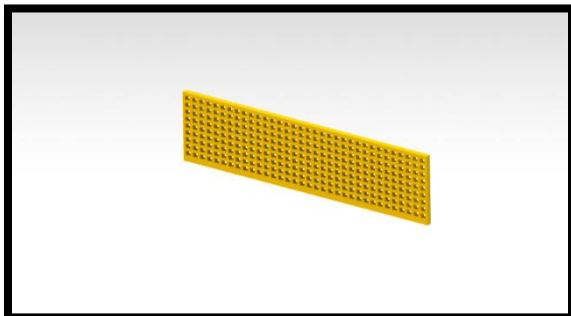
Техничке карактеристике
 Дужина: 5.55 m;
 Спољашњи пречник: 0.55 m;
 Унутрашњи пречник: 0.5 m;
 Маса: 1318 kg;
 Материјал: Челик;
 Боја: Жута.

Слика 47. Техничке карактеристике кућишта турбине



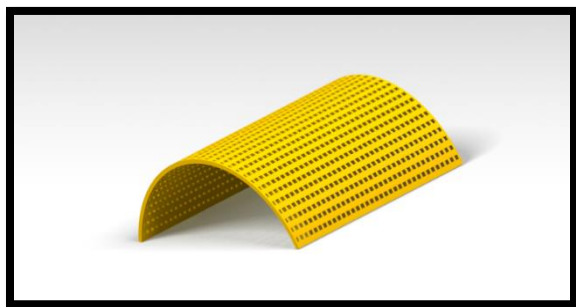
Техничке карактеристике
 Висина: 1.139 m;
 Ширина: 0,05 m;
 Маса: 42.12 kg;
 Материјал: Алуминијум;
 Боја: Црна.

Слика 48. Техничке карактеристике грубе решетке [12]



Техничке карактеристике
 Дужина: 1.03 m;
 Ширина: 0.02 m;
 Висина: 0.3 m;
 Маса: 10.1 kg;
 Материјал: Алуминијум;
 Боја: Жута.

Слика 49. Техничке карактеристике решетке [13]



Техничке карактеристике

Дужина: 1.05 *m* (1), 1 *m* (2), 0.9 *m* (3) ;

Унутрашњи полупречник: 0.53 *m*;

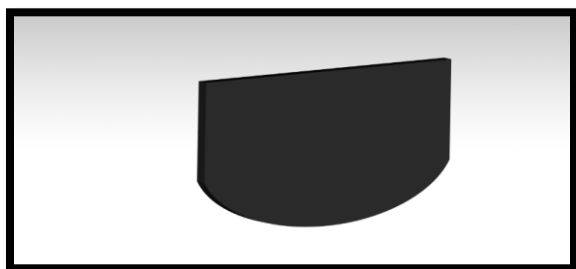
Спољашњи полупречник: 0.55 *m*;

Тежина: 57.6 *kg* (1), 54.8 *kg* (2), 49.1 *kg* (3);

Материјал: Алуминијум;

Боја: Жута.

Слика 50. *Техничке карактеристике турбинске решетке (решетке 1, 2 и 3)*



Техничке карактеристике

Висина: 1.139 *m*;

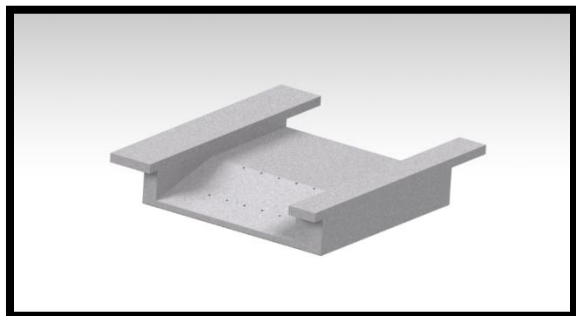
Ширина: 0,05 *m*;

Тежина: 184,1 *kg*;

Материјал: Алуминијум;

Боја: Црна.

Слика 51. *Техничке карактеристике поклопца канала [14]*



Техничке карактеристике

Тежина: 224,2 *kg*;

Материјал: Челик;

Боја: Сива.

Слика 52. *Техничке карактеристике постоља*

8. Економска анализа

8.1. Улагање у пројекат

Да би одредили да ли је пројекат исплатив врши се спровођење економске анализе која подразумева поређење трошкова и добити. Како би се правилно извршила анализа потребно је узети у обзир све трошкове који настају током свих фаза пројекта. Све те трошкове можемо поделити на инвестиционе и текуће трошкове. Инвестициони трошкови (трошкови улагања) представљају прве трошкове које је потребно израчунати. Уколико се ради о мини хидроелектранама са малим падовима (мањи од 15 метара) и малих снага (мањих од 250 kW) инвестициони трошкови ће бити већи.

Табела 14. Подаци просечних инвестиционих трошкова за 2002. год и 2010. год

Опсег снаге постројења	Инвестициони трошкови [€/kW]	
	Подаци за 2002. год	Цена вредности за 2010. год
1 MW- 10 MW	600-2000	
500-1000 kW	1300-4500	1000-3000
100-500 kW	1500-6000	900-3500
<100 kW	1500-6000	900-3500

У оквиру инвестиционих трошкова направљена је подела трошкова на:

- трошкове грађевинских радова;
- трошкове машинске опреме;
- трошкове електро радова;
- екстерни трошкови.

Грађевински радови обухватају израду машинске зграде, темеља машинске зграде, водозахвата, бране, решетки, канала који спроводи воду до турбине, одводни канал. Ови трошкови највише зависе од локације објекта. У овом раду локација објекта има мањи пад од 4 m што значи да систем треба бити без упоришта што даје предности једноставне и ниске трошкове уградње. Једначина трошкова за грађевинске радове односе се на висину воде H и називну снагу воде P и могу се израчунати као трошак по $\$/kW$. Општи образац за израчунавање цене трошкова грађевинских радова гласи:

$$C_c = C_1 + C_2 \quad (8.1)$$

где су:

C_c – Укупни трошак грађевинских радова;

C_1 – Трошак диверзије и довода;

C_2 – Трошак зграде електране.

Табела 15. Приказ вредности потребних величина

Величина	Вредност
$P_{in} (kW)$	7.856
$H (m)$	2

Трошак диверзије и довода може се израчунати преко обрасца:

$$C_1 = 186.216 \cdot P^{-0.2368} \cdot H^{-0.0597} \quad (8.2)$$

из чега следи:

$$C_1 = 109.67$$

Трошак зграде електране изражавамо:

$$C_2 = 1389.16 \cdot P^{-0.2351} \cdot H^{-0.0585} \quad (8.3)$$

одакле следи:

$$C_2 = 821.64$$

Након израчунавања трошкова диверзије и довода и трошкова зграде електране добијамо укупни трошак грађевинских радова изражен у \$/kW.

$$C_c = C_1 + C_2 = 931.3$$

Трошкови машинске опреме представљају трошкове турбине, мултипликатора, генератора. Вредност ових трошкова зависи пре свега од висине пада за исту снагу, при чему су за мини хидроелектране трошкови нижи што је пад већи (за исту снагу потребно је проћи мање количине воде кроз турбину).

Трошкови електро радова су трошкови који највише зависе од максималне излазне снаге постројења. У ове трошкове спадају радови са генератором, контролни панелом и управљачким системом, електропроводови унутра машинске зграде, трансформатор (ако постоји), прикључивање на дистрибутивну мрежу.

Вредност ових трошкова можемо одредити посматрајући их заједно као електро-механичку опрему. Ови трошкови имају тенденцију да се значајно разликују од трошкова изградње јер на њих не утичу значајне карактеристике локације. Једначине које се користе за израчунавање трошкова електро-механичке компоненте добијају се из следећег израза:

$$C_{EM} = C_a + C_3 + C_4 + C_5 \quad (8.4)$$

где су:

C_a -трошкови архимедове турбине;

C_3 -трошкови генератора;

C_4 -трошкови електричне и механичке помоћне опреме;

C_5 -трошкови трансформатора и склопки (опреме).

За архимедову завојну турбину:

$$C_a = 6882 \cdot P^{-0.6369} \cdot H^{-0.0782} \quad (8.5)$$

из чега се добија вредност:

$$C_a = 24.47$$

Вредност трошкова за генератор:

$$C_3 = 1179.86 \cdot P^{-0.1855} \cdot H^{-0.2083} \quad (8.6)$$

одакле следи:

$$C_3 = 696.73$$

Трошкови електричне и механичке помоћне опреме могу се израчунати преко обрасца:

$$C_4 = 612.87 \cdot P^{-0.1892} \cdot H^{-0.2118} \quad (8.7)$$

Укупни њихови трошкови износе:

$$C_4 = 366.02$$

Трошкови трансформатора и склопки се добијају преко следећег обрасца:

$$C_5 = 281 \cdot P^{-0.1803} \cdot H^{-0.2075} \quad (8.8)$$

одакле следи:

$$C_5 = 167.82$$

Сабирањем трошкова добијамо укупну вредност трошкова електро-механичке опреме (\$/kW):

$$C_{EM} = C_a + C_3 + C_4 + C_5 = 1255.04$$

Укупни трошкови добијају се сабирањем трошкова грађевинских радова и електро-механичке опреме:

$$C_C + C_{EM} = 2186.34$$

Остали индиректни трошкови (екстерни) одређени су у проценту трошкова изградње који се узимају као 13 % од износа грађевинских радова и електро-механичке опреме. У ове трошкове спадају услуге инжењерских и других услуга неопходних за израду пројекта. Укупни трошкови инвестиције износе($\$/kW$):

$$TC = 1.13 \cdot (C_C + C_{EM}) = 2470.57$$

Поред већ споменутих инвестиционих трошкова постоје и оперативни који се односе на трошкове који настају током рада постројења. Ови трошкови могу се поделити на:

- трошкове лизинга - Ако земљиште на коме се врши изградња није у власништву инвеститора потребно је извршити најам који по правилу не би требао бити већи од вредности 4% годишњих прихода мини хидроелектране.
- трошкови одржавања и надгледања - Код модерних МХЕ трошкови рутинских контрола не би требало да износе више од 1-2 % од инвестиционих трошкова. После одређеног времена (након 10 година) јављају се додатни трошкови, који се односе на замене генератора, лежаја, заптивача, итд.
- трошкови осигурања - Препоруке су да се врши осигуравање опреме за случај појаве пожара, поплава, олуја, експлозија, осигурање радника, намерне штете, осигурање услед не предвиђених околности, итд.

8.2. Приходи пројекта

Како би се израчунала исплативост пројекта поред свих трошкова потребно је и дефинисати приходе пројекта. Приходи се остварују на тржишту продајом произведене генерисане електричне енергије. Међутим како тренутно електрична енергија из обновљивих извора енергије није конкурентна конвенционалним изворима електричне енергије државе одобравају различите подстицајне механизме као што су подстицаји у фази изградње и при продаји струје. Просечна цена откупа у европској унији за мале хидроелектране износи 10 $\text{€cent}/kWh$, док код нас 12,6 износи $\text{€cent}/kWh$.

Табела 16. Висине подстицајне откупне цене и максималног ефективног времена рада

Инсталирана снага P (MW)	Подстицајна откупна цена ($\text{€cent}/kWh$)	Максимално ефективно време рада (h)
до 0,2	12,60	5000 у години подстицајног рада
0,2-0,5	13,933-6,667*P	
0,5-1	10,60	
1-10	10,944-0,344*P	
10-30	7,50	

Након израчунавања свих инвестиционих трошкова као и прихода пројекта, приступа се израчунавању финансијске исплативости пројекта као и одабиру најбољег могућег решења. Један од начина повећања рентабилности пројекта МХЕ огледа се у производњи електричне енергије тако да у прихватљивом периоду надмаши инвестицију и све текуће трошкове и донесе одговарајућу добит. Како би се извршио правилан избор најбољег могућег решења потребно је:

- да се установи да ли је пројекат финансијски исплатив и економски оправдан да се омогући упоређивање исплативости различитих мера и пројеката,
- да се омогући инвеститорима, финансијским институцијама и донаторима да оцене прихватљивост пројекта за финансирање.

Основни показатељи рентабилности пројекта су технички и економски век пројекта на основу којих одређујемо анализе изводљивости пројекта, као и параметре за њихов обрачун.

Техничким веком пројекта се одређује колико ће година трајати одређена опрема или мере неопходне за тај пројекат. Код мини хидроелектрана разликујемо техничке векове за:

- механичке опреме - максимално трајање 30 година,
- електричне опреме - максимално трајање 20 година,
- надгледање и контрола - трајање 10 година,
- грађевинских радова - максимално трајање 50 година.

Поред техничког века пројекта постоји и економски век пројекта. Економски век пројекта огледа се у посматрању периода када пројекат почиње да ствара профит. Његова улога се огледа у помагању давања коначне оцене о исплативости и економској оправданости израде пројекта мини хидроелектране. У просеку економски век једне МХЕ се креће од 15 до 20 година.

8.3. Прорачун економске анализе

Након одређивања претпостављене цене трошкова улагања по киловату (2470,57 \$/kW) и одређивања цене коштања производње kW/h (12,60 €cent/kWh) може се извршити прорачун економске анализе. Како би прорачун трошкова био тачан потребно је да укупна цена трошкова инвестиције буде приближна вредности претпостављеној за укупну снагу МХЕ која износи:

$$5 \text{ kW} \cdot 2470,57 \text{ $/kW} = 12.352,85 \text{ $}$$

Конвертовањем валута (\$ → €) вредност по киловату износиће 2253,77 €, док ће укупна вредност износити 11268,85 €. На основу ових вредности може се закључити да цена инвестиционих трошкова одговара опсегу цене инвестиционих трошкова (900 €-3500 €) за опсег снаге постројења (<100 kW) приказан у табели 16.

У следећој табели 17. биће приказане појединачне цене свих инвестиционих трошкова пројектоване мини хидроелектране као и њихова укупна вредност.

Табела 17. Појединачне цене инвестиционих трошкова

Назив	Цена €
Генератор	467.9
Мултипликатор	935.8
Турбина	1872
Решетка	77.31
Заштитни поклопац	24.15
Држач поклопца	16.95
Кућиште турбине	1800
Бетонирање	2203
Кућа постројења	3700
Остали трошкови	1000
УКУПНО	12097.1

Након сабирања свих трошкова може се закључити да добијена укупна вредност од 12097,1 € одговара приближној претпостављеној вредности од 11268,85 €, односно добијена вредност по јединици снаге од 2253,77 €/kW приложној претпостављеној вредности по киловату 2419,42 €. На крају треба додати и трошкове радне снаге који нису били обухваћени досадашњим инвестиционим трошковима, чија процењена вредности износи 3000 €, чиме се долази до коначног износа од 15097.1 €.

За прорачун исплативости пројекта потребно је поред дефинисања цене произведене електричне енергије дефинисати и број радних сати мини хидроелектране. Како је у Републици Србији дефинисана субвенционисана цена производње електричне енергије из МХЕ на 5000 часова годишње по цени од 12,60 €cent/kWh израчунаће се период исплативости са више могућих претпостављених сценарија рада.

За први сценарио претпостављено је да пројектована МХЕ ради без субвенционисане цене производње електричне енергије по kWh током целе године. У том случају годишња вредност производње електричне енергије би износила:

$$8760 \text{ h} \cdot 6 \text{ €cent/kWh} \cdot 4,3 \text{ kW} = 2260,08 \text{ €}$$

при чему се може добити потребан период исплативости пројекта :

$$15097,1 \text{ €} / 2260,08 \text{ €} = 6 \text{ година и } 8 \text{ месеци}$$

Други сценарио се јавља у случају када би током целе године производња електричне енергије била субвенционисана, при чему би приход пројекта био знатно краћи и износио би :

$$8760 \text{ h} \cdot 12,6 \text{ €cent/kWh} \cdot 4,3 \text{ kW} = 4746,17 \text{ €}$$

Период исплативости оваквог сценарија је знатно краћи и износи :

$$15097,1 \text{ €} / 4746,17 \text{ €} = 3 \text{ године и } 2 \text{ месеца}$$

Трећи сценарио представља тренутни подстицај државе субвенцијама од 5000 часова за производњу електричне енергије. На основу садашњих субвенција исплативост пројекта МХЕ износиће:

$$[(5000 \text{ h} \cdot 12,6 \text{ €cent/kWh}) + (3760 \text{ h} \cdot 6 \text{ €cent/kWh})] \cdot 4,3 \text{ kW} = 3679,08 \text{ €}$$

одакле следи да ће период исплативости бити:

$$15097,1 \text{ €} / 3679,08 \text{ €} = 4 \text{ године и } 1 \text{ месец}$$

На основу ових анализа може се установити да сви посматрани случајеви рентабилности пројекта јесу исплативи. Како је могућа промена политика подстицања произвођача субвенцијама израчуната су три сценарија, у којима је најдужи рок исплате без субвенција 6 година и 2 месеца, док је најкраћи период исплативости са 100% субвенционисања производње електричне енергије по kWh и износи 3 године и 2 месеца. Тренутно субвенционисање овакве производње је 5000 часова и са таквим мерама исплативост пројекта је 4 године и 1 месец.

9. Закључак

Развојем друштвеног живота долази и до све већих потреба за електричном енергијом која постаје неопходан ресурс у остваривању правилног развоја како технолошки тако и економски. Како би развој био одржив неопходно је максимално искоришћење примарне енергије у свим енергетским процесима. Један од видова обновљивих извора енергије који значајно може допринети развоју је мала хидроелектрана, чији допринос се највише односи у децентрализованој производњи електричне енергије за удаљена подручја, поред тога економски су исплативе и еколошки прихватљиве.

У Србији постоји неискоришћен потенцијал малих водотокова. Према плану националне стратегије за обновљиве изворе енергије план је да се у Србији на рекама изгради више 800 мини хидроелектрана, у циљу програма за прикључење Европској Унији којојом се Република Србија обавезала да ће достићи производњу до 27% из обновљивих извора. У земљама европске уније које важе за еколошке најразвијеније хидро потенцијал је веома прихватљив, тако да данас постоје преко 24 000 МХЕ у којима предњаче Аустрија 3100, Шведска 1900, Норвешка 2250, Швајцарска 1000, од чега је чак 30% изграђено у областима које су заштићене.

Тема овог рада везана је за пројектовање мини хидроелектране са завојном турбином који има улогу производње електричне енергије за потребе неометаног снабдевања једног домаћинства или омање фабрике у изолованом систему, при чему неће ометати природна кретања риба у речном водотоку. За локацију мини хидроелектране узета је мерна станица Губеревац на реци Гружи.

Рад овог система је замишљен тако да се из речног тока узима 95% воде и шаље ка турбини за производњу електричне енергије. Узети део речног тока долази до бране која омогућава константан уједначен доток воде ка турбини. Пролазећи кроз турбину вода своју енергију предаје турбини која преко мултипликатора шаље енергију ка генератору одакле се шаље ка потрошачу. Димензије турбине су узете на основу вредности средњег протока који се јавља током године.

Након израчунате детаљне анализе годишњег протока реке Груже приступило се прорачуну корисног протока из речног тока ($0,400425 \text{ m}^3/\text{s}$) и израчунавању потребне снаге генератора (5 kW).

Завршетком прорачуна потребних вредности приступило се моделирању делова објекта у софтверском програму Catia V5R21, као и изради њихове техничке документације.

Економском анализом стављања у однос укупних трошкова изградње овог пројекта и његове производње електричне енергије по тренутним ценама израчунат је период исплативости овог пројекта који износи 4 године и 1 месец.

Из свега овога може се закључити да мале хидроелектране поред великог броја погодности представљају и постројења која ће се у будућности још више развијати. Уколико се Србија одлучи за производњу енергије из оваквих обновљивих извора енергије потребно је створити повољне услове у виду цене откупа електричне енергије, као и

вођења рачуна о уређивању законодавног оквира који ће бити подстицајан за технологије прихватљиве за животну средину.

10. Литература

- [1] <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview> (приступљено 10.7.2020.)
- [2] Гордић, Д., Обновљивих извора енергије 2- мале хидроелектране, скрипта, Машински факултет у Крагујевцу, 2010.
- [3] Гордић, Д., Пренос снаге флуидом - хидраулика (теоријски основи, математички модели, решени примери), Машински факултет у Крагујевцу, 2007.
- [4] http://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/naslovna_analize.php (приступљено 10.02.2020)
- [5] Стаменковић, Ж., Богдановић Јовановић, Ј., Свркота, Д., Обновљиви извор енергије-хидроелектране са малим падом, Зборник Међународног конгреса о процесној индустрији – Процесинг, [С.л.], в. 27, н. 1, апр. 2017.
- [6] Borah, S., Chowdhury, B., Gogoi, S., Askary, Z., A Theoretical Study of Design Parameters of an Archimedean Screw Turbine, Journal of Material Science and Mechanical Engineering (JMSME) p-ISSN: 2393-9095; e-ISSN: 2393-9109; Volume 2, Issue 14; October-December, 2015 pp. 32-34
- [7] <https://www.spaansbabcock.com/wp-content/uploads/2017/10/SB17016-Screw-Turbine-RS-LR.pdf> (приступљено 9.02.2020)
- [8] CATIAV5R21 (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application). Преузето са: <https://academy.3ds.com/en/software/catia-v5-student-edition> (приступљено 1.12.2019.)
- [9] <https://www.tradesparq.com/products/1900760/Screw-hydro-turbine-to-10kw-200kw-manufacturers> (приступљено 2.3.2020)
- [10] https://www.alibaba.com/product-detail/Single-Three-phase-Synchronous-Generator-5kva_60663784291.html (приступљено 2.03.2020)
- [11] <https://hengtai-reducer.en.made-in-china.com/product/LvMEzuiPvgWn/China-Flender-Hb-Series-Precision-Helical-Speed-Gear-Reductor.html> (приступљено 22.02.2020)
- [12] <http://tehnikaplast.com/resetke-za-tretman-voda/> (приступљено 25.02.2020)
- [13] http://www.velog.rs/limgazista__resetke/gaziste__pocinkovana_resetka_300x1000mm-3224 (приступљено 25.02.2020)

[14] Hatataa, A., El-Saadawi, M., Saad, S., A feasibility study of small hydro power for selected locations in Egypt, Energy strategy reviews, Volume 24, April 2019 pp 300-313.

Прилог 1.

D

C

B

A

50

527

30

152

R560
R612

1180

560

Ø 40

118

138

720

527

30

Pogled odozgo
Razmera: 1:10

Pogled s leva
Razmera: 1:10

Dizajnirao:

Dusan Petrovic

Datum:

2/3/2020

Proverio:

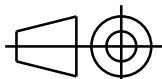
Dusan Gordic

Datum:

7/9/2020

Format

A4



Mini hidroelektrana

Razmera

1:1

Težina (kg)

42.12

Naziv dela:

Resetka

List

1/10

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

D

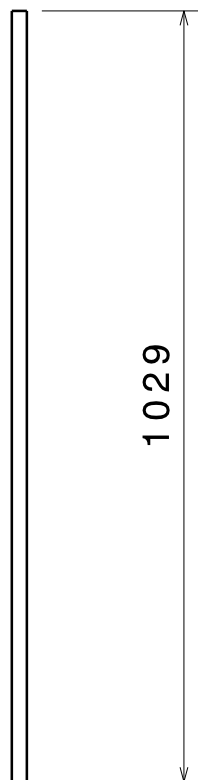
A

D

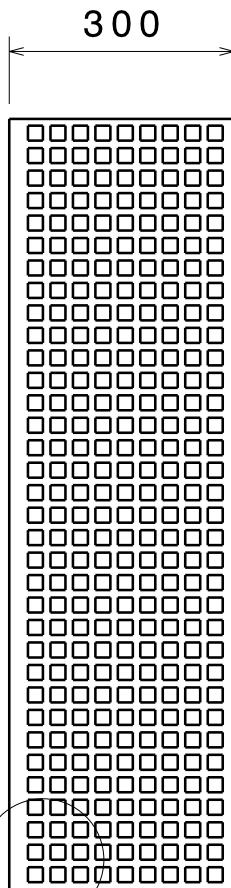
C

B

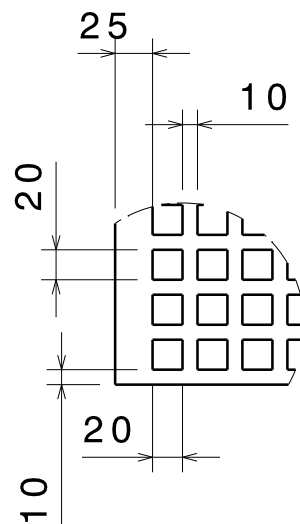
A



Pogled odozgo
Razmera: 1:10



Pogled s leva
Razmera: 1:10



Detalj A
Razmera: 1:5

Dizajnirao:
Dusan Petrovic

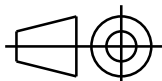
Datum:
2/2/2020

Proverio:
Dusan Gordic

Datum:
7/9/2020

Format

A4



Razmera

1:1

Težina (kg)

10.10

Naziv dela

Mini hidroelektrana

Pravougaona mreza

List

2/10

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

D

A

D

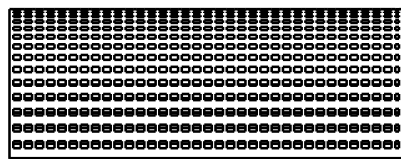
C

B

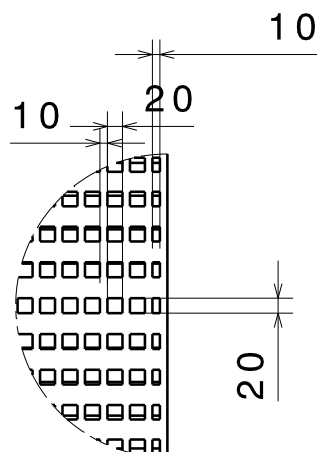
A

4

4



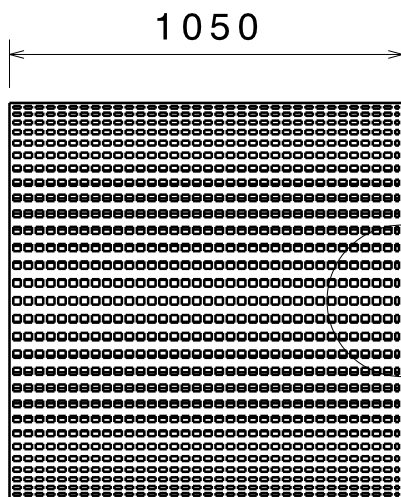
Pogled s preda
Razmera: 1:20



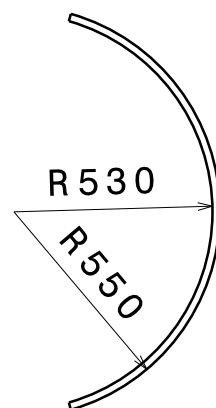
Detalj A
Razmera: 1:10

3

3



Pogled odozgo
Razmera: 1:20



Pogled s leva
Razmera: 1:20

2

2

Dizajnirao:

Dusan Petrovic

Datum:

31/1/2020

Proverio:

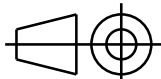
Dusan Gordic

Datum:

7/9/2020

Format

A4



Mini hidroelektrana

Razmera

1:1

Težina (kg)

57.62

Naziv dela:

Mreza kucista turbine 1

List

3/10

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

1

1

D

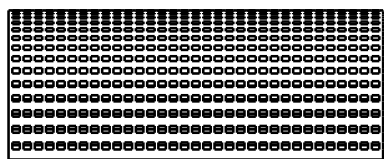
A

D

C

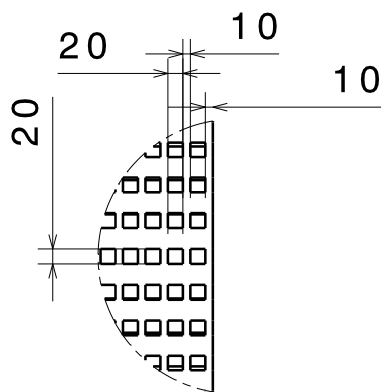
B

A

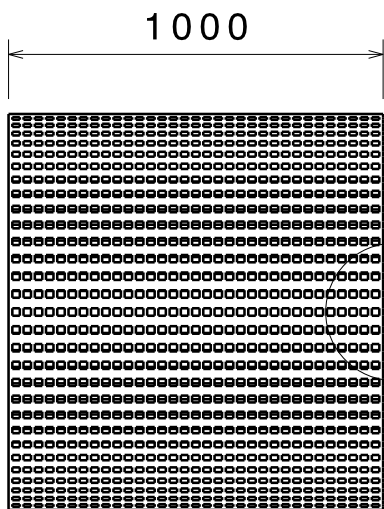


32

Pogled s preda
Razmera: 1:20



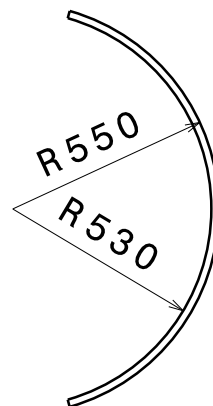
Detalj A
Razmera: 1:10



1000

A

Pogled odozgo
Razmera: 1:20



R550

R530

Pogled s leva
Razmera: 1:20

Dizajnirao:

Dusan Petrovic

Datum:

31/1/2020

Proverio:

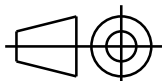
Dusan Gordic

Datum:

7/9/2020

Format

A4



Mini hidroelektrana

Razmera

1:1

Težina (kg)

54.79

Naziv dela:

Mreza kucista turbine 2

List

4/10

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

D

A

D

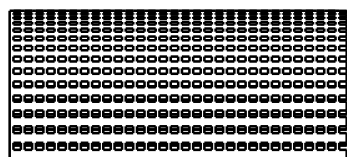
C

B

A

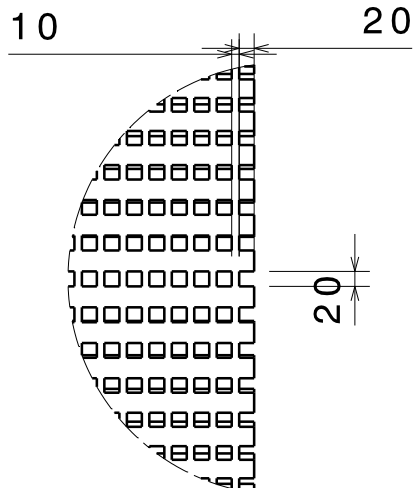
4

4



26

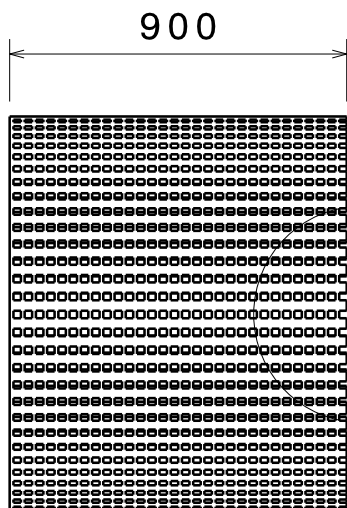
Pogled s preda
Razmera: 1:20



Detalj A
Razmera: 1:10

3

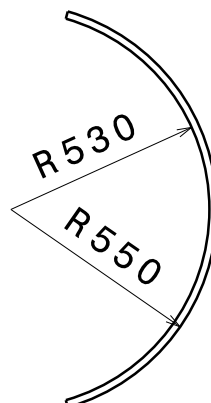
3



900

A

Pogled odozgo
Razmera: 1:20



Pogled s leva
Razmera: 1:20

2

2

Dizajnirao:

Dusan Petrovic

Datum:

31/1/2020

Proverio:

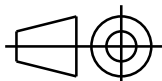
Dusan Gordic

Datum:

7/9/2020

Format

A4



Mini hidroelektrana

Razmera

1:1

Težina (kg)

49.12

Naziv dela:

Mreza kucista turbine 3

List

5/10

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

1

D

A

D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

1

50

657

1180

R612

590

820

Pogled odozgo
Razmera: 1:10

Pogled s leva
Razmera: 1:10

Dizajnirao:

Dusan Petrovic

Datum:

3/2/2020

Pregledao:

Dusan Gordic

Datum:

7/9/2020

Format

A4



Mini hidroelektrana

Razmera

1:1

Težina(kg)

184.14

Naziv dela

Poklopac kanala

List

6/10

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

-

A

-

D

A

D

C

B

A

4

70

B

120

A

4

30

3

1300

3

2

Presek B-B
Razmera: 1:12

Presek A-A
Razmera: 1:12

Pogled s preda
Razmera: 1:12

2

1

1

Dizajnirao:

Dusan Petrovic

Datum:

2/2/2020

Proverio:

Dusan Gordic

Datum:

7/9/2020

Format

A4



Mini hidroelektrana

Razmera

1:1

Težina (kg)

65.87

Naziv dela

Drzac poklopca kanala

List

7/10

I

-

H

-

G

-

F

-

E

-

D

-

C

-

B

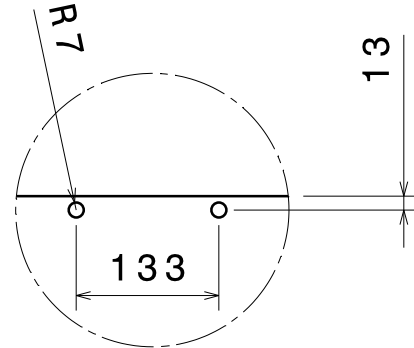
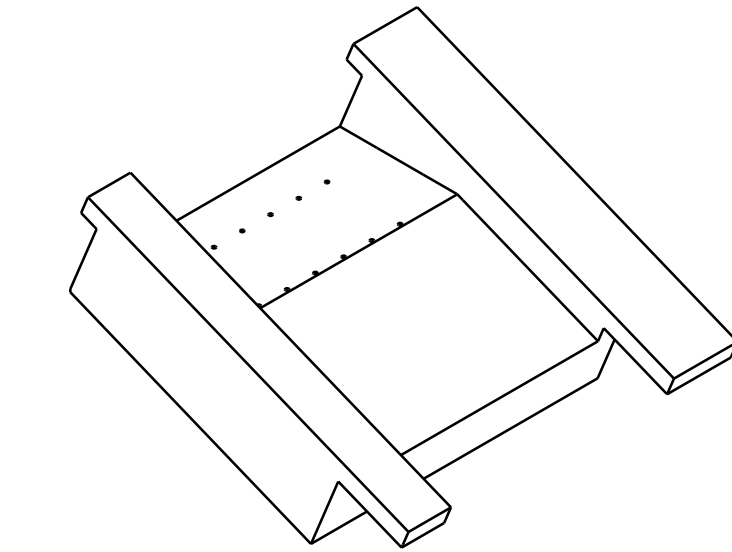
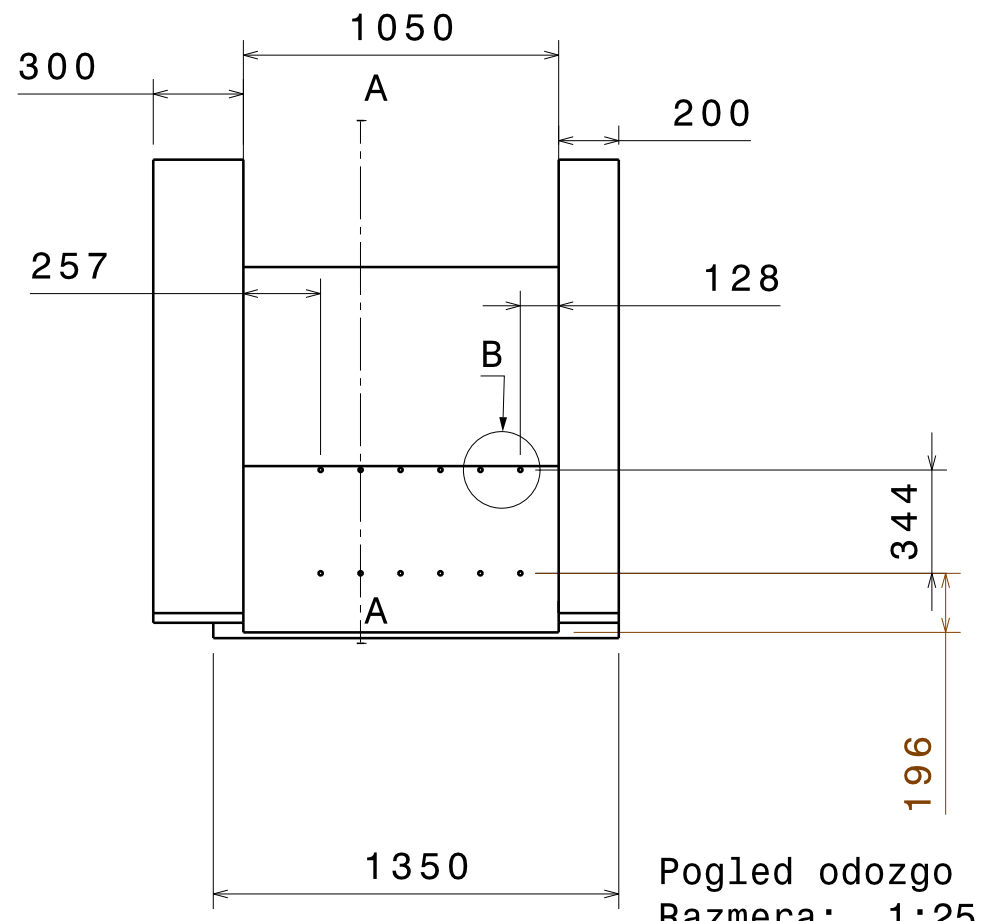
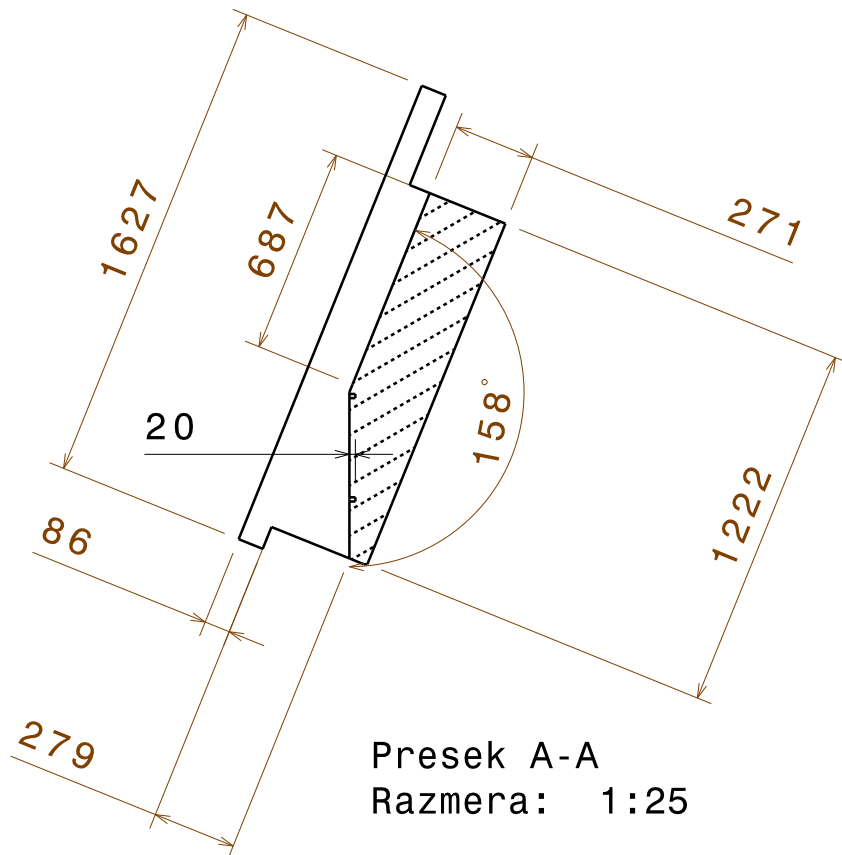
-

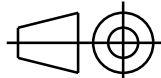
A

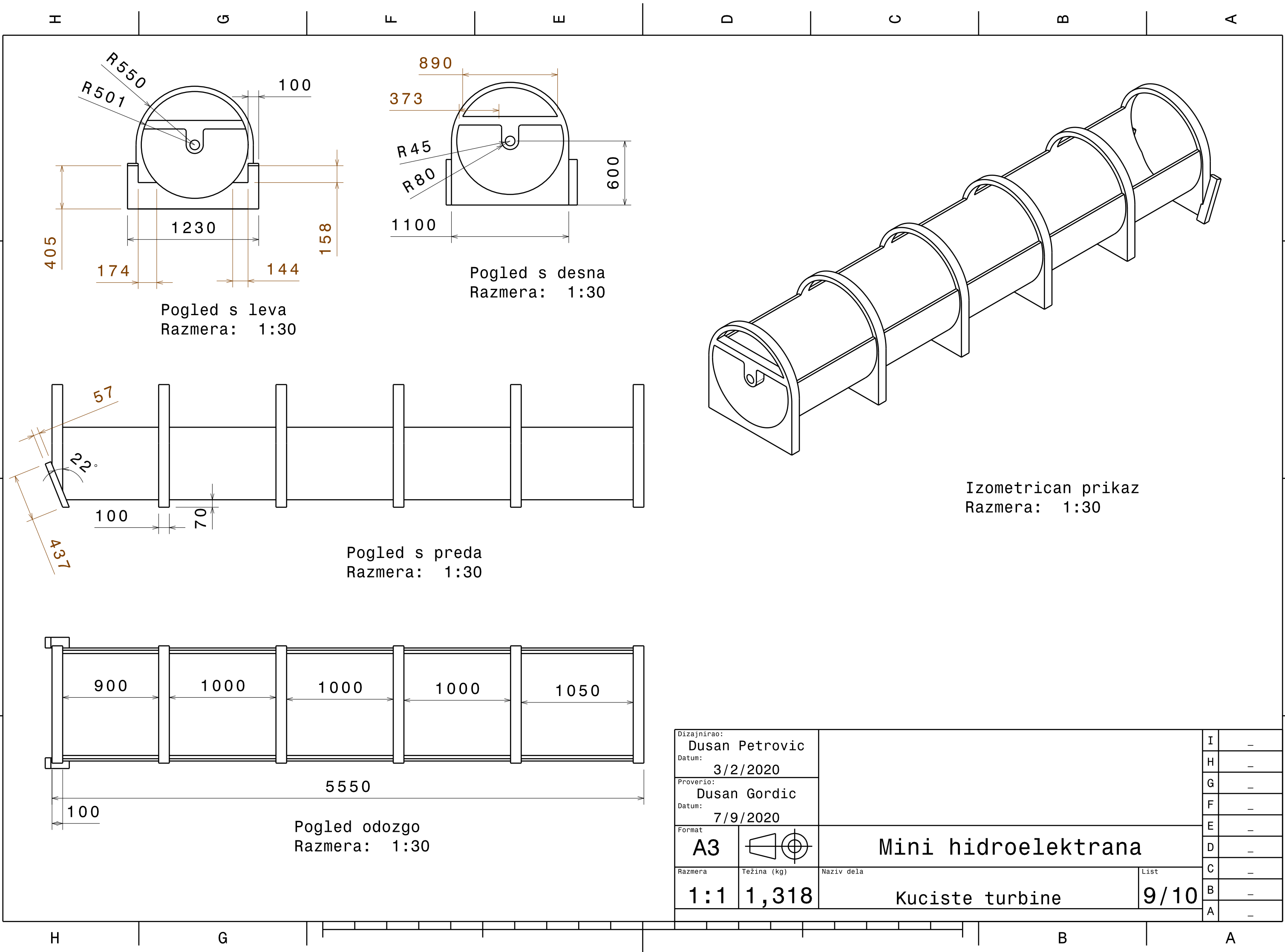
-

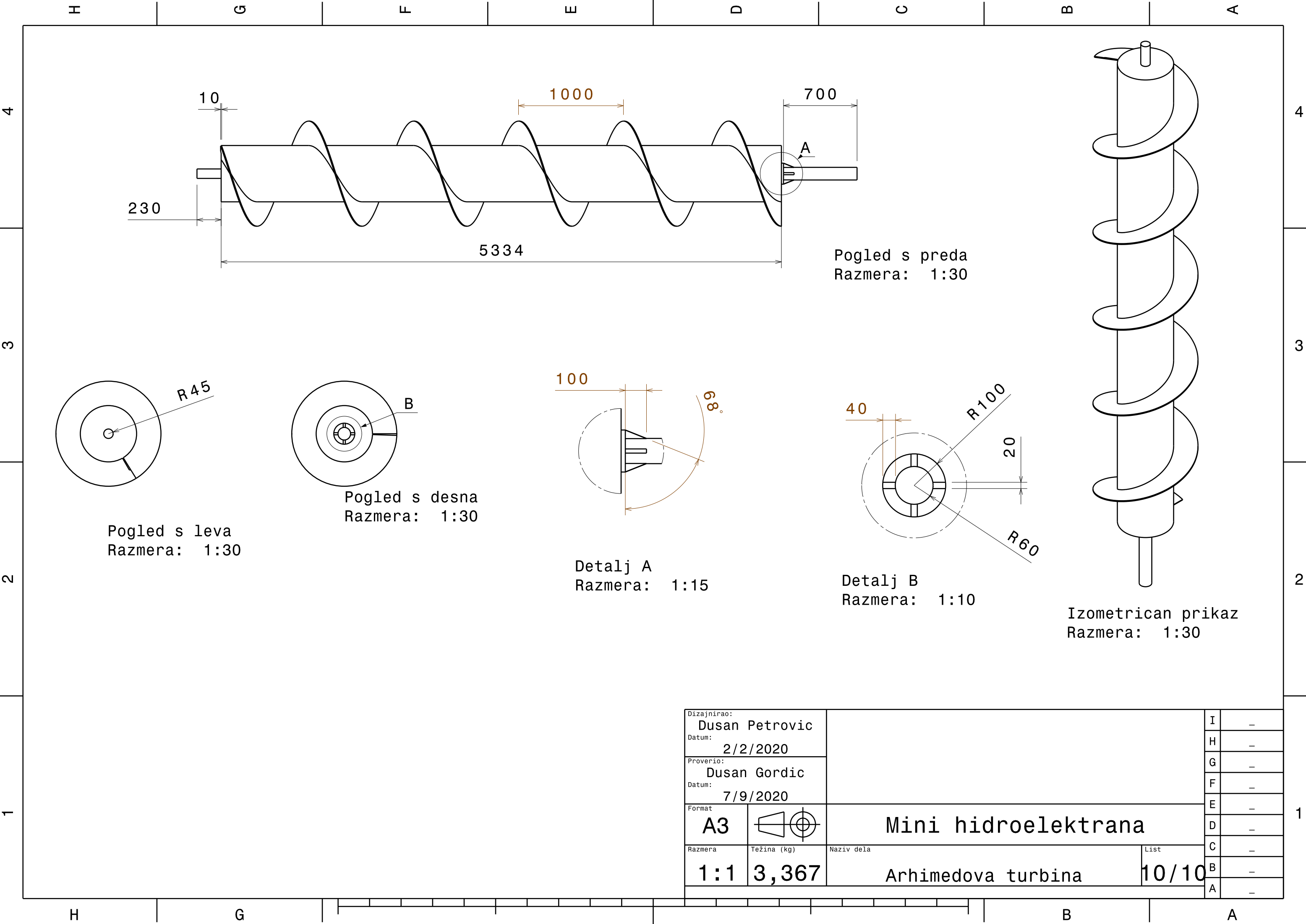
D

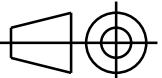
A



Dizajnirao: Dusan Petrovic Datum: 2/2/2020			I	—		
Proverio: Dusan Gordic Datum: 7/9/2020			H	—		
			G	—		
			F	—		
Format A3		Mini hidroelektrana	E	—		
Razmera 1:1	Težina (kg) 549.2		Naziv dela Podloga multiplikatora	List 8/10	D	—
					C	—
					B	—
		A			—	





Dizajnirao: Dusan Petrovic				I	-
Datum: 2/2/2020				H	-
Proverio: Dusan Gordic				G	-
Datum: 7/9/2020				F	-
Format		Mini hidroelektrana		E	-
A3				D	-
Razmera				Težina (kg)	C
1:1	3,367	Naziv dela	List	B	-
		Arhimedova turbina	10/10	A	-