

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Управљање енерго и еко пројектима

Број индекса: 327/2013

Никола М. Петровић

**Пројекат мале хидроелектране са Пелтоновом
турбином за производњу електричне енергије
коришћењем водотока реке Бјелице у Србији са
посебним освртом на биодиверзитет
водотока и водослива**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Милун Бабић - ментор
2. Др Вања Шуштершич
3. Др Слободан Савић

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

Препоручена литература:

- [1] М. Ј. Бабић, С. Стојковић: Турбомашине, теорија и математичко моделирање, Просвета, Београд, 1997.
- [2] Г. Душан: Обновљиви извори енергије 2 – мале хидроелектране, скрипта, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2010.
- [3] Suraj Yadav: Some Aspects of Performance Improvement of Pelton Wheel Turbine with Reengineered Blade and Auxiliary Attachments. International Journal of scientific & Engineering Research Volume 2, Issue 9, September-2011 1 ISSN 2229-5518.

...

Крагујевац, 2015.

ментор:

Проф. др Милун Бабић

РЕЗИМЕ

Студентски тим који чине Ивана Терзић, Александар Радовановић, Никола Стојановић и Никола Петровић је добио задатак да опише, прикаже и представи пројекат мале хидроелектране са Пелтоновом турбином за производњу електричне енергије коришћењем водотока реке Бјелице у Србији.

У уводном делу овог мастер рада приказан је значај, генералне карактеристике и општа класификација обновљивих извора енергије. Даље је описан историјски развој малих хидроелектрана, као и енергетски потенцијал водотокова у Србији. Дат је детаљан опис функционисања хидроелектрана, значај и подела истих; затим, кратак опис законских регулатива, које се односе на добијање дозвола за изградњу малих хидроелектрана у Србији. Приказан је географски слив реке Бјелице, као и улазни параметри на основу којих је извршен детаљан прорачун за постројења са Пелтоновом турбином. Представљене су основе инжењерства водне хидраулике у оквиру којих се налазе основне једначине струјања флуида. Разматран је значај и опис Пелтонове турбине, њено регулисање, извођење и димензионисање. Приказани су 3D модели Пелтонове турбине и извршена је спецификација изабраног генератора. Урађена је детаљна економска анализа мале хидроелектране са Пелтоновом турбином, као и период повраћаја инвестиционих улагања. Као кључна ставка овог мастер рада детаљно је описана израда лабораторијског модела мале хидроелектране са Пелтоновом турбином на коме се могу вршити разна испитивања.

Самостална подстудија овог мастер рада, која не захтева учешће осталих чланова студентског тима, укључује утицај малих хидроелектрана на биодиверзитет водотока и водослива, као и техничка решења помоћу којих су исти сведени на минимум.

Кључне речи: Мале хидроелектране, Пелтонова турбина, Електрична енергија, Биодиверзитет

ABSTRACT

Student team consisting of Ivana Terzić, Aleksandar Radovanović, Nikola Stojanović and Nikola Petrović was given the task to describe, display and present a project of small hydroelectric power plant with Pelton turbine for the production of electricity using the watercourse of the river Bjelica in Serbia.

In the introductory part of this master work, the importance, general characteristics and overall classification of renewable energy sources is shown. Further is described the historical development of small hydroelectric power plant, as well as the energy potential of watercourses in Serbia. Detailed description of functioning hydroelectric power plant, the significance and the division of the same; then, a brief description of the legal regulations related to obtaining permits for construction of small hydroelectric power plant in Serbia was given. The geographical basin of the river Bjelica, as well as input parameters on which it was carried out a detailed calculation for the plant with Pelton turbine were shown. The basics of water hydraulics engineering in within are the basic equations of fluid flow were presented. The significance and description of Pelton turbine and its regulation, designing and dimensioning were considered. 3D models of Pelton turbine is shown and the specification of the selected generator is carried out. Detailed economic analysis of small hydroelectric power plant with Pelton turbine, as well as the payback period of investments was also done. As a key component of this master work, construction of laboratory model of a small hydroelectric power plant with Pelton turbine on which can be perform various tests, were detail explained.

Independent substudy of this master work, which does not require the participation of other members of the student team, includes the impact of small hydroelectric power plant on biodiversity of watercourses and water basin, as well as technical solutions by means of which the same are reduced to a minimum.

Keywords: Small hydroelectric power plant, Pelton turbine, Electrical energy, Biodiversity

САДРЖАЈ

1	Увод	4
2	Хидроенергија	7
2.1	Историјат	7
2.2	Енергија воде	9
3	Хидроелектране	12
3.1	Основни делови хидроелектране	13
3.2	Велике хидроелектране	16
3.3	Мале хидроелектране	17
3.3.1	Проточне мале хидроелектране	18
3.3.2	Акумулационе мале хидроелектране	19
3.3.3	Деривацијске мале хидроелектране	20
3.4	Предности малих хидроелектрана	23
3.5	Недостаци малих хидроелектрана	24
4	Законска регулатива	25
4.1	Уводне напомене	25
4.2	Управљање водама	25
4.3	Водни услови и акта	26
4.4	Мале хидроелектране – правни прописи	27
4.5	Надлежне институције и извори права	28
4.6	Стицање дозволе за изградњу мале хидроелектране	29
5	Река	31
5.1	Слив Западне Мораве	31
5.2	Река Бјелица	33
6	Основи теорије водних турбина	34
6.1	Коришћење енергије воде	34
6.2	Јединични рад турбина	36
6.3	Јединични рад акцијских турбина	38

6.4	Хидраулични степен корисности	40
7	Пелтонова турбина	42
7.1	Хоризонталне Пелтонове турбине	42
7.2	Вертикалне Пелтонове турбине	43
7.3	Основни елементи Пелтонове турбине	45
7.3.1	Лопатице	45
7.3.2	Основа радног кола са вратилом и лежајима	46
7.3.3	Кућиште турбине	47
7.3.4	Спроводни апарат	48
7.4	Протицање воде кроз турбину	49
7.5	Максимална снага турбине	53
7.6	Број лопатица и корак	55
7.7	Положај сечице лопатице	56
7.8	Губици енергије	57
7.9	Коефицијент корисног дејства и карактеристике	61
7.10	Извођење	62
7.11	Начини регулисања Пелтонове турбине	64
8	3D модел Пелтонове турбине	66
9	Генератор	72
10	Економска анализа МХЕ са Пелтоновом турбином	74
11	Утицај малих хидроелектрана на биодиверзитет водотока и водослива	83
11.1	Појам биодиверзитета	83
11.2	Биодиверзитет Србије	84
11.3	Утицај МХЕ на животну средину	85
11.4	Индентификација ограничења и утицаја МХЕ	86
11.5	Утицаји током изградње МХЕ	88
11.6	Утицаји који настају током фазе функционисања МХЕ	90
11.7	Биолошки утицај	92
11.7.1	Методологија одређивања еколошки прихватљивог протока	92

11.7.2	Методе одређивања еколошки прихватљивог протока	96
11.7.3	Пролаз за рибе – рибље стазе	98
12	Израда лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином	105
13	Закључак	115
14	Литература	116
	Прилог 1	118
	Прилог 2	134

1 Увод

Никола Тесла (слика 1): „Енергија, то је кључни проблем будућности – питање живота или смрти. Садашњи извори енергије су непоуздани и трују нашу планету. Можда преживимо то тровање, али доћи ће дан када ће ти извори енергије пресушити.” [1]



Слика 1 Енергија будућности [1]

Занемарујући фундаменталне вредности као што су здравље и опстанак сопствене врсте, основни идеал човека данас је увећање материјалног богатства и сопственог стандарда, често на штету планете Земље. У трци за већим профитом неопходан је сваки атомом доступних извора енергије, било обновљивих или необновљивих.

Необновљивих извора енергије има све мање, а њихов штетни утицај на животну средину и повећање ефекта стаклене баште је све већи. Човечанство улази у светску енергетску кризу чији корени потичу из ранијих епоха. При садашњем тренду раста потребне енергије, резерве угља биће исцрпљене за око сто година, а нафте, земног гаса и урана за око тридесет година. Сагоревање фосилних горива је довело до критичног загађивања животне средине. Изнад Земље је створена димна завеса од честица угљен-диоксида, дима и ситне прашине, која се и даље образује. Димна завеса смањује зрачење Сунца које доспева на површину Земље, што има за последицу њено хлађење. Међутим, угљен-диоксид у димној завеси пропушта краткоталасно Сунчево зрачење према Земљи, али не пропушта дуготаласно зрачење које Земља зрачи у

космос. На тај начин између површине Земље и димне завесе ствара се ефекат стаклене баште, због чега се температура Земље повећава. Од односа ова два ефекта зависи да ли ће на Земљи наступити снижење или повишење средње годишње температуре [2].

Решење ове ситуације је у замени конвенционалне класичне енергије добијене сагоревањем фосилних горива и у све већем коришћењу неконвенционалних обновљивих извора енергије (слика 2).



Слика 2 Обновљиви извори енергије [2]

Обновљиви извори енергије представљају енергетске ресурсе који се користе за производњу електричне или топлотне енергије, односно сваки користан рад, а чије резерве се константно или периодично обнављају. Сам назив обновљиви, базиран је на чињеници да се енергија троши у износу који не премашује брзину којом се ствара у природи.

Према дефиницији усвојеној у Најробију¹ 1981. године у обновљиве изворе енергије спадају:

- сунчева енергија,
- биомаса,
- дрво и дрвени угаљ,
- геотермална енергија,
- енергија плиме и осеке,
- енергија морских таласа,
- термални градијент мора,
- енергија ветра,
- **хидроенергија,**
- вучна енергија животиња.

¹ Одржана је конференција Уједињених нација о обновљивим изворима енергије.

Развој обновљивих извора енергије (нарочито ветра, воде, Сунца и биомасе) важан је из неколико разлога:

- Обновљиви извори енергије имају врло важну улогу у смањењу емисије угљен-диоксида (CO₂) у атмосферу.
- Повећање удела обновљивих извора енергије повећава енергетску одрживост друштва (привреде).
- Повећање удела обновљивих извора енергије побољшава сигурност извора енергије, а самим тим смањује зависност од увоза енергетских сировина и електричне енергије.
- Очекује се да ће обновљиви извори енергије постати конкурентни конвенционалним изворима енергије.

Неколико технологија, нарочито енергија ветра, **мале хидроцентrale**, енергија биомасе и Сунчева енергија су економски конкурентне [2], [3], [4].

2 Хидроенергија

2.1 Историјат

Хидроенергија је енергија која потиче од снаге воде, па отуда и њен назив. Представља конвенционалан обновљив извор енергије, који се вековима користи за добијање механичке, а већ дуже од сто година и електричне енергије.

Око 3/4 Земљине површине на прекривено је водом и процењује се да је укупна количина воде на земљиној кугли око 1,4 милијарде km^3 . Коришћење енергије воде први пут се спомиње чак пре 2000 година у старој Грчкој и Египту, где су водени точкови били повезани са млинским каменом да би самлели жито (слика 3).



Слика 3 Радно коло воденице [3]

Касније, ти исти водени точкови су били повезани са основном опремом као што су струг, тестере и разбој да би се производио намештај и тканине. Водена снага је отворила нову еру 1876. године, када је у Баварској изграђена прва хидроелектрана на свету, а служила је за снабдевање електричном енергијом дворца Линдерхоф, који се налазио у близини. Прва јавна хидроелектрана изграђена је у Швајцарској 1883. године и имала је снагу од 135 kW. Даљи развој хидроелектрана био је омогућен када се проширила употреба виших напона за пренос електричне енергије (далековод – први

пренос 1891. године на удаљеност од 177 km Луфен-Франкфурт) и развојем турбина и генератора.

Прва права хидроелектрана која је производила наизменичну струју, по замислима Николе Тесле, изграђена је на Нијагариним водопадима, између САД и Канаде. Пуштена је у рад 1895. године.

Прва хидроелектрана у Србији са Теслиним системом трофазних струја пуштена је у рад 2. августа 1900. године у Ужицу на реци Ћетињи „Под градом” (слика 4). Заустављена је 1970. године, па поново покренута 2000. године и ради и данас. Такође, 1900. године покренута је хидроелектрана на реци Градац код Ваљева.



Слика 4 Хидроелектрана на реци Ћетињи [5]

Следећа хидроцентрала пуштена је у рад 1903. године на реци Вучјанка у Вучју код Лесковца. Наредна изграђена хидроцентрала била је „Света Петка” на Нишави 1908. године, затим „Гамзиград” на Црном Тимоку код Зајечара 1909. године. Све три хидроелектране раде и данас.

После Другог светског рата прва хидроелектрана која је направљена, била је „Соколовица” на Тимоку код Чокоњара (близина Зајечара) 1948. године. Прва хидроелектрана на Дрини је била „Зворник” која је пуштена у рад 1955. године.

Наша највећа хидроелектрана „Ђердап 1” је пуштена у погон августа 1970. године. Сви генератори су прорадили пуном снагом 16. маја 1972. године. Последња значајнија хидроелектрана „Пирот” на Височкој реци, пуштена је у погон 1990. године. Од тада није било значајнијих инвестиција у нове објекте хидроенергетике.

После открића електричног генератора у 19. веку, почеле су да се граде све веће хидроелектране, где се механичка енергија воде претвара у електричну у генератору.

Предност је да се енергија преко проводника може пренети на велике удаљености. Раније фабрике су често морале да буду на обалама река, како би директно искористиле хидроенергију, поготово пре открића парне машине. Парне машине нису биле погодне за мале потрошаче, па је појава „јефтиног” електрицитета из хидроелектрана решила тај проблем [3], [5].

2.2 Енергија воде

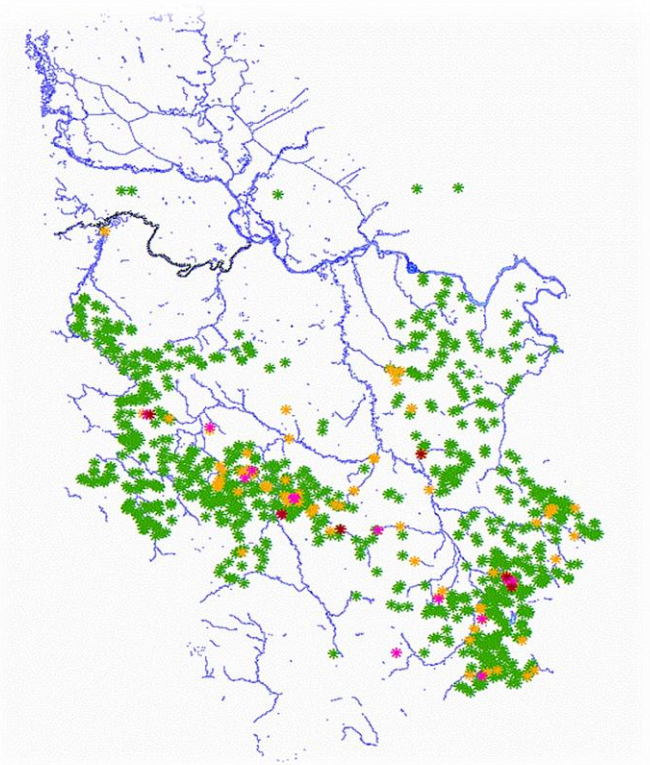
Повећање цене нафте у свим деловима света, као и повећана забринутост о негативним утицајима сагоревања угља, нуклеарне енергије, па и великих хидроелектрана на животну средину, повећали су интересовање за коришћење хидроенергетског потенцијала малих водотокова у разним деловима света. То је условило развој модерних хидротурбина, које могу да раде под условима малих протока и малих падова водене масе. Мале хидроелектране (МХЕ) пружају одређене предности у том смислу, јер је инсталација релативно мала и може бити и естетски и еколошки прихватљива.

После много година експерименталног рада у многим земљама, мале хидроелектране постају све атрактивније и еколошки прихватљиве у многим деловима света, док је њихова цена конкурентна новим термо и нуклеарним електранама, а утицај нових брана на околину је минималан у поређењу са великим хидроелектричним пројектима.

Хидроелектрична енергија се добија кроз две фазе. У првој фази потенцијална енергија водене масе покреће хидрауличну турбину и претвара се у механичку енергију, а у другој фази ова механичка енергија покреће генератор који је претвара у електричну енергију. Снага генерисане електричне енергије зависи од протока водене масе и разлике у нивоу између извора водотока и испуста акумулације (пад) [6].

Енергетски потенцијал малих водотокова у Србији

Укупни хидропотенцијал Србије процењен је на око 31.000 GWh годишње. Већи део тог потенцијала (око 62%) је већ искоришћен, јер је економски оправдано грађење већих производних капацитета. Остатак хидропотенцијала је искористив грађњом мањих и скупљих објеката, посебно ако се рачуна на мини и микро електране. Неке процене потенцијала малих хидроелектрана, које укључују мини и микро електране на преко хиљаду могућих локација са инсталисаном јединичном снагом испод 10 MW, показују да је на малим водотоковима могуће остварити укупну инсталисану снагу од око 500 MW и производњу 2.400 GWh/god. Од тога се половина потенцијала (1.200 GWh/god.) налази у ужичком, нишком и крљевачком региону, где може бити искоришћен у бројним малим постројењима са укупном инсталисаном снагом од око 340 MW распоређеном на око 700 локација (слика 5).



Слика 5 Енергетски потенцијал малих водотокова у Србији [7]

Данас је у погону само 31 мини хидроелектрана укупне снаге 34 MW и годишње производње од 150 GWh. Међутим, иако мање значајан у енергетском смислу, значај малих хидроелектрана је стратешки много већи, како са становишта сигурности снабдевања локалних потрошача електричном енергијом произведеном из обновљивих извора, тако још више са становишта запошљавања домаћих капацитета за производњу опреме и извођење радова.

Индиректни економски ефекти градње малих хидроелектрана

Полазећи од тога да за погон користи обновљив извор енергије, свака, па и мала хидроелектрана замењује потрошњу угља (око 1,4 kg по сваком kWh произведне електричне енергије) или/и природног гаса, те је у функцији одрживог развоја не само у погледу очувања постојећих природних ресурса, већ и у погледу заштите животне средине. Значајни економски ефекти градње малих хидроелектрана могу настати и због релативно великог домаћег учешћа радне снаге и индустрије, практично без увоза опреме из иностранства. Домаће учешће у оваквим малим пројектима је много веће него што је у случају великих постројења.

Динамика и ефекти градње малих хидроелектрана

Економска ситуација у Србији не иде у прилог развоју и инвестирању у обновљиве изворе енергије и то ће се одразити у будућности повећаним увозом

енергената и већим задуживањем. Сама чињеница да се ради о релативно великим почетним улагањима јасно се указује да је иницијатива државе неопходна и да је првенствено потребно донети и спровести законску регулативу уз финансијски подстицај. Држави треба да буде највећи интерес управо у индиректним ефектима који ће се огледати у смањењу увоза електричне енергије, коришћењу обновљивих извора енергије ради чувања необновљивих, смањењу загађивања животне средине, регулисању водотокова и запошљавању домаће индустрије. Цена електричне енергије у Србији у будућности треба знатно да порасте и тада директни ефекти у периоду експлоатације од педесет година могу да буду много већи.

3 Хидроелектране

Хидроелектране су енергетска постројења у којима се потенцијална енергија воде помоћу турбине претвара у механичку (кинетичку) енергију, а која се затим у генератору користи за производњу електричне енергије. Хидроелектрану чине све грађевине и постројења која служе за прикупљање (акумулирање), довођење и одвођење воде (брана, захват, доводни и одводни канали, цевоводи итд.), претварање енергије (турбине и генератори), трансформацију и дистрибуцију електричне енергије (трансформатори и далеководи), као и за смештај и управљање целог система (машинска зграда).

Искоришћавање енергије водног потенцијала економски је конкурентно производњи електричне енергије из фосилних горива и нуклеарног горива. Зато је хидроенергија најзначајнији обновљиви извор енергије (представља 97% енергије произведене од свих обновљивих извора).

Значај хидроелектрана је вишеструк: хидроенергија је чиста, нема отпада, нема трошкова горива (вода је бесплатна, под условом да је има у довољним количинама); модерне хидроелектране могу и до 90% енергије воде претворити у електричну енергију, постављање хидроелектране у погон за покривање наглих повећања потрошње врло је брзо, вештачка језера настала изградњом хидроелектрана локално доприносе економији и омогућавају наводњавање, водоснабдевање, туризам и рекреацију.

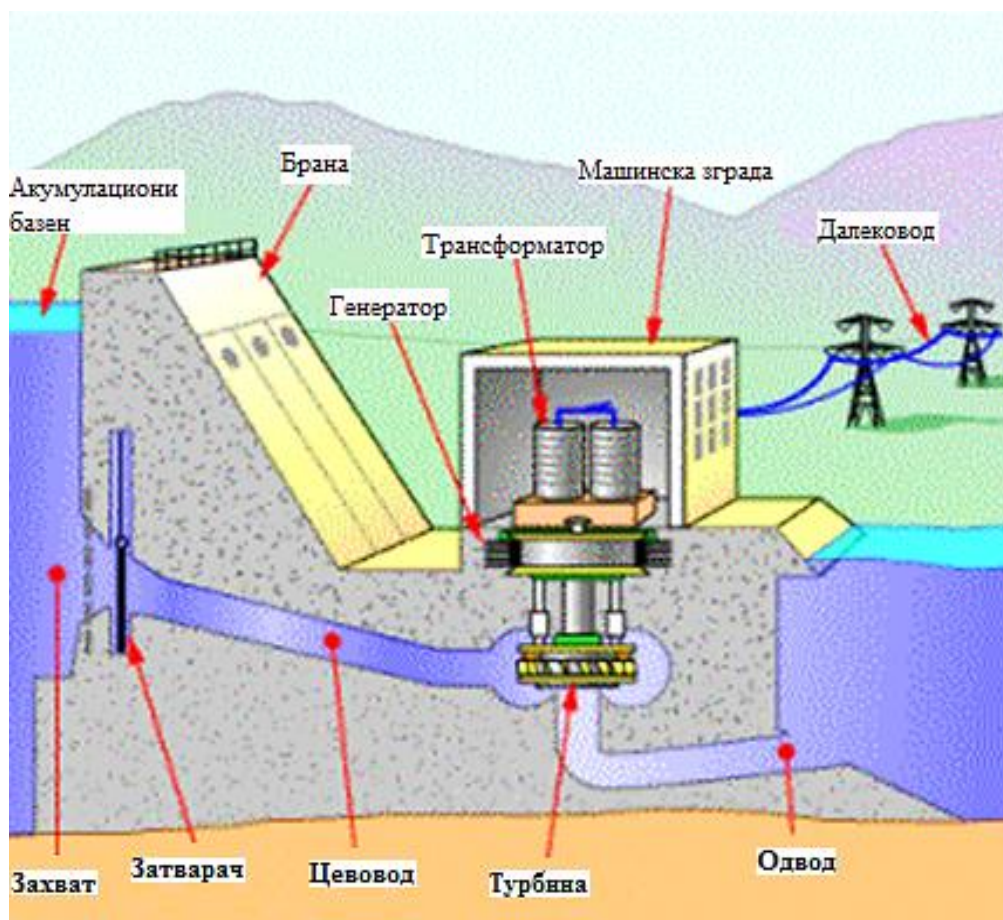
Хидроенергија значајно заостаје за производњом у нуклеарним електранама и термоелектранама. Коришћење хидроенергије има битна техничка и природна ограничења. Главно ограничење је захтев за постојањем довољне количине воде током целе године. Како би се избегле осцилације водостаја на одређеним локацијама потребно је изградити бране и акумулациона језера. Изградња акумулационих језера често захтева потапање великих делова долина, а понекад целих насеља и историјских споменика.

Осим што се на тај начин повећава цена изградње, јавља се и проблем подизања нивоа подземних вода око акумулације. Ниво подземних вода утиче на биљни и животињски свет. Долази и до промена односа седиментације и ерозије унутар речног корита и око њега (клизишта). То све указује да хидроенергија није потпуно безопасна за животну околину. Велику опасност могу представљати и земљотреси па је у неким зонама потребна и додатна заштита.

Хидроенергија, за разлику од осталих начина искоришћавања обновљивих извора енергије, нема проблем са недостатком потребне технологије, већ недостатком потребних локација. Многе од најбољих локација широм света су већ искоришћене. За разлику од капиталних пројеката којих је све мање, још увек је довољно пројеката малих хидроелектрана, код којих су ризици лошег утицаја на околину много мањи, а енергетске потребе и сигурност инвестиције много веће [8].

3.1 Основни делови хидроелектране

Сви делови хидроелектране који су у непосредном контакту са водом, односно служе за њено прикупљање, довођење и одвођење, као и претварање њене енергије чине хидротехнички систем хидроелектране (слика 6).



Слика 6 Основни делови хидроелектране [8]

Основни делови хидроелектране су:

- брана или преграда,
- захват воде,
- довод воде,
- прекидна комора (водостан) или водена комора,
- цевовод под притиском,
- водене турбине или хидротурбине,
- систем заштите од хидрауличног удара,
- генератор,
- машинска зграда,

- трансформаторска станица,
- одвод воде.

Брана или преграда

Брана је основни део хидротехничког система, па и целог постројења хидроелектране, а има троструку улогу:

- скретање воде са њеног природног тока према захвату хидроелектране,
- повећање нивоа воде како би се повећао пад,
- формирање акумулације.

Бране се убрајају у највеће грађевине на земљи. Знатно смањују опасност од поплава и суша. Међутим, у најразвијенијим индустријским земљама света у последње време успорена је изградња брана, пошто су најпогодније локације већ искоришћене. Према висини, бране могу бити: високе и ниске, а према начину израде: масивне (бетонске) или насуте (земљане или камене). Ниске бране се називају и праговима, што је чест случај код малих водотокова, односно код малих хидроелектрана.

Захват воде

Захват воде прима и усмерава воду задржану у акумулацији према доводу, односно турбини. Постоје два типа захвата: захват на површини воде и захват испод површине. Када је преграда ниска и ниво воде готово константан изводи се на површини, док се испод површине и то на најнижем могућем нивоу изводи у случају када се ниво воде током године значајно мења. Пролаз воде кроз захват регулише се затварачима.

Довод воде

Довод воде део је хидротехничког система који спаја захват воде са прекидним комором (водостаном) односно са воденом комором. У зависности од изгледа околног земљишта и погонских услова, може бити:

- отворен (канал),
- затворен (тунел) – може бити гравитациони или под притиском.

Гравитациони тунел није потпуно испуњен водом па за промену протока воде треба вршити регулацију захвата, док код тунела под притиском вода испуњава цео попречни пресек и за промену протока не треба вршити регулацију захвата. Са гледишта еластичности система (могућности одговарања на промене у електроенергетском систему), канали под притиском су повољнији, пуно еластичнији у погону, јер без икаквог деловања могу пратити промену оптерећења.

Прекидна комора (водостан) или водена комора

Водостан представља последњи део довода, а служи за регулацију приликом промене оптерећења. Димензионисање водене коморе има велики утицај на правилно функционисање хидроелектране. Када је довод изведен као гравитациони тунел, довод мора имати одговарајућу запремину како би се у њему могле сачувати веће количине воде, а када је изведен као тунел под притиском, његове димензије морају бити такве да притисак не порасте преко допуштене границе или да ниво воде не падне испод висине улаза у цевовод под притиском.

Цевовод под притиском

Цевовод доводи воду од прекидне коморе до турбине. Израђује се од челика или бетона (код мањих падова), а према положају може бити на површини или у тунелу. На улазу у цевовод под притиском обавезно се налази затварач који има сигурносну улогу. Помоћу затварача се спречава даљи доток воде у цевовод у случају пуцања цеви. Испред главног затварача редовно се поставља и помоћни, који омогућава обављање радова на главном без потребе за пражњењем система. Обилазни цевовод је смештен на почетку цевовода под притиском и служи за његово постепено пуњење, као и за изједначавање притиска испред и иза затварача. Постављање затварача на дну цевовода под притиском зависи од броја турбина које су везане на један цевовод.

Водене турбине – хидротурбине

Хидротурбине представљају средњи део система и служе за претварање потенцијалне енергије струјања воде у кинетичку енергију, а затим променом количине кретања у радном колу, у механичку енергију окретањем вратила турбине, које је спојено са генератором. У генератору се механичка енергија претвара у електричну енергију. Турбина се састоји углавном од једног спроводног дела који води даје довољно велику брзину и преко једног обртног радног кола одузима енергију од воде.

У зависности од начина преношења енергије водотока на њих, тј. према промени притиска воде при струјању кроз радно коло, водене турбине могу бити:

- акцијске турбине²,
- реакцијске турбине³.

Турбине се често деле и према начину извођења, по правилу према имену конструктора или произвођача, па постоје: Францисове, **Пелтонове**, Капланове, Банкијеве, итд. Примена ових турбина зависи од количине протока воде и висине пада воде.

² Користе само кинетичку енергију млаза, док се притисна енергија скоро не мења од улаза до излаза из радног кола.

³ У радном колу ових турбина, мењају се сва три параметра струјне енергије (притисна, кинетичка и положајна енергија).

Систем заштите од хидрауличног удара

Систем заштите од хидрауличног удара служи за спречавање повећања притиска преко дозвољене границе, односно воденог (хидрауличног) удара у цевоводу. Висина притиска при томе зависи од времена потребног за затварање затварача на дну цевовода.

Генератор

Генератор је уређај у коме се механичка енергија окретања вратила претвара у електричну. Може бити постављен вертикално (код великих хидроелектрана) или хоризонтално (код мањих хидроелектрана или у случају када су две турбине спојене на један генератор). Код црпно акумулационих хидроелектрана, уз турбину и генератор се на истом вратилу налази и пумпа па генератор може радити и као мотор.

Машинска зграда

Машинска зграда је грађевина у којој су смештене турбине, вратила, генератори, као и сви потребни управљачки и разни помоћни уређаји. Може бити изграђена на отвореном, као зграда, или укопана у тунелу.

Трансформаторска станица

Трансформаторска станица представља везу електроенергетског система и хидроелектране. Изводи се у непосредној близини машинске зграде. Ретки су случајеви изградње трансформаторске станице на великој удаљености у односу на хидроелектрану, осим када је изградња условљена недостатком околног земљишта.

Одвод воде

Одвод воде представља завршни део хидротехничког система, а може бити изведен као канал или као тунел. Служи за враћање воде искоришћене у турбини назад у корито водотока или за довод воде до захвата следеће електране [8], [9], [10].

3.2 Велике хидроелектране

Велике хидроелектране су мега грађевине које значајно утичу на хидроенергетски потенцијал земље, доприносе развоју, али и свакако мењају локацију на којој су изграђене (позитивни и негативни еколошки ефекти).

3.3 Мале хидроелектране

За мале хидроелектране се сматра да немају никакав штетан утицај на животну околину и у томе је њихова предност, за разлику од великих чија се штетност описује кроз велике промене екосистема (градња великих брана), утицаја на земљиште, поплава, утицаја на слатководни живи свет, постојања штетних емисија у читавом животном циклусу хидроелектране које су углавном везане за период изградње електране, производњу материјала и транспорт.

Појам мале хидроелектране може се посматрати са различите тачке гледишта и разликује се од земље до земље, у зависности од њеног економског стандарда, хидролошких, метеоролошких, топографских и морфолошких карактеристика локације, као и од степена технолошког развоја.

Разлика између великих и малих хидроелектрана је у инсталисаној снази. Гранична снага која одређује мале хидроелектране такође се разликује од земље до земље. Неке земље попут Португалије, Шпаније, Ирске, Грчке и Белгије су прихватиле 10 MW као горњу границу инсталисане снаге за мале хидроелектране. У Италији је та граница 3 MW, у Шведској 1,5 MW, у Француској 8 MW, у Индији 15 MW, а у Кини 25 MW.

Међутим, у Европи се све више прихвата капацитет од 10 MW инсталисане снаге као горња граница и ту границу је подржало Европско удружење малих хидроелектрана (ESHA – *The European Small-Hydropower Association*), Европска комисија и Међународна унија произвођача и дистрибутера електричне енергије (UNIPED – *International Union of Producers and Distributors of Electricity*). У категоризацији малих хидроелектрана, израз „мини” обично се односи на системе капацитета испод 1 MW, „микро” испод 100 kW и „пико” испод 5 kW. У Србији према законској регулативи та граница је 10 MW.

Мале хидроелектране се све више користе широм света за добијање електричне енергије. Оне морају бити пројектоване и изведене тако да искоришћавају хидропотенцијал малих водотокова на оптималан начин. Економски исплатива решења су базирана на новим технологијама које омогућавају висок степен искоришћења енергије и техникама које пружају максималну заштиту животне средине.

Према величини бруто напора разликују се три категорије идејних решења:

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

Према повезаности са мрежом и начином рада разликују се:

- изоловане електране – самостални рад,
- електране везане на мрежу – паралелни рад,
- електране које раде под режимом: on – off,

- електране у којима ради једна, две или више јединица,
- електране које раде по потреби, у зависности од потрошње.

Према начину извођења мале хидроелектране се могу поделити на три основне групе:

- проточне мале хидроелектране („run – off – river”),
- акумулационе мале хидроелектране,
- деривацијске мале хидроелектране [8], [11].

3.3.1 Проточне мале хидроелектране

Проточна мала хидроелектрана гради се без складиштења воде, односно без резервоара (слика 7).

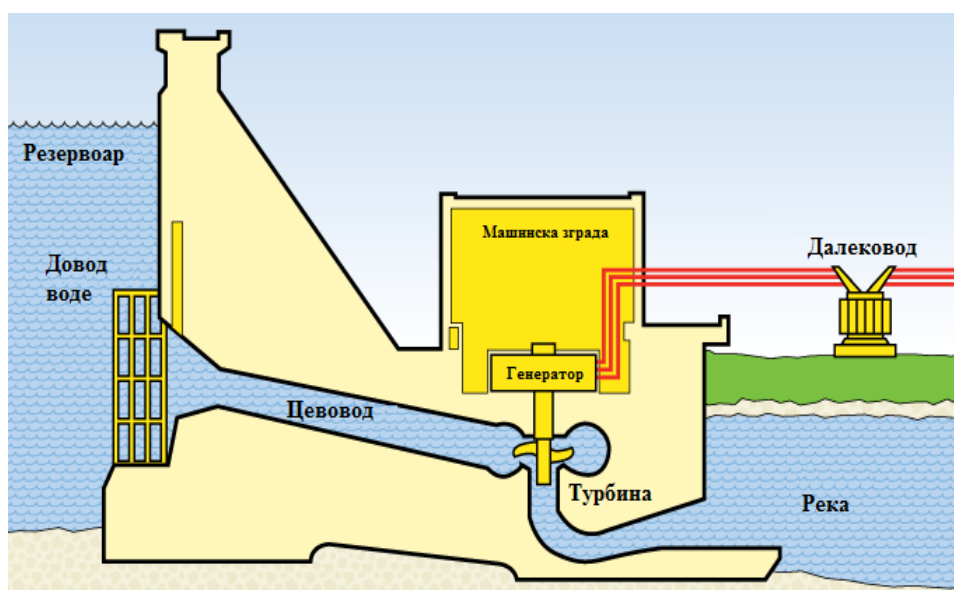


Слика 7 Проточна мала хидроелектрана [11]

Овакав начин извођења хидроелектране се заснива на малој висинској разлици испред и иза места захватања воде, тако да се не користи потенцијална енергија разлике нивоа, већ само кинетичка енергија коју поседује водоток. Зато снага овакве електране зависи од тренутне количине воде која се налази у природном току. Ови типови хидроелектрана у суштини не дају довољну снагу, па се сходно томе користе за снабдевање изолованих подручја или индустрије уколико је њихов минималан проток довољан да задовољи максималне прописане снаге. У неким случајевима при изradi мале проточне хидроелектране врши се скретање тока реке, услед чега се користи висински пад који настаје због удаљености реке. Преусмеравање тока се врши малом браном како би се ток усмерио према захвату, што за последицу има смањени проток у реци између захвата и машинске зграде.

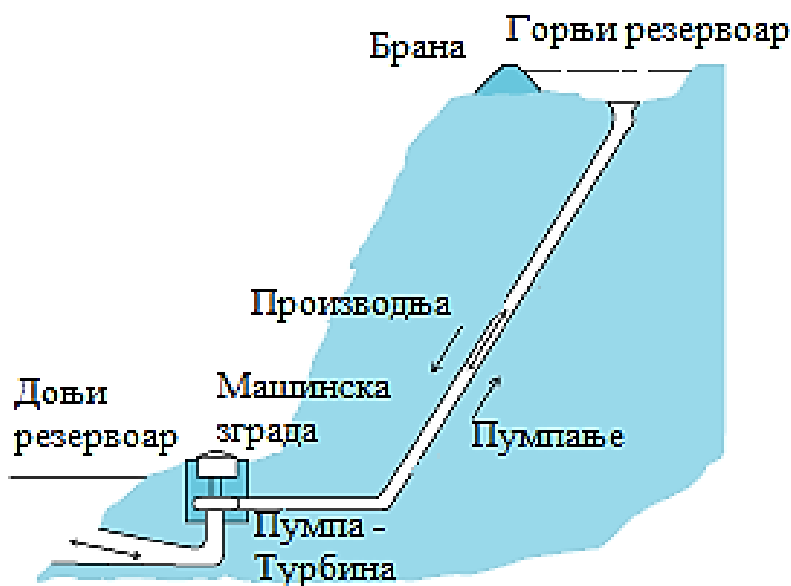
3.3.2 Акумулационе мале хидроелектране

Први тип извођења мале хидроелектране са резервоаром (*Hydroelectric Dam*) јесте акумулациона хидроелектрана (слика 8), која се формира преграђивањем реке и заустављањем тока (брана), што за циљ има стварање великог акумулационог језера узводно од бране које садржи велике количине воде и представља резервоар енергије, али се може користити и у друге сврхе (наводњавање, риболов итд). Употребљавају се уколико постоји захтев да се обезбеди потребна снага, у сваком тренутку. Код овакве врсте електране обично постоје велике годишње варијације у количини дотока воде. Акумулационо језеро поседује потенцијалну енергију која је резултат висинске разлике горње коте језера и тачке монтаже генератора, а која се претвара у кинетичку енергију воде која покреће лопатице турбине. Вода се од бране одводи тунелима који могу бити километрима дуги до места где је саграђено постројење електране са турбинама и генераторима. Стварање нових акумулација за мале хидроелектране обично није финансијски исплативо, осим евентуално на изолованим и удаљеним местима где вредност енергије има веома високу цену. Преграђивање или скретање природних речних токова може се негативно одразити на животну средину, па у овом случају добро решење представља неко природно језеро чију енергију би могли да искористимо за производњу електричне енергије чиме не би нарушили природни екосистем тог подручја.



Слика 8 Акумулациона мала хидроелектрана [12]

Други тип малих хидроелектрана са резервоаром представља реверзибилна хидроелектрана (*Pumped-storage Plants*) која је приказана на слици 9.



Слика 9 Реверзибилна мала хидроелектрана [12]

Реверзибилна хидроелектрана има два простора за складиштење водене масе:

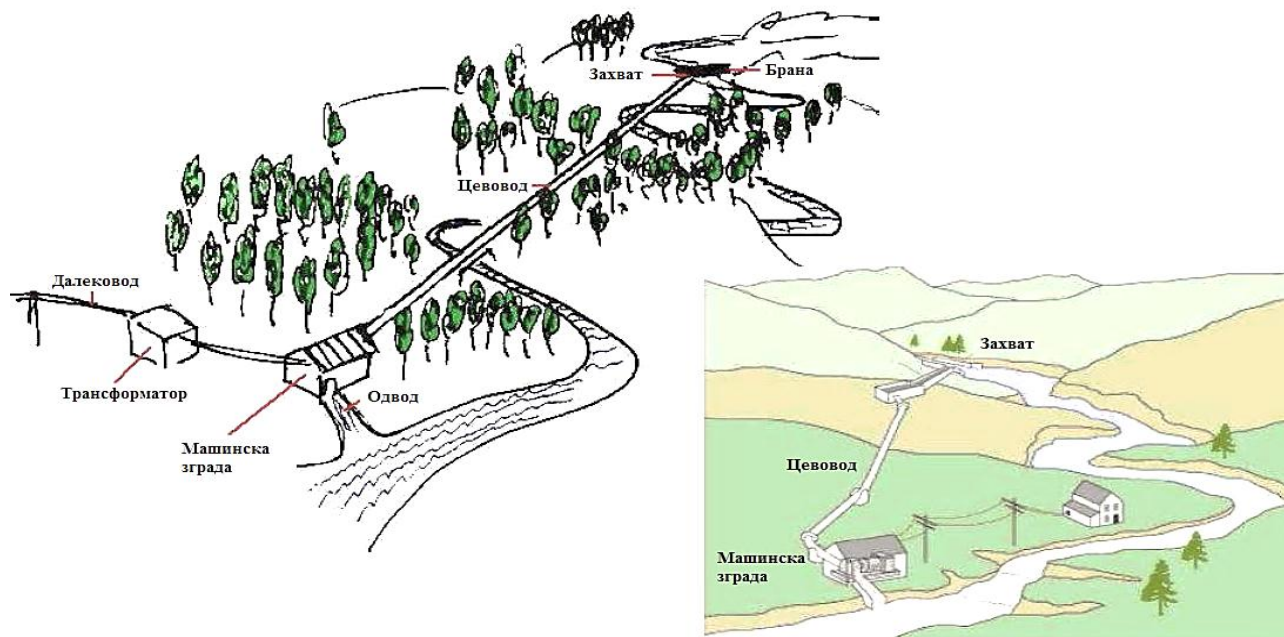
- Горња акумулација – иста је као и код акумулационих језера класичних хидроелектрана. Градњом бране осигурава се акумулација воде, која протиче кроз постројење и резултује производњом електричне енергије.
- Доња акумулација – вода која излази из хидроелектране улива се у друго, доње акумулационо језеро, уместо да се враћа у основни ток реке.

Када је потрошња електричне енергије мала, вода се пумпа из доњег језера тј. из доње у горњу акумулацију. Енергија која је потребна за пумпање воде мора бити генерисана од стране неких других извора. То се обично ради ноћу, јер је тада потрошња енергије најмања. Реверзибилна турбина/генератор се може понашати и као пумпа и као турбина. Дању се пребацује на производњу електричне енергије и тада се празни горња акумулација, вода се пропушта кроз турбину натраг у нижи резервоар и притом се генерише електрична струја. Овакве хидроелектране служе уравнотежењу производње и потрошње у електричној мрежи. Ово није енергетски ефикасно решење, али је ипак прихватљиво решење, јер не захтева коришћење више термоелектрана за покривање дневног капацитета потрошње.

3.3.3 Деривацијске мале хидроелектране

Деривацијска хидроелектрана је врста хидроелектране код које се машинска зграда за производњу електричне енергије налази измештена на некој удаљености

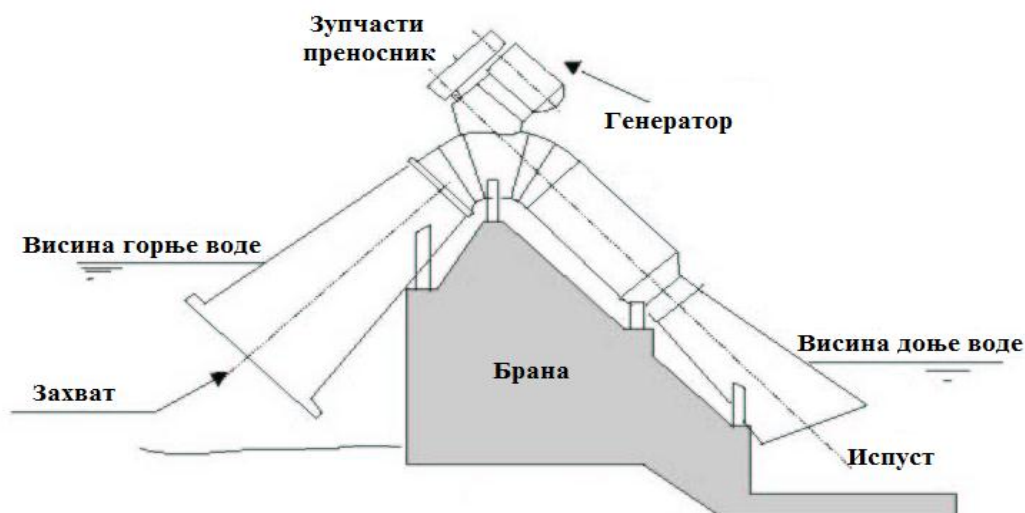
(низводно од бране), а вода се доводи посебним цевима са захвата до машинске зграде. На слици 10 приказана је једна деривацијска хидроелектрана [8], [11].



Слика 10 Деривацијска мала хидроелектрана [11]

Нископритисне хидроелектране са сифонским одводом

У случају да брана није превисока може се уградити сифонски довод (слика 11). Интегрални сифонски довод омогућује једноставно извођење постројења, најчешће висине до 10 m и за постројења до 1000 kW, иако постоје постројења са сифонским доводом са инсталираном снагом до 11 MW (Шведска) и висине до 30,5 m (САД).

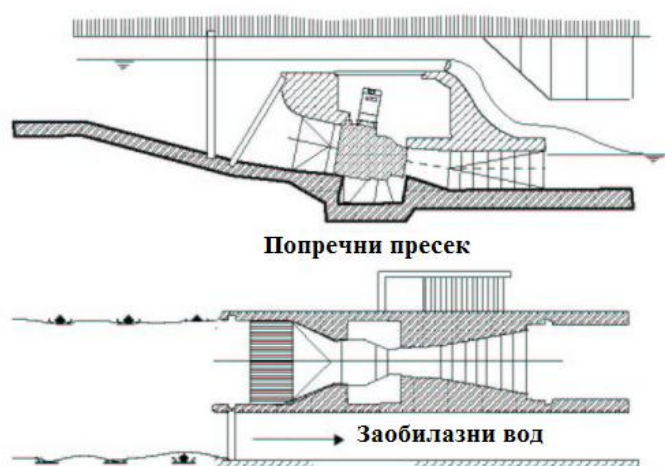


Слика 11 Нископритисна хидроелектрана са сифонским доводом [8]

Мале хидроелектране интегрисане у канал за наводњавање

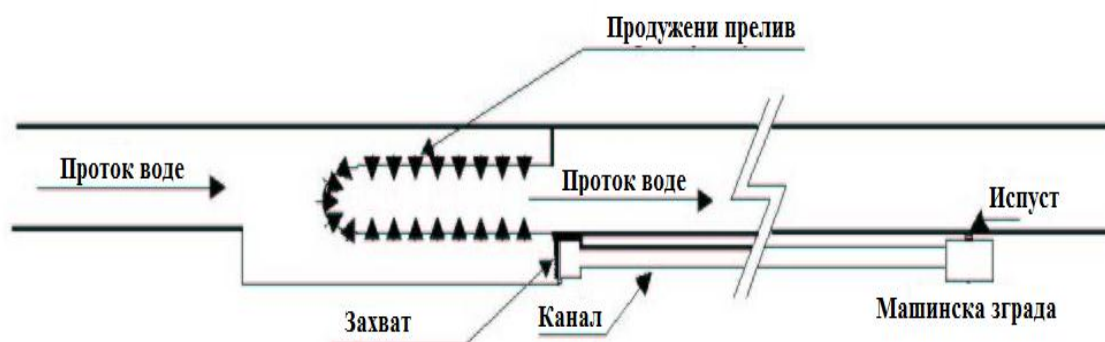
Постоје два начина извођења малих хидроелектрана које користе канал за наводњавање:

- Када је канал довољно велики за смештај захвата, машинске зграде, одвода и бочног обилазног вода, да би осигурали снабдевање водом за наводњавање, извођење мора да садржи бочни обилазни вод у случају искључења турбине. Овакав начин израде захтева истовремено пројектовање МХЕ и канала за наводњавање, јер би уграђивање у канал који је већ у функцији могло да буде врло скупо решење (слика 12).



Слика 12 Истовремено пројектовање канала и система [11]

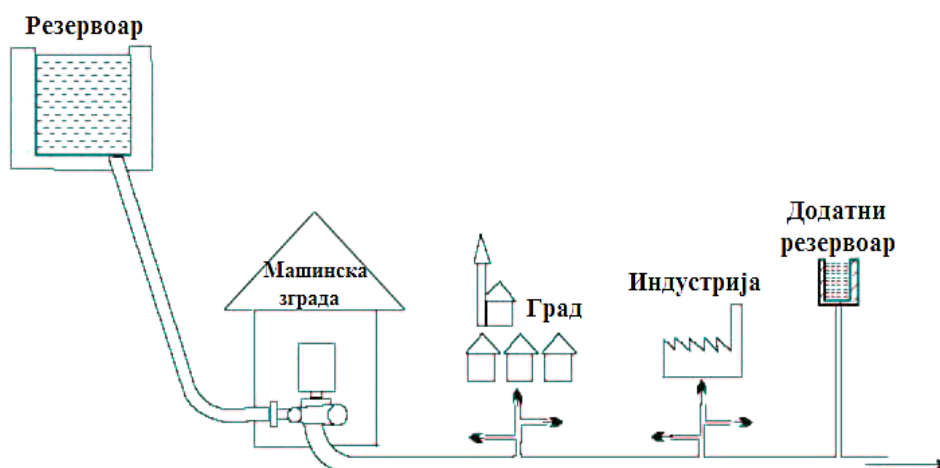
- Када канал већ постоји, као на слици 13, онда тај канал треба незнатно повећати за смештање захвата и прелива. Како би се сама ширина захвата смањила на минималну вредност најбоље је уградити издужени прелив. Од захвата се вода кроз цевовод под притиском доводи до турбине, а затим се кроз кратки испуст враћа у канал.



Слика 13 Уградња система у већ изграђен канал [11]

Мала хидроелектрана уграђена у систем за водоснабдевање

Вода за пиће се транспортује цевоводом под притиском у град из резервоара који се налази на већој висинској коти. Код таквих постројења, на уласку у само постројење за пречишћавање воде, дисипација енергије на нижем крају цевовода ублажава се коришћењем специјалних вентила. Смештање турбине на крају цевовода за претварање тако изгубљене енергије у електричну, добра је опција, под условом да се избегне хидраулични удар. Да би се осигурало трајно снабдевање водом мора бити уграђен систем обилазних вентила. У неким водоснабдевним системима турбина има испуст у отворени базен или језеро. Систем за контролу одржава ниво воде у базену. У случају механичког застоја или застоја турбине, систем обилазних вентила такође може одржавати ниво воде у базену. У случају да главни обилазни вентил испадне из погона јавља се надпритисак, те се помоћни обилазни вентил брзо отвара. Контролни системи су још сложенији код система где је излаз из турбине подвргнут противпритиску водоводне мреже. На слици 14 је приказана једна мала хидроелектрана уграђена у систем за водоснабдевање.



Слика 14 Мала хидроелектрана уграђена у систем за водоснабдевање [11]

3.4 Предности малих хидроелектрана

Најважнија предност малих хидроелектрана је смањена или у потпуности елиминисана емисија гасова стаклене баште. Главни разлог је што се не користе фосилна горива као покретач турбине и електричног генератора. Тиме електрична енергија настала у хидроелектранама постаје рентабилнија, а самим тим и независна од цене и понуде фосилних горива на тржишту. Хидроелектране такође имају предвиђен дужи животни век, у односу на електране које користе фосилна горива.

Са економског аспекта, модерне хидроелектране захтевају мали број запослених (због великог степена аутоматизације). Инвестициона средства за изградњу хидроелектране се поврате у периоду до десетак година.

Емисија гасова стаклене баште је у потпуности елиминисана, ако се искључиво посматра само процес производње електричне енергије. То се не може рећи за целу хидроелектрану, као систем који чине брана, турбина, електрични генератор и хидроакумулационо језеро.

Занимљива је студија која је спроведена у сарадњи института „*Paul Scherrer*” и Универзитета у Штутгарту. Она је показала да су међу свим изворима енергије, хидроелектране најмањи произвођачи гасова стаклене баште. Следе редом ветроелектране, нуклеарне електране, енергија добијена фото-напонским ћелијама.

У поређењу са великим хидроелектранама нема плављења широких подручја (како би се обезбедио простор за акумулацију воде) и нарушавања локалног еколошког система.

Смањују се инвестициона улагања за електрификацију удаљених насеља од опште електричне мреже, а електрификацијом таквих руралних насеља доприноси се унапређењу њиховог развоја. Пошто су најчешће лоциране близу корисника, губици електричне енергије у преносу се смањују и растерећује се електромережа.

Експлоатишу се уз релативно ниске трошкове. Радни век је врло дуг, у просеку 30 година, мада има малих хидроелектрана које раде и 80 и више година [8], [11].

3.5 Недостаци малих хидроелектрана

Основни проблем при раду у електроенергетском систему представља варијација протока током времена, као и мала акумулација, компликована процедура изградње итд.

Поред ових недостатака постоје и:

- потребе обезбеђивања биолошког минимума (резервног тока),
- потребе уградње пролаза за рибе (повреде и миграција риба, утицај на непосредни еко систем),
- бука, вибрације, визуелно нарушавање околине,
- неприступачност локација.

4 Законска регулатива

4.1 Уводне напомене

Обновљива енергија из биомасе, ветра, малих хидроелектрана и геотермалних извора је у центру пажње држава, потенцијалних инвеститора и потрошача у целом свету. У 2007. години, Европска унија (ЕУ) поставила је циљ земљама чланицама да, до 2020. године, 20% енергије у свакој од земаља треба да настане из обновљивих извора енергије [13].

Србија има значајне изворе обновљиве енергије којима би могла да задовољи новонастале захтеве. Влада Републике Србије је развила стратегију како би искористила ову прилику. Да би се подстакао развој и инвестиције у овом сектору, а такође и испуниле обавезе по Уговору о енергетској заједници југоисточне Европе, усвојено је неколико прописа почев од новембра 2009. године. Они укључују:

- успостављање система „подстицајних тарифа” у оквиру ког ће Влада Републике Србије субвенционисати трошак обновљиве струје,
- дефинисање захтева за стицање статуса „Повлашћеног произвођача електричне енергије” који користи обновљиве изворе енергије за производњу струје [14].

4.2 Управљање водама

Интегрално управљање водама (управљање водама) чини скуп мера и активности усмерених на одржавање и унапређење водног режима, обезбеђивање потребних количина вода захтеваног квалитета за различите намене, заштиту вода од загађивања и заштиту од штетног дејства вода. Управљање водама Република Србија остварује преко Министарства пољопривреде и заштите животне средине, органа аутономне покрајине, органа јединице локалне самоуправе и јавног водопривредног предузећа. Управљање водама заснива се на следећим начелима:

- **Начело одрживог развоја** – управљање водама мора се одвијати тако да се потребе садашњих генерација задовољавају на начин којим се не угрожава могућност будућих генерација да задовоље своје потребе, односно мора се обезбедити коришћење вода засновано на дугорочној заштити расположивих водних ресурса, по количини и квалитету.
- **Начело целовитости** – процеси у природи, чија је значајна компонента вода, као и повезаност и међузависност акватичних и приобалних екосистема, морају се поштовати.

- **Начело јединства водног система** – управљање водама у оквиру јединственог водног простора мора се одвијати у складу са развојем Републике Србије, у циљу постизања максималних економских и социјалних ефеката на правичан начин и уз уважавање међународних споразума.
- **Начело обезбеђивања заштите од штетног дејства вода** – становништво и његова имовина морају се штитити од вода, уз уважавање законитости природних процеса и заштите природних вредности, као и економске оправданости ове заштите.
- **Начело „корисник плаћа”** – свако ко користи водно добро и водни објекат, односно водни систем, као добро од општег интереса, дужан је да за његово коришћење плати реалну цену.
- **Начело „загађивач плаћа”** – свако ко својим активностима проузрокује загађење воде дужан је да сноси трошкове мера за отклањање загађења.
- **Начело учешћа јавности** – јавност има право на информације о стању вода и раду надлежних органа у области вода, као и на укључење у процесе припреме и доношења планова управљања водама и контроле њиховог извршења.
- **Начело уважавања најбољих доступних техника** – при управљању водама морају се примењивати најбоље познате и доступне технике, које представљају најнапреднија достигнућа у одређеним областима.

4.3 Водни услови и акта

На основу Закона о водама, чланови 113 – 128 („Службени гласник РС”⁴ бр. 30/2010), а у складу са Правилником о садржини и обрасцу захтева за издавање водних аката („Службени гласник РС” бр. 74/10), у поступку планирања, пројектовања и изградње малих хидроелектрана предвиђено је издавање следећих водних аката (табела 1):

⁴ Јавно предузеће „Службени гласник” у складу са Законом о објављивању, објављује законе, прописе и друге акте.

Табела 1 Водни услови, акта и надлежне институције [14]

Назив документа	Надлежна институција
1. Мишљење у поступку издавања водних услова за израду планских докумената за мале хидроелектране	ЈВП „Србијаводе”
2. Мишљење у поступку издавања водних услова за израду техничке документације и изградњу мале хидроелектране	ЈВП „Србијаводе”
3. Водни услови за израду техничке документације за изградњу мале хидроелектране	Министарства пољопривреде и заштите животне средине – Републичка дирекција за воде
4. Извештај о испуњености услова из мишљења и водних услова за издавање водне сагласности на главни пројекат за изградњу мале хидроелектране	ЈВП „Србијаводе”
5. Водна сагласност на главни пројекат за изградњу мале хидроелектране	Министарства пољопривреде и заштите животне средине – Републичка дирекција за воде
6. Извештај о испуњености услова из водних услова и водне сагласности за издавање водне дозволе	ЈВП „Србијаводе”
7. Водна дозвола за коришћење вода за малу хидроелектрану	Министарства пољопривреде и заштите животне средине – Републичка дирекција за воде

4.4 Мале хидроелектране – правни прописи

Прописи за изградњу мале хидроелектране се могу поделити у две основне групе:

- прописи којима је уређена област планирања и изградње објеката,
- прописи којима је уређена област енергетике.

У групу прописа којима је уређена област планирања и изградње спадају: Закон о планирању и изградњи, подзаконски акти донети на основу закона којим је уређена област планирања, изградње и Закон о просторном плану Републике Србије, пратећи плански документи (регионални просторни планови, просторни планови јединице локалне самоуправе, просторни планови подручја посебне намене и урбанистички

планови: генерални урбанистички план, план генералне регулације и план детаљне регулације) и други прописи.

Законом о планирању и изградњи је уређен поступак добијања локацијске дозволе, грађевинске дозволе и употребне дозволе, док су планским документима дефинисани циљеви просторног планирања и развоја, просторног уређења, односно да ли је планирано да се у одређеном временском периоду изгради одређени објект на одређеном месту у Републици Србији. Да би се прибавиле локацијске и грађевинске дозволе, потребно је прибавити енергетскотехничке услове за прикључење на преносни или дистрибутивни електроенергетски систем, као и водне услове, водну сагласност и водну дозволу, које се издају у складу са Законом о водама и пратећим прописима овог закона.

У групу прописа којима је уређена област енергетике спадају: Закон о енергетици и пратећи прописи овог закона, Стратегија развоја енергетике Републике Србије, Програм остваривања Стратегије развоја енергетике Републике Србије и други горе наведени прописи који се односе на енергетску дозволу, лиценцу за обављање енергетске делатности, прикључење објекта на мрежу итд. Законом о енергетици је предвиђено да се енергетски објекти могу градити, ако Министарство рударства и енергетике изда енергетску дозволу подносиоцу захтева.

Све наведено представља законски и регулаторни оквир који треба да се користи као основа за даље законске и регулаторне реформе. Усвајањем подстицајних тарифа и кључних прописа од стране владе Републике Србије омогућава се пружање техничке помоћи потенцијалним инвеститорима у изградњи малих хидроелектрана.

Законски прописи који дефинишу мале хидроелектране, као и повлашћене произвођаче енергије, представљају основ да се потенцијални инвеститори уведу у право на изградњу и право на обављање производње.

4.5 Надлежне институције и извори права

Надлежне институције:

- Министарство рударства и енергетике – МРЕ,
- Јединица локалне самоуправе – ЈЛС,
- Агенција за енергетику – АЕ,
- Републички геодетски завод – РГЗ,
- Министарства пољопривреде и заштите животне средине – МПЗЖС,
- Републички хидрометеоролошки завод – РХМЗ,
- Електромрежа Србије – ЕМС,
- Електропривреда Србије – ЕПС,
- Србијаводе – ЈВП.

Извори права:

- Закон о енергетици («Сл. Гласник РС» бр. 84/04),
- Закон о планирању и изградњи («Сл. гласник РС» бр. 72/09 и 81/09),
- Закон о заштити животне средине («Сл. гласник РС» бр. 135/04 и 36/09),
- Закон о водама («Сл. гласник РС» бр. 30/10),
- Закон о концесијама («Сл. гласник РС» бр. 55/03),
- Закон о јавним предузећима и обављању делатности од општег интереса («Сл. гласник РС» бр. 25/00, 25/02, 107/05 и 108/05).

4.6 Стицање дозволе за изградњу мале хидроелектране

Највећи проблем са којим се сусреће сваки потенцијални инвеститор који покушава да своју идеју о изградњи мале хидроелектране спроведе у дело јесте набавка и прикупљање дозвола и сагласности. О каквом проблему се ради довољно говори и чињеница да велике компаније које су заинтересоване за улагања не могу на једноставан и брз начин да обезбеде сву потребну документацију. Недореченост правних прописа, нерегулисани имовинско правни односи и врло често пребацивање одговорности по питању надлежности, главни су узроци због којих су овакви објекти на подручју Србије још увек права реткост.

Генерално целокупна процедура издавања дозвола може се поделити на период пре изградње и после изградње објекта. Да би инвеститор започео изградњу објекта неопходна су следећа документа за стицање права на изградњу објекта мале хидроелектране:

- **Студија оправданости са идејним решењем**, израђује регистрована пројектантска фирма.
- **Прописивање водопривредних услова од Министарства пољопривреде и заштите животне средине**, уз достављање претходно добијена два мишљења од Републичког хидрометеролошког завода и Регионалног водопривредног предузећа, као и сагласност јединице локалне самоуправе (општине) да се могу градити предметни објекти на датој локацији са ситуацијом локације предвиђеног објекта.
- **Урбанистичка дозвола**, издаје општина, одељење за урбанизам.
- **Прописивање техничких услова за прикључење на електродистрибутивну мрежу**, издаје локална електродистрибуција.
- **Главни пројекат**, израђује регистрована пројектантска фирма.
- **Техничка контрола и потврда о исправности главног пројекта**, обављају надлежни ревизори.

- **Сагласност на главни пројекат од Министарства пољопривреде и заштите животне средине**, издаје Министарства пољопривреде и заштите животне средине.
- **Потврда о испуњености свих урбанистичких услова садржаних у урбанистичкој дозволи**, издају их разне институције у оквиру општине.
- **Урбанистичка сагласност да је пројекат у складу са урбанистичком дозволом**, издаје општина.
- **Доказ о праву својине над земљиштем или доказ о праву коришћења истог на одређени период**, издаје општина.
- **Елаборат у погледу мера заштите од пожара**, издаје општинска служба унутрашњих послова.

У појединим случајевима од стране општине издају се још неке специфичне дозволе и сагласности. На основу поднетих свих претходних докумената тражи се **издавање грађевинске дозволе** од стране општине.

Након изградње, а пре пуштања објекта у рад инвеститор је дужан да прикупи следеће сагласности и то:

- **Пројекат изведеног стања**, израђује регистрована пројектантска фирма.
- **Геодетско снимање објекта**, обавља регистрована фирма.
- **Доказе о квалитету радова, уграђеног материјала и опреме**, на основу контроле комисије коју формира општина.
- **Технички преглед**, обавља општинска комисија.
- **Мишљење општинског јавног предузећа за комуналне радове**, издаје јавно предузеће за комуналне радове.
- **Водопревредна дозвола** (максимално 10 година), Министарство за водопривреду.
- **Противпожарна сагласност**, издаје Министарство унутрашњих послова Републике Србије (МУП).
- **Потврда о испуњености услова за прикључење на електродистрибутивну мрежу**, издаје локална дистрибуција.
- **Уговор о испоруци електричне енергије**, издаје локална дистрибуција.
- **Употребна дозвола**, издаје општина.

Уколико инвеститор успе у разумном временском року да прикупи све наведне сагласности и дозволе може се сматрати да је правно питање мале хидроелектране решено. У оваквим пројектима трошкови израде техничке документације, издавање дозвола и услуге ревизора могу изнети до 20% целокупне инвестиције.

5 Река

5.1 Слив Западне Мораве

У Србији постоји 10 сливних подручја: Дунав, Сава, Колубара, Дрина, Велика Морава, Јужна Морава, Западна Морава, Тимок, Бели Дрим и слив који гравитира према Егејском мору.

Западна Морава је лева притока Велике Мораве. Западна Морава настаје у пољу Ташти, источно од Пожеге, од Голијске Моравице и Ћетиње. У овом пољу се у Ћетињу са леве стране улива Скрапеж. На мање од једног километра од ушћа Скрапежа, Ћетиња се среће са Голијском Моравицом, стварајући Западну Мораву. Због близине ушћа Ћетиње, Скрапежа и Голијске Моравице, све три реке сматрају се директним крацима Западне Мораве. Пошто је Голијска Моравица најдужа, она се сматра главним краком. Мерено од извора Голијске Моравице, Западна Морава је дугачка 308 km, док је дужина саме Западне Мораве 208 km (слика 15) [15].



Слика 15 Слив Западне Мораве [16]

Сливно подручје има површину око 15.849 km². На истоку речно корито се сужава кроз Овчарско-кабларску клисуру. У чачанској котлини, речни ток се проширује. Просечна ширина реке износи око 35 m, са максималним дубинама и до 4 m.

Прошавши кроз Овчарско-кабларску клисуру њено корито се шири, пролази поред Чачка и Краљева. У непосредној близини Краљева, у Западну Мораву се улива река Ибар најважнија притока (272 km).

Река Западна Морава протиче поред Чачка, Краљева, Врњачке Бање, Трстеника и Крушеваца, да би се у Параћинској котлини спојила са Јужном Моравом и формирала Велику Мораву. Западна Морава зна врло често да се излије и поплави околна поља и усеве, формирајући тако плавне зоне, због бујичне природе њених притока, првенствено Ибра.

Структура дна се мења у зависности од подлоге терена кроз коју протиче река и може бити каменита, шљунковита, песковита, а у низводном делу тока муљевита. На обалама реке развијена је бујна вегетација. Низводно од места где се улива Ибар у Западну Мораву, река је дубља и шири, нарочито на местима где се стварају вирови.

У хидрогеографском погледу ток Западне Мораве од ушћа Ибра до Јасике је специфичан по великом броју притока. Западна Морава прима 85 притока, а међу њима се посебно истиче Ибар, а потом Расина и **Бјелица**, док су од левих притока веће Чемерница, Дичина и Груза.

Река Западна Морава меандрира⁵. Карактеристичан меандар је Вир код Новог Села где водоток мења смер под правим углом. Реку одликују промене тока у релативно кратким временским периодима, тако да постоји велики број рукаваца и бара. Један од већих комплекса са барама су Подунавачке баре у близини села Подунавци, лоциране између Краљева и Врњачке Бање које су настале експлоатацијом шљунка. Цело сливно подручје је густо насељено тако да је антропогени утицај изузетно изражен.

Ћетиња извире на југозападу планине Таре, лева је саставница Западне Мораве, дугачка 75 km. Код Ужица Ћетиња се пробија кроз кањон дугачак 8 km и висок до 300 m. На изласку из кањона налази се мања акумулација, на којој је била инсталирана прва хидроелектрана у Србији далеке 1900. године. Највећа притока Ћетиње је река Скрапеж, на којој је дванаест километара узводно од Ужица направљено акумулационо језеро.

Скрапеж извире на југоисточним падинама планине Повлена. Реке Сечица и Годљевача представљају његове саставнице. Дужина тока је 48 km. Дно је претежно шљунковито са крупнијим камењем средином тока, а у доњем делу тока има муљевитих делова.

Моравица је десна саставница Западне Мораве. Извире испод западних обронака Голије, због чега је називају и Голијска Моравица. Врело се налази на 1350 m надморске висине, а назива се и „Глава Мораве”. У горњем току до Ивањичке котлине, Моравица протиче уском и дубоком долином, где Моравица прима воде Голијске и Лучке реке са десне стране и Ношнице са леве. У ивањичком пределу речно корито је усечено, малог је пада, а река меандрира. У њу се овде улива лева притока, Грабовичка река. Велики Рзав је највећа притока Моравице и улива се у њу код Ариља. Дужина тока Моравице је 98 km. У горњем току дно Моравице је каменито и шљунковито, просечна ширина реке је око 5 m, а низводно Моравица је широка око 25 m [15].

⁵ Представља појаву вишеструке промене правца реке на кратком растојању.

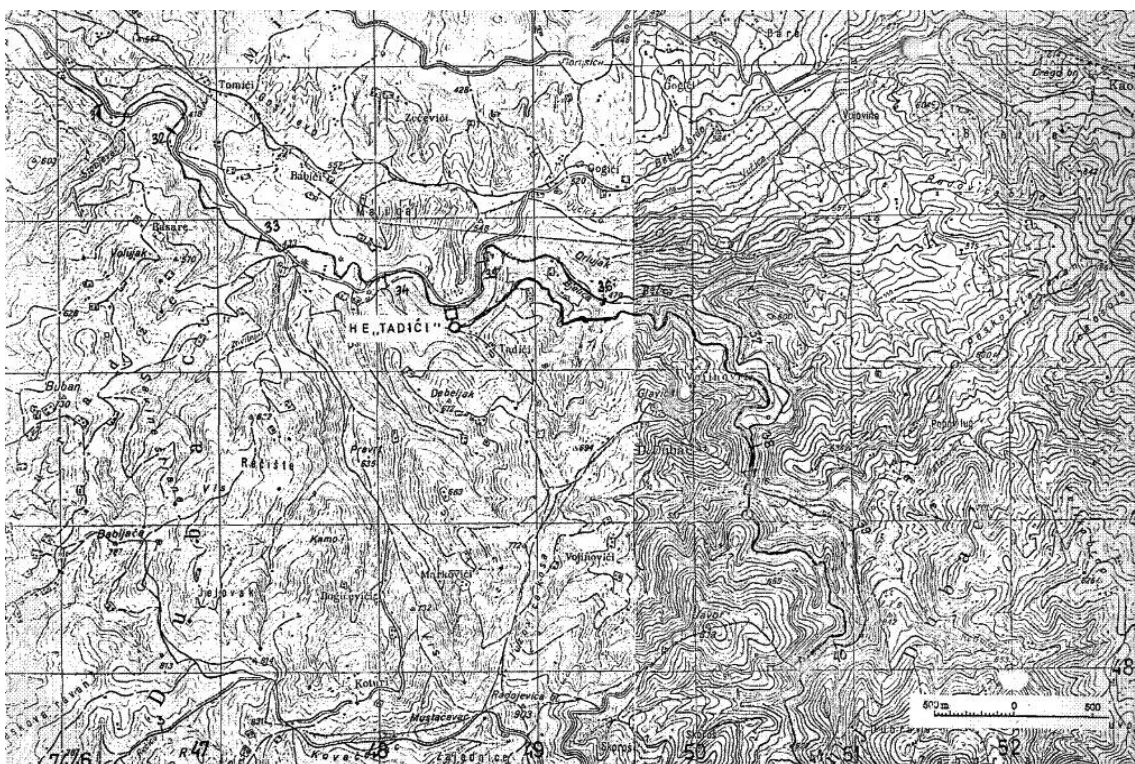
5.2 Река Бјелица

Бјелица је десна притока Западне Мораве. Изворе на 930 m надморске висине у селу Горњи Дубац. Протиче средином општине Лучани од југоистока према југозападу дужином око 41 km од извора до ушћа у Западну Мораву код села Дљин. У горњем току Бјелица је планинска река, са дубоком и уском клисурастом долином. Слив Бјелице, површине 376 km², издужен је у правцу тока реке и одликује се изразитом неравномерношћу, односно неравномерним распоредом левих и десних притока. Бројније су десне притоке, чија су изворишта на падинама планине Јелице.

Бјелица се улива у Западну Мораву код Гугаљског моста на 298 m надморске висине у близини Драгачева [17].

Река Бјелица препозната је као хидроенергетски потенцијал вода Србије и као таква уврштена је у **Катастар малих хидроелектрана**⁶, као река на којој је предвиђена изградња мале хидроелектране са Пелтоновом турбином. Подаци који су преузети из катастара малих хидроелектрана су проток водотока (проток износи 0,47 m³/s) и расположиви бруто пад водотока (бруто пад износи 61,5 m) реке Бјелице [18].

Преузета вредност протока од 0,47 m³/s узима у обзир биолошки минимум тј. ово је вредност која остаје приликом одузимања вредности биолошког минимума (10%) од укупног протока реке Бјелице.



Слика 16 Географски приказ слива реке Бјелице [18]

⁶ Јавна књига која садржи евиденцију потенцијалних река Србије, на којима је могућа изградња МХЕ.

6 Основи теорије водних турбина

6.1 Коришћење енергије воде

Радна течност водних турбина је вода. Она је носилац енергије која се у турбини може искористити [19]. Мера енергије једног речног тока је јединична енергија садржана у јединици масе течности и дата је изразом (1):

$$Y = \frac{A}{m} \quad (1)$$

Y – јединична енергија речног тока [J/kg]

A – расположиви рад [J]

m – укупна маса воде [kg]

Обично се јединична енергија, или јединични рад у датом проточном пресеку, ако је струјање воде устаљено, састоји од потенцијалне енергије Y_z ⁷, притисне енергије Y_p ⁸ и кинетичке енергије Y_v ⁹:

$$Y = Y_z + Y_p + Y_v \quad (2)$$

Y_z – потенцијалне јединична енергија [J/kg]

Y_p – притисна јединична енергија [J/kg]

Y_v – кинетичка јединична енергија [J/kg]

Потенцијална јединична енергија у датом проточном пресеку, при устаљеном струјању једнака је (3):

$$Y_z = g \cdot z \quad (3)$$

g – убрзање силе земљине теже [m/s²]

z – висинска разлика тежишта [m]

Висинска разлика тежишта, представља најчешће узиману коту код турбина за ниво горње воде (ГНВ) и за ниво доње воде (ДНВ) у односу на неку референтну раван. Најчешће су то коте надморске висине.

⁷ Условљена је положајем тела у односу на друго тело или систем.

⁸ Енергија која се јавља деловањем притиска у посматраном пресеку.

⁹ Енергија коју тело поседује услед кретања.

Притисна јединична енергија је енергија која одговара притиску у посматраном пресеку и израчунава се (4):

$$Y_p = \frac{p}{\rho} \quad (4)$$

p – притисак у посматраном пресеку [Pa]

ρ – густина флуида [kg/m^3]

Кинетичка јединична енергија је енергија којом располаже јединица масе течности у посматраном пресеку и једнака је (5):

$$Y_v = \frac{c^2}{2} \quad (5)$$

c – брзина протицања флуида [m/s]

Укупна јединична енергија у датом проточном пресеку је (6):

$$Y = g \cdot z + \frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} \quad (6)$$

Под јединичном енергијом или јединичним радом код турбина се подразумева промена струјне енергије при проласку воде кроз турбину од њеног улазног до излазног пресека, тј. од пресека 1 – 1 па до пресека 2 – 2 (слика 17). Реални флуид има одређену вискозност и због тога при његовом кретању долази до трења о бочне стране, дно канала и међусобног трења делића течности између себе. Ова дисперзија струјне енергије¹⁰ умањује јединичну енергију радне течности. У механици флуида и хидрауличним машинама ова дисипована енергија је позната под појмом хидраулични губици Y_g . Величина ове енергије хидрауличних губитака дата је изразом (7), [19]:

$$Y_g = k \cdot Q^2 \quad (7)$$

k – коефицијент губитака [1]¹¹

Q – проток флуида [m^3/s]

¹⁰ Расипање струјне енергије.

¹¹ Утврђује се експериментално.

6.2 Јединични рад турбина

Посматрајући шематски приказ јединичне енергије на *слици 17*, може се закључити да свака приказана јединична енергија, почев од горњег нивоа (А) до доњег нивоа воде (В), која се налази на некој висини у односу на референтну равну *a*, се састоји од укупне струјне енергије (линија *b*) и потенцијалне енергије (линија *c*). Са 1 – 1 је означен улазни пресек у турбину, а са 2 – 2 излазни пресек из турбине. Располагаива јединична енергија у акумулацији (ГНВ) је (8):

$$Y = g \cdot z_A + \frac{p_A}{\rho} + \frac{c_A^2}{2} \quad (8)$$

z_A – висинска разлика тежишта у акумулацији нивоа А [m]

p_A – притисак у акумулацији на нивоу А [Pa]

c_A – брзина протицања флуида из акумулације на нивоу А [m/s]

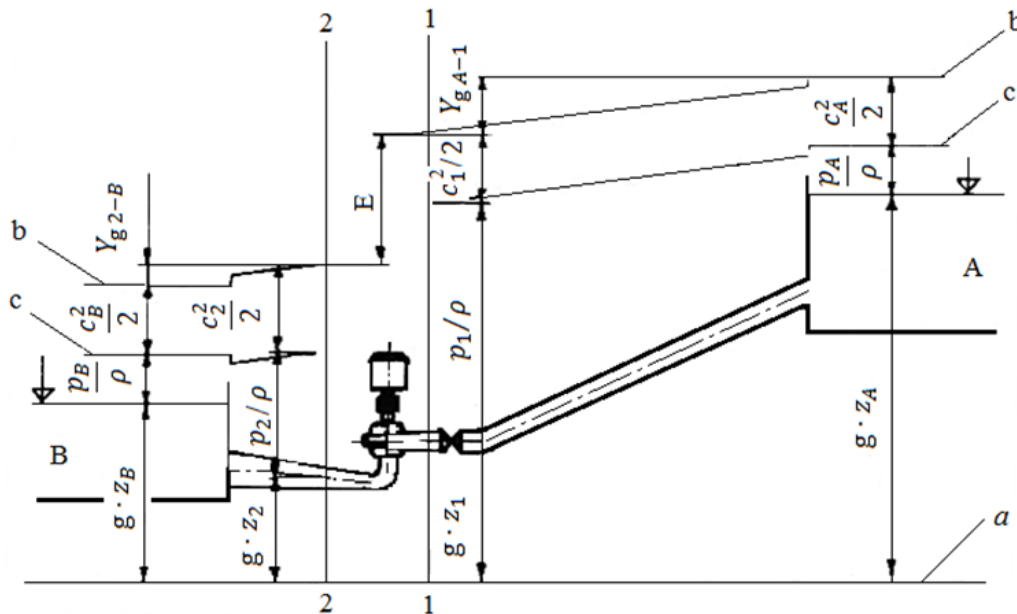
Расположива јединична енергија у излазном каналу дата је изразом (9):

$$Y = g \cdot z_B + \frac{p_B}{\rho} + \frac{c_B^2}{2} \quad (9)$$

z_B – висинска разлика тежишта резервоара нивоа В [m]

p_B – притисак у резервоару на нивоу В [Pa]

c_B – брзина протицања флуида у резервоару на нивоу В [m/s]



Слика 17 Шематски приказ турбинског постројења [19]

Разлика расположивих јединичних енергија у пресецима А и В дефинише јединични рад водотока, који се може искористити у турбини (10):

$$Y = Y_A - Y_B = g \cdot (z_A - z_B) + \frac{p_A - p_B}{\rho} + \frac{c_A^2 - c_B^2}{2} \quad (10)$$

Y_A – јединична енергија у акумулацији на нивоу А [J/kg]

Y_B – јединична енергија у излазном каналу на нивоу В [J/kg]

Пошто је притисак у пресецима А и В једнак ($p_A = p_B$), као и због великих попречних пресека, може се претпоставити да су и брзине струјања воде у њима једнаке $c_A = c_B = 0$. На основу дефинисаних претпоставки разлику наведених енергија можемо коначно приказати путем обрасца (11):

$$Y = Y_A - Y_B = g \cdot (z_A - z_B) \quad (11)$$

Ова разлика јединичних енергија назива се геодетска бруто расположива јединична енергија, Y_{br} . Укупна расположива јединична енергија на улазном делу турбине (пресек 1 – 1) према *слици 17* једнака је (12):

$$Y = g \cdot z_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} \quad (12)$$

z_1 – висинска разлика тежишта за пресек 1 – 1 [m]

p_1 – притисак у пресеку 1 – 1 [Pa]

c_1 – брзина протицања флуида за пресек 1 – 1 [m/s]

Укупна расположива јединична енергија у излазном пресеку 2 – 2 турбине према *слици 17* дата је изразом (13):

$$Y = g \cdot z_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} \quad (13)$$

z_2 – висинска разлика тежишта за пресек 2 – 2 [m]

p_2 – притисак у пресеку 2 – 2 [Pa]

c_2 – брзина протицања флуида за пресек 2 – 2 [m/s]

Посматрајући *слику 17* добија се да је (14):

$$Y_1 = Y_A - Y_{gA-1} \quad (14)$$

Y_1 – јединична енергија улазног пресека [J/kg]

Y_{gA-1} – дисипована струјна енергија од пресека А до улазног пресека 1 – 1 [J/kg]

У односу на горњи израз може се написати и израз за излазни пресек (15):

$$Y_2 = Y_B - Y_{g2-B} \quad (15)$$

Y_2 – јединична енергија излазног пресека [J/kg]

Y_{g2-B} – дисипована јединична енергија потребна за савлађивање хидрауличних отпора на путу од излазног пресека турбине 2 – 2 до пресека В доње воде [J/kg]

Укупна јединична енергија турбине се одређује разликом јединичних енергија у улазном и излазном пресеку турбине (16):

$$Y = Y_1 - Y_2 \quad (16)$$

$$Y = g \cdot (z_1 - z_2) + \frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} - \sum Y_g \quad (17)$$

Y_g – дисипована енергија тока у доводном и одводном воду турбине [J/kg]

Јединична енергија турбине која се губи Y_g (дисипована енергија тока у доводном и одводном воду турбине) једнака је (18):

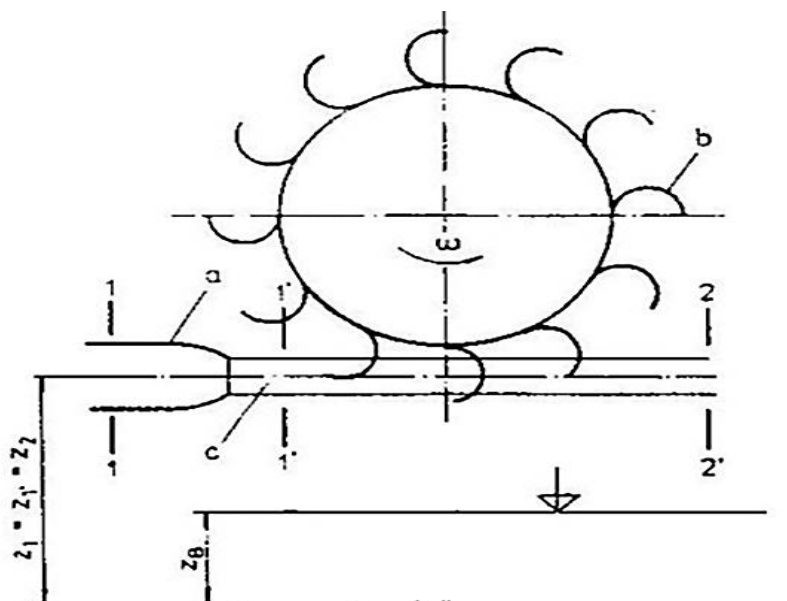
$$\sum Y_g = Y_{gA-1} + Y_{g2-B} \quad (18)$$

Са уведеним претпоставкама за оптимизацију хидрауличног решења водотока неопходно је са гледишта минимизације хидрауличних губитака и са економског аспекта омогућити веће коришћење расположиве јединичне енергије. Са гледишта коришћења укупног јединичног рада за добијање електричне енергије у МХЕ посредством турбине, треба користити поред потенцијалне енергије, кинетичку енергију и енергију притиска.

6.3 Јединични рад акцијских турбина

Водне турбине које за свој рад користе само кинетичку јединичну енергију називају се турбинама једнаког притиска – акцијске водне турбине. Карактеристика ових турбина је исти притисак испред и иза радног кола (и то обавезно атмосферски). Типичан представник ових водних турбина је Пелтонова водна турбина (слика 18).

Ради објашњења расположиве јединичне енергије водотока уведене су следеће ознаке: улазни пресек турбине (1 – 1), улазни пресек у радно коло (1' – 1'), излазни пресек турбине (2 – 2'), млазница (а), лопатике радног кола (b) и млаз воде по изласку из млазнице (с). Поједина растојања од референтне равни такође су обележена.



Слика 18 Шематски приказ Пелтонове турбине

На основу ознака на шеми могу се написати изрази за укупни јединични рад (енергију) у назначеним пресецима:

$$Y_1 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} + g \cdot z_1 \quad (19)$$

$$Y_1' = \frac{p_1'}{\rho} + \frac{c_1'^2}{2} + g \cdot z_1' \quad (20)$$

$$Y_2 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{c_2^2}{2} + g \cdot z_2 \quad (21)$$

У овом случају се усваја релација да је $z_1 = z_1' = z_2$. Применом Бернулијеве једначине и закона о одржању енергије за нестишљиву течност, поред потенцијалне, притисне, кинетичке и дисиповане енергије за сваки посматрани пресек важи једнакост (22), [19]:

$$Y_1 = Y_1' + Y_{g1-1'} = Y_2 + Y_{g1-2} \quad (22)$$

Уколико се притисци у посматраним пресецима изразе помоћу атмосферског притиска (23):

$$p_1 = p_1'' + p_b \quad (23)$$

p_1'' – натпритисак у млазници [Pa]

$$P_1 = P_2 = P_b \quad (24)$$

Ако изразе (23) и (24) уведемо у једначину (22) добија се следећи израз (25):

$$\frac{P_1''}{\rho} + \frac{c_1^2}{2} = \frac{c_1'^2}{2} + Y_{g1-1} = \frac{c_2^2}{2} + Y_{g1-2} \quad (25)$$

Расположива јединична енергија или јединични рад се у улазном пресеку турбине (млазници), трансформише у кинетичку енергију. При овој, пренос хидрауличне енергије на радно коло, као и њена трансформација у механички рад одвија се при истом атмосферском притиску испред и иза радног кола.

Јединични рад акцијске турбине се коначно може написати следећим изразом:

$$Y = \frac{c_2^2}{2} + \frac{P_1''}{\rho} \quad (26)$$

Применом одређених трансформација, једначина (26) се може написати и у следећем облику (27):

$$Y = \frac{c_1'^2}{2} + \sum Y_{gM} \quad (27)$$

$\sum Y_{gM}$ – губици енергије у млазници [J/kg]

На овај начин се сва расположива енергија по облику губитака у млазници трансформише у енергију водене струје $c_1'^2 / 2$. Ово је основна карактеристика акционе турбине.

6.4 Хидраулични степен корисности

Ако се усвоји да је струјање кроз турбину устаљено и да струји невискозна и нестишљива течност, онда нема губитака струјне енергије, па дисипована јединична енергија има нулту вредност. Због тога хидраулична снага турбине се израчунава преко једначине (28), [19]:

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot Y \quad (28)$$

P_h – хидраулична снага турбине [W]¹²

¹² Представља теоријску снагу турбине.

У даљем разматрању мора се узети у обзир и то да кроз турбину протиче реална вискозна течност (вода), па дисипована јединична енергија има неку коначну бројну вредност због хидрауличних отпора при струјању. Стварна снага коју може остварити турбина је мања у односу на теоријску снагу (хидрауличну снагу), па је (29):

$$P = \rho \cdot Q \cdot (Y - Y_g) \quad (29)$$

P – хидраулична снага турбине [W]¹³

Однос снага при струјању стварне вискозне течности и идеалне невискозне течности даје релативну величину. Однос ових снага дефинише хидраулични степен корисности (30):

$$\eta_h = \frac{P}{P_h} = \frac{Y - Y_g}{Y} = 1 - \frac{Y_g}{Y} \quad (30)$$

η_h – хидраулични степен корисности [/]

¹³ Представља стварну снагу турбине.

7 Пелтонова турбина

Најчешћи случај примене акцијске водне турбине у извођењу МХЕ је Пелтонова турбина. Предност њене примене лежи у томе што је у конструктивном и хидрауличном погледу релативно најједноставнија. Област њене примене код МХЕ креће се за јединичне радове 500 – 4000 J/kg и протоке 0,2 – 3 m³/s [3]. Ако се МХЕ изводи као микроелектрана онда се област примене Пелтонове турбине простире и за јединичне радове мање од 200 J/kg и протоке 0,08 – 0,2 m³/s. Доводни уређај чини млазница са регулационом иглом, она је кружног попречног пресека и из ње истиче вода која удара у лопатицу радног кола. Млаз воде удара тангенцијално на подеони круг лопатице. У млазници се укупни доведени јединични рад трансформише у кинетичку енергију, због чега вода из млазнице излази великом брзином (31), [19]:

$$c = \varphi \sqrt{2 \cdot Y} = (1,343 - 1,375) \sqrt{Y} \quad (31)$$

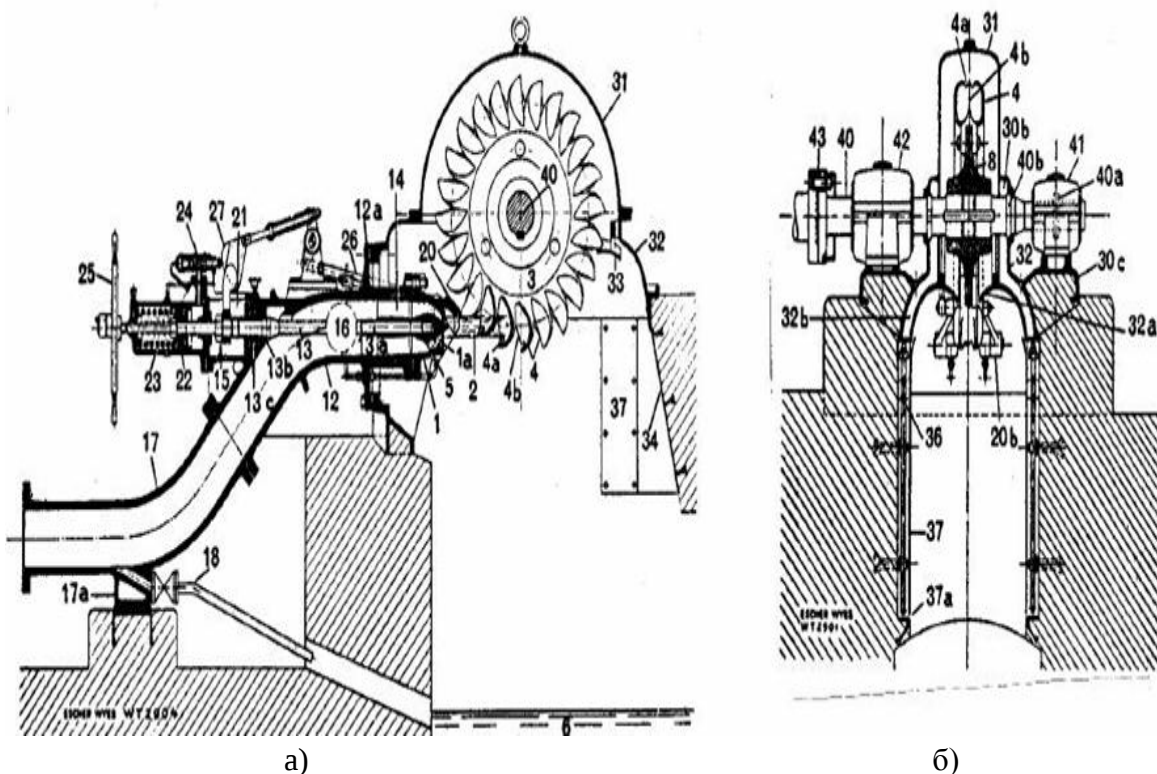
φ – коефицијент контракције млаза [/]

Коефицијент контракције млаза обично износи 0,95 – 0,973 при степену корисности млазнице 0,95 – 0,98. Конструкција Пелтонове турбине је одређена специфичним протоком воде, као и преносном и ротационом брзином. Број млазница турбине зависи од вредности специфичне брзине. Повећањем специфичне брзине воде повећава се број млазница турбине. Ова зависност пружа ширу могућност избора броја млазница конструктору електране. Ако се на основу добијеног прорачуна одлучује између турбине са четири или пет млазница, треба знати да ће цена израде турбине са пет млазница бити знатно нижа од турбине исте снаге са четири млазнице. Међутим, потребно је да млазнице буду на таквом међусобном растојању да млазеви воде немају негативни међусобни утицај, док у пракси то значи да је број млазница код Пелтонове турбине ограничен на шест [19], [20].

Пелтонове турбине могу бити постављене на хоризонталном или вертикалном вратилу. Хоризонталне инсталације се срећу у случајевима турбина малих и средњих брзина са једном или две млазнице. Постоје и случајеви са четири млазнице, али су веома ретки.

7.1 Хоризонталне Пелтонове турбине

Вода (слика 19) из доводне цеви (12) пролази кроз млазницу (1) одакле на атмосферском притиску, у облику компактног млаза, струји до лопатице (4). Након интеракције воденог млаза и лопатице, вода се слива низ отворе до одводног канала (6).

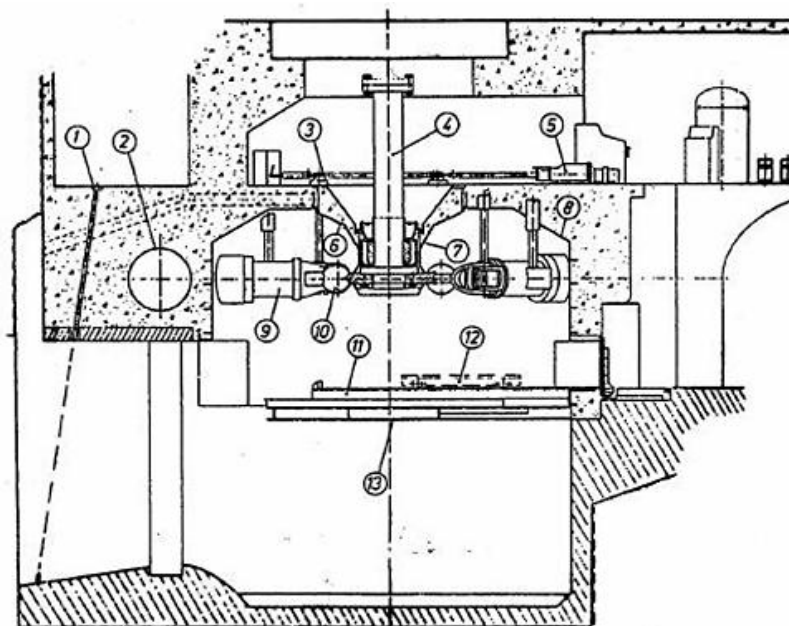


Слика 19 Шема хоризонталне Пелтонове турбине са једном млазницом
(а) – радијални пресек, (б) – уздужни пресек

- 1 – млазница, 2 – млаз, 3 – радно коло, 4 – лопатица радног кола, 5 – игласта глава,
6 – ниво воде у одводном каналу, 8 – ротациони диск, 12 – улазно подручје,
13 – игласта шипка, 17 – излазно подручје, 18 – одводна цев,
20 – дефлектор (одбојник), 21 – повратна веза (шипка), 22 – клип сервомотора,
23 – опруге, 24 – електромагнетни вентил, 25 – контролни вентил,
31, 32 – кућиште турбине, 32 а – застор за одвођење воде из радног кола,
32 б – дренажни канали, 34 – челична облога, 40 – турбинско вратило,
40 а – место за аксијални лежај, 42 – лежај, 43 – спојница [20]

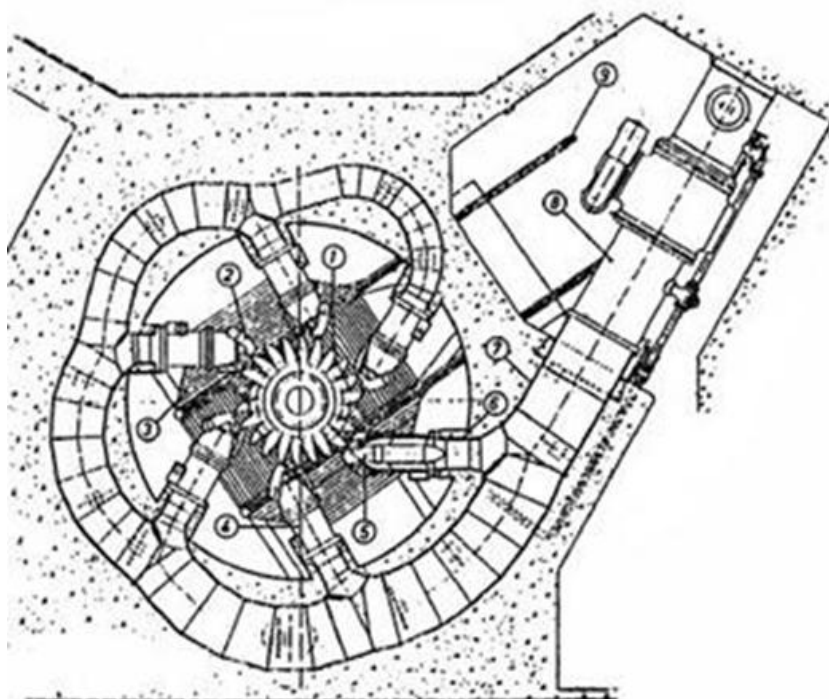
7.2 Вертикалне Пелтонове турбине

Пелтонове турбине релативно већих димензија и са више млазница најчешће се постављају на вертикално вратило. Млазнице се распоређују симетрично око радног кола, тако да су силе које се преносе радном колу подједнако распоређене. Слика 20 и слика 21 приказује хоризонтални и вертикални пресек, вертикалне Пелтонове турбине са шест млазница, респективно.



Слика 20 Вертикална вишемлазна Пелтонова турбина (вертикални пресек)

1 – цеви за тест ефикасности, 2 – разводна цев, 3 – дефлекторски механизам, 4 – турбинско вратило, 5 – сервомотор дефлектора, 6 – поклопац лежаја радног кола, 7 – лежај, 8 – турбинско вратило, 9 – кућиште турбине, 10 – радно коло, 11 – шине теретних кола радног кола, 12 – теретна кола, 13 – контролна платформа [19]



Слика 21 Вертикална вишемлазна Пелтонова турбина (хоризонтални пресек)

1 – радно коло, 2 – дефлектор (одбојник), 3 – контролна платформа, 4 – главни инјектор са игластим сервомотором, 5 – игла, 6 – рачва, 7 – разводник, 8 – експанзиона/раставна веза, 9 – шине теретних кола за монтажу радног кола [19]

7.3 Основни елементи Пелтонове турбине

Пелтонове турбине се користе код великих геодетских падова (250 – 2000 m) и са сразмерно мањим протоцима ($0,2 - 3 \text{ m}^3/\text{s}$). Због тога је специфична брзина обртања турбине мала. Могу бити различитих величина и веома су прикладне за употребу у микро хидроелектранама.

Једна од највећих Пелтонових турбина се налази у хидроцентрали *San Carlos* у Колумбији и њено радно коло има масу око 23,5 t, пречник 4,3 m, а број обртаја је 300 min^{-1} . Такође, постоје радна кола са масом мањом од 1 kg и пречника неколико центиметара.

Код Пелтонове турбине вода се доводи на лопатице радног кола тангенцијално, цевоводом под притиском који на свом крају има једну или више млазница које су смештене унутар кућишта турбине. На основи радног кола се налазе лопатице (обично 12 – 40) које напада млаз воде великом брзином пошто изађе из млазнице. При удару у лопатицу вода мења смер и због те промене количине кретања, на лопатицу делује активна сила која ствара обртни момент тј. окреће радно коло турбине. Турбине које имају један или два спроводна апарата конструишу се са хоризинталним вратилом, због техничко-контруктивних ограничења. Турбине које садрже више од два спроводна апарата, конструишу се са вертикалним вратилом.

Основни елементи Пелтонове турбине су:

- лопатице,
- основа радног кола са вратилом и лежајима,
- кућиште,
- спроводни апарат – млазница,
- уређаји за регулацију,
- замајац ¹⁴и хидраулична кочница [21].

7.3.1 Лопатице

Лопатица се састоји од два удубљења овалног облика између којих се налази сечица лопатице. Задатак сечице је да пресече млаз воде чиме се постиже да половина млаза улази у једну удубљење, а друга половина млаза у друго удубљење лопатице.

Доњи део лопатице испод сечице је прорезан да вода не би ударала у леђа лопатица и да би водени млаз, кад почне да делује на лопатицу одједном доспео што дубље, а на крају напустио лопатицу под углом који је приближне вредности од 180° . Лопатице Пелтонове турбине се обично израђују појединачно па се затим монтирају на основу радног кола и причвршћују конусним чеповима. Глава чепа и навртка, која служи као осигурач, делимично се заварује за руку лопатице и тако осигурава везу.

¹⁴ То је машински елемент који служи за складиштење енергије приликом ротације.

Ако се на руци лопатице јаве сувише велика напрезања, онда се лопатице израђују двоструко, са заједничком руком. Рука лопатице у том случају има два чепа за учвршћивање. Најповољнија конструкција је када се лопатице истовремено изливају са основом радног кола, али је оваква израда веома захтевна.

При изради и постављању лопатица мора се обезбедити максимална тачност, јер се при монтажи сечице свих лопатица морају налазити у истој равни, иначе ће при раду сигурно доћи до осцилација које ће оштетити лежаје, а касније довести и до већих хаваријских оштећења и испадања турбине из рада. На *слици 22* је приказан изглед лопатице Пелтонове турбине [22].

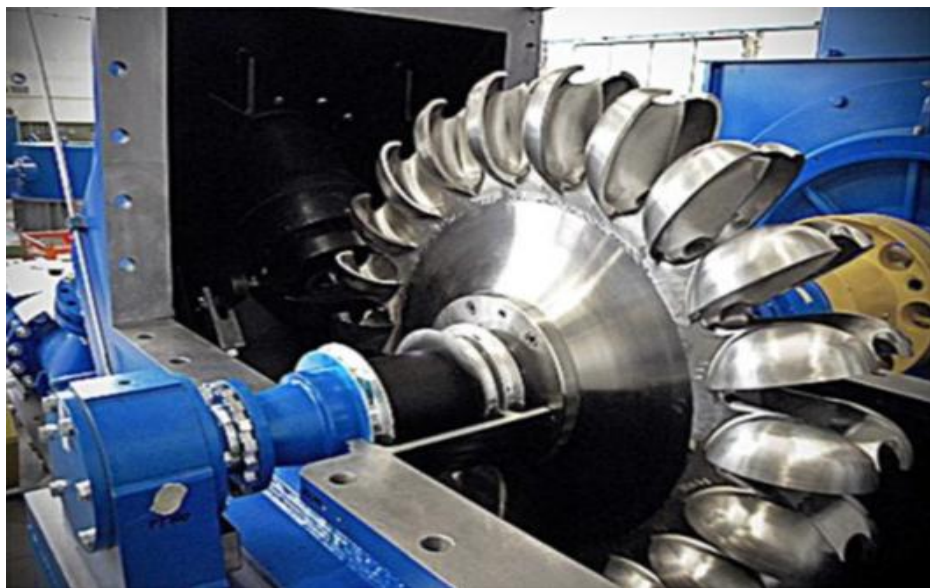


Слика 22 Лопатица Пелтонове турбине [22]

7.3.2 Основа радног кола са вратилом и лежајима

Основа радног кола турбине је обично изливена од специјалног ливеног челика, било заједно са лопатицама или посебно, али може бити и кована. Главчина основе радног кола се на вратило обично везује клином, а може и завртњима за прстен који је саставни део вратила што зависи од саме конструкције вратила и основе радног кола турбине.

Лежаји вратила су обично клизни и нормалне конструкције. Они су радијални, јер због симетричности лопатица аксијалне силе скоро и да нема. Кућишта лежаја су дводелна и лако заменљива. Ако је снага турбине велика или је број обртаја турбине велики, уље за подмазивање се мора хладити. Уместо сопственог вратила са два радијална лежаја, за мање турбине се може усвојити конструкција која подразумева навлачење радног кола турбине на осовину генератора [23].



Слика 23 Приказ вратила Пелтонове турбине и лежаја [23]

7.3.3 Кућиште турбине

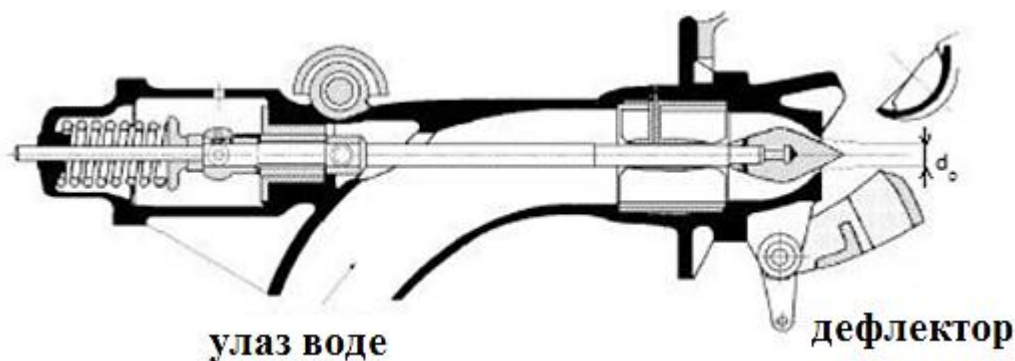
Оклоп турбине служи као заштита, а истовремено има и задатак да воду која је истекла из лопатице одведе у доњи канал (слика 24). Обично је оклоп турбине састављен из два дела. Горњи део је поклопац и он је лакши, док је доњи део масиван и обезбеђује миран рад турбине. Заједно са оклопом су изливени носачи на које се постављају турбинска лежишта. Код мањих турбина кућиште турбине односно оклоп се израђује од лима [23].



Слика 24 Кућиште турбине [23]

7.3.4 Спроводни апарат

Спроводни апарат има задатак да воду у виду млаза уведе у турбину и да је у одређеном правцу упуту ка радном колу. Посебан део спроводног апарата је млазник који при раду турбине трпи велика оптерећења. Облик млазника и копља је такав да се канал између њих сужава идући ка излазу при било ком положају копља, јер је потребно да вода пролазећи кроз овај канал добије убрзање без обзира да ли је копље мање или више увучено.



Слика 25 Спроводни апарат – млазница [23]

Геометрија млазника и врха копља је таква да честице воде које се крећу близу зидова млазника имају већу брзину него честице које се крећу у близини површине копља. Због оваквог облика млазника и копља струјна влакна се збијају и дају компактан млаз. Простор између зидова млазника и копља се постепено сужава, при сваком положају копља, да не би дошло до нагле промене брзине и притиска воде.

Млаз има брзину $c_0 = 0,98\sqrt{2 \cdot g \cdot H}$ на месту мало удаљеном од врха копља, јер је тек на том месту сва енергија притиска претворена у брзину [23].

Уређај за регулисање

Главни елемент спроводног апарата (млазнице) је уређај за регулисање, који се састоји од:

- Копља, које се помера напред/назад и на тај начин се променом пресека у млазнику регулише проток млаза.
- Скретача млаза, чији је задатак да у тренутку наглог растерећења брзо уђе у млаз и скрене га, тако да више не погађа лопатицу, чиме је омогућено копљу да се лагано помери напред и потпуно затвори млазник, спречавајући на тај начин хидраулични удар до кога би дошло у случају наглог затварања.
- Осталих елемената, неопходних за контролу копља и скретача млаза.

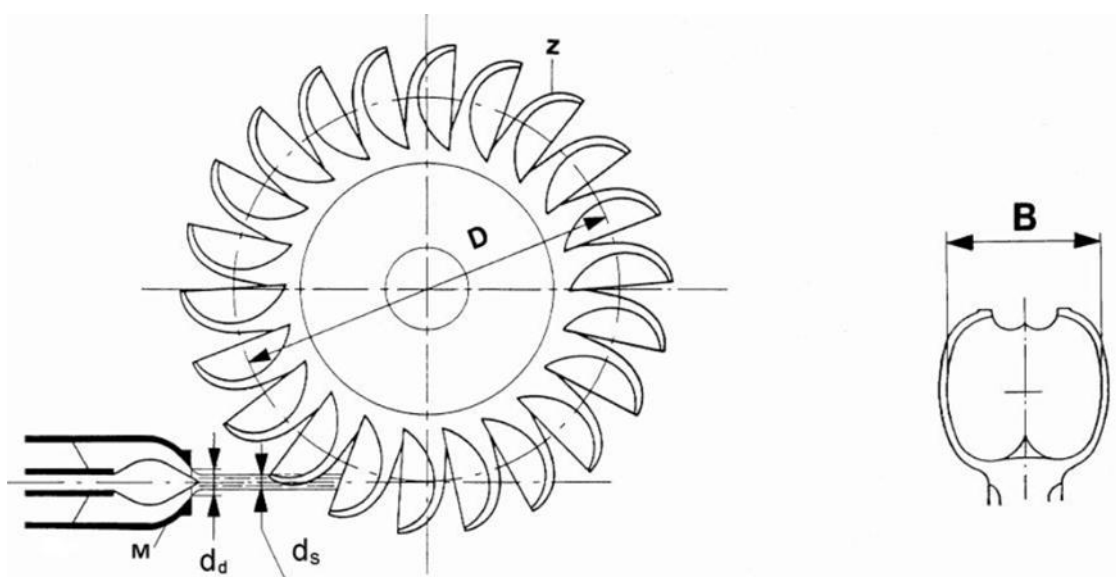
Замајац и хидраулична кочница

Турбина је за генератор везана обично еластичном спојницом. Код генератора наизменичне струје, маса ротора је обично довољно велика (у прописаним границама). Међутим, код генератора једносмерне струје, готово увек се маса обртних делова агрегата мора повећати, додавањем посебног замајца.

Кад се турбина потпуно растерети и искључи из погона, радно коло се и даље окреће, јер је маса обртних делова агрегата прилично велика. Заустављање турбине би трајало врло дуго и зато се код већих агрегата поставља хидраулична кочница у виду мањег млазника, чији млаз при кочењу, погађа леђа лопатица.

7.4 Протицање воде кроз турбину

Код Пелтонове турбине млаз пречника d_0 (слика 26) излазећи из млазнице M , удара у лопатицу, која је оштром ивицом подељена на два једнака удубљења овалног облика, а из ње излази скоро у супротном смеру [11].



Слика 26 Основне димензије радног кола [11]

Лопатице су постављене на основу радног кола тако да се средње оштрице свих лопатица налазе у истој равни, која је нормална на осу турбине и пролази кроз средину отвора млазнице. Млаз воде, који излази из врха отвора млазнице великом брзином, је обележен са c_0' . Занемарује се растојање између врха млазнице и лопатице (оно је у реалним условима веома мало) и сматра се да вода у овом случају има праволинијски правац кретања, тј. да је њена путања тангента на основни круг турбине.

Брзина воде се незнатно мења тј. апсолутна брзина c_1 , којом вода долази на лопатицу, није једнака апсолутној брзини c_0' са којом вода избија из врха отвора

млазнице. Делић воде који се кретао у оси млаза доспева у тачку $1'$ (слика 27) са брзином c_1' . Пошто се тачка $1'$ налази на основном кругу, она ће се због обртања основе радног кола кретати по кругу, па ће у положају $1'$ имати неку обимну брзину u .

Познато је да обимна брзина има правац тангенте на круг по коме се тачка креће. Из овога произилази да је код Пелтонове турбине правац апсолутне брзине c_1' , са којом вода долази на радно коло, једнака правцу обимне брзине u . То значи да се лопатица, а са њом и тачка $1'$, креће брзином u . Делић воде који је доспео у тачку $1'$ креће се по лопатици неком релативном брзином w_1' . Очигледно је да мора бити [11]:

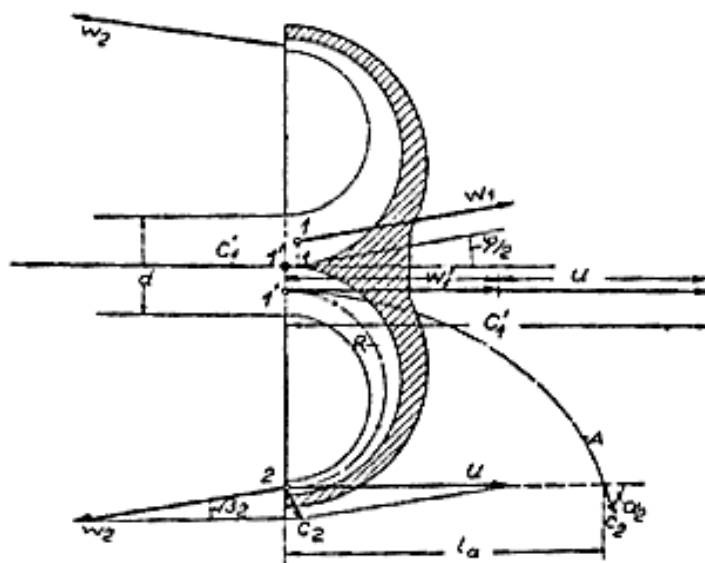
$$w_1' = c_1' - u \quad (32)$$

w_1' – релативна брзина делића $1'$ [m/s]

c_1' – апсолутна брзина делића $1'$ [m/s]

u – обимна брзина [m/s]

јер се лопатица, на којој се тачка $1'$ налази, креће брзином u па зато брзина делића $1'$ (w_1') у односу на носилац тј. лопатицу, мора бити мања за вредност u . Троугао брзина се своди на праву линију.

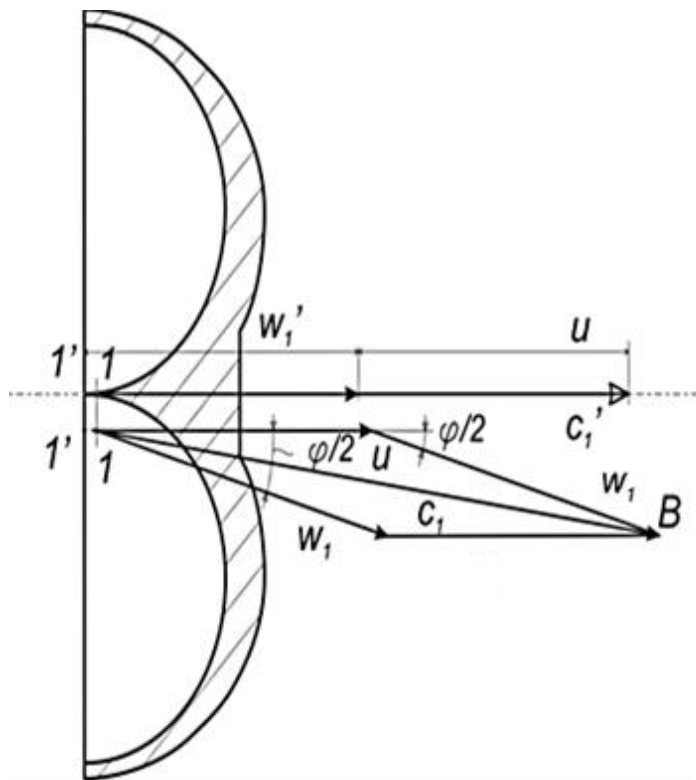


Слика 27 Троугао брзина код Пелтонове турбине [11]

Види се да при доласку на лопатицу тј. у тачку $1'$ на оштрицу лопатице, вода има релативну брзину w_1' , а већ у тачки 1 скреће и мења угао за $\varphi / 2$, тј. да се креће брзином w_1 . Иако угао $\varphi / 2$ није сасвим мали (износи $7 - 15^\circ$) обезбеђен је благ прелаз тако да нема удара ни значајних губитака енергије. Због тога је величина брзине воде у

лопатици остала скоро непромењена, али је правац промењен па релативна брзина у тачки 1, обележена са w_1 заклапа угао $\varphi / 2$ са правцем обимне брзине.

На слици 28 сложена су два проста кретања делића воде и то по основном кругу обимном брзином u и по лопатици релативном брзином w_1 . Тако се добија апсолутно кретање делића воде брзином c_1 која је резултанта брзина u и w_1 , а самим тим је одређен и њен интензитет и правац.



Слика 28 Троугао брзина [11]

Вода се креће по сечици тј. по унутрашњој страни лопатице мењајући правац и смер. Вода на крају напушта лопатицу у смеру који је за око $160 - 175^\circ$ супротан од улазног. У случају да нема отпора трења о зидове лопатице и између самих делића воде (због скретања млаза), онда је релативна излазна брзина w_2 једнака улазној брзини w_1 . Код Пелтонове турбине се сва расположива енергија, кад одбијемо губитке у цевима, претвара у енергију брзине (по изласку из врха отвора млазнице) па, (по Бернулијевој једначини) је енергија која нам стоји на располагању у млазу (33):

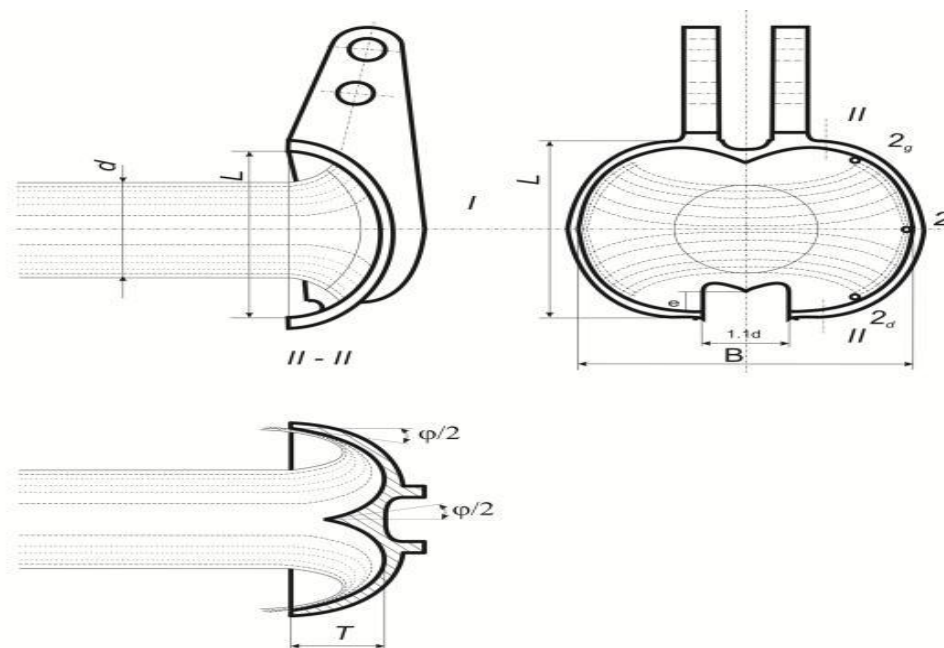
$$H_0 = \frac{c_0^2}{2g} \quad (33)$$

Губитак енергије, који настаје због савлађивања отпора трења при кретању воде кроз лопатице, обележава се са h_k , и одређује се множењем расположиве енергије млаза са коефицијентом отпора (ρ_2). Губитак је представљен следећим изразом (34) и креће се у границама $0,03 - 0,1$.

$$h_k = \rho_2 \frac{c_0^2}{2g} \quad (34)$$

h_k – губитак енергије, који настаје због савлађивања отпора трења при кретању воде кроз лопатице [J/kg]

ρ_2 – коефицијент отпора [1]¹⁵



Слика 29 Делићи млаза изнад и испод његове осе [11]

Кинетичка енергија воде на почетку је, при брзини w_1 (35):

$$E_1 = \frac{w_1^2}{2g} \quad (35)$$

E_1 – кинетичка енергија воде на почетку (пресек 1 – 1) [J]

w_1 – релативна брзина воде на почетку (пресек 1 – 1) [m/s]

Кинетичка енергија воде у крајњој тачки при брзини w_2 , после савлађивања отпора h_k на свом путу у лопатици износи (36):

$$E_2 = \frac{w_2^2}{2g} \quad (36)$$

E_2 – кинетичка енергија воде у крајњој тачки [J]

w_2 – релативна брзина воде у крајњој тачки [m/s]

¹⁵ Креће се у границама 0,03 – 0,1.

Разлика између почетне и крајње енергије једнака је отпорима (37):

$$E_1 - E_2 = h_k \quad (37)$$

$$\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_2^2}{2g} = h_k \quad (38)$$

$$\frac{w_2^2}{2g} = \frac{w_1^2}{2g} - \rho_2 \frac{c_0^2}{2g} \quad (39)$$

$$w_2^2 = w_1^2 - \rho_2 \cdot c_0^2 \quad (40)$$

Из овога се може закључити да је излазна релативна брзина w_2 нешто мања од улазне релативне брзине w_1 .

7.5 Максимална снага турбине

У хидраулици је разматрано акционо дејство млаза на препреку која измиче испред млаза. Уочено је да, ако вода наилази на препреку брзином c_1 , а препрека измиче брзином u , највећу снагу препреци млаз воде предаје када препрека измиче брзином, упола мањом од брзине c_1 са којом млаз наилази. Услов за добијање максималне снаге је испуњен ако је (41), [11]:

$$u = \frac{c_1}{2} \quad (41)$$

То је случај и код лопатица Пелтонове турбине тако да је горњи израз први услов за добијање максималне снаге. Да би видели који су остали услови потребни за добијање максималне снаге, полазимо од Ојлеровог облика главне једначине (42):

$$\eta_h \cdot g \cdot H = c_1 \cdot u_1 \cdot \cos \alpha_1 - c_2 \cdot u_2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (42)$$

u_1 – улазна обимна брзина [m/s]

u_2 – излазна обимна брзина [m/s]

Улазна и излазна обимна брзина код Пелтонове турбине је једнака, јер су и улазна и излазна ивица на истом растојању од осе обртања. Зато, уместо u_1 и u_2 можемо написати само u (43):

$$\eta_h \cdot g \cdot H = u \cdot (c_1 \cos \alpha_1 - c_2 \cos \alpha_2) \quad (43)$$

α_1 – улазни угао [°]

Улазни угао α_1 , је угао који апсолутна брзина c_1 заклапа са обимном брзином u у тренутку кад млаз напада лопатицу. На слици 28 се види да је овај угао једнак половини угла $\varphi / 2$, тј. да се креће у границама $3,5 - 7,5^\circ$ па можемо сматрати да је α_1 приближно једнако нули (44):

$$\cos \alpha_1 = \cos 0 = 1 \quad (44)$$

Применом обрасца (44) у образац (43) добија се једнакост (45):

$$\eta_h \cdot g \cdot H = u \cdot (c_1 - c_2 \cos \alpha_2) \quad (45)$$

Енергија коју користимо из расположивог пада има највећу вредност, ако је (46):

$$c_2 \cos \alpha_2 = 0 \quad (46)$$

Уочено је да се може деловати на брзину c_2 , али да се она не може смањити до нуле, јер вода мора неком брзином напустити лопатицу, али се зато може $\cos \alpha_2$ довести на нулту вредност (или скоро нулту вредност) и то ако угао α_2 буде:

$$\alpha_2 = 90^\circ \quad (47)$$

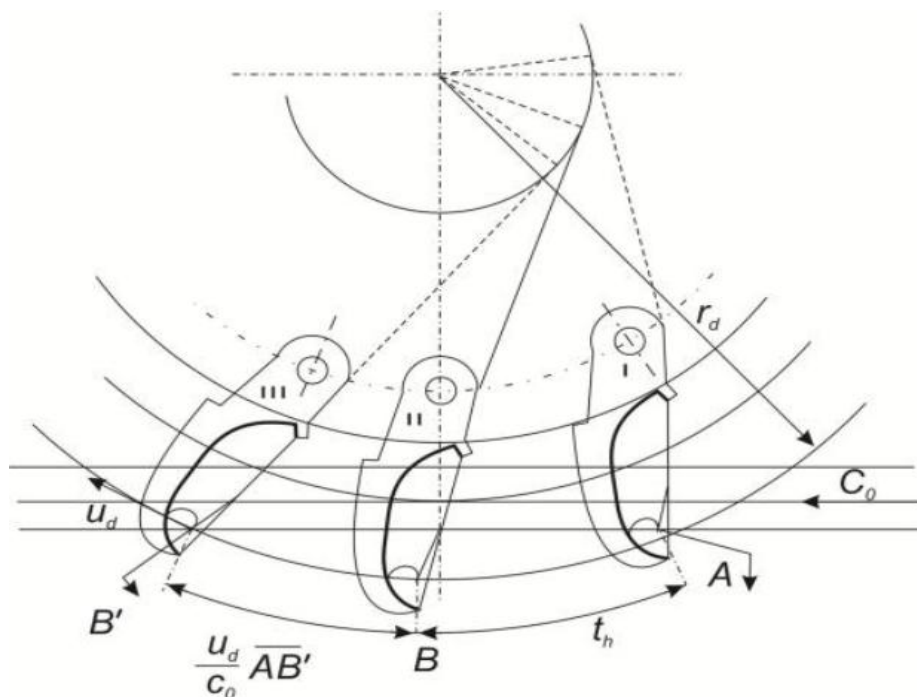
Пелтонова турбина при једном истом паду H даје највећу снагу, ако вода напушта лопатицу апсолутном брзином која према обимној брзини заклапа угао од 90° . Код Пелтонове турбине правац излазне релативне брзине w_2 зависи само од геометрије лопатице, што значи да се при раду турбине не може мењати правац релативне брзине w_2 , али може њена величина. Ако посматрамо троугао излазних брзина (слика 27), при промени величине брзине w_2 видимо да брзина (c_2) мора да промени и свој правац и интензитет (да расте или да опада). Брзина c_2 ће бити мања, а самим тим и дисипована енергија, уколико се брзине u и w_2 што мање разликују. Ово ће бити могуће, ако је угао β_2 што мањи. Тако добијамо трећи услов: Пелтонова турбина даје максималну снагу када су обимна брзина и релативна брзина једнаке, а угао између њих што мањи.

Можемо написати да Пелтонова турбина даје максималну снагу када је [11]:

$$\frac{c_0}{2} = w_2 = u \quad (48)$$

7.6 Број лопатица и корак

Број лопатица по ободу радног кола, односно корак, се добија из услова да вода из млаза који пролази испод тачке А лопатице I, мора да достигне следећу лопатицу и преда јој своју енергију (слика 30). Прво се одређује гранични корак, тј. положај лопатице која не испуњава горњи услов.



Слика 30 Лопатице по ободу радног кола [11]

Испод тачке А пролази најнижа кап млаза и путује праволинијски по правој $\overline{AB'}$. У том тренутку лопатица I путује по основном кругу, као и претходна лопатица означена са II (у почетном тренутку се налази у тачки В), крећући се такође обимном брзином u_d . Ако капљицу на њеном путу $\overline{AB'}$ од тачке А до тачке В' не дочека лопатица II, онда се њена енергија губи. То ће се десити ако лопатица II пређе из положаја II у положај III за исти интервал за који кап воде пређе из тачке А у тачку В'.

Пут од А до В' пређе капљица воде за временски интервал τ који се добија када се пређени пут подели са брзином капи млаза (49), [11]:

$$\tau = \frac{\overline{AB'}}{c_0} \quad (49)$$

τ – време за које вода пређе пут од тачке А до тачке В' [s]

$\overline{AB'}$ – растојање између тачака А и В' [m]

За исти временски интервал τ врх лопатице II пређе лук BB' , који се може израчунати на основу следећег обрасца (50):

$$BB' = u_d \cdot \tau \quad (50)$$

u_d – обимна брзина [m/s]

Растојање од тачке А до тачке В, мерено по луку, тј. растојање између лопатица I и II, представља основни корак t_h , при коме капљице воде које полазе испод тачке А (лопатица I) не могу да достигну лопатицу II и предају своју енергију. Зато се лопатице морају поставити ближе једна другој (стварни корак t мора бити мањи од t_h). Обично се узима да је (51):

$$t = (0,65 \div 0,85) \cdot t_h \quad (51)$$

t – стварни корак [m]

t_h – основни корак [m]

Утврђено је да корак треба бити што мањи. Ограничење постоји у конструктивном смислу, тј. потребан је простор на ободу основе радног кола за везивање лопатица. Зато се понекад праве двоструке лопатице или се у крајњем случају изливају заједно са основом радног кола [23].

7.7 Положај сечице лопатице

При обртању радног кола, сечица долази у контакт са млазом и сече га под углом већим од 90° . При даљем обртању поменути угао се смањује, при чему се добија вредност угла мања од 90° , а лопатица напушта млаз под одређеним оштрим углом.

При томе, лопатицу не погађа одмах цео млаз, већ само његов горњи део, јер доњи део млаза још увек делује на претходну лопатицу. Затим наступа момент кад цео млаз погађа лопатицу (доња ивица млаза удара у најнижу тачку сечице). У следећем кораку се угао између млаза и сечице смањује (нападна тачка млаза се помера навише ка унутрашњој ивици лопатице) све док у једном тренутку следећа лопатица не захвати горњи део млаза. Када цео млаз први пут погоди сечицу, угао између њих је већи од 90° , а када цео млаз последњи пут погоди сечицу (када следећа лопатица долази у контакт са млазом), угао је мањи од 90° . У средњем положају између првог и последњег додира целог млаза, сечица стоји управно у односу на млаз, односно управно на релативни правац кретања воде по лопатици. Да би се испунили поменути услови, правац сечице не пролази кроз центар основе радног кола, већ додирује један круг, као што се види на *слици 30* [11].

7.8 Губици енергије

Губици енергије који се јављају у једном постројењу са Пелтоновом турбином могу се сврстати у следеће две групе:

Губици изван турбине:

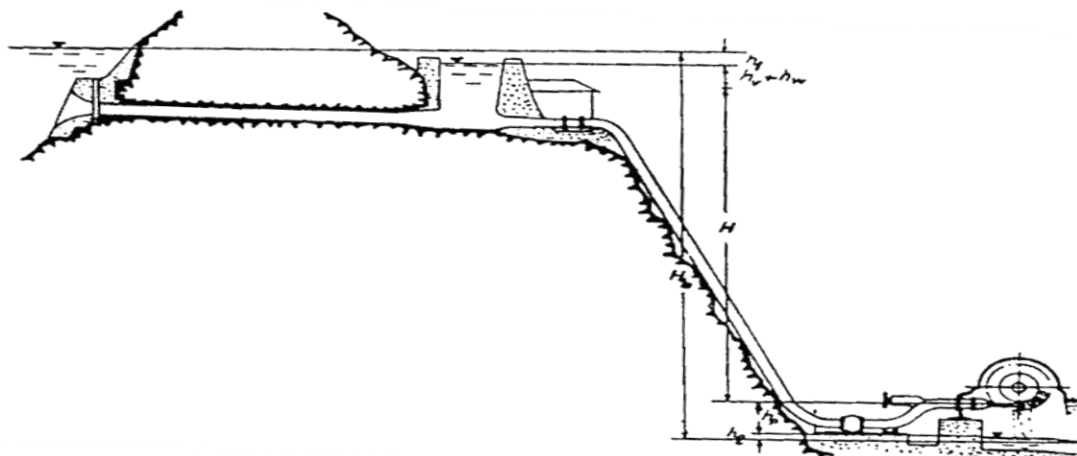
- губици у доводним каналима h_1 ,
- губици у одводним каналима h_2 ,
- губици специфични за Пелтонову турбину h_p ,
- губици у цевоводу h_v и h_w .

Губици у турбини:

- губици у спроводном каналу h_{sa} ,
- губици у млазу h_{ml} ,
- губици у радном колу h_k ,
- излазни губици h_l ,
- механички губици h_m .

Губици у доводним каналима h_1

На *слици 31* дат је приказ једног постројења са Пелтоновом турбином. Расположиви (брuto) пад који постројење може да користи обележен је са H_b . Од горње површине воде у акумулацији до разводника воде јављају се губици у доводним каналима као што су губици у вештачком језеру, у захвату, у доводном тунелу и слично. Ови губици настају услед унутрашњег трења делића воде и услед трења воде о зидове. Њихова величина зависи од општег распореда постројења, дужине доводног цевовода, квалитета материјала зидова, брзине воде, нагиба канала и локалних отпора.



Слика 31 Општи распоред постројења са Пелтоновом турбином [19]

Губици у одводним каналима h_2

Јављају се од тачке непосредно испод турбине па све до крајње тачке одводног канала. Слични су губицима у доводним каналима.

Специфични губици Пелтонове турбине h_p

Укупан нето пад се не може искористити у постројењу са Пелтоновом турбином, јер се лопатике турбине налазе изнад доње воде. Ови специфични губици (h_p) се не јављају код других врста турбина и представљају висинско растојање од нивоа доње воде до тачке у којој оса млаза додирује основни круг. Зависе од положаја млазнице и величине радног кола.

Губици у цевоводу h_v и h_w

Губици у цевоводу настају услед унутрашњег трења воде, трења воде о зидове, кривина, затварача и наглих промена попречног пресека. Како би ови губици били што мањи, прелази и кривине треба да су што блажи и постепенији, а брзина кретања воде што мања. Ови губици могу бити успутни (континуални), на праволинијском делу цевовода и локални (концентрисани) губици. Губици у правим цевима рачунају се по обрасцу (52), [19]:

$$h_v = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2 \cdot g} \quad (52)$$

h_v – успутни (континуални) губици [m]

λ – коефицијент отпора трења флуида у правој цеви [/]

l – дужина цеви [m]

d – пречник цеви [m]

c – брзина струјања флуида кроз попречни пресек [m/s]

Губици услед локалних отпора се рачунају по обрасцу (53):

$$h_w = \zeta \cdot \frac{c^2}{2 \cdot g} \quad (53)$$

h_w – локални (концентрисани) губици [m]

ζ – коефицијент одговарајућег локалног отпора [/]

Сви до сада набројани губици се називају и спољашњи губици, јер настају изван турбине. Ако све ове губитке одузмемо од бруто пада H_b , добија се нето пад H који турбина може да користи, тј. пад који турбини стоји на располагању на месту испред улаза у спроводни апарат. Нето пад се израчунава на основу следећег обрасца (54):

$$H = H_b - h_1 - h_2 - h_p - h_v - h_w \quad (54)$$

Губици у спроводном каналу h_{sa}

То су губици који настају у млазници и зависе од облика млазника, копља, као и њиховог узајамног положаја. Излазна брзина c_0 се одрђује помоћу израза (55):

$$c_0 = \phi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (55)$$

ϕ – коефицијент губитака у спроводном каналу [/¹⁶]

$$c_0^2 = \phi^2 \cdot 2 \cdot g \cdot H \quad (56)$$

$$\frac{c_0^2}{2 \cdot g} = 0,96 \cdot H \quad (57)$$

Може се уочити да је енергија млаза (кинетичка енергија) незнатно мања од нето пада H (користи се 96%) тј. износи:

$$h_{sa} = H - 0,96 \cdot H = 0,04 \cdot H \quad (58)$$

$$h_{sa} = 4\%H \quad (59)$$

Губици у млазу h_{ml}

Губици који се јављају на делу пута од излаза млаза из млазнице до лопатичног круга, настају у случају када млаз није цилиндричан и компактан. Излазећи из млазника, млаз се сужава, а затим шири, јер са собом повлачи делиће ваздуха. Да би се користио што компактнији млаз, лопатице треба да су што више примакнуте млазници тј. да млаз дође у контакт са лопатицама пре него што почне да се шири. На појаву распршивања млаза такође утичу облик млазнице и копља, као и облик улазне кривине.

Губици у радном колу h_k

Улазећи у лопатицу радног кола, млаз воде скреће и излази из ње скоро у супротном смеру од смера којим је ушао. Свака кривина при кретању воде представља извесни отпор за чије се савлађивање троши један део енергије. Осим отпора услед кривине, у лопатици се јављају и отпори трења о зидове и отпори унутрашњег трења. Укупни губици у радном колу од тренутка контакта млаза и сечице, па све до његовог изласка из лопатице, одређени су изразом:

¹⁶ Коефицијент губитака у спроводном каналу износи 0,98.

$$h_k = \rho_2 \cdot \frac{c_0^2}{2 \cdot g} \quad (60)$$

Применом једначине (57) и једначине (60) добији се следећи израз (61):

$$h_k = (0,03 \div 0,10) \cdot 0,96 \cdot H \quad (61)$$

$$h_k = (2,88 \div 9,6)\% \cdot H \quad (62)$$

Излазни губици h_l

Излазни губици износе:

$$h_l = \frac{c_2^2}{2 \cdot g} \quad (63)$$

c_2 – брзина флуида по изласку из лопатице [m/s]

Да би се што већи део кинетичке енергије воде искористио у турбини, излазни губици треба да буду што мањи, тј. да је излазна брзина c_2 што мања. Излазни губици по својој природи нису хидраулични у правом смислу, јер не потичу из потребе да се савлада неки отпор трења, већ је то количина енергије која није искоришћена [19].

Излазни губици h_l се изражавају као део нето пада H помоћу емпиријског обрасца (64):

$$h_l = \psi \cdot H \quad (64)$$

ψ – коефицијент излазних губитака [/]¹⁷

$$h_l = (0,03 \div 0,06) \cdot H \quad (65)$$

$$h_l = (3 \div 6)\% \cdot H \quad (66)$$

Механички губици h_m

Ови губици настају услед механичког трења у лежиштима и заптивачима у којима се обрће вратило турбине. Изражавају се као део нето пада:

$$h_m = m \cdot H \quad (67)$$

¹⁷ Креће се у границама 0,03 – 0,06.

m – коефицијент $[/]$ ¹⁸

$$h_m = (0,01 \div 0,02) \cdot H \quad (68)$$

$$h_m = (1 \div 2)\% \cdot H \quad (69)$$

7.9 Коефицијент корисног дејства и карактеристике

Коефицијент корисног дејства представља однос између искоришћене енергије и енергије која стоји на располагању. Турбине се конструишу, тако да функционишу у склопу са генератором, па на основу тога разликујемо неколико коефицијената корисног дејства. Уобичајено је да се говори о четири коефицијента корисног дејства:

- Општи коефицијент корисног дејства целог постројења (η_0), подразумева однос енергије предате генератору према расположивој енергији која одговара бруто паду. У овај коефицијент улазе сви набројани губици и износи (70):

$$\eta_0 = 0,75 \div 0,82 \quad (70)$$

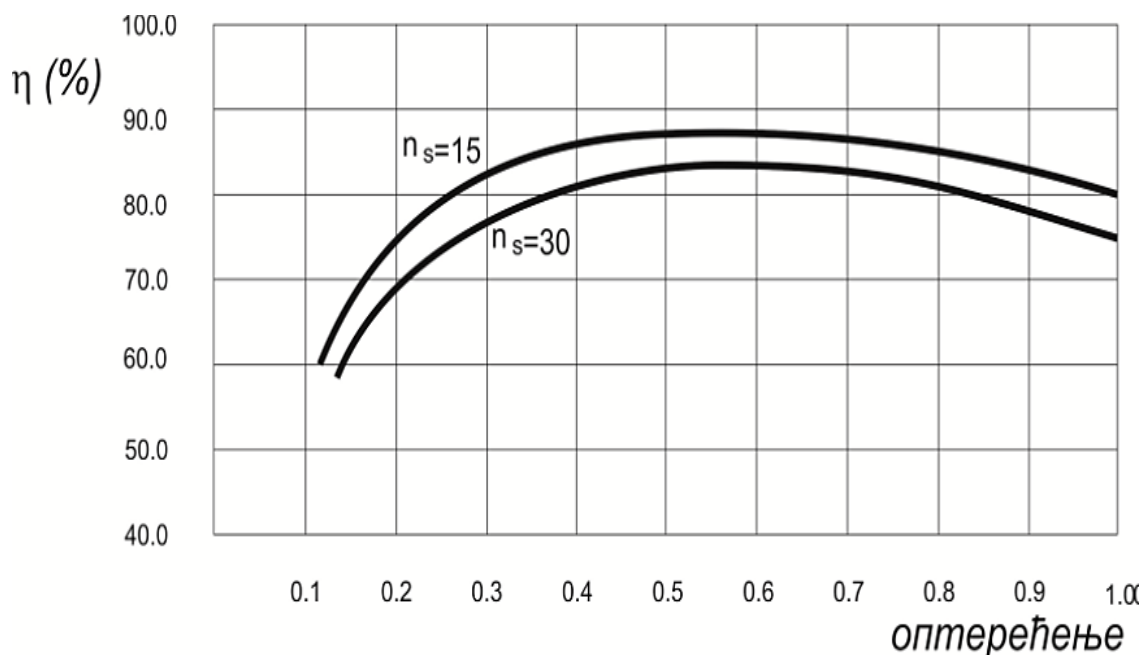
- Хидраулични коефицијент корисног дејства (η_h), представља однос енергије предате лопатицама и енергије која одговара нето паду. Формира се услед настанка губитака у спроводном апарату, млазу, обртном колу, као и услед настанка излазних губитака.
- Механички коефицијент корисног дејства (η_m), је однос енергије предате генератору и енергије предате лопатицама турбине. Овде су укључени само механички губици.
- Укупни коефицијент корисног дејства турбине (η), Представља однос енергије предате генератору и нето енергије која одговара нето паду Пелтонове турбине. Укупни коефицијент корисности је обично $0,88 - 0,9$.

Сва ова разматрања вршена су за идеалне услове рада, стално оптерећење и најповољније хидрауличне услове протицања. У стварности се то веома ретко дешава. Углавном, при промени појединих параметара или оптерећења, ступају у дејство уређаји за регулисање чији је задатак да обезбеде константан број обртаја турбине. Ако се у неком тренутку, смањи оптерећење, онда механизам за регулисање смањује отвор врха млазнице померањем копља, чиме се смањује пресек млаза и проток (брзина се незнатно мења, а самим тим и снага турбине) [11].

На *слици 32* приказан је дијаграм промене укупног коефицијента корисног дејства турбине у зависности од оптерећења. Може се увидети да се η незнатно мења

¹⁸ Креће се у границама $0,01 - 0,02$.

променом оптерећења и то захваљујући малим променама брзине млаза. Тек при оптерећењима мањим за 25% од максималног, услови протикања се знатно мењају и вредност коефицијента η нагло опада.



Слика 32 Дијаграм промене коефицијента корисног дејства [11]

Свака турбина има одређене карактеристичне величине које омогућавају упоређивање турбина истог или сличног типа. Једна од најважнијих карактеристика турбина је специфичан број обртаја (n_s), који се израчунава као (71):

$$n_s = \frac{n \cdot \sqrt{P}}{H \cdot \sqrt[4]{H}} \quad (71)$$

Пелтонове турбине које имају једну млазницу конструишу се за специфичне бројеве обртаја до 30, а најефикасније су за специфичне бројеве обртаја 12 – 15, што је и експериментима доказано. На дијаграму (слика 32), су дате две криве Пелтонове турбине, за специфични број обртаја од 15 и 30. Види се да Пелтонова турбина има већи степен корисности у случају када је специфични број обртаја 15, а мањи степен корисности, када је он 30 [23].

7.10 Извођење Пелтонове турбине

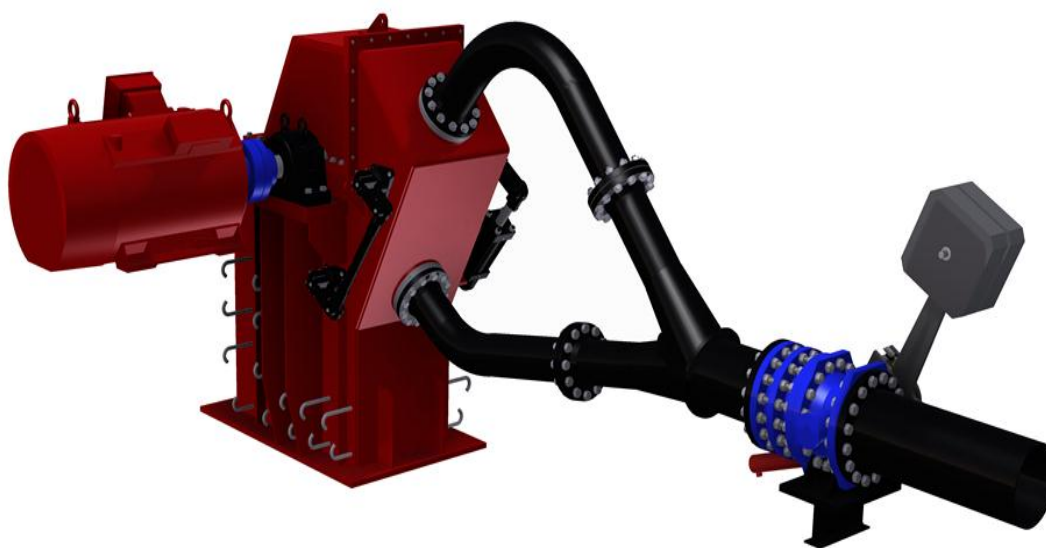
Пелтонове турбине се изводе на више начина, који се међусобно разликују по положају вратила, по броју млазница и по броју радних кола. Ако се проток воде подели на више млазница, добија се већи број обртаја турбине, међутим број млазница

се не може тек тако повећавати. Између њих мора постојати размак тако да млаз следеће млазнице дође у контакт са лопатицом тек када последња кап воде претходног млаза напусти лопатицу. Осим тога, број млазница је ограничен и њиховим положајем, јер вода која излази из лопатице не сме да пада на основу радног кола или да смета млазевима из осталих млазница.

Да би се у постројењу користио јефтинији генератор, обимна брзина радног кола мора бити што већа. Намеће се закључак да Пелтонову турбину треба користити за што веће падове да би добили веће обимне брзине, односно већи број обртаја, а тиме и јефтинији генератор. Најједноставнија конструкција Пелтонове турбине је са једним радним колом и једном млазницом. За мање падове користе се и турбине са више млазница или више радних кола на истом вратилу. Пелтонове турбине се скоро искључиво конструишу са хоризонталним вратилом, а за велике снаге имају вертикална вратила [23].

Турбине са хоризонталним вратилом

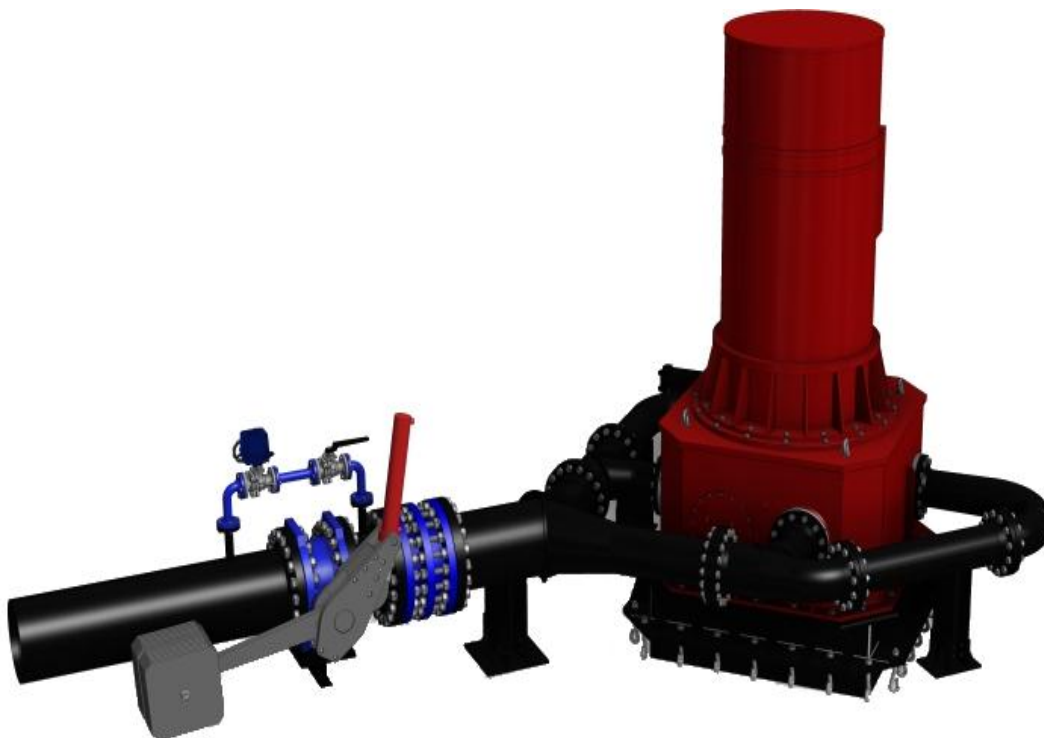
Код ових турбина (слика 33) број млазница не може бити већи од броја два из конструктивних разлога (сметале би једна другој). Ако прорачуни покажу да је потребан већи број млазница, онда се конструишу турбине са два или три радна кола тако да на свакој имамо по две млазнице [23].



Слика 33 Приказ хоризонталне Пелтонове турбине [23]

Турбине са вертикалним вратилом

Пелтонове турбине (слика 34) релативно већих димензија и са више млазница најчешће се постављају на вертикално вратило. Млазнице се распоређују симетрично око радног кола, тако да сила која се преноси радном колу буде подједнако распоређена.



Слика 34 Приказ вертикалне Пелтонове турбине [23]

7.11 Начини регулисања Пелтонове турбине

Количина воде која из млазнице излази сваке секунде се израчунава помоћу израза (72):

$$Q = S \cdot \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (72)$$

α – коефицијент истицања [/]

S – површина попречног пресека излаза млазнице [m²]

$$\alpha = \mu \cdot \phi \quad (73)$$

μ – коефицијент контракције млаза [/]

ϕ – коефицијент брзине [/]

Снага турбине зависи од протока што значи да снагу турбине можемо регулисати мењањем површине пресека истицања (померањем копља улево/удесно). Померање копља може се вршити ручно или помоћу регулатора. Механизам за ручно померање је једноставан. При крају копља нарезан је навој, а на самом крају помоћу четвртке постављен је наглавак. Обртањем точка копље се помера и улази/излази из

фиксиране навртке. Ручно регулисање примењује се само ако је оптерећење константно [11].

При промени оптерећења, мења се број обртаја. Уколико се оптерећење смањује, број обртаја расте, а при повећању оптерећења број обртаја опада. Задатак регулатора се заснива да број обртаја доведе на првобитну вредност, смањујући снагу турбине. Пожељно је да се број обртаја што мање мења и да привремено повећање броја обртаја при растерећењу буде што мање. Да би се ово остварило неопходно је повећати масу замајца у ротору генератора или додавањем новог замајца. Ова метода се не примењује често, јер је ово конструктивно решење скупо. Могуће је применити други начин решавања овог проблема и то у виду смањења времена растерећења турбине.

На нагло растерећење турбине, регулатор реагује брзим померањем копља и затварањем млазнице. Услед тога долази до наглог пораста притисака у цеви, при чему се јавља хидраулични удар који може довести до пуцања цеви. Да би се ова појава избегла примењује се скретач млаза. Применом скретача млаза губи се енергија коју са собом односи млаз.

За отклањање недостатака појединачних регулисања само помоћу копља или само помоћу скретача, примењује се комбиновано (двоструко) регулисање.

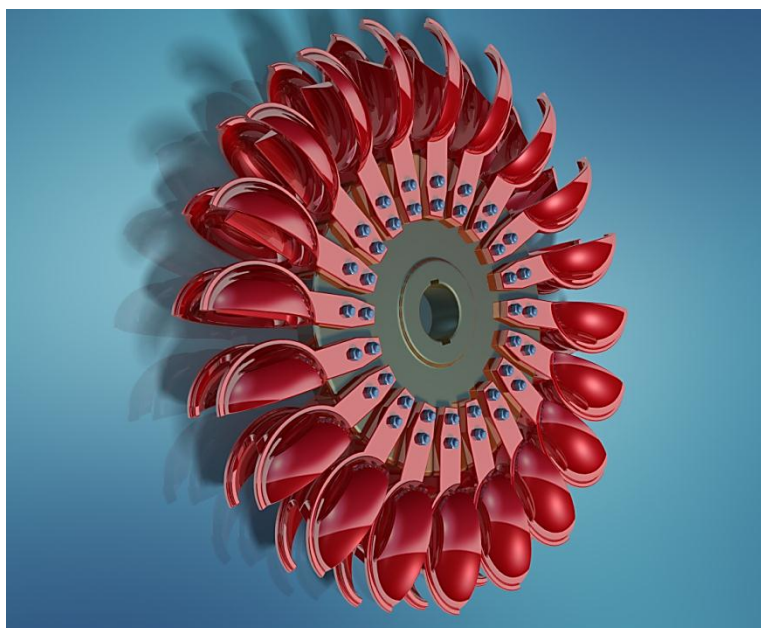
8 3D модел Пелтонове турбине

На основу добијених резултата прорачуна Пелтонове турбине, који је приказан у прилогу 1, извршено је моделирање свих делова турбине у програмском пакету CATIA V5-6R2013. На *слици 35* приказан је 3D модел лопатице.



Слика 35 Лопатица радног кола Пелтонове турбине

На *слици 36* приказано је радно коло Пелтонове турбине у изометрији.

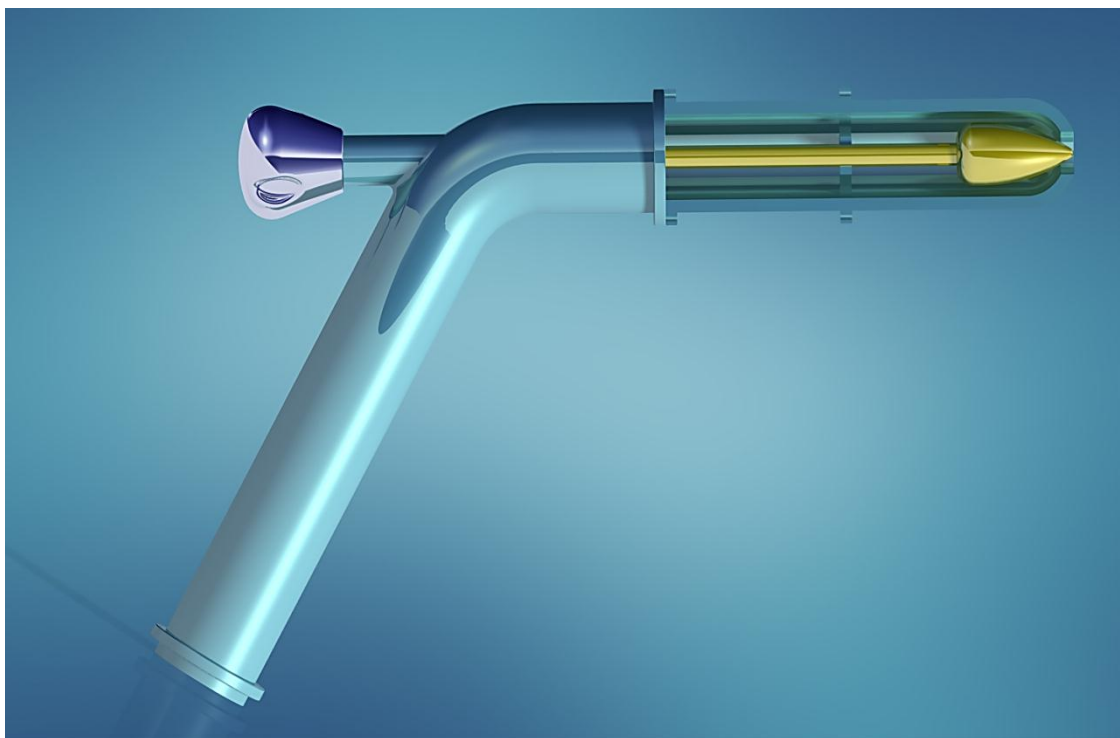


Слика 36 Приказ радног кола Пелтонове турбине

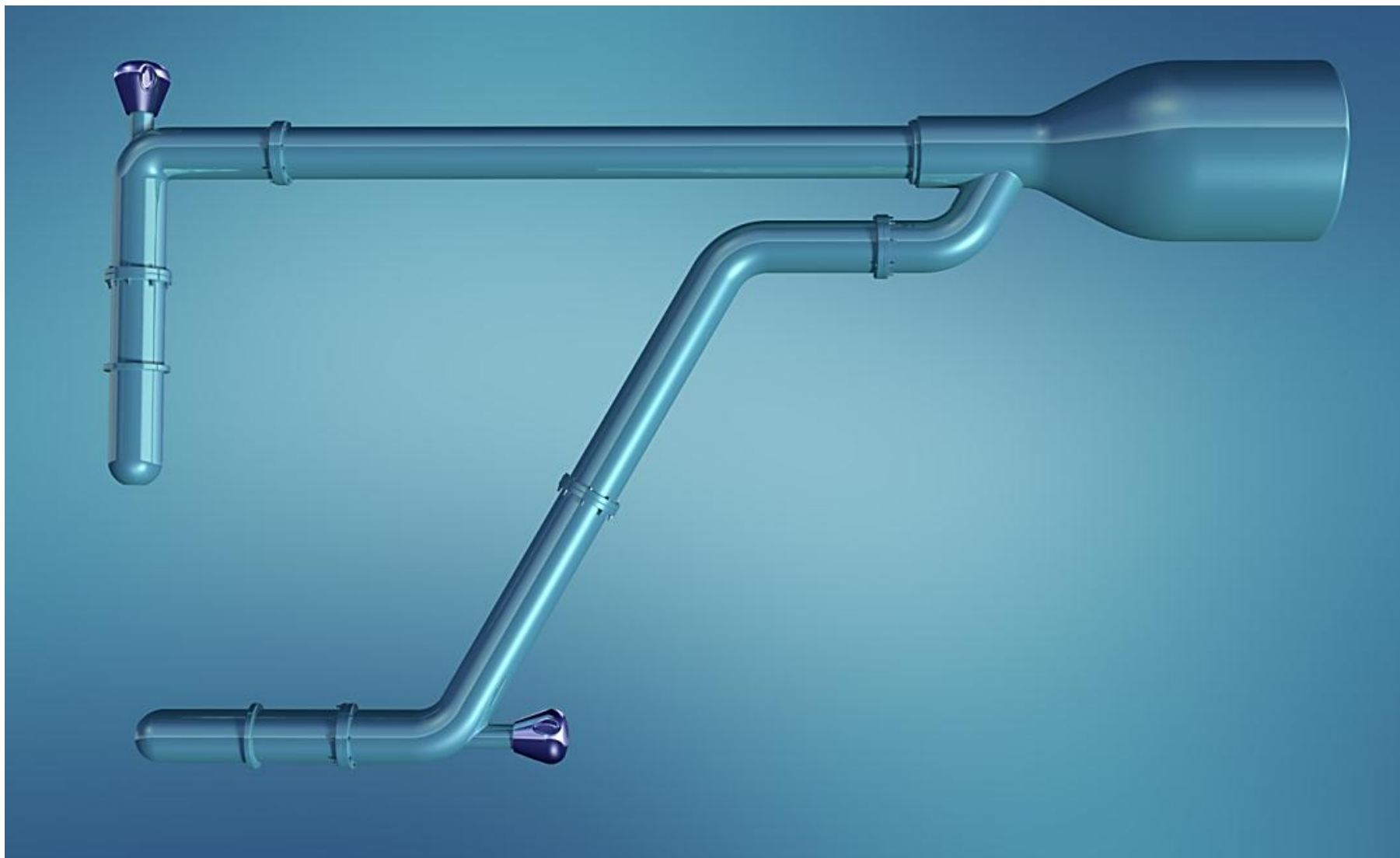
3D модел млазнице је приказан на *слици 37*, а њен уздужни пресек је приказан на *слици 38*. На *слици 39* приказан је склоп две млазнице у постројењу за производњу електричне енергије са Пелтоновом турбином.



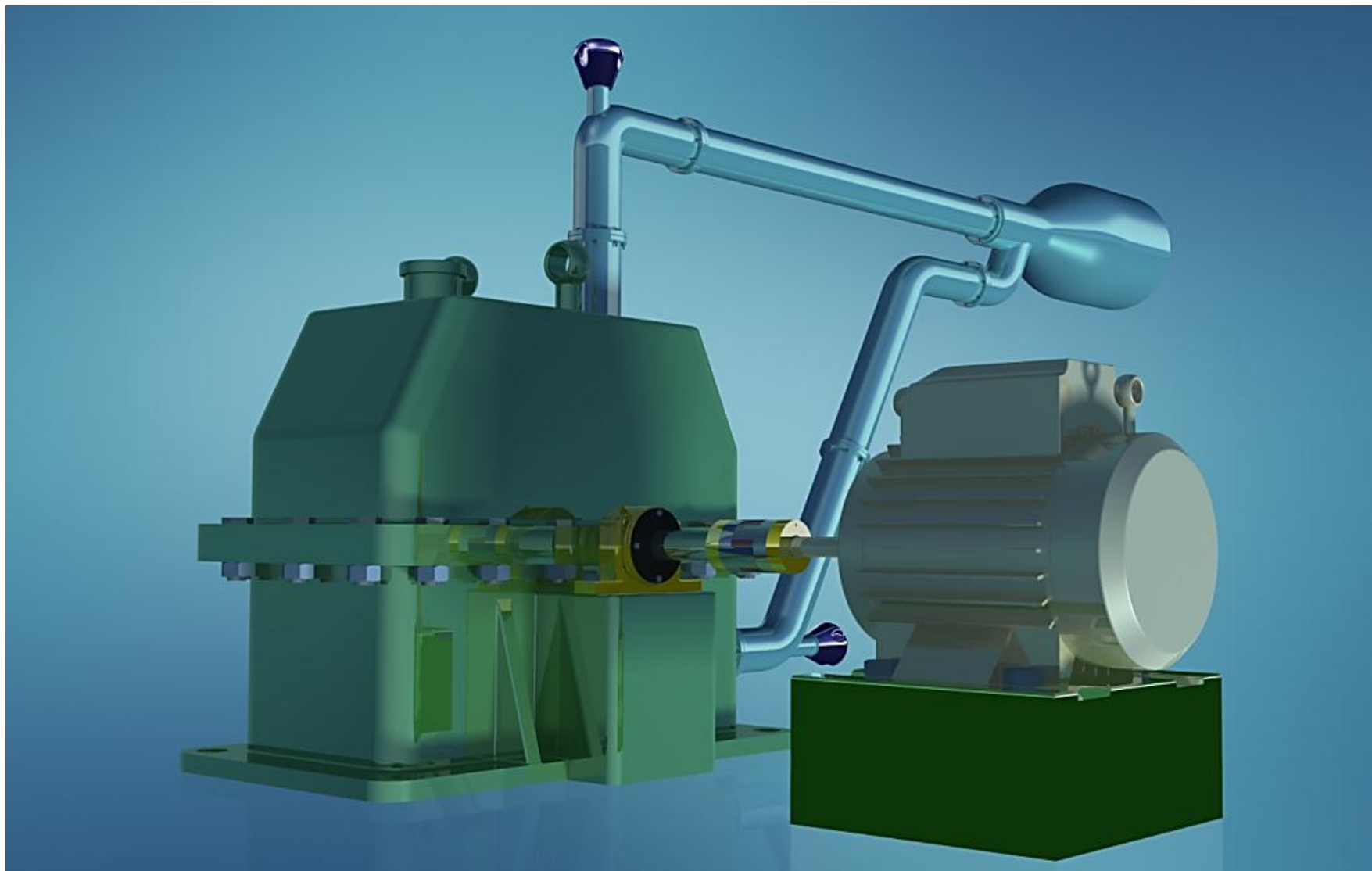
Слика 37 3D приказ млазнице



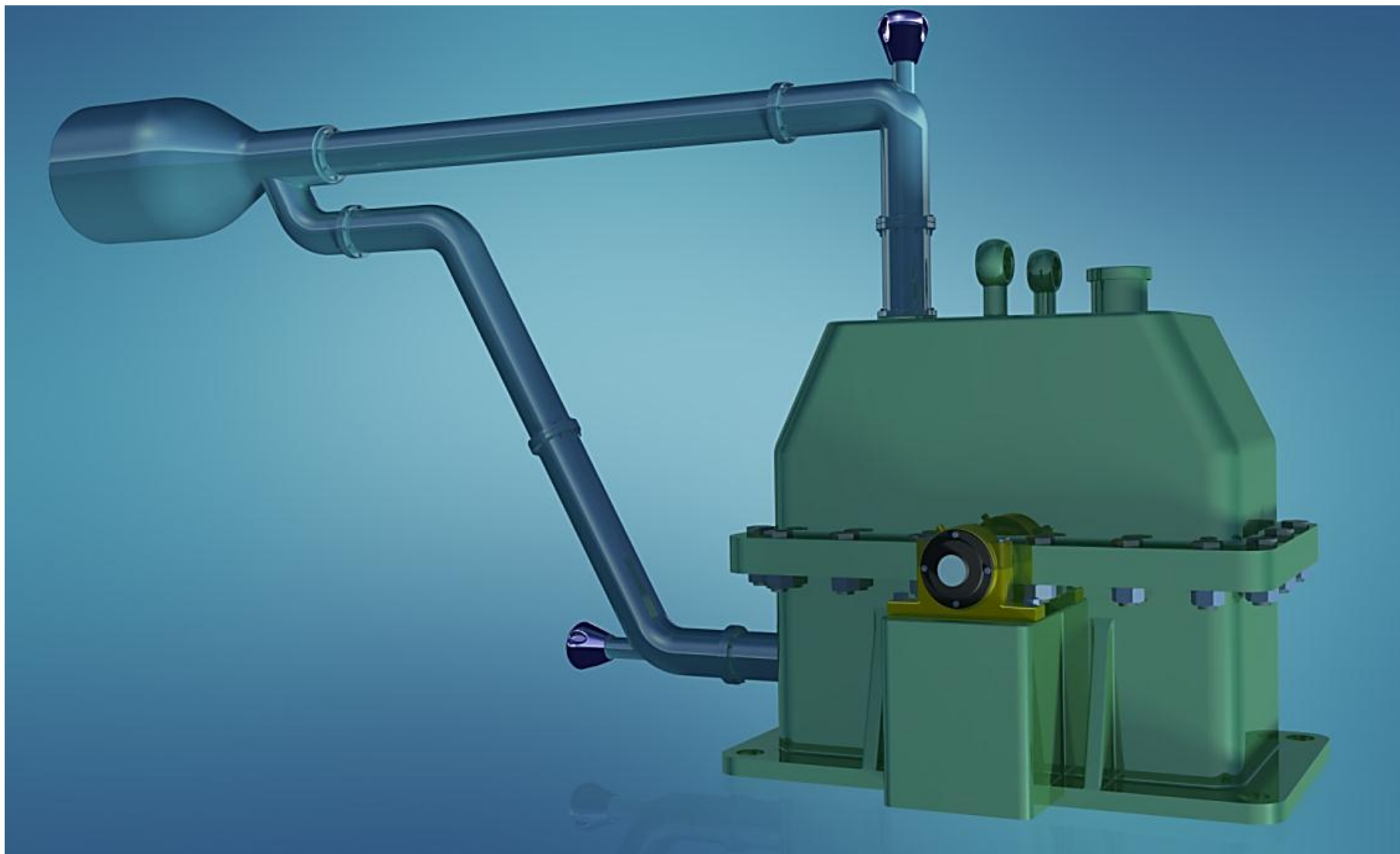
Слика 38 Приказ уздужног пресека млазнице



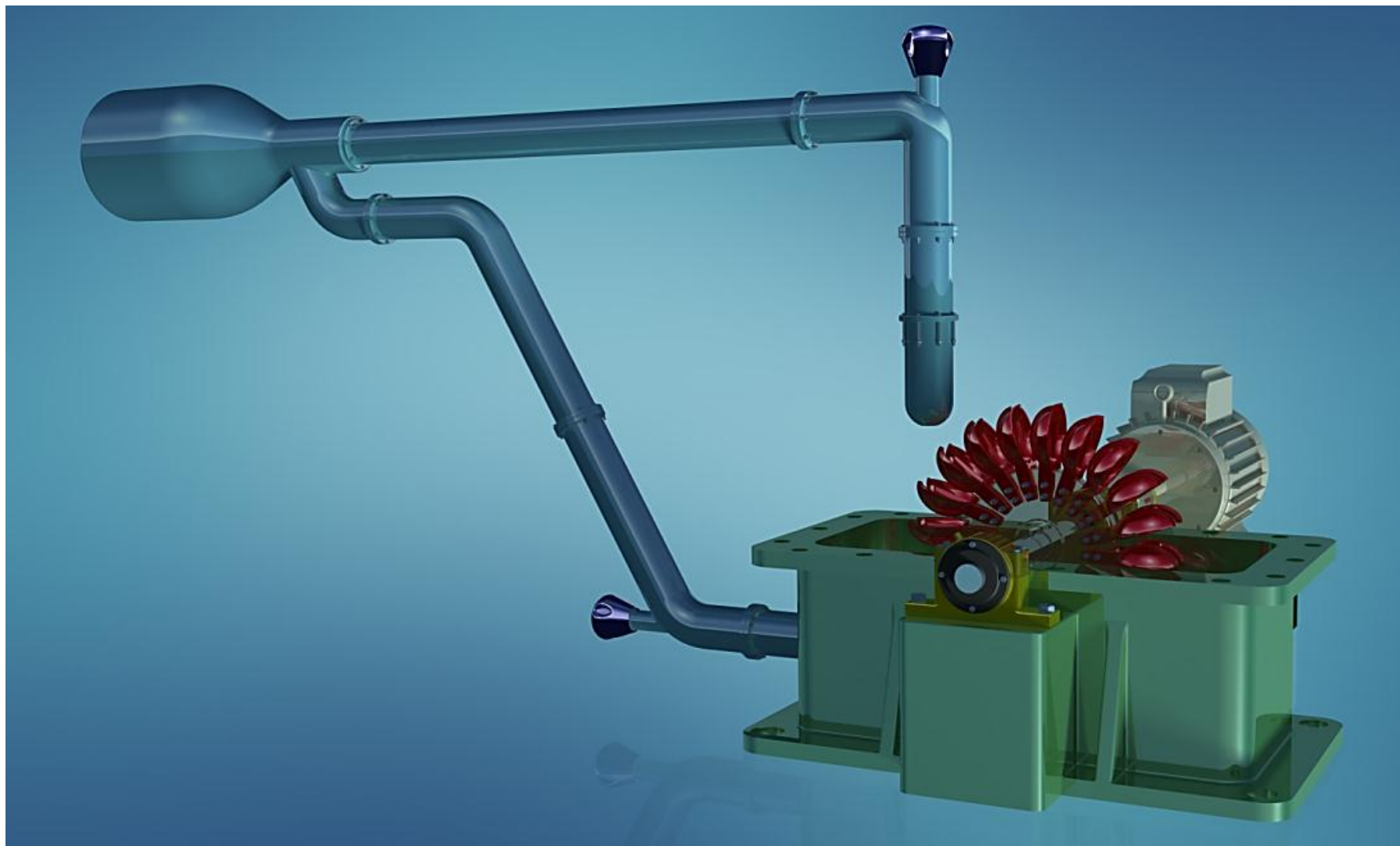
Слика 39 Приказ млазница МХЕ са Пелтоновом турбином



Слика 40 Приказ склопа Пелтонове турбине, позиција (а)



Слика 41 Приказ склопа Пелтонове турбине, позиција (б)



Слика 42 Приказ склопа Пелтонове турбине без горњег дела кућишта

9 Генератор

Генератор (слика 43) је спојен са хоризонталном Пелтоновом турбином преко канцасте спојнице одговарајућег преносног односа. Пелтонова турбина на вратилу даје снагу од $2.447 \times 10^5 \text{ W}$. Узимајући у обзир ову вредност, податак о прописаном фактору снаге (0,95), степену искоришћења генератора (0,96) и степену искоришћења мултипликатора (0,98) добија се да привидна снага једног генератора износи (74), [24]:

$$S_g = \frac{P_{to} \cdot \eta_g \cdot \eta_m}{\cos(\varphi)} = \frac{2.447 \times 10^5 \cdot 0.96 \cdot 0.98}{0.95} = 242330 \cong 242.330 \text{ kVA} \quad (74)$$

S_g – привидна снага генератора [VA]

η_g – ефикасност генератора [/]

η_m – ефикасност мултипликатора [/]

$\cos(\varphi)$ – фактор снаге [/]



Слика 43 Генератор Пелтонове турбине [24]

Подаци усвојеног хидро генератора дати су у *табели 2*.

Табела 2 Генетартор – спецификација [24]

Основни подаци	
Називна снага генератора	55 – 1.000 kVA
Називни напон генератора	400 V
Називни фактор снаге	0,75 – 0,90
Називна јачина електричне струје	90 A
Класа изолације	H
Називна учестаност	50 Hz
Степен корисног дејства	0,96
Број полова	4
Називни број обртаја	300 min ⁻¹
Максималан број обртаја	500 min ⁻¹
Тип побуде	контактни, статички

10 Економска анализа МХЕ са Пелтоновом турбином

Поставка плана

Овим планом је предвиђена изградња деривацијске мале хидроелектране на реци Бјелици у делу територије општине Лучани. Као име електране изабрано је „Бјелица” на реци Бјелици, у делу села Доњи Дубац.

Делови електране су:

- водозахват,
- цевовод од водозахвата до водне коморе, $L = 3600 \text{ m}$, $D = 0,46 \text{ m}$,
- цевовод под притиском од водне коморе до машинске зграде $L = 170 \text{ m}$, $D = 0,46 \text{ m}$,
- водозахватни праг ширине 2 m , висине 3 m и дужине 5 m ,
- машинска зграда са опремом.

Основни параметри и карактеристике за изградњу мале хидроелектране „Бјелица” на реци Бјелици према идејном решењу су следећи:

- бруто пад: $H_b = 61,5 \text{ m}$,
- нето пад: $H_n = 57,81 \text{ m}$,
- инсталирани проток: $Q = 0,47 \text{ m}^3/\text{s}$,
- број агрегата: 1,
- тип турбине: Пелтонова.

Мала хидроелектрана на реци Бјелици, има основну намену да производи електричну енергију која ће се преко дистрибутивног система продавати дефинисаним купцима. Зато постоје повољни технички услови, бруто пад вредности $61,5 \text{ m}$ и средњи проток вредности $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$. Електрана је предвиђена да ради као проточно-деривационо постројење. Деривација се остварује каналом и цевоводом од водозахвата до машинске зграде. Мала хидроелектрана користи расположиве воде из реке Бјелице умањене за вредност биолошког минимум (10%). Након проласка кроз турбину, вода се одводним каналом враћа у водоток. Током овог процеса квалитет воде се не мења.

Табела 3 Општи подаци о локацији

Назив локације	Доњи Дубац
Општина	Лучани
Водоток	Бјелица
Слив	Западна Морава
Површина слива	376 km ²
Проток водотока	0,47 m ³ /s
Бруто пад водотока	61,5 m

Електрана је лоцирана на подручју које је слабо насељено, тако да је терен углавном брдски, окружен шумом. У делу захваћеног водотока не постоје други потрошачи и корисници воде, па је могућност искоришћења протока већа.

Елементи, положај и карактеристике електране

Пројектовано постројење мале хидроелектране на реци Бјелици се састоји од:

- водозахвата,
- цевовода,
- машинске зграде са опремом.

Сви елементи су димензионисани према расположивом средњем протоку вредности 0,47 m³/s и нето паду 57,81 m, чиме је добијена снага на вратилу турбине од 244,7 kW (прилог 1).

Инвестициони трошкови

Водозахват

Идејно решење представљено је у виду водозахвата у облику бетонског профилисаног прага са челичним филтерима. Капацитет водозахвата треба да буде најмање 0,57 m³/s, како би се омогућило пуњење цевовода са потребних 0,47 m³/s воде.

Као одговарајућа грађевина за дате услове, намену и капацитет, предвиђен је водозахват тиролског типа¹⁹. Водозахватна грађевина се састоји од четири функционално зависна дела:

¹⁹ Тиролски тип водозахвата се често користи за хватање воде на рекама које су планинског типа. Поставља се на дну корита реке, као бетонска грађевина са хоризонталном решетком преко које пролази нанос. Саставни део овог захвата је таложник и песколов.

- Рибља стаза, коју чине три степенасте стазе променљиве ширине по висини, лоциране у крајњем левом делу профила.
- Преливни водозахватни праг у коме је уграђен водозахватни канал ширине 1,2 m са решетком и падом дна око 3% ка таложнику.
- Калдрмисано дно са заштитом обале низводно од водозахватног прага.
- Таложник²⁰ и пескол²¹.

Табела 4 Изградња приступне и сервисне саобраћајнице

Опис позиције	Количина	Јединична цена [€]	Вредност радова [€]
Обележавање и снимање трасе пута пре извођења радова	1 km	800	800
Рашчишћавање терена	6.500 m ²	0,15	950
Земљани радови	1.500 m ³	3,5	5.250
Израда приступног пута	3.000 m ²	4	12.000
Укупно за приступну и сервисну саобраћајницу			19.000

Табела 5 Изградња водозахвата

Опис позиције	Количина	Јединична цена [€]	Вредност радова [€]
Обележавање и снимање објекта водозахвата	1	400	400
Рашчишћавање терена на локацији водозахвата	1	800	800
Ископ темељног рова (водозахватни праг, рибља стаза, таложник)	100 m ³	6	600
Одвоз вишка материјала на депонију	70 m ³	1,5	105
Стабилизација корита	700 m ²	10	7.000
Бетонски радови	100 m ³	107	10.700
Укупно за водозахват			19.605

²⁰ Хидротехничка грађевина у којој се врши процес таложења суспендованих материја из воде помоћу гравитације.

²¹ Служи за одвајање шљунка, песка, земље и осталих честица из воде, које могу изазвати убрзано хабање делова турбине, па и самог ценовода.

Рибља стаза представља пролаз за рибе и остали живи свет настањен у реци у правцу њеног природног тока, као и посебан пут за воду у време суша. Водозахватни праг је опремљен решетком профила I12 и као такав омогућава пребацивање крупног наноса који доноси ток Бјелице, преко прага. Таложик је пројектован у облику бетонске коморе, променљивог пресека у правцу тока реке. На таложнику је предвиђен чеони отвор за допунско захватање воде, опремљен одговарајућом решетком, тако да омогућава допунско дострујавање воде у циљу његовог сталног или повремениог испирања од песка кроз за то предвиђене испусте.

Облагање дна калдрмом на подлози од бетона, има за циљ заштиту објекта и корита од ерозије, а такође и продужавање филтрационог пута, што обезбеђује потребно заптивање преградног места [25].

Водозахват преко посебних прелива омогућава предвиђени проток за биолошки минимум и напајање рибље стазе. Својим положајем и димензијама не омета ток реке, омогућава пролаз великих вода, и наноса, а такође не ремети биолошке функције реке. Челични филтер водозавата омогућава да у захваћеној води нема честица наноса крупнијих од 1 mm, што је задовољавајуће са аспекта заштите турбине и цевовода. Посебно је од значаја да водозахват може радити у зимским условима, све док постоји текућа вода у реци. Овакав тип водозавата је финансијски повољан.

Цевовод

За довод воде од водозавата до водне коморе предвиђен је цевовод унутрашњег пречника 0,46 m.

Табела 6 Изградња деривационог цевовода

Опис позиције	Количина	Јединична цена [€]	Вредност радова [€]
Цевовод у режиму без притиска	3.600 m	40	144.000
Цевовод под притиском	170 m	50	8.500
Уређење трасе цевовода	3.800 m	20	76.000
Муљни испуст			14.500
Доводни цевовод до турбине	3 m	60	180
Водна комора	1 ком	10.000	10.000
Решетка на одводу ка турбини	1 ком	500	500
Затварач на улазу	1 ком	2.000	2.000
Одводни цевовод	25 m	40	1.000
Укупно за деривациони цевовод			256.680

Предлог цевовода, као гравитационог од бетонских цеви није прихватљив. Предвиђена траса за гравитациони цевовод је захтевна. Најбоље техничко решење је цевовод од челика са свим потребним заштитима. За гравитационе цеви дебљина цеви је минимална (8 mm). Цевовод почиње на водозахвату (дужина 170 m) и простире се дуж десне стране реке. На водној комори предвиђен је испуст за испирање евентуалног наноса. Од водне коморе до машинске зграде цевовод је под притиском, пречника 0,46 m. Цевовод под притиском се изводи као надземни и завршава се у машинској згради прелазним комадом. Заштићен је анкерним блоком.

Предвиђен цевовод у режиму без притиска је дужине 2.600 m. Цена по килограму и по дужном метру износи 57,7 € (према каталогу цена предузећа „Тргометал” д.о.о.), [26].

Машинска зграда са опремом

Машинска зграда, према пројекту, је лоцирана на десној обали реке Бјелице. Димензије машинске зграде су 6,5x10x4 m. У машинској згради предвиђене су просторије за смештај турбине, генератора и цевног разводника, електричних ормана за управљање и везу генератора са трансформатором, просторију за надзор и управљање, магацин и санитарни чвор.

Испод пода машинске зграде предвиђен је базен који одводи воду до одводног канала од армираног бетона, димензија 1,2x1 m. Обала на страни машинске зграде, узводно и низводно, је заштићена зидом од камена и бетона.

Машинска зграда, темељ, умирујући базен и носећи зидови изграђени су од водонепропусног армираног бетона. Спољни зидови машинске зграде висине 1,5 m су изграђени од истог материјала. На висини 1,5 – 2,5 m, је метална монтажна конструкција са зидовима од профилисаног лима испуњена термичком заштитом.

Машинска опрема

За коришћење и стварање електричне енергије према вредностима протока и пада имплементира се Пелтонова турбина са две млазнице. Турбина је робусна и дуготрајна, а посебне предности се истичу приликом редовног одржавања или евентуалног сервисирања. Лежаји турбинског кола се налазе са спољне стране турбине (на сувом), лако су доступни за подмазивање и контролу. Радно коло турбине је лако доступно и не захтева посебно обучене раднике за његово руковање. Такође, радно коло је унапред заштићено од опасности наноса, водозахватом.

Турбина је везана за генератор, који производи електричну енергију учесталости 50 Hz. Тако добијена електрична енергија се преко електричног ормара преноси до трансформатора. Радом турбине и осталих уређаја управља се преко софтвера који прати потребне параметре и одређује режим рада турбине.

Електрични ормани са управљачким механизмом, рачунаром и одговарајућим софтвером контролишу рад постројења користећи податке са одговарајућих сензора. Трафо високог напона се налази у посебној просторији машинске зграде. и физички је обезбеђен од приступа неовлашћених лица.

Табела 7 Изградња МХЕ са Пелтоновом турбином

Опис позиције	Количина	Јединична цена [€]	Вредност радова [€]
Машинска зграда	1	25.000	25.000
Пелтонова турбина са генератором	1	82.000	82.000
Хидромашинска опрема	1	30.000	30.000
Електро мрежа у машинској згради	1	15.000	15.000
Спроводна електрична опрема до јавне мреже	1	140.000	140.000
Пројектовање и испитивање	1	30.000	30.000
Трошкови за накнаду проласка кроз земљиште		20.000	20.000
Надзор на извођењу		10.000	10.000
Непредвиђени трошкови (10%)		35.200	35.200
Укупно за машинску и електро изградњу			387.200

Табела 8 Збирна рекапитулација инвестиционих трошкова

Назив	Цена [€]
Грађевински и хидрограђевински радови	295.285
Машинска, хидромашинска и електро опрема	387.200
Укупно	682.485

Трошкови инвестиционог и текућег одржавања

Трошкови инвестиционог и текућег одржавања обухватају средства која се морају издвојити на годишњем нивоу за одржавање комплетног објекта.

Погонски трошкови односно трошкови материјала, делова и услуга који се односе на пуштање МХЕ у рад и контролисање мерне опреме при пуштању се обично израчунавају као 1% од вредности електро опреме што значи око **1.550 €**.

Табела 9 Трошкови инвестиционог и текућег одржавања МХЕ на годишњем нивоу

Назив	Текуће и инвестиционо одржавање [%]	Укупно [€]
Водозахват са бетонском браном	3,0	588
Машинска зграда са одводним каналом	2,5	650
Пелтонова турбина са генератором	2,5	2.050
Хидромашинска опрема	3,25	975
Прикључење на мрежу	2,5	3.875
Укупно		8.138

Трошкови осигурања

Објекте и опрему МХЕ неопходно је осигурати од лома или пожара. Стопа осигурања варира зависно од осигуравајућег друштва. Стопе осигурања приказане у наредној *табели 10* представљају просечне стопе осигурања које важе на територији Републике Србије.

Табела 10 Трошкови осигурања МХЕ

Назив	Стопа осигурања		Укупно [€]
	Пожар [%]	Лом [%]	
Грађевински и хидрограђевински радови	0,00	0,40	1.181
Машинска зграда са одводним каналом	0,50	0,40	234
Пелтонова турбина са генератором	0,10	0,20	246
Хидромашинска опрема	0,00	0,50	150
Прикључење на мрежу	0,40	0,30	1.085
Укупно			2.896

Табела 11 Трошкови зараде и накнаде на годишњем нивоу

Степен стручне спреме	Број радника	Бруто доходак [€]	Време ангажовања током године	Укупно [€]
Висока стручна спрема	4	600	12 месеци	28.800
Укупно				28.800

Осим ових трошкова неопходно је издвојити и одређена новчана средства за законске обавезе односно порез, чија висина износи 27% од укупне бруто плате радника и износи **7.776 €**.

Укупни годишњи трошкови

Табела 12 Укупни годишњи трошкови

Назив	Укупно [€]
Трошкови инвестиционог и текућег одржавања	8.138
Погонски трошкови, трошкови материјала	1.550
Трошкови на зараде и накнаде запослених	28.800
Законске обавезе (порез на зараде)	7.776
Трошкови осигурања	2.896
Укупно	49.160

Профитабилност пројекта

Табела 13 Профитабилност пројекта и време повратка инвестиције

Укупна инвестиција	731.645
Бруто годишњи приход	203.762,9
Укупни трошкови	49.160
Нето приход без пореза	154.602,9
Порез од 16% на нето добит	24.736,5
Укупни нето приход са порезом	129.867,4
Време повраћаја инвестиције	5,63 година

Капацитет мале хидроелектране на реци Бјелици

Према полазним подацима у *табели 14* приказан је капацитет мале хидроелектране.

Табела 14 Капацитет мале хидроелектране

Улазна енергија [kW]	Произведена енергија [kWh]		Годишња зарада	
Снага [kW]	Дан	Годишње	РСД	EURO
239,8	5.755,2	2.100.648	24.451.542,72	203.762,856

Према гарантованим откупним ценама електричне енергије произведене из обновљивих извора енергије, за произведен 1 kWh добија се 7,8 – 9,7 с€/kWh, односно према средњем курсу *Raiffeisen Bank*, на дан 20.02.2015. 11,76 RSD/kWh. Годишња зарада произведене електричне енергије износи 203.762,856 евра.

Тренутна продајна цена по 1 kW електричне енергије је 9,7 с€/kWh. Просечна производња електричне енергије је 2.100.648 kWh годишње што значи да би укупан бруто приход од продаје електричне енергије на годишњем нивоу био 203.762,856 евра (24.451.542,72 РСД).

Исплативост електране се добија када укупне инвестиционе трошкове поделимо са укупним нето приходом при чему се добија, да се за 5,63 године враћају сва уложена средства.

На основу члана 123. тачка 3. Устава Републике Србије, а у вези са Законом о енергетици („Службени гласник РС”, број 84/04), Влада је донела уредбу о мерама подстицаја за производњу електричне енергије коришћењем обновљивих извора енергије и комбинованом производњом електричне и топлотне енергије.

Тачком 4. овог члана дефинисане су мере подстицаја, које обухватају откупне цене одређене овом уредбом према врсти електране у којој се производи електрична енергија коришћењем обновљивих извора енергије и према инсталисаној снази (P) израженој у MW. Врста електране и инсталисана снага одређују се актом о стицању статуса повлашћеног произвођача електричне енергије. Откупне цене из става 1. овог члана, изражене у евроцентима по киловат-часу (с€/1 kWh), и износе [27]:

Табела 15 Мере подстицаја према врсти хидроелектране [27]

Врста електране	Инсталисана снага [MW]	Мера подстицаја – откупна цена [с€/1kWh]
Хидроелектране	од 0,5 MW	9,7
Хидроелектране	0,5 MW – 2 MW	10,316 – 1,233*P
Хидроелектране	2 MW – 10 MW	7,85
На постојећој инфраструктури	до 2 MW	7,35
На постојећој инфраструктури	2 MW – 10 MW	5,9

11 Утицај малих хидроелектрана на биодиверзитет водотока и водослива

У овом поглављу детаљно је описан утицај малих хидроелектрана на биодиверзитет водотока и водослива. Представљени су позитивни и негативни ефекти пре и после изградње малих хидроелектрана на биљни, водени и животињски свет. Описана је методологија одређивања биолошког минимума, као и методе које се примењују за његово одређивање. Приказана су техничка решења природних и вештачких рибљих стаза, као и њихов начин функционисања.

11.1 Појам биодиверзитета

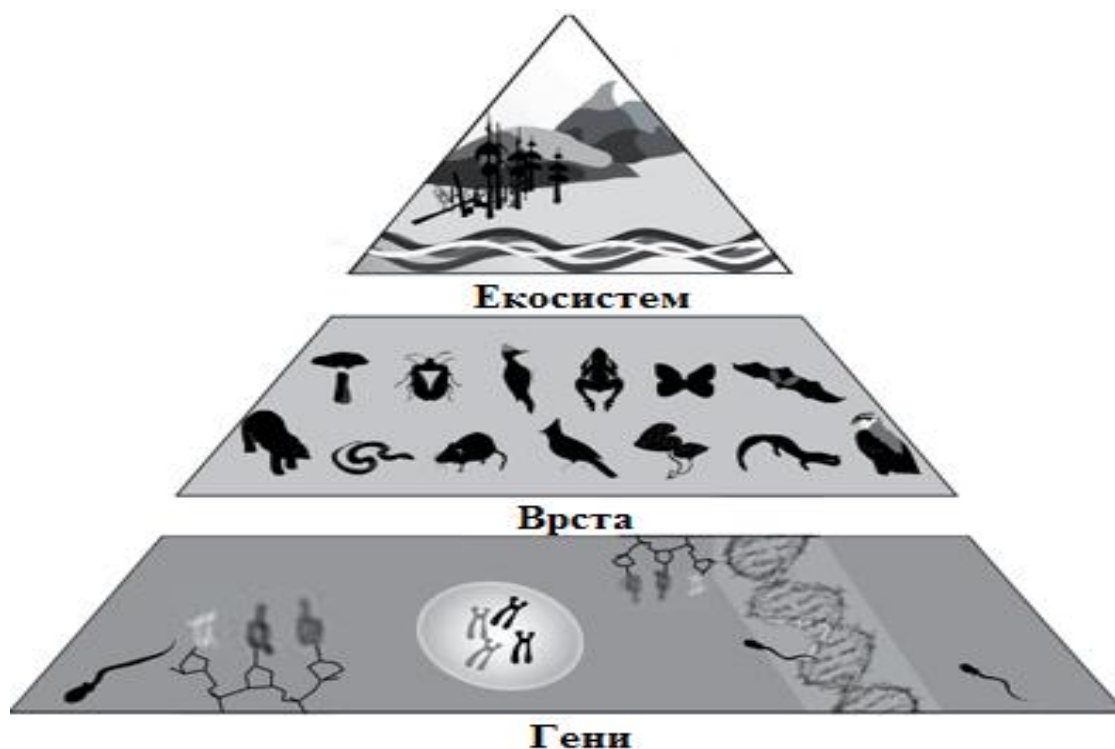
Биодиверзитет је релативно новији појам који се односи на разноликост живота и реакције живог света на услове средине. Биодиверзитет Земље сачињава милионски број јединствених врста организама, који су настали еволуцијом милијардама година [28].

Фундаментални значај биодиверзитета се заснива на чињеници да свеобухватност свих облика живота на нашој планети јесте знатно сложењнији феномен од укупног збира појединачних органских врста. Биодиверзитет као феномен укључује разноврсност еколошких интеракција, односно разноврсност еколошких односа који су се у дугогодишњој еволуцији успостављали између различитих органских врста и који у ствари чине основну постојања, сложености, стабилности и функционисања, како сваког појединачног екосистема, тако и опстанка будућности и еволуције сваке органске врсте, па и човека.

Биолошки диверзитет или биодиверзитет представља разноликост, променљивост, варијабилност биолошких облика, појава и процеса у оквиру живих организама и еколошких комплекса чији су они део. Биодиверзитет као разноликост живог света је одговор еволуције на промену еколошких фактора. Укључује разноврсност у оквиру генотипова, биолошких врста, односа између врста и уопште односа унутар екосистема у животној средини. У складу са тим биодиверзитет се посматра као (слика 44):

- Генетски биодиверзитет, обухвата генетску разноликост садржану у свим живим врстама биљака, животиња, гљива и микроорганизама.
- Специјски биодиверзитет, обухвата сву различитост и разноликост свих биолошких врста унутар њих и међу њима.
- Екосистемски биодиверзитет, обухвата разноликост свих станишта, биолошких заједница и еколошких процеса као варијације у екосистемима.

Биодиверзитет је важан не само за законом заштићена подручја попут резервата и националних паркова него и за поларне пределе, приобаља, пустињске и сушне пределе, водене екосистеме, фарме, пољопривредне површине, као и за паркове и зелене површине у насељима. Глобално, односи се на све екосистеме на Земљи и читаву биосферу [28].



Слика 44 Три нивоа биодиверзитета [28]

11.2 Биодиверзитет Србије

Подручје Србије се одликује великом разноликошћу водених биотопа²², а самим тим и потенцијално великим специјским биодиверзитетом. Разноврсност водених станишта огледа се у контрастима рељефа, геологије, климатских услова, хидрографије и других фактора који се јављају на релативно малом простору Србије. Равничарским пределом на северу Србије доминирају велике реке и то, пре свега, Дунав, Тиса и доњи ток Саве, као и многобројни канали, али и мање и веће баре и ритови, који су заступљенији у овом делу Србије, у односу на друга подручја земље. Супротно овоме источни, јужни, западни и делом централни делови Србије припадају брдско планинској области, тако да је тип водених екосистема (пре свега текућих) на овом

²² Биотоп – животно станиште, представља просторно ограничену јединицу, која се одликује специфичним комплексом еколошких фактора.

простору другачији. На разноврсност фауне²³, осим еволуционо-историјских фактора, највећи утицај има велика разноликост водених станишта, пре свега, текућих [29].

Насупрот наведеним позитивним природним условима за потенцијално велику разноврсност фауне, постоји и негативан, антропогени фактор²⁴. Водени екосистеми у војвођанској равници и долина Мораве захваћени су процесима антропогене еутрофизације²⁵ и органског загађења. Остали водени екосистеми у Србији су, више или мање, захваћени различитим облицима загађења и деградације, а посебно се то односи на доње делове река и акумулације (Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2011. годину).

Поремећаји биолошке разноврсности у суштини, се свODE на замену природних и биодиверзитетом богатих екосистема и предела различитим једноличним и сиромашним, антропогено измењеним пределима. Резултат оваквих поремећаја је убрзано нестајање врста, све већа угроженост живог света и њихових станишта. Међутим, укупан број врста неке територије не указује на право стање биодиверзитета, јер велики број врста не значи истовремено и да је биодиверзитет одређене територије значајан са аспекта конзервације (очувања). Вредност биодиверзитета се управо огледа у броју аутохтоних врста²⁶, ендемита²⁷, као и броју угрожених врста, посебно оних које су од глобалног или регионалног значаја за конзервацију.

11.3 Утицај МХЕ на животну средину

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

Позитивни утицаји се углавном односе на водоснабдевање, наводњавање или одводњавање, туризам и рекреацију, док се негативни утицаји односе на утицај хидроенергетских објеката на квалитет воде, приобаље и околна земљишта, а ублажавају или елиминишу се предузимањем одговарајућих мера заштите у току изградње објекта и њихове експлоатације. Негативни утицај на животну средину су благог интензитета, али су и изузетно комплексни, као што је активирање потенцијалних клизишта, падавина, промена микроклиме, измена физичко-хемијских карактеристика вода итд [30].

²³ Назив за целокупни животињски свет једног подручја или читаве планете Земље.

²⁴ Обухватају целокупно деловање човека на природу. Могу имати позитивно и негативно дејство.

²⁵ Деловањем људске делатности долази до пренамножености водених биљака, најчешће алги, што има негативне последице по водени живи свет.

²⁶ То су врсте које су настале на одређеном географском подручју и прилагођене су условима живота тог подручја.

²⁷ Врста која је у свом природном распрострањењу веома ограничена, односно врста чије је распрострањење уско, регионално или локално и не прелази националне или регионалне границе.

Кључна предност обновљивих извора енергије, па тако и хидроенергије, је у смањењу или у потпуној елиминацији емисије гасова стаклене баште, услед некоришћења фосилних горива као покретача турбине, односно електричног генератора. Из тог разлога електрична енергија настала у хидроелектранама постаје рентабилнија. Оно што је битно у разматрању хидроелектрана са економског аспекта, јесте да данашње хидроелектране захтевају врло мали број особља, због великог степена аутоматизације, тако да цена инвестиције изградње хидроелектране се поврати у раздобљу до десетак година. Обзиром да не користе фосилна горива, хидроелектране имају позитиван утицај на природу. Такође, битно је напоменути да не постоји зависност цене произведене енергије од скокова цене нафте, гаса или другог горива. Један kWh енергије произведен у хидроелектрани је значајно јефтинији од оног у термоелектрани и има мањи негативни утицај на животну средину. Из овог разлога су хидроелектране популарније и пожељније као извор енергије за једну државу.

У поређењу са великим хидроелектранама, мале хидроелектране немају тако велики утицај на животну средину и применом адекватних мера заштите приликом њихове изградње већина негативних утицаја се може избећи. Већина МХЕ се гради у областима која су слабо насељена, тако да применом модерних технологија и изолацијом, ниво буке се може свести у границама нормале. Уколико је неопходна изградња малих акумулација, у поређењу са великим хидроелектранама, утицај на животну средину је минималан. Највећи недостатак МХЕ је њихова зависност за константним проток воде. Приликом летњих периода, дешава се да ниво воде река опада, и да количина енергије коју електрана производи је минимална или је уопште нема. У тим периодима, када је производња електричне енергије минимална, пракса МХЕ је да се врши ремонт или замена одређених елемената, како би хидроелектрана неометано функционисала у следећем периоду.

11.4 Индентификација ограничења и утицаја МХЕ

Утицај МХЕ на животну средину зависи од места и примењене технологије. МХЕ у планинским пределима са високим падом (еколошко осетљива подручја) имају већи негативни утицај у односу на МХЕ у подручјима са ниским падом. Негативни утицаји на животну средину настају и у току изградње, као и у току коришћења МХЕ. Због тога је неопходно спроводити константан мониторинг од стране надлежних лица у циљу утврђивања адекватног функционисања МХЕ. Дозволе за изградњу и функционисање МХЕ се издају на нижим административним нивоима и тиме се постиже већи утицај, контрола и притисак удружења која издау те дозволе на власнике МХЕ у циљу придржавања адекватног рада МХЕ у односу на екосистем. При индентификацији негативних утицаја МХЕ на животну средину, неопходно је одредити које су мере неопходне да се примене у циљу сузбијања истих. Препорука је да постоји успостављен дијалог са надлежним органима за заштиту животне средине,

још у првој фази креирања пројекта МХЕ, како би се наилазило на што мање проблема у току извођења радова изградње МХЕ и њеног каснијег функционисања [30].

Експерти Европске Уније у области заштите животне средине су направили студију и детаљан табеларан опис могућих утицаја МХЕ на животну средину. Приликом изградње и функционисања МХЕ, власници треба да се придржавају одређених критеријума, које ова студија даје. Треба напоменути да сви наведени утицаји не морају бити присутни при изградњи и функционисању МХЕ, већ да то зависи од случаја до случаја. У *табели 16* дат је детаљан приказ утицаја МХЕ на животну средину у току изградње.

Табела 16 Утицаји у току изградње МХЕ [30]

Активности	Утицај на окружење	Последица	Приоритет
Геолошка премеравања	Дивљи свет	Бука	Низак
Сечење вегетације	Шумарство	Промена средине	Средњи
Проширивање путева	Општа јавност	Промена средине	Средњи
Премештање земље	Геологија терена	Постојаност нагиба	Низак
Копање тунела	Хидрогеологија терена	Промена тока реке	Низак
Насипање материјала на нагибима	Геологија терена	Постојаност нагиба	Низак
Формирање насипа	Водени свет, хидроморфологија терена	Измена речне хидраулике	Средњи
Формирање гомила земље	Геологија терена	Постојаност нагиба	Низак
Привремена селидба људи	Општа јавност	Промена средине	Висок
Реализација путева и градилишта	Животињски свет, општа јавност	Визуелни ефекат, ремећење животињског света	Висок
Дренажа земљишта	Водени екосистем	Промена средине	Средњи
Привремено одвраћање реке	Водени екосистем	Промена средине	Висок
Коришћење моторизације	Животињски свет, општа јавност	Бука	Висок
Присуство људи	Животињски свет, општа јавност	Бука	Низак

У табели 17 дат је детаљан приказ утицаја МХЕ на животну средину током њеног функционисања.

Табела 17 Утицаји током функционисања МХЕ [30]

Активности	Утицај на окружење	Последица	Приоритет
Производња електричне енергије	Општа јавност	Редукција материја које загађују околину	Висок
Постављање бране	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Радови у кориту реке	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Одвраћање водотока	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Цевовод	Животињски свет	Визуелни ефекат	Средњи
Нове електричне линије	Општа јавност, животињски свет	Визуелни ефекат	Низак
Спречавање одрона обале бетоном	Општа јавност, водени екосистем	Модификовање средине, визуелни ефекат	Низак
Обалски насип	Општа јавност, водени екосистем	Модификовање средине, визуелни ефекат	Низак
Измена водног тока	Водени екосистем	Модификовање средине	Висок
Централе	Општа јавност	Модификовање средине	Средњи
Рад електро-механичке опреме	Општа јавност	Бука	Низак
Уклањање материјала из корита водотока	Водени екосистем, општа јавност	Унапређење квалитета воде	Висок

11.5 Утицаји током изградње МХЕ

Различита постројења (деривацијског типа, са вишефункционалним акумулацијама, интегрисани у канале за наводњавање или уграђени у систем за снабдевање водом, итд.) изазивају веома различите утицаје на животну средину. Постојења која користе вишенаменске бране, практично немају штетне утицаје на животну средину, али под условом да су, при изградњи насипа, узете у обзир све потребне мере за смањење негативних утицаја на животну средину. МХЕ интегрисане у канале водоснабдевања или системе за наводњавање не генеришу нове утицаје на животну средину, у односу на већ присутне од тренутка изградње канала и цевовода. Када су у питању постројења деривацијског типа неопходно је вршити посебне анализе утицаја на животну средину.

Резервоари

Утицаји настали изградњом брана, насипа и пратећих акумулација подразумевају, уз губитак земљишта, изградњу и отварање путева, радних платформи, ископавање, минирање, и чак у зависности од величине бране, и изградњу постројења за производњу бетона. Остали утицаји који се не могу занемарити су ефекат баријера и скретање тока, који настаје као последица регулисања речног тока, који раније није постојао. Треба нагласити да акумулације нису карактеристичне за МХЕ, јер већина постојећих МХЕ нема велике бране [30].

Изградња спроводних и одводних елемената

Негативни утицаји који се могу јавити изградњом спроводних и одводних елемената на животну средину су представљени у *табели 16*. Да би се редукovali представљени утицаји на животну средину пожељно је грађевинске радове везане за ископавање изводити у сезони ниских водостаја, а ископану земљу је неопходно што пре вратити по завршетку обављеног посла. Ови ефекти су увек краткотрајни и пролазни и не изазивају озбиљне потешкоће за административне процедуре ауторизације (одобравања пројекта изградње). На *слици 45* приказана је изградња доводног канала, као и његова санација.



Слика 45 Приказ санираног доводног канала [30]

Препоручује се обнављање и ојачавање вегетације на обалама река, која је била угрожена током фазе изградње хидрауличних структура, у циљу спречавања појаве ерозије речног корита. Треба нагласити да је земљиште, на којима су вршени ови радови, неопходно поново настанити домаћим врстама, које су најбоље прилагођене локалним условима.

Студија процене утицаја узима у обзир ефекте расипања ископаног тла унутар токова река и штетне последице живота радника у ненасељеним подручјима током извођења радова. Ови утицаји могу бити негативни, ако је постројење лоцирано на подручју националног парка, а могу бити и позитивни уколико је изградња постројења на неосетљивим подручјима и то повећањем нивоа активности. Емисија гасова из возила, прашина од ископавања, висок ниво буке и други негативни утицаји значајно угрожавају животну средину, уколико је постројење лоцирано у осетљивим подручјима. Да би се наведени ефекти избегли или ублажили, саобраћајни ток се мора пажљиво планирати, у циљу елиминације штетних ефеката.

Повећање нивоа активности у одређеним подручјима подразумева коришћење локалне радне снаге, као и малих локалних произвођача. Овај начин функционисања предузетника представља позитиван ефекат у области изградње постројења, јер се тиме повећава запосленост у тим срединама.

11.6 Утицаји који настају током фазе функционисања МХЕ

Звучни ефекти

Дозвољен ниво буке (звука) зависи од локалне популације или изолованости домаћинства у близини електрана. Буку превасходно производе турбине и генератори са мултипликатором у МХЕ. Редукција звука у хидроелектранама се може остварити на различите начине и то до нивоа око 70 dB, који је у спољашњим условима скоро и не приметан [30].

Један од бољих примера добре праксе, када је упитању дозвољени ниво звука, је хидроелектрана *Fiskeby* у граду Norrköping, у Шведској. Максимални ниво звука при максималном оптерећењу електране је око 80 dB, док је максимални ниво звука при ноћном режиму рада око 40 dB, јер су домаћинства од електране удаљена на око 100 m. Ови нивои звука су постигнути тако што је сва опрема (турбина, мултипликатор, генератор) купљена од једног добављача. При томе је одређен специфични ниво звука који ови елементи могу да производе при максималном оптерећењу постројења, остављајући неопходне мере како би се задовољиле потребе производње електричне енергије. Произвођач опреме усваја мере као што су низак ниво толеранције у производњи зупчаника и изолационих навлавка за кућиште турбине, пажљиво су пројектоване помоћне компоненте и хлађење генератора се врши водом, а не ваздухом. Пошто је само један снабдевач опреме питање одговорности је елиминисано. Поред постојања стандардне термалне изолације, машинска зграда је и акустично изолована. Као последица примењених мера, достигнут је ниво звука који варира 66 – 74 dB, а такође је око 20 dB ниво звука нижи у односу на остале хидроелектране сличног капацитета у Шведској.

Редуковање нивоа спољашње буке постиже се употребом вибрационе изолације зидова и крова електране. Остали делови постројења, као што су потпорни стубови за

кров и бетонски елементи у зидовима, подржани су специјалним гуменим и гипким елементима који омогућавају максималну редукују звука. За кровне греде се бирају специјални гумени носачи, а слично решење се користи и за носаче зидова. Уколико се машинска зграда изгради на овај начин, у оближњим стамбеним објектима не може се уочити разлика емисије звука електране и других извора буке (саобраћај, речни ток итд.).

Утицај на пејзаж

Квалитет визуелног ефекта је битан за јавност, која се упорно опире прихватању промена на животној средини са визуелног аспекта. Проблем је посебно значајан и присутан код МХЕ које су лоциране у вишим планинским подручјима или у урбаним срединама. Проблем се јавља у форми коментара јавности и у правним изазовима за инвеститоре, који за циљ имају промену постојећих пејзажа изградњом хидроелектрана.

Свака компонента МХЕ (машинска зграда, брана, прелив, цевовод, водозахват, одводни канал, трафостаница и електродистрибутивни водови), може изменити визуелни ефекат увођењем форми контраста, линија, боја или текстура. Дизајн, локација и појава било које од поменутих компоненти, може бити одлучујућа за одобравање пројекта од стране јавности. Већина поменутих компоненти, чак и највеће, могу бити заклоњене вегетацијом. Коришћењем неконтрастних боја и текстура, могуће је добити нерелевантне површине у циљу спајања објекта и пејзажа. Креативан труд, обично са малим ефектом на укупан буџет пројекта изградње, често утиче на одобравање пројекта од стране локалне власти, регионалних и националних агенција, еколога итд.

Доводни цевододи представљају главни узрок препрека које се могу јавити при одобравању пројекта за изградњу МХЕ. Изградња цевовода мора бити добро простудирана узимајући у обзир сваку природну компоненту (стене, земљиште, вегетација). Уколико се цевовод може закопати у земљу, што представља најбоље решење, утицај на визуелни ефекат је минималан иако је овај начин изградње лош са аспекта инжењерства, јер се јављају недостаци у виду одржавања и контроле. На овај начин се ископано земљиште враћа на своје првобитно место, а цевовод не ствара баријеру за пролазак животињског света. Позитиван ефекат на пејзаж се може постићи и изградњом малих акумулација, које туристи могу да користе за разне туристичке атракције (пливање, риболов итд.).

Трансмисиони водови и коридори могу имати негативан утицај на пејзаж. Тај ефекат се може ублажити усклађивањем водова са пејзажом или у крајњем случају њиховим закопавањем, као и њиховим правилним распоредом. Оптимално економско и техничко решење за постављање трансмисионих водова често узрокује више негативних естетских утицаја.

11.7 Биолошки утицај

Акумулација

Пројекти са акумулацијама воде нису уобичајни за МХЕ, али постоје постројења која садрже акумулацију како би турбине функционисале у одређеним периодима при максималном потражњом електричне струје (вршно оптерећење). Такве хидроелектране се називају вршне хидроелектране или хидроелектране за достизање вршног оптерећења. Код постројења са малим падовима и интегрисаним машинским зградама у бранама режим рада може да изазове неприхватљиве услове за рибли свет низводно од бране. Када је производња струје смањена, количина воде у водотоку низводно од бране опада. Мањи проток може условити мрешћење свеже положене икре на обали. Икра може да преживи сушне периоде, који су интензивнији од оних који се јављају у условима максималне производње, али мале рибе не могу положити јаја на обали река [30].

Речни водоток

Најпримењеније мале хидроелектране су проточне хидроелектране, код којих се вода преусмерава из речног тока струје или језера у хидроелектрану, која може бити удаљена и пар километара од захватања воде како би се остварио потребан пад. Редукција водотока између тачке захватања и доње воде (низводно од електране), може утицати на мрешћење, инкубацију, гајење и пролаз рибе. Имајући у виду вршну производњу електричне енергије у МХЕ, значајне и честе промене испуста могу утицати на водени свет, јер неки делови речног корита периодично плаве, а неки се исушују.

Овде постоји јасан конфликт интереса. Произвођачи електричне енергије подржавају чињеницу да производња енергије из обновљивих извора даје веома значајан допринос човечанству, јер се тиме врши замена других енергетских процеса конверзије код којих се емитују гасови стаклене баште, али еколози са друге стране не подржавају овај став, јер сматрају да диверзија воде представља угрожавање јавног добра.

11.7.1 Методологија одређивања еколошки прихватљивог протока

Избор методе за одређивање еколошки прихватљивог протока – ЕПП²⁸ (биолошки минимум) спроводи се у складу са процедуром, а у односу на еколошки значај водних

²⁸ Еколошки прихватљив проток представља минимални проток који осигурава очување природне равнотеже и екосистема везаних за воду.

токова, њихових различитих потреба и циљева заштите вода, те у односу на кориснике воде. Процедура садржи:

- I ниво процене, општа процена ЕПП за све водотокове применом хидролошке методе.
- II ниво процене, посебна процена ЕПП за водотокове у заштићеним подручјима проглашене у складу са Законом о водама и заштићеним подручјима, подручјима која нису проглашена заштићеним, а имају изузетну вредност за очување (присутност угрожених станишта или врста, историјско-културолошке и амбијенталне вредности итд.). У тим случајевима се ЕПП утврђује коришћењем биолошких и еколошких критеријума.

Општа процена ЕПП се спроводи применом хидролошке методе у зависности од потенцијалног утицаја активности на природни хидролошки режим водотока. Потребно је одредити хидролошке компоненте ЕПП, као што су проток, сезонске варијације протока и флеш проток [31].

За утврђивање еколошки прохватљивог протока, користе се хидролошки временски низови који представљају природни хидролошки режим, али морају бити без грешака и потпуни. Трајање хидролошких временских низова мора бити најмање десет година, односно до тридесет година. Временски низови исто морају бити на бази средњих дневних протока, кад год је то могуће, и такође морају бити заступљени различити хидролошки услови, уз уравнотеженост између кишних и сушних година.

Прорачун вредности еколошки прихватљивог протока (Q_{ep}) врши се коришћењем вредности средњег минималног протока (Q_{srmin}), средњег протока (Q_{sr}) и средњег декадног протока ($Q_{srDEK(j)}$) водотока у профилу за који се одређује [31]. Вредности наведених параметара рачунају се на основу хидролошких података. Вредност еколошки прихватљивог протока се прорачунава на основу следеће једначине (75):

$$Q_{ep} = \begin{cases} 1,0 \times Q_{srmin} & \text{za } Q_{srDEK(j)} < Q_{sr} \\ 1,5 \times Q_{srmin} & \text{za } Q_{srDEK(j)} \geq Q_{sr} \end{cases} \quad (75)$$

У случају када је $Q_{srmin} = 0$ или $Q_{srmin} : Q_{sr} < 1 : 25$, Q_{ep} ће се прорачунати на основу следеће једначине (77):

$$Q_{ep} = \begin{cases} 0,1 \times Q_{sr} & \text{za } Q_{srDEK(j)} < Q_{sr} \\ 0,15 \times Q_{sr} & \text{za } Q_{srDEK(j)} \geq Q_{sr} \end{cases} \quad (76)$$

У случају када декадне вредности протока нису доступне, Q_{ep} се прорачунава на основу следеће једначине (77):

$$Q_{ep} = \begin{cases} 0,1 \times Q_{sr} & \text{мај – октобар} \\ 0,15 \times Q_{sr} & \text{новембар – април} \end{cases} \quad (77)$$

У случају да се ЕПП израчунава за речни ток низводно од хидроакумулације, потребно је одредити максимални дозвољени проток (испуштање из акумулације) за сушна раздобља током године у висини од двоструког $Q_{\text{srDEK}(j)}$, за посматрану декаду. Флеш проток је потребан за одржавање физичких и хемијских услова корита реке, побољшање повезаности са поплавним појасом и покретање транспорта наноса низводно од хидроакумулације чији капацитет прелази 10% од запремине просечног годишњег протока за задани профил. Флеш проток се испушта у раздобљима када се у природним условима тока јављају највиши водостаји.

Извештај о прорачуну ЕПП – општа процена садржи:

1. опште географске податке (географски положај, клима, регионалне карактеристике подручја),
2. хидрогеолошке и геолошке карактеристике слива, припадност водотока, геолошке карактеристике на подручју водозахвата,
3. податке о потенцијалном месту и начину коришћења вода (локација планираног водозахвата са координатама, надморска висина, количина и динамика захвата, основне карактеристике техничког решења водозахвата),
4. додељивање концесије и издавање водних аката на узводној и низводној деоници водотока (локација водозахвата са координатама, надморска висина, количина и динамика захвата),
5. хидролошки прорачун ЕПП за одабрани профил водотока који садржи:
 - процену расположивости хидролошких података за профил са образложењем избора референтне станице (локација са координатама, површина слива, период рада, квалитет података),
 - преглед хидролошке обраде за референтну станицу са израчунатим вредностима средњег минималног, средњег и средњег декадног протока у посматраном раздобљу,
 - резултате хидрометријских мерења протока који морају укључивати податке о коришћеној опреми, методи и времену када су мерења извршена,
 - резултате прорачуна параметара средњег минималног, средњег и средњег декадног протока слива у профилу водотока за који се одређује ЕПП,
 - прорачун ЕПП по декадама током година,
 - образложење постојања основа и обавеза применом правилника, који се односи на одређивање флеш протока.
6. стручно мишљење биолога о потреби посебне процене ЕПП на темељу испитивања статуса заштићености подручја у којем се водоток налази, као и присутности угрожених врста,
7. попис коришћене литературе.

Кроз овај правилник обрађују се посебне процене ЕПП, посебне процене ЕПП у заштићеним подручјима, посебне процене ЕПП за подручја са изузетним вредностима

за очување и посебне процене ЕПП за језера и мочваре, након чега је неопходно написати извештај о посебним проценама ЕПП.

Извештај процене ЕПП треба садржати следећа поглавља:

- Увод – опште информације о предложеном пројекту, укључујући локацију, време и количину захваћене воде, циљеве процене ЕПП, евалуацију ЕПП процењеног хидролошким методом, образложење циљева везаних за реку и обалски екосистем реке на којој је водозахват.
- Карактеристике истраженог подручја – општи географски подаци: положај, клима, регионалне карактеристике подручја, хидрогеолошке и геолошке карактеристике слива, припадност водотока, геолошке карактеристике подручја водозавхвата, хидрологија и морфологија реке, еколошке карактеристике, укључујући хемијско и еколошко стање водотока, загађење реке, коришћење реке и управљање речним током.
- Методологија – прикупљање података и узорака, хидрологија и геоморфологија, подаци о флори и фауни, физичко-хемијски параметри.
- Резултати – речна хидрологија и морфологија, речна екологија, физичко-хемијски параметри, идентификација еколошких и осталих вредности реке, дефиниција критичних елемената за достизање циљева реке, детаљно објашњавање елемената и њихова мерења, која су преовладала у одлуци за процену вредности ЕПП, процена ЕПП.

Све кораке у процени ЕПП треба детаљно објаснити и подржати аргументима у извештавању стручњака. У процесу процене ЕПП потребно је изабрати најрањивије и најосетљивије биолошке и еколошке елементе, на које водозахват има највећи утицај. ЕПП треба одредити тако да се одрже структуре и функције реке, као и обалски екосистем, следећи циљеве које треба постићи. Прикупљење узорака се обавља у време најмањих протока (летњи период), када је утицај на екосистем највећи. Сви кораци у процени ЕПП требају бити детаљно објашњени и подржани аргументима у извештавању експерата. ЕПП утврђен на начин који прописује овај правилник, примењује се током целе године, укључујући и ситуације када је природни проток на месту захвата мањи од прорачунатог ЕПП.

Мониторинг и извештавање

Власник, који је уједно и корисник објекта, мора остварити константни мониторинг ЕПП, како би се приказали подаци о испуњености захтева у погледу ЕПП. Мониторинг се врши:

- на профилу водотока непосредно узводно од водозахватног објекта или одређеног дела водозавхвата,
- на профилу водотока непосредно низводно од водозахватног објекта или одређеног дела водозавхвата,

- на профилу водотока непосредно узводно од линије максималног пада хидроакумулације,
- на профилу водотока непосредно низводно од бране хидроакумулације.

За осигурање релевантних и поузданих података са профила потребно је да се при постављању и раду мерних станица испуне следећи услови:

1. Избор места – приликом избора позиционираности мерне станице у односу на корито реке, неопходно је да се испуне следећи захтеви:
 - Водоток је на довољној дужини да се елиминишу локални утицаји, узводно и низводно од станице.
 - Укупни проток је сконцентрисан у једном профилу при свим нивоима.
 - Корито није склоно ерозији или затрпавању.
 - Обале су стабилне и довољно високе.
 - Присутни су природни услови стабилности у облику каменог корита при малим водама, већег пада или каскаде које узрокују неометани ток реке, што омогућава сигурну и сталну везу нивоа воде и протока. Ако нема природних услова стабилности, потребна је техничка контрола.
 - Мерна станица се налази изван зоне утицаја неког другог водотока.
 - Омогућен приступ за одржавање и мерење при свим водостајима.
2. Контрола односа нивоа и протока – мерно место мора бити постављено тако, да осигурава везу између нивоа и протока. Разликујемо природне профиле речног корита на којима се постављају мерне станице и хидротехнички објекти за мерење протока. Хидротехнички објекти представљају места где је осигурана веза између нивоа и протока, као што су сужења канала, преливи или каскаде.
3. Мерни објекти – треба да осигурају стабилност везе протока и нивоа, али и осетљивости тј. мале промене протока треба да проузрокују значајну промену нивоа. Мерни објекти се по правилу користе за мерење мањих протока који се тешко могу мерити у прородном профилу водотока. Сви мерни објекти морају задовољити еколошке услове који се односе на неометану миграцију рибе и постављене критичне параметре.

Носилац права и водне дозволе мора водити дневник о подацима и сталним вредностима резултата мониторинга ЕПП најмање пет година. Приликом посете инспекције дневник се мора дати на увид по захтеву.

11.7.2 Методе одређивања еколошки прихватљивог протока

Постоје бројни начини за проучавање вредности ЕПП (биолошког минимума). Четири главне методе за одређивање биолошког минимума су:

Метода базирана на хидролошким или статичким вредностима

Постоје две методе које спадају у ову врсту метода. Прва метода се базира на средњој вредности протока реке за дати проточни пресек. Добијени биолошки минимум (резервни ток) варира 2,5 – 60%, у зависности да ли риболов има велики економски значај. Стандардно се користи вредност средњег протока за резервни ток од 10%. Друга метода се односи на минимални средњи проток воде у реци. Проток добијен овом методом варира у интервалу 20 – 100% средњег протока [30].

Метода базирана на физиографским принципима

Овај метод обично узима у обзир константност специфичног протока резервног тока сливног подручја. Мерна јединица за ову методу је $L/s/km^2$. У овој методи вредност протока резервног тока варира у широком спектру.

Метода базирана на брзини и дубини воде

У овој методи постоји велика варијација сугерисаних вредности за репрезентативне параметре. У зависности од типа водотока и локације, брзина протицања резервног тока се може кретати у границама 0,3 – 2,4 m/s, а када је у питању дубина воде вредности могу варирати 10 – 24 cm. У ову методу такође се убраја и функција резервног тока у зависности од ширине реке (30 – 40 L/s по метру ширине) или оквашеног обима (у случају резервног тока оквашени обим мора бити најмање 75% од оквашеног обима првобитног тока).

Метода базирана на планирању више циљева са еколошким параметрима

У овом случају користи се више засебних метода, као што је метода доношења одлука са више циљева, која узима у обзир економске и еколошке циљеве. Следећа метода се заснива на коефицијенту разводњавања и заснива се на томе да потребан проток мора бити најмање 10% од примењеног, биолошки чистог протока, а брзина протицања воде не сме опати испод вредности од 0,5 m/s. Такође, у ову групу метода спада метода која се базира на познавању комбинације одређених параметара, као што су дубина речног тока, брзина речног тока, температура и састав седиментних стена које већина воденог света захтева. Модел прогнозирања средине се заснива на прорачуну неколико агрегатно-морфолошких параметара и условима резервног тока релевантних за биогенезу²⁹.

²⁹ Термин који се односи на постанак и развитак живог света на планети Земљи.

11.7.3 Пролаз за рибе – рибље стазе

Рибље стазе³⁰ су конструкције којима се олакшава примарно узводна, али и низводна миграција рибљих врста и других организама преко попречних препрека, као што су бране или преливи. Да би се биолошки процеси воденог света неометано одвијали морају се применити ови системи који су унапред дефинисани, како би им се обезбедили услови за остваривање тих процеса. Миграција се примарно мора осигурати у узводном смеру, док се низводна миграција може обезбедити и преко прелива, поготово код МХЕ, које имају малу висинску разлику између нивоа горње и доње воде [32].

Рибље стазе се изводе као бетонске конструкције у виду канала са одговарајућим преградама (слика 46) или као канали који „имитирају” природно стање водотока тј. користе за преграде и облоге природне материјале речног корита.

Проблеми који се јављају при одабиру и конструисању рибље стазе се првенствено односе на недостатак података о способностима и навикама рибљих врста одређеног подручја, а ти подаци су улазни параметри хидрауличног обликовања рибље стазе. Због наведених разлога конструисање рибље стазе захтева добру комуникацију између биолога и грађевинских инжењера како би рибља стаза успешно обављала своју функцију. Такође, неопходно је вршити константна мерења и контролу ефикасности рибље стазе како би се могло испитати њено функционисање.



Слика 46 Праг МХЕ са рибљом стазом [32]

Постоји велика разноврсност у виду конструктивних решења пролаза за рибе, јер примарно та решења зависе од врсте рибе која је присутна у реци. Разликују се

³⁰ То је хидротехничка конструкција, која заобилази бране или преливе, а омогућава рибама да стигну до места за мрешћење.

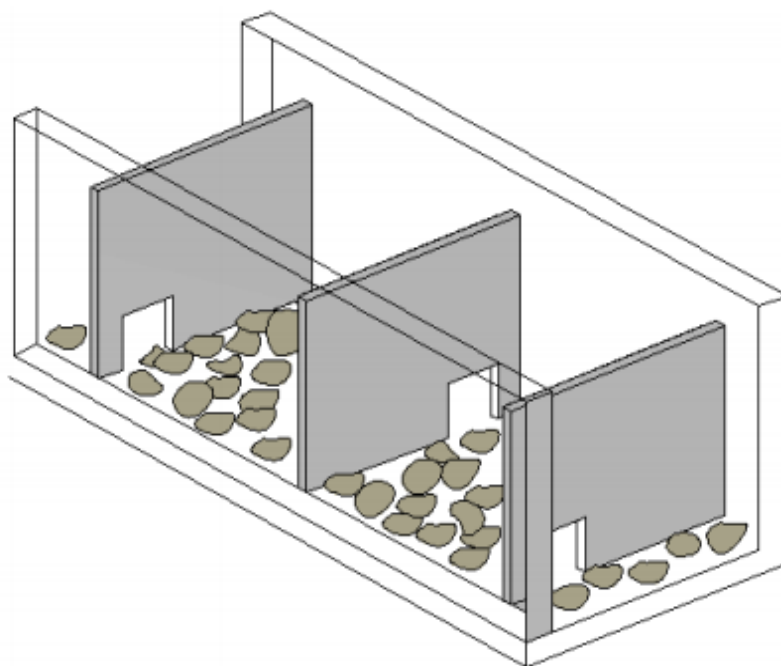
примарно по преградама постављеним у риблијој стази. Одређеним обликом и распоредом преграда постижу се погодни услови протицања тока, у циљу адекватне миграције риблих врста. Риблије стазе се могу поделити на:

- техничке,
- природне.

Техничке риблије стазе су бетонске конструкције које се заснивају на коришћењу преграда са различитим отворима. Најзаступљеније риблије стазе су:

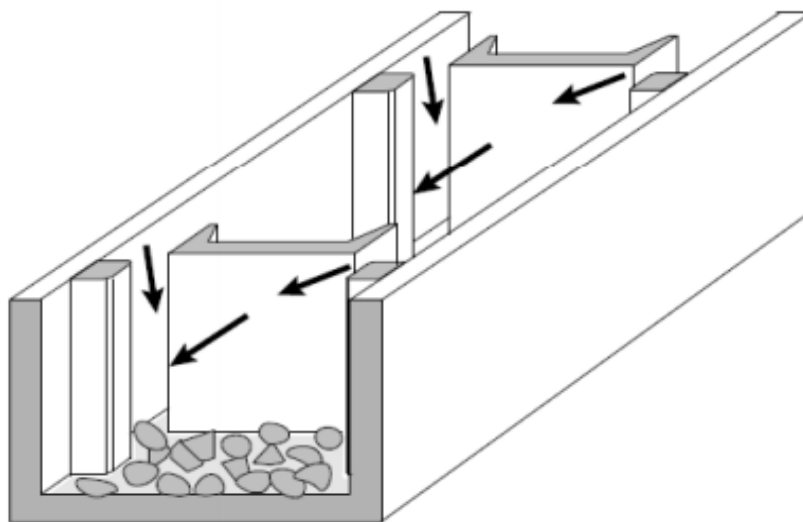
- стазе са базенима,
- стазе са вертикалним отворима,
- денилове стазе,
- пролаз са уметнутим праговима,
- рибли лифтови.

Стазе са базенима се конструишу тако да се укупни пад савлада мањим падовима кроз низ базена. Базени су одвојени вертикалним преградама, које у себи садрже отворе, кроз које рибе пролазе (слика 47). Отвори се постављају на наизменичним странама. Ток воде из једног у други базен се може одвијати на више начина. Вода може пролазити кроз отвор на дну преграде, што је погодно рибама које не могу да прескачу преграде, а такође вода може и преливати преко врха преграде, што омогућава прелаз рибама које прескачу преграде. Могућа је и комбинација ове две врсте преграда. Канали и преграде су обично правоугаоног облика, иако могу бити и трапезног и троугаоног облика.



Слика 47 Шематски приказ риблије стазе са базеном [32]

Код стаза са вертикалним прорезима преграда је прорезана по целој висини (слика 48). Преграде могу имати један или два прореза, у зависности од величине рибе стазе и протока. У случају преграда са једним прорезом, прореzi се увек постављају на истој страни за разлику од стаза са базенима код којих се отвори на преградама постављају наизменично. На слици 49 приказана је стаза са вертикалним прелазима на реци Елби у Немачкој (близина Хамбурга).



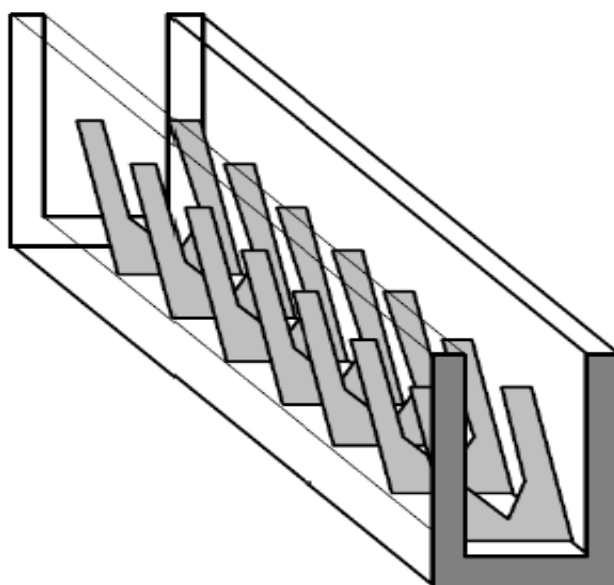
Слика 48 Шематски приказ рибе стазе са вертикалним прорезима [32]



Слика 49 Приказ рибе стазе са вертикалним прорезима [32]

Денил риба стаза се састоји из правоугаоног канала у којем су преграде распоређене на релативно кратиким растојањима (слика 50). Преграде су нагнуте у

смеру протицања тока воде. Услед појаве дисипације енергије на преградама, у доњем делу преграда, стварају се услови релативно малих брзина. Овај тип риблиг пролаза се најчешће користи за велике падове, јер због датог конструктивног решења није потребна велика дужина риблиг стазе у односу на друге типове стаза. Такође, код ових риблиг стаза ствара се турбулентни ток који је погодан за већину риба. На *слици 51* дат је приказ Денил риблиг стазе у природи.



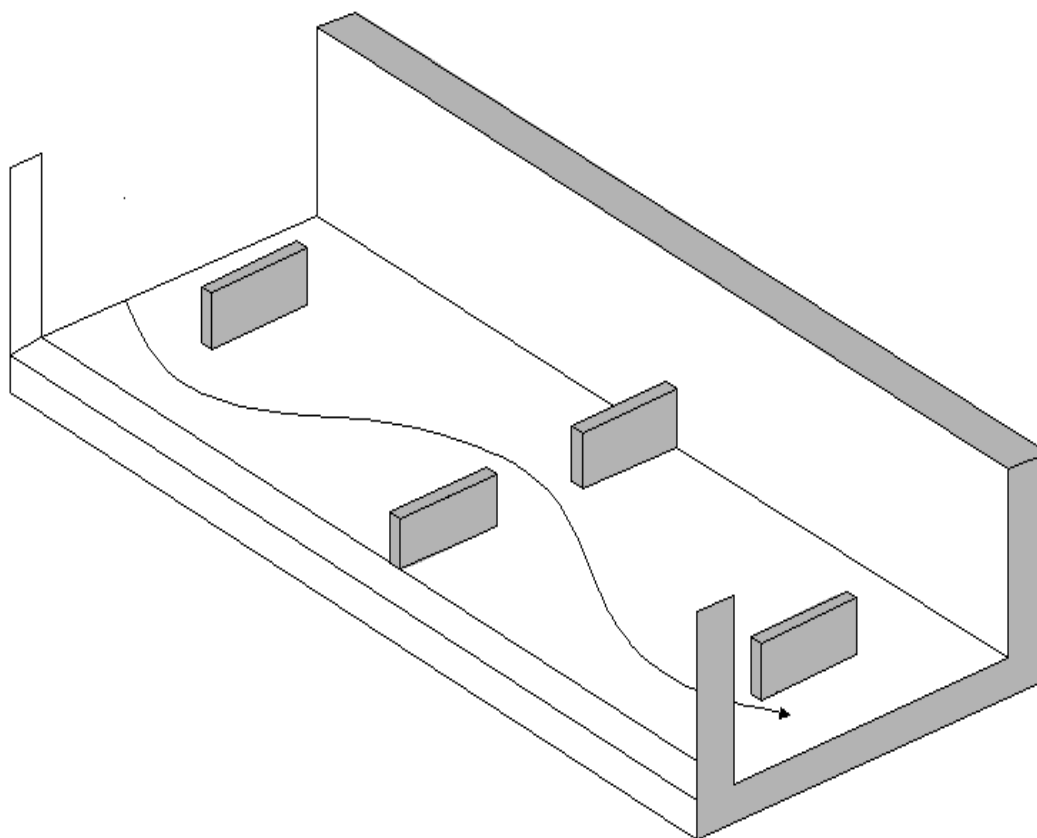
Слика 50 Шематски приказ Денил пролаза за рибе [32]



Слика 51 Денил пролаз за рибе [32]

Пролаз са уметнутим праговима (слика 52) се конструише тако што се на дну канала постављају прагови, чиме се успорава ток воде, а самим тим и дисипација енергије. Појава губитка енергије узрокује смањење брзине протицања воде. Рибљим врстама је омогућено да пливају између препрека у зонама споријег тока. Распоред и висина прагова се одређује хидрауличним прорачуном за дате протоке и потребне брзине протицања воде. Прагови се могу обликовати и распоредити на различите начине, па на основу тога постоје и различити типови ових рибљих стаза. Истиче се пет врста пролаза са уметнутим праговима:

- са нормално постављеним ребрима,
- са нормално и наизменично постављеним ребрима,
- са унакрсним ребрима и са једним преломом у супротном смеру струјања тока,
- са унакрсним ребрима и са два прелома у супротном смеру струјања тока,
- са унакрсним ребрима и са два прелома у смеру струјања тока.



Слика 52 Приказ пролаза са нормално и наизменично постављеним ребрима [32]

Природне рибље стазе се конструишу као трапезасти канали у којима се налазе камени блокови, у циљу остваривања задатих хидрауличних услова тока (слика 53). Канали се облажу природним материјалима, у циљу потпуне имитације других природних токова у том окружењу. Број и међусобна удаљеност камених блокова се одређује хидрауличним прорачунима и првенствено зависи од задатог протока и пада

који треба савладати. Улазни параметри дефинишу распоред и број камених блокова, који имају за циљ да успоре брзину струјања течности, како би морски свет могао неометано да пролази.



Слика 53 Приказ природне рибље стазе [32]

Типични однос уздигнућа нагиба у односу на околну површину је 1:3 – 1:10. На подлози од шљунка или вештачког материјала (геотекстила³¹) се поставља „тепих” од најмање два слоја ломљеног камена (доњи слој је од ситнијег камена, а горњи од крупнијег камена). У подлогу је неопходно поставити камене блокове, пречника 0,6 – 1 m, у неправилном распореду. Дубина тока на каменој препреци треба да буде 0,3 – 0,5 денивелације (разлика кота нивоа на узводном и низводном крају стазе). Низводно од рибље стазе, корито се заштићује од ерозије и то слојем од камена. Обале се заштићују набацивањем крупне земље и вегетацијом, што доприноси естетском квалитету амбијента. Стабилност рибље стазе примарно зависи од избора крупноће камена који чини дно рибље стазе.

У случају великих висинских разлика, које је неопходно савладати путем рибље стазе, а при томе је и мали проток воде на располагању, није економски исплатљиво грађење конвенционалних рибљих стаза.

³¹ Састоји се од посебно сложених и учвршћених полиамидних (синтетичких) влакана. Пропустљиви су и савитљиви, па зато имају изглед попут тканине. Геотекстили се користи за процесе раздвајања, армирања, филтрирања, као и за процесе дренаже.



Слика 54 Приказ рибљег лифта [32]

Поред ових препрека, могућа је и појава проблема у виду физиолошких способности риба. У овим ситуацијама решење представљају рибљи лифтови, чија је функција преношење рибе из доње воде у горњу воду (слика 54). Рибљи лифтови функционишу тако што се рибе уведу у резервоар, који их онда подиже на кату горње воде, где им се затим отвара пролаз како би изашле из њега.

12 *Израда лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином*

Дизајн лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином, морао је имати везе са реалним радом једног оваквог постројења. Зато је било најбоље прво размотрити како права МХЕ са Пелтоновом турбином ради и тек када се разуме шта се заиста дешава у стварности може се приступити реализацији поједностављеног система, намењеног лабораторијским вежбама. Поред тога неопходно је било извршити прорачун (прилог 1) реалног постројења МХЕ на реци Бјелици, у циљу добијања параметара и димензија елемената МХЕ. Разматрањем добијених резултата, дошло се до закључка да је неопходно лабораторијски модел МХЕ са Пелтоновом турбином конструисати тако да, према теорији сличности размера реалног постројења и модела буде у односу 1:4.

Конструкција модела (слика 55) садржи следеће елементе:

- радно коло,
- две млазнице,
- доводни цевовод у виду гипког црева,
- кућиште,
- вратило,
- два куглична лежаја,
- држаче за лежаје у виду навојне шипке,
- генератор електричне енергије (динама) и сијалица,
- радни сто на коме је модел монтиран.



Слика 55 Приказ лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином

Радно коло (слика 56) је израђено од две врсте материјала. Лопатице су израђене од пластике, док је основа радног кола израђена од челика. У табели 18 приказани су параметри радног кола лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином. Лопатице су причвршћене на основу радног кола помоћу шrafoва и матица. Основа радног кола на себи садржи пет рупа које служе за причвршћивање радног кола и вратила турбине, помоћу шrafoва и матица.



Слика 56 Приказ радног кола Пелтонове турбине

Табела 18 Параметри радног кола лабораторијског модела

Параметри	Вредност
Пречник радног кола турбине [mm]	200
Ширина лопатице [mm]	40
Дужина лопатице [mm]	40
Дубина лопатице [mm]	10
Број лопатица радног кола [/]	15
Дужина руке лопатице [mm]	20

Овај лабораторијски модел Пелтонове турбине садржи две млазнице, као што је и прорачуном предвиђено. Млазнице (слика 57) су такође израђене од пластичног материјала, а у себи садрже два механизма.



Слика 57 Приказ млазнице

Унутар млазнице се налази игла, која је у овом случају статична, а има за циљ да регулише млаз. Одвртањем/завртањем механизма на врху млазнице добија се ефекат сличан, као код млазница Пелтонових турбина, с тим да се у овом случају не помера игла, већ врх млазнице. Други механизам је у виду полуге, која омогућава пролаз воде кроз млазницу, тако што се њеним притискањем отвара вентил у млазници и омогућава пролаз воде. Такође, ову полуку је могуће закочити, држачем који се налази на млазници и тиме обезбеди константан проток воде кроз млазницу. На дну млазнице налази се прикључак, на који се помоћу спојнице (слика 58) везује гипко црево.

Спојнице су неповратне што значи да вода може тећи само у једном смеру, а у себи садрже гуме које спречавају појаву цурења воде. Са једне стране спојнице су прикључене за довод воде (чесма), а са друге стране за одвод воде преко црева (слика 58).



Слика 58 Приказ спојнице

Доводни цевовод овог лабораторијског модела Пелтонове турбине је у виду гипког црева, а укупна дужина црева износи 20 m. Црево је подељено на три дела и то тако да два дела износе по 8 m, а трећи део износи 4 m. Ови делови су спојени преко звездасте спојнице (слика 59) и класичних спојница у једну целину, тако да једно место напајања водом, напаја обе млазнице, а самим тим и цело постројење.



Слика 59 Приказ звездасте спојнице

Кућиште турбине (слика 60) је израђено од плексигласа (клирит) и провидно је. Четвртастог је облика, димензија 25x10x30 cm, са четири рупе на четири различите стране. Две рупе су димензија ϕ 26 mm, друге две рупе износе ϕ 23 mm. Дно кућишта турбине је слободно тј. није затворено, у циљу одвођења воде из лабораторијског

модела МХЕ са Пелтоновом турбином. Такође, кућиште садржи 20 рупа, пречника ϕ 4 mm, које служе за њено причвршћивање са радним столом, помоћу шrafoва и матица.



Слика 60 Приказ кућишта турбине

Вратило турбине је израђено од челика, пречника ϕ 25 mm, а док је пречник рукавца ϕ 13 mm. Вратило је са обе стране обрешено, тако да се лежаји могу веома лако навући на вратило. Лежаји на себи садрже по два навоја, чијим завртањем се остварује чврсто налегање вратила и лежаја турбине. Са једне стране вратило је дуже у односу на другу страну, јер се на тој страни поставља ременик или точак (у овом случају) са којег се преноси обртни момент на генератор електричне енергије. Вратило на средини садржи плочицу (спољашњи пречник ϕ 48 mm, унутрашњи пречник ϕ 25 mm), која на себи садржи пет рупа. Ове рупе служе за причвршћивање вратила са радним колом, помоћу шrafoва и матица, као што је већ раније напоменуто. Плочица је заварена за вратило турбине, у циљу елиминације појаве проклизавања и ваносног осциловања при раду радног кола.

Лабораторијски модел МХЕ са Пелтоновом турбином садржи два куглична лежаја (слика 61), пречника ϕ 25 mm и ширине 34 mm. Кућиште лежаја садржи на себи отвор за подмазивање лежаја, као и две навртке, које служе за причвршћивање вратила

и лежаја. Кућиште лежаја садржи две рупе, које служе да кроз њих прође навој, у циљу његовог причвршћивања. Поред његовог причвршћивања, повећава се и стабилност целе конструкције.



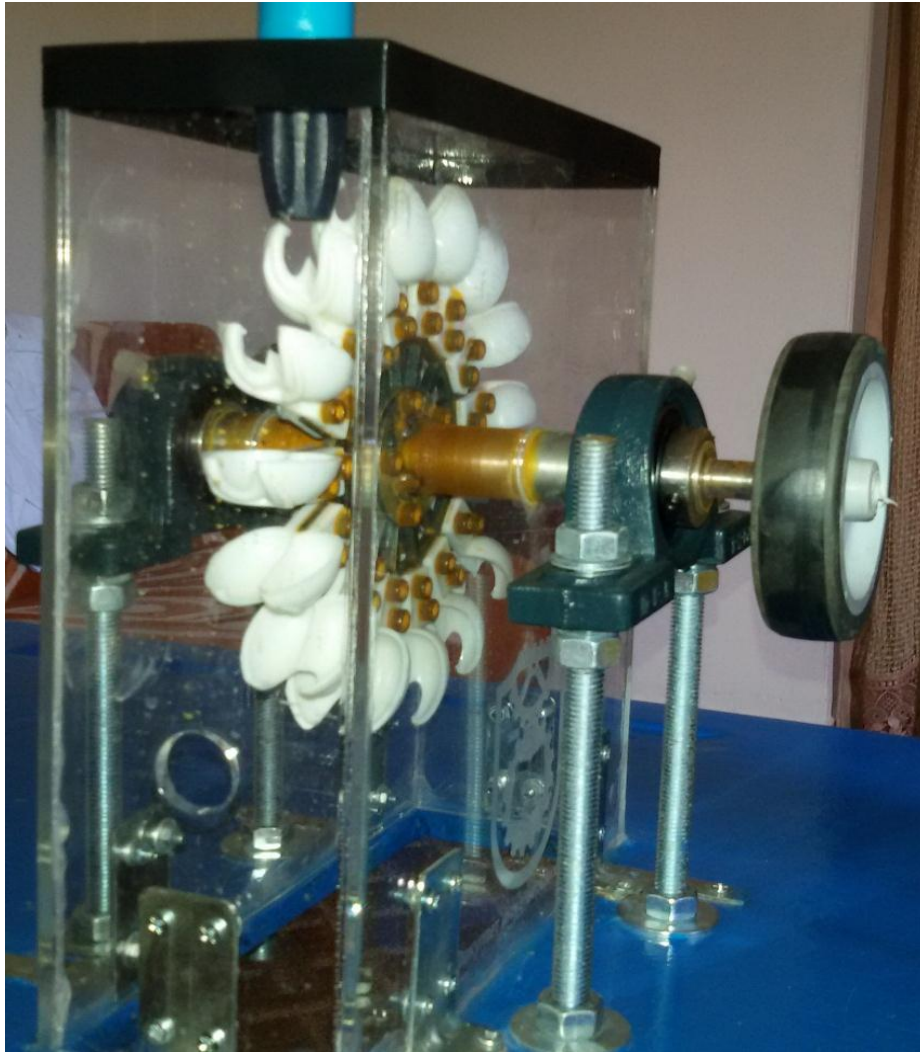
Слика 61 Приказ лежаја

Држачи за лежаје су у виду навојне шипке М12 (слика 62). Укупна дужина навојне шипке износи 1 m, а подељена је на четири једнака дела дужине 250 mm.



Слика 62 Приказ навојне шипке

Постављају се тако да пролазе кроз рупе на кућишту лежаја, а причвршћују се помоћу матица и подлошки. Регулисањем положаја матица, лежаји се доводе у раван, чиме се омогућава неометано окретање вратила, а самим тим и радног кола. На слици 63 су приказани постављени лежаји на вратилу са радним колом.



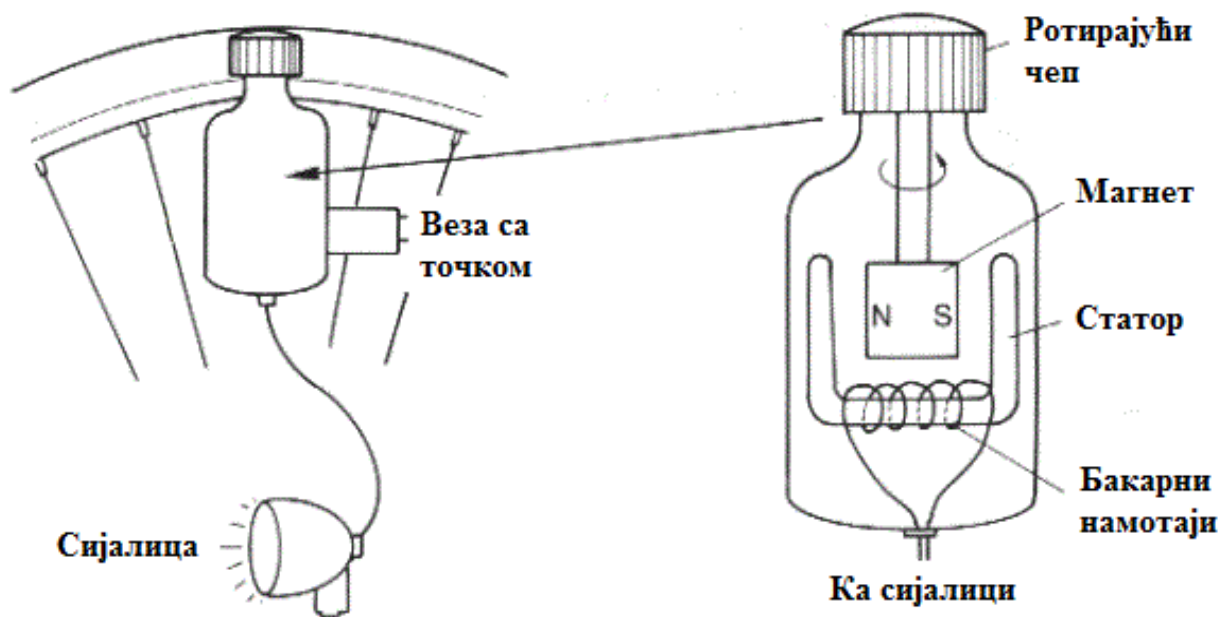
Слика 63 Приказ постављених лежаја на вратилу

Динама за бициклу (слика 64) у овом случају представља генератор електричне енергије. Она је генератор једносмерне струје која се састоји од статора, око којег су намотаји бакарне жице и сталног (перманентног) магнета који се ротира унутар динаме тј. у средини статора.



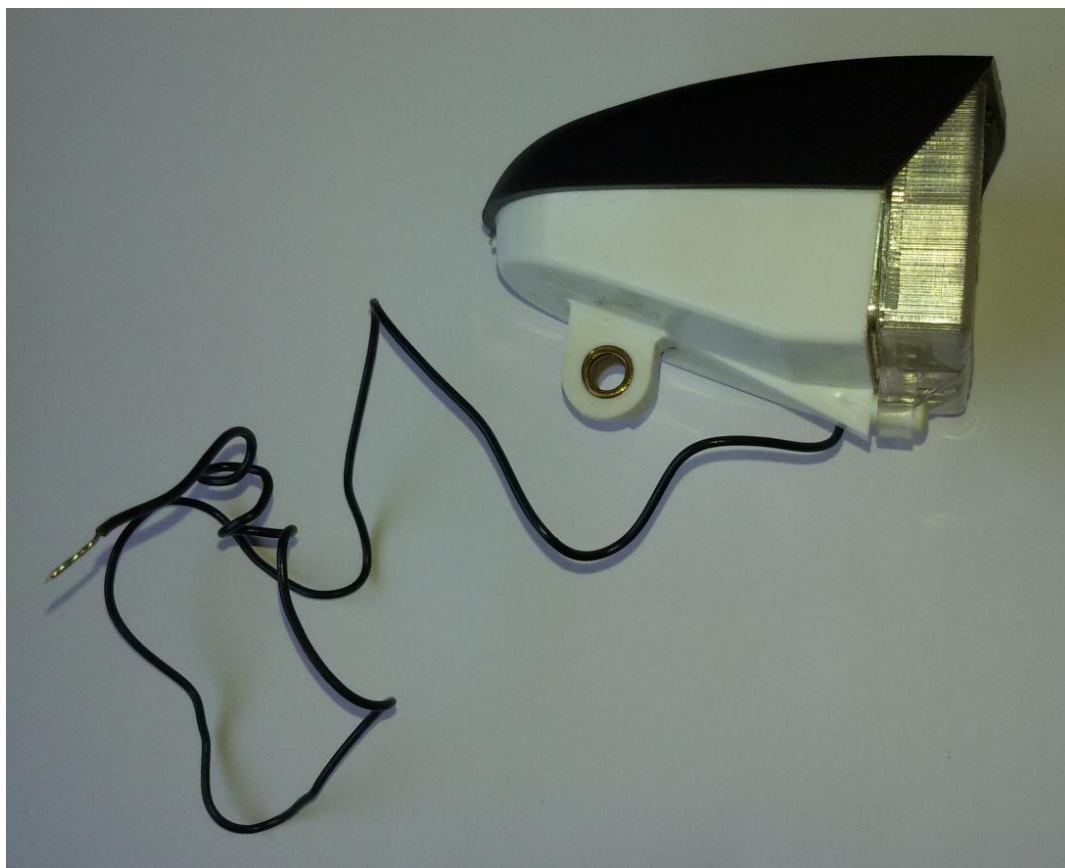
Слика 64 Приказ динаме за бициклу

Стални магнет је преко осовине повезан са изрезбареним ваљкастим поклопцем, који има улогу да пренесе обртни момент са ротирајућег елемента (точка) на стални магнет (слика 65). Ротацијом сталног магнета јавља се електромагнетна индукција тј. генерише се електрична енергија у бакарним намотајима на статору. Намотаји су на излазу динаме залемљени за металну плочицу, на коју се привезује сијалица.



Слика 65 Шематски приказ везивања динаме

Сијалица је са динамом повезана путем једножилног проводника (слика 66), тако да она представља позитивни потенцијал електричног кола. На динами се такође налази и метална плочица која на себи има отвор, у циљу повезивања тог отвора са неким металом (у овом случају навојна шипка), који представља негативни потенцијал електричног кола. Повезивањем позитивног и негативног потенцијала, правилно се везује електрично коло. Примењена динама за бицикл генерише напон од 6 V и снагу од 3 W.



Слика 66 Приказ сијалице

Динама је постављена тако да додирује точак, који се налази на делу вратила са навојем (слика 67). Кроз држач динаме пролази навојна шипка, која на себи садржи матице и подлошке у циљу, причвршћивања конструкције са осталим деловима склопа. Такође, на врху навојне шипке се налази сијалица, која је повезана са динамом. Точак, који је постављен на вратило, је облепљен траком за изолацију (изолир трака), у циљу повећавања трења између додирне површине точка и динаме. Неопходно је напоменути, да се ова сијалица користи за бицикле и да је њен напон 6 V, а снага 3 W.



Слика 67 Приказ везе динаме и сијалице

Конструкција лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином је постављена на радном столу, димензија 50x130x75 cm. Радни сто (слика 68) је претежно израђен од метала, док је радна површина дрвена. Део радне површине је изрезан у облику правоугаоника. Димензије изрезаног правоугаоника одговарају слободној страни кућишта турбине, јер је кућиште постављено на радни сто. Улога овог изрезаног дела стола је да вода изађе из кућишта турбине.



Слика 68 Приказ радног стола

13 Закључак

Због све већих потреба за енергијом, ситуација у којој се тренутно налази планета Земља, као и климатске промене које утичу на глобално загревање, натерале су нас да на што бржи начин поправимо свој однос према природи.

Конвенционални начин производње електричне енергије има негативне последице на животну средину у виду емисије гасова стаклене баште (угљен диоксид, метан, азот субоксид, хлорофлуороугљоводоници), тако да коришћење обновљивих извора енергије представља једини прихватљив избор. Један од начина добијања електричне енергије коришћењем обновљивих извора, представљају мале хидроелектране.

У овом мастер раду пројектована је мала хидроелектрана са Пелтоновом турбином на реци Бјелици, са протоком $0,47 \text{ m}^3/\text{s}$ и расположивим бруто падом водотока $61,5 \text{ m}$. На основу наведених параметара, добијена је вредност излазне снаге $244,7 \text{ kW}$. Израдом техно-економске анализе дошло се до закључка да потребна инвестиција за изградњу једног оваквог постројења износи 731.645 € , док годишњи приход од продаје електричне енергије износи 129.867 € . У складу са тим повраћај инвестиционих улагања је $5,6$ година. На основу периода повраћаја инвестиционих улагања, дошло се до закључка да је изградња оваквих енергетских постројења финансијски исплатљиво.

У оквиру овог мастер рада израђен је и лабораторијски модел мале хидроелектране са Пелтоновом турбином на коме се могу вршити разна испитивања. Тиме је омогућена значајнија и боља едукација студената основних и мастер студија техничких факултета, као и ученика средњих и основних школа, у циљу њиховог детаљнијег упознавања и усавршавања у области хидроенергије. Такође, применом наведеног лабораторијског модела, на основу теорије сличности, могућа је израда МХЕ са Пелтоновом турбином различитих параметара. Ове конструкције лабораторијских модела је могуће поставити на тржиште у циљу њихове продаје образовним установама, које желе да врше додатну едукацију својих ђака и студената.

14 Литература

- [1] <http://mudremisli.net/nikola-tesla-citati-izreke-misli/> , (05.12.2014)
- [2] С. Зрнић, Ж. Тулум: Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига, Београд, 1988.
- [3] <http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/V%20semestar/Energetika%20i%20odrzivi%20razvoj/Predavanja/Predavanje5.pdf> , (05.12.2014.)
- [4] http://www.izvorienergije.com/obnovljivi_izvori_energije.html , (10.12.2014.)
- [5] <http://www.eps.rs/test/malei.pdf> , (10.12.2014.)
- [6] <http://www.esco.rs/hidroenergija.html> , (16.12.2014.)
- [7] http://gis.srbijavode.rs/mhe/map_full.jsf?width=1777&height=813 , (16.12.2014.)
- [8] Д. Рајковић, Н. Кукољ: Производња и претворба енергије, Рударско-технолошко-нафтни факултет, Загреб, 2011.
- [9] П. Шулентић, Д. Корницер: Мале хидроелектране, Грађевинска књига, Београд, 1949.
- [10] М.Ј. Бабић, С. Стојковић: Турбомашине, теорија и математичко моделирање, Просвета, Београд, 1997.
- [11] Г. Душан: Обновљиви извори енергије 2 – мале хидроелектране, скрипта, Машински факултет Крагујевац, Крагујевац, 2010.
- [12] <http://www.sustainable-energybih.org/wp-content/uploads/2012/12/Pump-storage-BiH.png> , (22.12.2014.)
- [13] <http://www.rasrem.rs/doc/hidroelektrane.pdf> , (22.12.2014.)
- [14] <http://www.srbijavode.rs/> , (22.12.2014.)
- [15] <https://sites.google.com/site/brislavsarcevic/zapadna-morava> , (04.01.2015.)
- [16] http://en.academic.ru/pictures/enwiki/83/Serbia_West_Morava_basin.png, (04.01.2015.)
- [17] О. Бихаљи-Мерин: Мала енциклопедија Просвета, Просвета, Београд 1986.
- [18] Ј.Ђ. Марковић: Енциклопедијски географски лексикон Југославије Свјетлост Сарајево, 1990.
- [19] Б. Ђорђевић: Коришћење водних снага, Основе хидроенергетског коришћења вода, Грађевински факултет Београд, Београд, 1981
- [20] S. Yadav: Some Aspects of Performance Improvement of Pelton Wheel Turbine with Reengineered Blade and Auxiliary Attachments, International Journal of scientific & Engineering Research, Vol. 2, 2011.
- [21] Д. Хорват: Водне турбине, Техничка књига 1. Загреб, 1955.
- [22] <http://www.zeco.it/zeco-turbines/pelton-turbine/> , (10.02.2015.)
- [23] Ј. Перић. Хидраулични мотори и постројења. Знање, Београд, 1952.
- [24] http://www.interactengineering.com/product_details.asp?pid=455 , (10.02.2015.)
- [25] Д. Дивац, С. Прокић, Д. Даниловић: Обнављање мале хидроелектране „Студеница”, Главни пројекат, Институт за водопривреду „Јарослав Черни”, Завод за бране, хидроенергетику, руднике и саобраћајнице, Београд, 2007.

- [26] <http://www.trgometal.rs/Trgometal-katalog.pdf> , (23.02.2015.)
- [27] http://www.kombeg.org.rs/Slike/CeTranIRazvojTehnologija/2009Decembar/Uredba_o_merama_podsticaja_za_proizvodnju_el_energije_koriscenjem_OIE.pdf , (23.02.2015.)
- [28] <https://bs.scribd.com/doc/106540033/Biodiverzitet-i-Deo> , (01.05.2015.)
- [29] А. Петровић: Могућности коришћења базе података у стратегији конзервације биодиверзитета макробескичмењака копнених вода на националном нивоу, Природно-математички факултет Крагујевац, Крагујевац 2014.
- [30] <https://www.scribd.com/doc/243362150/7-Ekoloski-uticaji> , (02.05.2015.)
- [31] http://www.gfmo.ba/e-zbornik/e_zbornik_08_01.pdf , (03.05.2015.)
- [32] http://www.unizg.hr/rektorova/upload_2013/Prsa_Rebrina_Srednoselec.pdf, (05.05.2015.)

Прилог 1

Димензионисање Пелтонове турбине

$$H_b = 61.5$$

H_b – расположиви бруто пад водотока [m]

$$Q_t = 0.47$$

Q_t – проток воде кроз турбину [m^3/s]

$$H_g = 0.06 \cdot H_b = 3.69$$

H_g – укупни хидраулични губици при проласку кроз отпадну решетку, захват, доводни цевовод и капију или вентил [m]

$$H_n = H_b - H_g = 57.81$$

H_n – расположиви нето пад одабраног водотока [m]

$$\rho_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ρ – густина воде [kg/m^3]

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

g – убрзање силе земљине теже [m/s^2]

$$c_n = 0.98$$

c_n – коефицијент отпора при протицању воде кроз млазницу (≈ 0.98) [/]

$$P_{ti} = 2.56 \times 10^5$$

P_{ti} – улазна снага турбине [W]

$$Q_m = 0.235$$

Q_m – проток воде кроз млазницу [m^3/s]

$$n_j = \frac{Q_t}{Q_m} = 2$$

n_j – оптимални број млазница турбине [/]

$$N_s = 85.49 \cdot \frac{\sqrt{n_j}}{H_n^{0.243}} = 45.109$$

N_s – специфична брзина радног кола турбине [°]

$$N = N_s \cdot \frac{H_n^{5/4}}{\sqrt{\frac{P_{ti}}{1000}}} = 449.424 = 450$$

N – број обртаја радног кола турбине [min^{-1}]

$$c_j = c_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n} = 33.005$$

c_j – брзина воде по изласку из млазнице [m/s]

$$D_r = 38.6 \cdot \frac{\sqrt{H_n}}{N} = 0.653$$

D_r – пречник радног кола турбине [m]

$$c_{tr} = \frac{\pi \cdot N \cdot D_r}{60} = 15.367$$

c_{tr} – тангенцијална брзина радног кола [m/s]

$$D_j = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_m}{\pi \cdot c_j \cdot n_j}} = 0.067$$

D_j – пречник млазнице [m]

$$A_j = \pi \cdot \frac{D_j^2}{4} = 3.56 \times 10^{-3}$$

A_j – површина попречног пресека млазнице [m^2]

$$B_j = 3.2 \cdot D_j = 0.215$$

B_j – ширина лопатице [m]

$$\gamma = 20^\circ$$

γ – угао нагиба цевовода [°]

$$L_{pt} = \frac{H_n}{\sin \gamma} = 169.025$$

L_{pt} – дужина цевовода између усиса и турбине [m]

$$n_p = 0.012$$

n_p – Манингов коефицијент за челичне глатке цеви [/]

$$D_{pt} = 2.69 \cdot \left(\frac{n_p^2 \cdot Q_t^2 \cdot L_{pt}}{H_b} \right)^{0.1875} = 0.446$$

D_{pt} – пречник доводне цеви [m]

$$t_p = \left(\frac{D_{pt} + 508}{400} + 1.2 \right) \cdot 10^{-3} = 2.471 \times 10^{-3}$$

t_p – оптимална дебљина зида доводног цевовода [m]

$$A_p = D_{pt}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0.171$$

A_p – површина попречног пресека доводног цевовода [m²]

$$\Delta c = \frac{Q_t}{n_j \cdot A_p} = 1.375$$

Δc – промена брзине у доводном цевоводу [m/s]

$$K_{wm} = 2.1 \times 10^9$$

K_{wm} – Булов модул за воду [Nm⁻²]

$$M_p = 200 \times 10^9$$

M_p – модул еластичности материјала цевовода [Nm⁻²]

$$c_w = \sqrt{\frac{1}{\rho_w \cdot \left(\frac{1}{K_{wm}} + \frac{D_{pt}}{M_p \cdot t_p} \right)}} = 839.186$$

c_w – брзина простирања ударног таласа [m/s]

$$H_s = c_w \cdot \frac{\Delta C}{g} = 117.639$$

H_s – ударни притисак [m]

$$D_{pn} = \frac{D_{pt}}{\sqrt{n_j}} = 0.33$$

D_{pn} – пречник доводне цеви ка млазници [m]

$$\beta = 60^\circ$$

β – конусни угао млазнице [°]

$$L_n = \frac{D_{pn} - D_j}{\tan \beta} = 0.152$$

L_n – дужина млазнице [m]

$$D_t = 0.003$$

D_t – дебљина дефлектора [m]

$$\chi_{nr} = 0.05 \cdot D_r + D_t = 0.036$$

χ_{nr} – минимално растојање између млазнице и радног кола [m]

$$\chi_{nb} = 0.625 \cdot D_r = 0.408$$

χ_{nb} – растојање између млазнице и лопатице радног кола турбине узимајући у обзир минимални зазор између њих [m]

$$B_t = 3 \cdot D_j = 0.202$$

B_t – дужина лопатице [m]

$$B_d = 1.2 \cdot D_j = 0.081$$

B_d – дубина лопатице [m]

$$n_b = 20$$

n_b – број лопатица радног кола [/]

$$l_{ab} = 0.195 \cdot D_r = 0.127$$

l_{ab} – дужина руке лопатице [m]

$$R_{br} = 0.47 \cdot D_r = 0.307$$

R_{br} – радијус кружнице која пролази кроз центар маса лопатица [m]

$$V_b = 0.0063 \cdot D_r^3 = 1.754 \times 10^{-3}$$

V_b – запремина лопатица [m³]

$$\rho_m = 7850$$

ρ_m – густина материјала лопатице (специфична густина челика) [kg/m³]

$$M_b = \rho_m \cdot V_b = 13.772$$

M_b – маса лопатице [kg]

$$F_d = \rho_w \cdot Q_m \cdot c_j = 7.756 \times 10^3$$

F_d – сила која делује на сваки дефлектор засебно [N]

$$S_f = 2.6$$

S_f – сигурносни фактор за спречавање хидрауличног удара [/]

$$F_{dr} = F_d \cdot S_f = 2.017 \times 10^4$$

F_{dr} – сила за активацију дефлектора [N]

$$R_d = 0.35$$

R_d – радијус дефлектора [m]

$$F_c = 1.2$$

F_c – фактор трења услед лежаја ($\approx 1,2$) [/]

$$T_{dr} = F_{dr} \cdot F_c \cdot R_d = 8.47 \times 10^3$$

T_{dr} – момент силе која делује на дефлекторску руку [Nm]

$$\psi = 0.98$$

ψ – коефицијент храпавости површине лопатице ($\approx 0,98$) [/]

$$\theta = 160^\circ$$

θ – угао између млаза и лопатице [°]

$$\phi = 180^\circ - \theta = 20^\circ$$

ϕ – одбојни угао [°]

$$P_{to} = \rho_w \cdot Q_t \cdot c_{tr} \cdot (c_j - c_{tr}) \cdot (1 + \psi \cdot \cos \phi) = 2.447 \times 10^5$$

P_{to} – излазна снага турбине [W]

$$\eta_{th} = \frac{P_{to}}{P_{ti}} = 0.956$$

η_{th} – хидраулична ефикасност турбине [/]

$$x = \frac{c_{tr}}{c_j} = 0.466$$

x – однос тангенцијалне брзине радног кола и брзине воде по изласку из млазнице [/]

$$\eta_{thm} = \frac{1 + \psi \cos \phi}{2} = 0.96$$

η_{thm} – максимална вредност хидрауличног степена корисности [/]

$$\eta_{tm} = 0.95$$

η_{tm} – механичка ефикасност (ако је генератор директно постављен на вратило $\eta_{tm}=1$) [/]

$$\rho_a = 1.23$$

ρ_a – густина ваздуха ($\approx 1,23$) [kg/m³]

$$K_d = 1$$

K_d – коефицијент отпора ваздуха [/]

$$\eta_{tw} = 1 - \frac{K_d \cdot \rho_a \cdot A_p \cdot x^3}{\rho_w \cdot A_j} = 0.994$$

η_{tw} – аероефикасност турбине [/]

$$\eta_t = \eta_{thm} \cdot \eta_{tw} \cdot \eta_{tm} = 0.903$$

η_t – ефикасност турбине [/]

$$\omega = \frac{\pi \cdot N \cdot D_r}{60 \cdot \frac{D_r}{2}} = 47.064$$

ω – угаона брзина радног кола [rad/s]

$$T_t = \frac{P_{to}}{\omega} = 5.199 \times 10^3$$

T_t – момент турбине [Nm]

Прорачун вратила

$$P_t = 2.447 \times 10^5$$

P_t – излазна снага турбине [W]

$$n_t = 450$$

n_t – број обртаја вратила [min^{-1}]

$$\eta_s = 0.9$$

η_s – ефикасност спојнице [/]

$$P_1 = P_t \cdot \eta_s = 2.202 \times 10^5$$

P_1 – излазна снага на спојници [W]

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_t}{30} = 47.124$$

ω – угаона брзина вратила [rad/s]

$$T_t = \frac{P_t}{\omega} = 5.193 \times 10^6$$

T_t – момент увијања вратила [Nmm]

$$m_t = 500$$

m_t – маса радног кола [kg]

$$g = 9.81$$

g – убрзање силе земљине теже [m/s^2]

$$F_t = m_t \cdot g = 4.905 \cdot 10^3$$

F_t – оптерећење којим радно коло делује на вратило [N]

$$l_1 = 500$$

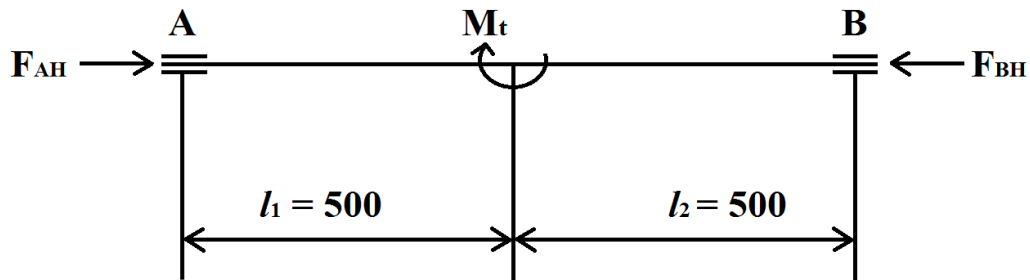
l_1 – растојање између лежаја A и радног кола [mm]

$$l_2 = 500$$

l_2 – растојање између лежаја В и радног кола [mm]

$$M_t = F_t \cdot l_1 = 2.453 \cdot 10^6$$

M_t – момент силе F_t [Nm]



Шема оптерећења вратила у хоризонталној равни ($H-H$)

За тачку А $H-H$

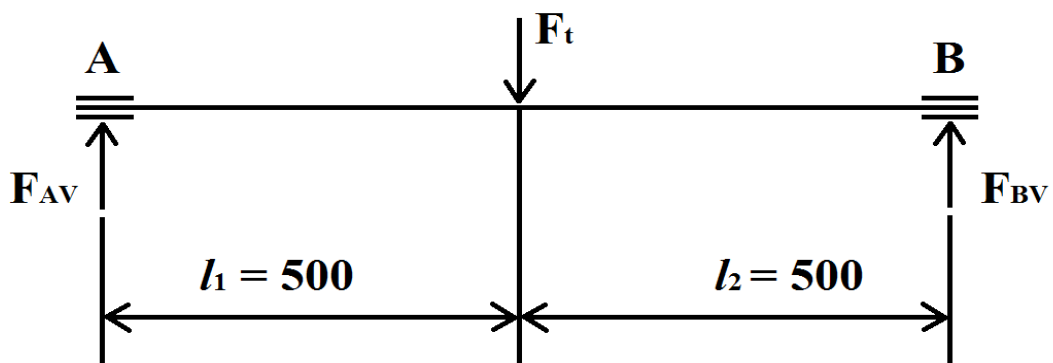
$$F_{BH} = \frac{M_t}{1000} = 2.453 \times 10^3$$

F_{BH} – отпор ослонца тачке В у хоризонталној равни [N]

За тачку В $H-H$

$$F_{AH} = \frac{M_t}{1000} = 2.453 \times 10^3$$

F_{AH} – отпор ослонца тачке А у хоризонталној равни [N]



Шема оптерећења вратила у вертикалној равни ($V-V$)

За тачку А V – V

$$F_{BV} = \frac{F_t \cdot 500}{1000} = 2.453 \times 10^3$$

F_{BV} – отпор ослонца тачке В у вертикалној равни [N]

За тачку В V – V

$$F_{AV} = \frac{F_t \cdot 500}{1000} = 2.453 \times 10^3$$

F_{AV} – отпор ослонца тачке А у вертикалној равни [N]

$$F_A = \sqrt{F_{AH}^2 + F_{AV}^2} = 3.468 \times 10^3$$

F_A – резултујући отпор ослонца тачке А [N]

$$F_B = \sqrt{F_{BH}^2 + F_{BV}^2} = 3.468 \times 10^3$$

F_B – резултујући отпор ослонца тачке А [N]

$$M_{CHL} = F_{AH} \cdot 500 = 1.226 \times 10^6$$

M_{CHL} – момент савијања тачке С у хоризонталној равни (лево) [Nmm]

$$M_{CHD} = F_{BH} \cdot 500 = 1.226 \times 10^6$$

M_{CHD} – момент савијања тачке С у хоризонталној равни (десно) [Nmm]

$$M_{CVL} = F_{AV} \cdot 500 = 1.226 \times 10^6$$

M_{CVL} – момент савијања тачке С у вертикалној равни (лево) [Nmm]

$$M_{CVD} = F_{BV} \cdot 500 = 1.226 \times 10^6$$

M_{CVD} – момент савијања тачке С у вертикалној равни (десно) [Nmm]

$$M_{CL} = \sqrt{(M_{CHL}^2 + M_{CVL}^2)} = 1.734 \times 10^6$$

M_{CL} – резултујући момент савијања тачке С (лево) [Nmm]

$$M_{CD} = \sqrt{(M_{CHD}^2 + M_{CVD}^2)} = 1.734 \times 10^6$$

M_{CD} – резултујући момент савијања тачке С (десно) [Nmm]

За челик Č1530 усвајамо:

$$\sigma_D = 320$$

σ_D – савојна динамичка издржљивост [МПа]

$$\tau_D = 270$$

τ_D – увојна динамичка издржљивост [МПа]

$$R_m = (630 \div 780)$$

R_m – затезна чврстоћа [МПа]

$$s = 2$$

s – степен сигурности вратила (2 – 3) [/]

$$k = 3.2$$

k – фактор [/]

$$\sigma_{doz} = \frac{\sigma_D}{k \cdot s} = 50$$

σ_{doz} – дозвољен напон на савијање [МПа]

$$K_A = 1.1$$

K_A – фактор радних услова [/]

$$M_i = \sqrt{M_{CVD}^2 + \left(\frac{\sigma_D}{\tau_D} \cdot \frac{K_A \cdot T_{tt}}{2} \right)^2} = 3.6 \times 10^6$$

M_i – еквивалентни момент [Nmm]

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_i}{\pi \cdot \sigma_{doz}}} = 90.181 \Rightarrow 95$$

d – пречник вратила [mm]

Провера пречника вратила

$$t = 0.2$$

t – дубина жлеба клина [mm]

$$d_{vr} = d - t = 94.8$$

d_{vr} – кориговани пречник вратила [mm]

$$W_{rac} = \frac{d_{vr}^3 \cdot \pi}{32} = 8.364 \times 10^4$$

W_{rac} – отпорни момент пресека [mm³]

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W_{rac}} = 43.042$$

σ_i – напон на савијање [MPa]

$$\sigma_{imax} = \sigma_i \cdot k = 137.735$$

σ_{imax} – максимални напон на савијање [MPa]

$$S_{vr} = \frac{\sigma_D}{\sigma_{imax}} = 2.323$$

S_{vr} – проверени степен сигурности вратила [/]

Проверени степен сигурности треба да буде већи од усвојене вредности степена сигурности ($S_{vr} > S$). У овом случају услов је задовољен.

Димензионисање лежаја

$$T_v = 5.199 \times 10^3$$

T_v – обртни момент вратила [Nm]

$$d_{vr} = 95$$

d_{vr} – пречник вратила [mm]

$$F_r = \frac{2 \cdot T_v}{d_{vr}} = 1.095 \times 10^4$$

F_r – радијална сила [N]

$$k_t = 1$$

k_t – фактор температуре [/]

$$\alpha = 3$$

α – експонент (за лежаје са куглицама $\alpha = 3$) [/]

$$L_h = 4000$$

L_h – предвиђени радни век [h]

$$n = 450$$

n – број обртаја вратила [min^{-1}]

$$c_{din} = \frac{F_r}{k_t} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{n \cdot L_h}{10^6}} = 5.212 \times 10^4$$

c_{din} – динамичка носивост [kN]

За вредност динамичке носивости c_{din} усваја се куглични лежај ознаке: **1219**

Димензионисање спојнице

$$d_{vr} = 95$$

d_{vr} – пречник вратила [mm]

$$d_u = d_{vr}$$

d_u – унутрашњи пречник спојнице [mm]

$$d_s = 1.7 \cdot d_u = 161.5$$

d_s – спољашњи пречник спојнице [mm]

$$T_v = 5.199 \times 10^3$$

T_v – обртни момент вратила [Nm]

$$k_A = 3.2$$

k_A – фактор радних услова [/]

$$\psi = \frac{d_u}{d_{st}} = 0.588$$

ψ – однос пречника [/]

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_s^3 \cdot (1 - \psi^4)}{16} = 7.281 \times 10^5$$

W_p – отпорни момент пресека [mm³]

$$\tau = \frac{T_v \cdot k_A}{W_p} = 22.851$$

τ – напон на увијање [MPa]

$$S_s = 2.5$$

S_s – степен сигурности спојнице [/]

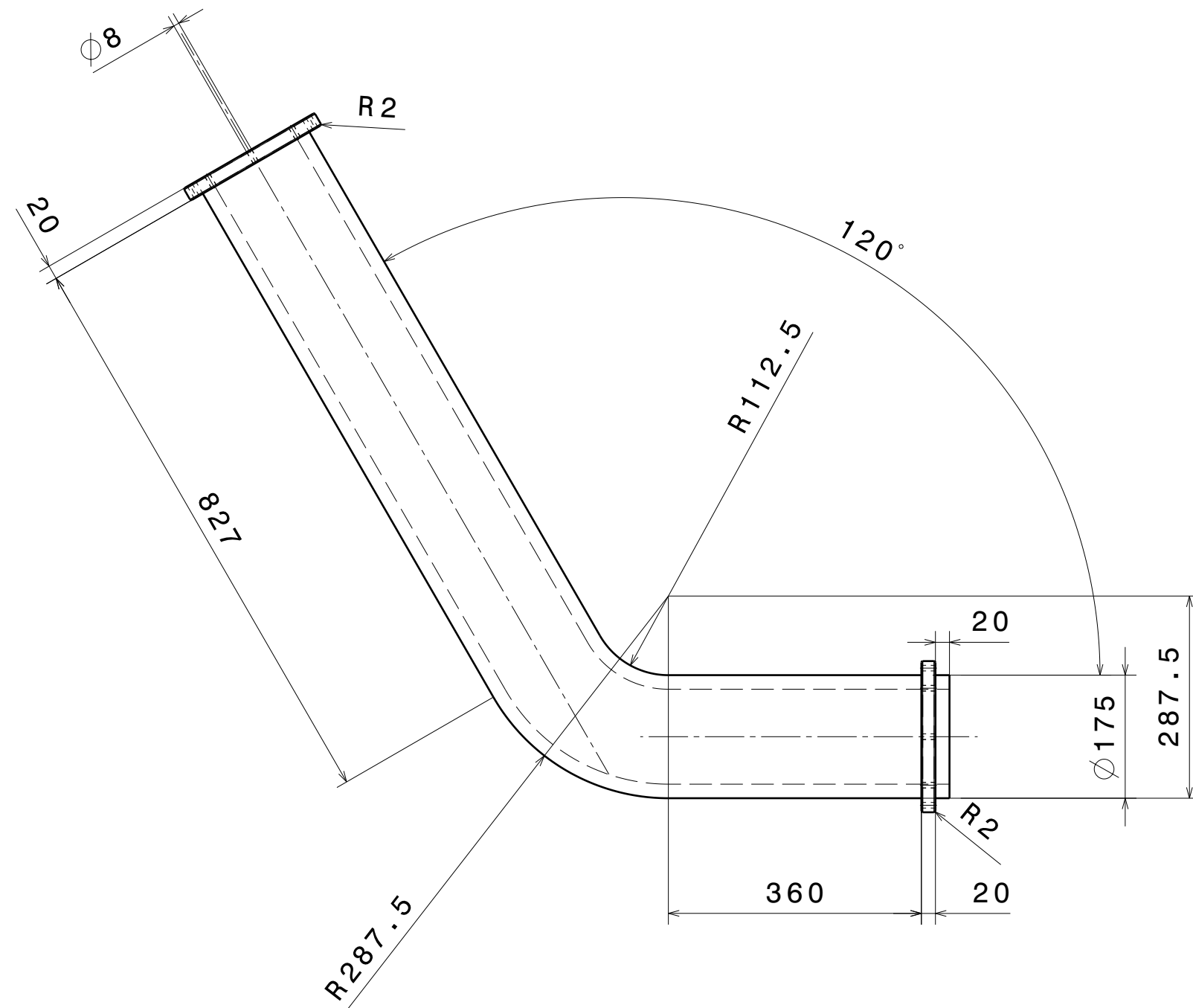
$$\tau_{din} = \tau \cdot S_s = 57.128$$

τ_{din} – динамичка издржљивост чауре (наглавка) [MPa]

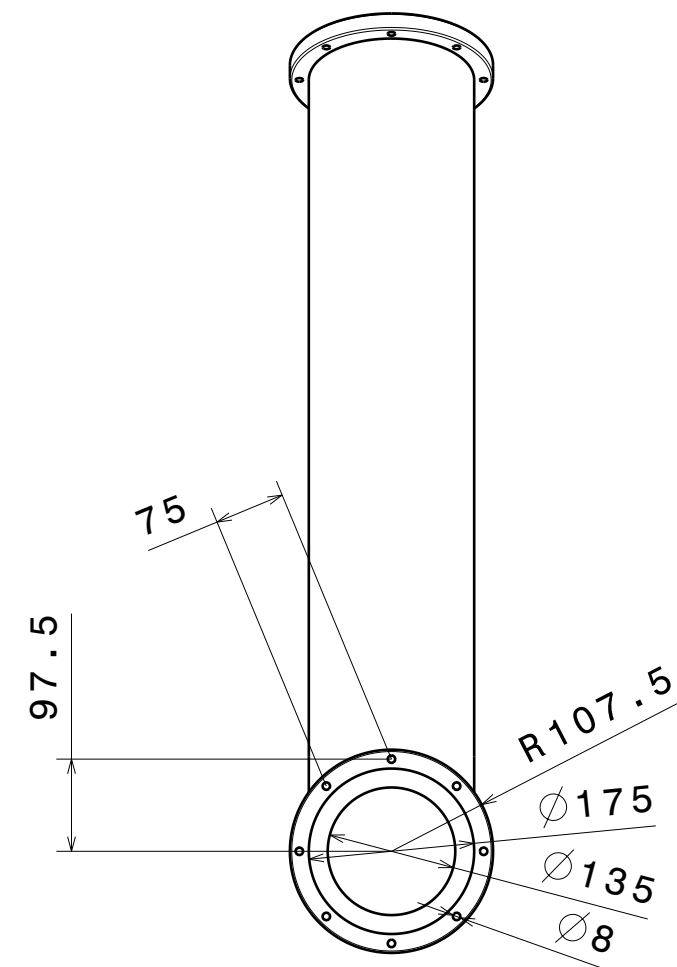
$$L_n = 3 \cdot d_u = 285$$

L_n – дужина наглавка [mm]

Прилог 2

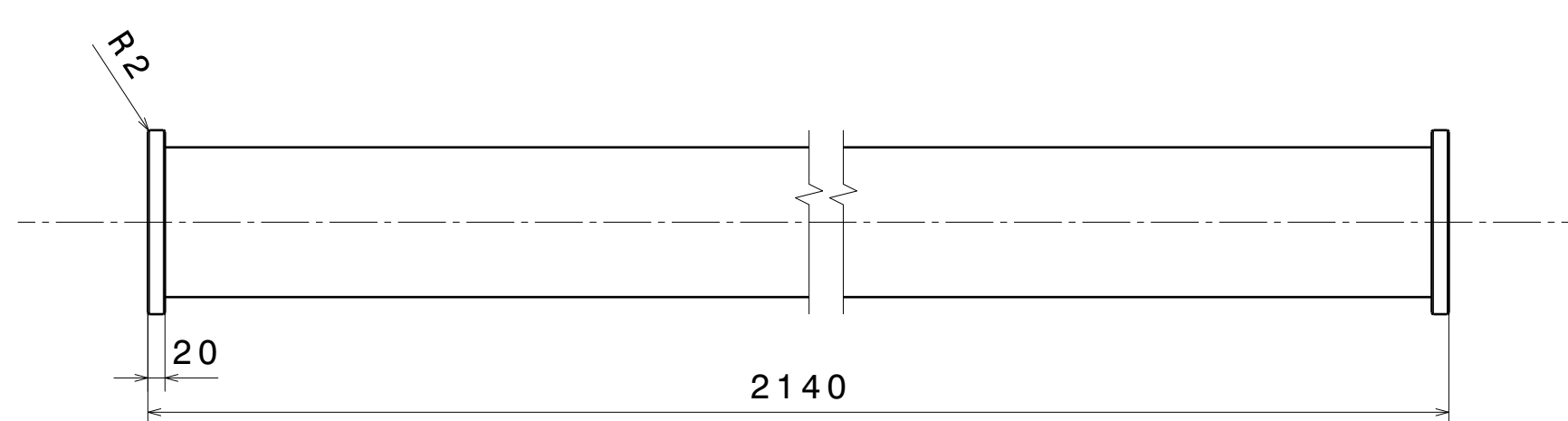


Pogled spreda
Razmera: 1:8

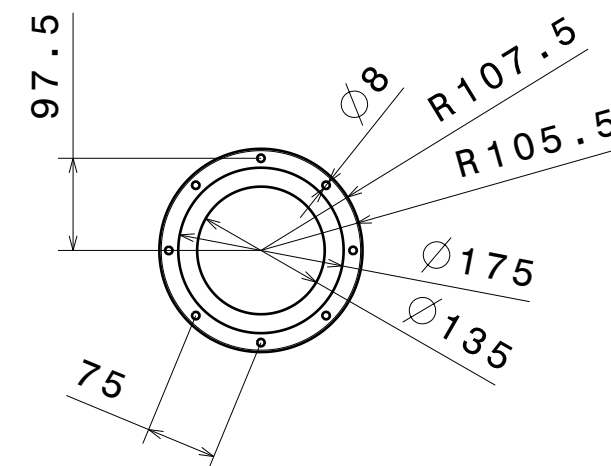


Pogled sa strane
Razmera: 1:8

Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita					
Materijal							Termicka obrada					
									Masa	Razmera		
				Datum			Naziv: Dovodni cevovod mlaznice 1					
				Obrad.								
				Stand.								
				Odobr.								
							Oznaka:			List:		
												L
St.i	Izmene	Datum	Ime							Izv.pod.		Zamena za:

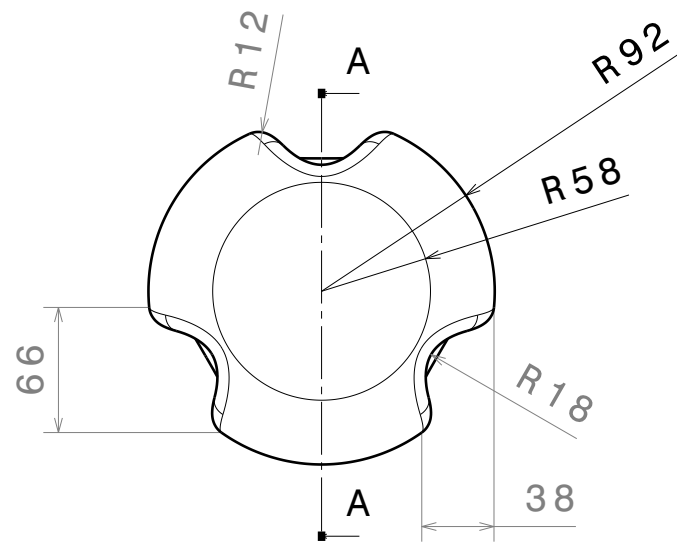


Pogled spreda
Razmera: 1:8

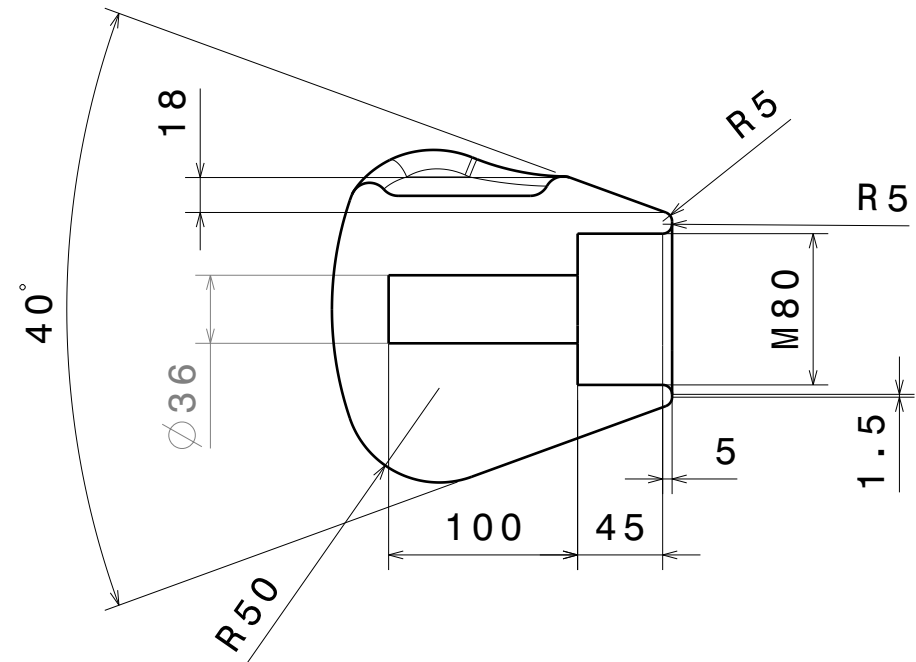


Pogled sa strane
Razmera: 1:8

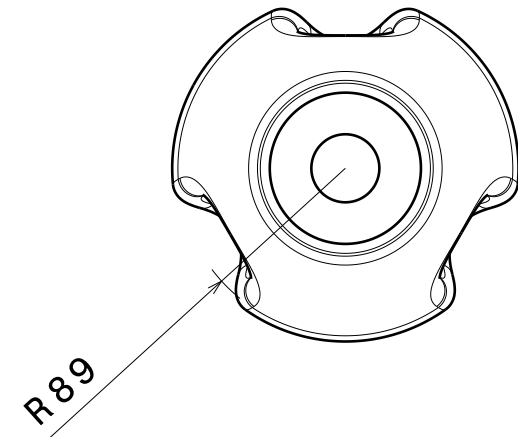
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita						
Materijal							Termicka obrada						
									Masa	Razmera			
					Datum			Naziv: Dovodni cevovod mlaznice 2					
					Obrad.								
					Stand.								
					Odobr.								
								Oznaka:			List:		
											L		
St.i	Izmene		Datum	Ime				Izv.pod.		Zamena za:			



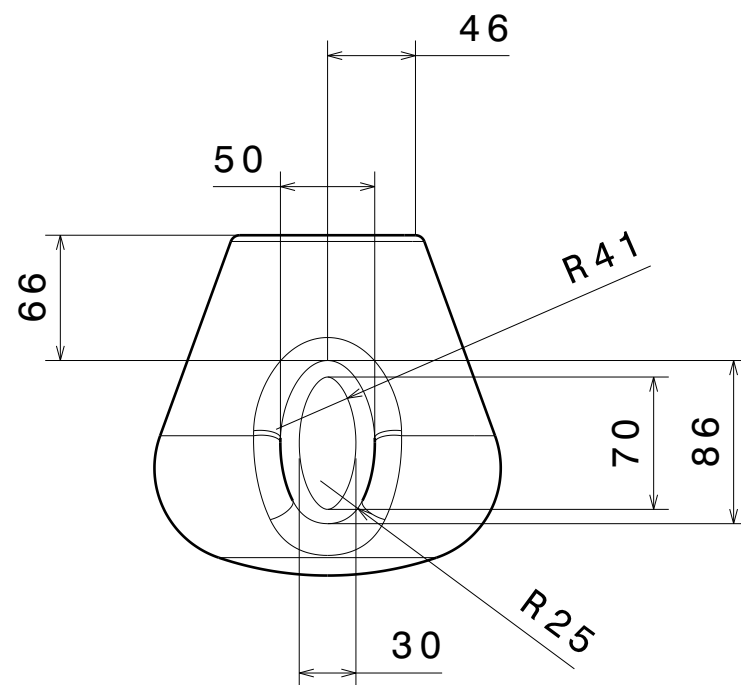
Pogled spreda
Razmera: 1:4



Presek A-A
Razmera: 1:4

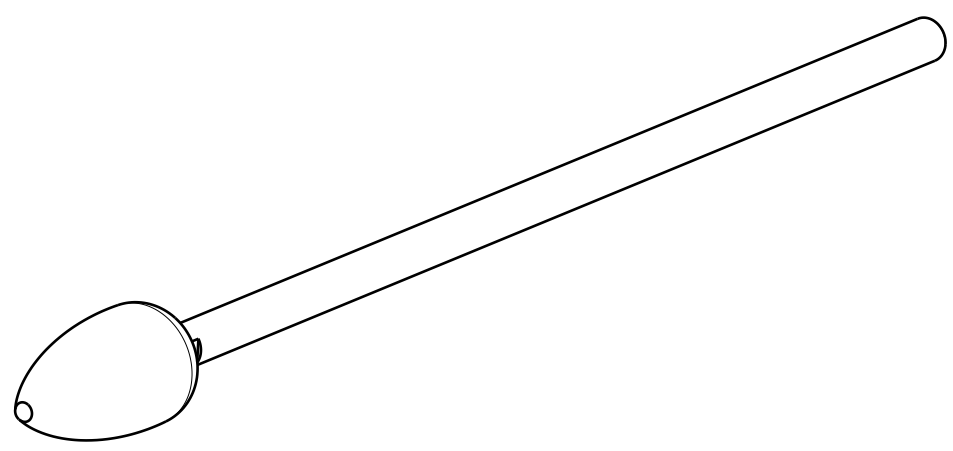
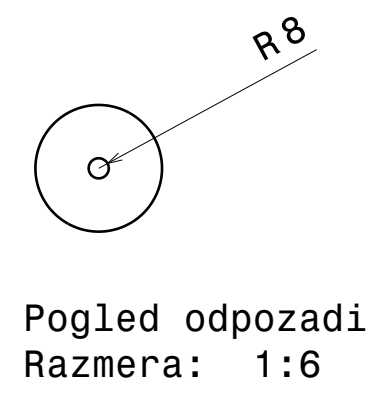
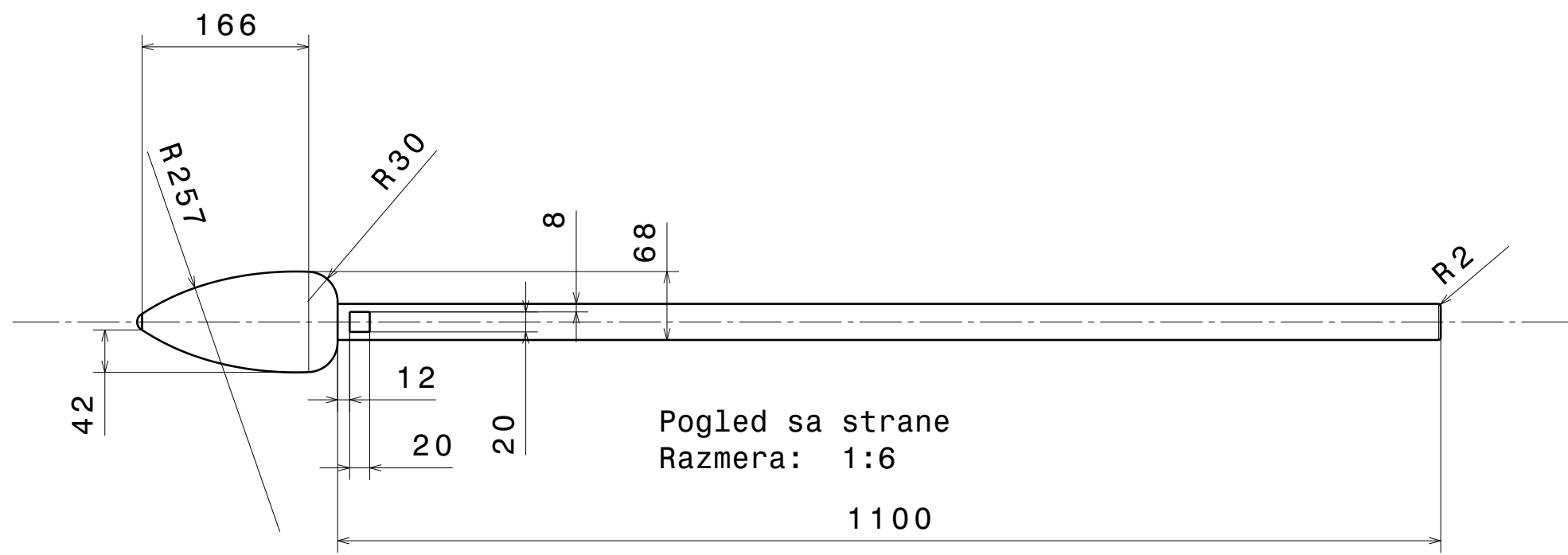
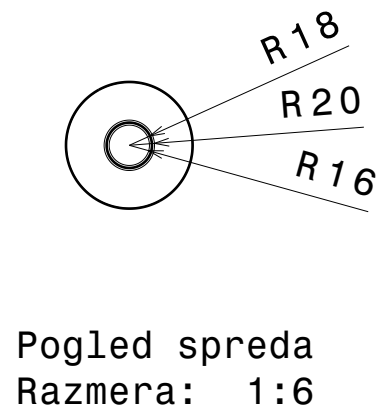


Pogled odpozadi
Razmera: 1:4



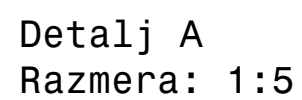
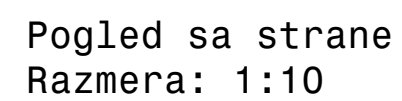
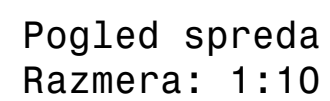
Pogled odozgo
Razmera: 1:4

Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita					
Materijal							Termicka obrada					
									Masa	Razmera		
				Datum			Naziv: Navojni cep					
				Obrad.								
				Stand.								
				Odobr.								
							Oznaka:		List:			
									L			
										Izv.pod.		Zamena za:
St.i	Izmene	Datum	Ime									

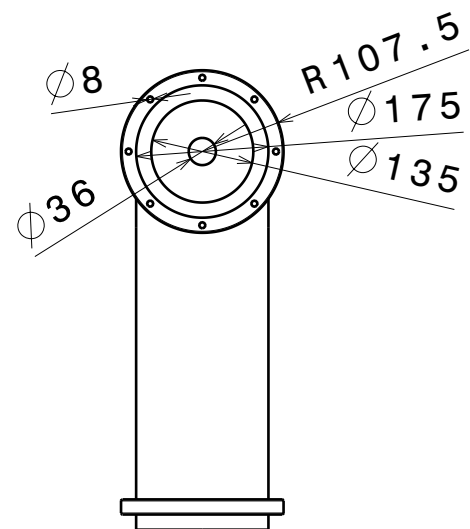


Izometrijski pogled
Razmera: 1:6

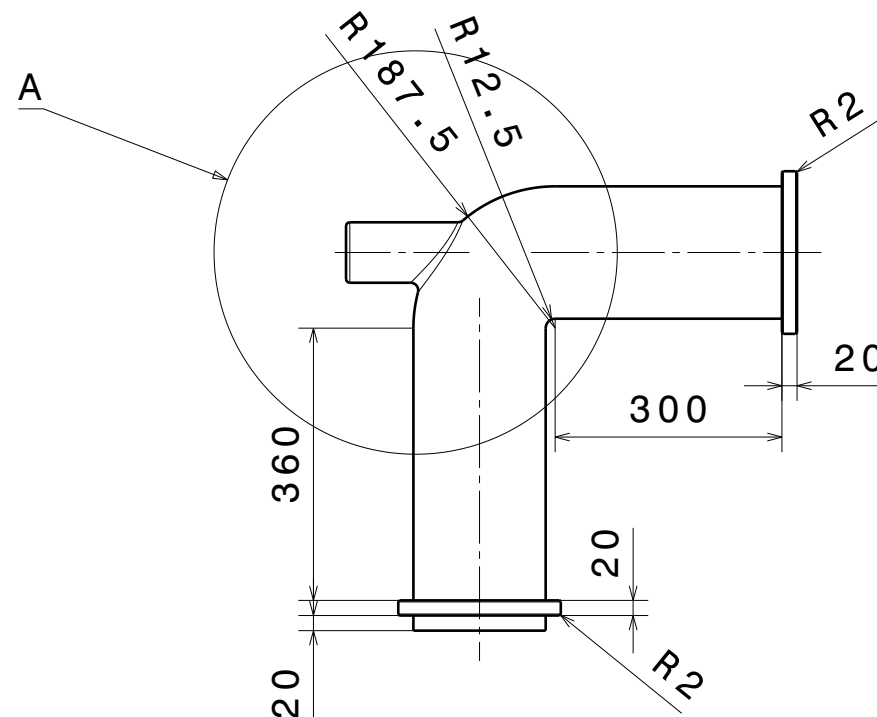
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita			
Materijal							Termicka obrada			
								Masa	Razmera	
				Datum			Naziv: Koplje			
				Obrad.						
				Stand.						
				Odobr.						
							Oznaka:		List:	
									L	
St.i	Izmene	Datum	Ime				Izv.pod.		Zamena za:	



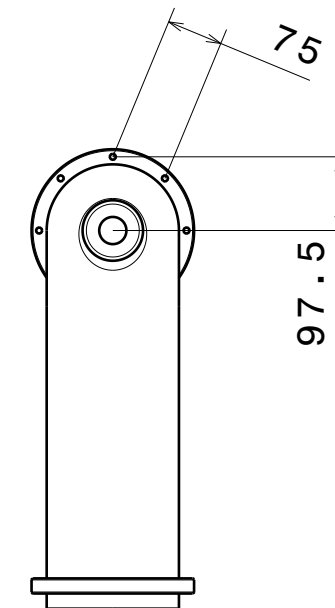
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita				
Materijal								Termicka obrada				
										Masa	Razmera	
				Datum			Naziv: Krivina cevovoda mlaznice broj 1					
				Obrad.								
				Stand.								
				Odobr.								
								Oznaka:			List:	
											L	
								Izv.pod.				
St.i	Izmene	Datum	Ime									



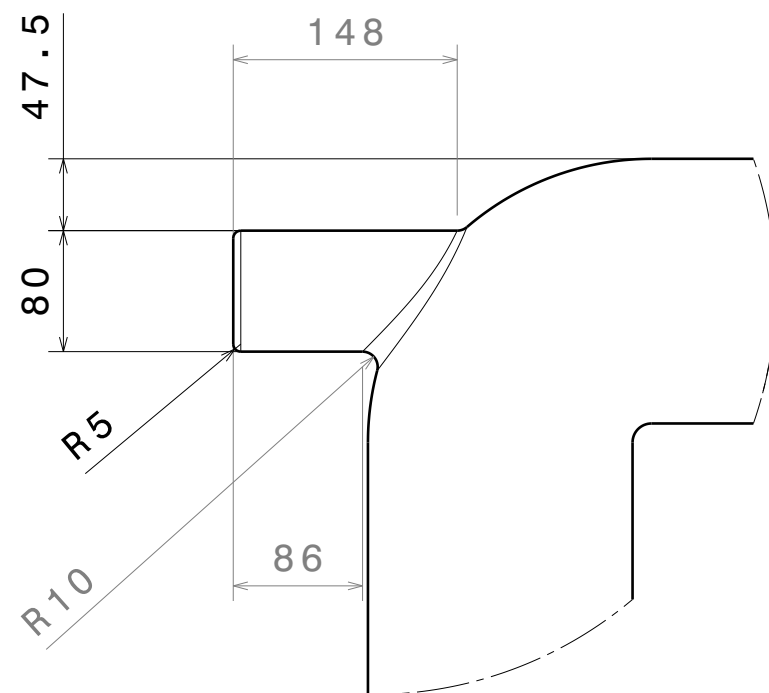
Pogled spreda
Razmera: 1:10



Pogled sa strane
Razmera: 1:10

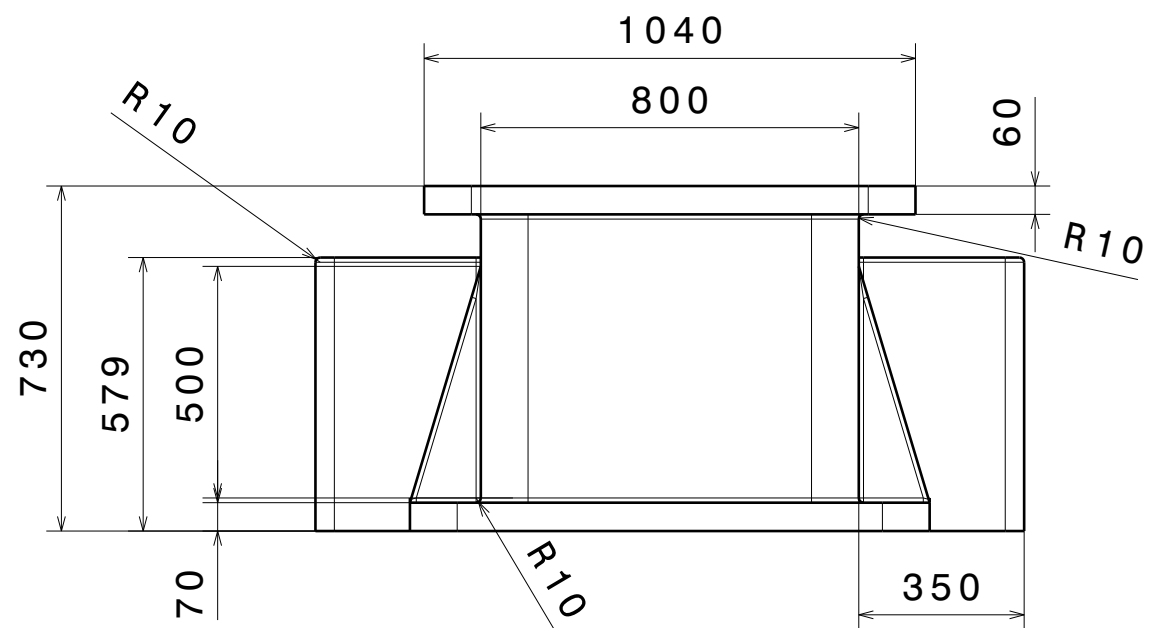


Pogled odpozadi
Razmera: 1:10

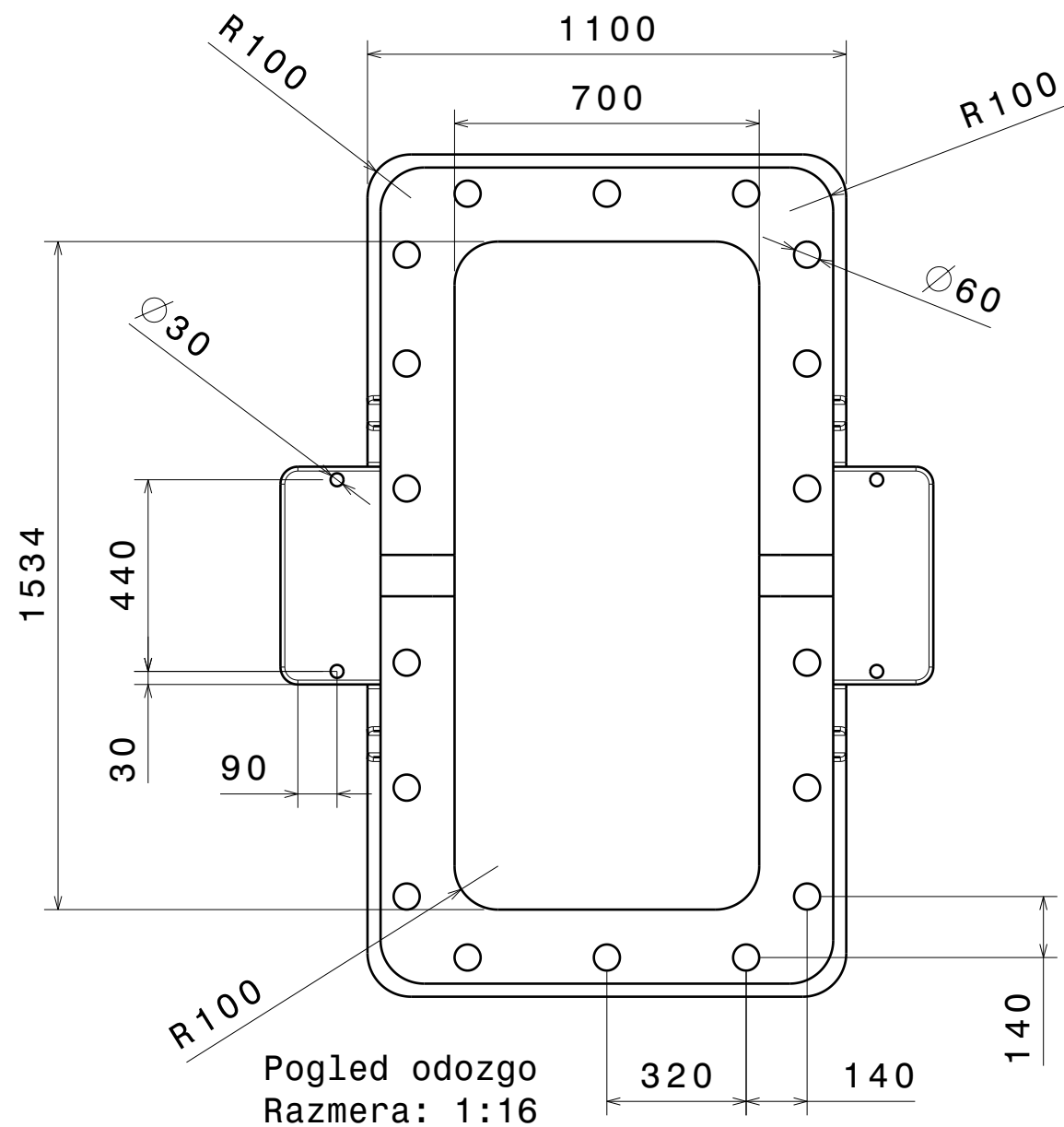


Detalj A
Razmera: 1:5

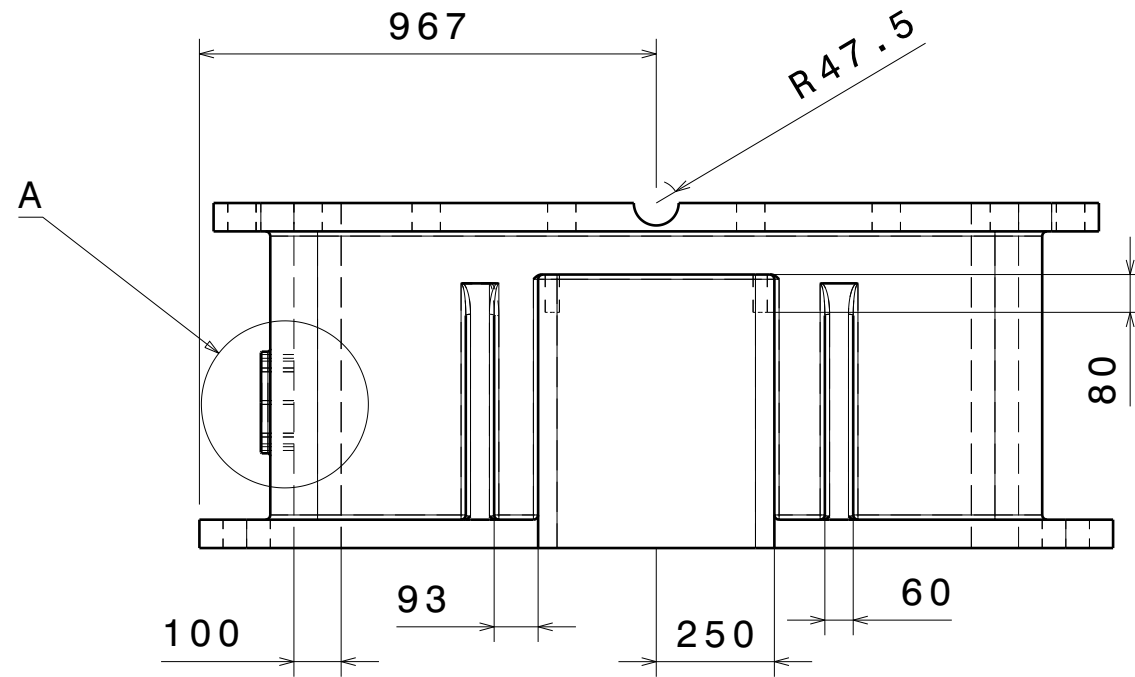
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita			
Materijal							Termicka obrada			
									Masa	Razmera
				Datum			Naziv: Krivina cevovoda mlaznice broj 2			
				Obrad.						
				Stand.						
				Odobr.			Oznaka:			
St.i	Izmene	Datum	Ime				Izv.pod.		Zamena za:	



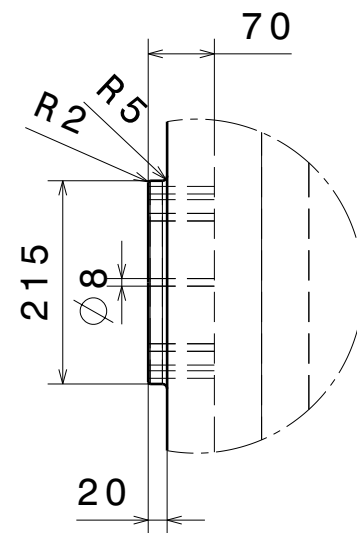
Pogled spreda
Razmera: 1:16



Pogled odozgo
Razmera: 1:16

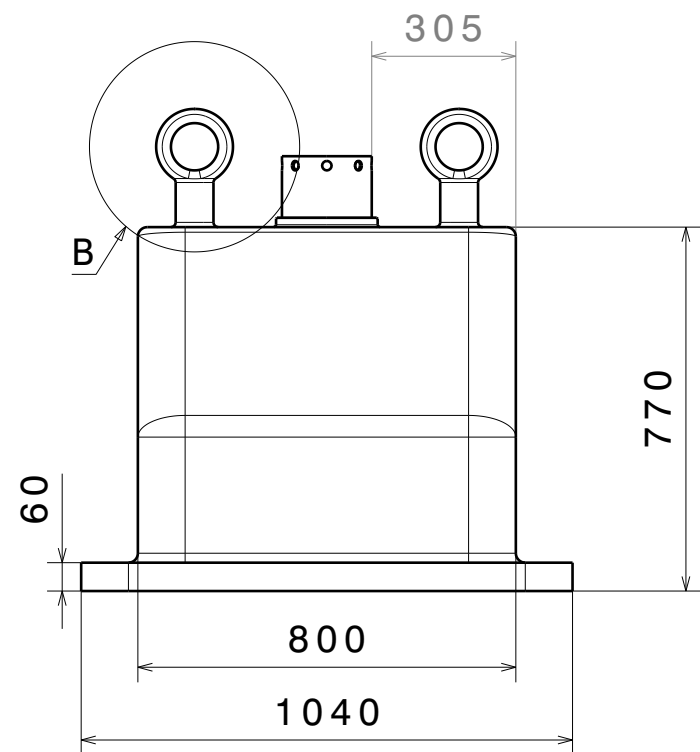


Pogled sa strane
Razmera: 1:16

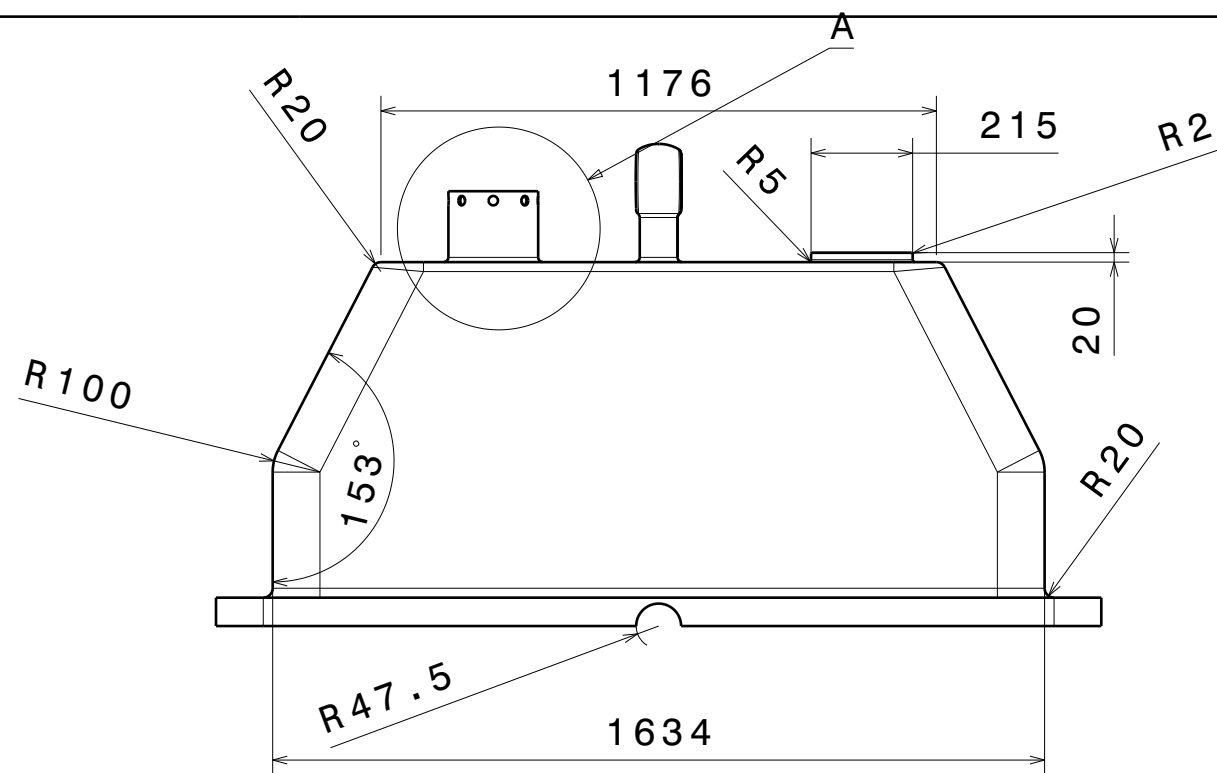


Detalj A
Razmera: 1:16

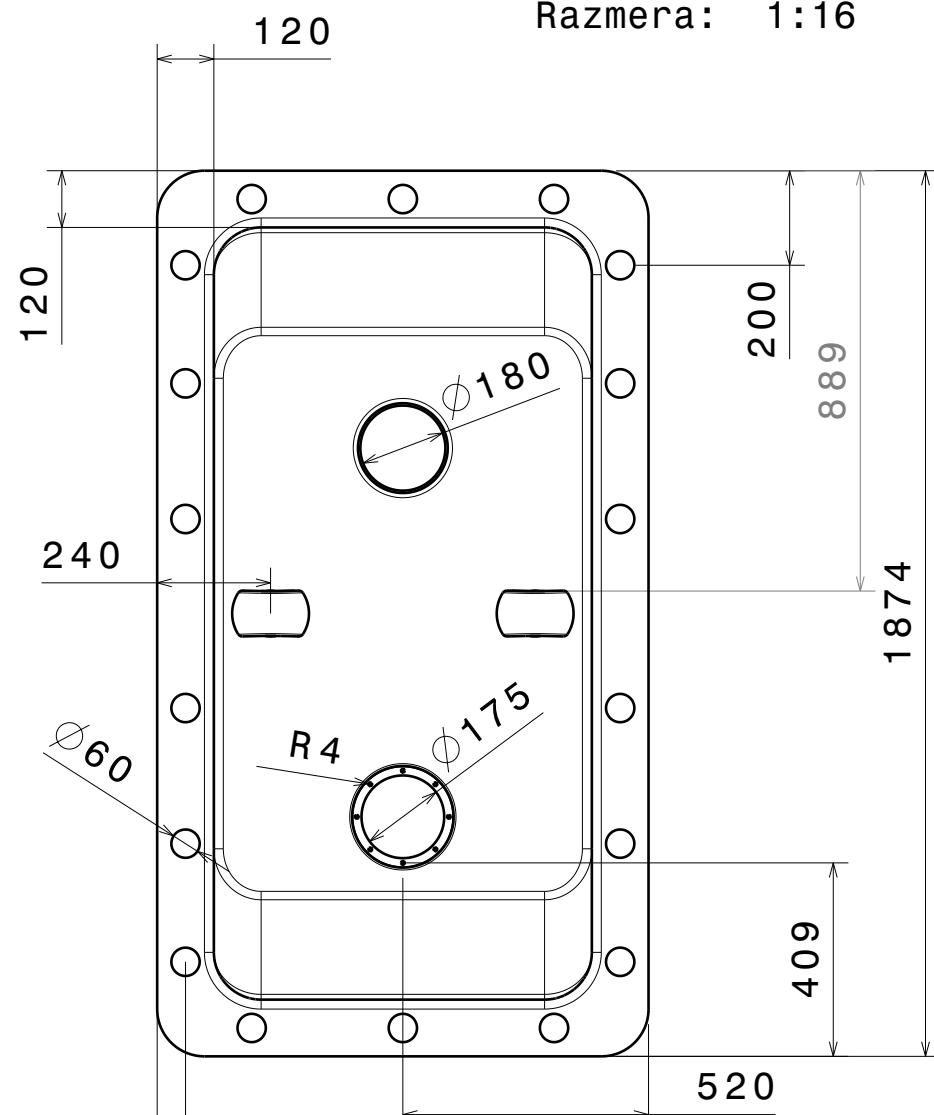
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita		
Materijal							Termicka obrada		
								Masa	Razmera
				Datum			Naziv: Kuciste turbine - dno		
				Obrad.					
				Stand.					
				Odobr.					
							Oznaka:		List:
									L
St.i	Izmene	Datum	Ime				Izv.pod.	Zamena za:	



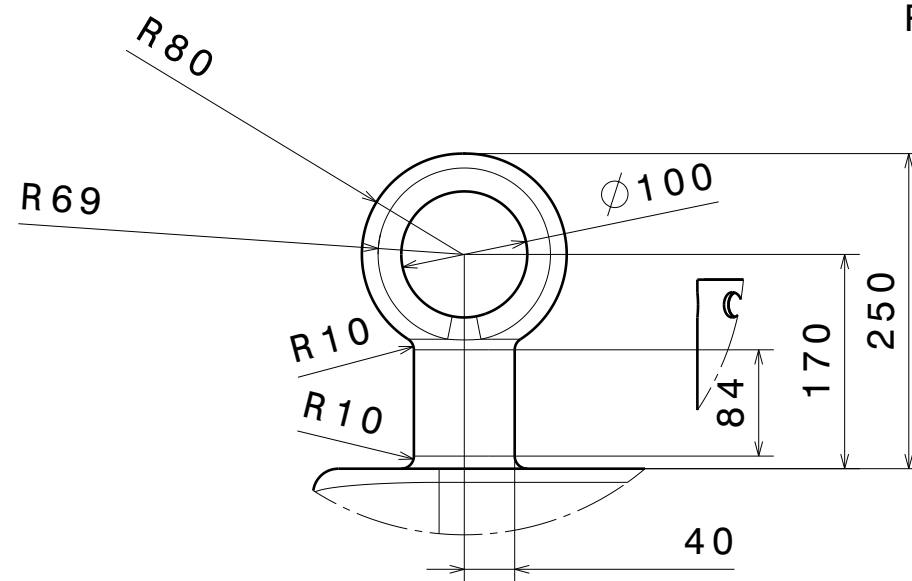
Pogled spreda
Razmera: 1:16



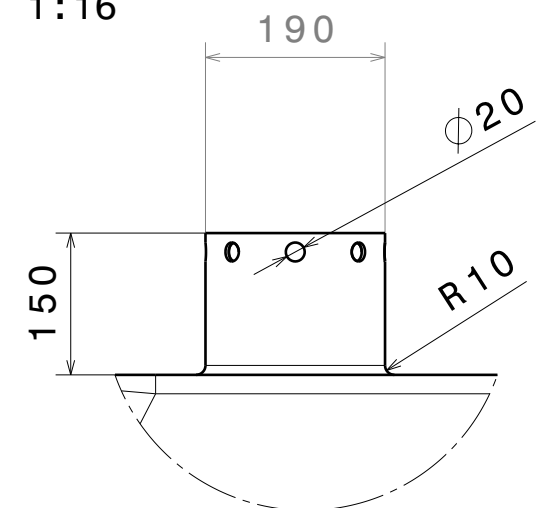
Pogled sa strane
Razmera: 1:16



Pogled odozgo
Razmera: 1:16

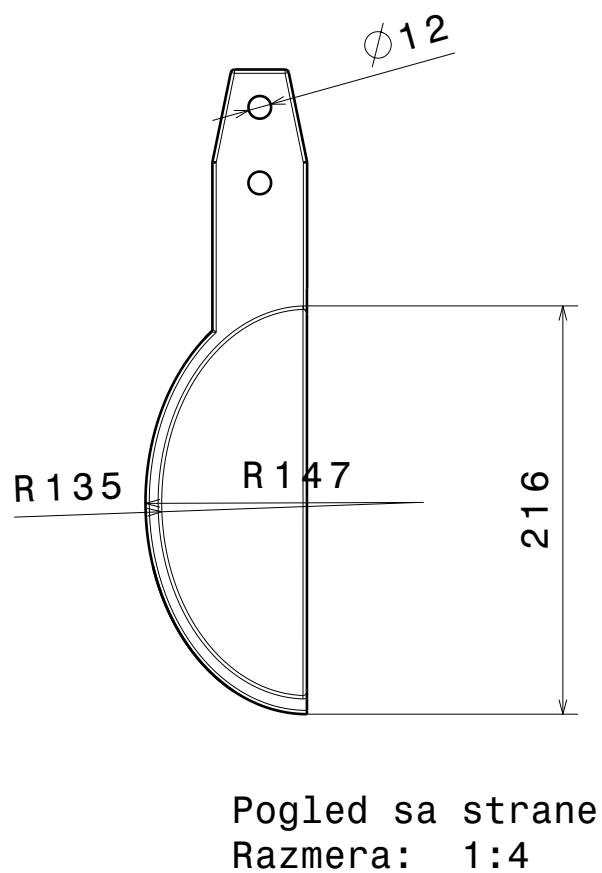
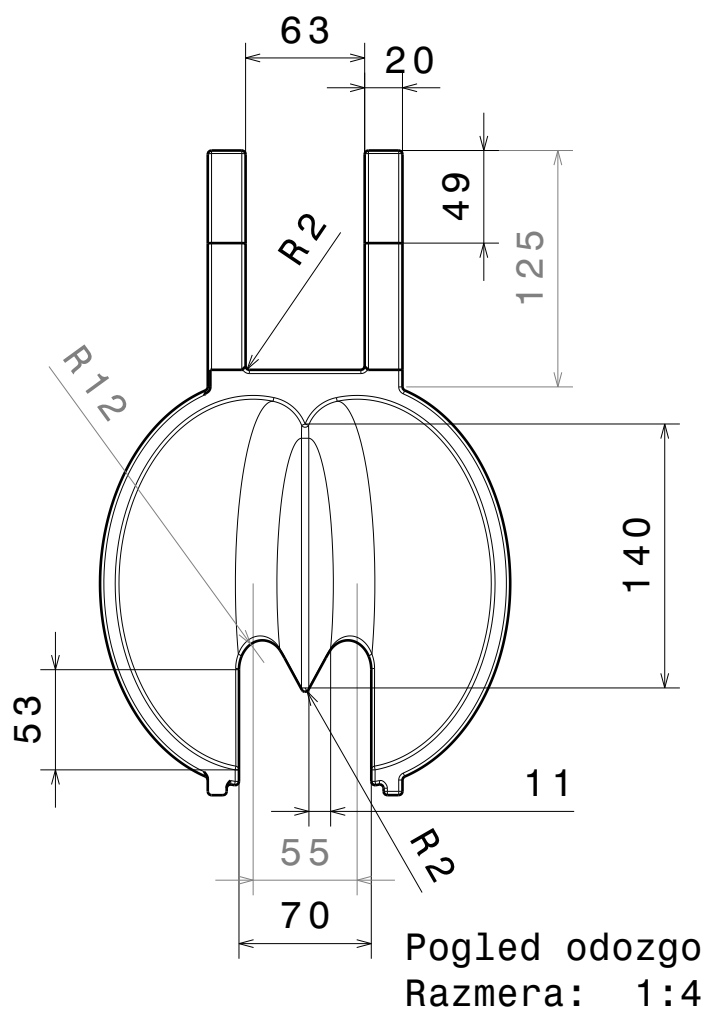
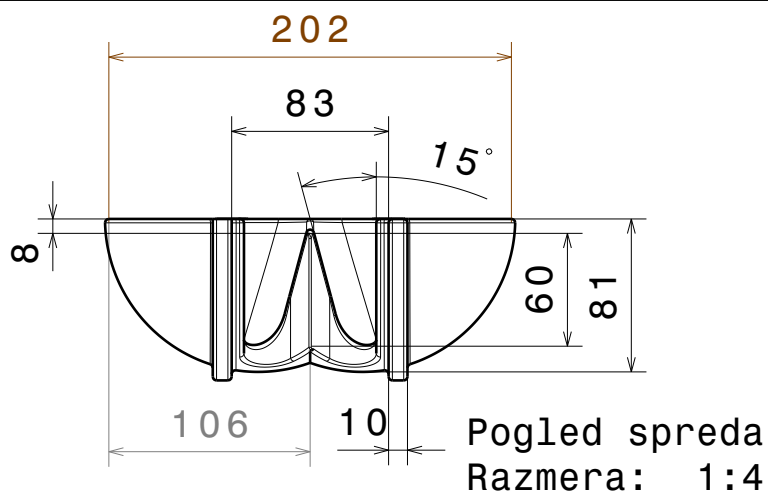


Detalj B
Razmera: 1:6

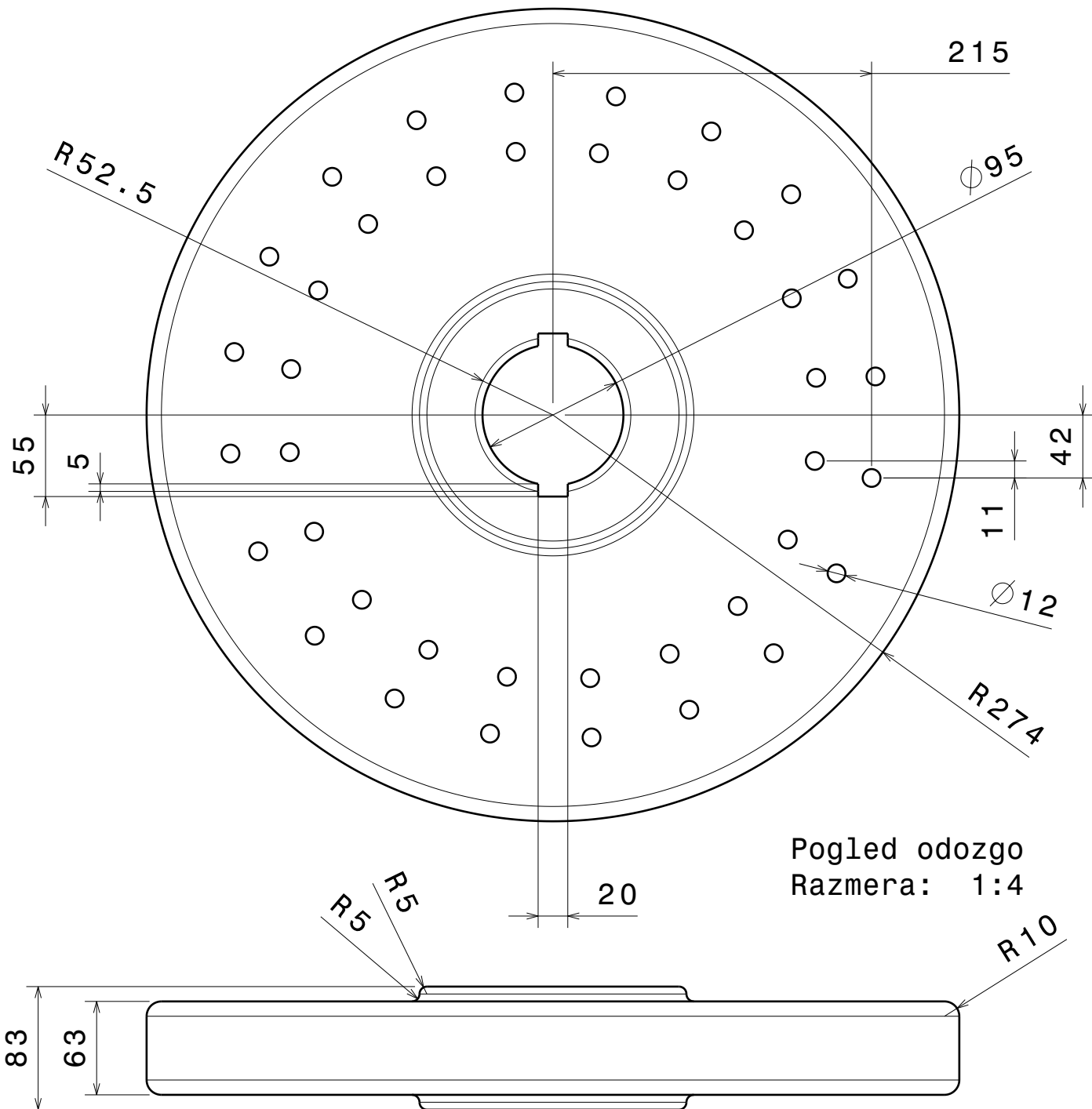


Detalj A
Razmera: 1:8

Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita						
Materijal							Termicka obrada						
									Masa	Razmera			
				Datum			Naziv: Kuciste turbine - vrh						
				Obrad.									
				Stand.									
				Odobr.									
							Oznaka:			List:			
										L			
St.i	Izmene	Datum	Ime							Izv.pod.		Zamena za:	



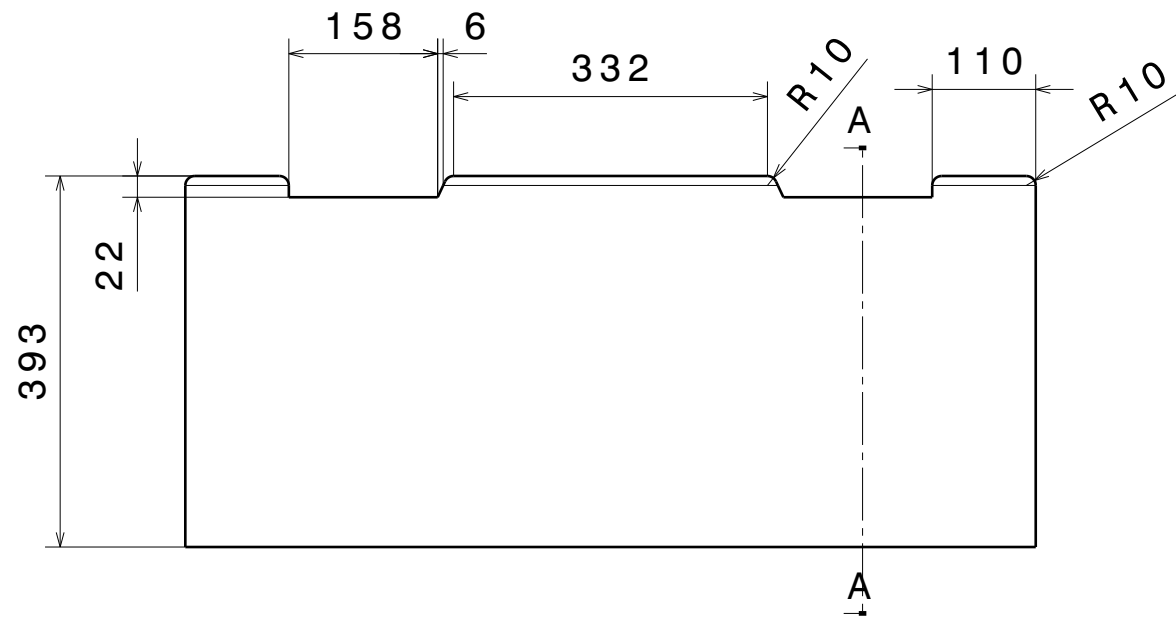
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita					
Materijal				Č1330				Termicka obrada					
										Masa	Razmera		
				Datum			Naziv Lopatica radnog kola						
				Obrad									
				Stand									
				Odobr									
								Oznaka		List			
										L			
St.i	Izmene	Datum	Ime					Izv.pod.				Zamena za:	



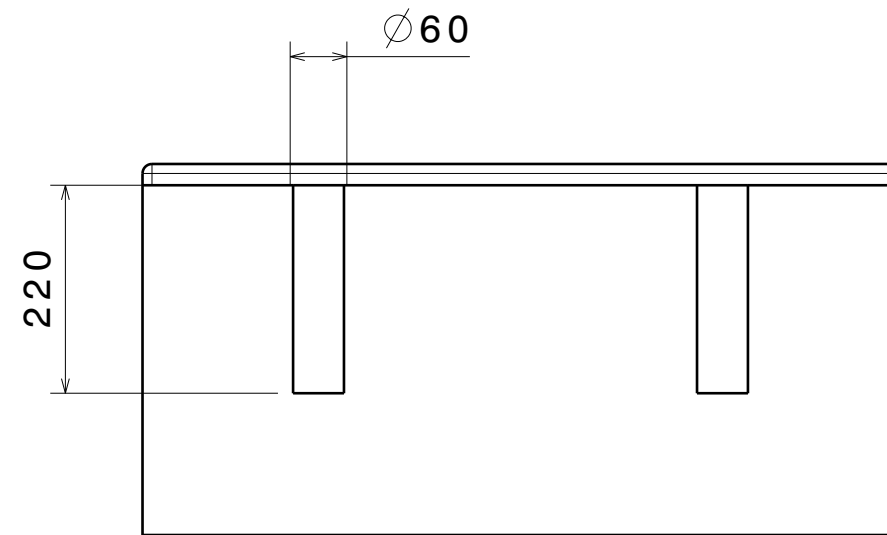
Pogled odozgo
Razmera: 1:4

Pogled spreda
Razmera: 1:4

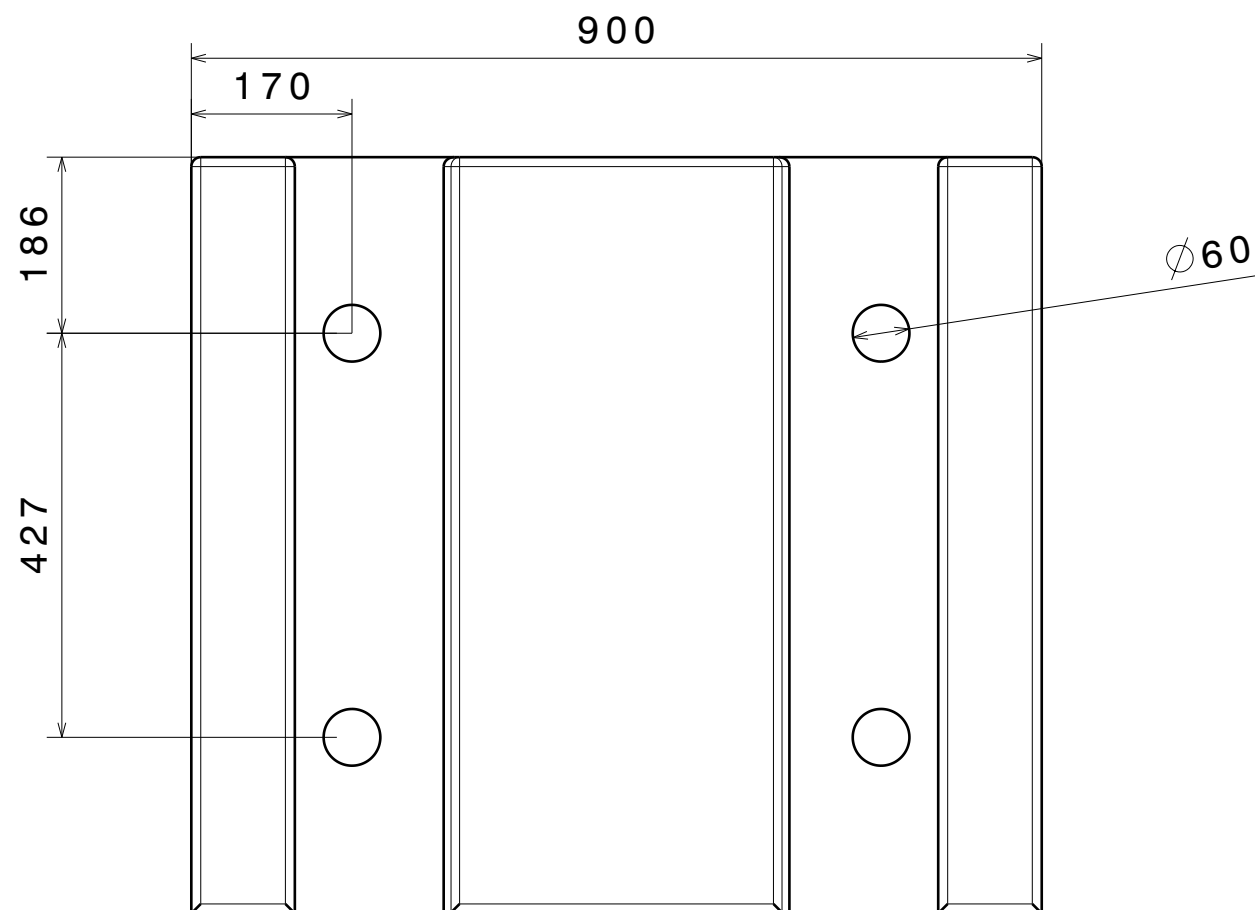
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita							
Materijal								Č1330				Termicka obrada			
										Masa		Razmera			
						Datum		Naziv Osnova radnog kola							
					Obrad										
					Stand										
					Odobr										
								Oznaka				List			
												L			
St.i	Izmene			Datum	Ime	Izv.pod.				Zamena za:					



Pogled spreda
Razmera: 1:8

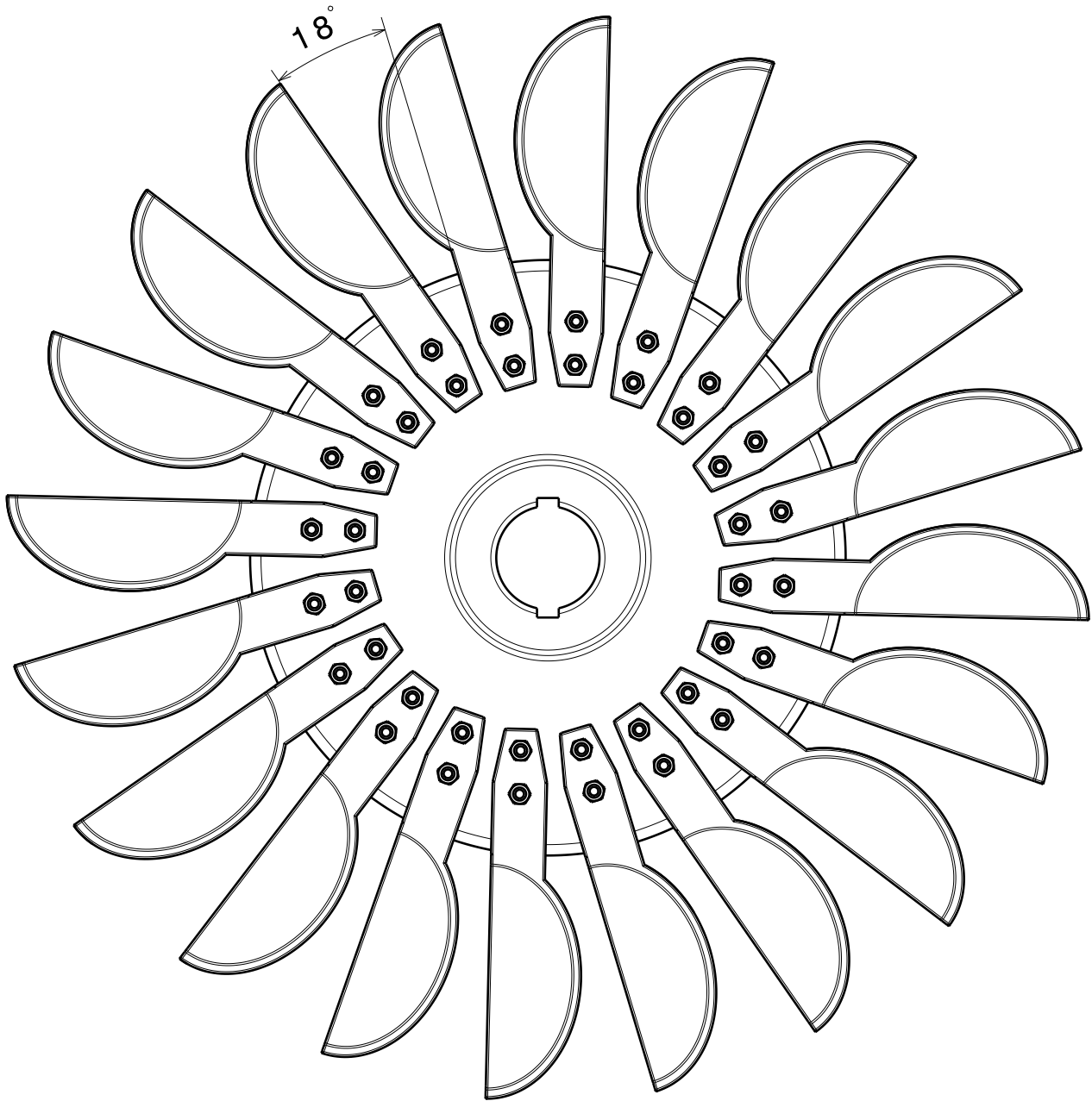


Presek A-A
Razmera: 1:8

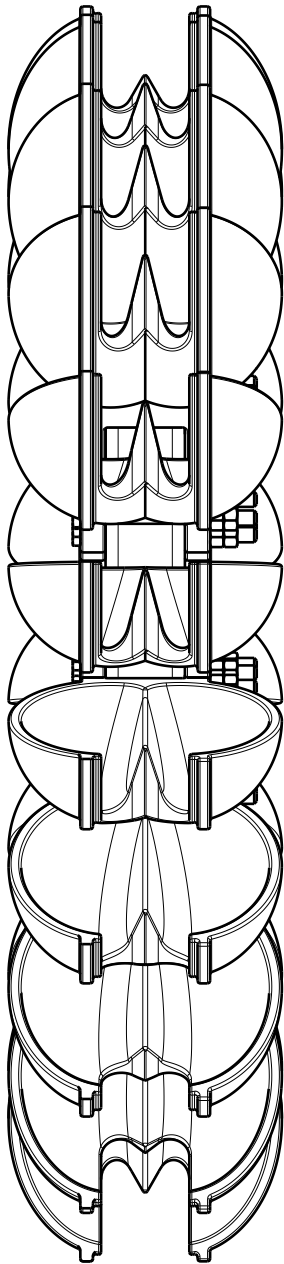


Pogled odozgo
Razmera: 1:8

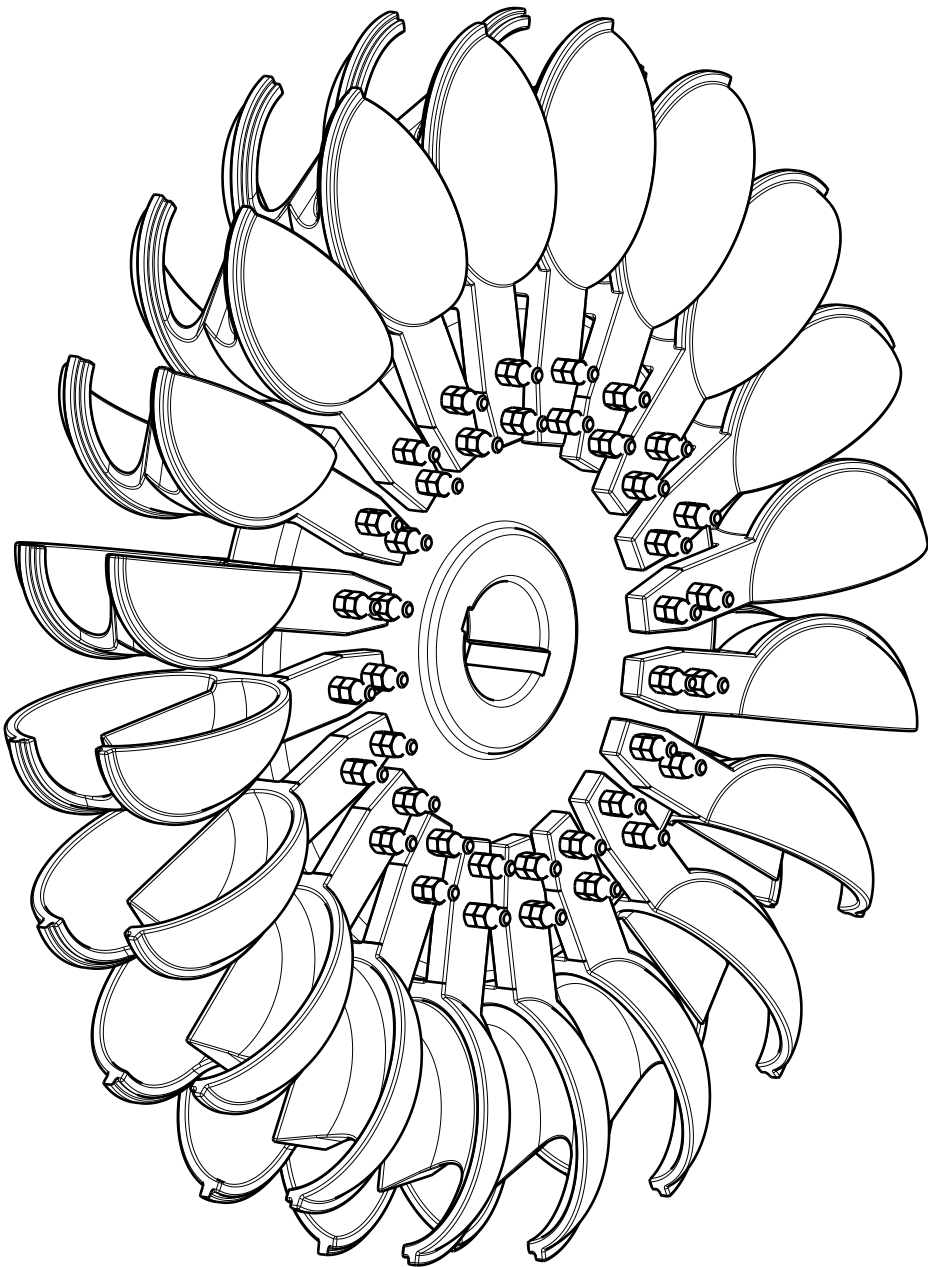
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita				
Materijal							Termicka obrada				
									Masa	Razmera	
				Datum			Naziv: Podloga elektromotora				
				Obrad.							
				Stand.							
				Odobr.							
							Oznaka:		List:		
									L		
St.i	Izmene	Datum	Ime				Izv.pod.		Zamena za:		



Pogled spreda
Razmera: 1:6

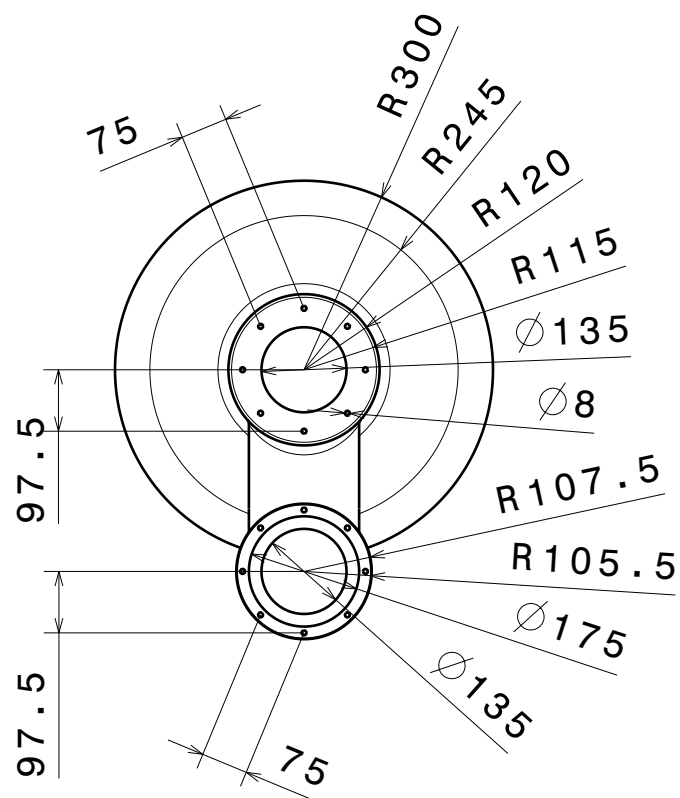


Pogled sa strane
Razmera: 1:6

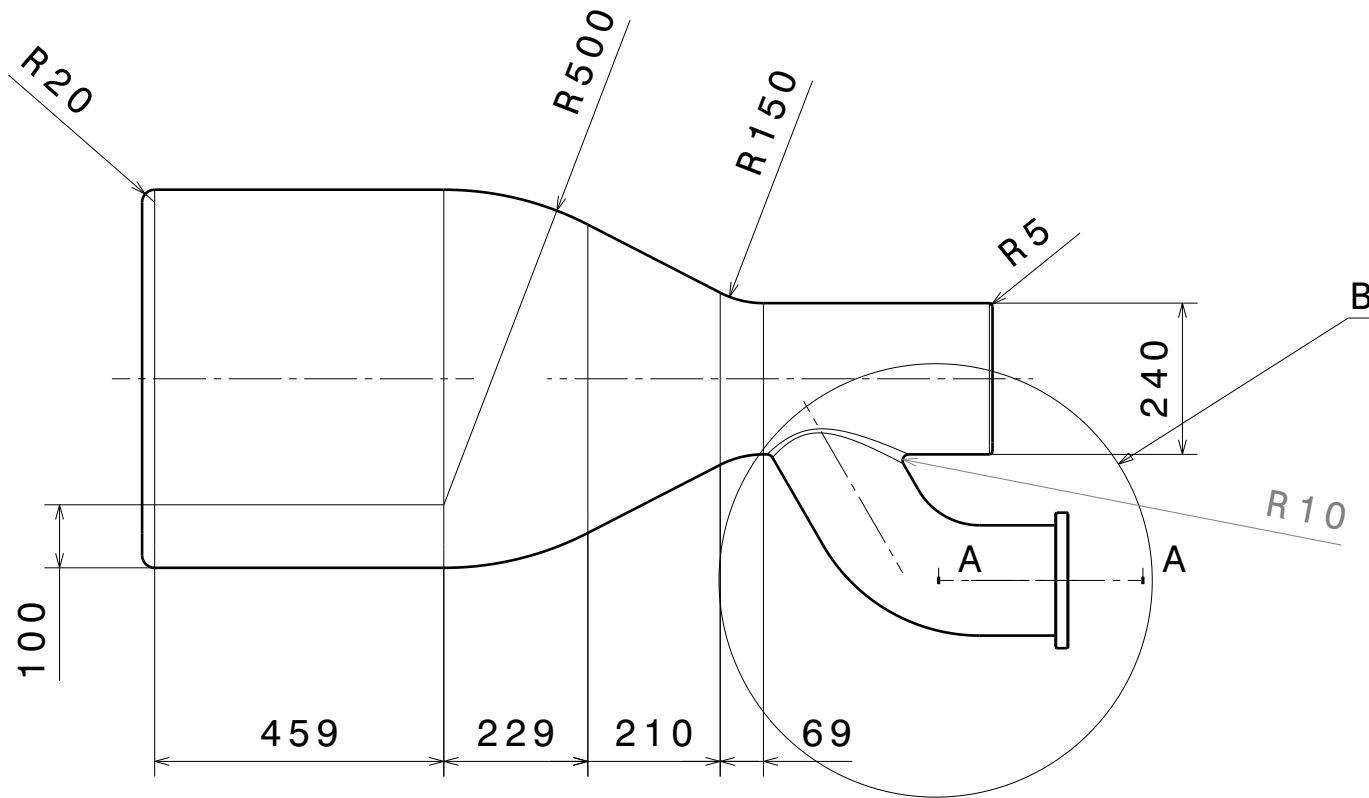


Izometrijski pogled
Razmera: 1:6

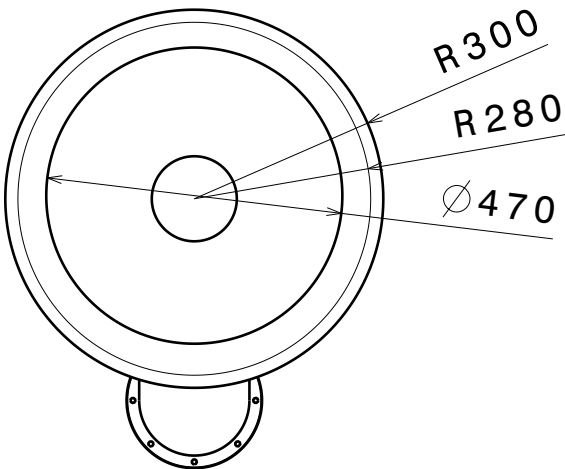
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita				
Materijal							Termicka obrada				
									Masa	Razmera	
				Datum			Naziv: Radno kolo				
				Obrad.							
				Stand.							
				Odobr.							
							Oznaka:			List:	
										L	
St.i	Izmene	Datum	Ime				Izv.pod.		Zamena za:		



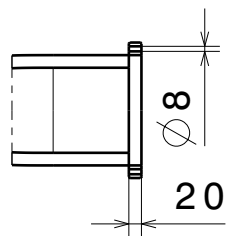
Pogled spreda
Razmera: 1:12



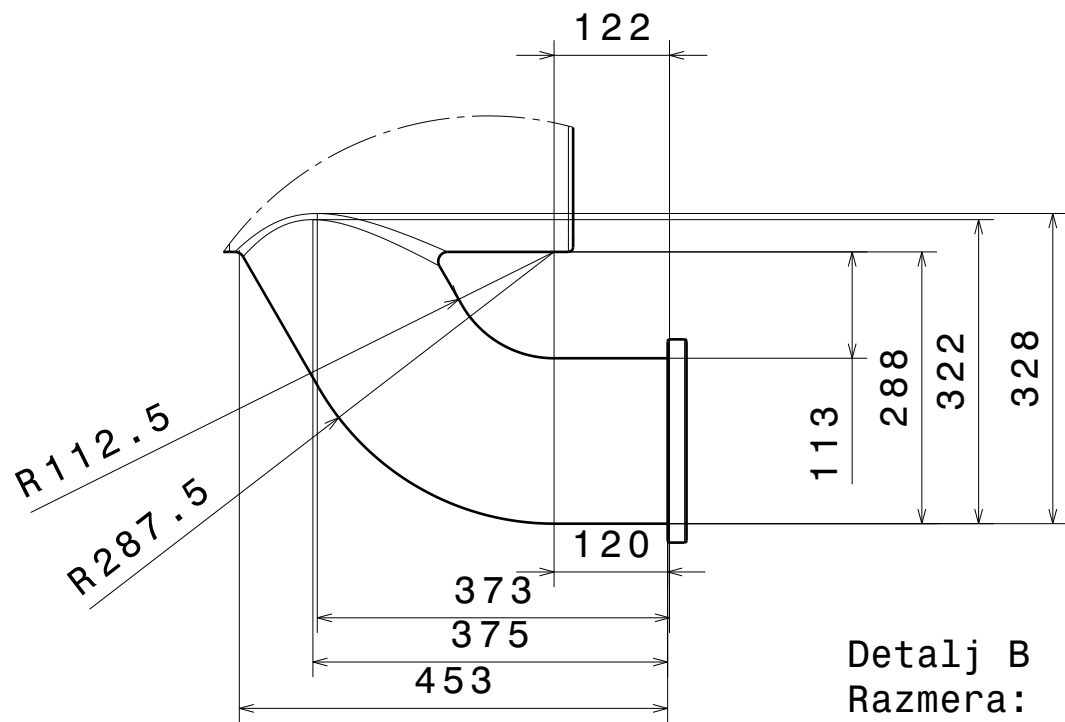
Pogled sa strane
Razmera: 1:12



Pogled odpozadi
Razmera: 1:12

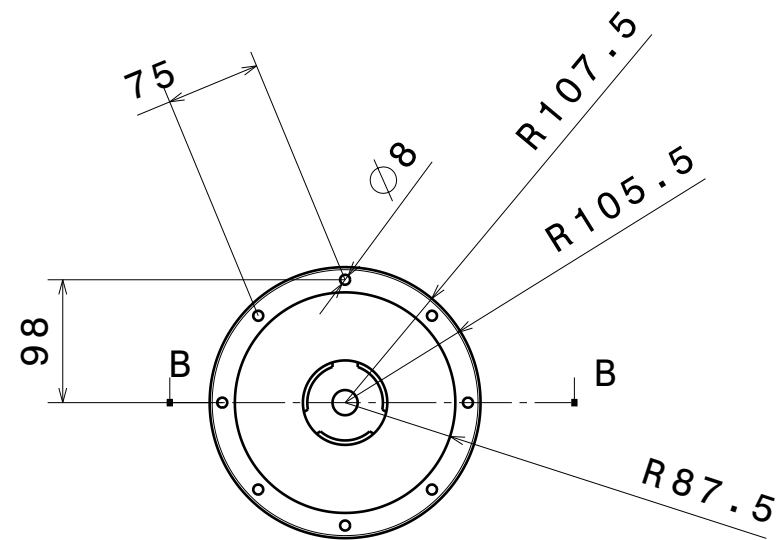


Presek A-A
Razmera: 1:12

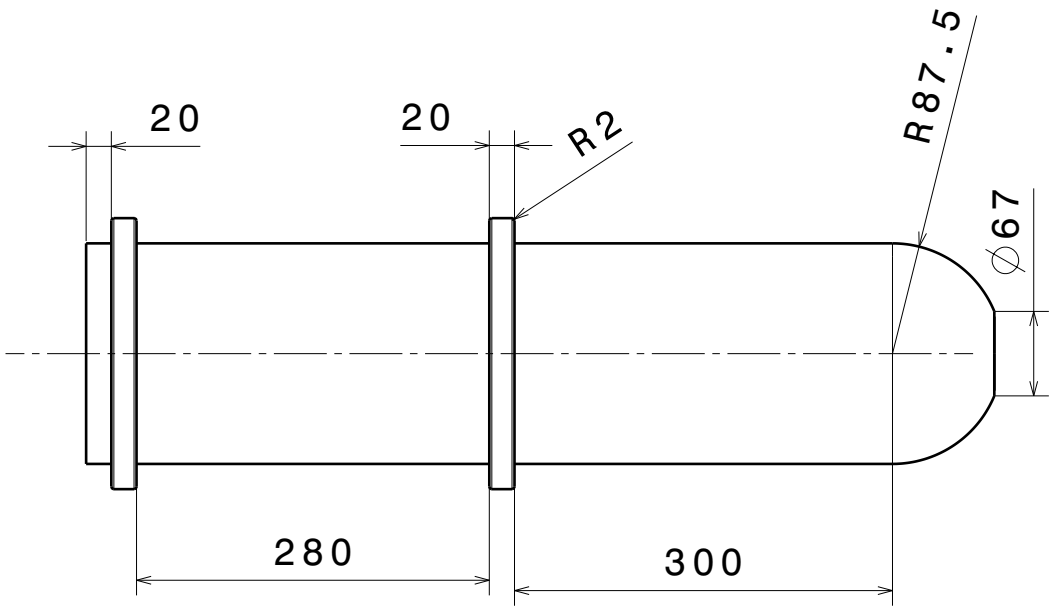


Detalj B
Razmera: 1:8

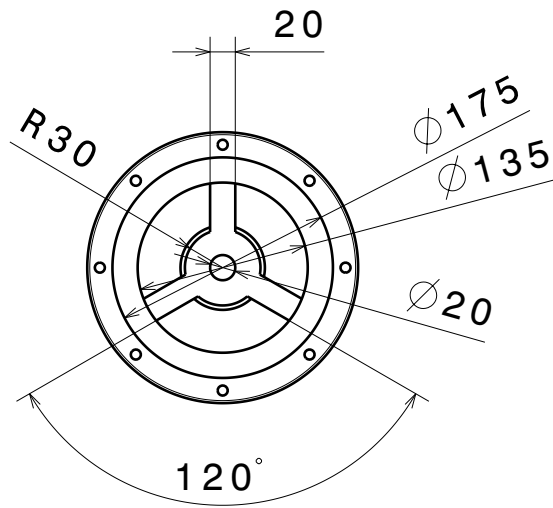
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita						
Materijal							Termicka obrada						
									Masa	Razmera			
				Datum			Naziv: Spoj dovodnih cevi						
				Obrad.									
				Stand.									
				Odobr.									
							Oznaka:			List:			
										L			
St.i	Izmene	Datum	Ime							Izv.pod.		Zamena za:	



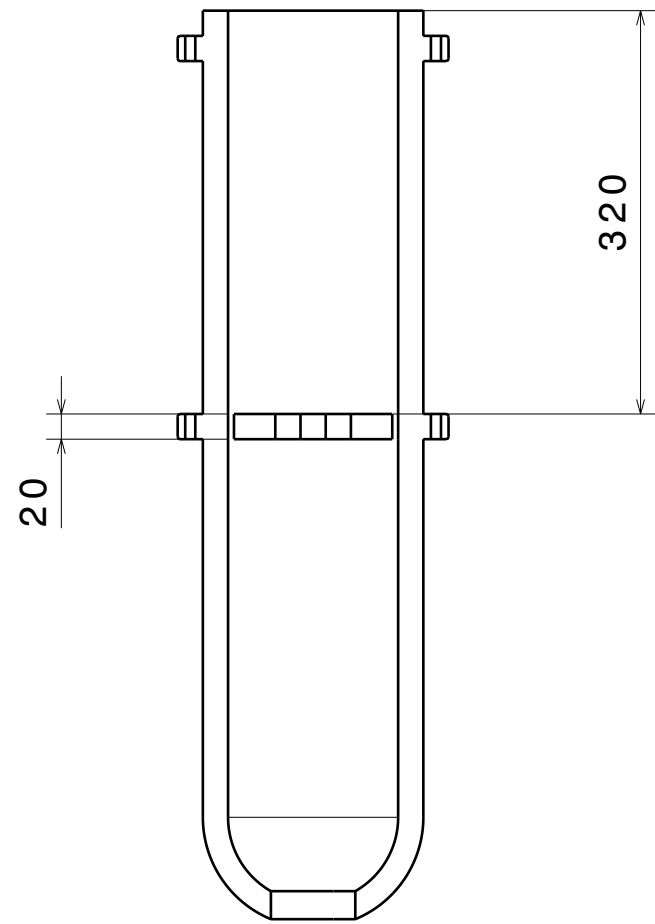
Pogled spreda
Razmera: 1:6



Pogled sa strane
Razmera: 1:6



Pogled odpozadi
Razmera: 1:6



Presek B-B
Razmera: 1:6

Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita							
Materijal							Termicka obrada							
									Masa	Razmera				
				Datum			Naziv: Vrh mlaznice							
				Obrad.										
				Stand.										
				Odobr.										
							Oznaka:			List:				
										L				
St.i	Izmene	Datum	Ime				Izv.pod.		Zamena za:					