

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Никола С. Стојановић

**Пројекат мале хидроелектране са
Пелтоновом турбином за производњу
електричне енергије коришћењем
водотока реке Бјелице у Србији са
посебним освртом на правну
регулативу
Мастер рад**

Крагујевац, 2015.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Управљање енерго и еко пројектима

Број индекса: 362/2013

Никола С. Стојановић

**Пројекат мале хидроелектране са
Пелтоновом турбином за производњу
електричне енергије коришћењем
водотока реке Бјелице у Србији са
посебним освртом на правну
регулативу
Мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Милун Ј. Бабић – ментор
2. Проф. др Вања Шуштершич
3. Проф. 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 у Крагујевцу, 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 Ј. Бабић

РЕЗИМЕ

Студентски тим који чине Ивана Терзић, Александар Радовановић, Никола Петровић и Никола Стојановић добио је 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 законске регулативе, која се односи на добијање дозвола за изградњу мале хидроелектране у Србији. Приказан је географски слив реке Бјелице, као и улазни параметри на основу којих је извршен детаљан прорачун за постројење 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.

Као самостални задатак овог мастер рада, који не захтева учешће осталих чланова студентског тима, детаљно је презентована правна регулатива неопходна за изградњу објекта мале хидроелектране. Обухваћен је, како правни (законски) оквир, тако и техничко-грађевинска регулатива.

Кључне речи:

Мале хидроелектране, Пелтонова турбина, Електрична енергија, Река Бјелица, Правна регулатива

ABSTRACT

Student team, composed of Ivana Terzić, Aleksandar Radovanović, Nikola Petrović i Nikola Stojanović, had the task to describe, display and present a project of small hydroelectric power plant with Pelton turbine to produce electricity using the watercourse of the river Bjelica in Serbia.

In the introductory part, the importance, the general characteristics and the overall classification of renewable energy sources are shown. Further the historical development of small hydroelectric power plant, as well as the energy potential of watercourses in Serbia are described. Detailed description of the functioning of hydroelectric power plants, 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 are 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 are shown. The basics of water hydraulics engineering in within are the basic equations of fluid flow are presented. The significance and description of Pelton turbine and its regulation, designing and dimensioning are considered. 3D models of Pelton turbines are shown and the specification of the selected generator is carried out. Detailed economic analysis of small hydropower plant with Pelton turbine is also done, as well as the payback period on investments. As a key component of this master's thesis, construction of laboratory model of a small hydroelectric power plant with Pelton turbine on which can be perform various tests, is explained in detail.

As an independent task of this master work that does not require the participation of other members of the student team, the legal regulation necessary for the construction of small hydropower facility is presented in detail. Both the legal (regulatory) framework and technical-building regulation are included.

Keywords:

Small hydroelectric power plant, Pelton turbine, Electrical energy, The river Bjelica, Legal regulation

Садржај

1.0	УВОД.....	4
2.0	ХИДРОЕНЕРГИЈА	7
2.1	Историјат	7
2.2	Енергија воде.....	9
3.0	ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ	12
3.1	Основни делови хидроелектране.....	13
3.2	Велике хидроелектране	16
3.3	Мале хидроелектране	16
3.3.1	Проточне мале хидроелектране	18
3.3.2	Акумулационе мале хидроелектране	18
3.3.3	Деривацијске мале хидроелектране	20
3.4	Предности малих хидроелектрана.....	23
3.5	Недостаци малих хидроелектрана.....	23
4.0	ЗАКОНСКА РЕГУЛАТИВА	24
4.1	Уводне напомене.....	24
4.2	Управљање водама.....	24
4.3	Водни услови и акта	25
4.4	Мале хидроелектране – правни прописи	26
4.5	Надлежне институције и извори права	27
4.6	Стицање дозволе за изградњу мале хидроелектране.....	28
5.0	РЕКА	30
5.1	Слив Западне Мораве	30
5.2	Река Бјелица.....	32
6.0	ОСНОВИ ТЕОРИЈЕ ВОДНИХ ТУРБИНА.....	33
6.1	Коришћење енергије воде	33
6.2	Јединични рад турбина.....	34
6.3	Јединични рад акцијских турбина	37
6.4	Хидраулични степен корисности	39
7.0	ПЕЛТОНОВА ТУРБИНА	40

7.1	Хоризонталне Пелтонове турбине	41
7.2	Вертикалне Пелтонове турбине.....	42
7.3	Основни елементи Пелтонове турбине.....	43
7.3.1	Лопатице	44
7.3.2	Основа радног кола са вратилом и лежајима	45
7.3.3	Кућиште турбине	45
7.3.4	Спроводни апарат	46
7.3.5	Уређај за регулисање	47
7.3.6	Замајац и хидраулична кочница	47
7.4	Протицање воде кроз турбину	47
7.5	Максимална снага турбине	51
7.6	Број лопатица и корак.....	52
7.7	Положај сечице лопатице.....	54
7.8	Губици енергије	54
7.9	Коефицијент корисног дејства и карактеристике	59
7.10	Извођење Пелтонове турбине.....	60
7.11	Начини регулисања Пелтонове турбине.....	62
8.0	3D МОДЕЛ ПЕЛТОНОВЕ ТУРБИНЕ	64
9.0	ГЕНЕРАТОР	70
10.0	ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА МХЕ СА ПЕЛТОНОВОМ ТУРБИНОМ	72
11.0	ПРАВНИ ОКВИР	81
11.1	Ограничења и рокови	81
11.1.1	Прописи	81
11.2	Услови за изградњу МХЕ.....	82
11.2.1	Израда идејног пројекта са идејним решењем	83
11.2.2	Прибављање енергетске дозволе	85
11.2.3	Прибављање локацијске дозволе.....	89
11.2.4	Прибављање грађевинске дозволе.....	91
11.2.5	Грађење објекта и обезбеђење стручног надзора у току грађења објекта.....	94
11.2.6	Технички преглед објекта и прибављање употребне дозволе	95
11.3	Подношење захтева и рокови важности докумената.....	99
11.4	Измене Закона о планирању и изградњи – рокови „28 дана”.....	100
11.4.1	Регистар обједињених процедура.....	101
11.4.2	Употребна дозвола - „28 дана”	101

11.4.3	Издавање грађевинских дозвола за 28 дана.....	102
11.5	Одлучујући фактор убрзања поступка за издавање дозвола.....	103
11.6	Актуелно	103
12.0	ИЗРАДА ЛАБОРАТОРИЈСКОГ МОДЕЛА МХЕ СА ПЕЛТОНОВОМ ТУРБИНОМ	107
13.0	ЗАКЉУЧАК.....	117
14.0	ЛИТЕРАТУРА.....	118
Прилог 1		121
Прилог 2		137

1.0 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 атом 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 100 година, нафте, земног гаса и урана за око 30 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 настати снижавање 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 и 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 хидроелектране**, енергија биомасе и Сунчева енергија су економски конкурентне [2][3][4].

2.0 ХИДРОЕНЕРГИЈА

2.1 Историјат

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

Око 3/4 површине на Земљи 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 били су 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. 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 Ђетињи „Под градом” (слика 4). Зауостављена је 1970. године, па поново покренута 2000. и ради и данас. Такође, 1900. године покренута је хидроелектрана на реци Градац.



Слика 4. Хидроелектрана на Ђетињи [5]

Следећа хидроелектрана пуштена је у рад 1903. године на реци Вучјанка у Вучју. Наредна хидроелектрана 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 1948. године. Прва хидроелектрана на Дрини је била „Зворник” која је пуштена у рад 1955. године.

Наша највећа хидроелектрана „Ђердап 1” пуштена је 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 овога је била да се енергија преко проводника може пренети на велике удаљености. Раније фабрике су често морале да буду на обалама река, како би искористиле директну 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

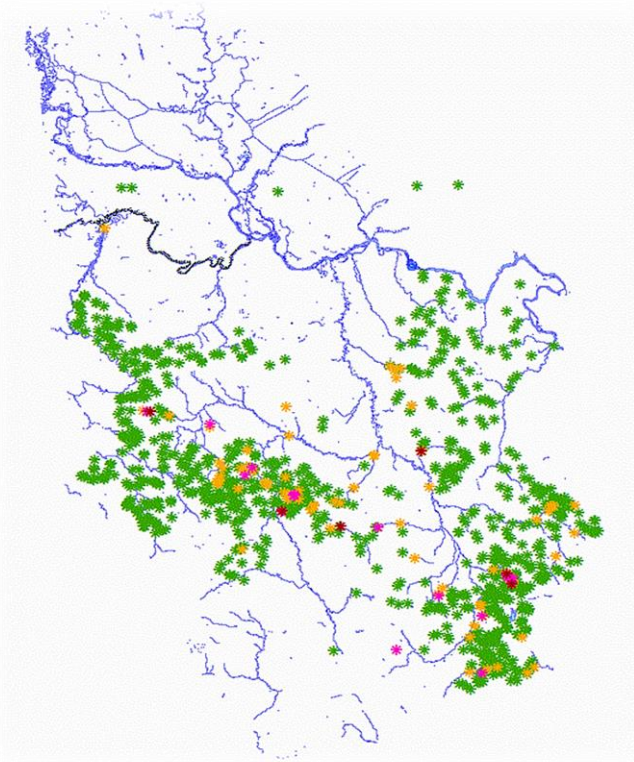
Повећање цене нафте у свим деловима света, као и повећана забринутост о негативним утицајима сагоревања угља, нуклеарне енергије, па и великих хидроелектрана на животну средину, повећали су интересовање за коришћењем хидроенергетског потенцијала малих водотокова у разним деловима света. То је условило 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, казују 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 краљевачком 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 1,4kg по сваком kWh произведне електричне енергије) или 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 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 и смањења загађивања животне средине, регулисање водотокова и запошљавање домаће индустрије. Цена електричне енергије у Србији у будућности треба знатно да порасте и тада директни ефекти у периоду експлоатације од 50 година могу да буду много већи.

3.0 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 свим обновљивим изворима).

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.

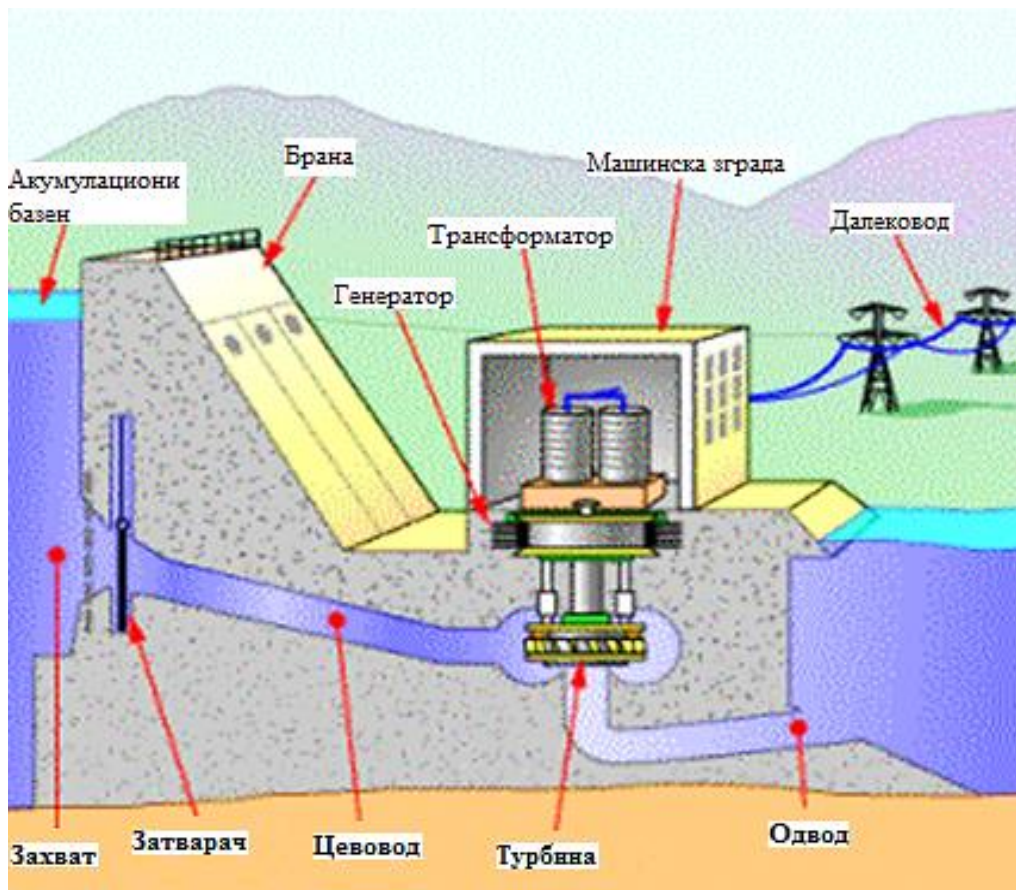
Хидроенергија значајно заостаје за производњом у нуклеарним електранама и термоелектранама. Коришћење хидроенергије има битна техничка и природна ограничења. Главно ограничење је захтев за постојањем довољне количине воде током целе године. Како би се избегле осцилације водостаја на одређеним локацијама 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,
- ценовод под притиском,
- водне турбине или хидротурбине,
- систем заштите од хидрауличног удара,
- генератор,
- машинска зграда,
- трансформаторска станица,
- одвод воде.

Брана или преграда

Основни је 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. 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

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

Део је хидротехничког система који спаја захват воде са прекидном 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

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, водостан мора имати одговарајућу запремину како би се у њему могле сачувати веће количине воде, а када је довод 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

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.

Водне турбине – 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, водне 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.

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.

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).

Генератор

Уређај у којем 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

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

Представља везу хидроелектране и електроенергетског система. 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

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 који су углавном везани за период изградње електране, производње материјала и транспорт.

Појам мале хидроелектране може се посматрати са различитих тачака гледишта и разликује се од земље до земље, у зависности од њеног стандарда, хидролошких,

метеоролошких, топографских и морфолошких карактеристика локације, као и од степена технолошког развоја и економског стандарда земље.

Разлика између великих и малих хидроелектрана је у инсталисаној снази. Гранична снага која одређује мале хидроелектране разликује се 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 граница 3 MW, у Шведској 1,5 MW, у Француској 8 MW, у Индији 15 MW, 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 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:

- 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).



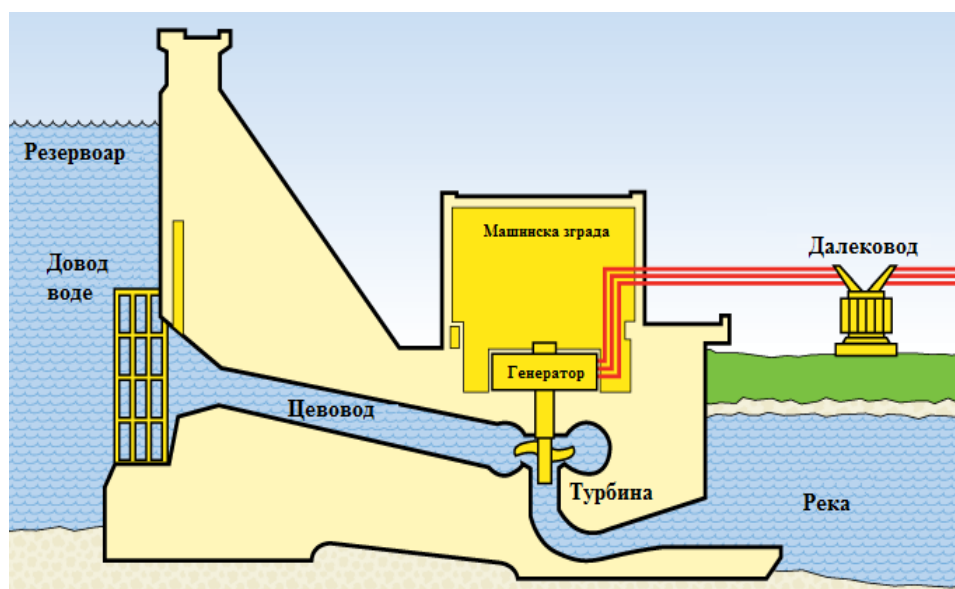
Слика 7. Проточна мала хидроелектрана [11]

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

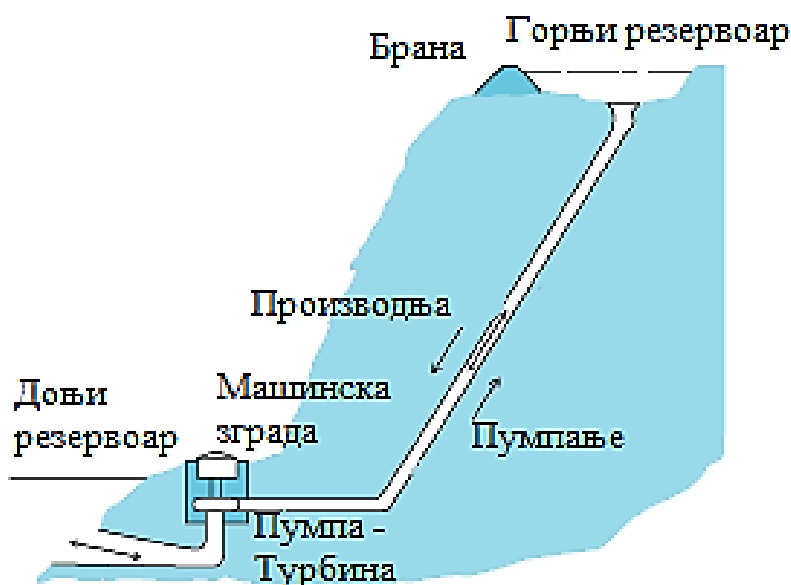
Први тип извођења мале хидроелектране са резервоаром (*Hydroelectric Dam*) јесте акумулациона хидроелектрана (слика 8), која се формира преграђивањем реке и заустављањем тока (брана), што за циљ има стварање великог акумулационог језера узводно од бране које садржи велике количине воде и представља резервоар енергије, али се може користити и у друге сврхе (наводњавање, риболов итд). Употребљавају се уколико постоји захтев да се обезбеди у сваком тренутку потребна снага. 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]

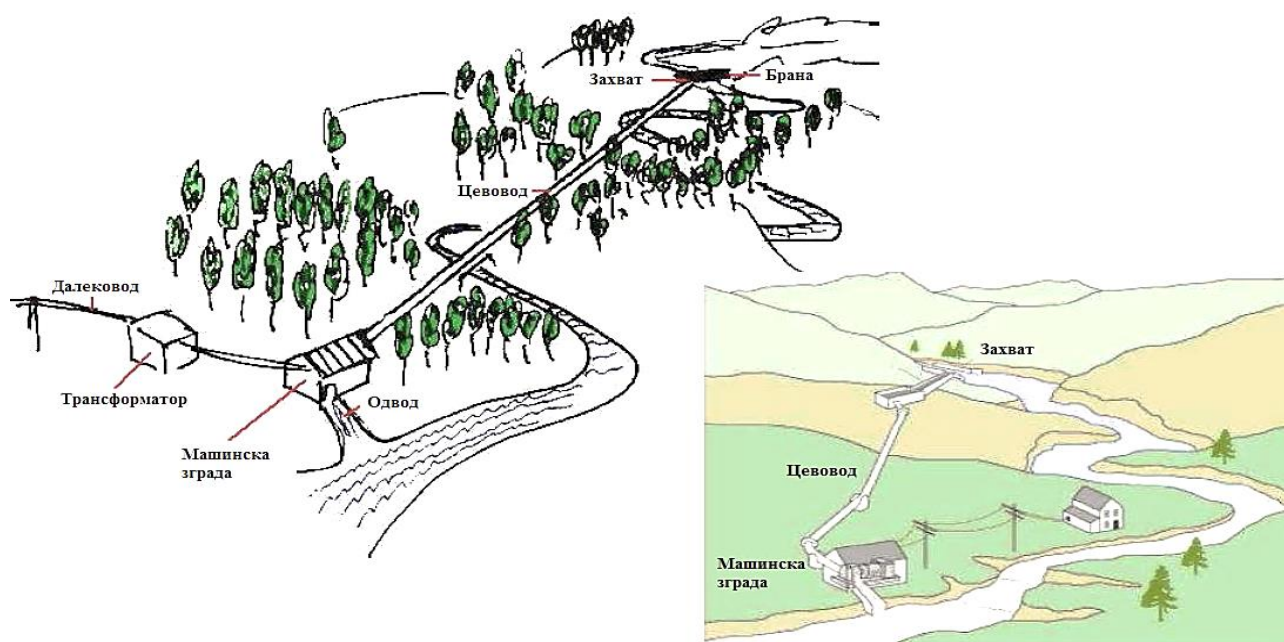
Реверзибилна хидроелектрана има два простора за складиштење водене масе:

- Горња акумулација, иста је као и акумулационо језеро 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 до висине 10 m и за постројења до 1000 kW, иако постоје постројења са сифонским доводом инсталисане снаге 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

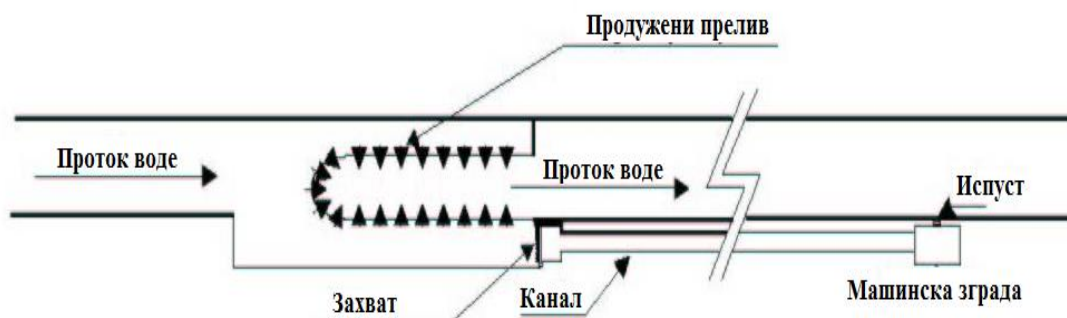
Постоје два начина извођења малих хидроелектрана које користе канал за наводњавање:

- 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]

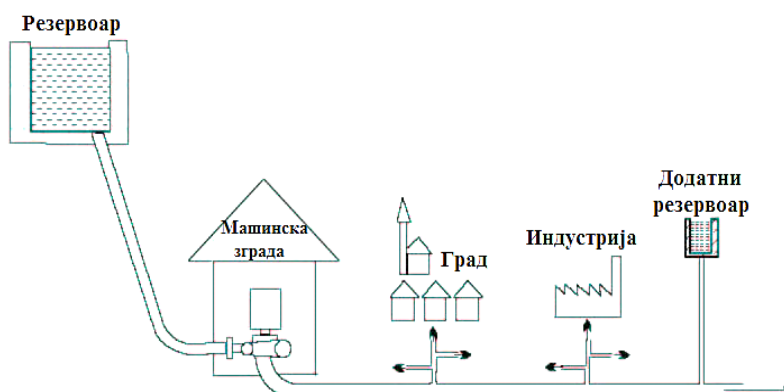
- Када канал већ постоји, као на *слици 13*, онда тај канал треба незнатно повећати за смештање захвата и прелива. Како би се сама ширина захвата смањила на минималну вредност најбоље је уградити издужени прелив. Од захвата се вода кроз цевовод под притиском доводи до турбине, а затим се кроз кратки 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 крај 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 не користе фосилна горива као покретач турбине, односно 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). Средства инвестиције 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 хидро акумулационо 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 електро мрежа.

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 екосистем),
- бука, вибрације, визуелно нарушавање околине,
- неприступачност локација.

4.0 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 потекне из обновљивих извора енергије [13].

Србија има значајне изворе обновљиве енергије којима би могла да задовољи новонастале захтеве. Влада Србије је развила стратегију како би искористила ову прилику. Да би подстакла развој и инвестиције у овом сектору, а такође испунила обавезу по Уговору о енергетској заједници југоисточне Европе, Влада Србије је усвојила неколико прописа по директиви од новембра 2009. године, укључујући:

- успостављање система „подстицајних тарифа” у ком ће Влада 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, 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 мале хидроелектране 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	Министарство 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	Министарство 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	Министарство 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 и 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 енергетско-техничке 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 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,
- Министарство пољопривреде и заштите животне средине – МПШВ,
- 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 коликом 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 за пољопривреду и водопривреду**, 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 за пољопривреду и водопривреду**, издаје Министарство за пољопривреду и водопривреду.
- **Сагласност на главни пројекат од Министарства за заштиту животне средине**, издаје Министарство за заштиту 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**, 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.
- **Водопривредна дозвола** (максимално 15 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 сматрати да је правно питање своје мале хидроелектране решио. У оваквим пројектима трошкови израде техничке документације, издавање дозвола и услуге ревизора могу изнети до 20% целокупне инвестиције.

5.0 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 Ђетиње. У овом пољу се у Ђетињу са леве стране улива Скрапеж. На мање од једног километра од ушћа Скрапежа, Ђетиња се среће са Голијском Моравицом, стварајући Западну Мораву. Због близине ушћа Ђетиње, 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 који протиче и може бити каменито, шљунковито, песковито, а у низводном делу тока муљевито. На обалама реке развијена је бујна вегетација. Низводно од улива Ибра у Западну Мораву, река је дубља и шири, нарочито на местима где се стварају вирова.

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.

Ђетиња извире на југозападу планине Таре, лева је саставница Западне Мораве, дугачка 75 km. Код Ужица Ђетиња 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 Ђетиње 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 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.

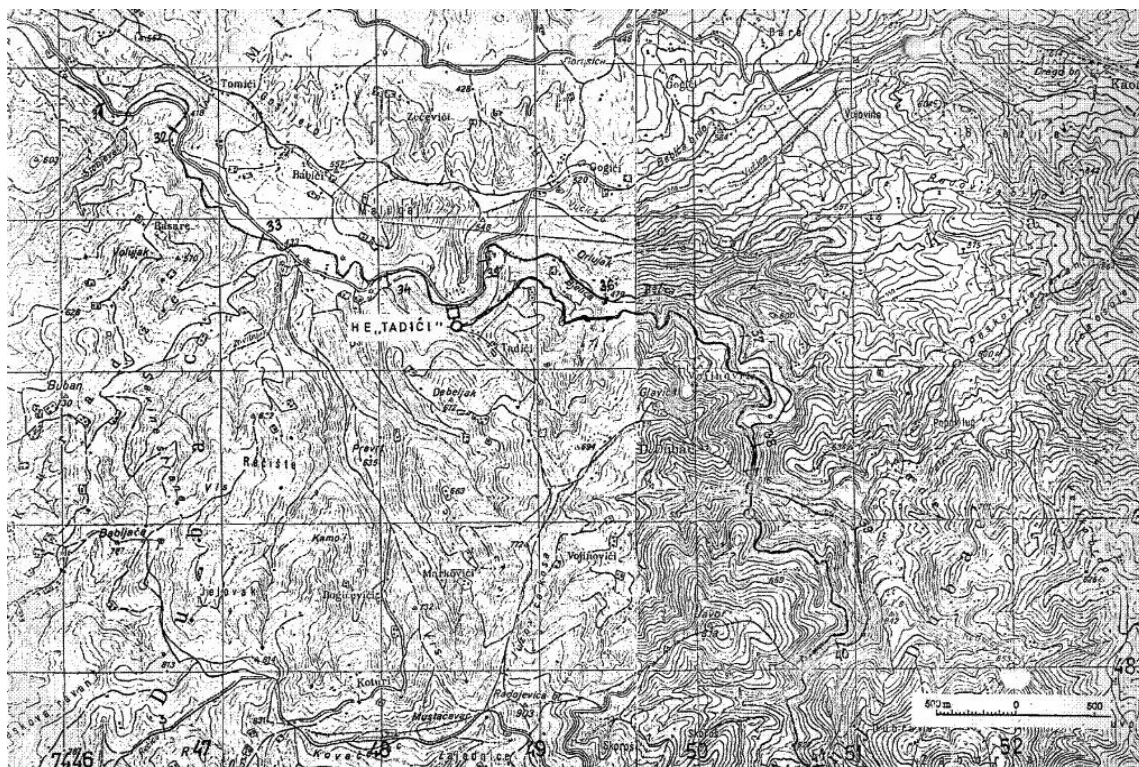
5.2 Река Бјелица

Бјелица је десна притока Западне Мораве. Извире 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.

6.0 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 – потенцијална 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.

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

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.

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

p – притисак у посматраном пресеку [Pa]

ρ – густина флуида [kg/m³]

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 [l]¹¹

Q – проток флуида [m³/s]

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 раван 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.

Расположива јединична енергија у акумулацији нивоа А (ГНВ) је (8):

¹⁰ Расипање струјне енергије.

¹¹ Утврђује се експериментално.

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

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]

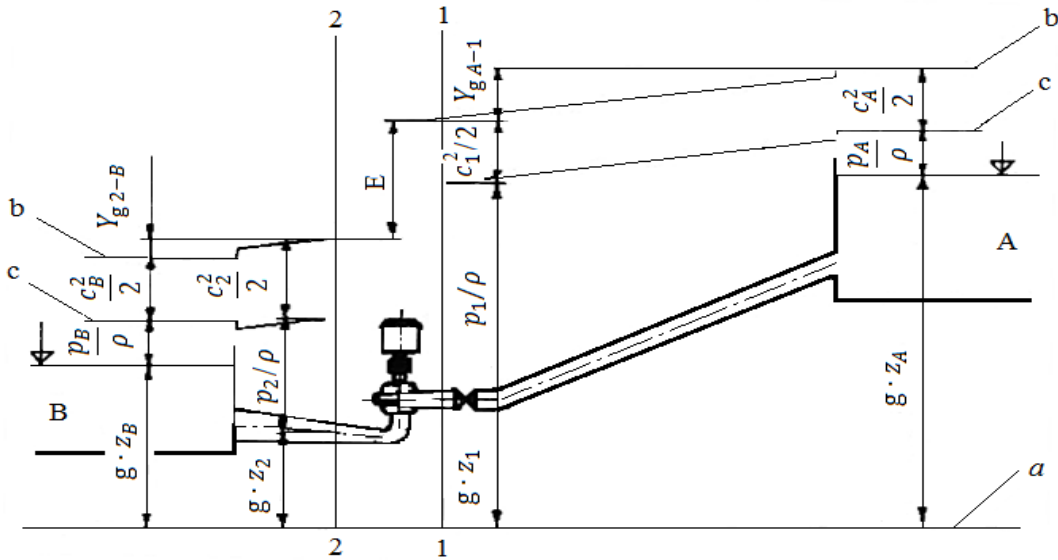
Расположива јединична енергија у акумулацији нивоа В (9):

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

z_B – висинска разлика тежишта у акумулацији нивоа В [m]

p_B – притисак у акумулацији на нивоу В [Pa]

c_B – брзина протицања флуида у акумулацији 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 акумулацији 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} [J/kg]. 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):

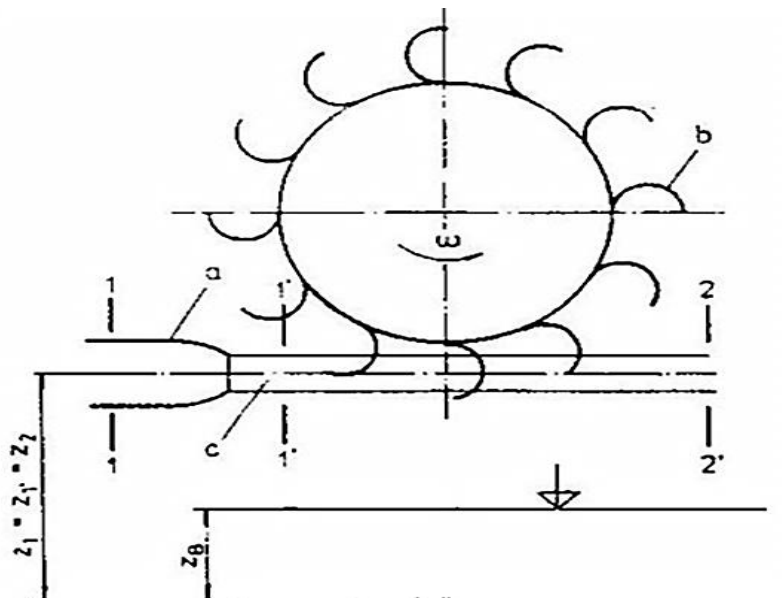
$$\sum Y_g = Y_{gA-1} + Y_{g2-B} \quad (18)$$

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 (a), лопатице радног кола (b) и млаз воде по изласку из млазнице (c). 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'' – надпритисак 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 овоме, 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 се хидраулична снага турбине израчунава преко једначине (28), [19]:

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

P_h – хидраулична снага турбине [W]¹²

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 [/]

¹² Представља теоријску снагу турбине.

¹³ Представља стварну снагу турбине.

7.0 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 простира 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]:

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

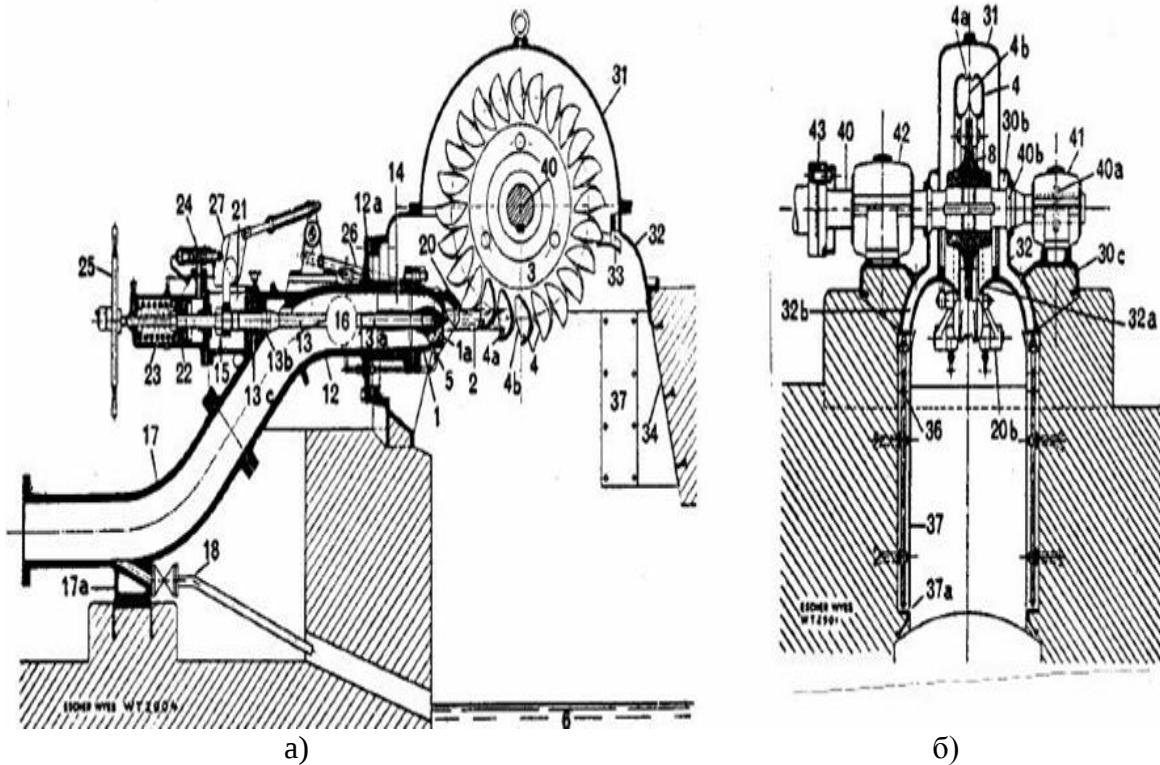
φ – коефицијент контракције млаза [/]

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 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).



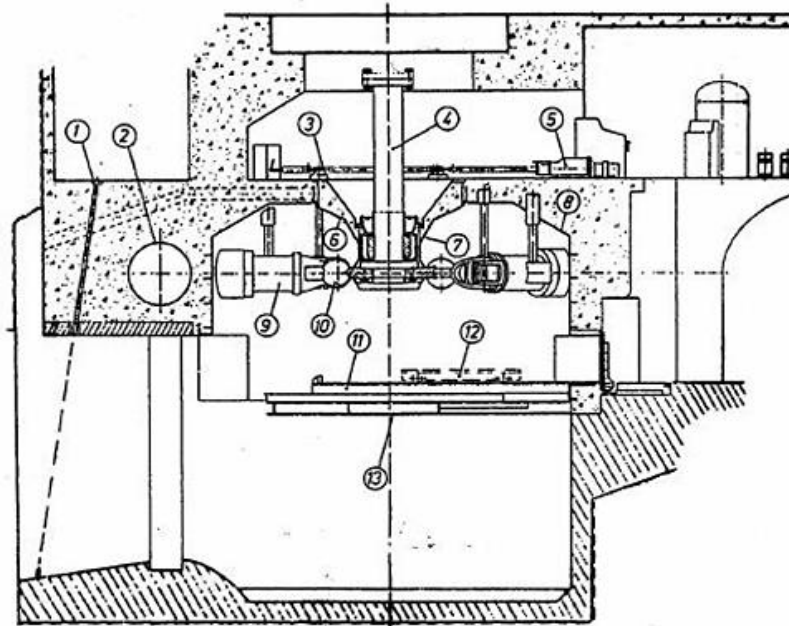
Слика 19. Шема хоризонталне Пелтонове турбине са једном млазницом

(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, 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]

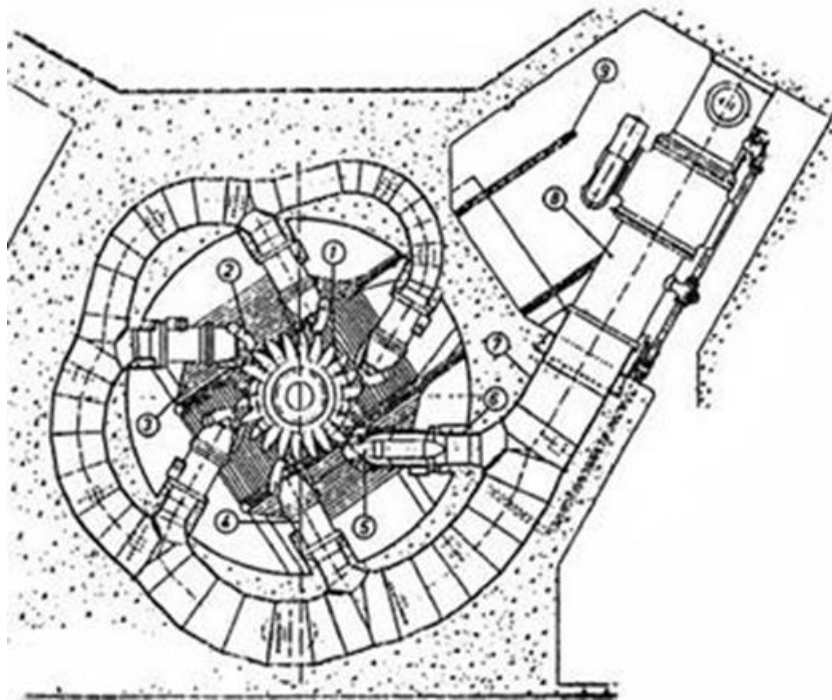
7.2 Вертикалне Пелтонове турбине

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 вертикални и хоризонтални 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 – кућиште турбине, 9 – млазница, 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 налазе се 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-конструктивних 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,
- замајац¹⁴ и 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 половину, а друга половина млаза у другу половину 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 доспео одједном што дубље, а на крају напустио лопатицу под углом који је приближан 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 заварују за руку лопатице и тако осигуравају везу.

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* приказан је изглед лопатице Пелтонове турбине [22].



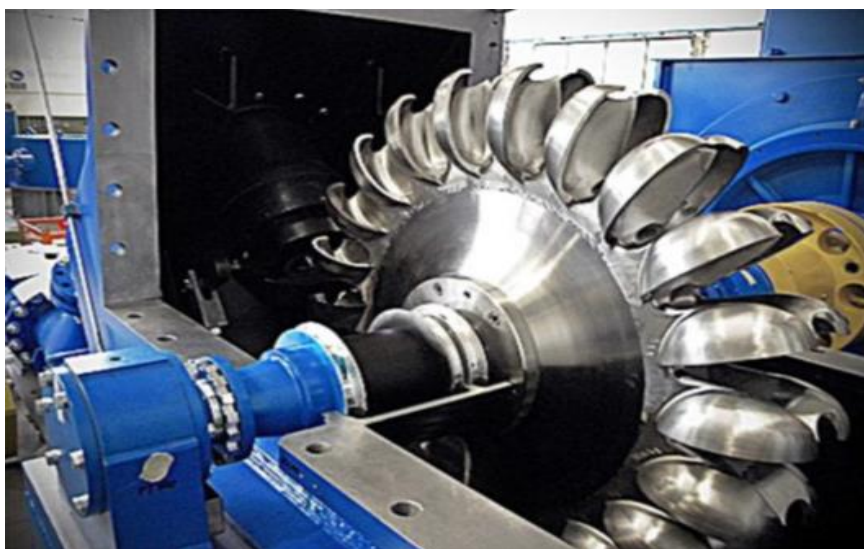
Слика 22. Лопатица Пелтонове турбине [22]

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

7.3.2 Основа радног кола са вратилом и лежајима

Основа радног кола турбине обично је 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

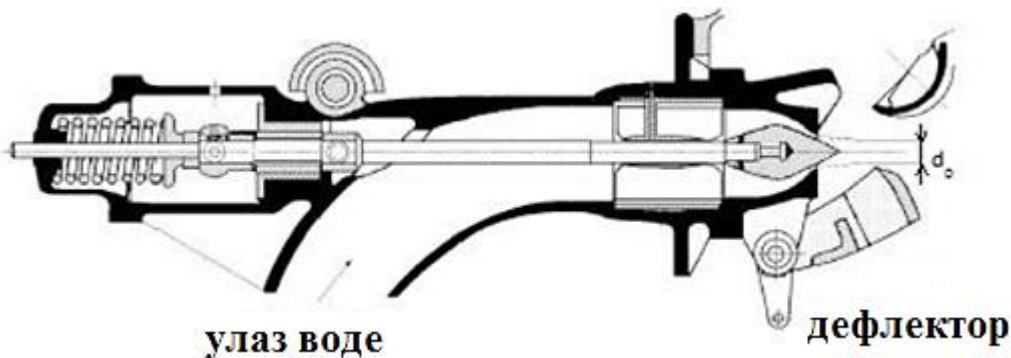
Оклоп турбине служи као заштита, а истовремено има и задатак да воду која је истекла из лопатице одведе у доњи канал (слика 24). Обично је оклоп турбине састављен из два дела. Горњи део је поклопац и он је лакши, док је доњи део масиван и обезбеђује миран рад турбине. Заједно са оклопом су изливени носачи 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].

7.3.5 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.

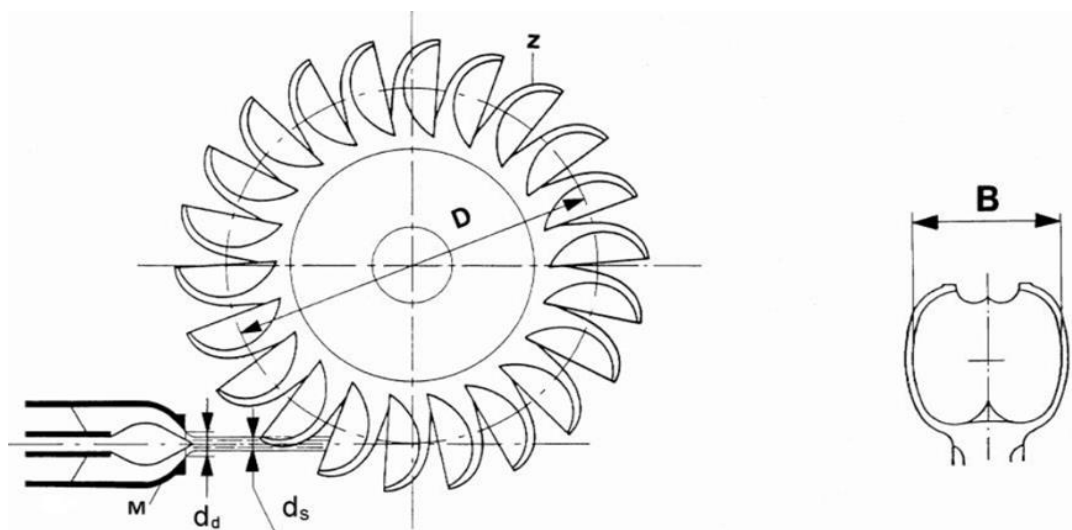
7.3.6 Замајцац и хидраулична кочница

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, обележен је 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]:

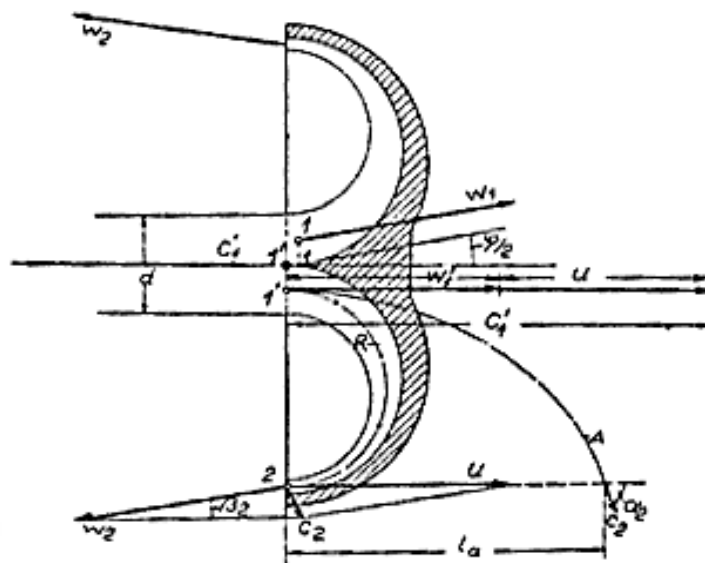
$$w_1' = c_1' - u \quad (32)$$

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

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

u – обимна брзина [m/s]

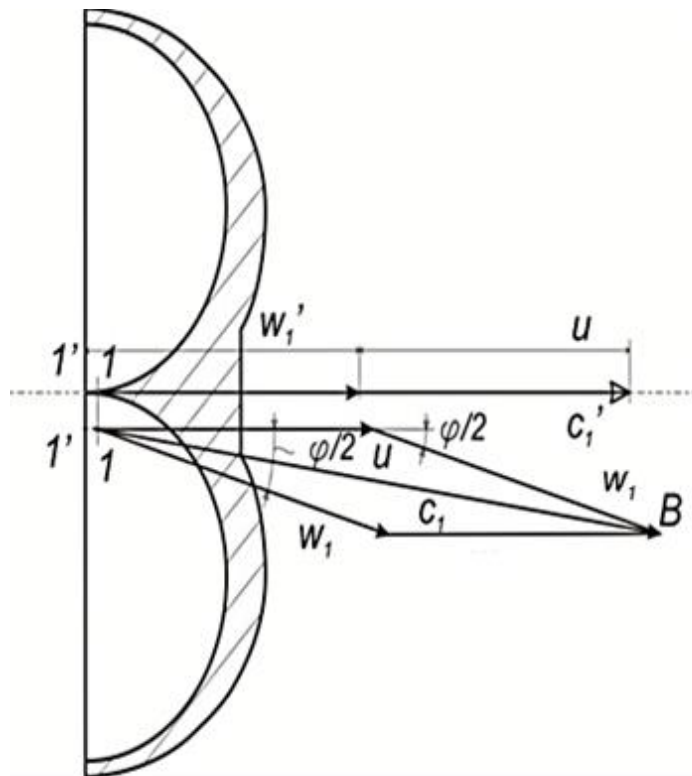
јер се лопатица, на којој се тачка 1' налази, креће брзином u па зато брзина делића 1' (w_1') у односу на носилац тј. лопатицу, мора бити мања за вредност u . Троугао брзина се своди на праву линију.



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. креће се 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) енергија која нам стоји на располагању у млазу је (33):

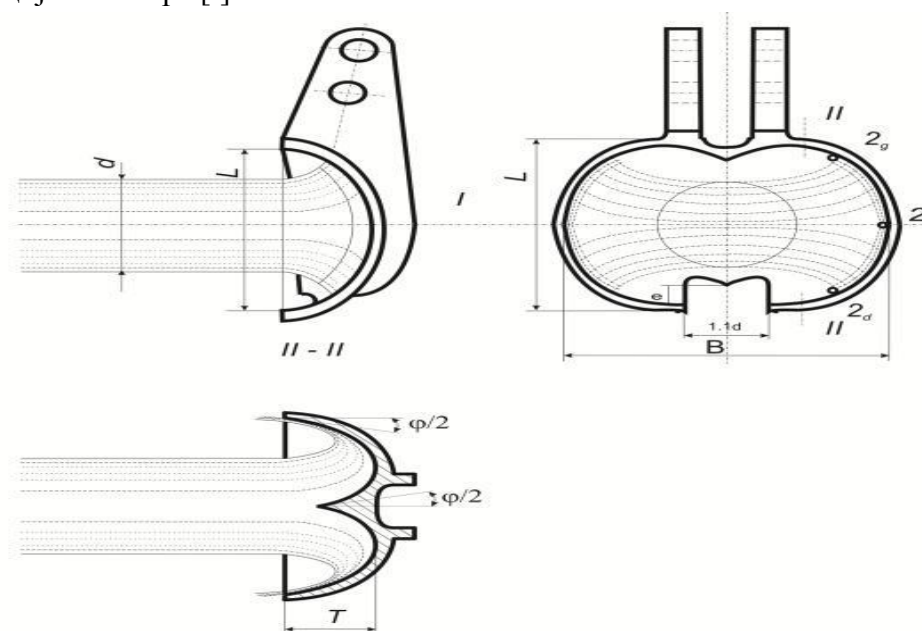
$$H_0 = \frac{c_0^2}{2g} \quad (33)$$

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 [/]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 су једнаке, 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 у нулту вредност (или скоро нулту вредност) и то ако угао α_2 буде:

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

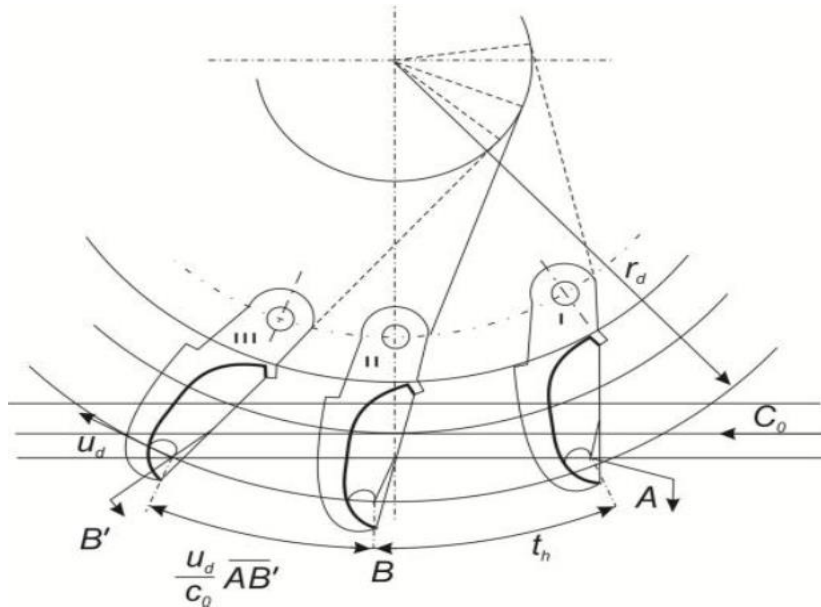
Пелтонова турбина при једном истом паду H даје највећу снагу, ако вода напушта лопатицу апсолутном брзином која према обимној брзини заклапа угао од 90° . Код Пелтонове турбине правац излазне релативне брзине w_2 зависи само од геометрије лопатице, што значи да се при раду турбине не може мењати правац 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, добија се 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):

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

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 пролазе 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 моменат 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:

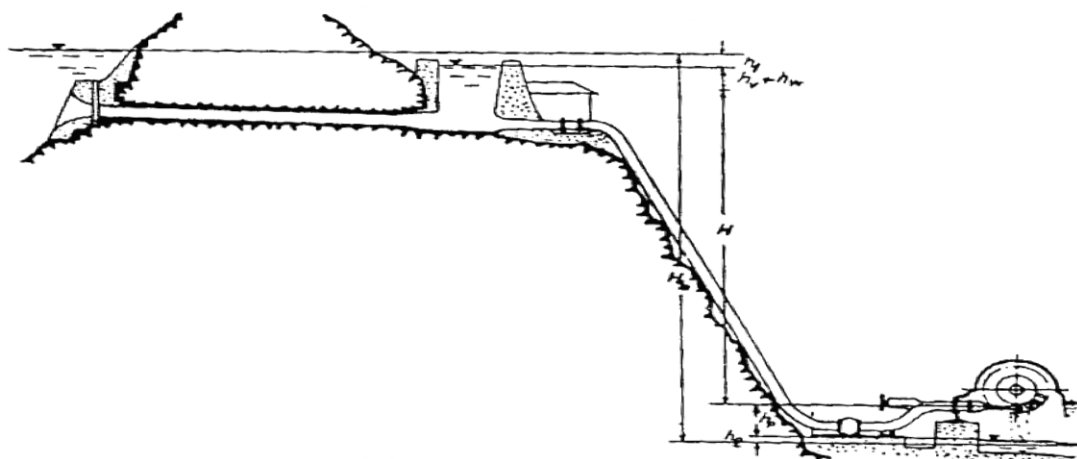
- губици у доводним каналима h_1 ,
- губици у одводним каналима h_2 ,
- губици специфични за Пелтонову турбину h_p ,
- губици у цевоводу h_v и h_w .

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. Ови губици 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 [1]¹⁶

¹⁶ Коефицијент губитака у спроводном каналу износи 0,98.

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

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

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:

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

Применом једначине (57) и једначине (60) добија 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 лежајима и заптивачима у којима се обрће вратило турбине. Изражавају се као део нето пада:

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

m – коефицијент [/]¹⁸

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

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

¹⁷ Креће се у границама 0,03 – 0,06.

¹⁸ Креће се у границама 0,01 – 0,02.

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:

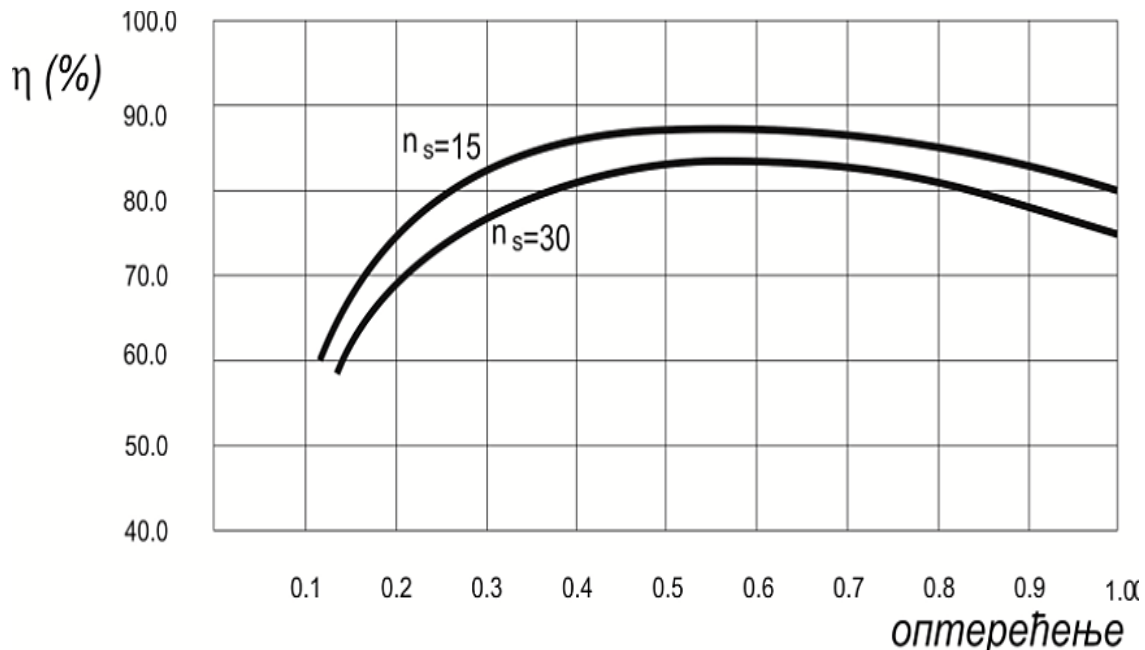
- Општи коефицијент корисног дејства целог постројења (η_0), подразумева однос енергије предате генератору према расположивој енергији која одговара бруто паду. У овај коефицијент улазе сви набројани губици и износи (70):

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

- 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 променом оптерећења и то захваљујући малим променама брзине млаза. Тек при оптерећењима мањим од 25% од максималног, услови протицања 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].

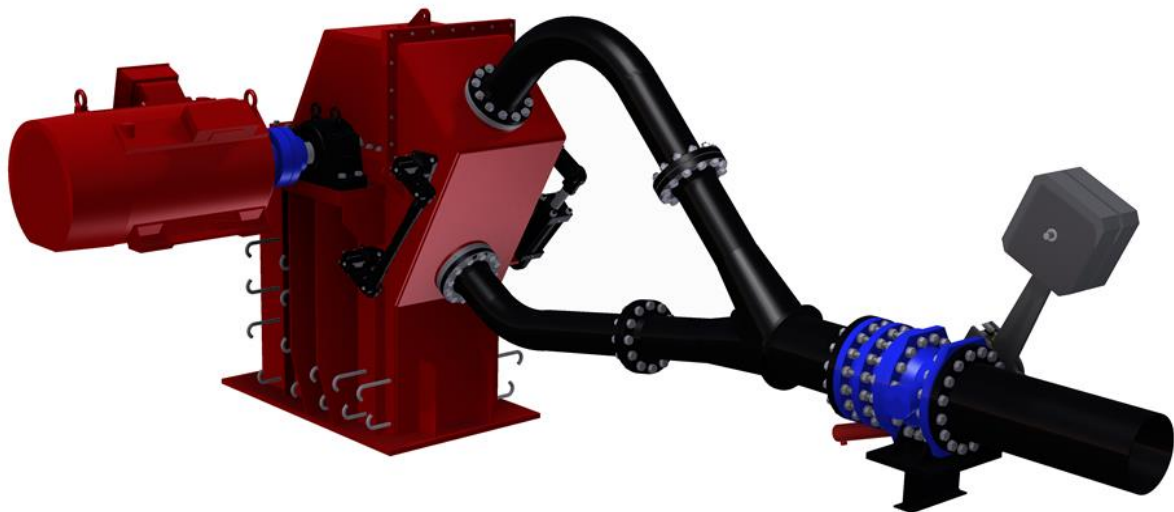
7.10 Извођење Пелтонове турбине

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

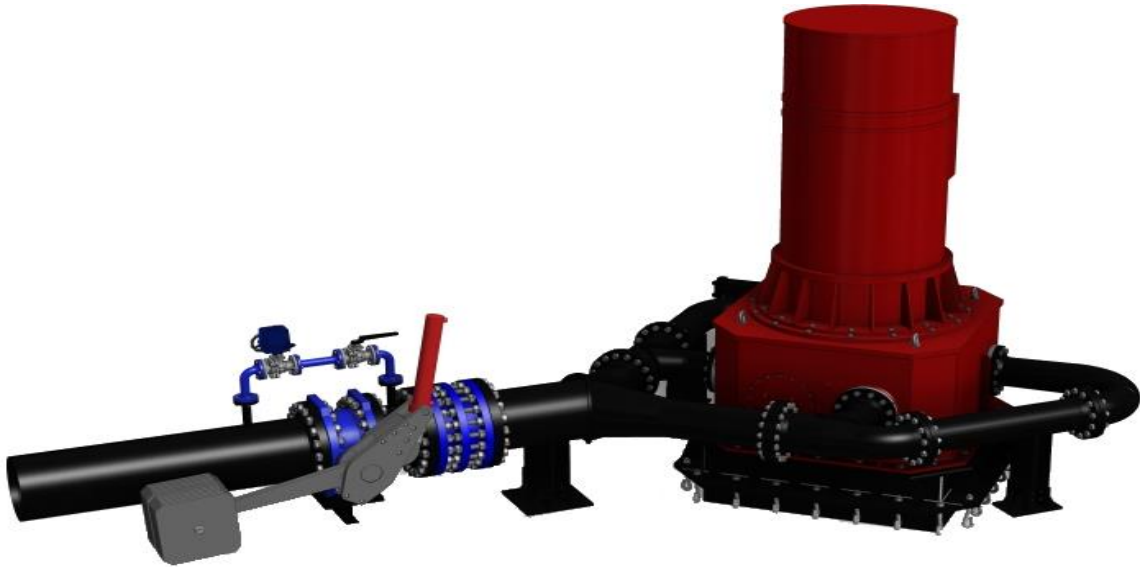
Код ових турбина (слика 33) број млазница не може бити већи од броја два из конструктивних разлога (сметале би једна другој). Ако прорачуни покажу да је потребан већи број млазница, онда се конструишу турбине са два или три радна кола тако да на свакој имамо по две млазнице [23].



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 фиксираних наводних. 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.

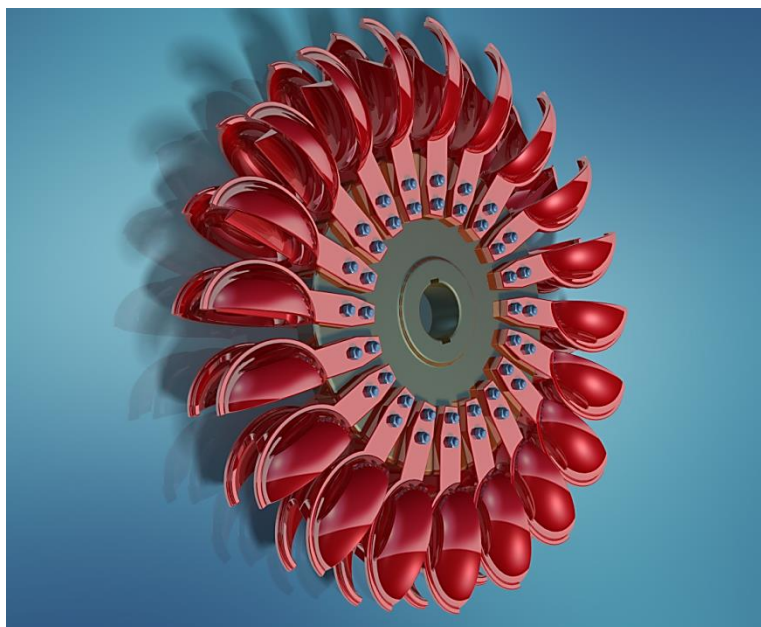
8.0 3D МОДЕЛ ПЕЛТОНОВЕ ТУРБИНЕ

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.



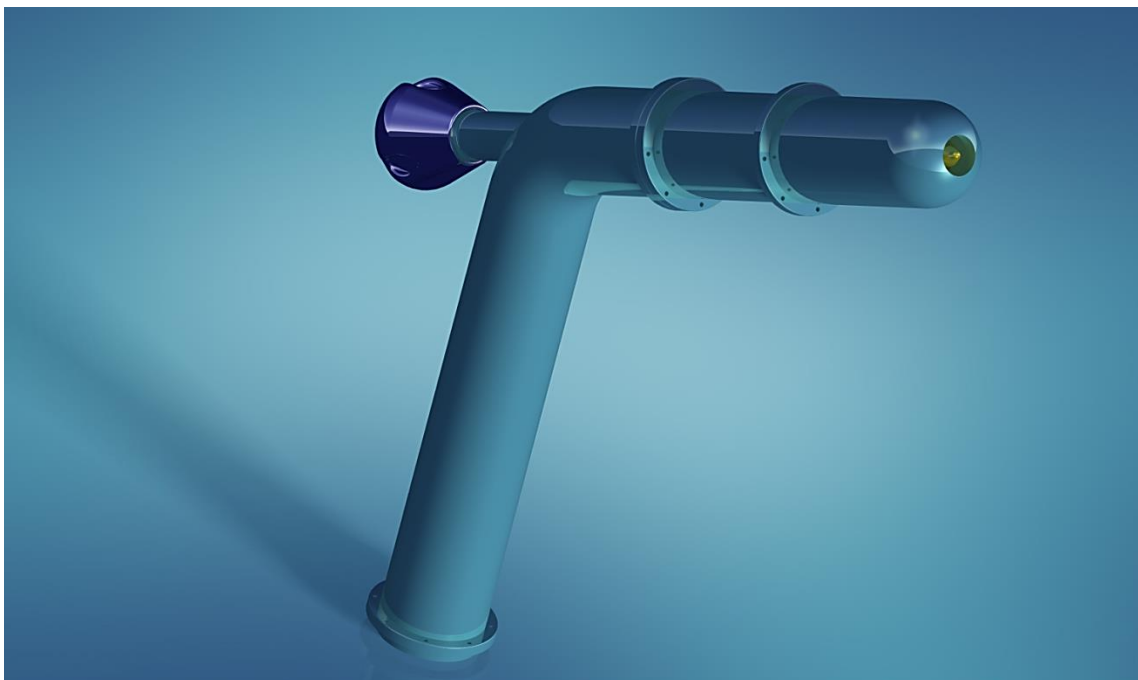
Слика 35. Лопатица радног кола Пелтонове турбине

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

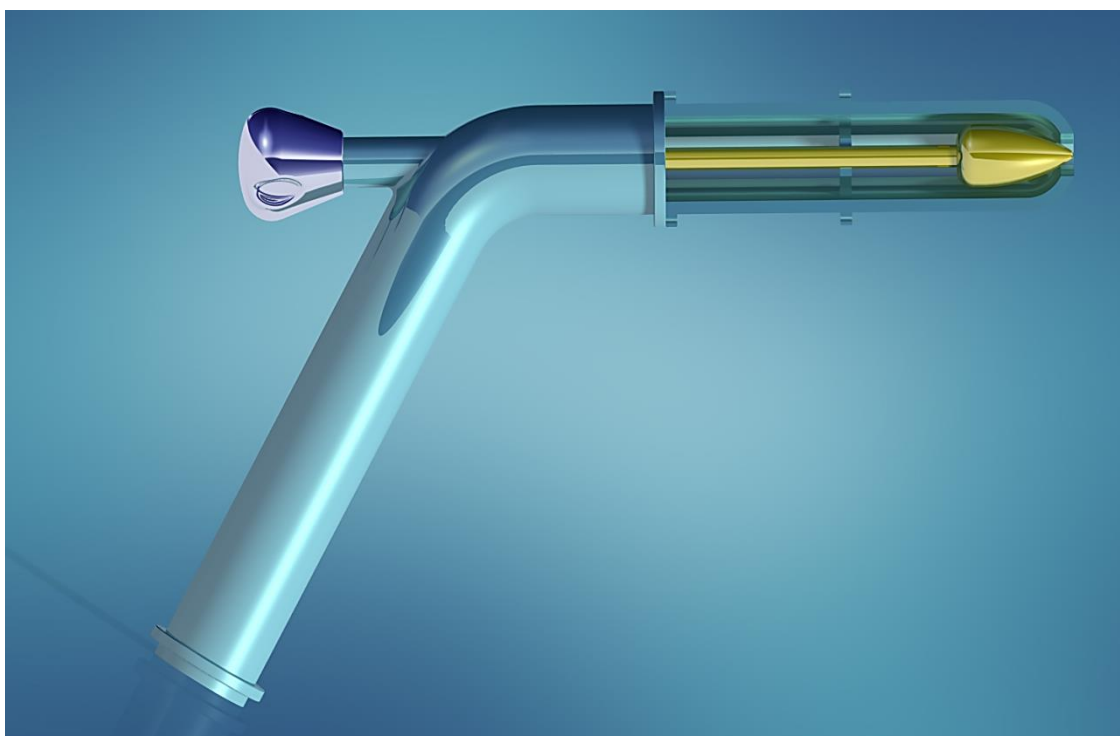


Слика 36. Приказ радног кола Пелтонове турбине

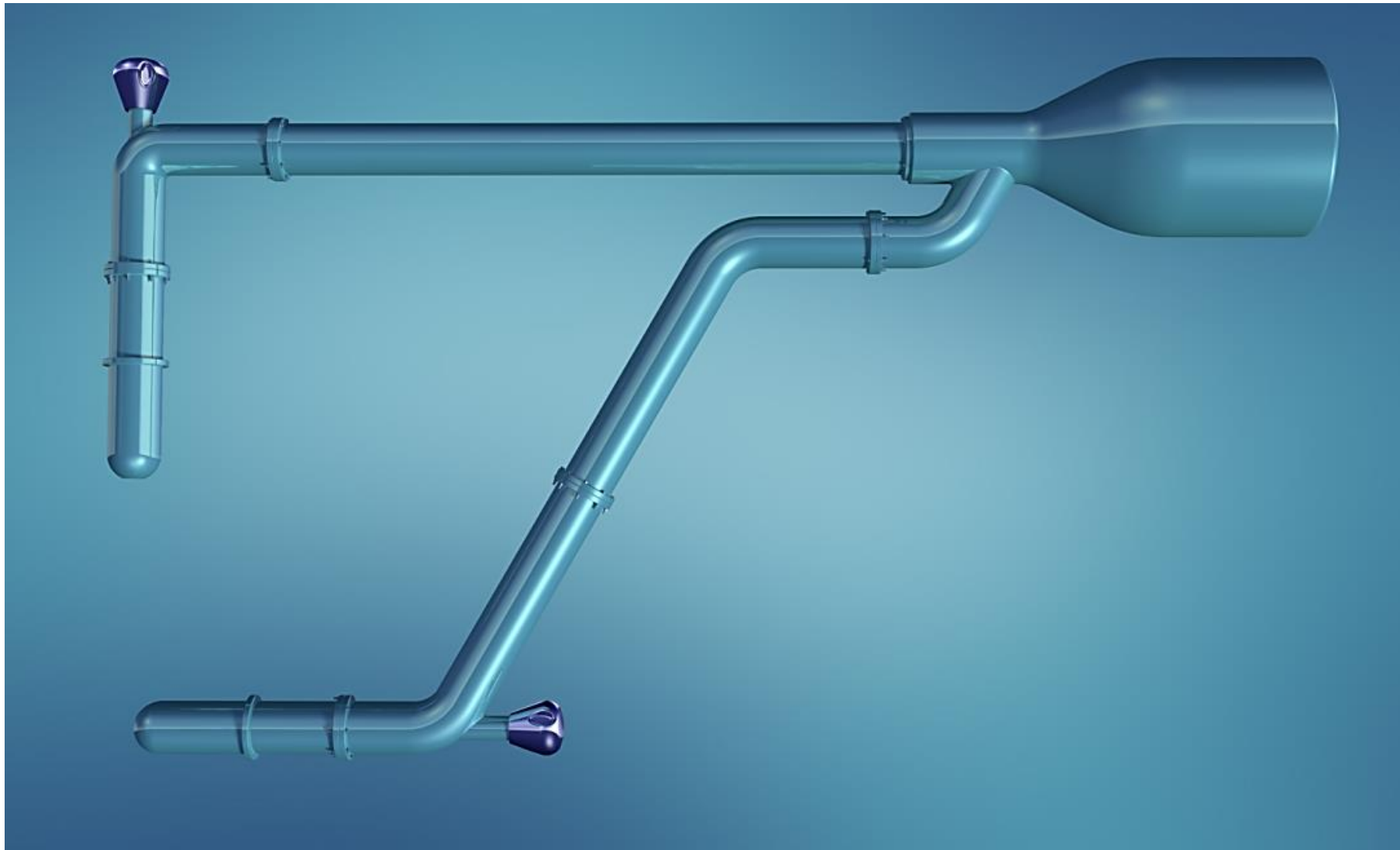
3D модел млазнице приказан је на *слици 37*, а њен уздужни пресек је приказан на *слици 38*. На *слици 39* приказан је склоп две млазнице у постројењу за производњу електричне енергије са Пелтоновом турбином.



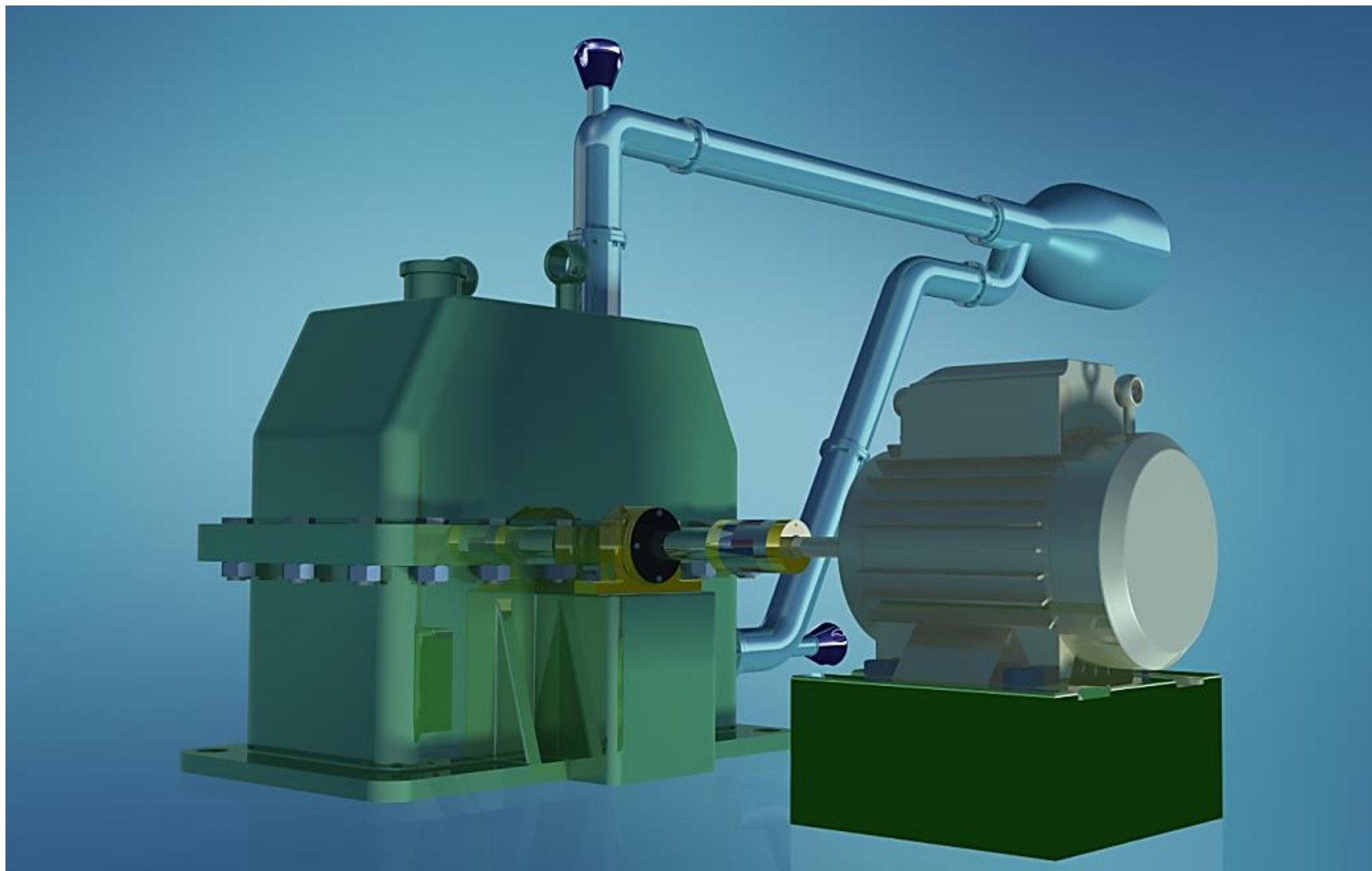
Слика 37. 3D приказ млазнице



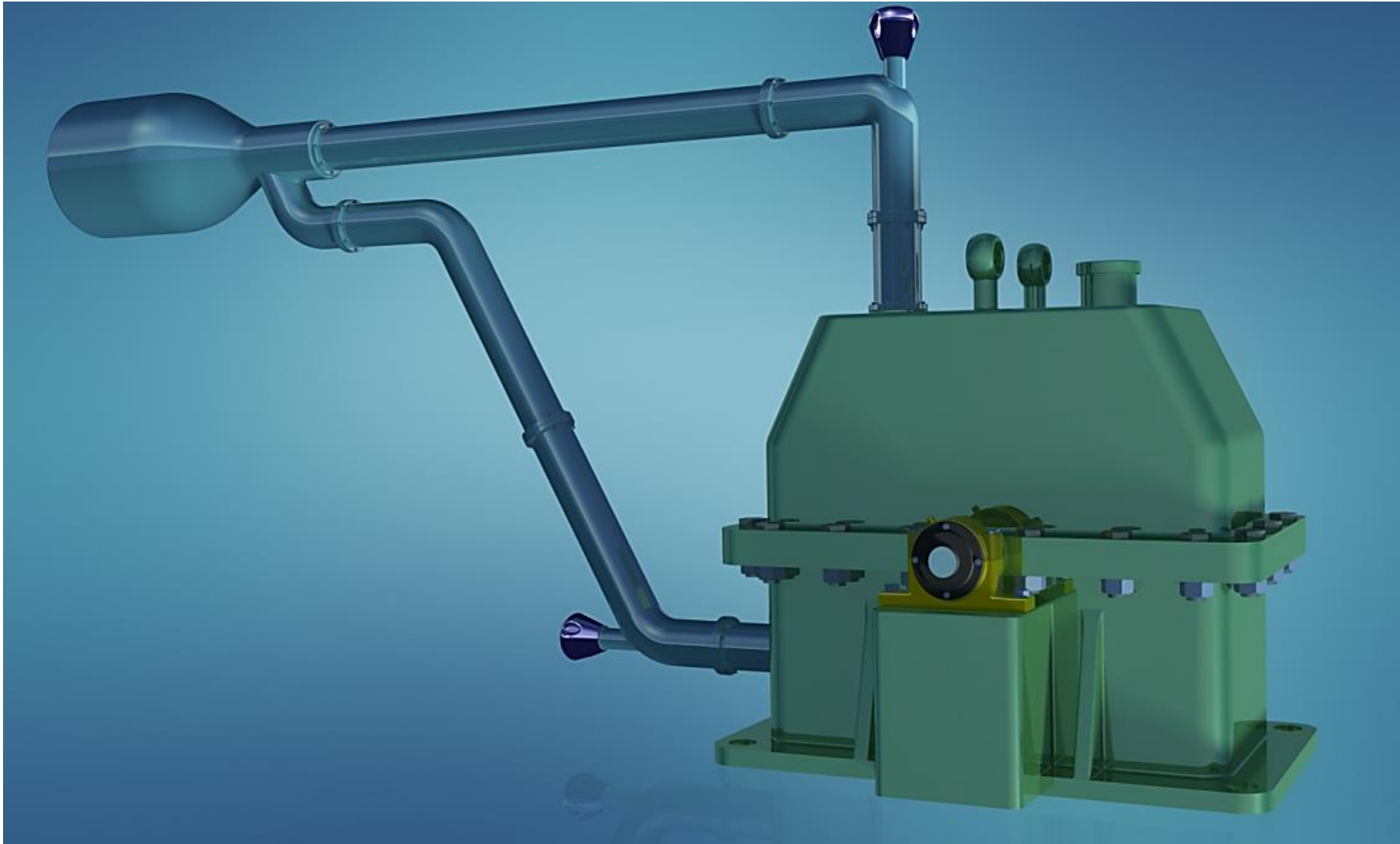
Слика 38. Приказ уздужног пресека млазнице



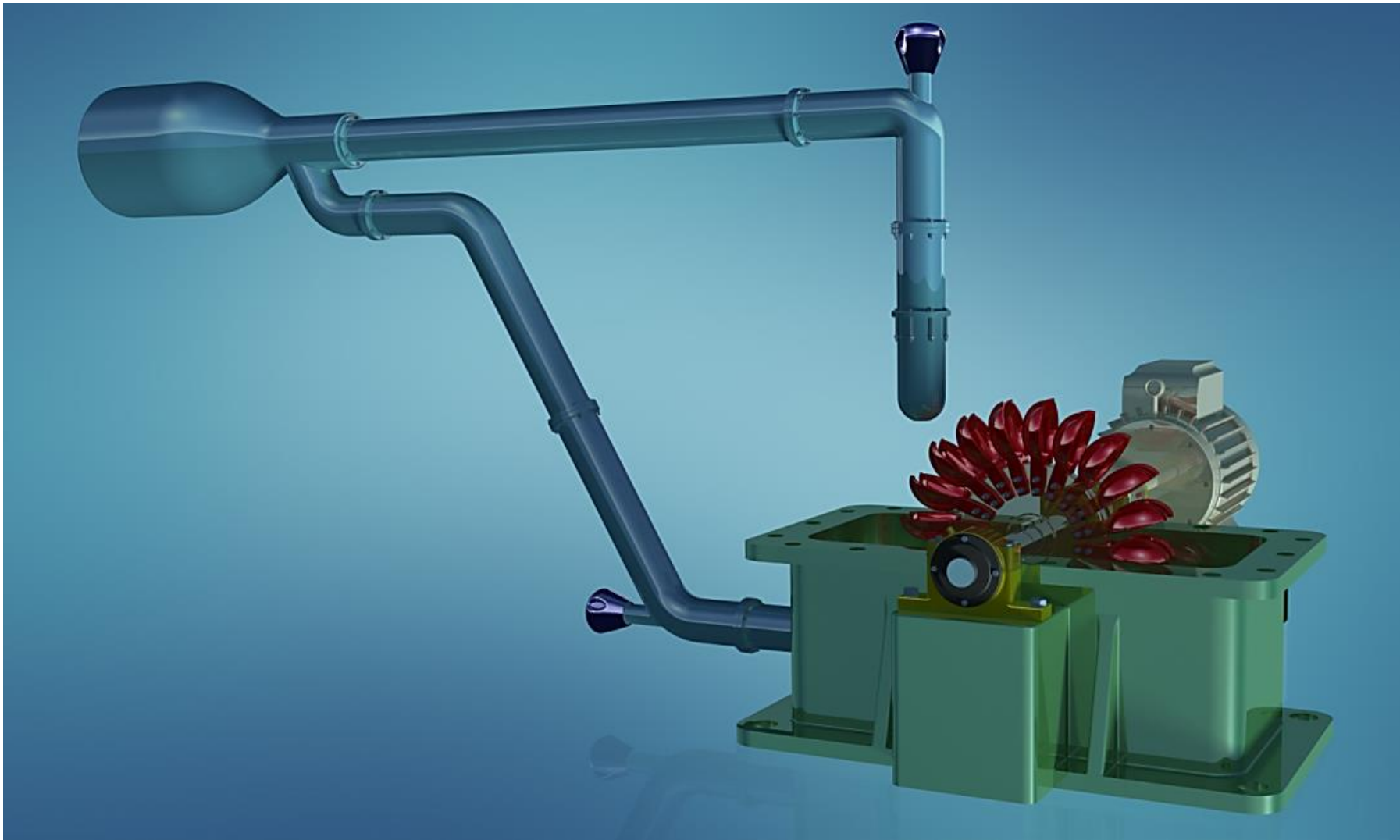
Слика 39. Приказ млазница МХЕ са Пелтоновом турбином



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

9.0 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 учесталост	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

10.0 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. За то 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 минимума (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 састоји се од:

- водозавата,
- 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 водозавата у облику бетонског профилисаног прага са челичним филтерима. Капацитет водозавата 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:

- 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 песколов²¹.

¹⁹ Тиролски тип водозавата 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.

²⁰ Хидро-техничка грађевина у којој се врши процес таложења суспендованих материја из воде помоћу гравитације.

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

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].

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

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 заштитама. За гравитационе цеви дебљина цеви је минимална (8 mm). Цевовод почиње на водозавату 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 3.600 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, заштићена је 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 налази се 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 су у евроцентима по киловат-часу (c€/1 kWh), и износе [27]:

Табела 15. Мере подстицаја према врсти хидроелектране [27]

Врста електране	Инсталисана снага [MW]	Мера подстицаја – откупна цена [c€/1kWh]
Хидроелектране	до 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

11.0 ПРАВНИ ОКВИР

У овом поглављу детаљно је обрађена правна регулатива неопходна за изградњу објекта мале хидроелектране у Србији. Обухваћен је, како правни (законски) оквир, тако и техничко-грађевинска регулатива. Представљене су законске измене којима држава покушава да наметне јединствене препоруке са образложеним процедурама за прибављање документације неопходне за изградњу мале хидроелектране.

11.1 Ограничења и рокови

Да би се у Републици Србији изградило и користило постројење мале хидроелектране (МХЕ), треба прескочити читав низ препрека, направити много корака, успети се степеницама локалне и републичке администрације, савладати разна ограничења, јурити рокове и банкарске гаранције.

До сада није постојала јединствена препорука са образложеним процедурама у случају прибављања документације и различитог тумачења на које инвеститор наилази у различитим општинама. Овај недостатак покушало је да исправи *Министарство рударства и енергетике* које је издало упутство под називом „Модели изградње мале хидроелектране и обављања делатности производње електричне енергије у Републици Србији”²² у коме је дат правни оквир за изградњу МХЕ и начелни редослед поступака који се том приликом морају предузети, али није разрадило и бројне варијанте на које инвеститор наилази на терену.

Да објекат мале хидроелектране, од идеје до изградње, не остане у измаглици водних потенцијала, неопходно је наоружати се стрпљењем да се савладају разни прописи, правилници, одобрења и то, идући напред-назад и куцајући на многа врата. Често се чини да је нешто непотребно, сувишно, нелогично и дуплирано. Преплићу се и сударају надлежности, како локала и Републике, тако и самих републичких органа међу собом. Зато је кључна ствар креирање и доношење коначних поступака и постављање оптималних рокова за процес издавања дозвола у области обновљивих извора енергије. Подразумева се да постављени рокови **морају** бити коначни, кратки и извршиви („28 дана”) [28][29].

11.1.1 Прописи

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

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

²² Бранимир Јовановић, Мирослав Паровић, *Стање и развој малих хидроелектрана у Србији*, Jefferson institute, децембар 2009.

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 и изградње,
- Закон о просторном плану Републике Србије и
- пратећи плански документи (регионални просторни планови, просторни планови јединице локалне самоуправе и просторни планови подручја посебне намене и урбанистички планови: генерални урбанистички план, план генералне регулације, план детаљне регулације) и други прописи.

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 прописи који се односе на енергетску дозволу, лиценцу за обављање енергетске делатности, прикључење објекта на мрежу и слично [29][30].

11.2 Услови за изградњу МХЕ

Дакле, за објекат МХЕ неопходно је да се испуне следећи услови:

- 1) изradi идејни пројекат са идејним решењем,
- 2) прибави енергетска дозвола,
- 3) прибави локацијска дозвола,
- 4) прибави грађевинска дозвола,
- 5) изгради објекат и обезбеди стручни надзор у току грађења објекта и
- 6) обави технички преглед објекта и прибави употребна дозвола.

Грађење објеката у Републици Србији врши се на основу грађевинске дозволе и техничке документације, под условима и на начин утврђен *Законом о планирању и изградњи*.

Претходни поступци добијању грађевинске дозволе су:

- добијање енергетске дозволе, која је неопходна за изградњу енергетских објеката у које спадају мале хидроелектране снаге веће од 1 MW;
- добијање локацијске дозволе у складу са важећим планским документом и
- израда техничке документације – главног пројекта.

У поступку добијања грађевинске дозволе, за мале хидроелектране снаге веће од 2 MW може се тражити студија процене утицаја будућег објекта на животну средину [29][30][31].

11.2.1 Израда идејног пројекта са идејним решењем

Идејни пројекат

Идејни пројекат је пројекат којим се одређују: положај, капацитет, техничко-технолошке и функционалне карактеристике објекта, организациони елементи изградње објекта, елементи одржавања објекта, вредност објекта и оправданост за изградњу објекта.

Израда идејног пројекта је фаза којој се приступа у оним случајевима у којима је уз захтев за издавање локацијске дозволе потребно приложити и идејни пројекат. То је фаза која следи након што се успешно изради *идејно решење*. Идејни пројекат заправо представља до детаља разрађено идејно решење којем се додају одговарајући саставни делови како би се пројекат ускладио са Законом и прописима.

Идејним пројектом се дефинишу јасан положај и капацитет објекта, затим, функционалност са становишта технолошких и других захтева, просторно обликовање, избор конструкцијске концепције и грађевинских материјала, инсталације и могућности смештаја опреме, обезбеђења несметаног кретања лица са посебним потребама у простору, мере заштите од пожара, процењена вредност објекта и др.

Постоји неколико типова идејних пројеката:

- идејни архитектонски пројекат,
- идејни пројекат конструкција,
- идејни пројекат електричних инсталација,
- идејни пројекат инсталација грејања, вентилације и климатизације и
- идејни пројекат инсталација водовода и канализације.

Током процеса израде идејног пројекта, потребно је да комуникација између заинтересованог субјекта и пројектанта буде на највишем нивоу и стална, како би се открили и отклонили сви евентуални недостаци.

Формално гледано, основу за израду идејног пројекта чини *информација о локацији*, којом се дефинишу одговарајући услови који важе за дату парцелу. Поред информације о локацији, општи део идејног пројекта чине и геодетске, гео-техничке и сеизмичке подлоге, назив и садржај пројекта, подаци о предузећу које пројектује, лиценце одговорних пројектаната и пројектни задатак.

Оног тренутка када идејни пројекат буде комплетиран, приступа се предаји захтева за издавање локацијске дозволе, или дозволе за извођење радова у случајевима дефинисаним Законом при локалном управном органу, или се приступа изради главног пројекта [32][33].

Идејно решење

Пројектовање односно процес израде техничке документације јесте операција сачињена од низа корака, који започињу дефинисањем пројектног задатка, а завршавају се главним пројектом кроз који се утврђују сви аспекти датог предмета.

Процес израде техничке документације чине следеће фазе:

- пројетни задатак,
- скицирање објекта,
- *идејно решење*,
- идејни пројекат и
- главни пројекат.

1) Током фазе *дефинисања пројектног задатка*, заинтересовани субјекат у сарадњи са пројектантом формално дефинише своје идеје и замисли. Крајњи резултат ове фазе јесте пројектни задатак, који заједно са подлогама за израду техничке документације (потврда о власништву, локацијски услови, геодетске, гео-техничке и друге подлоге) чини темељ израде сваког пројекта. Кроз пројектни задатак заинтересовани субјекат писменим путем у сарадњи са пројектантом износи јасне циљеве израде пројектне документације.

2) *Скицирање објекта* јесте фаза која се природно одвија паралелно са дефинисањем пројектног задатка. Наиме, оног тренутка када се приближно утврде идеје и замисли заинтересованог субјекта, пројектант приступа изради 3Д приказа односно скице. На овај начин се заинтересованом субјекту предочава његова замисао кроз детаљан просторни приказ на којем се јасно могу размотрити све појединости идеје. На тај начин се врло једноставно могу увидети и отклонити сви евентуални недостаци и мане.

3) *Идејно решење* је фаза која следи након израде пројектног задатка и скицирања. Током ове фазе се прилази изради решења кроз које ће се презентовати задаци дефинисани пројектним задатком. Основни циљ израде идејног решења је да се дефинишу кључни елементи и фактори, као што су позиција објекта у простору, димензије објекта, величине, распоред и намене просторија објекта, конструктивни систем и примена материјала. Комплетирано идејно решење између осталог даје приказе изгледа објекта, основе свих етажа и пресеке објекта, поједине детаље објекта као и текстуално образложење.

4) *Идејни пројекат* је фаза која следи фазу израде *идејног решења*. Када се за заинтересованог субјекта изради идејно решење које у потпуности одговара захтевима и жељама истог, приступа се изради идејног пројекта. Идејни пројекат је технички документ чији садржај се у случају предавања за извођење радова мора ускладити са актуелним Законом о планирању и изградњи. У случају да локални управни орган не захтева идејни пројекат као прилог за издавање локацијских услова, уместо идејног пројекта се након израде идејног решења аутоматски приступа изради главног пројекта.

5) *Главни пројекат* је крајња фаза која наступа у процесу израде техничке документације. Уколико су се заинтересовани субјекат и пројектант сагласили у свим тачкама, током читавог тока израде техничке документације, почевши од пројектног задатка, преко скицирања, израде идејних решења и коначно идејног пројекта, следи сумирање свих детаља у главни пројекат. Главни пројекат својим саставним деловима односно формом и садржајем у потпуности мора бити усклађен са Законом. Поред тога, главни пројекат мора детаљно описати сваки аспект грађења, на тај начин да се сваки поједини елемент објекта јасно дефинише кроз детаљну графичку документацију и техничке описе. Главни пројекат се израђује у четири примерка, од којих се три предају у локални управни орган у циљу издавања грађевинске дозволе [32][33].

11.2.2 Прибављање енергетске дозволе

Енергетска дозвола је дозвола за изградњу енергетског објекта. За мале хидроелектране за производњу електричне енергије снаге испод 1 MW није предвиђено издавање енергетске дозволе, што значи да се за ове објекте издаје грађевинска дозвола, без спровођења поступка издавања енергетске дозволе.

Сектор за енергетску ефикасност и обновљиве изворе енергије Министарства рударства и енергетике – Одсек за обновљиве изворе енергије предвидео је следеће процедуре у претходном поступку изградње мале хидроелектране:

- 1) *издавање енергетске дозволе и сагласности,*
- 2) *давање привременог статуса повлашћеног произвођача електричне енергије (електране на ветар и електране на енергију Сунчевог зрачења) и*
- 3) *давање статуса повлашћеног произвођача електричне енергије.*

Одсек за обновљиве изворе енергије (ОИЕ) обавља послове Министарства рударства и енергетике који се односе на поступак издавања:

- енергетске дозволе за изградњу малих хидроелектрана које користе обновљиве изворе енергије, инсталисане снаге 1 – 10 MW и
- *сагласности за изградњу хидроелектрана инсталисане снаге до 1 MW.*

Услови за издавање енергетске дозволе/сагласности

У погледу поузданог и сигурног рада енергетског система, услови за издавање енергетске дозволе/сагласности су следећи:

- да се техничко-технолошким решењима за пројектовање, изградњу и коришћење енергетског објекта обезбеђује примена стандарда и техничких прописа којима су утврђени услови и мере за безбедност објеката, постројења и опреме и

- да је предвиђен начин обезбеђивања услова за прикључење тих објеката на постојеће преносне, транспортне, односно дистрибутивне системе у циљу обезбеђивања функционалне повезаности система.

У погледу услова за одређивање локације и коришћења земљишта, услов за издавање енергетске дозволе/сагласности је:

- да је планским документима чије се доношење врши у складу са Законом којим се уређују услови и начин уређења простора и изградња објеката предвиђена изградња енергетског објекта, односно да се на тој локацији могу обезбедити услови у погледу коришћења земљишта, вода и других ресурса неопходних за рад енергетског објекта, у ситуацији када постоји одговарајући плански документ.

У погледу енергетске ефикасности, услов за издавање енергетске дозволе/сагласности је:

- да се предвиђају савремена техничко-технолошка решења којима се обезбеђује енергетска ефикасност једнака или већа од прописаних минималних захтева енергетске ефикасности објекта чија се градња планира.

У погледу услова коришћења примарних извора енергије, услови за издавање енергетске дозволе/сагласности су:

- да су анализирани услови и начин коришћења примарних извора енергије, по врстама и обиму коришћења и
- да се обезбеђује рационално коришћење природних ресурса.

У погледу заштите на раду и безбедности људи и имовине важе следећи услови:

- да је извршена глобална процена могућег утицаја енергетског објекта на здравље људи са становишта штетности гасова и других материјала који су пратећа појава у фази експлоатације енергетског објекта и да се предвиђеним техничко-технолошким решењима спречава штетан утицај објеката на здравље људи и
- да су предвиђене противпожарне мере, мере заштите од експлозија, хаварија и сличних акцидената којима се обезбеђује сигурност људи и имовине.

У погледу заштите животне средине мора да буду испуњени следећи услови:

- да је утврђена процена утицаја изградње енергетског објекта на животну средину, с обзиром на врсту и намену објекта, ако је у смислу Закона којим се уређује област процене утицаја на животну средину обавезна израда студије о процени утицаја на животну средину;
- да је утврђена процена утицаја енергетског објекта на животну средину, на основу одлуке надлежног органа којом је прихваћен захтев о потреби израде

студије о процени утицаја на животну средину за пројекат за који се може захтевати процена утицаја и

- да су сагледане могуће последице штетног утицаја изградње тог објекта на земљиште, воде, ваздух и друге природне вредности.

У погледу доприноса капацитета за производњу електричне енергије смањењу емисија мора да буде испуњен услов:

- да изградња енергетског објекта за производњу електричне енергије доприноси смањењу емисија.

Осим наведених услова, за издавање сагласности, потребно је да буде испуњен услов, да се изградњом хидроелектране обезбеђује ефикасно и рационално искоришћавање хидропотенцијала и да су испуњени услови у погледу финансијске способности подносиоца захтева да реализује изградњу енергетског објекта.

Важење и продужетак важења енергетске дозволе, односно сагласности

Енергетска дозвола, односно сагласност, издаје се у облику решења, према правилима управног поступка, у року од 30 дана.

Енергетска дозвола, односно сагласност издаје се са роком важења од 3 године од дана правоснажности решења и оба документа подnose се уз захтев за издавање грађевинске дозволе.

Важење енергетске дозволе, односно сагласности може се продужити за још годину дана (значи 3+1) ако су испуњени услови за издавање енергетске дозволе, односно сагласности у тренутку подношења захтева за продужетак важења енергетске дозволе, односно сагласности.

Захтев за продужетак рока важења енергетске дозволе, односно сагласности подноси се у слободној форми, најкасније 30 дана пре истека важности енергетске дозволе, односно сагласности.

Техничка документација

Сагласно законској регулативи и позитивној инжењерској пракси, да би се дефинисали основни техно-економски параметри за МХЕ за које Министарство рударства и енергетике издаје енергетску дозволу, односно сагласност, техничка документација, која се доставља, неопходно је да поседује најмање следеће техно-економске податке:

- назив МХЕ,
- име реке,
- назив општине,
- локација/стационажа МХЕ,
- тип постројења,

- површина слива који се енергетски користи,
- просечан протицај на профилу преграде,
- крива трајања дневних протицаја на месту захвата,
- инсталисани проток МХЕ,
- проток при тзв. малој води,
- проток при тзв. великој води, а ако се ради о великој брани, неопходни су подаци и о другим вредностима великих вода,
- тип преграде/бране,
- кота круне бране,
- кота нормалног успора,
- кота минималног успора,
- кота доње воде за карактеристичне протоке,
- бруто пад постројења,
- нето пад постројења,
- број агрегата,
- тип турбине и генератора,
- количина захваћене/енергетски прерађене воде,
- инсталисана снага МХЕ,
- просечна годишња производња МХЕ,
- просечно време рада МХЕ,
- дужина и пречник/активна површина довода (канал/тунел/цевовод),
- предмер и предрачун грађевинских радова и спецификација опреме,
- укупне инвестиције,
- специфичне инвестиције и
- инвестициони количник .

Пратећа графичка документација неопходно је да садржи:

- приказ локације на топографској карти размере 1:25.000 на којој се налазе координате X и Y,
- диспозицију МХЕ на топографској подлози са вертикалном представом терена размере 1:5.000 или 1:2.500,
- хидрауличку шему МХЕ,
- основа и карактеристичне пресеке захвата/бране, довода и машинске зграде са дефинисаним и читљивим основним габаритима и висинским положајем и
- једнополну шему МХЕ.

Захтеваним подацима се дефинише локација у простору, габарити, капацитети, реалност инвестиција и економичност МХЕ за коју се дозвола/сагласност издаје.

Техничка документација неопходно је да садржи и следећа поглавља:

- осврт на постојећу техничку и планску документацију,
- веза и утицај предметне МХЕ на хидроенергетске објекте непосредно низводно и узводно и

- осврт на документа која су прибављена од других надлежних институција (РХМЗ, ЈВП Србијаводе, надлежна електродистрибуција, Завод за заштиту природе и др.), уколико су ова документа доступна у време израде техничке документације.

Неопходно је да техничка документација буде оверена од одговорног пројектаната – електротехничког инжењера који поседује лиценцу Инжењерске коморе Србије.

Статус повлашћеног произвођача електричне енергије

Одсек за ОИЕ обавља послове Министарства рударства и енергетике који се односе на поступак издавања решења о стицању статуса повлашћеног произвођача електричне енергије за:

- 1) хидроелектране инсталисане снаге до 30 MW;
- 2) хидроелектране на постојећој инфраструктури инсталисане снаге до 30 MW.

Важење и продужетак важења статуса повлашћеног произвођача

Решење о стицању статуса повлашћеног произвођача издаје се у облику решења, према правилима управног поступка, у року од 30 дана од дана подношења уредног захтева.

Статус повлашћеног произвођача није ороченог трајања [34][35][36].

11.2.3 Прибављање локацијске дозволе

Избор локације, увид у важеће планске документе и информација о локацији је следећи корак у изградњи мале хидроелектране.

У поступку добијања локацијске дозволе од надлежних органа и организација потребно је прибавити: водне услове, енергетско-техничке услове за прикључење на електроенергетску мрежу, услове за прикључење на комуналну инфраструктуру итд. Надлежни су: *ЈВП „Србијаводе“, Електропривреда Србије, локална самоуправа и свакако надлежно министарство – Министарство пољопривреде и заштите животне средине (Републичка дирекција за воде).*

Избор локације

Први корак потенцијалног инвеститора, односно лица за чије потребе се гради објекат и на чије име ће гласити грађевинска дозвола за изградњу МХЕ је одабир локације. Енергетски потенцијал водотокова и локације за изградњу МХЕ у Србији одређени су документом „Катастар малих хидроелектрана на територији СР Србије ван

САП” из 1987. године, у коме је обрађено око 860 локација, а који су за потребе ЈП Здружене електропривреде израдили „Енергопројект – Хидроинжењеринг” и Институт „Јарослав Черни”, као и Катастром малих хидроелектрана у Аутономној покрајини Војводини, у коме је обрађено 13 хидроелектрана ("Хидроинвест" ДТД, 1989.).

Изузетно је могуће градити ове објекте и на другим локацијама уз сагласност Министарства рударства и енергетике и сагласности других надлежних министарстава и институција, а све у циљу максималног искоришћења енергетског потенцијала водотокова. За постојеће вишенаменске акумулације, хидроенергетске параметре за изградњу МХЕ, који дефинишу и максималну снагу постројења, одређује ЈВП "Србијаводе", Београд, односно за Аутономну покрајину Војводину ЈВП "Воде Војводине", Нови Сад.

Уколико на некој од локација предвиђених катастрима, услед промењених хидрогеолошких услова, постојања изграђених грађевинских објеката или других значајнијих промена, које су наступиле у уређењу и коришћењу простора, није могућа изградња МХЕ или би очекивана снага била осетно мања од снаге наведене у катастарском листу, изградња МХЕ уз сагласност Министарства рударства и енергетике, може се одобрити на другој, или више других локација истог водотока, којима се обезбеђује потпуно искоришћавање енергетског потенцијала.

Планска документа

Други корак инвеститора је провера да ли је у важећим планским документима на изабраној локацији предвиђена изградња енергетског објекта. Треба имати у виду да се МХЕ могу градити и на пољопривредном земљишту, а уз претходно прибављену сагласност Министарства пољопривреде и заштите животне средине. У јединици локалне самоуправе, на чијој територији се налази изабрана локација, може се добити на увид важећи плански документ у коме се може проверити да ли је на тој локацији предвиђена изградња енергетских објеката.

Информација о локацији

Трећи корак инвеститора је да за жељену локацију подноси захтев за добијање информације о локацији, у циљу добијања података о могућностима и ограничењима градње на разматраној катастарској парцели, у складу са важећим планским документом. Захтев за издавање информације о локацији, подноси се органу надлежном за издавање локацијске дозволе, уз накнаду стварних трошкова издавања те информације.

Уз захтев за издавање информације о локацији подноси се копија плана парцеле/парцела, а која се претходно тражи у надлежној служби за катастар непокретности на територији општине. Препорука је да се, упоредо са набављањем копије плана, из службе за катастар непокретности тражи и препис листа

непокретности за предметне катастарске парцеле, како би се утврдио власник земљишта.

Информација о локацији, поред назива подносиоца захтева, броја катастарске парцеле и места на ком се налази, садржи и податке о: планском документу на основу кога се издаје; зони у којој се налази; намени земљишта; регулационим и грађевинским линијама; правилима грађења; условима прикључења на инфраструктуру; потреби израде детаљног урбанистичког плана или урбанистичког пројекта; катастарској парцели, односно о томе да ли катастарска парцела испуњава услове за грађевинску парцелу са упутством о потребном поступку за формирање грађевинске парцеле; инжењерско-геолошким условима и посебним условима за издавање локацијске дозволе.

Информација о локацији омогућава лицу, на чије име је издата, да прикупи све посебне услове (услови заштите споменика културе, услови очувања животне средине, итд.) и техничке услове (место и начин техничких прикључака објекта на инфраструктурне водове, као и њихових капацитета) пре издавања локацијске дозволе.

Информацију о локацији издаје орган надлежан за издавање локацијске дозволе, у року од 8 дана од дана подношења захтева, уз накнаду стварних трошкова издавања те информације.

За даље активности, у вези са изградњом МХЕ потребно је водити рачуна да су објекти МХЕ у надлежности јединица локалних самоуправа, осим у случају ако се објекат гради у границама националног парка или у границама заштите заштићеног природног добра од изузетног значаја и тада је у надлежности Министарстава која уређују питања животне средине и просторног планирања, односно надлежног органа аутономне покрајине, уколико се налази на територији аутономне покрајине [29][30][37][38][39].

11.2.4 Прибављање грађевинске дозволе

Пре доношења новог Закона о планирању и изградњи, добијање грађевинске дозволе било је подељено на три формална корака:

- добијање акта о урбанистичким условима или извода за парцелу;
- добијање одобрења за градњу заснованог на идејном пројекту и
- добијање потврде о пријему документације за пријаву радова засноване на главном пројекту.

Нови Закон о планирању и изградњи, претходну процедуру скраћује на два формална поступка:

- добијање локацијске дозволе, засноване на идејном решењу објекта и
- добијање грађевинске дозволе на основу главног пројекта.

После добијања локацијске дозволе, потребно је припремити комплетну пројектну документацију на основу које се добија грађевинска дозвола. Пројекат мора бити урађен у складу са правилима грађења назначеним у локацијској дозволи. По новом Закону овај корак је главни и захтева најдужу реализацију.

Дакле, потребно је предузети следеће кораке:

1 – Информација о локацији

Први корак је добити информацију о локацији где се планира изградња. По новом Закону, формални „акт о урбанистичким условима” или такозвани „извод из урбанистичког плана” је замењен са неформалним документом названим „информација о локацији”.

Овај докуменат садржи све неопходне информације о парцели. Постоје и други начини да се добију информације о парцели (као што је коришћење интернет алата). Информација о локацији није обавезан докуменат. У сваком случају, добро га је имати, да би видели услове за формирање грађевинске парцеле и да би могли затражити техничке услове за пројектовање прикључака на инфраструктуру.

2 – Право својине

За стицање права грађења на парцели неопходно је поседовање документа о праву својине на парцели. Новим Законом предвиђено је да се права коришћења конвертују у права својине. Самим тим, постоје три начина за доказивање права својине на парцели:

- Право коришћења: најчешћи случај, јер још нису промењена права коришћења у права својине (по новом Закону). Потребно је извадити власнички лист. Власнички лист се раније издавао у земљишно-књижном одељењу Општинског суда, али је сада надлежност припала служби за катастар непокретности (при општини) која припада Републичком геодетском заводу.
- Приватно власништво – новина предвиђена новим Законом.
- Право закупа – уговор о закупу земљишта на одређено време.

3 – Формирање грађевинске парцеле

У документу *информација о локацији*, пише да ли катастарска парцела испуњава услове за грађевинску парцелу, тако да постоје следеће ситуације:

- грађевинска парцела се поклапа са катастарском – катастарска парцела испуњава услове за грађевинску парцелу;
- катастарска парцела нема директан приступ јавној саобраћајници – тада треба урадити исправку граница парцеле. Исправка граница парцеле је обавезна уколико се тиме обезбеђује неопходни излаз на јавну саобраћајницу;
- катастарску парцелу треба поделити на више грађевинских парцела и
- више катастарских парцела треба ујединити у једну грађевинску парцелу.

Изузев прве, за остале три ситуације треба урадити пројекат препарцелације и парцелације или урбанистички пројекат.

4 – Конверзија земљишта из пољопривредног у грађевинско

У Републици Србији има још доста земљишта које се води као пољопривредно земљиште, а које је постало грађевинско са развојем градова и изградом нових урбанистичких планова. Ипак, све док се то земљиште не изгради, задржава своју класу пољопривредног земљишта. Да би се на том земљишту градило, прво се мора променити његова намена и наравно, накнада за промену намене мора бити плаћена. Ова промена намене мора се урадити пре подношења захтева за локацијску дозволу.

5 – Добијање техничких услова за пројектовање за прикључак на инфраструктуру

Овај корак није стриктно неопходан пре подношења захтева за локацијску дозволу, али није лоше урадити га из два разлога:

- да би убрзали процедуру добијања услова раније,
- да се сагледају могућности прикључења и предвиде трошкови везани за прикључење.

Да би добили ове техничке услове, било је потребно поднети захтеве понаособ сваком комуналном предузећу које има везу са парцелом (прикључење на електричну мрежу, водовод, канализацију, гас, даљинско грејање, градска чистоћа итд.). Доношењем новог „правилника” сада по службеној дужности све сагласности за градњу, од комуналних предузећа, прибављају органи градске управе, а не сам инвеститор.

6 – Уклањање постојећих објеката на парцели

Уколико се на грађевинској парцели налазе један или више објеката које треба уклонити у сврху новоградње, мора се урадити и предати пројекат уклањања објекта. То се најчешће ради пре добијања локацијске дозволе, јер уклањање постојећих објеката захтева време, а може бити и неопходно због других припремних радова на парцели.

Дозвола о уклањању објекта, биће издата у року од 15 дана од дана подношења захтева.

Грађевинска дозвола престаје да важи ако се не отпочне са грађењем објекта у року од две године од дана правоснажности решења [31][40][41].

11.2.5 Грађење објекта и обезбеђење стручног надзора у току грађења објекта

Грађење и извођење радова на објекту спроводе се на основу Закона о планирању и изградњи. На основу овог Закона издаје се Правилник којим се ближе прописује садржина и начин вођења стручног надзора у току грађења објекта, односно у току извођења радова за које је издата грађевинска дозвола, као и за адаптацију и санацију објекта за које се издаје решење за извођење тих радова.

Стручни надзор обухвата:

- 1) контролу да ли се грађење врши према грађевинској дозволи, односно према техничкој документацији на основу које је издата грађевинска дозвола, као и благовремено предузимање мера у случају одступања градње од главног пројекта;
- 2) контролу и проверу квалитета извођења свих врста радова и примену прописа, стандарда и техничких норматива, укључујући и стандарде приступачности;
- 3) контролу и оверу количина изведених радова (овера грађевинских књига, привремених и окончаних ситуација, рачуна за изведене радове и др.);
- 4) проверу да ли постоје докази о квалитету материјала, опреме и инсталација који се уграђују или постављају у објект и да ли постоји документација којом се доказује њихов квалитет (атест, сертификат и др.);
- 5) контролу и проверу квалитета изведених радова који се према природи и динамици изградње објекта не могу проверити у каснијим фазама изградње објекта (радови на извођењу темеља, арматуре, оплате, изолације и др.);
- 6) давање потребних упутстава извођачу радова, нарочито у случају одступања градње од техничке документације на основу које је издата грађевинска дозвола, као и у случају промене услова градње објекта (промена врсте тла или других параметара утврђених геомеханичким елаборатом и др.);
- 7) редовно праћење динамике градње објекта и усклађености са уговореним роковима;
- 8) сарадњу са пројектантом ради обезбеђења правилне реализације пројектантског концепта објекта, као и сарадња са извођачем радова при избору детаља технолошких и организационих решења за извођење радова;
- 9) решавање и других питања која се појаве у току грађења, односно извођења радова.

Лице које врши стручни надзор (надзорни орган) одређује инвеститор.

Стручни надзор се обезбеђује од почетка грађења, односно извођења радова у складу са Законом о планирању и изградњи и траје до завршетка грађења, односно извођења радова и издавања употребне дозволе.

Стручни надзор се може обезбедити и за извођење појединих радова на грађењу објекта, а за посебне радове, инвеститор може обезбедити и надзор од стране пројектанта објекта (пројектантски надзор).

Сва запажања у току вршења стручног надзора надзорни орган уписује у грађевински дневник на прописан начин, потписује и оверава печатом.

Ако надзорни орган у току вршења стручног надзора утврди да извођач радова одступа од издате грађевинске дозволе и главног пројекта, пројектованих детаља, предвиђеног квалитета материјала и опреме која се уграђује у објекат, или одступа од других елемената који би утицали на квалитет радова, утврђену вредност објекта или на продужење рокова изградње, дужан је да без одлагања о томе обавести инвеститора и извођача радова.

Ако у току грађења наступе околности због којих је неопходно одступити од техничке документације на основу које је издата грађевинска дозвола, надзорни орган је дужан да о тој чињеници без одлагања обавести инвеститора, ради предузимања одговарајућих мера.

Ако у току грађења наступе околности чије отклањање не трпи одлагање, надзорни орган је дужан да о томе одмах обавести и надлежног грађевинског инспектора, ради предузимања потребних мера (издавање налога извођачу радова за предузимање неопходних мера за спречавање и отклањање штетних последица, обустављање радова у свим случајевима када дође до закључка да се при извођењу радова одступа од техничке документације и када конкретна одступања могу да буду од утицаја на носивост, трајност и остваривање пројектантског концепта објекта или могу довести до материјалне штете, односно до угрожавања живота и здравља људи и др.).

Надзорни орган је дужан да у току вршења стручног надзора писмено констатује:

- 1) над којим радовима врши стручни надзор;
- 2) уочене недостатке при извођењу радова и рокове за њихово отклањање;
- 3) мере које је предузео или је на њих упутио извођача радова, односно одговорног извођача радова;
- 4) примедбе у погледу квалитета и динамике грађења, као и друге податке који су битни за праћење грађења објекта [42].

11.2.6 Технички преглед објекта и прибављање употребне дозволе

Технички преглед

Технички преглед објекта, постројења, уређаја и опреме који припадају том објекту или су у њега уграђени, као и изведених грађевинских радова, врши се према

одредбама Закона о планирању и изградњи. На основу овог закона донет је Правилник о садржини и начину вршења техничког прегледа објекта и издавању употребне дозволе којим се ближе прописује садржина и начин вршења техничког прегледа објекта, као и технички преглед појединих радова који се врше у току грађења објекта и издавање употребне дозволе.

Технички преглед објекта врши се по завршетку изградње објекта, односно свих радова предвиђених грађевинском дозволом, односно по завршетку изградње дела објекта, ако је за његово грађење издата грађевинска дозвола и по завршетку радова на реконструкцији, адаптацији или санацији објекта, ако је за извођење тих радова издато решење у складу са Законом.

Технички преглед објекта обухвата:

- проверу потпуности техничке и друге документације за изградњу објекта односно за извођење радова;
- преглед изграђености објекта односно изведених радова у складу са главним пројектом на основу кога је објекат изграђен.

Провером потпуности техничке и друге документације утврђује се да ли су инвеститор и извођач радова, пре и у току грађења, обезбедили и уредно водили сву потребну документацију.

Потребна документација без које се не може извршити технички преглед је:

- 1) грађевинска дозвола, односно решење по Закону;
- 2) главни пројекат по коме је објекат изграђен;
- 3) пројекат изведеног објекта или главни пројекат потврђен и оверен од стране извођача радова и надзорног органа да је изведено стање једнако пројектованом стању из главног пројекта;
- 4) појединачни сертификати којима се доказује квалитет уграђеног материјала и опреме (декларације произвођача), односно извршених радова;
- 5) посебни сертификати које издају специјализоване овлашћене институције, а односе се на исправност одговарајућих система инсталација и опреме (лифтови, уземљење инсталација, емисија буке и др.).

Прегледом изграђености објекта у складу са главним пројектом, на основу кога је објекат грађен, утврђује се:

- 1) положај и основне димензије објекта;
- 2) основни елементи конструкције објекта;
- 3) елементи техничке заштите на објекту;
- 4) завршна обрада и опрема објекта;
- 5) врсте инсталација, специфични уређаји и постројења који су уграђени у објекат;
- 6) уређење грађевинске парцеле на којој је изграђен објекат.

Комисија за технички преглед

Технички преглед објекта врши комисија у року који је одређен актом о њеном образовању.

Када се врши технички преглед објекта за које су прописана претходна испитивања и провера инсталација, уређаја, постројења, стабилности или безбедности објекта, уређаја и постројења за заштиту животне средине или друга испитивања или ако је то предвиђено главним пројектом, провера се врши пре давања извештаја комисије.

О техничком прегледу води се записник. У записник се уноси:

- предмет техничког прегледа;
- списак документације стављене на располагање комисији;
- констатација да је објекат изведен према главном пројекту, односно пројекту изведеног објекта;
- мишљење и предлози комисије, као и издвојена мишљења појединих чланова комисије и
- констатација да ли је објекат подобан или није подобан за употребу.

Записник потписују чланови комисије. Записник се доставља органу који је образовао комисију.

Ако су утврђени битни недостаци и неправилности на изведеном објекту, председник комисије за технички преглед објекта дужан је да Инжењерској комори Србије достави списак утврђених неправилности и недостатака са подацима о одговорном извођачу радова.

Ако су на објекту утврђени недостаци и неправилности, комисија ће дати мишљење да ли се може одобрити његова употреба тек после отклањања тих недостатака и неправилности или с обзиром на врсту и природу недостатака и неправилности, и пре њиховог отклањања, уз предузимање потребних мера обезбеђења при извођењу накнадних радова на отклањању уочених недостатака и неправилности.

Ако је утврђено да се недостаци и неправилности на објекту не могу отклонити или да постоји неотклоњива опасност по стабилност објекта односно по живот или здравље људи, саобраћај или суседне објекте, комисија ће предложити да се објекат поруши или уклони.

Ако се у току техничког прегледа утврди да постоји сумња у квалитет, комисија може предложити испитивање квалитета материјала, инсталација и опреме.

Употребна дозвола

По пријему записника о техничком прегледу објекта са констатацијом да је објекат подобан за употребу, надлежни орган издаје употребну дозволу.

Захтев за издавање употребне дозволе садржи:

- 1) назив, односно име и адресу инвеститора;
- 2) назив објекта са подацима о врсти и намени (стамбени, индустријски, енергетски, саобраћајни и др.);
- 3) ознаку локације на којој је објекат изграђен (катастарска парцела), односно код реконструкције – локације на којој се објекат налази;
- 4) назив и адресу извођача радова и име одговорног извођача радова;
- 5) податке о документацији (број и датум издавања грађевинске дозволе, односно решења из члана Закона), констатацију да је објекат изграђен у свему према издатој грађевинској дозволи и главном пројекту;
- 6) констатацију да је извршено геодетско снимање објекта и
- 7) гарантни рок за објекат и поједине врсте радова утврђене посебним прописом.

Орган који је издао употребну дозволу основне податке из решења (о инвеститору, објекту, броју и датуму решења којим је одобрена употреба објекта, и др.) уноси у списак – преглед издатих употребних дозвола и о томе обавештава грађевинског инспектора.

Ако надлежни орган одобри употребу објекта на коме постоје одређени недостаци и неправилности, који по врсти и природи не утичу на његово правилно и безбедно коришћење, одредиће рок у којем су инвеститор и извођач радова дужни отклонити те недостатке и неправилности, а по потреби и мере обезбеђења које се морају предузимати у интересу безбедног коришћења објекта за време извођења накнадних радова на отклањању утврђених недостатака и неправилности.

Ако због утврђених недостатака и неправилности није издата употребна дозвола, инвеститор односно извођач радова, после отклањања тих недостатака и неправилности, затражиће технички преглед накнадно изведених радова.

Ако се техничким прегледом накнадно изведених радова утврде битне промене на објекту због накнадно изведених радова, извршиће се поновни технички преглед објекта [40][43].

11.3 Подношење захтева и рокови важности докумената

Захтев за добијање водног акта, који издаје ЈВП „Србијаводе“, подноси се водопривредном центру или најближој радној јединици или секцији.

Уз захтев се подноси документација која је наведена у зависности од типа водног акта који се тражи:

1) Мишљење у поступку издавања водних услова

Уз захтев се прилаже:

- информација о локацији, коју издаје надлежни орган општинске управе или надлежно Министарство, ако је локација МХЕ у заштићеном или еколошки значајном подручју, у складу са Законом о заштити природе („Службени гласник РС“ бр. 36/09, 88/10, 91/10);
- копија катастарског плана и изводи из катастра непокретности за земљиште на коме се планира изградња МХЕ;
- хидролошки подаци за локацију МХЕ и Мишљење Републичког Хидрометеоролошког завода Србије и
- генерални пројекат МХЕ.

Важност мишљења одговара року важења Решења о издавању водних услова. Водни услови престају да важе по истеку две године од дана њиховог издавања, ако у том року није поднет захтев за издавање водне сагласности.

2) Извештај о испуњености водних услова у поступку издавања водне сагласности на главни пројекат МХЕ

Уз захтев се прилаже:

- решење о издавању водних услова;
- локацијска дозвола, коју издаје надлежни орган општинске управе или надлежно Министарство;
- главни пројекат МХЕ и
- извештај о техничкој контроли пројекта.

Рок важења је у складу са роком важења Решења о издавању водне сагласности (2 године). Водна сагласност престаје да важи ако се у року од две године од дана њеног добијања не поднесе надлежном органу захтев за издавање грађевинске дозволе.

3) Извештај о испуњености услова из водних услова и водне сагласности у поступку издавања водне дозволе

Уз захтев се прилаже:

- решење о издавању водне сагласности;

- пројекат изведеног стања и
- технички пријем (извештај издаје надлежна општина или надлежно Министарство).

Рок важења је у складу са роком важења Решења о издавању водне дозволе. **Водна дозвола издаје се на одређено време, а најдуже за период од 15 година (ограничавајући фактор за инвеститоре) [30].**

11.4 Измене Закона о планирању и изградњи – рокови „28 дана”

Изменама Закона о планирању и изградњи које су ступиле на снагу 1. марта 2015. године предвиђена је **обједињена процедура** у поступцима за издавање аката у остваривању права на изградњу и коришћење објеката.

Министарство надлежно за послове грађевинарства, надлежни орган аутономне покрајине, односно **надлежни орган јединице локалне самоуправе**, дужни су да одреде посебну организациону целину у свом саставу, која спроводи обједињену процедуру за:

- издавање локацијских услова;
- издавање грађевинске дозволе;
- пријаву радова;
- издавање употребне дозволе;
- за прибављање услова за пројектовање, односно прикључење објеката на инфраструктурну мрежу и
- за прибављање исправа и других докумената које издају имаоци јавних овлашћења, а услов су за изградњу објеката, односно за издавање локацијских услова, грађевинске дозволе и употребне дозволе из њихове надлежности, као и обезбеђивање услова за прикључење на инфраструктурну мрежу и за упис права својине на изграђеном објекту.

Руководилац надлежне службе је одговоран за ефикасно спровођење обједињене процедуре.

Министар надлежан за послове грађевинарства ближе прописује начин поступка спровођења обједињене процедуре.

Надлежни орган је дужан да у **року од пет радних дана** од дана пријема захтева за издавање локацијских услова, имаоцима јавних овлашћења, који у складу са овим Законом и посебним прописом утврђују услове за изградњу објеката, достави захтев за издавањем тих услова, ако се они не могу прибавити увидом у плански документ.

Ималац јавних овлашћења (јавна и јавно комунална предузећа: Електропривреда Србије, Телеком Србија, Србијаводе, Србијагас, Водовод, Служба за

катастар непокретности...) дужан је да поступи по захтеву за изградњу мале хидроелектране у року од 15 дана од дана пријема захтева [39][40].

11.4.1 Регистар обједињених процедура

Изменама Закона о планирању и изградњи од 1. марта 2015. надлежни орган је дужан да **обједињену процедуру** спроводи тако што води електронску, јавно доступну базу података о току сваког појединачног предмета, од подношења захтева за издавање локацијских услова, до издавања употребне дозволе, која садржи и акта прибављена и издата у тој процедури (**регистар обједињених процедура**).

У надлежном органу одређује се лице које води регистар обједињених процедура – **регистратор**.

Регистратор је дужан да обезбеди објављивање локацијских услова, грађевинске и употребне дозволе у електронском облику путем интернета, у року од **три радна дана** од дана њиховог издавања.

Регистратор је одговоран за законито, систематично и ажурно вођење регистра обједињених процедура, у складу са овим Законом.

Регистратор је дужан да поднесе прекршајну пријаву на основу овог Закона, против имаоца јавних овлашћења и одговорног лица имаоца јавних овлашћења, ако током спровођења обједињене процедуре тај ималац јавних овлашћења не поступа на начин и у роковима прописаним овим Законом, најкасније у року од три радна дана од истека прописаног рока за поступање од стране имаоца јавних овлашћења.

Руководилац надлежне службе има права и одговорности која су овим Законом прописана за регистратора, ако се у надлежном органу не одреди регистратор у складу са Законом.

Министар надлежан за послове грађевинарства прописује вођење и садржину регистра обједињених процедура, обавезе и овлашћења регистратора и обим јавне доступности података и докумената садржаних у регистру [40].

11.4.2 Употребна дозвола - „28 дана”

Објекат за који је у складу са Законом предвиђено издавање грађевинске дозволе може се користити по претходно прибављеној употребној дозволи.

Орган надлежан за издавање грађевинске дозволе, издаје решењем употребну дозволу у **року од пет радних дана**, од дана подношења захтева за издавање употребне дозволе.

Уз захтев за издавање употребне дозволе прилаже се: извештај комисије за технички преглед којим се утврђује да је објекат подобан за употребу са предлогом да

се може издати употребна дозвола, пројекат за извођење или пројекат изведеног стања, елаборат геодетских радова за изведени објекат и посебне делове објекта, као и елаборат геодетских радова за подземне инсталације и сертификат о енергетским својствима објекта, ако је за објекат прописана обавеза прибављања сертификата о енергетским својствима.

Употребна дозвола издаје се за цео објекат или за део објекта који представља техничко-технолошку целину и може се као такав самостално користити.

Употребна дозвола садржи и гарантни рок за објекат и поједине врсте радова утврђене посебним прописом.

Употребна дозвола се доставља инвеститору и надлежном грађевинском инспектору [40].

11.4.3 Издавање грађевинских дозвола за 28 дана

По условима за покретање пословања Србија је по подацима из 2013. године међу најгорима у свету по времену потребном за добијање грађевинске дозволе. Са просечних 279 дана потребних, од предаје документације, до добијања дозволе, Србија је била на 179. месту од 185 држава у свету.

Изменама Закона о планирању и изградњи рок за добијање дозволе је десетоструко краћи и износи 28 дана.

Први резултати треба да су видљиви већ од 1. марта 2015. године, када су измене Закона почеле да се примењују у пракси, односно у локалним управама (општинама и градовима), који издају дозволе.

Захтев за издавање дозволе и све потребне папире инвеститор ће од сада предавати на једном шалтеру.

Највећа промена и олакшање за инвеститора је код добијања локацијске дозволе, где је дошло до највећег смањења процедура и трошкова за разне таксе. До сада је било потребно 19 процедура. Сада инвеститор подноси копију плана парцеле и идејно решење објекта који би градио. Даље на сцену ступа градска управа и све сагласности за градњу које је странка до сада сама прибављала од комуналних предузећа, као што су на пример: „Водовод”, ЕПС, „Телеком”, „Србијаводе”, а што је захтевало највише времена и плаћање разних такси, сада по службеној дужности морају да прибаве органи градске управе.

Не само да је управа дужна да прибави ове сагласности, већ има обавезу и да од катастра непокретности прибави лист непокретности, копију плана и линије подземних водова, што је до сада радила сама странка. Рок да управа преда захтеве комуналним фирмама и катастру је **5 дана** од дана подношења захтева, а рок да они доставе тражена документа је **15 дана**.

Прецизну контролу рокова дужан је да врши регистратор, што је нова функција која се уводи у органима управе, а ако дође до кашњења он подноси прекршајну пријаву.

Ако се испоштују наведени рокови, локацијска дозвола биће готова за **20 дана**. На основу ње, странка подноси захтев за издавање грађевинске дозволе, за коју је рок **само 5 дана**.

Инвеститор треба да поднесе пројекат за грађевинску дозволу. Стручне службе органа управе проверавају колико је тај пројекат у складу са локацијском дозволом, као и доказ да је странка власник плаца.

Доношењем измена Закона на потезу су локалне управе, али и комунална предузећа и катастар који треба да поштују горе наведени рок од 15 дана и обаве сав посао око сагласности и документације. Предвиђена је и суперконтрола у надлежном Министарству, тако што ће локалне управе током ове године бити умрежене са „централом” у Београду. Министарство ће моћи да контролише да ли се пробијају рокови, па ако локални администратор не реагује подношењем пријаве за кашњење, онда ће он сам да добије прекршајну пријаву [44][45].

11.5 Одлучујући фактор убрзања поступка за издавање дозвола

Током спровођења обједињене процедуре, надлежни орган искључиво врши проверу испуњености формалних услова за изградњу и не упушта се у оцену техничке документације, нити испитује веродостојност докумената које прибавља у тој процедури, већ локацијске услове, грађевинску и употребну дозволу издаје, а пријаву радова потврђује, у складу са актима и другим документима из Закона о планирању и изградњи.

Одредбе других закона којима се на другачији начин уређују питања која су предмет уређивања овог Закона, неће се примењивати, осим Закона и прописа којима се уређује заштита животне средине [31][40].

11.6 Актуелно

ДА ЛИ ГРАЂЕВИНСКЕ ДОЗВОЛЕ СТИЖУ ЗА 28 ДАНА?

Секретаријат за грађевинарство градске управе Крагујевца тврди да се Закон поштује и да се рокови из измена Закона о планирању и изградњи од 1. марта ове године, поштују.

У протеклом периоду од 1. марта предати су и обрађени захтеви за издавање 24 грађевинске дозволе. Није издата дозвола за сваки захтев, јер код појединих није била потпуна документација. При томе се даје рок да се иста допуни, а за то време законски рок од 28 дана мирује [46].



Слика 44. Недељне новине

ИНВЕСТИТОРИ ЈОШ ДУГО ЧЕКАЈУ ПАПИРЕ...

И поред новог Закона о планирању и изградњи, по којем је за издавање грађевинске дозволе потребно 28 дана, инвеститори још дуго чекају папире. Подношење и решавање захтева заиста траје 28 дана, али испуњавање услова за подношење захтева „траје и месецима” (Роналд Селигер, председник немачко-српског пословног удружења).

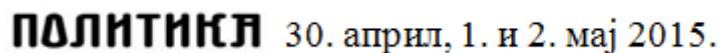
Прва препрека је стара бољка – недостатак планова детаљне регулације, који треба да одреде где и шта може да се гради. Ако не постоји овај документ, инвеститор не може да гради, односно да добије локацијске услове и поднесе захтев за добијање дозволе. Планове доносе општине, али због недостатка новца и стручног кадра то најчешће не чине.

Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре, упозорило је локалне самоуправе да су дужне да донесу планове детаљне регулације.

Изменама Закона о планирању и изградњи који се примењује од 1. марта 2015., предвиђено је да тамо где не постоје планови детаљне регулације, може да се примењује план вишег реда (регулациони или просторни) и да се на основу њега дају локацијски услови.

Друга препрека је конверзија права коришћења у право својине на грађевинском земљишту. Многе инвестиције стоје, јер се досадашњи начин примене конверзије показао као неуспешан. То би требало да разреши Закон о конверзији који би у мају или јуну требало да уђе у скупштинску процедуру.

Трећа препрека су стари проблеми који се понављају и унутар новооснованог једношалтерског система предвиђеног обједињеном процедуром. Катастар и јавна предузећа и даље искачу из система, при чему сам проблем не представљају толико јавна комунална локална предузећа, већ републичка (Србијаводе, Путеви Србије и ЕПС) [47].



Слика 45. Дневне новине

НИШТА ОД МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА?!

Центар за истраживачко новинарство тврди да ће амбициозни пројекат изградње МХЕ, који је пре две године започело Министарство енергетике, остати само мртво слово на папиру.

Следећег месеца истиче рок од две године предвиђен за пуштање у рад више од 200 МХЕ на локацијама које је Министарство енергетике доделило јавним позивом. За то време инвеститори су забележили само губитке и одустају од изградње МХЕ, оптужујући неефикасну државу.

Инвеститори и експерти кажу да је листа разлога због којих одустају од даљих инвестиција изузетно дуга [48].



Слика 46. Дневне новине

МИНИСТАРСТВО: МАЛЕ ХИДРОЕЛЕКТРАНЕ СЕ ГРАДЕ!

Министарство енергетике демантује медије и тврди да изградња МХЕ није стала.

Како наводи Министарство енергетике, број захтева за издавање енергетских дозвола за МХЕ у 2014. јесте нешто мањи у односу на 2013. годину, али је предвиђена инсталисана снага тих објеката нешто већа. Како истичу у Министарству, до реализације пројеката не долази углавном због нерешених имовинско-правних питања. Уколико је дошло до закашњења и непоштовања процедуре Министарство препоручује „да сваки инвеститор своје право на издавање енергетске дозволе оствари у редовном законском поступку”[48].



Слика 47. Дневне новине

ПОСЛЕ ПРОПАЛИХ ПОЗИВА ЗА МХЕ, ПОСАО ЋЕ РАДИТИ ДРЖАВА!

Јавни позив инвеститорима за изградњу МХЕ на више од 800 локација, од пре две године, завршио је неславно, јер ниједна брана није подигнута. Овај посао ће по свој прилици преузети држава.

ЕПС намерава да користи средства зајма ЕБРД за пројекат ревитализације 15 МХЕ и за изградњу две нове.

Проблеми у изградњи малих хидроелектрана тичу се власништва над земљиштем, као и нејасноћа ко сме да користи енергију воде (власник земљишта, инвеститор, локална заједница, држава).

Локације за изградњу МХЕ предвиђене су на основу катастра из 1987. године, а у међувремену је вода потпуно променила своје токове, па је овај списак од 800 локација застарео. Србијаводе наводе да у катастру нису узета у обзир ограничења у погледу управљања режимом вода, водоснабдевања, каналисања и санитарне заштите [49].



Слика 48. Дневне новине

12.0 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 49) 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 49. Приказ лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином

Радно коло (слика 50) је израђено од две врсте материјала. Лопатице су израђене од пластике, док је основа радног кола израђена од челика. У *табели 16* 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 50. Приказ радног кола Пелтонове турбине

Табела 16. Параметри радног кола лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином

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 51) су такође израђене од пластичног материјала, а у себи садрже два механизма.



Слика 51. 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 обезбедити константан проток воде кроз млазницу. На дну млазнице налази се прикључак, на који се помоћу спојнице (слика 52) везује гипко црево.

Спојнице су неповратне што значи да вода може тећи само у једном смеру, а у себи садрже гунице 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 53).



Слика 52. 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 4 m. Ови делови су спојени преко звездасте спојнице (слика 53) и класичних спојница у једну целину, тако да једно место напајања водом, напаја обе млазнице, а самим тим и цело постројење.



Слика 53. Приказ звездасте спојнице

Кућиште турбине (слика 54) израђено је 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, док 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 54. Приказ кућишта турбине

Вратило турбине израђено је од челика, пречника ϕ 25 mm, док пречник рукавца износи ϕ 13 mm. Вратило је са обе стране обрешено, тако да се лежаци могу веома лако навући на вратило. Лежаци на себи садрже по два навоја, чијим завртањем се остварује чврсто налагање вратила и лежаја турбине. Са једне стране вратило је дужи 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 55), 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 навојна шипка, у циљу његовог причвршћивања. Поред његовог причвршћивања, повећава се и стабилност целе конструкције.



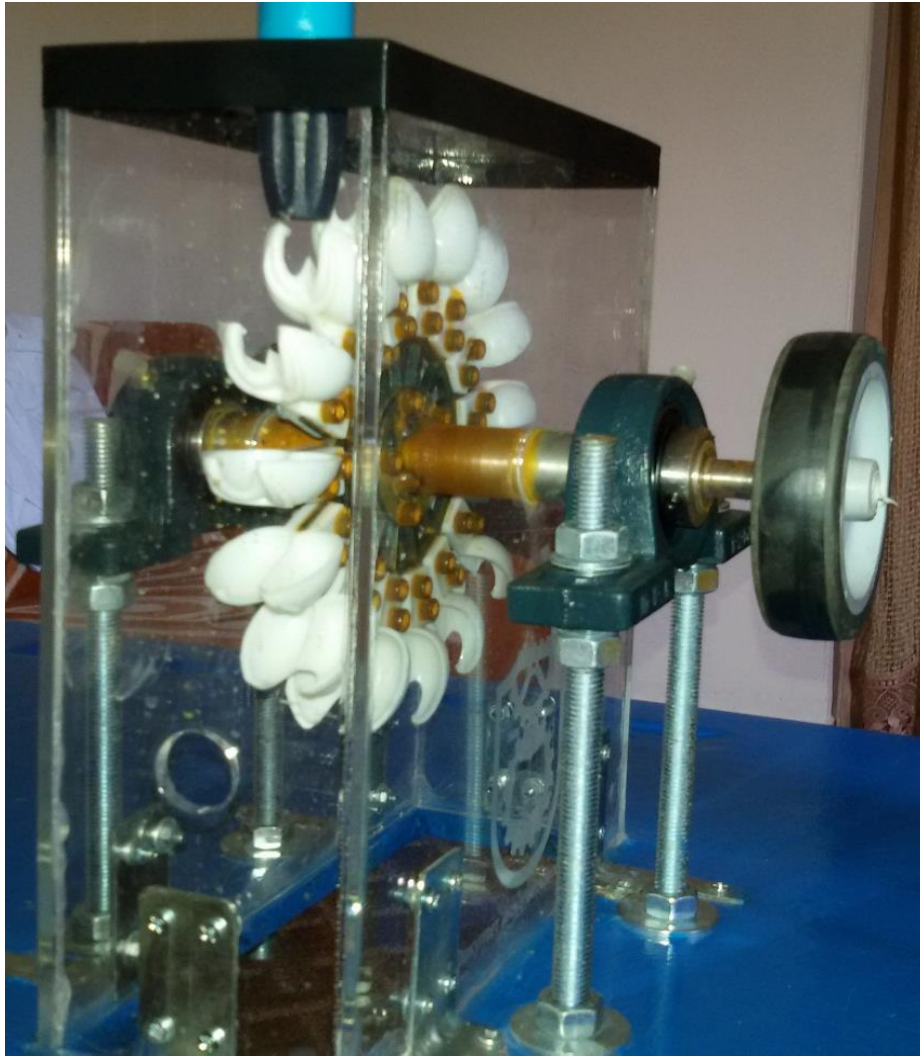
Слика 55. Приказ лежаја

Држачи за лежаје су у виду навојне шипке М12 (слика 56). Укупна дужина навојне шипке износи 1 m, а подељена је на четири једнака дела дужине 250 mm.



Слика 56. 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 57 приказани су постављени лежаји на вратилу са радним колом.



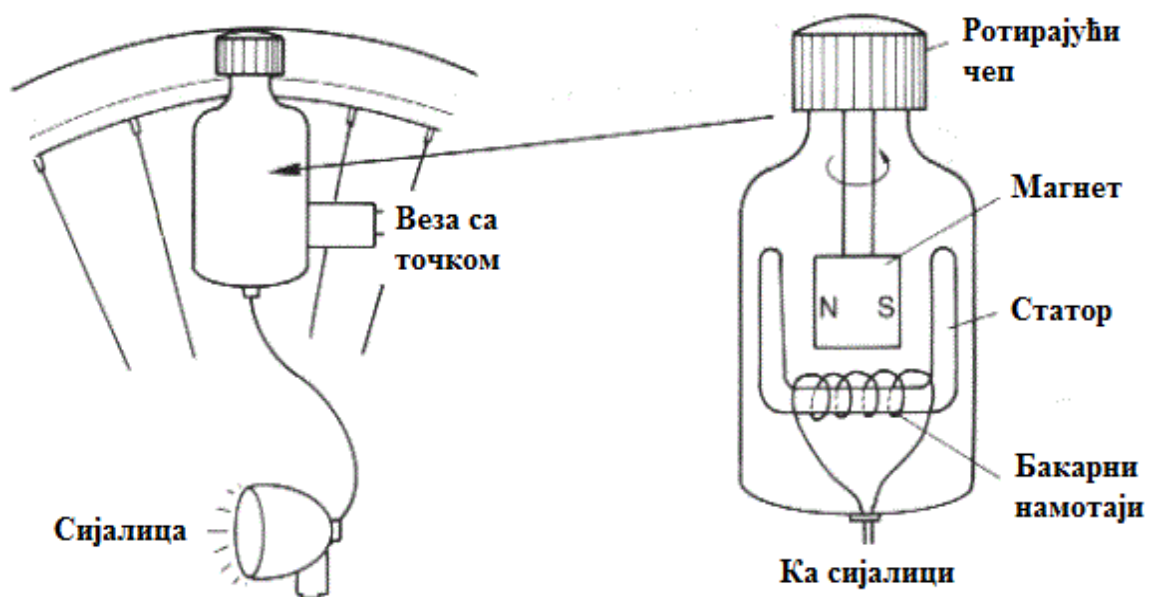
Слика 57. Приказ постављених лежаја на вратилу

Динама за бициклу (слика 58) у овом случају представља генератор електричне енергије. Она је генератор једносмерне струје и састоји се од статора, око којег су намотаји бакарне жице и сталног (перманентног) магнета који се ротира унутар динаме тј. у средини статора.



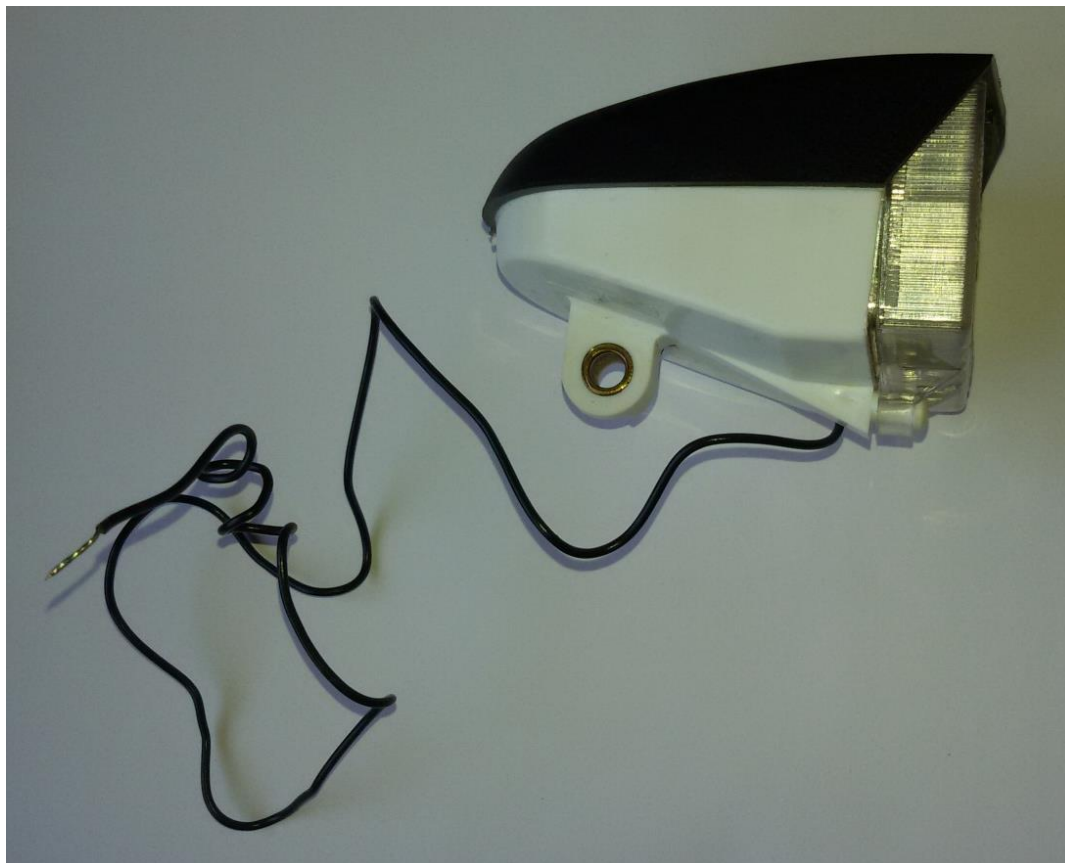
Слика 58. Приказ динаме за бициклу

Стални магнет је преко осовинице повезан са изрезбареним ваљкастим поклопцем, који има улогу да пренесе обртни момент са ротирајућег елемента (точка) на стални магнет (слика 59). 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 59. Шематски приказ везивања динаме

Сијалица је са динамом повезана путем једножилног проводника (слика 60), 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 60. Приказ сијалице

Динама је постављена тако да додирује точак, који се налази на делу вратила са навојем (слика 61). 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 61. Приказ везе динаме и сијалице

Конструкција лабораторијског модела МХЕ са Пелтоновом турбином је постављена на радном столу, димензија 50x130x75 cm. Радни сто (слика 62) 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 62. Приказ радног стола

13.0 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 исплатива.

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 могуће је поставити на тржиште у циљу њихове продаје образовним установама, које желе да врше додатну едукацију својих ђака и студената.

14.0 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] Б. Лепотић Ковачевић, Б. Трајковић, Б. Лазаревић: Изградња малих хидроелектрана и производња електричне енергије у републици србији – водич за инвеститоре
- [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] Мала енциклопедија Просвета, Треће издање, Београд: „Просвета” 1985.
- [18] Ј. Ђ. Марковић: Енциклопедијски географски лексикон Југославије Сарајево, „Свјетлост” 1990.
- [19] Б. Ђорђевић: Коришћење водних снага, Основе хидроенергетског коришћења вода. Београд, 1981
- [20] 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.
- [21] Д. Хорват: Водне турбине, 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] Бранимир Јовановић, Мирослав Паровић, *Стање и развој малих хидроелектрана у Србији*, Jefferson institute, децембар 2009.
- [29] Бранислава Лепотић Ковачевић, Биљана Трајковић, Бојан Лазаревић, *Изградња постројења и производња електричне енергије у малим хидроелектранама у Републици Србији – Водич за инвеститоре*, новембар 2010., фебруар 2013.
- [30] <http://www.srbijavode.rs/home/Aktuelno/mhe.html>, (15.03.2015.)
- [31] *Закон о планирању и изградњи* ("Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС, 50/2013 - одлука УС, 98/2013 - одлука УС, 132/2014 и 145/2014)
- [32] <http://aliquantum.rs/izrada-tehnicke-dokumentacije/>, (20.03.2015.)
- [33] *Правилник о садржини, начину и поступку израде и начин вршења контроле техничке документације према класи и намени објекта* ("Сл. гласник РС", бр. 23/2015)
- [34] Министарство рударства и енергетике, *Сектор за енергетску ефикасност и обновљиве изворе енергије*
- [35] <http://www.mre.gov.rs/latinica/energetska-efikasnost-obnovljivi-izvori-procedure.php>, (25.03.2015.)
- [36] Јавно предузеће Електропривреда Србије и ЕБРД, *Пројекат за мале хидроелектране, Акциони план за заштиту животне средине и социјална питања* (ЕСАП), Београд, новембар, 2014.
- [37] Министарство пољопривреде и заштите животне средине - РЕПУБЛИЧКА ДИРЕКЦИЈА ЗА ВОДЕ
<http://www.rdvode.gov.rs/lat/index.php>, (05.04.2015.)
- [38] „Енергопројект – Хидроинжењеринг” и Институт „Јарослав Черни”, *Катастар малих хидроелектрана на територији СР Србије ван САП*, 1987. године
- [39] *Закон о локалној самоуправи* ("Сл. гласник РС", бр. 129/2007 и 83/2014 - др. закон)
- [40] *Правилник о поступку спровођења обједињене процедуре* ("Сл. гласник РС", бр. 22/2015)
- [41] <http://beodom.com/sr/education/entries/how-to-get-a-building-permit-phase-1>, (22.04.2015.)
- [42] *Правилник о садржини и начину вођења стручног надзора* ("Сл. гласник РС", бр. 7/2010 и 22/2015)
- [43] *Правилник о садржини и начину вршења техничког прегледа објекта и издавању употребне дозволе* ("Сл. гласник РС", бр. 93/2011)
- [44] <http://www.kragujevacke.rs/GRAD/GRADJEVINSKE-DOZVOLE>, (15.05.2015.)
- [45] <http://www.naled-serbia.org/sr/page/123/Procedura-za-izdavanje-gradevinskih-dozvola>, (15.05.2015.)
- [46] КРАГУЈЕВАЧКЕ – Недељне новине

[47] ПОЛИТИКА – Дневне новине

[48] АЛО – Дневне новине

[49] НОВОСТИ – Дневне новине

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 ($\approx 0,98$) [/]

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

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]

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

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

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

x_{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]

$$l_1 = 500$$

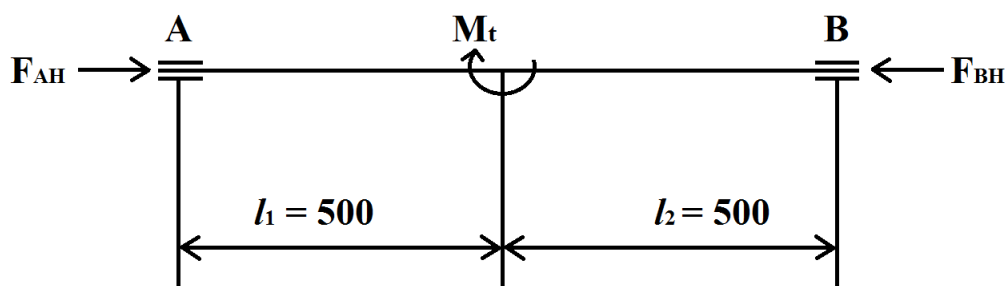
l_1 – растојање између лежаја А и радног кола [mm]

$$l_2 = 500$$

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 $H-H$

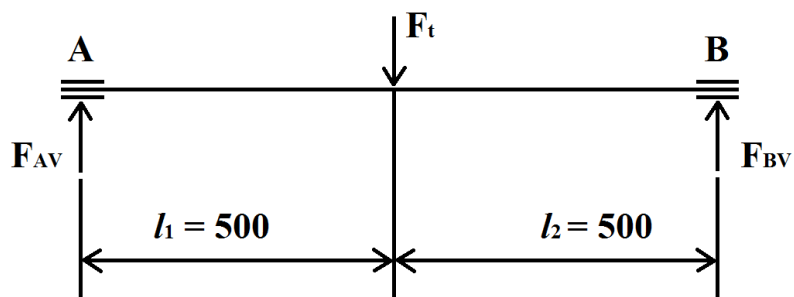
$$F_{BH} = \frac{M_t}{1000} = 2.453 \times 10^3$$

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} – дозвоњен 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 нашем 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}]

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

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 [/]

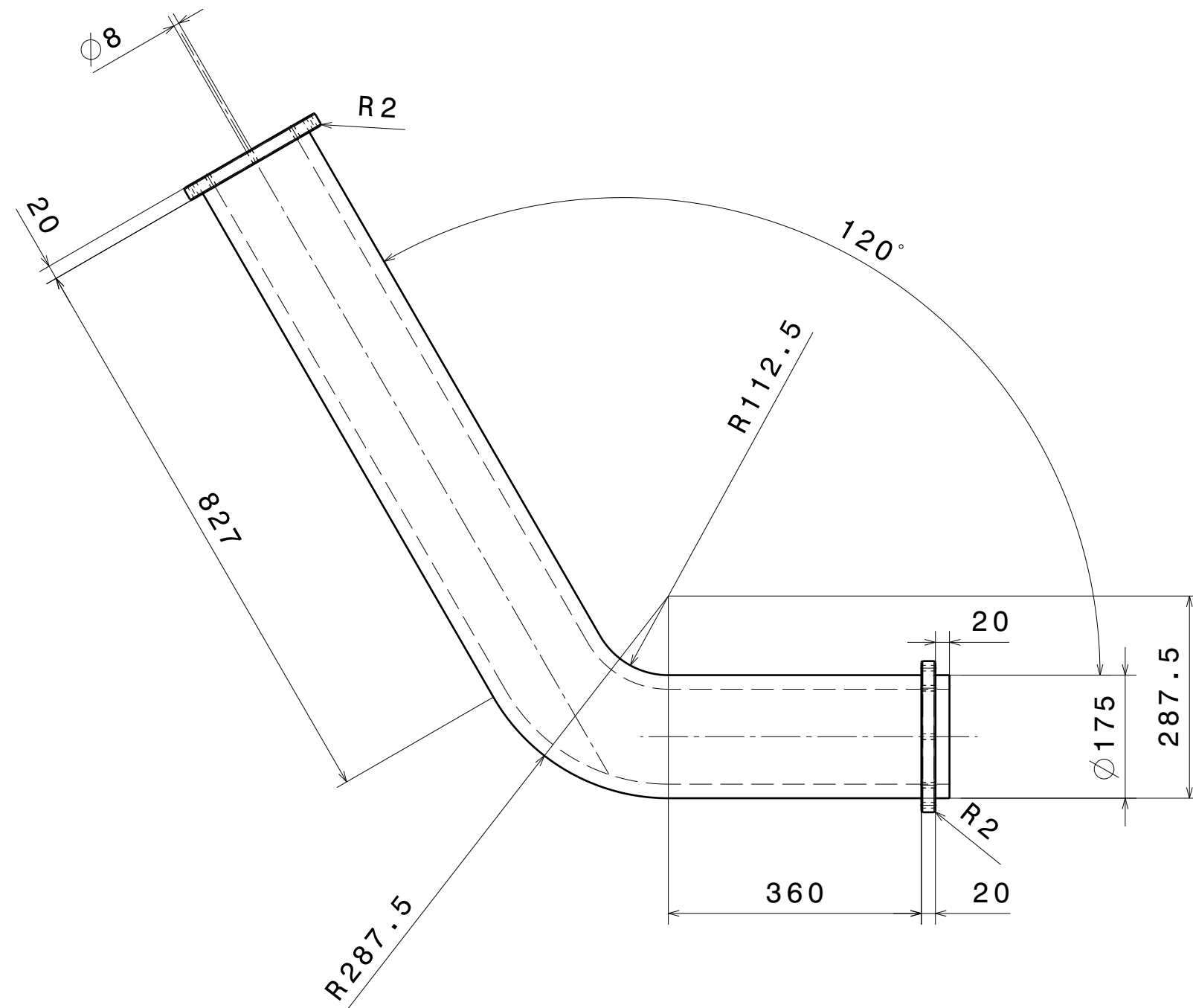
$$\tau_{din} = \tau \cdot S_s = 57.128$$

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

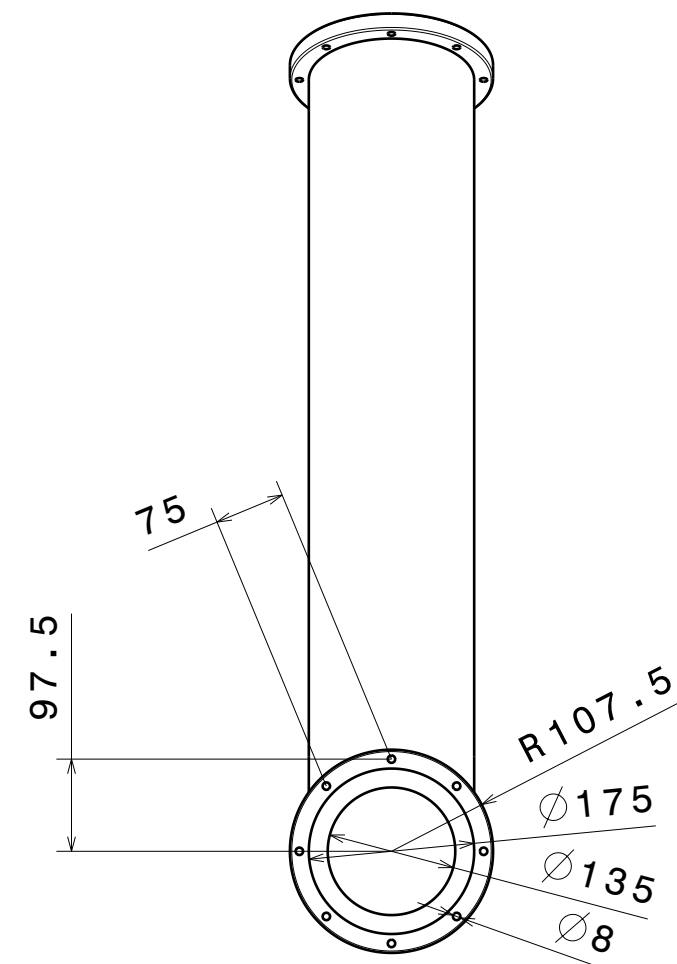
$$L_n = 3 \cdot d_u = 285$$

L_n – дужина наглавка [mm]

Прилог 2

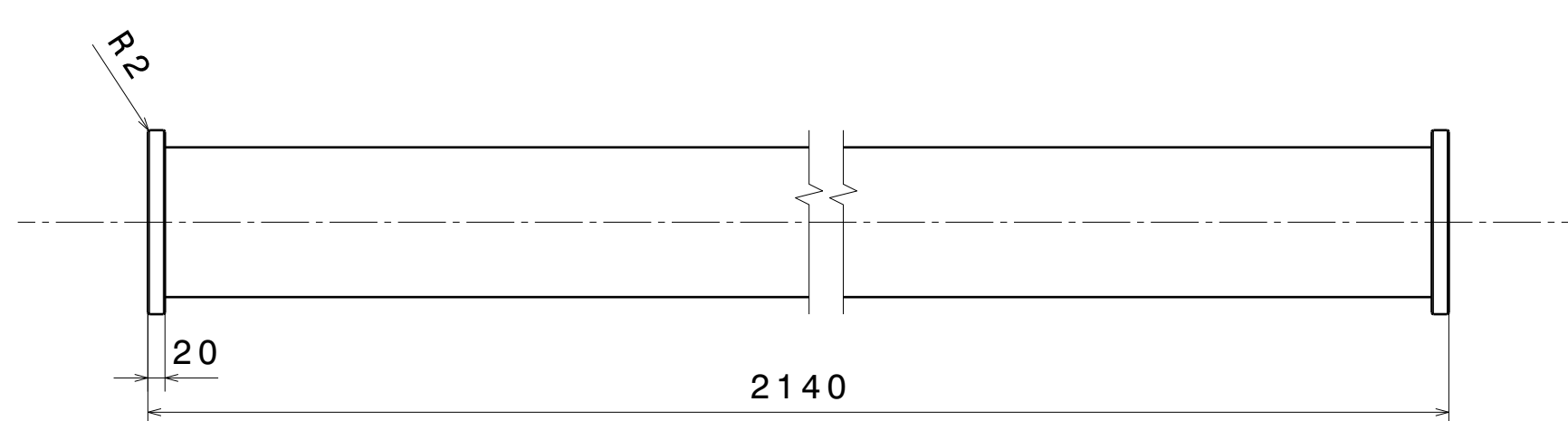


Pogled spreda
Razmera: 1:8

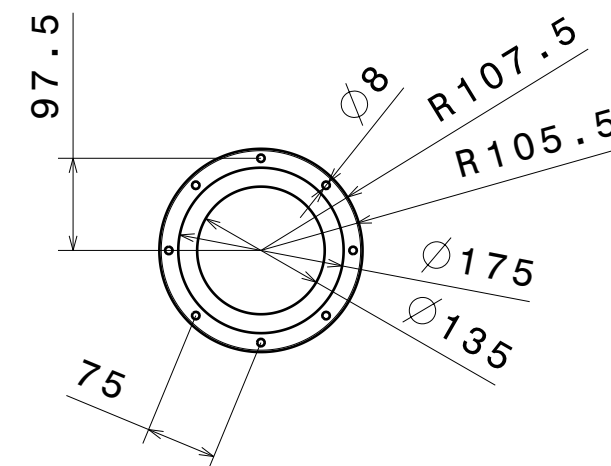


Pogled sa strane
Razmera: 1:8

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:

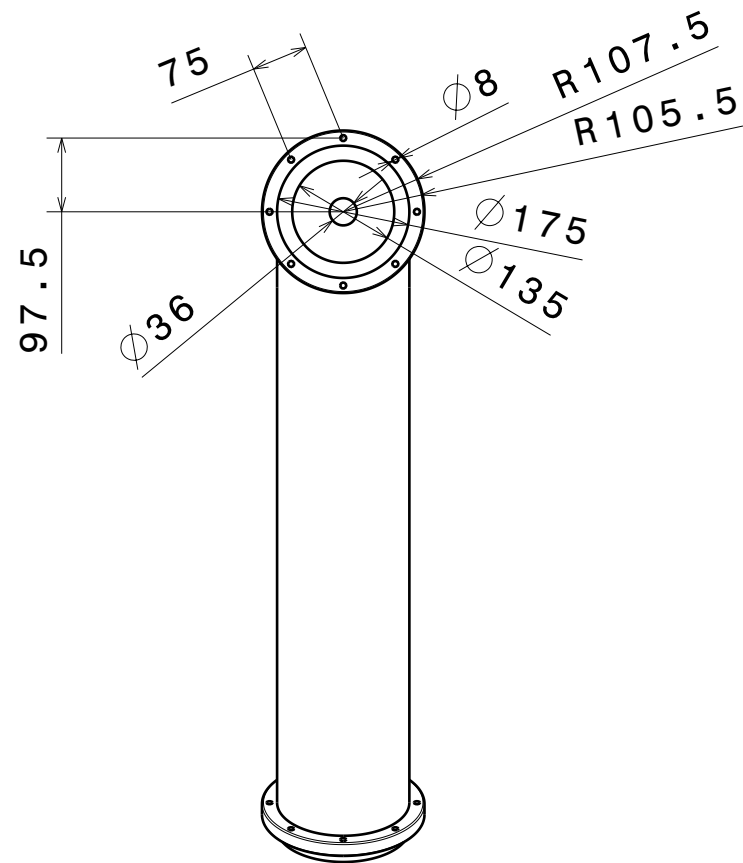


Pogled spreda
Razmera: 1:8

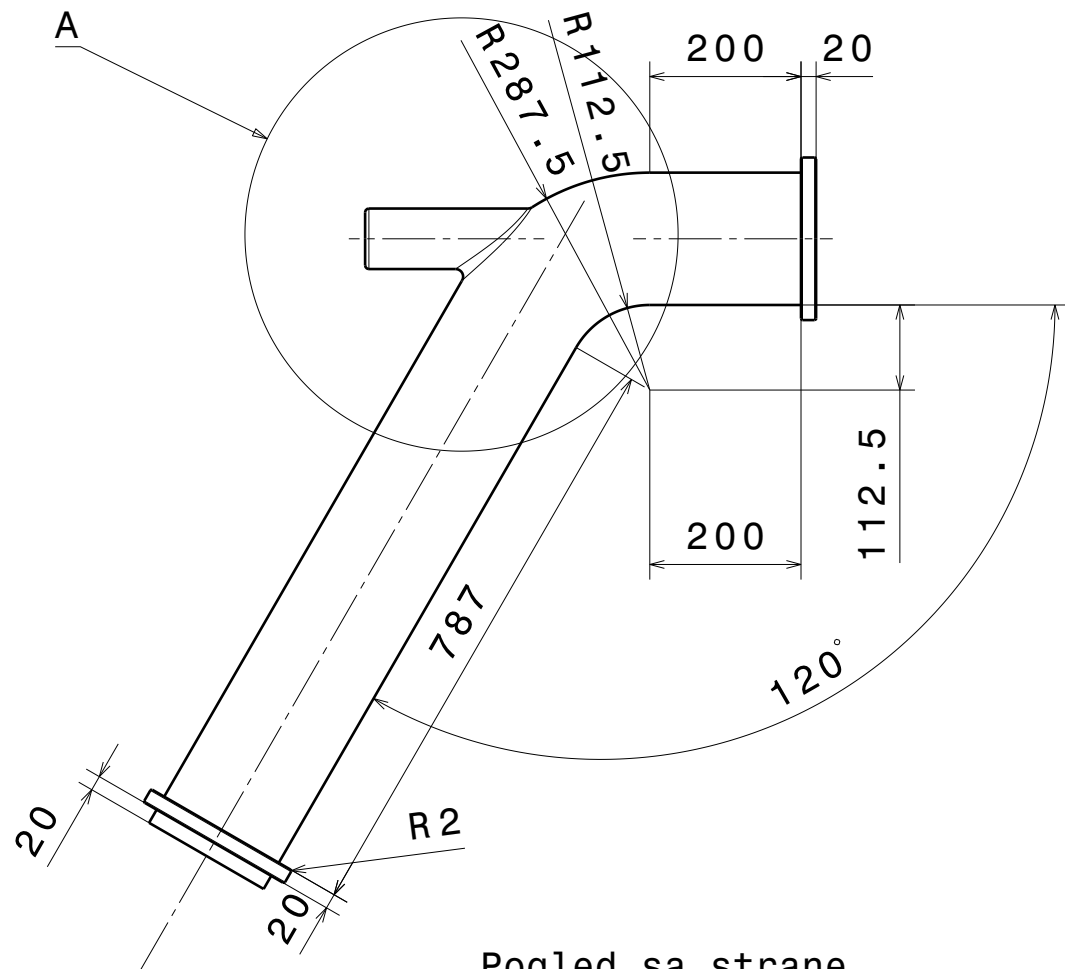


Pogled sa strane
Razmera: 1:8

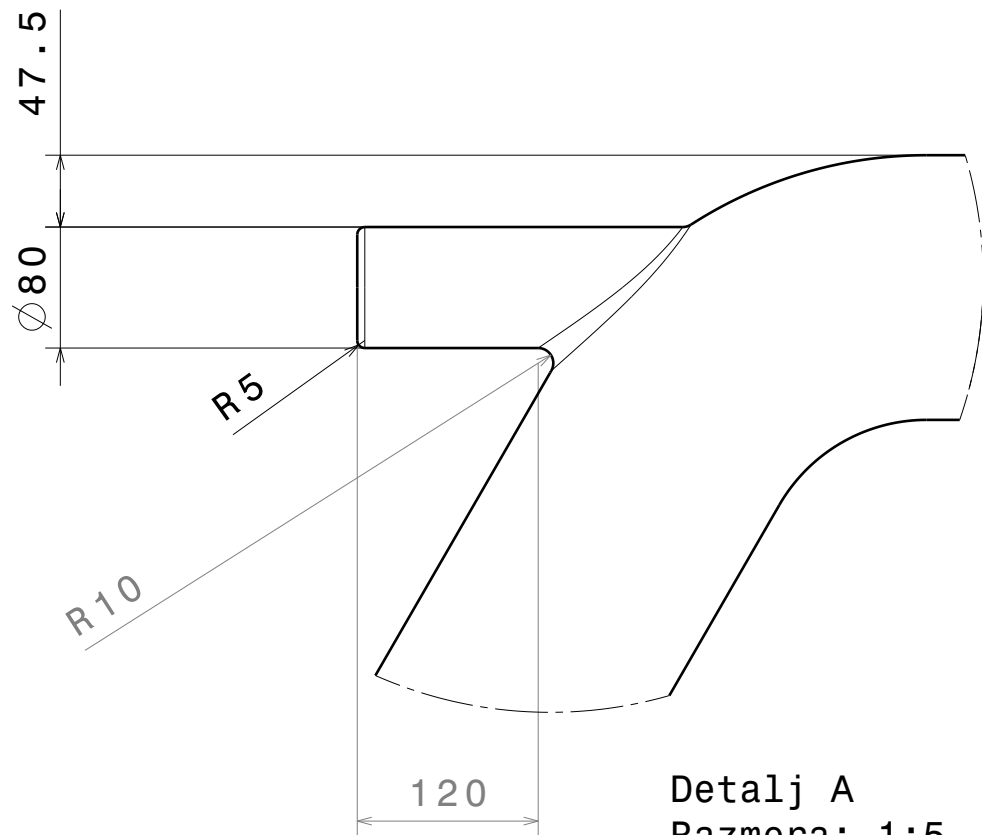
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita					
Materijal							Termicka obrada					
									Masa	Razmera		
				Datum			Naziv: Dovodni cevovod mlaznice 2					
				Obrad.								
				Stand.								
				Odobr.								
							Oznaka:			List:		
											L	
St.i	Izmene	Datum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



Pogled spreda
Razmera: 1:10

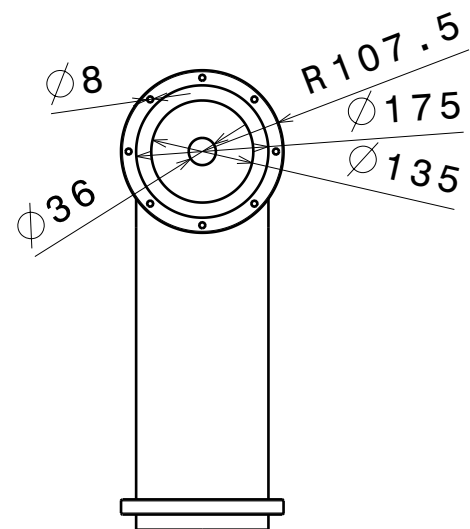


Pogled sa strane
Razmera: 1:10

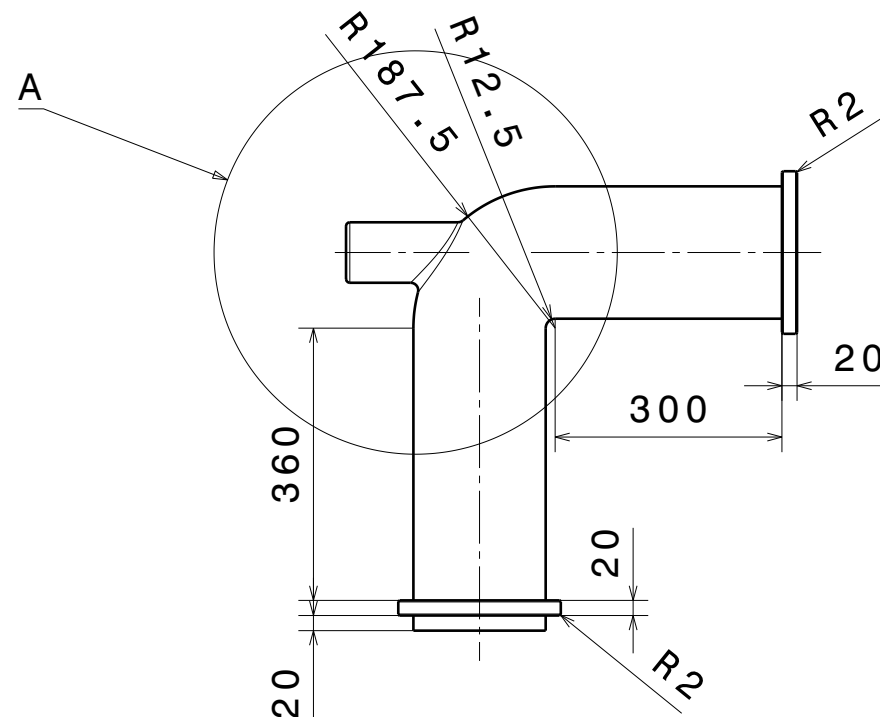


Detalj A
Razmera: 1:5

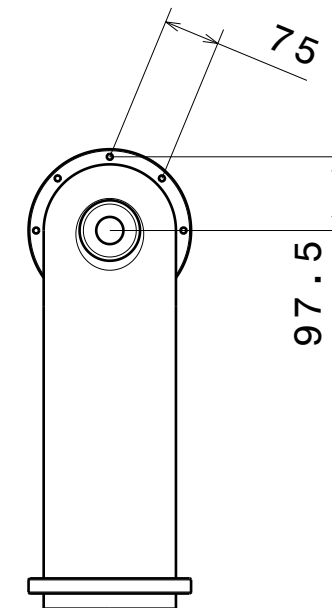
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita				
Materijal							Termicka obrada				
									Masa	Razmera	
					Datum			Naziv: 			



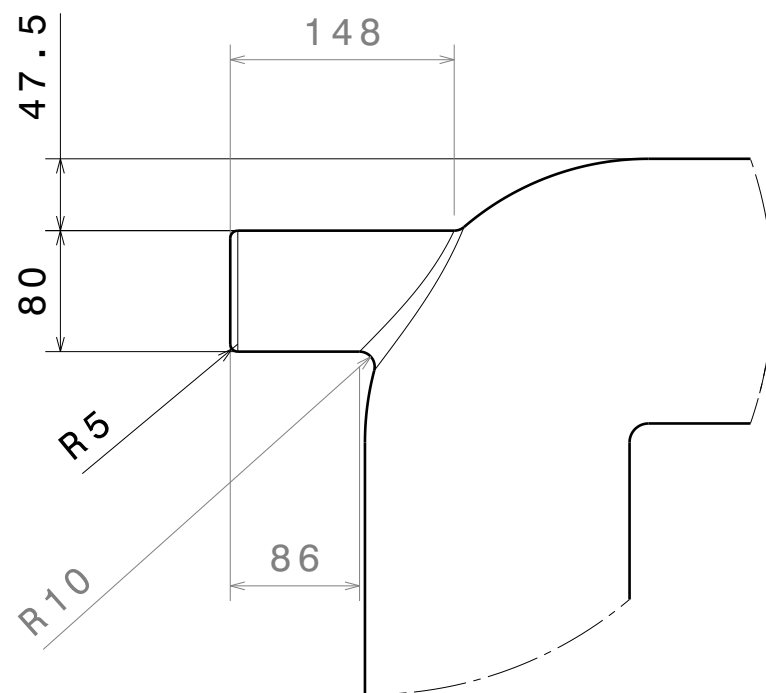
Pogled spreda
Razmera: 1:10



Pogled sa strane
Razmera: 1:10

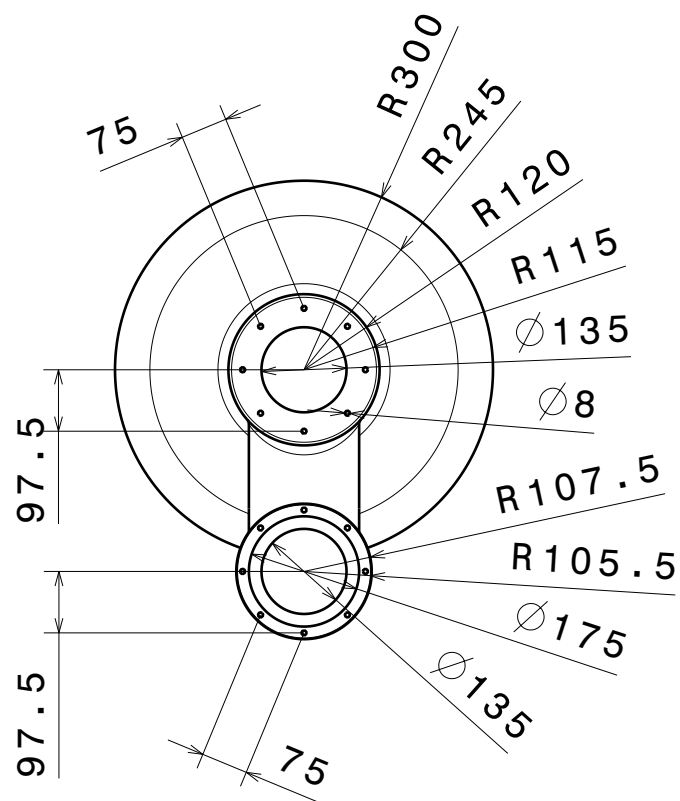


Pogled odpozadi
Razmera: 1:10

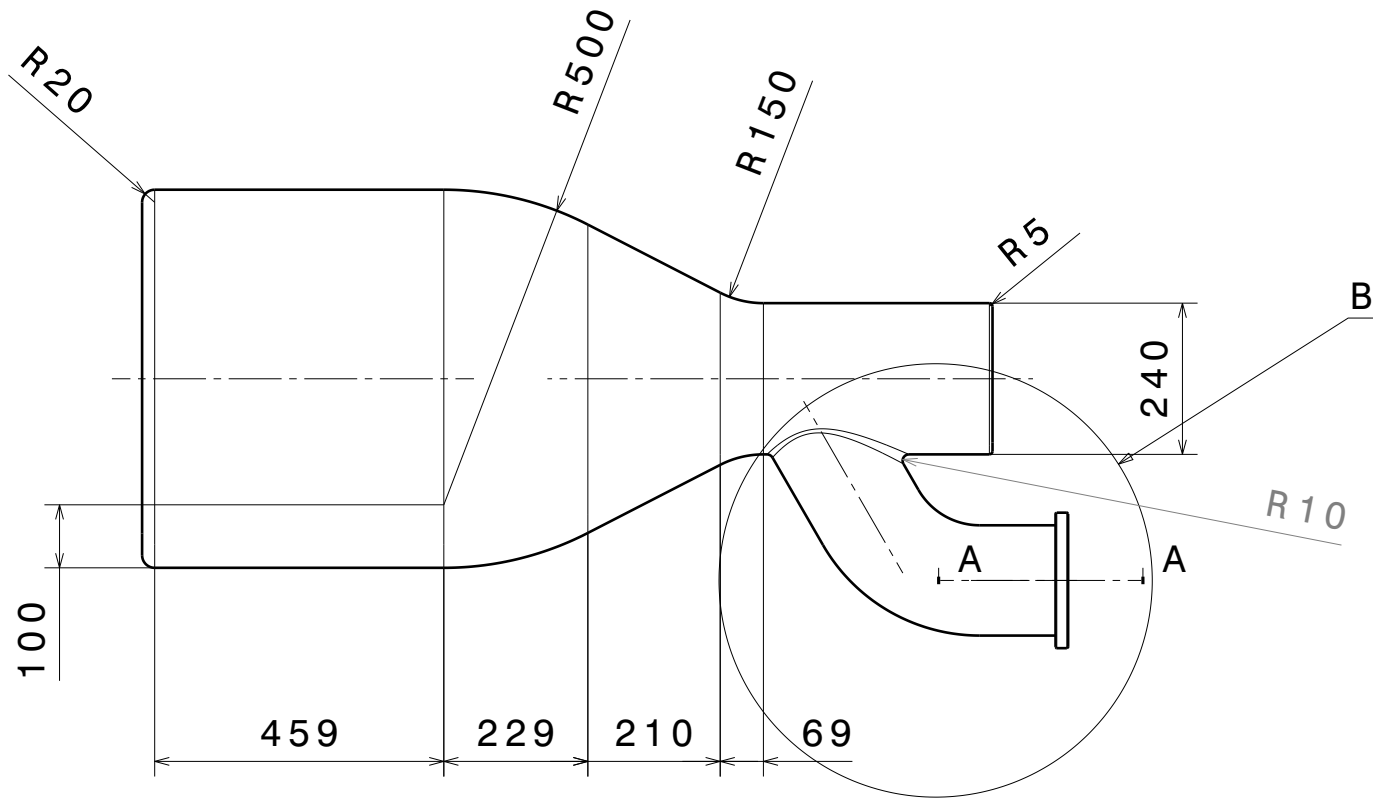


Detalj A
Razmera: 1:5

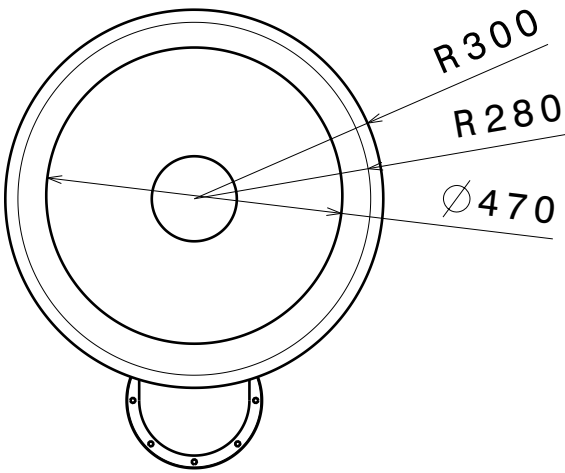
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita					
Materijal							Termicka obrada					
									Masa	Razmera		
				Datum			Naziv: Krivina cevovoda mlaznice broj 2					
				Obrad.								
				Stand.								
				Odobr.								
							Oznaka:			List:		
							Izv.pod.			Zamena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



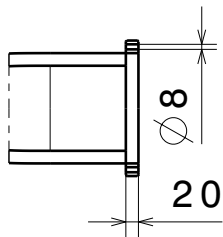
Pogled spreda
Razmera: 1:12



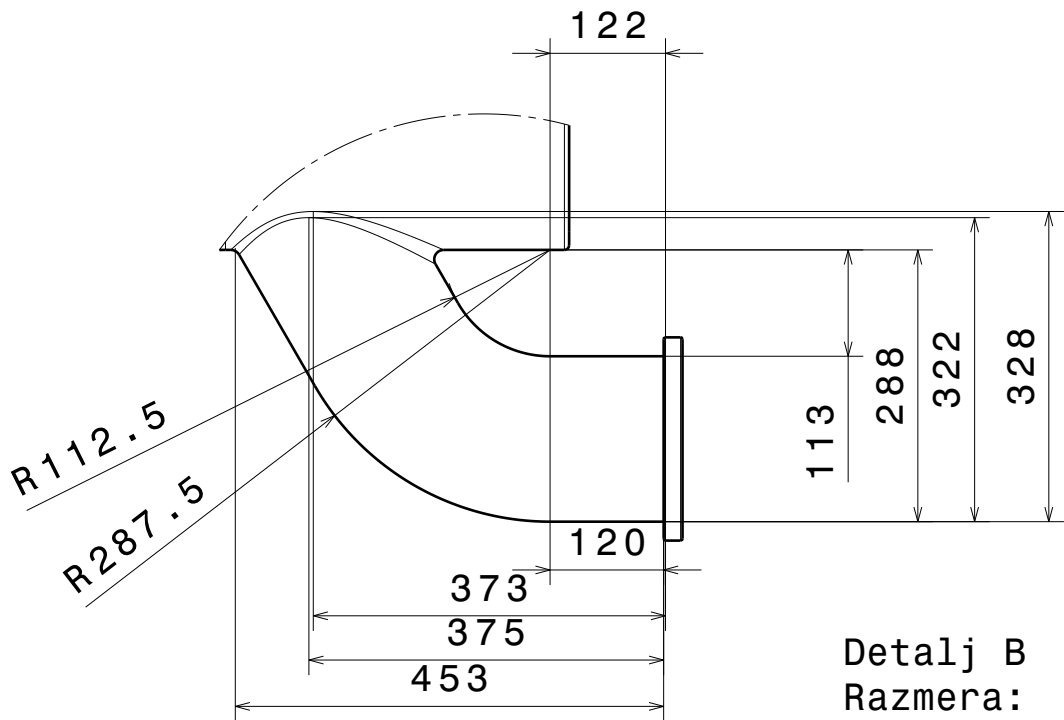
Pogled sa strane
Razmera: 1:12



Pogled odpozadi
Razmera: 1:12

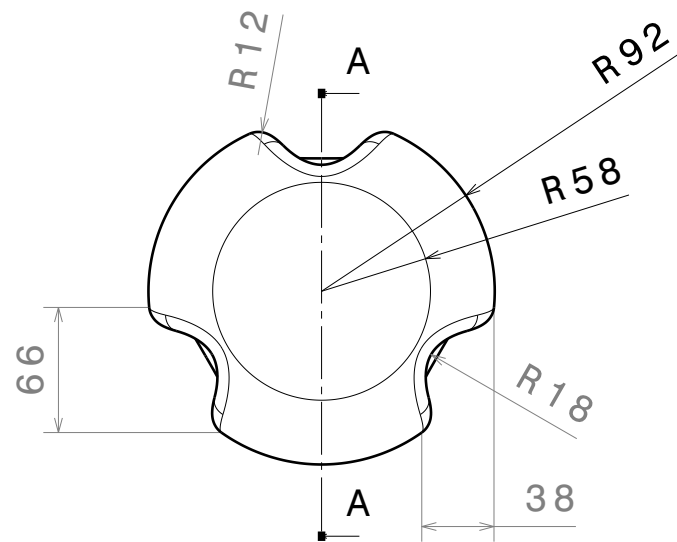


Presek A-A
Razmera: 1:12

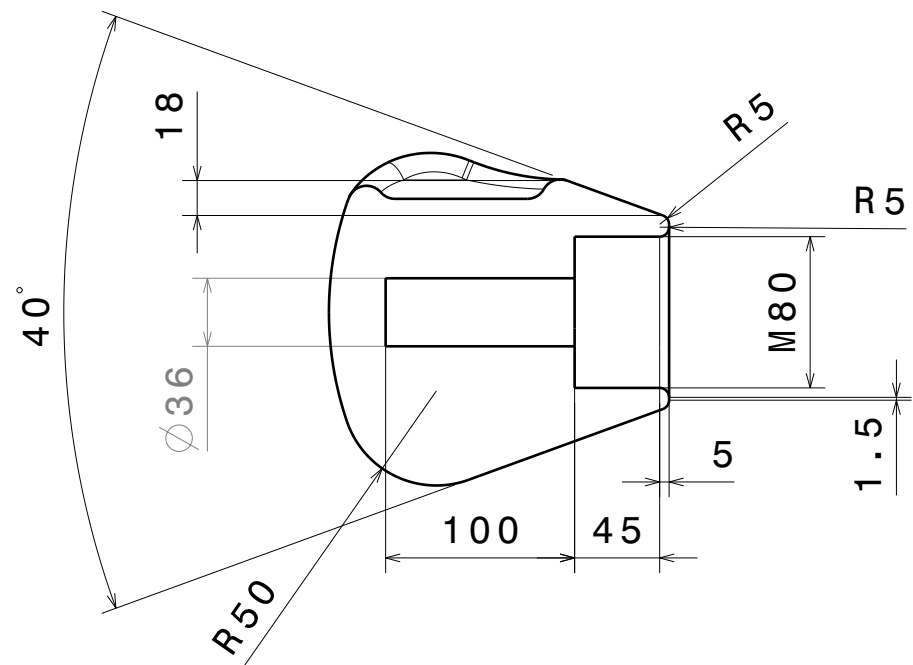


Detalj B
Razmera: 1:8

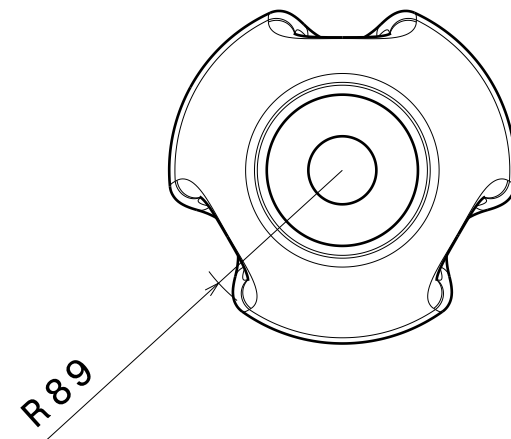
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita						
Materijal							Termicka obrada						
									Masa	Razmera			
				Datum			Naziv: Spoj dovodnih cevi						
				Obrad.									
				Stand.									
				Odobr.									
							Oznaka:				List:		
													L
St.i	Izmene	Datum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



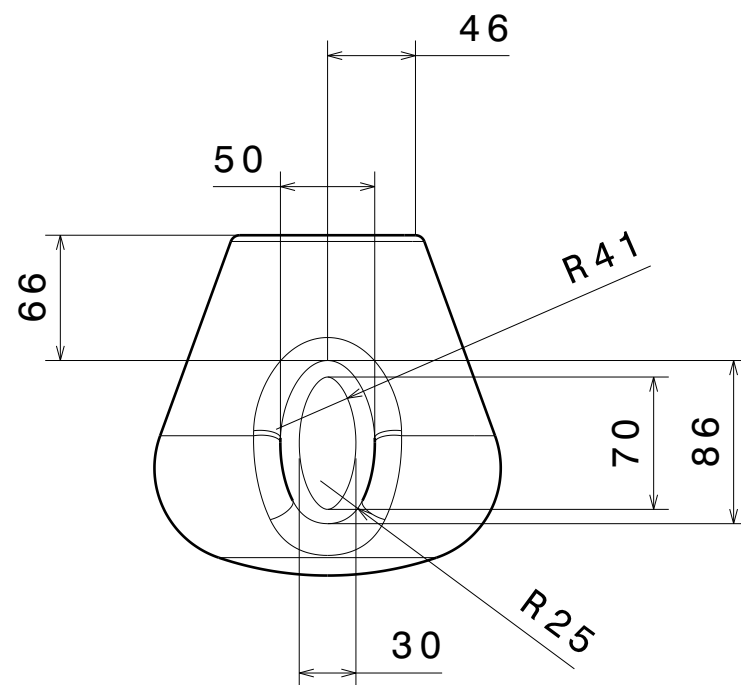
Pogled spreda
Razmera: 1:4



Presek A-A
Razmera: 1:4

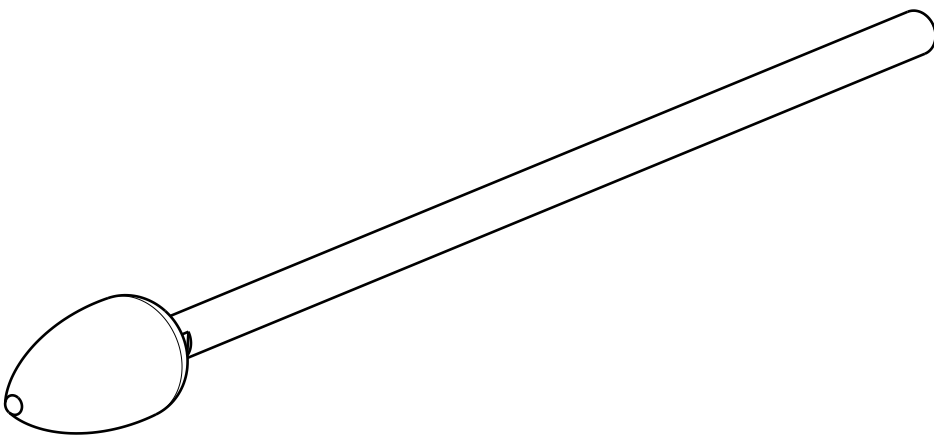
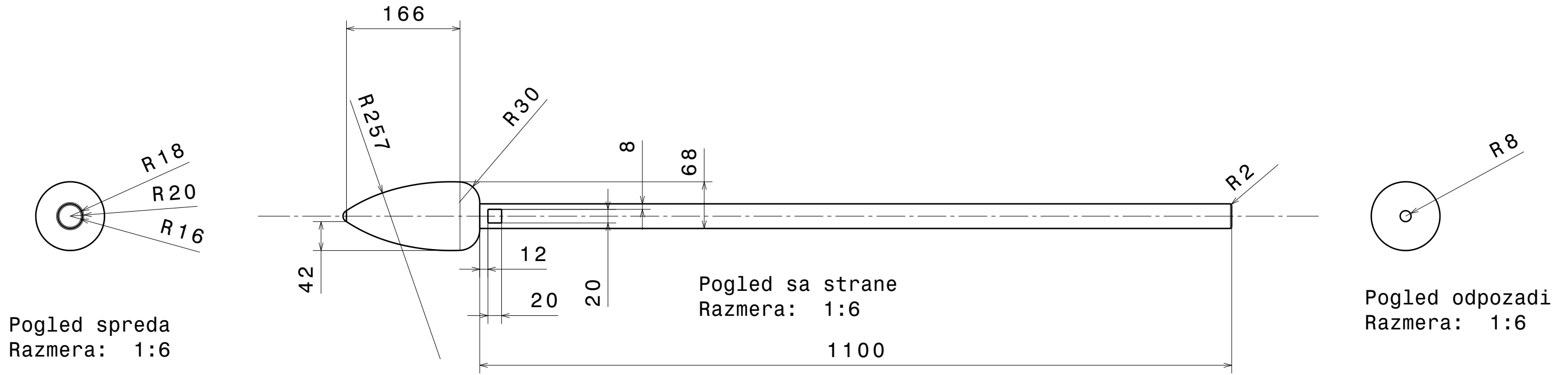


Pogled odpozadi
Razmera: 1:4



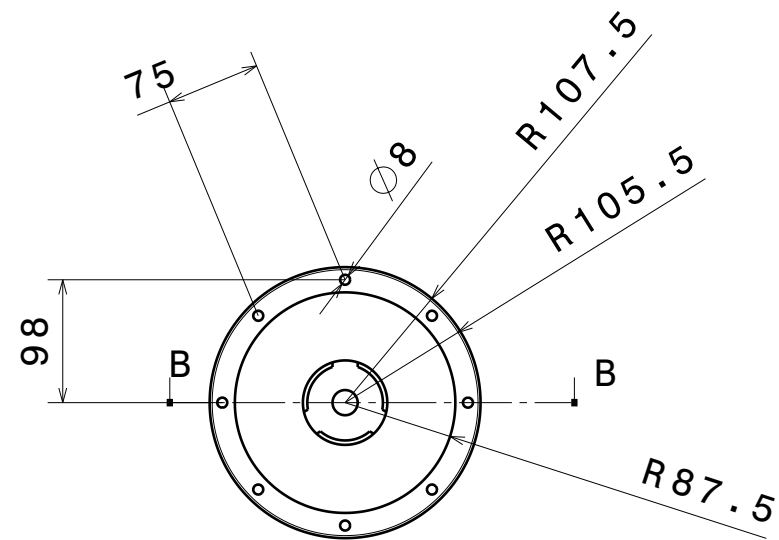
Pogled odozgo
Razmera: 1:4

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

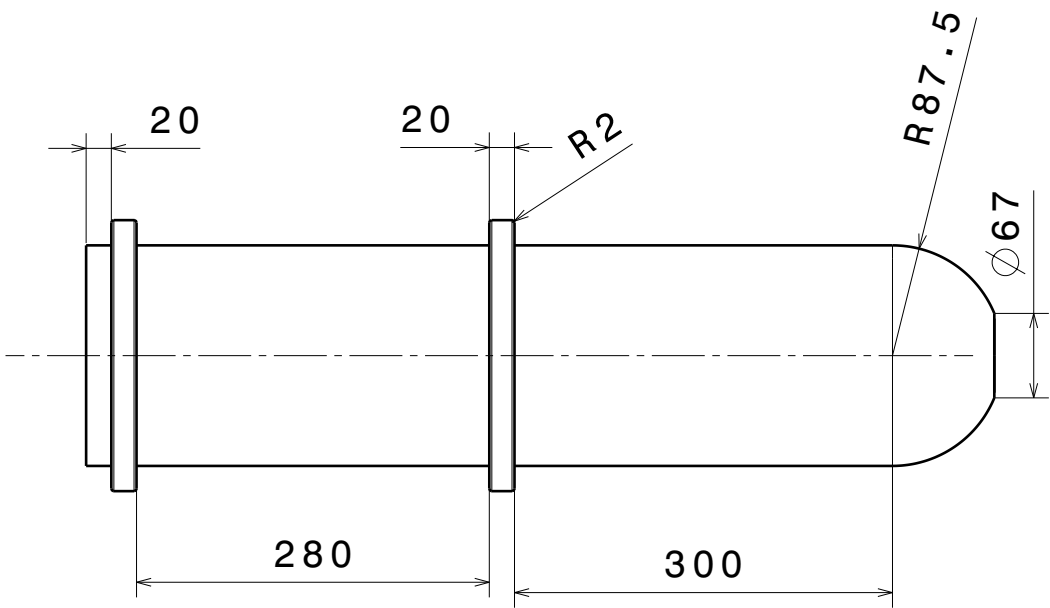


Izometrijski pogled
Razmera: 1:6

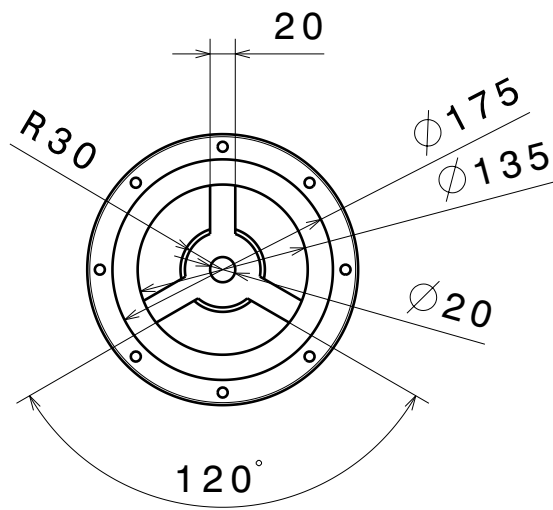
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita					
Materijal							Termicka obrada					
									Masa	Razmera		
				Datum			Naziv: Koplje					
				Obrad.								
				Stand.								
				Odobr.								
							Oznaka:				List:	
												L
St.i	Izmene		Datum	Ime				Izv.pod.	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



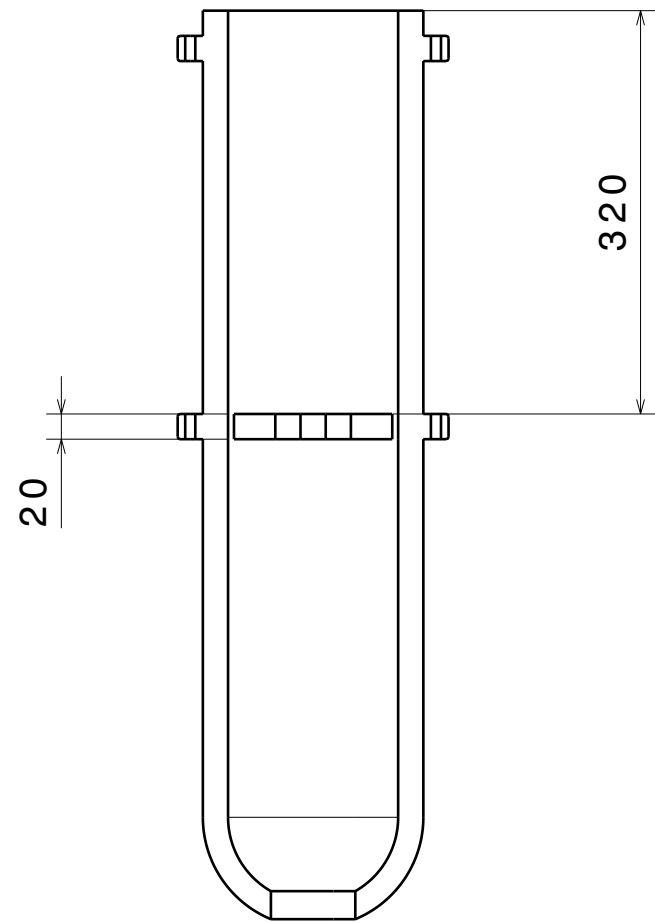
Pogled spreda
Razmera: 1:6



Pogled sa strane
Razmera: 1:6

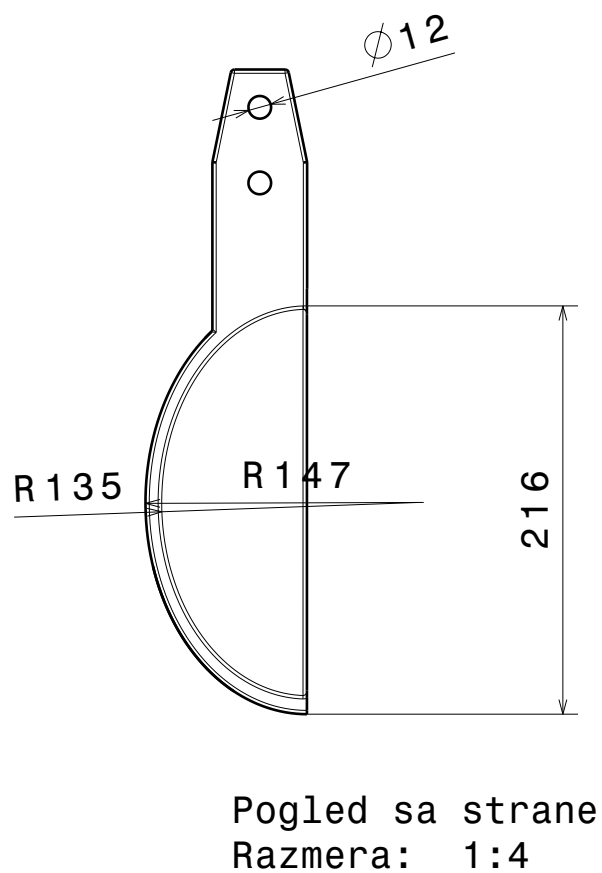
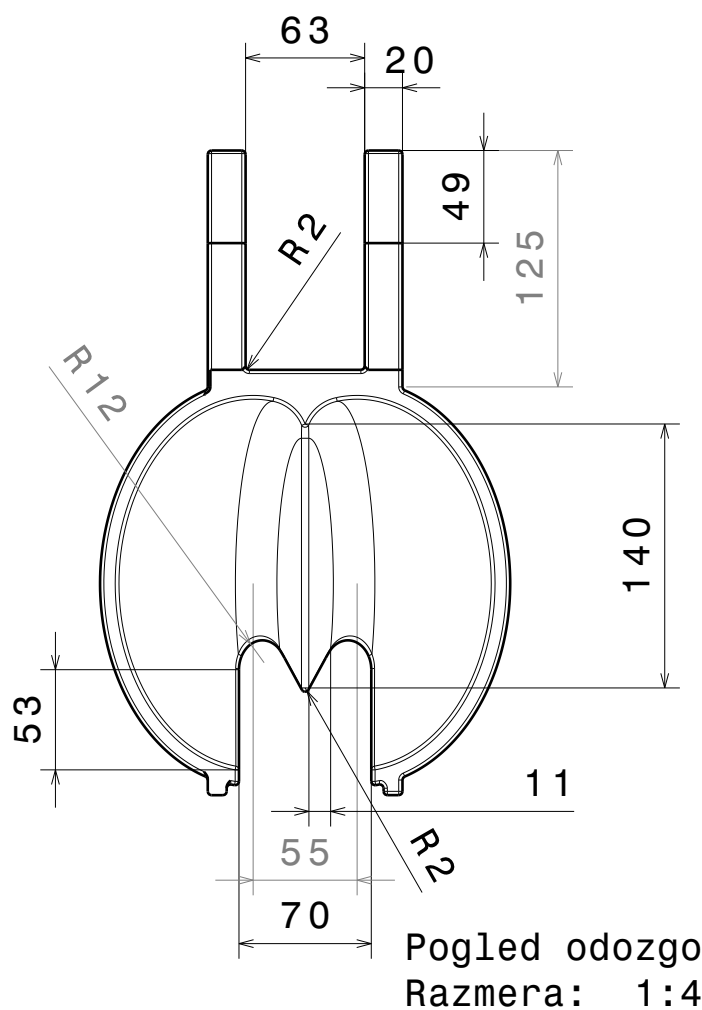
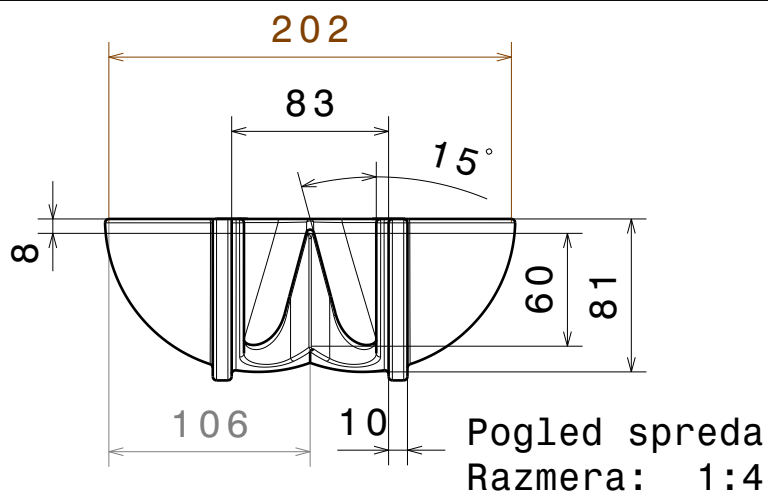


Pogled odpozadi
Razmera: 1:6

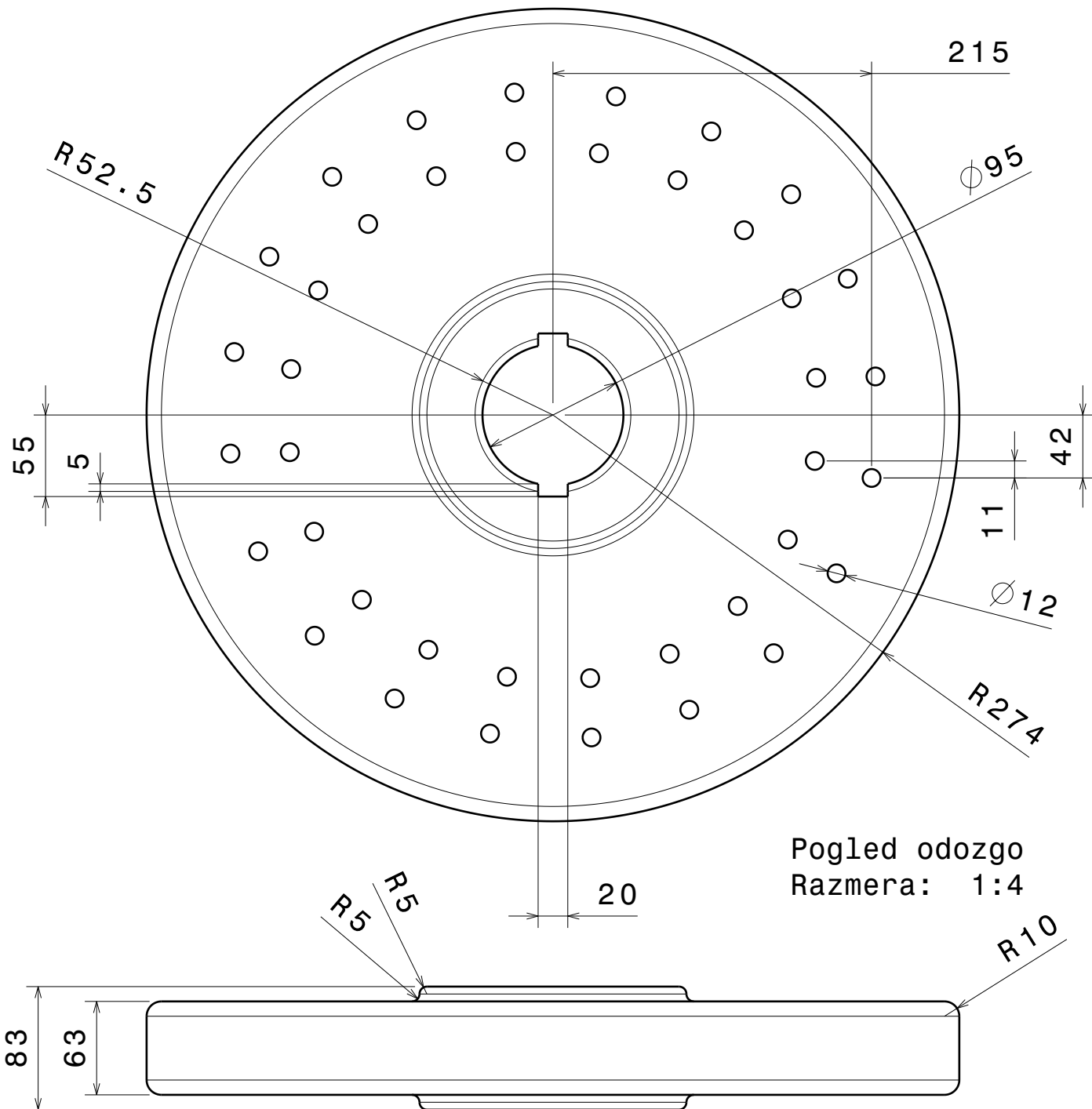


Presek B-B
Razmera: 1:6

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



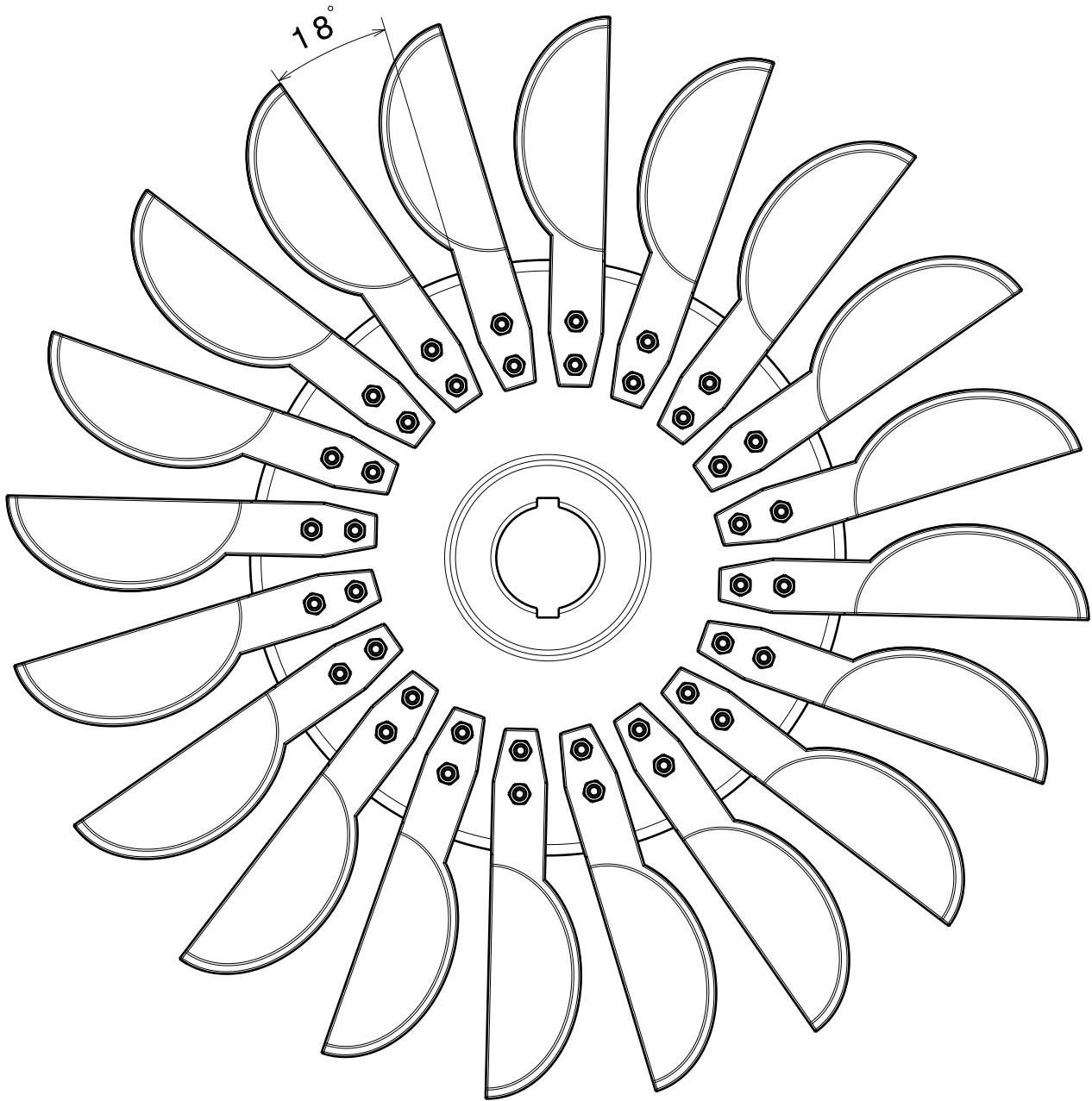
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita				
Materijal				Č1330				Termicka obrada				
										Masa	Razmera	
				Datum			Naziv Lopatica radnog kola					
				Obrad								
				Stand								
				Odobr			Oznaka					
St.i	Izmene	Datum	Ime					Izv.pod.			Zamena za:	List
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



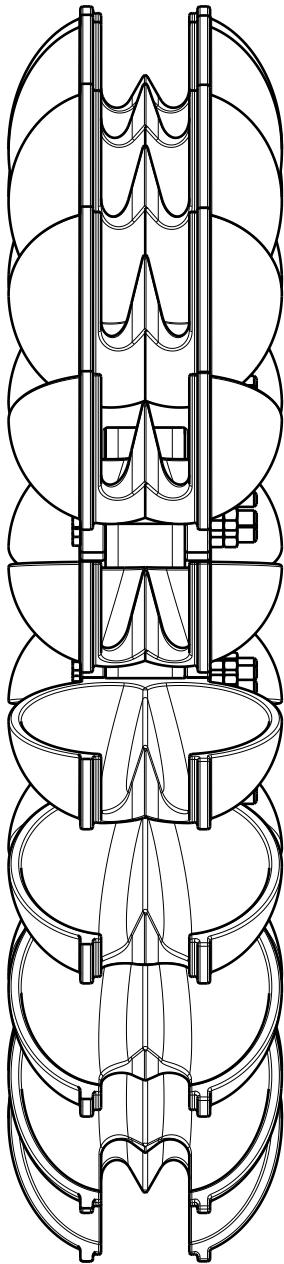
Pogled odozgo
Razmera: 1:4

Pogled spreda
Razmera: 1:4

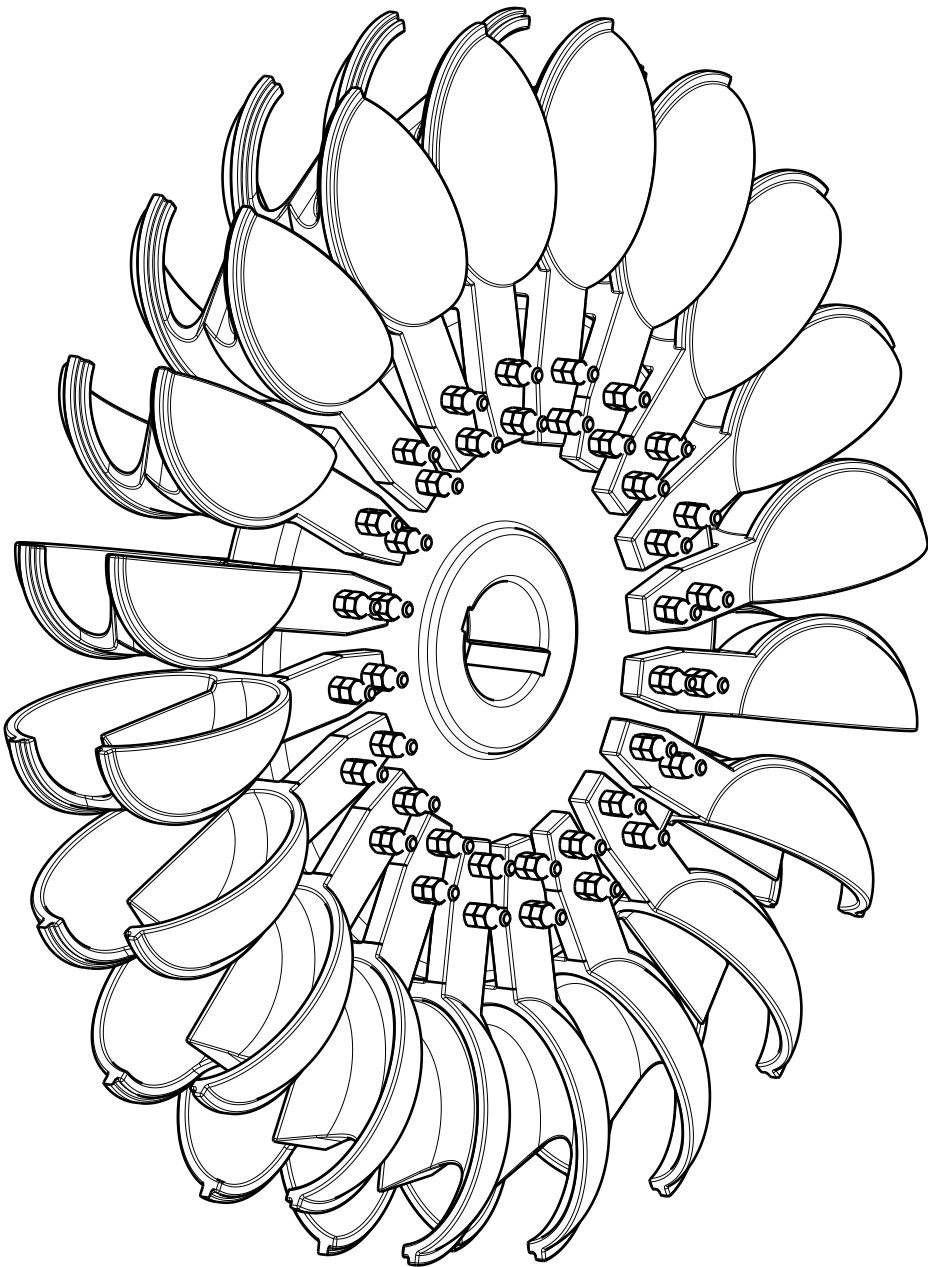
Tolerancija slobodnih mera				Povrsinska hrapavost				Povrsinska zastita							
Materijal								Č1330				Termicka obrada			
										Masa		Razmera			
						Datum		Naziv Osnova radnog kola							
					Obrad										
					Stand										
					Odobr										
								Oznaka				List			
												L	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



Pogled spreda
Razmera: 1:6

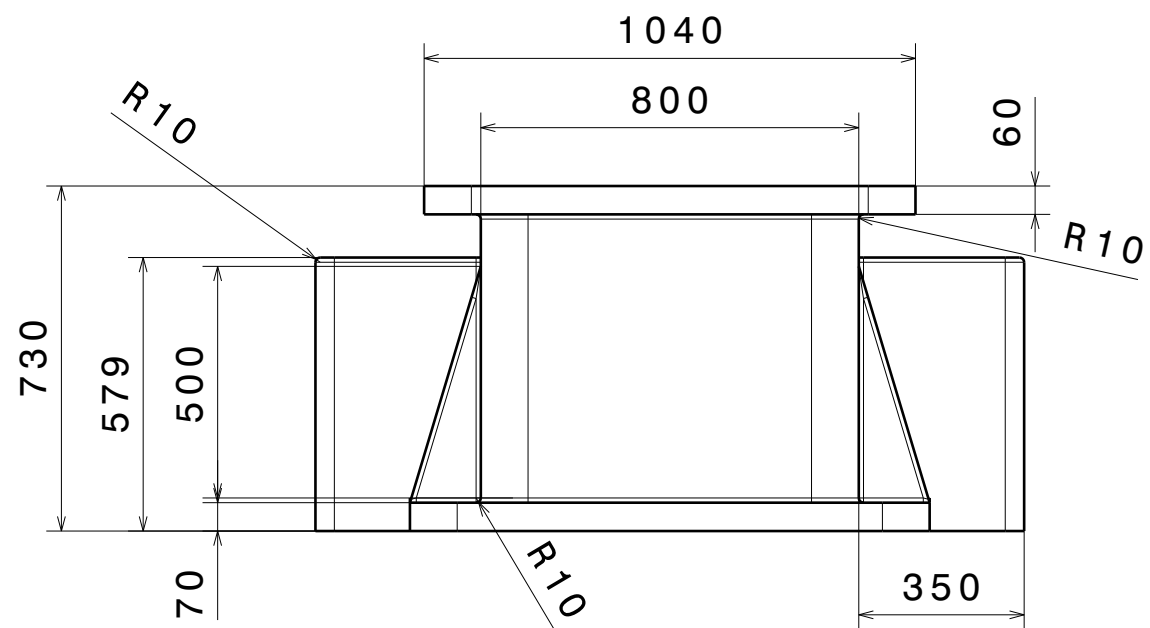


Pogled sa strane
Razmera: 1:6

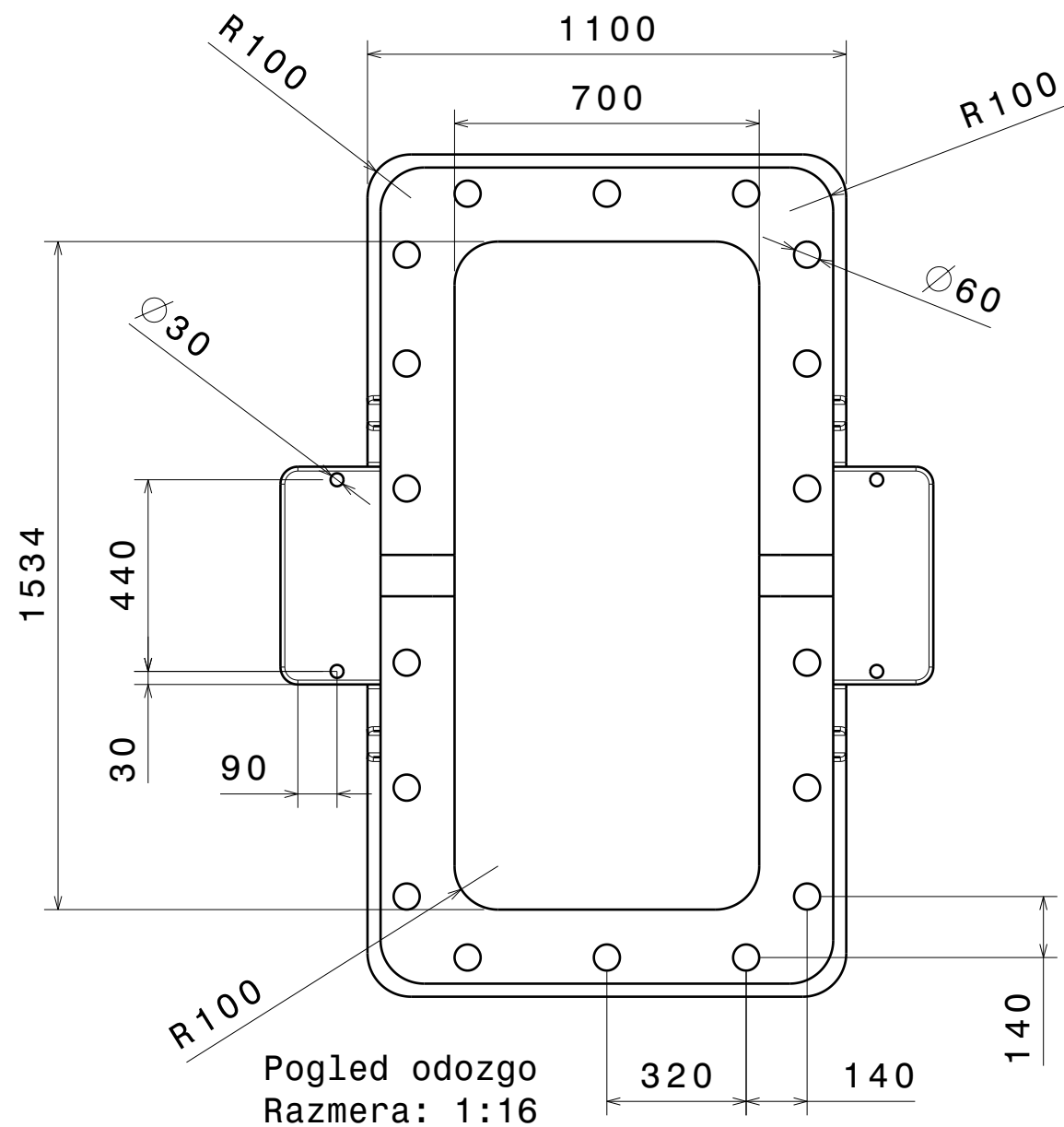


Izometrijski pogled
Razmera: 1:6

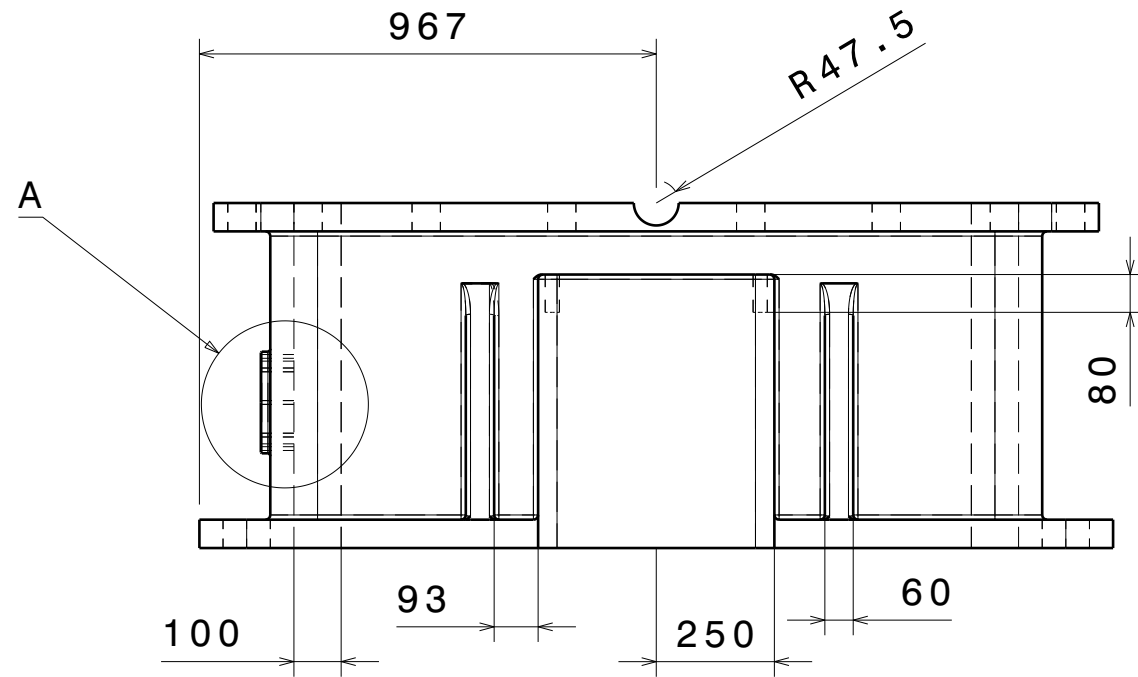
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita				
Materijal							Termicka obrada				
									Masa	Razmera	
				Datum			Naziv: Radno kolo				
				Obrad.							
				Stand.							
				Odobr.							
							Oznaka:			List:	
										L	
St.i	Izmene	Datum	Ime							Izv.pod.	



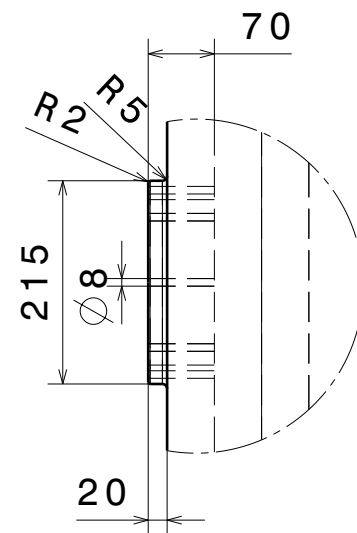
Pogled spreda
Razmera: 1:16



Pogled odozgo
Razmera: 1:16

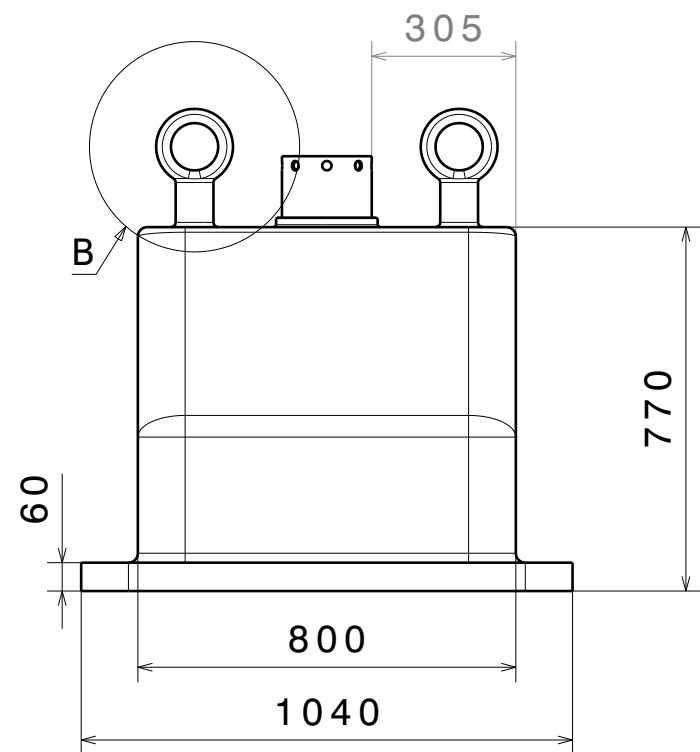


Pogled sa strane
Razmera: 1:16

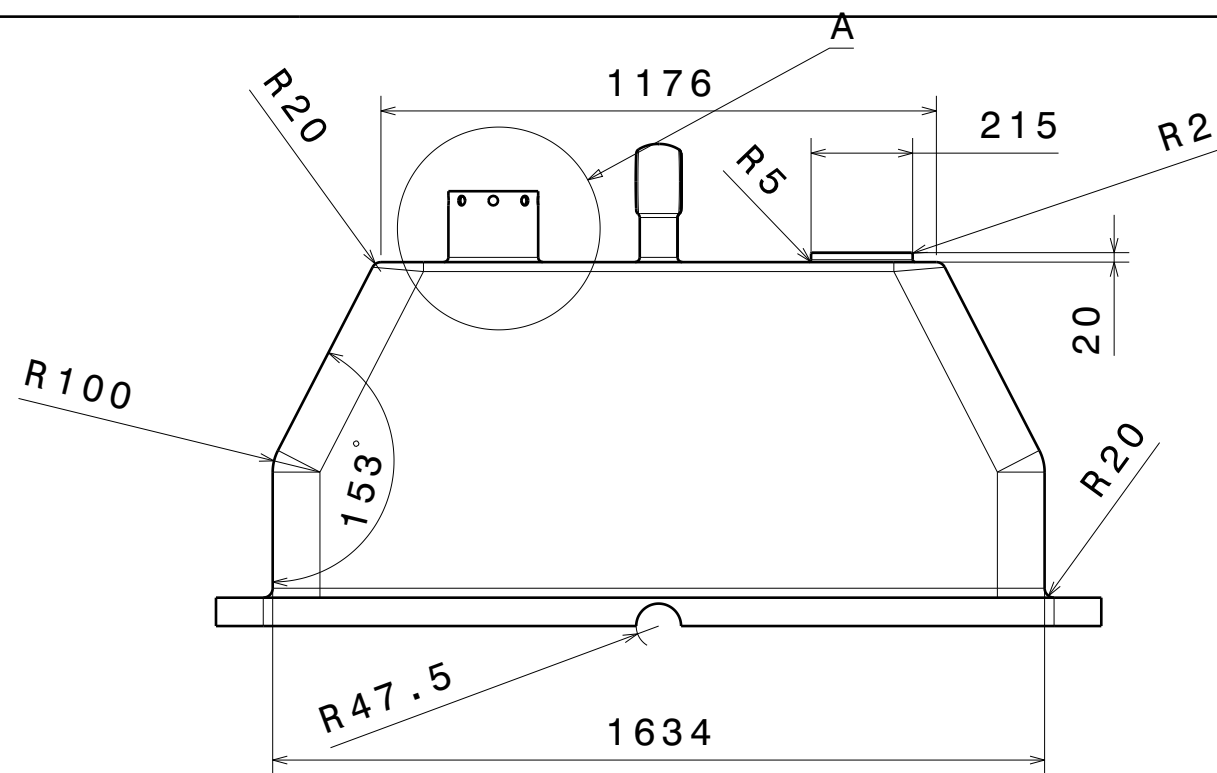


Detalj A
Razmera: 1:16

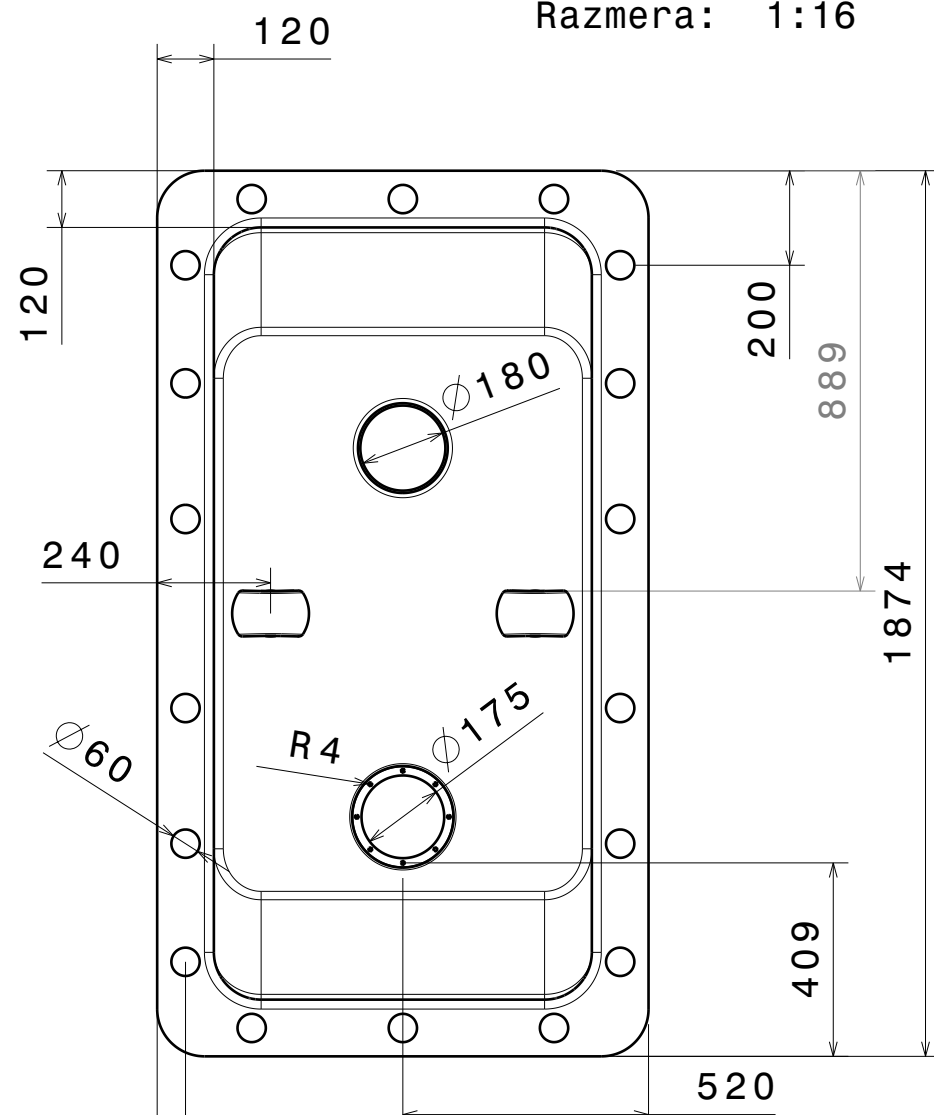
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita						
Materijal							Termicka obrada						
									Masa	Razmera			
					Datum			Naziv: Kuciste turbine - dno					
					Obrad.								
					Stand.								
					Odobr.								
								Oznaka:		List:			
										L			
St.i	Izmene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



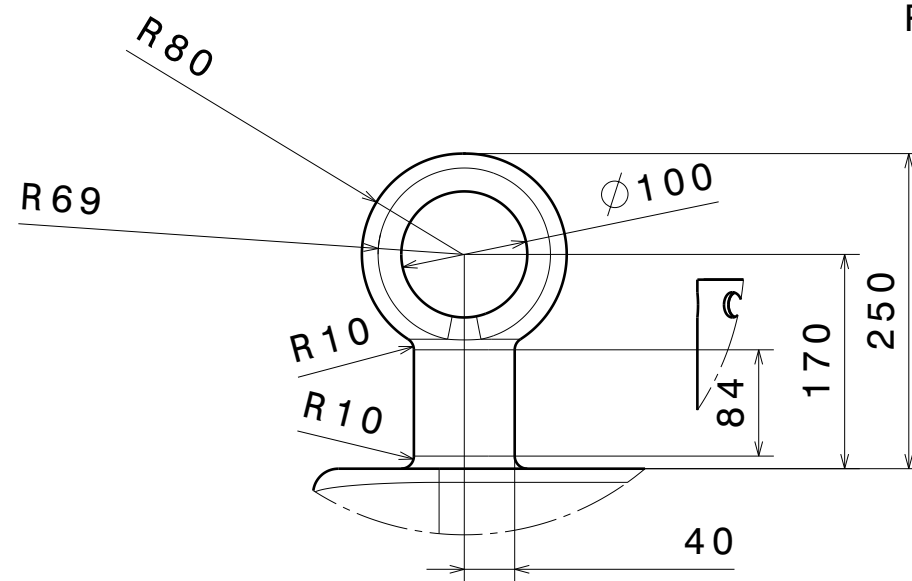
Pogled spreda
Razmera: 1:16



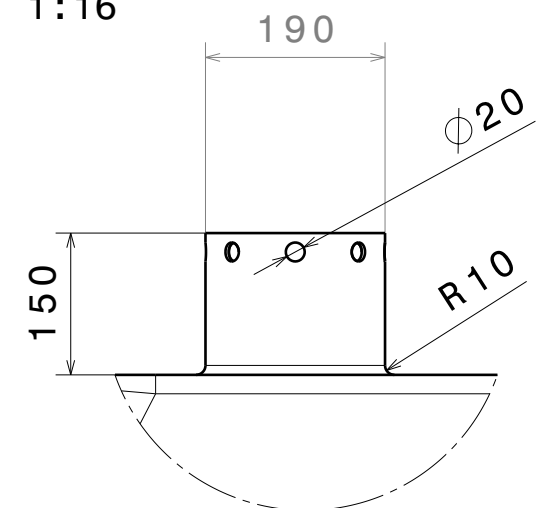
Pogled sa strane
Razmera: 1:16



Pogled odozgo
Razmera: 1:16

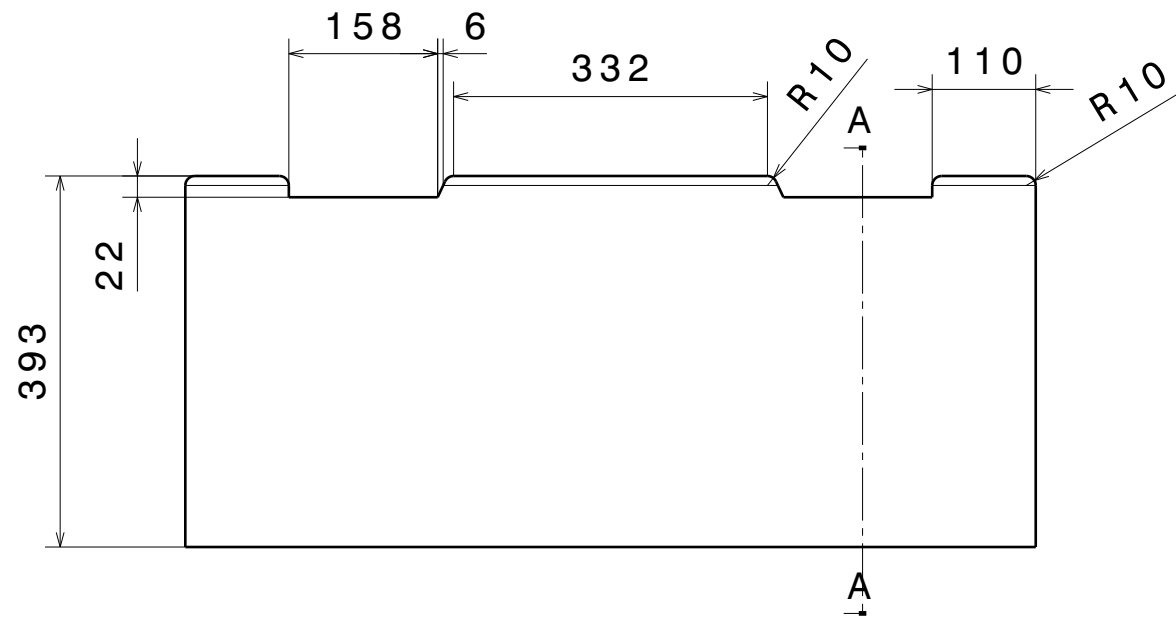


Detalj B
Razmera: 1:6

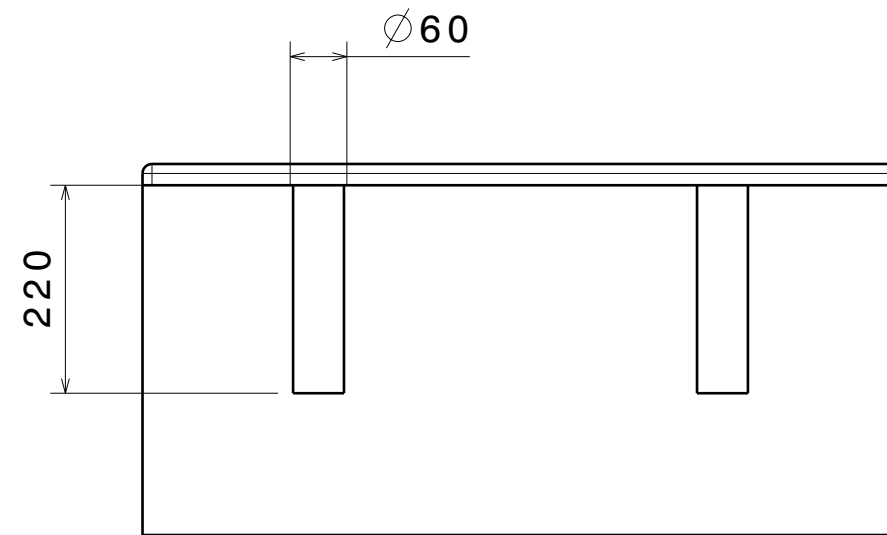


Detalj A
Razmera: 1:8

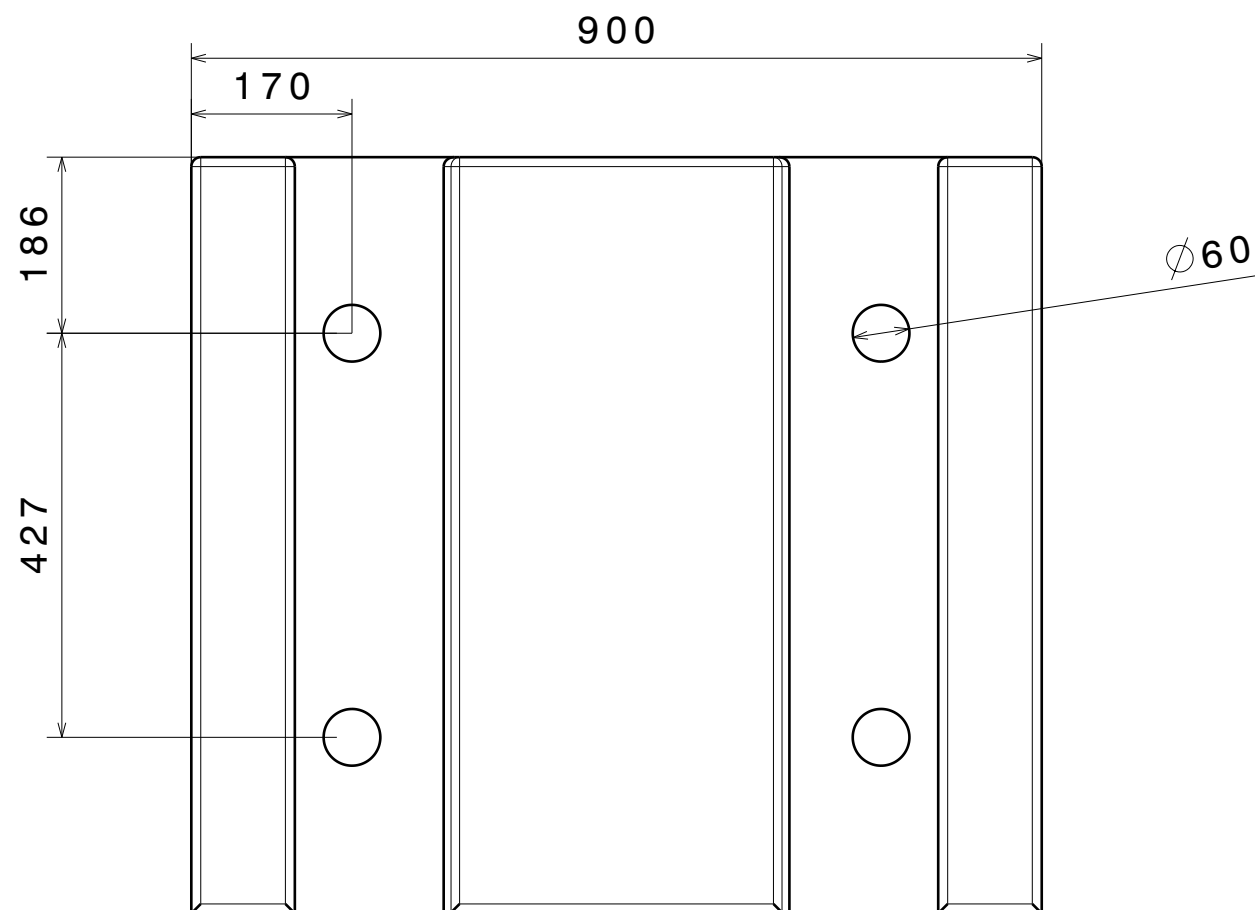
Tolerancije slobodnih mera				Povrsinska hrapavost			Povrsinska zastita						
Materijal							Termicka obrada						
									Masa	Razmera			
				Datum			Naziv: Kuciste turbine - vrh						
				Obrad.									
				Stand.									
				Odobr.									
							Oznaka:			List:			
										L			
St.i	Izmene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



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:		