



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Обновљиви извори енергије 2

Број индекса: 346/2011

Милан М. Павловић

**Пројектовање мале хидроелектране „Ковиљача“
на реци Млави
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Душан Гордић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

Препоручена литература:

- [1] Layman's Guidebook: On how to develop a small hydro site, ESHA, 2004
- [2] Ристић Б.: Хидромашинска опрема, Научна књига, Београд, 1996.
- [3] Ђорђевић Б.: Коришћење водних снага, објекти хидроелектрана, Научна књига, Београд, 1984.
- [4] Белорусский Национальный Технический Университет: Здание гэс, Минск, 2005.

Крагујевац, 09.02.2013 год.

ментор:

др Душан Гордић, редовни професор

Резиме

Циљ рада је да се за малу хидроелектрану „Ковиљача“ на реци Млави, која се налази у Катастру малих хидроелектрана Србије изврши анализа расположивих вода на основу којих ће се извршити хидромашински пројекат мале хидроелектране и утврдити могућа годишња производња електричне енергије.

У првом делу рада говори се о хидроенергији као обновљивом извору енергије са математичким основама и основним законима водне хидраулике. Такође, овај део описује основне поделе и класификације малих хидроелектрана.

Други део рада обухвата хидролошке анализе расположивих вода са одређивањем варијације протока током године.

Након извршених хидролошких анализа, у трећем делу, извршен је хидромашински прорачун где је дефинисана снага постројења, врста и тип агрегата, губици снаге и степени корисности. Након чега је дефинисана годишња производња електричне енергије.

У четвртм делу по завршеном хидромашинском прорачуну, на основу добијене снаге на вратилу турбине извршен је избор генератора и остале електро опреме која је саставни део постројења.

На крају рада, у седмом и осмом поглављу, дат је приказ хидротехничких грађевина и приказана је економска анализа где су обрађена инвестициона улагања, трошкови одржавања и економска добит на основу чега је одређено време повратка инвестиционих улагања.

Кључне речи: хидроенергија, мале хидроелектране, Капланова турбина

Abstract

The aim of this paper is to analyze available water for small hydropower plant „Koviljača“ on the river Mlava, on the basis of which the hydro-mechanical project will be done in order to determine the potential annual production of electric power.

The first part of this paper deals with hydropower as renewable energy source with the mathematical basis and the basic laws of water hydraulics. Also, this section describes the basic divisions and classifications of small hydropower plants.

The second part comprises the hydrological analysis of available water with the determination of the flow variation during the year.

Upon completion of the hydrological analysis, in the third section, the hydro-mechanical calculation was performed, and the power of plant, type of aggregate, power losses and level of efficiency were defined, and after that the annual production of electric power was defined.

In the third part, after the hydro-mechanical calculations, based on the received power at the shaft of the turbine, the generator and other electrical equipment, that is an integral part of the plant, were selected.

At the end of the paper, in the seventh and eighth chapter, the overview of hydro technical structures and economic analysis were presented, and investments, maintenance costs and economic benefits were analyzed, based on which the time of payback of investments was determined.

Key words: hydropower, small hydropower, Kaplan turbines

Садржај

Резиме	3
УВОД	6
1. ХИДРОЕНЕРГИЈА - ОБНОВЉИВ ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ	7
1.1 Енергетско-технички потенцијал хидроенергије.....	7
2. ОСНОВИ ХИДРОЕНЕРГЕТИКЕ	9
2.1 Хидрауличка енергија воде.....	9
2.2 Једначина континуитета (једначина протока).....	10
2.3 Бернулијева једначина.....	10
2.4 Локални губици притиска.....	11
2.5 Енергијска једначина отвореног тока.....	12
2.6 Специфична енергија пресека.....	13
3. ДЕФИНИЦИЈА И ПОДЕЛЕ МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА	15
3.1 Дефиниција малих хидроелектрана.....	15
3.2 Проточне мале хидроелектране.....	16
3.3 Деривацијске мале хидроелектране.....	16
3.4 Акумулационе мале хидроелектране.....	17
3.4.1 Нископритисне мале хидроелектране са сифонским доводом.....	18
3.4.2 МХЕ интегрисане у канал за наводњавање.....	19
3.4.3 МХЕ уграђена у систем за водоснабдевање.....	19
3.5 Предности и мане малих хидроелектрана.....	20
4. ХИДРОЛОШКА АНАЛИЗА	22
4.1 Опис система.....	22
4.2 Основне карактеристике МХЕ „Ковиљача“.....	23
4.3 Анализа расположивих вода.....	24
4.4 Мале воде и биолошки минимум.....	27
5. ХИДРОМАШИНСКИ ПРОРАЧУН	29
5.1 Губици енергије.....	29
5.2 Доводни канал.....	29
5.3 Бруто напор.....	31
5.4 Одређивање нето напора.....	32
5.5 Снага постројења.....	32
5.6 Избор турбине.....	33
5.7 Капланова турбина.....	34
5.8 Одређивање коефицијента броја турбина β у МХЕ.....	34
5.9 Одређивање основних параметара хидрауличне турбине.....	35

5.10	Кавитацијски услови рада турбине	38
5.11	Побег турбинског агрегата.....	39
5.12	Одређивање проточног тракта турбине	39
5.12.1	Избор спирале.....	39
5.12.2	Избор сифона турбине.....	42
5.13	Прерачунавање степена корисности са модела на прототип.....	42
5.14	Одређивање средње годишње производње МХЕ.....	44
6.	ПРОРАЧУН И ИЗБОР ЕЛЕКТРО ОПРЕМЕ	45
6.1	Технички опис.....	45
6.2	Генератор.....	45
6.3	Компезација реактивне снаге.....	45
6.4	Мерење и сигнализација.....	46
6.5	Начин пуштања и заустављања МХЕ	46
6.6	Систем управљања.....	47
7.	ХИДРОТЕХНИЧКЕ ГРАЂЕВИНЕ МХЕ.....	48
7.1	Бетонска преграда – брана	48
7.1.1	Евакуација великих вода	48
7.1.2	Прорачун величине прелива за биолошки минимум и рибљу стазу.....	48
7.2	Пролаз за рибе	49
7.3	Водозахват	50
7.4	Разводник воде	50
7.5	Одводни канал.....	51
7.6	Машинска зграда.....	51
8.	ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА	53
8.1	Инвестициони трошкови.....	53
8.2	Оперативни трошкови	56
8.3	Приход остварен производњом електричне енергије.....	58
8.4	Профитабилност пројекта и време повратка инвестиција	58
	ЗАКЉУЧАК.....	59
	ЛИТЕРАТУРА.....	60

УВОД

Са техничко технолошким развојем у двадесетом веку, један од највећих пратећих захтева била је константна потреба за повећањем производње електричне енергије. У данашњем свету готово је немогуће замислити неки производ, за чију производњу није било потребно коришћење електричне енергије. Повећана потреба за електричном енергијом условила је развој технологија за производњу електричне енергије.

Енергија је данас једна од најважнијих компоненти развоја привреде и друштва уопште. Енергетика има кључни геополитички значај при чему доминантан допринос оваквом стању стварају климатске промене и сигурност снабдевања енергентима, узимајући у обзир пре свега чињеницу да су резерве нафте и природног гаса ограничене и концентрисане у релативно малом броју држава. У свету преовладава општи став да је тренутно стање потрошње и искоришћавања ресурса неодрживо.

Потреба за коришћењем обновљивих извора енергије јавила се протеклих неколико деценија након објављивања алармантних података о последицама емисије гасова са ефектом стаклене баште, који настају сагоревањем фосилних горива. То је довело до климатских промена у свету које се пре свега огледају у повећању просечне температуре, односно глобалном загревању.

Обновљиви извори енергије се првенствено третирају као алтернатива класичним изворима енергије у мери у којој су у могућности да буду замена за постојеће конвенционалне методе. Обновљиви извори енергије, некада означавани и као трајни енергетски извори, представљају енергетске ресурсе који се користе за производњу топлотне и електричне енергије, односно сваки користан рад, а чије се резерве константно или циклично обнављају. Сам назив обновљиви, као и трајни, потиче од чињенице да се енергија троши у износу који не премашује брзину којом се ствара у природи.

Додатни разлог за повећан обим истраживања и улагања у овој области представља ограничена количина тзв. необновљивих извора енергије (нафте, угља, идт.). Процене су да је ниво залиха ових енергената на глобалном нивоу довољан да подмири енергетске потребе човечанства у наредних педесет година.

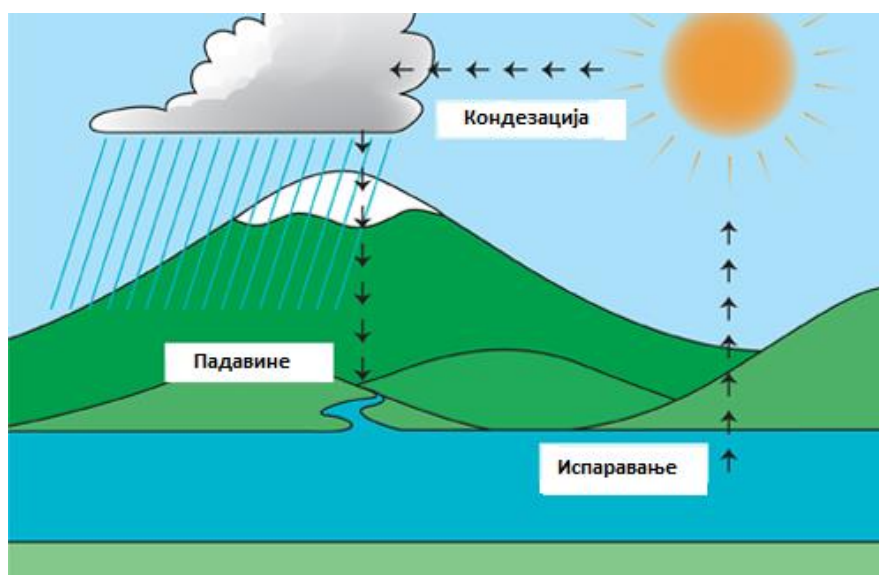
У обновљиве изворе енергије спадају енергија водотокова, ветра, сунчеве енергије, биомаса и геотермална енергија. Обновљиви извори енергије се налазе у природи и обнављају се у целини или делимично.

Србија поседује значајан потенцијал за производњу енергије из обновљивих извора енергије, али је тај потенцијал у великој мери неискоришћен.

1. ХИДРОЕНЕРГИЈА - ОБНОВЉИВ ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ

Енергија воде на земљи потиче од енергије сунчевог зрачења. Наиме, под дејством сунчевог зрачења вода са површине земље, углавном са површине мора и океана испарава и концентрише се у облацима. Ваздушне струје разносе облаке широм земљине кугле. У вишим слојевима атмосфере водена пара се кондензује и пада на површину земље у облику падавина. Под утицајем сунчевог зрачења, овај процес је цикличан и током времена променљив зависно од климатских промена на површини земље и назива се кружењем воде у природи, чинећи основу живота на земљи. Овај процес приказан је на слици 1 [1].

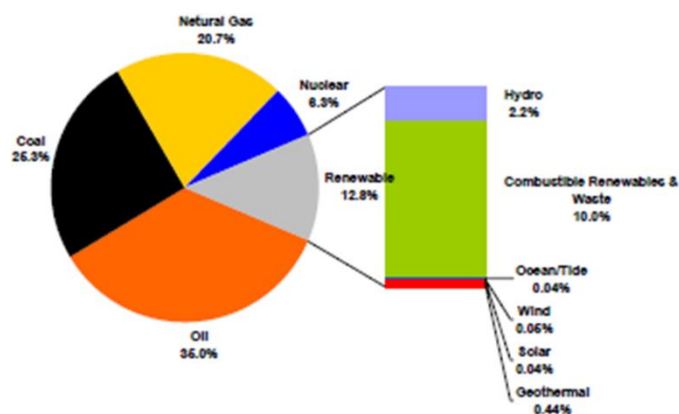
Водени токови, језера и кретање воде под утицајем Месеца поседују механичку енергију која се кретањем водених маса претвара у топлотну као последица трења (вискозитета) воде. Потенцијална и кинетичка енергија неког пресека тока реке се низводно трансформише у топлотну и на крају у неком низводном пресеку остаје само одговарајућа кинетичка енергија тока. Механичка енергија воде или хидрауличка енергија се непрестално обнавља, због тога енергија воде спада у обновљиве изворе енергије. Људи током времена свог цивилизацијског развоја тежили су да искористе за своје потребе механичку енергију воде. Постројења у којима се енергија воде трансформише у електричну енергију назива се хидроелектранама.



Слика 1.1 Кретање воде у природи

1.1 Енергетско-технички потенцијал хидроенергије

Хидроенергетски потенцијал водотокова представљао је вековима важан извор енергије. Према подацима из 2007 године обновљиви извори енергије учествују са 12,8% у глобалном билансу примарне енергије. Хидроенергија је друга по величини од обновљивих енергија, са уделом од 2,2% примарне енергије, што је приказано на слици 1.2 [2].



Слика 1.2 Расподела примарне енергије

Инсталирани производни капацитети хидроенергије у свету је порастао са мање од 50 GW у 1950 години на око 929 GW у 2008 години. Међутим, стварни доступни капацитет је 89% од овог, односно 827 GW.

Мале хидроелектране чине мали део укупног светског хидроенергетског капацитета, али је овај потенцијал порастао са 4,1% на 7,7% у периоду 1980-2005. године. Глобални капацитет МХЕ процењен је са 58,5 GW. Процењује се да ће се овај капацитет до 2015 године повећати на 95 GW.

2. ОСНОВИ ХИДРОЕНЕРГЕТИКЕ

2.1 Хидрауличка енергија воде

Кретање (струјање) течности може бити устаљено и неустаљено. Устаљено или стационарно кретање је такво кретање код кога су основни параметри кретања течности у свакој тачки простора константни током времена, мада се мењају од тачке до тачке. Неустаљено или нестационарно кретање је кретање код кога су основни параметри кретања течности у свакој тачки простора променљиви током времена [3].

Посматрањем токова реалних течности запажено је да постоје два различита начина струјања:

- ламинарно и
- турбулентно.

Ламинарно (слојевито) струјање је такво струјање код кога су струјнице паралелне, не мешају се, а уколико постоји слободна површ она је равна.

Турбулентно струјање је такво струјање код кога се струјнице укрштају. Осим уздужног кретања флуида, постоји и кретање попречно на правац главног тока, уз интензивно мешање делића флуида – делићи флуида из једног слоја прелазе у суседне слојеве.

Режим струјања зависи од односа сила инерције и унутрашњег трења у радном флуиду, који се дефинише Рејнолдсовим ($Reynolds^1$) бројем $Re [-]$ једначина (2.1):

$$Re = \frac{v \cdot l_k}{\nu} \quad (2.1)$$

где је:

$l_k [m]$ - карактеристична дужина.

За случај цеви кружног попречног пресека, карактеристична дужина је унутрашњи пречник цеви $d [m]$, па је:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (2.2)$$

За случај да струјне цеви нису кружног попречног пресека, карактеристична дужина је еквивалентни пречник $D_h [m]$ који се рачуна по изразу (2.3):

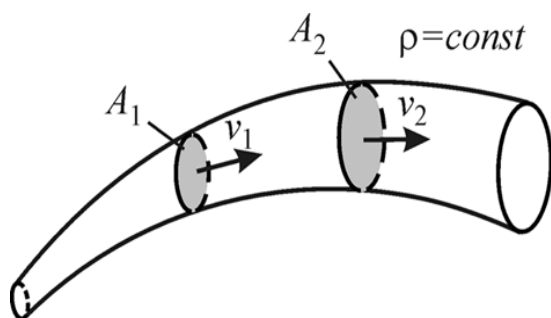
$$D_h = \frac{4 \cdot A}{O} \quad (2.3)$$

где је:

$O [m]$ - означен оквашени обим, који представља дужину обима проточног пресека у додиру са чврстим површинама.

1 *Ozborn Reynolds* Енглески физичар 1842-1912

2.2 Једначина континуитета (једначина протока)



Једначина континуитета представља облик закона о одржању масе, по коме масени проток радне течности у струјној цеви променљивог проточног пресека остаје непромењен (слика 2.1):

$$Q_m = Q_{m1} = Q_{m2} = \text{const.} \quad (2.4)$$

Слика 2.1 Струјна цев
(уз једначину континуитета)

За нестишљив флуид важи $\rho = \text{const}$, па једначина континуитета (2.5) за овај случај гласи [3]:

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = \text{const.} \quad (2.5)$$

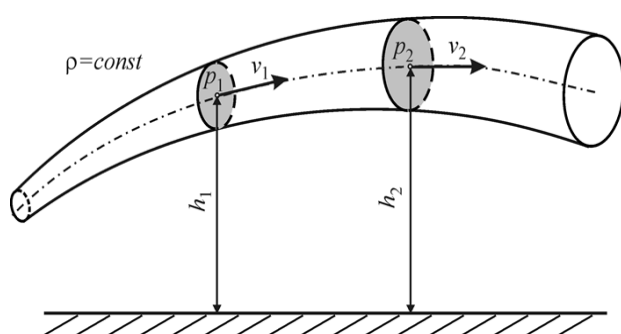
2.3 Бернулијева једначина

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

$$\alpha_1 \cdot \frac{v_1^2}{2} + g \cdot h_1 + \frac{p_1}{\rho} = \alpha_2 \cdot \frac{v_2^2}{2} + g \cdot h_2 + \frac{p_2}{\rho} = \text{const.} \quad (2.6)$$

где су:

- α_1 и α_2 [-] - Кориолисови бројеви у пресецима 1 и 2 (слика 2.2) (за струјање кроз цеви и канале: ламинарно - $\alpha=2$ и турбулентно $\alpha=1,1$,
- v_1 и v_2 [m/s] - средње брзине у проточним пресецима 1 и 2,
- p_1 и p_2 [Pa] - притисци у тежиштима пресека 1 и 2,
- h_1 и h_2 [m] - удаљења тежишта пресека 1 и 2 од референтне хоризонталне равни.



Слика 2.2 Струјна цев (уз Бернулијеву једначину)

Огледи са реалним течностима показали су да при кретању течности њена енергија струјања није константна, већ се један њен део троши због трења које се јавља између делића саме течности и између делића течности и површина зидова водова кроз које протиче. Изгубљена енергија струјања пада на терет притисног дела енергије, што се манифестује

одговарајућим губитком (падом) притиска Δp_v [Pa]. Тако се Бернулијева једначина, која узима у обзир својста реалне течности, може писати на следећи начин [2]:

$$\alpha_1 \cdot \rho \cdot \frac{v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 + p_1 = \alpha_2 \cdot \rho \cdot \frac{v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2 + p_2 + \Delta p_v \quad (2.7)$$

2.4 Локални губици притиска

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

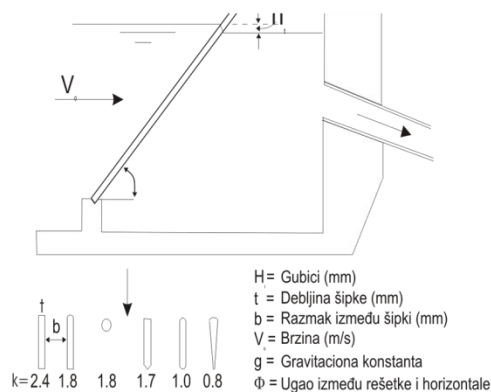
$$\Delta h_{vl} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2.8)$$

где је:

ξ [–] – коефицијент одговарајућег локалног отпора,

v [m/s] – карактеристична брзина.

Пример наведених губитака је решетка која се поставља у захвату на улазу у доводни канал или цевовод.



Слика 2.3 Решетка за чишћење

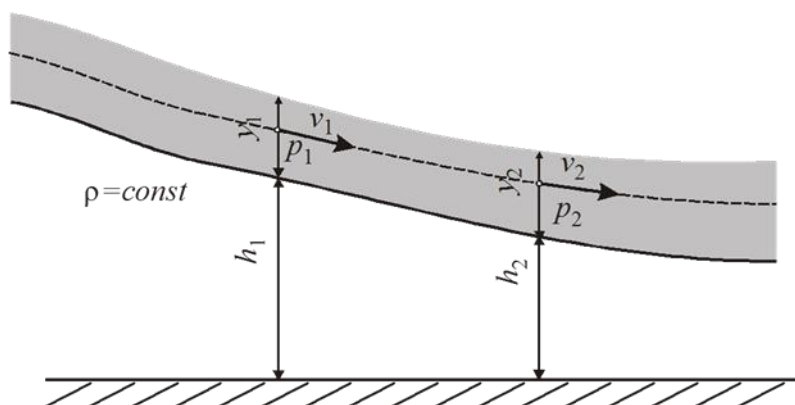
Основна улога ове решетке је да спречи продирање чврстих тела која пливају у води. Иако је, по правилу, овај губитак релативно мали, његова вредност се може израчунати применом Кирхмерове формуле [4]:

$$\Delta h_{vl} = k \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin \varphi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2.9)$$

Шематски приказ ове решетке приказан је на слици 2.3.

2.5 Енергијска једначина отвореног тока

За разлику од струјања у цевима које се одвија услед постојања разлике притиска на крајевима цеви, протицање течности у отвореним токовима одвија се под дејством гравитације и карактерише га постојање слободне површине течности на коју делује атмосферски притисак.



Слика 2.4 Отворени ток кретања течности

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

$$\alpha_c \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + y_1 + h_1 = \alpha_c \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + y_2 + h_2 + \Delta h_v \quad (2.10)$$

α_c – Кориолисов коефицијент који узима у обзир чињеницу да брзина воде није иста у свим тачкама попречног пресека, y_1, y_2 [m] – дубина воде.

Код отворених токова протицање је најчешће турбулентно, па се Кориолисов број занемарује.

Уколико су нагиб дна канала и површина проточног пресека константне *слика 2.5*, струјање је униформно (једнолико) па енергијска једначина добија следећи облик [3]:

$$\Delta h_v = h_1 - h_2 = I \cdot l \quad (2.11)$$

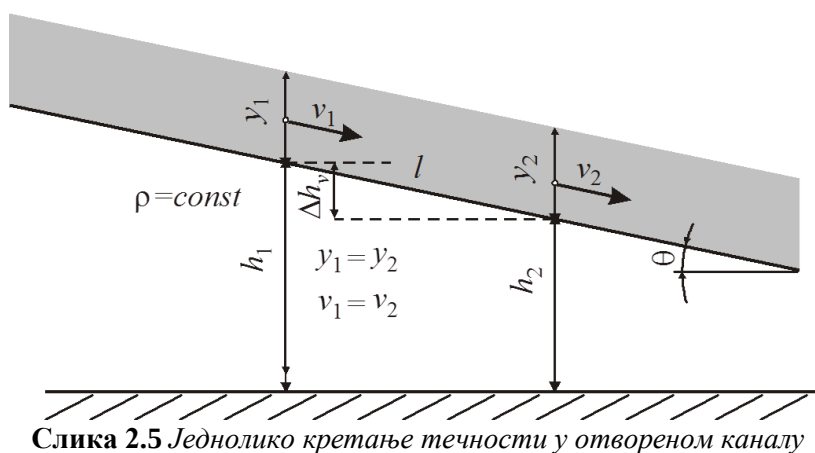
где је:

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

l [m] – дужина отвореног тока растојање од пресека 1 до пресека 2 дна струјног тока

($I = \tan \theta \approx \sin \theta$, јер има релативно малу вредност).

Нагиб дна струјног тока представља губитак енергије струјања по јединици дужине тока течности.



У каналу одређеног проточног пресека површине A и нагиба I , проток расте повећањем хидрауличног радијуса R_h што се може закључити у изразу Манингове формуле за униформно струјање течности [2]:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (2.12)$$

$$R_h = \frac{A}{O} \quad (2.13)$$

где је:

n [—] - Манингов коефицијент,

O [m] - оквашени обим.

Од свих попречних пресека кружни има најмањи оквашени обим за задату површину. На жалост овакви канали су скупи за израду и тешки за одржавање, и једино се користе за кратке канале малог проточног пресека који су изграђени од префабрикованих елемената. За константну дубину тока, најефикаснији трапезни пресек је пресек са углом од 60° , док најефикаснији правоугаони пресек је онај код кога је дубина једнака половини ширине канала.

2.6 Специфична енергија пресека

Уколико претпоставимо да се референтна раван налази на коти на дну корита (канала), онда би специфична енергија у односу на дно канала била представљена једначином и гласила би [3]:

$$H_s = h + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (2.14)$$

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

$$\frac{Q^2 \cdot B}{g \cdot A^2} = 1 \quad \text{или} \quad F_r = \frac{v^2}{g \cdot h_{sr}} \quad (2.15)$$

где су :

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

У случају да је нормална дубина једнака критичној, ток у каналу се у том случају одликује минималном специфичном енергијом и у том случају критичан нагиб канала би износио као што је приказано у релацији:

$$I_k = \frac{n^2 \cdot g \cdot O^{\frac{4}{3}}}{B \cdot A^{\frac{1}{3}}} \quad (2.16)$$

Па на основу вредности Фрудовог броја F_r течење у отвореном каналу може бити:

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

3. ДЕФИНИЦИЈА И ПОДЕЛЕ МАЛИХ ХИДРОЕЛЕКТРАНА

3.1 Дефиниција малих хидроелектрана

Не постоји интернационално прихваћена дефиниција „мале“ хидроелектране. У неким државама, горња граница варира између 1,5 и 50 MW. Неке земље попут Португалије, Шпаније, Ирске, Грчке и Белгије су прихватиле 10 MW као горњу границу инсталиране снаге за мале хидроелектране. У Италији је граница 3 MW, у Шведској 1,5 MW, у Кини 25 MW.

Међутим, у Европи се све више прихвата граница од 10 MW коју су усвојиле ESHA (The European Small-Hydropower Association), Европска комисија (European Commission) и UNIPED (International Union of Producers and Distributors of Electricity). У категоризацији малих хидроелектрана (МХЕ), 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.

Циљ хидроенергетског постројења је да изврши претварање потенцијалне енергије воде која тече кроз неки канал са одређеним падом у електричну енергију. Снага постројења је пропорционална протоку и паду.

Према величини пада разликују се три категорије идејних решења [4]:

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

Према режиму рада мале хидроелектране се изводе тако да остварују:

- паралелни рад са енергосистемом; прикључење на мрежу (рад по дотоку),
- рад на изолованој мрежи; острвски рад (рад по дијаграму оптерећења),
- комбиновани рад на изолованој мрежи или прикључењем на мрежу.

Мале хидроелектране се, такође, могу класификовати и по систему аутоматизације:

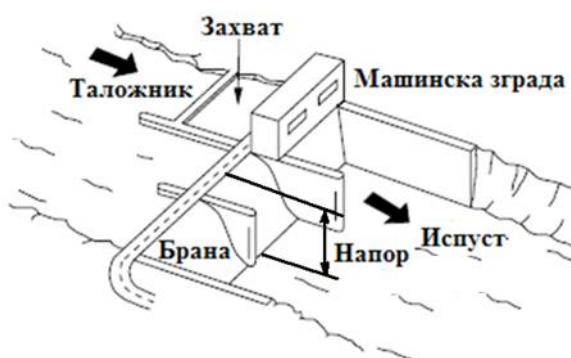
- потпуно аутоматизоване мале хидроелектране (рад без посаде),
- делимично аутоматизоване мале хидроелектране (са малом посадом - обично један човек).

У зависности од извођења мале хидроелектране се могу поделити на три основне групе:

- проточне мале хидроелектране,
- високо и средње притисне (средњи и високи пад) или деривацијске,
- мале хидроелектране са резервоаром .

3.2 Проточне мале хидроелектране

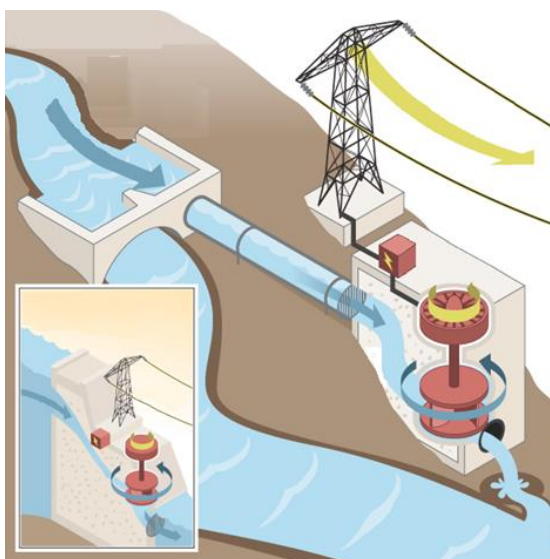
Проточна мала хидроелектрана израђује се без складиштења воде (односно без резервоара). Овакав начин извођења хидроелектране има малу висинску разлику испред и иза места захватања воде тако да не користи потенцијалну енергију разлике нивоа већ само кинетичку енергију коју поседује водени ток. Стога је снага овакве електране зависна од тренутне количине воде која се налази у природном току. Овакви типови хидроелектрана у суштини не дају довољно снаге, 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 или уставом (слика 3.1) како би се ток усмерио према захвату, што за последицу има смањени проток у реци између захвата и машинске зграде.



Слика 3.1 Проточна хидроелектрана

3.3 Деривацијске мале хидроелектране

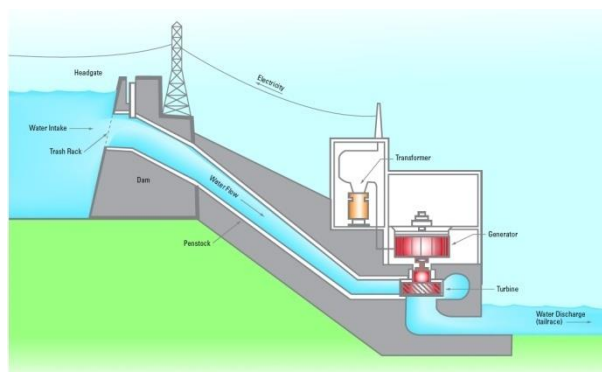
Деривацијска хидроелектрана је врста хидроелектране код које се машинска зграда за производњу електричне енергије налази измештена на некој удаљености (низводно од бране), а вода се доводи посебним цевима са захвата до машинске зграде. На слици 3.2. приказана је једна деривацијска хидроелектрана са цевним доводом.



Слика 3.2 Деривацијска хидроелектрана

3.4 Акумулационе мале хидроелектране

Један од начина за извођење мале хидроелектране са резервоаром јесте акумулациона хидроелектрана (Hydroelectric Dam), као на *слици 3.3*, која се прави преграђивањем реке и заустављањем тока, што води стварању великог акумулационог језера узводно од бране која садржи велике количине воде, што 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 води 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 скретања природних речних токова могу се негативно одразити на животну средину, па у овом случају добро решење би представљало неко природно језеро чија енергија би се могла искористити за производњу електричне енергије чиме се не би нарушио природни еко систем тог подручја.



Слика 3.3 Акумулациона хидроелектрана

Други тип малих хидроелектрана са резервоаром представља реверзибилна хидроелектрана (Pumped-storage Plants) која је приказана на *слици 3.4*. Она је слична по конструкцији акумулационој хидроелектрани, али има велике пумпе које у време мање потрошње струје враћају воду у акумулационо језеро, док у време несташице енергије пуштају воду из акумулације и производе струју у ситуацији када је потребнија и скупља. Енергија која је потребна за пумпање воде мора бити генерисана од стране неких других извора. Овакве хидроелектране служе уравнотежењу производње и потрошње у електричној мрежи [5].



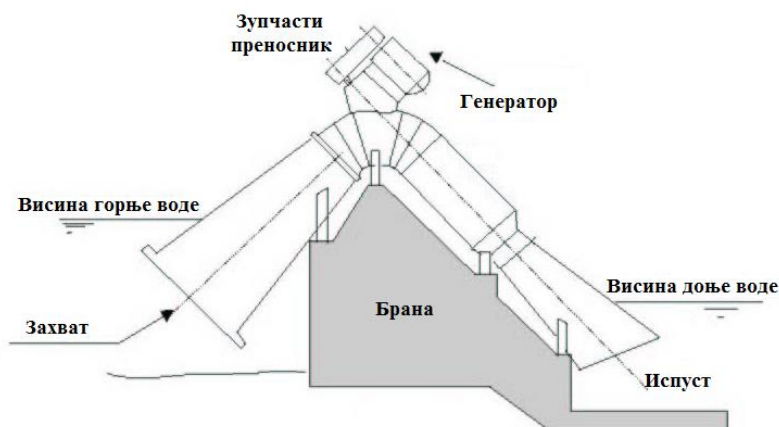
Слика 3.4 Реврзибилна акумулациона хидроелектрана

Поред наведених акумулационих хидроелектрана у ову групу спадају још:

- нископритисне МХЕ са сифонским доводом,
- МХЕ интегрисане у канал за наводњавање,
- МХЕ уграђена у систем за водоснабдевање.

3.4.1 Нископритисне мале хидроелектране са сифонским доводом

У случају да брана није превисока може се уградити сифонски довод (слика 3.5). Интегрални сифонски довод омогућава елегантно извођење постројења, најчешће до висине 10 m и за постројења до 1000 kW, иако постоје постројења са сифонским доводом са инсталираном снагом до 11 MW (Шведска) и висине до 30,5 m (САД) [6].

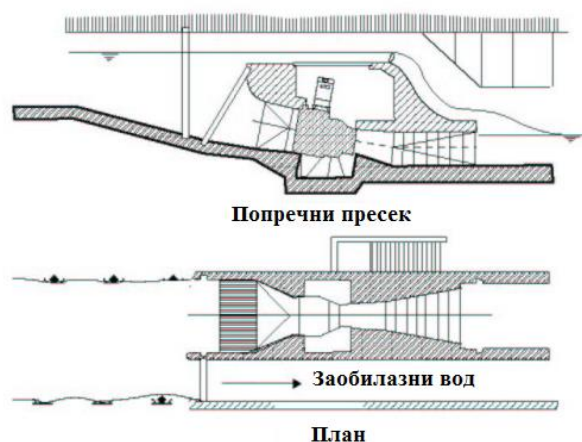


Слика 3.5 Нископритисна хидроелектрана са сифонским доводом

3.4.2 МХЕ интегрисане у канал за наводњавање

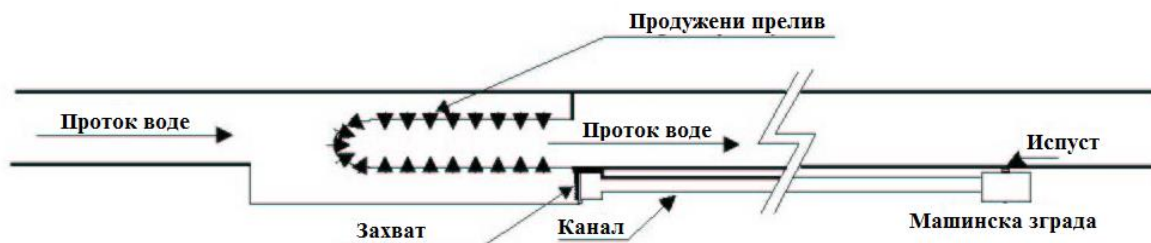
Постоје два начина извођења малих хидроелектрана које користе канал за наводњавање.

Ако је канал довољно велики за смештај захвата, машинске зграде, одвода и бочног обилазног вода, да би се осигурало снабдевање водом за наводњавање, извођење мора да садржи бочни обилазни вод у случају искључења турбине. Овакав начин израде захтева пројектовање хидроелектране истовремено када и пројектовање канала за наводњавање, јер би уграђивање у канал који је већ у функцији могло да буде врло скупо решење. Овакав начин пројектовања приказан је на *слици 3.6*.



Слика 3.6 Истовремено пројектовање канала и система

Уколико канал већ постоји, као на *слици 3.7*, онда би тај канал требало незнатно повећати за смештај захвата и прелива. Како би се сама ширина захвата смањила на минималну вредност најбоље је уградити издужени прелив. Од захвата се вода кроз притисни цевовод доводи до турбине, а затим се кроз кратки испуст враћа у канал [3].

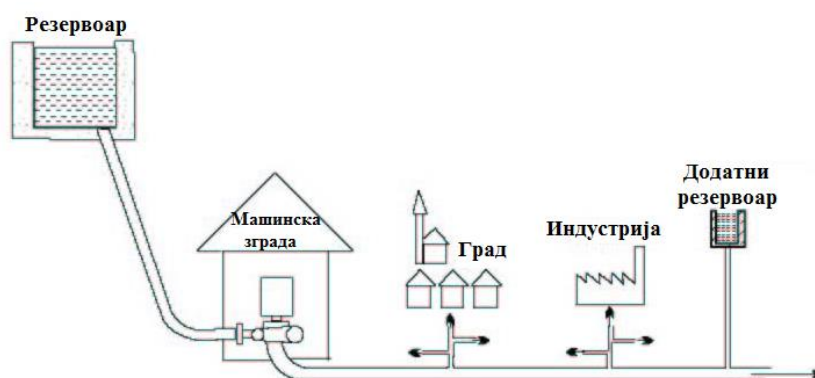


Слика 3.7 Уградња система у већ изграђен канал

3.4.3 МХЕ уграђена у систем за водоснабдевање

Вода за пиће се испоручује у град транспортом воде из повишеног резервоара кроз цевовод под притиском. Уобичајено код таквих постројења, дисипација енергије

на нижем крају ценовода, на уласку у постројење за прочишћавање воде, се ублажава коришћењем специјалних вентила. Смештање турбине на крај ценовода, да претвори ионако изгубљену енергију у електричну, згодна 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 појављује 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 наредној слици 3.8 је приказана једна МХЕ уграђена у систем за водоснабдевање.



Слика 3.8 МХЕ уграђена у систем за водоснабдевање

3.5 Предности и мане малих хидроелектрана

Утицаји на животну средину који су везани за развој малих хидроелектрана могу значајно да варирају у зависности од локације и конфигурације терена. Мале хидроелектране доприносе одрживом развоју друштва, јер су економски изводљиве, еколошки прихватљиве (при производњи електричне енергије нема емисије штетних гасова стаклене баште) и обезбеђују децентрализовану производњу и развој удаљених заједница [3].

Предности изградње мале хидроелектране у односу на изградњу других извора енергије су многобројне:

- ради се о чистом и обновљивом извору енергије, јер за погон користе воду, која се у процесу производње електричне енергије не троши,
- у односу на велике хидроелектране нема плављења широких подручја (како би се обезбедио простор за акумулацију воде) и нарушавања локалног еколошког система,
- могу обезбедити наводњавање земљишта, као и снабдевање водом околних насеља, изградњу рибњака и заштиту од поплава,
- смањују 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 растеређује се електро мрежа,

- креирају нова локална радна места за надгледање функционисања електране,
- експлоатишу се уз релативно ниске трошкове,
- радни век је врло дуг, у просеку 30 година, мада има МХЕ које раде и 80 и више година.

Поред набројаних предности постоје и одређени недостаци малих хидроелектрана, а то су:

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

4. ХИДРОЛОШКА АНАЛИЗА

4.1 Опис система

Воде Хомоља представљају веома богат и вишефункционалан потенцијал, до сада само делимично коришћен за водоснабдевање и рибарство. Река Млава је главни хидропотенцијал од националног значаја, важна резерва квалитетне воде за водоснабдевање, хидроенергију, пољопривреду, рибарство и тд.

Млава је река у источној Србији. Дугачка је 158 km и десна је притока Дунава. Настаје као Тисница у Кучајским планинама, под врхом Велики Крш. Река тече на север и протиче поред источних падина планине Бељаница, кроз скоро ненасељено подручје. Након што стигне до Хомоља, у Тисницу се на висини од 320 метара улива јако Жагубичко врело и од те тачке река је надаље позната као Млава. Мерећи од Жагубичког врела, река је дугачка 122 km. Слив Млаве заузима површину од 1.830 km² и припада сливу Црног мора [7].

Просечан проток у години на ушћу Млаве је 14 m³/s. Велики потенцијал Млаве за производњу електричне енергије у Горњачко-рибарској клисури је неискоришћен.

Река Млава представља неискоришћени хидропотенцијал анализиран у Водопривредној основи Републике Србије из 1996. године коју је израдио институт „Јарослав Черни“ [8], и по тој основи бруто потенцијал Млаве износи око 131 GWh/год.

На основу „Плана детаљне регулације“ подручја мале хидроелектране „Козји грб“ и „Ковиљача“ на реци Млави у К.О. Крепољин [9], општине Жагубица, у овом раду извршиће се хидро-машински и хидро-технички прорачун мале хидроелектране „Ковиљача“.

Мала хидроелектрана „Ковиљача“ спада у категорију:

- проточних,
- малих (мини) хидроелектрана снаге до 1000 kW, тзв. МХЕ,
- са ниским падом 2-30 m.

Подручје МХЕ је лоцирано на К.О. Крепољин, општина Жагубица са билансом планираних површина:

1. површина плана детаљне регулације.....	76,79 ha	100,00%
2. површине постројења бране (грађ. реон)	0,80 ha	1,04%
3. водена површина акумулације МХЕ "Ковиљача"	4,88 ha	6,35%
4. остале водене површине реке Млаве и потока	2,37 ha	3,08%
5. слободне, неизграђене, зелене површине.	64,72 ha	84,28%
6. саобраћајнице	2,46 ha	3,20%

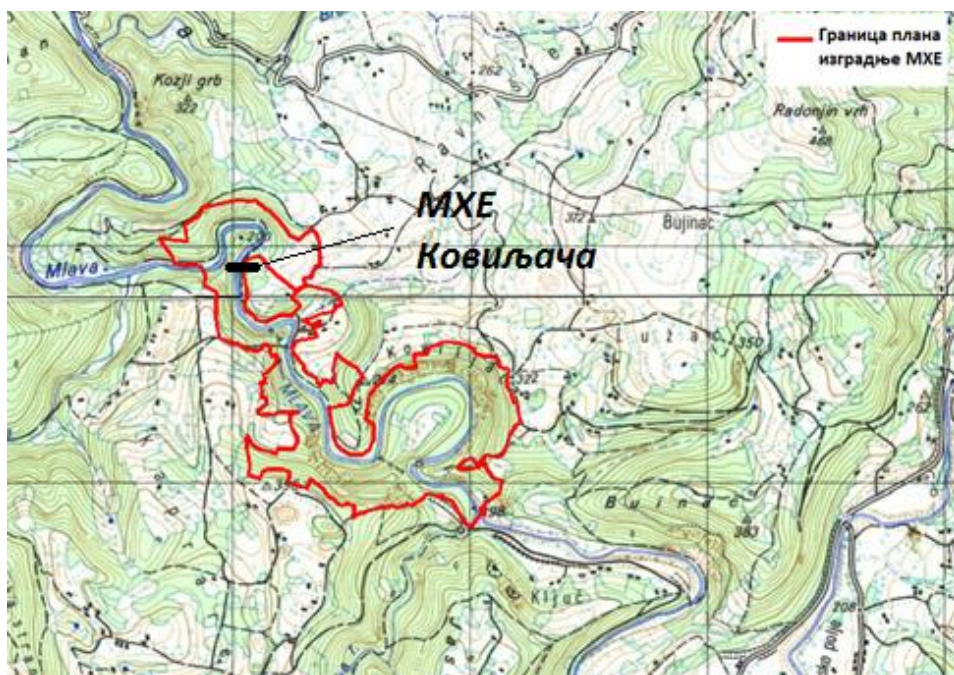
При дефинисању инсталисаног капацитета коришћен је извештај Републичког Хидрометеоролошког Завода Србије о протицају воде за период 2002-2012.год. дат у прилогу 1.

4.2 Основне карактеристике МХЕ „Ковиљача“

Локација за изградњу МХЕ обухвата укупну површину од 76,79 ha, а крајње тачке подручја су у северозападном делу 300 m источно од ушћа реке Дубочица у реку Млаву и у југоисточном делу ушће Медведичке реке у реку Млаву.

Дистанца ових крајњих тачака подручја плана на реци Млави је 1515 m правцем северозапад - југоисток ваздушном линијом. Подручје Плана налази се 3,5 km југозападно од Крепољина ваздушном линијом, и на 18 km западно ваздушном линијом од Жагубице.

Локација за изградњу МХЕ налази се на око 8 km узводно од Хидролошке станице „Горњак“. Диспозициони план изградње МХЕ Ковиљача приказан је на слици 4.1.



Слика 4.1 Диспозиција комплекса МХЕ Ковиљача



Слика 4.2 Диспозиција комплекса МХЕ Ковиљача у односу на Мерну станицу Горњак

Обрађено решење МХЕ “Ковиљача” Планом детаљне регулације представља технички могуће решење коришћења хидропотенцијала реке Млаве на предметном профилу Ковиљача. Ово решење је засновано на изградњи захвата воде у виду ниске бране са таложником, доводног деривационог канала и машинске зграде МХЕ “Ковиљача”.

Око 8 km узводно од Горњачке клисуре, узводно од манастира “Горњак” и мерне станице „Горњак“ (слика 4.2), предвиђена је изградња водозахвата за МХЕ “Ковиљача”. Предвиђени водозахват има корисну висину од 8,50 m и делимично прави успор узводно од профила водозахвата. Максимални ниво воде код водозахвата је 194,50 мнм. Машинска зграда је лоцирана на к.п. број 5991/5 К.О. Крепољин, на коти 186,00 мнм. Парцела предвиђена за изградњу машинске зграде је у власништву инвеститора.

4.3 Анализа расположивих вода

Количина воде која протиче водним током може значајно варирати током времена. Те промене могу бити значајне чак и у току једног дана. За правилно димензионисање хидроенергетског постројења и одређивање могуће годишње продукције истог, неопходно је одредити варијацију протока током једне године.

С обзиром да низводно на око 8 km од локације за изградњу мале хидроелектране постоји хидролошка станица „Горњак“ где се свакодневно бележи проток, исти подаци биће коришћени за дефинисање хидролошких карактеристика у профилу хидроелектране.

Карактеристике хидролошке станице Горњак:

Река.....	МЛАВА
Слив.....	ДУНАВ
Година Оснивања.....	1977
Кота “0” (m н.Ј.м.).....	161,00
Удаљеност од слива (km).....	92,50
Површина слива (km ²).....	656,2

Хидролошке анализе обухватиће период осматрања од 2002 до 2012 године. У *табели 4.1* приказане су средње дневне вредности, док су дневни резултати мерења за посматрани период дате у прилогу 1.

Количина воде која протиче водним током реке Млаве варира током времена, те варијације приказане су на хидрографу (слика 4.3).



Слика 4.3 *Хидрограф за период 2002-2012.год.*

Средња вишегодишња вредност за изабрани репрезентативни период (2002-2012) за хидролошку станицу „Горњак“ износи:

$$Q_{sr} = 7,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dan	Qsr-dnevno [m³/s]											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	12,21	7,24	17,37	16,61	6,76	5,07	2,84	1,70	2,05	1,72	2,69	5,97
2	11,95	6,75	16,82	14,86	6,47	4,92	3,15	1,61	1,88	4,81	2,51	8,53
3	11,66	6,38	16,87	14,17	6,33	5,27	3,16	1,53	1,72	4,58	3,28	8,78
4	11,54	6,53	19,51	12,97	5,90	5,02	2,92	1,47	1,59	3,40	3,00	10,50
5	10,61	8,15	24,11	12,05	5,71	5,77	2,64	1,67	1,49	2,93	3,29	11,38
6	9,66	10,32	22,43	13,76	5,59	5,61	2,62	1,56	1,43	2,70	3,36	9,95
7	9,77	9,52	20,46	14,57	5,61	5,45	2,36	1,63	1,40	2,32	3,85	8,65
8	9,71	10,29	20,46	13,04	5,92	5,15	2,26	3,17	1,36	2,11	4,62	7,62
9	8,95	8,89	16,48	11,80	5,84	5,63	2,83	2,96	1,31	1,98	5,78	7,09
10	8,43	9,70	15,62	10,88	5,59	6,54	2,72	3,04	1,26	2,16	7,20	6,49
11	7,85	7,42	16,00	10,16	5,58	14,04	4,20	2,73	1,39	2,14	8,20	6,08
12	7,33	8,95	15,82	12,49	6,03	18,91	4,04	2,49	1,45	2,11	7,68	5,93
13	7,01	8,50	16,65	20,50	5,76	12,16	3,29	2,11	1,52	2,22	6,88	5,76
14	7,52	9,66	16,30	19,05	5,36	6,79	3,58	1,94	1,49	2,42	5,69	5,57
15	8,48	9,07	15,11	19,67	5,17	5,20	3,66	2,15	1,49	2,10	5,78	5,05
16	8,04	8,09	15,63	20,24	4,96	4,48	2,91	2,74	1,39	2,02	5,76	4,73
17	6,86	7,49	16,79	18,85	6,71	4,26	2,48	2,58	1,31	2,00	5,79	4,65
18	7,17	11,79	18,45	22,06	10,39	3,73	2,56	2,85	1,36	2,01	6,81	4,78
19	9,14	13,60	19,44	19,69	10,19	3,69	2,29	4,31	1,29	2,06	5,99	5,28
20	11,73	16,24	19,67	17,89	8,60	3,57	2,06	3,82	1,32	2,30	4,92	5,22
21	12,11	16,73	18,02	16,46	7,59	3,19	1,94	2,85	1,42	2,20	4,22	4,97
22	10,87	13,97	16,66	16,46	7,92	3,06	1,83	2,34	1,36	2,28	3,96	5,59
23	10,03	13,69	16,51	14,95	7,24	3,86	1,83	2,50	1,32	3,66	3,97	6,89
24	9,28	14,30	17,14	13,28	6,62	3,83	2,06	2,65	1,28	4,02	3,98	7,94
25	8,77	15,34	17,35	11,75	6,00	3,60	2,09	2,96	1,27	3,17	4,93	8,96
26	8,82	15,57	16,57	10,49	5,49	3,05	1,96	2,08	1,34	2,73	5,30	9,56
27	9,03	18,44	16,21	9,43	5,60	3,13	1,85	2,90	1,69	2,48	5,63	10,70
28	9,56	20,71	16,02	8,52	4,99	3,34	1,80	2,89	1,57	2,37	5,54	11,63
29	9,55		17,53	7,95	4,70	3,02	1,71	2,42	1,41	2,35	5,62	10,85
30	8,63		18,00	7,40	5,37	2,82	1,78	2,14	1,43	2,28	5,19	10,45
31	7,96		18,53		4,81		1,67	2,11		2,53		11,42
Qsr-mes [m³/s]	9,36	11,19	17,69	14,40	6,28	5,47	2,55	2,45	1,45	2,59	5,05	7,64
Qsr-god [m³/s]	7,15											

Табела 4.1 Средњи дневни протоци мерне станице „Горњак“ за период 2002-2012.

Да би се одредили оптимални параметри рада хидроелектране потребно је да се анализира вероватноћа појаве одређених протока воде који се могу довести до турбине. У ту сврху за статистичку анализу употребиће се стандардна нормална расподела, чија функција гласи:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (4.1)$$

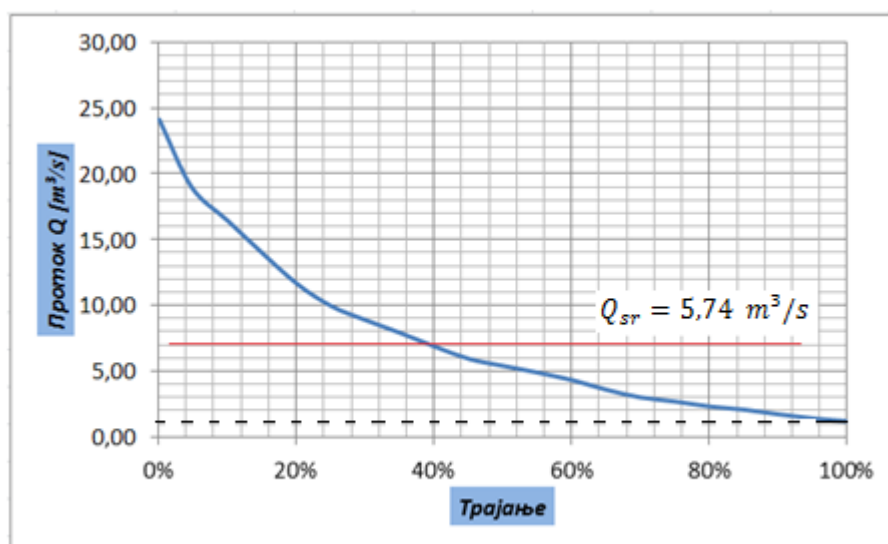
где су:

μ - [-] средња вредност,

σ - [-] стандардна девијација.

На основу ове расподеле дефинисана је обезбеђеност протока која је приказана у табели 4.2.

На слици 4.4 приказана је крива трајања средње дневних протока за посматрани период 2002-2012 године. Са дијаграма се може видети да средње годишњи проток током године траје око 40 %. Такође, са истог дијаграма могу се видети годишње варијације протока.



Слика 4.4 Крива трајања протока

Трајање	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
$Q [m^3/s]$	18,45	16,46	14,04	11,63	9,95	8,89	7,94	6,86	5,93	5,60
Трајање	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	/
$Q [m^3/s]$	5,15	4,31	3,58	3,00	2,69	2,30	2,06	1,72	1,41	/

Табела 4.2. Годишња расподела средње месечних протока на Млави добијена Нормалном расподелом

4.4 Мале воде и биолошки минимум

За меродавни минимални протицај (биолошки минимум) који се мора оставити у реци за потребе одржавања биоценозе низводно у реци, постоји низ метода за процену вредности биолошког минимума које могу бити:

- засноване на хидролошким и статистичким вредностима,
- методи базирани на физиографским принципима,
- изрази засновани на брзини и дубини воде,
- методи базирани на планирању више циљева узимајући у обзир еколошке параметре.

Као биолошки минимум у профилу мале хидроелектране усваја се, према препорукама Водопривредне основе Србије „ВОС-96“ минимални средњемесечни протицај 95% не обезбеђености. Из табеле 4.2 као и са дијаграма криве трајања протока одређује се биолошки минимум који износи:

$$Q_{bmin} = 1,41 \text{ m}^3/s$$

У табели 4.1 одређен је средњи годишњи проток који износи $7,15 \text{ m}^3/s$, како је неопходно из овог протока издвојити биолошки минимум, добија се средњи проток који се постројењу ставља на располагање:

$$Q_{sr} = 5,74 \text{ m}^3/s$$

Поред биолошког минимума РХМЗ је дефинисао и велике воде у свом мишљењу број 92-I-1-125/2011 од 18.02.2011.год. [9] и то:

хиљадугодишња велика вода.....	$Q_{0,1 \%} = 473 \text{ m}^3/s$
стогодишња велика вода.....	$Q_{1 \%} = 303 \text{ m}^3/s$
педесетогодишња велика вода.....	$Q_{2 \%} = 259 \text{ m}^3/s$
двадесетогодишња велика вода.....	$Q_{5 \%} = 203 \text{ m}^3/s$

5. ХИДРОМАШИНСКИ ПРОРАЧУН

5.1 Губици енергије

Добар и успешан рад хидрауличних агрегата и постројења у целини зависи од чистоће воде која пролази кроз турбину. За острањивање чврстих пливајућих предмета, леда и друге нечистоће које имају веће димензије од проточних пресека међулопатичних канала код радних кола турбина користи се решетка која се поставља на почетку доводног цевовода. На основу препоруке из литературе [10] усвајају се следеће вредности:

- дебелина шипке $t = 15 \text{ mm}$
- размак између шипки $b = 40 \text{ mm}$
- брзина струјања кроз решетку $v = \frac{Q}{A_r} = 0,65 \text{ m}^3/\text{s}$
- угао решетке $\varphi = 70^\circ$

$$\Delta h_{vl} = k \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin \varphi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 2,4 \cdot \left(\frac{15}{40}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \sin 70^\circ \cdot \frac{0,65^2}{2 \cdot g} = 0,013 \text{ m} \quad (5.1)$$

где је:

$A_r [\text{m}^2]$ – површина решетке.

Поред губитака на решетци јављају се и губици енергије на излазу из турбине који за номинални проток имају вредност:

$$\Delta h_i = \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \cdot \frac{1}{2g} = \left(\frac{5,74}{4,52}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot 9,81} = 0,082 \text{ m} \quad (5.2)$$

где $A [\text{m}^2]$ - представља проточну површину на излазу из дифузора.

5.2 Доводни канал

Довођење воде од захвата до улаза у турбину биће изведено доводним каналом правоугаоног попречног пресека са слободном површином воде. С обзиром да је раздаљина између водозахвата и машинске зграде релативно мала и да нема препрека канал ће бити изведен без кривина са укупном дужином од 225 m.

Како су познате коте висинске разлике и дужина канала може се израчунати угао нагиба канала који износи:

$$\theta = 2,165^\circ$$

Одакле се рачуна нагиб канала:

$$I = \tan \theta = 0,038$$

На основу енергијске једначине отвореног тока [2]:

$$\Delta h_v = h_1 - h_2 = I \cdot l \quad (5.3)$$

Може се израчунати губитак пада у каналу који износи:

$$\Delta h_u = \frac{\Delta h_v}{l} = 0,038 \text{ m}$$

Проток који се преноси каналом, је функција попречног пресека профила, нагиба и њене храпавости. Имајући у виду да су нагиб канала и површина проточног пресека константни, струјање је униформно (једнолико) па се проток у каналу може рачунати преко Манингове формуле (5.4):

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (5.4)$$

где је:

n [-] - Манингов коефицијент,

R_h [m] - хидраулични радијус,

I [m] - нагиб канала,

A [m²] - проточни пречник.

Прорачун димензије доводног канала вршиће се на основу инсталисаног протока који се за проточне МХЕ може израчунати из следеће релације [5]:

$$Q_{sr} < Q_{ins} < 2 Q_{sr} \quad (5.5)$$

Имајући у виду да је анализом добијен средњи проток $Q_{sr} = 5,74 \text{ m}^3/\text{s}$, из горе наведене релације за инсталисани проток може се усвојити:

$$Q_{ins} = 11,48 \text{ m}^3/\text{s}$$

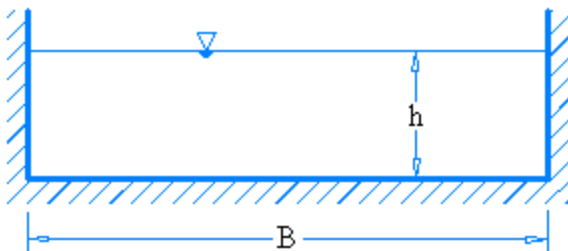
Како у Манинговој једначини (5.4) има непознатих вредности, димензије канала ће се рачунати преко једначине континуитета (2.5) која гласи:

$$Q = A \cdot v$$

На основу познатог инсталисаног протока који канал мора да пропусти, и препоручене брзине за деривацијски канал обложен бетоном ($v = 1,2 - 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) следи да је проточни пресек:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{11,48}{1,3} = 8,83 \text{ m}^2$$

Како је код правоугаоног пресека најефикаснији пресек где је дубина канала једнака половини ширине канала (слика 5.1), може се усвојити канал димензије $B \times h = 4 \times 2,20 \text{ m}$.



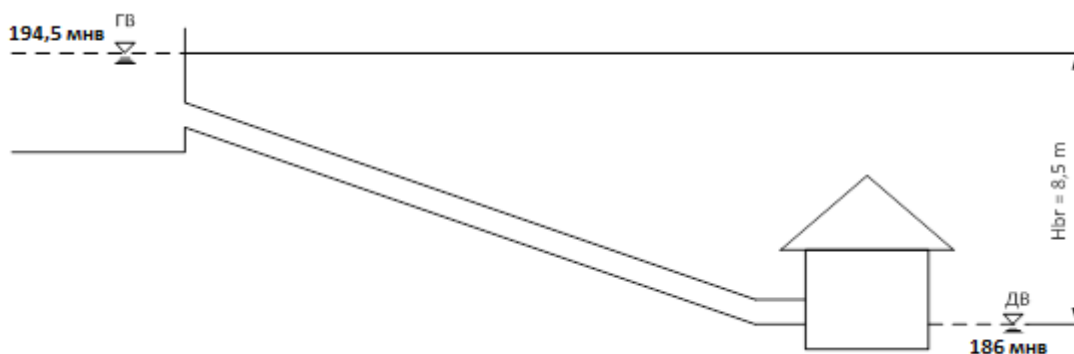
Слика 5.1 Правоугаони попречни пресек доводног канала

5.3 Бруто напор

Бруто напор представља вертикално растојање које вода пређе приликом генерисања снаге, односно растојање горњег и доњег нивоа воде. Теренска мерења бруто напора се обично изводе коришћењем техника посматрања. У прошлости су коришћени различити методи мерења, док се данас са веома великом прецизношћу бруто напор може измерити дигиталним мерачима углова, дигиталним нивелаторима или уз помоћ GPS уређаја.

Како је планом детаљне регулације предвиђено да ниво воде МХЕ Ковиљача мерен на водозахвату буде на коти 194,5 мнв а ниво доње воде на коти 186 мнв може се израчунати да бруто напор износи (слика 5.2):

$$H_{br} = \text{НГВ} - \text{НДВ} = 194,5 - 186 = 8,5 \text{ m}$$



Слика 5.2 Одређивање бруто напора

5.4 Одређивање нето напора

На основу добијених вредности бруто напора и губитака добијају се вредности нето пада за средњи проток и то:

$$H_{neto} = H_{br} - \Delta h_{vl} - \Delta h_u - \Delta h_i = 8,5 - 0,013 - 0,038 - 0,082 = 8,37 \text{ m}$$

5.5 Снага постројења

Хидрауличка бруто снага P_{hbr} средњег протока МХЕ „Ковиљача“ која јој се ставља на искоришћење одређује се на основу обрасца [5]:

$$P_{hbr} = \rho g H_{br} Q \text{ [kW]} \quad (5.6)$$

одакле је:

$$P_{hbr} = 9,81 \cdot 1000 \cdot 8,5 \cdot 7,15 = 478,6 \text{ [kW]}$$

где су:

$$\begin{aligned} \text{бруто пад:} & \quad H_{br} = 8,5 \text{ m} \\ \text{средњи проток електране:} & \quad Q = 5,74 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{густина воде:} & \quad \rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \\ \text{убрзање земљине теже:} & \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

За МХЕ Ковиљача укупни губици при средњем протоку су $\Delta H_u = 0,13 \text{ m}$ тако да номинални нето напор износи $H = 8,37 \text{ m}$

Хидрауличка нето снага која се турбини ставља на искоришћење одређује се по истој једначини као и бруто снага, стим што се уместо бруто пада користи нето пад постројења. Рачунајући за средњи проток добија се следећа снага постројења:

$$P_{hneto} = \rho g H Q = 9,81 \cdot 1000 \cdot 8,37 \cdot 5,74 = 471,3 \text{ kW}$$

Ради прецизније анализе, хидрауличка нето снага МХЕ која јој се ставља на располагање биће приказана у пет случаја (табела 5.1), и то у условима 20, 30, 40, 50, 60 и 70% обезбеђености протока. Наведени протоци биће умањени за биолошки минимум.

Q[m ³ /s]	H [m]	P _{hneto} [kW]
10,22	8,16	818
7,48	8,30	609
5,45	8,38	448
4,19	8,41	346
2,90	8,44	240
1,59	8,45	132

Табела 5.1 Нето хидрауличка снага постројења МХЕ „Ковиљача“

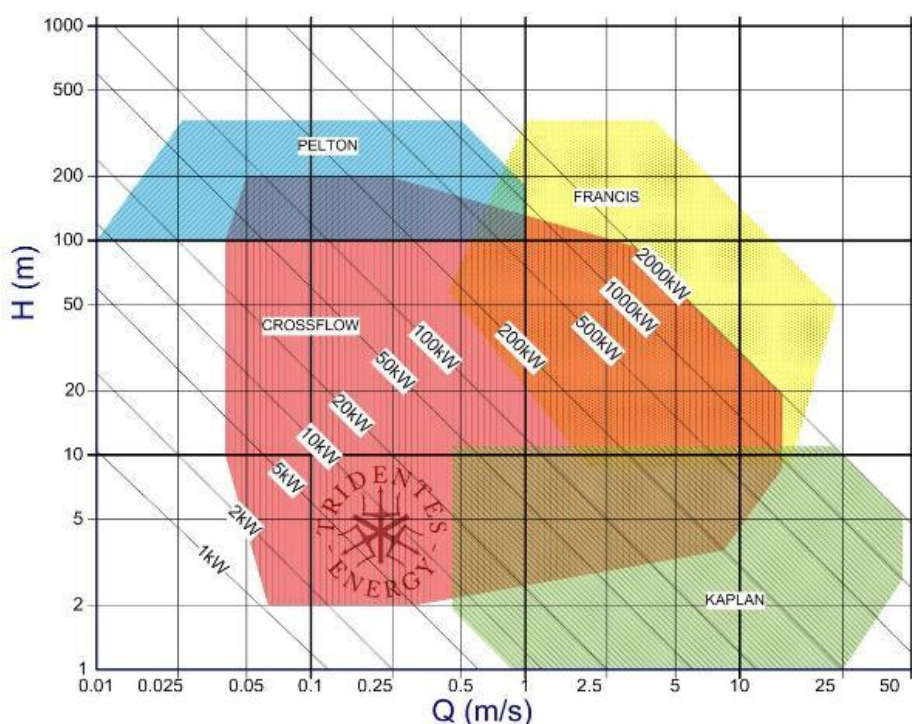
5.6 Избор турбине

Функција турбине је трансформација кинетичке енергије воде у механичку енергију помоћу ротирајућих делова турбине.

Избор типа, облика и димензије турбине првенствено зависи од:

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

Хидро турбину треба одабрати тако да одговара специфичним условима који се јављају на планираној локацији а са циљем да се оствари очекивана висока ефикасност. На *слици 5.3* приказани су типови турбина у зависности од протока и нето пада.



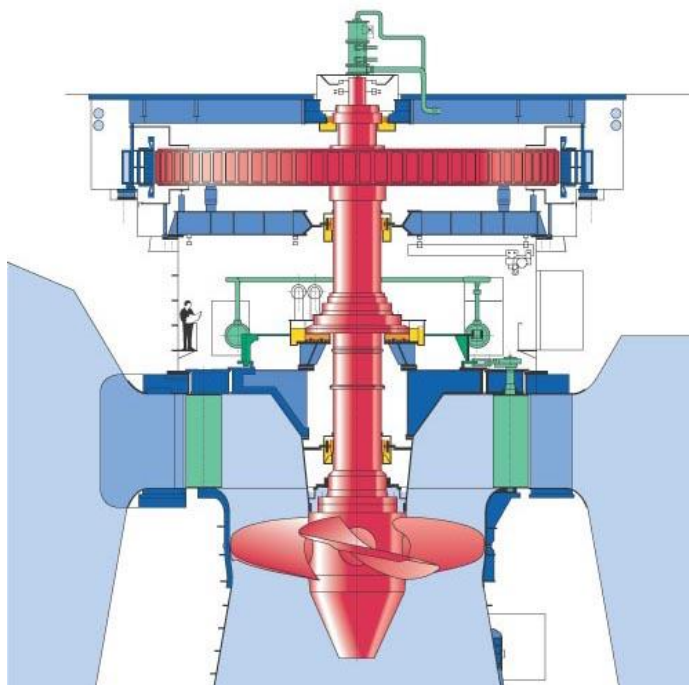
Слика 5.3. Опсег различитих турбина у зависности од протока и пада

Са дијаграма се види да за називни проток и нето пад МХЕ Ковиљача, налази се подручје Капланове и Банки турбине. Као решење усвојиће се Капланова турбина из каталога произвођача.

5.7 Капланова турбина

Међу аксијалним хидрауличним турбинама, посебан значај има Капланова турбина. Ову врсту аксијалних турбина одликује такво конструкцијско решење које јој омогућава да регулацију хидрауличне снаге остварује не само уз помоћ лопатичног преткола, него и синхроним закретањем лопатица радног кола око сопствених оса, и то све у току рада турбине. Оваквим начином се постиже виши степен корисности турбине у ширем дијапазону могућих радних режима.

Капланова турбина се користи на водотоцима са малим падом и великим протоком. Корисни падови се крећу од неколико метара па све до 60-70 m. Овај тип турбине може се користити и код МХЕ са падом од једног метра. Због таквих карактеристика, овакве турбине се углавном примењују у равничарским подручјима, на рекама које осигуравају целогодишњи високи проток, а изградњом брана се осигурава потребан пад. Код МХЕ положај Капланове турбине може бити хоризонталан, вертикалан и у S-изведби.



Слика 5.4. Шематски приказ Капланове турбине са вертикалним вратилом

Вода која улази у турбину се тангенцијално усмерава на лопатице, где проток воде узрокује ротацијски обртни момент. Излазни елемент турбине има функцију да успорава воду како би се што више искористила кинетичка енергија. Због постојања пада притиска може доћи до појаве кавитације која може изазвати оштећења лопатица. Искоришћење ових турбина може бити и до 90%, али и доста ниже код мањих падова.

5.8 Одређивање коефицијента броја турбина β у МХЕ

Коефицијент β представља однос инсталисаног и средњег протока воде у МХЕ. Преко овог коефицијента се може извршити анализа потребних броја турбина у постројењу.

Како је:

➤ инсталисани проток $Q_{inst} = 11,48 \text{ m}^3/\text{s}$

➤ средњи годишњи проток $Q_{sr} = 5,74 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\beta = \frac{Q_{inst}}{Q_{sr}} = \frac{11,48}{5,74} = 2$$

Како би се што ефикасније искористиле расположиве воде током целе године, као решење усвојиће се два идентична турбинска агрегата.

5.9 Одређивање основних параметара хидрауличне турбине

Како би се што прецизније прорачунале радне карактеристике хидротурбине која ће се уградити у постројење, извршиће се моделска испитивања где ће се добијени резултати прерачунати на прототип.

Одређивање основних параметара хидрауличне турбине извршиће се на основу шкољкастог дијаграма модела Капланове турбине, типа ПЛ20/811-ВБ-50, из номенклатуре произвођача фирме „ЛМЗ“ Санкт Петербург.

Резултати добијени моделским испитивањима свде се на карактеристичне величине - значице, које представљају једнозначну зависност основних параметара утврђених помоћу закона о сличности механичких система. Применом значица могу се извршити прерачунавања геометријских и струјних параметара модела на прототип, а такође извршити избор турбина за дате параметре водотока. Њихова важност огледа се и у графичком приказивању погонских својстава турбине.

Величине (Q_{11}, n_{11}) дефинишу погонску тачку турбине. Графичка зависност ових величина назива се универзалном карактеристиком, топографским дијаграмом, шкољкастим дијаграмом или пасошем турбине (слика 5.5). Универзалне карактеристике добијају се експерименталним испитивањем на моделу турбине у опитним постројењима. Ове карактеристике се графички приказују у дијаграму координата [12]:

$$Q_{11} = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}} \quad (5.7)$$

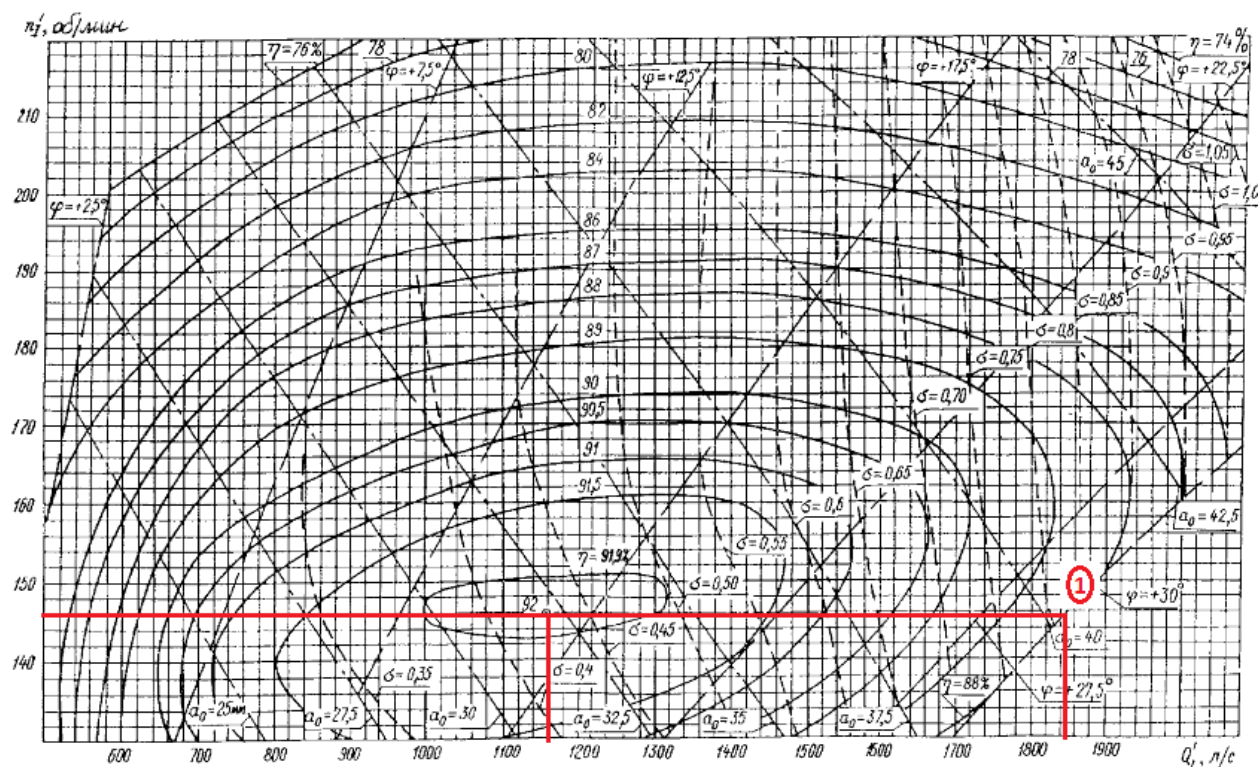
$$n_{11} = \frac{n D_1}{\sqrt{H}} \quad (5.8)$$

где су:

$Q_{11} [\text{m}^3/\text{s}]$ — Јединични проток,

$n_{11} [\text{o}/\text{min}]$ — јединична брзина обртања

На основу ових значица у даљем прорачуну ће се извршити дефинисање радних параметара прототипа турбине.



Слика 5.5. Шкољкасти дијаграм модела Капланове турбине ПЛ20/811-ВБ-50

За оптимални погонски режим модела (индекс „м“) при максималном степену искоришћења $\eta = 0,92$ са шкољкастог дијаграма слика 5.5 се читавају следеће вредности:

$$n_{11m} = 146 \text{ о/мин}$$

$$Q_{11m} = 1,16 \text{ м}^3/\text{с}$$

Након одређених координата шкољкастог дијаграма извршиће се прорачун пречника радног кола турбине који се израчунава по формули [11]:

$$D_1 = \sqrt{\frac{Q}{Q_{11max} \sqrt{H_{max}}}} \quad (5.9)$$

Q_{11max} представља максимални проток кроз турбину модела, овај проток се читава са дијаграма (слика 5.5) користећи координату n_{11m} и означен је тачком 1.

$$Q_{11max} = 1,82 \text{ м}^3/\text{с}$$

Одакле се добија пречник радног кола прототипа:

$$D_1 = \sqrt{\frac{2,87}{1,82 \sqrt{8,37}}} = 0,74 \text{ м}$$

Усваја се стандардни пречник турбине [11]:

$$D_1 = 1 \text{ m}$$

Брзина обртања турбине одређује се из оптималне једначине обртања по формули [11]:

$$n = \frac{n_{11M} \sqrt{H}}{D_1} \quad (5.10)$$

Одакле се добија број обртаја турбине:

$$n = \frac{146 \cdot \sqrt{8,37}}{1} = 422,4 \text{ o/min}$$

Узимајући у обзир да ће турбина да погони асинхрони трофазни генератор, брзине обртања $n_g = 1,03 \cdot 1500 = 1545 \text{ o/min}$, преко мултипликатора преносног односа $i_m = 3,7$, то се за номиналну брзину обртања турбине добија:

$$n_T = \frac{n_g}{i_m} = \frac{1545}{3,7} = 417,6 \text{ o/min}$$

За предходно одређену брзину обртања турбине, радна област турбине се налази у дијапазону јединичне брзине обртања при нету пада од 8,37 m.

$$n_{11} = \frac{n D_1}{\sqrt{H}} = \frac{417,6 \cdot 1}{\sqrt{8,37}} = 145 \text{ o/min}$$

Из овог се види да је радна област турбине обухваћена зоном највишег степена корисности.

Максимални степен корисности турбине прототипа је при параметрима [12]:

$$H_T = \left(\frac{n D_1}{n_{11M}} \right)^2 = \left(\frac{417,6 \cdot 1}{145} \right)^2 = 8,30 \text{ m}$$

$$Q_T = Q_{11M} \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{H_M} = 1,16 \cdot 1^2 \cdot \sqrt{8,30} = 3,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Номинални, односно инсталирани проток добија се за максимални нето пад и јединични проток $Q_{11max} = 1,82 \text{ m}^3/\text{s}$ (тачка 1 на шкољкастом дијаграму):

$$Q_i = Q_{11max} \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{H} = 1,82 \cdot 1^2 \cdot \sqrt{8,37} = 5,26 \text{ m}^3/\text{s}$$

Минимални проток турбине на максималном нето паду износи:

$$Q_{min} = Q_{11min} \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{H} = 0,5 \cdot 1^2 \cdot \sqrt{8,37} = 1,44 \text{ m}^3/\text{s}$$

где је:

$Q_{11min} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ - минимални проток модела (слика 5.5)

Номинална, и истовремено и максимална, снага турбине добија се преко података о степену корисности модела из тачке 1 шкољкастог дијаграма $\eta_T = 89\%$ по изразу [4]:

$$P_T = 9,81 \cdot Q_i \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_{meh} = 9,81 \cdot 5,26 \cdot 8,37 \cdot 0,89 \cdot 0,95 = 365,16 \text{ kW}$$

За механички степен корисности турбине и мултипликатора усвојена је вредност $\eta_{meh} = 0,95\%$ [13].

Узимајући у обзир степен корисности генератора по каталогу фирме „АТБ СЕВЕР“ за $P_G = 400 \text{ kW}$ и $n = 1500 \text{ o/min}$, $\eta_G = 0,93\%$ добија се номинална активна снага генератора:

$$P_G = P_T \cdot \eta_G = 365,16 \cdot 0,93 = 340,69 \text{ kW}$$

5.10 Кавитацијски услови рада турбине

Кавитацијски услови рада турбине провериће се за номинални погонски режим. За погонску тачку 1 из шкољкастог дијаграма добија се вредност критичног кавитацијског коефицијента $\sigma_{kr} = 0,75$

Вредност кавитацијског коефицијента постројења добија се по формули [13]:

$$\sigma_{PL} = \frac{10 - H_{SP}}{H} \quad (5.11)$$

Применом познатих вредности из једначине (5.11) добија се:

$$\sigma_{PL} = \frac{10 - H_{SP}}{H} = \frac{10 - 0,5}{8,37} = 1,14$$

Где је висина сисања постројења H_{SP} , одређена на основу кота турбине и доње воде:

$$H_{SP} = \text{КОК} - \text{ДВ} = 186,5 - 186 = 0,5 \text{ m}$$

Коефицијент кавитацијске резерве има вредност:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{PL}}{\sigma_{kr}} = \frac{1,14}{0,75} = 1,53$$

При вредности $K_{\sigma} > 1,6$ кавитација изчежава.

5.11 Побег турбинског агрегата

Побег турбинског агрегата може се проценити преко коефицијента побега k_p , који према [11] за Капланове турбине има вредност до 2,6.

$$n_{PT} = k_p \cdot n_T = 2,6 \cdot 417,6 = 1085,76 \text{ o/min}$$

Одговарајућа брзина обртања генератора у побегу износи:

$$n_{PG} = k_p \cdot n_G = 2,6 \cdot 1545 = 4017 \text{ o/min}$$

5.12 Одређивање проточног тракта турбине

5.12.1 Избор спирале

Обзиром на нето пад турбине и унификацију бетонских спирала фирме „ЛМЗ“ [11] одабрана је спирала са следећим карактеристикама:

- угао обухвата спирале $\varphi = 180^\circ$
- излазни угао спирале $\delta_{SP} = 38,5^\circ$
- висина спроводног апарата $b_0 = 0,42 D_1 = 420 \text{ mm}$
- ширина спирале у основи $B = 2,56 D_1 = 2,56 \text{ mm}$

Радијус улазног пресека спирале R_0 и ширина доводног дела ван спирале B_1 одређени су по унифицираној спирали типа C_1 из [13]:

$$R_0 = 1,61 D_1 = 1,61 \cdot 1000 = 1610 \text{ mm}$$

$$B_1 = 0,96 D_1 = 0,96 \cdot 1200 = 960 \text{ mm}$$

Спољашњи и унутрашњи пречник статора турбине одређени су према типизираним статорима бетонских спирала [13]:

$$D_s = 1,59 D_1 = 1,59 \cdot 1000 = 1590 \text{ mm}$$

$$D_u = 1,37 D_1 = 1,37 \cdot 1000 = 1370 \text{ mm}$$

$$r_1 = \frac{D_s}{2} = \frac{1590}{2} = 795 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{D_u}{2} = \frac{1370}{2} = 685 \text{ mm}$$

Одабрана је спирала трапезног пресека, без горњег конуса, са углом доњег конуса $\alpha_2 = 10^\circ$

Усваја се излазни угао спирале за Капланове турбине према [13]

$$\delta_{SP} = 30^\circ$$

Из услова:

$$\frac{b}{D_1} \leq \frac{2(R_0 - r_1)}{D_1} \rightarrow \frac{b}{D_1} \leq \frac{2(1610 - 795)}{1000} = 1,63$$

добија се висина спроводног апарата:

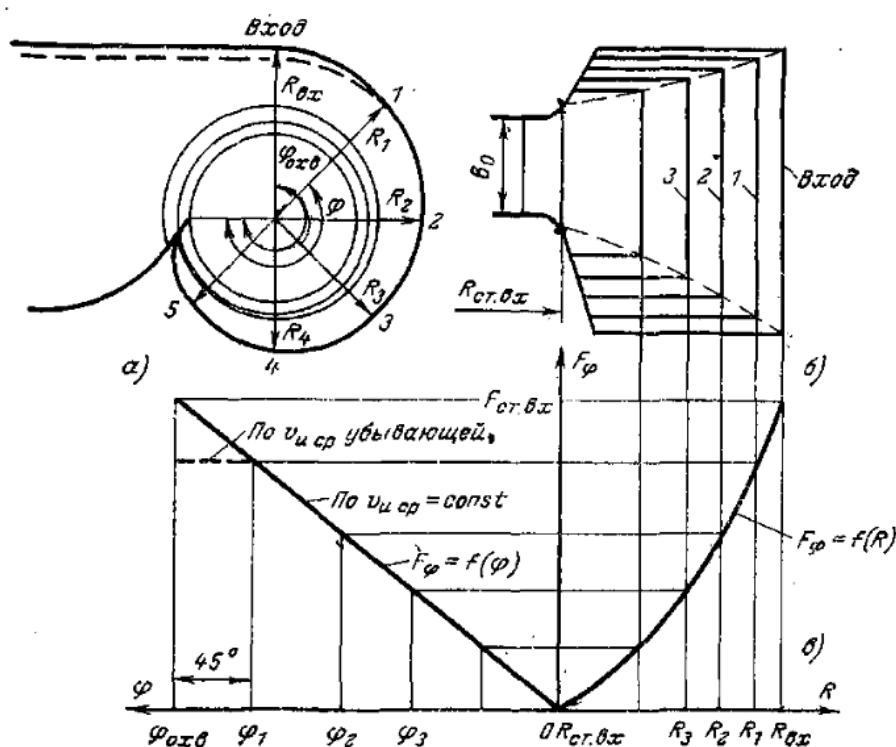
$$b \leq 1,63 \cdot D_1 \Rightarrow b \leq 1630$$

Усваја се $b = 1630 \text{ mm}$

Добијена вредност представља висину спирале на полупречнику R_0 , информативне мере у осталим пресецима спирале дате су у *табели 5.1*, а одеђене су према дијаграму са *слике 5.6* [11].

φ°	180	135	90	45
R [mm]	1610	1465	1310	1150
b [mm]	1630	1380	1130	900

Табела 5.1. Димензије спирале на различитим угловима



Слика 5.6 Дијаграм за одређивање димензије спирале за дати угао

Површина улазног пресека спирале износи:

$$A_{sp} = (R_0 - r_1) \cdot b + (r_1 - r_2) \cdot b_0 - \frac{b_0}{2}$$

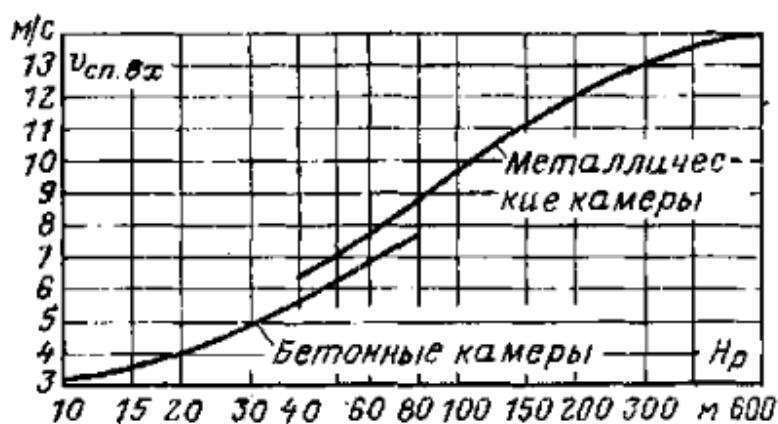
$$A_{sp} = (1,610 - 0,795) \cdot 1,630 + (0,795 - 0,685) \cdot 0,420 - \frac{0,420}{2}$$

$$A_{sp} = 1,328 + 0,046 - 0,118 = 1,256 \text{ m}^2$$

Брзина у улазном пресеку спирале је:

$$V_{ul} = \frac{\varphi_0}{360} \cdot \frac{Q_i}{A_{sp}} = \frac{180}{360} \cdot \frac{5,26}{1,256} = 2,09 \text{ m/s}$$

Према дијаграму са слике 5.7 брзина у улазном пресеку бетонске спирале за нето пад 8,37 m треба да је мањи од 3 m/s, па је овај услов испуњен.



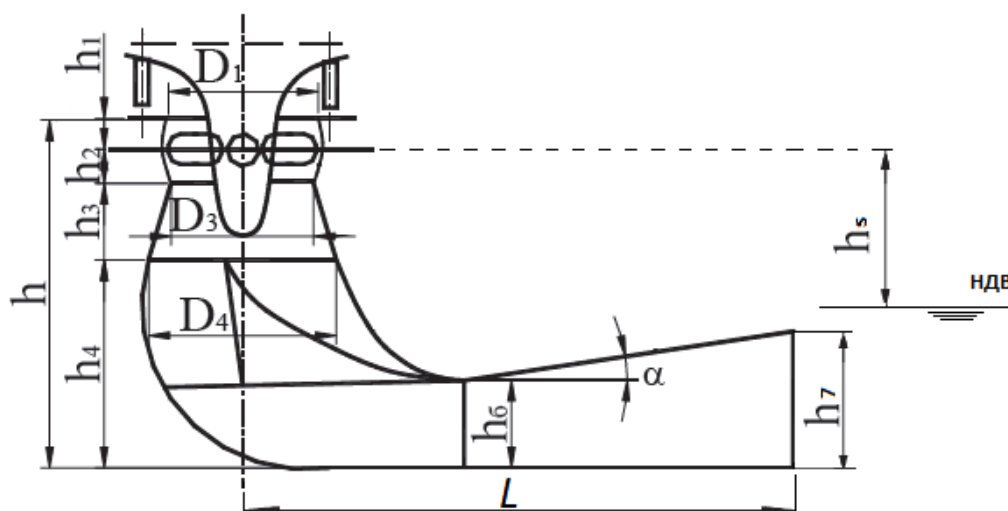
Слика 5.7 Дијаграм брзине на улазу у спиралу

5.12.2 Избор сифона турбине

На основу каталога произвођача и препорука [11,14] за Капланову хидротурбину типа ПЛ20/811-ВБ-50 изабран је дифузор са слике 5.8 са димензијама датим у табели 5.2.

Турбина	h_3 [mm]	h_4 [mm]	h_6 [mm]	h_7 [mm]	α [°]	L [mm]	D_1 [mm]	D_3 [mm]	D_4 [mm]
ПЛ20/811-ВБ-50	360	1600	550	1200	12	3540	1100	900	1100

Табела 5.2. Димензије дифузора



Слика 5.8 Дифузор за изабрану турбину

5.13 Прерачунавање степена корисности са модела на прототип

Прерачунавање степена корисности са модела на прототип изводи се по међународној норми ИЦЕ 60193, преко Рејнолдсових бројева модела и прототипа [13].

$$Re_{uM} = \frac{\pi n_M}{60} \cdot \frac{D_{1m}^2}{v_M} = \frac{\pi \cdot 923,4}{60} \cdot \frac{0,5^2}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 12,03 \cdot 10^6$$

$$n_M = \frac{n_{11m} \sqrt{H_M}}{D_{1m}} = \frac{146 \cdot \sqrt{10}}{0,50} = 923,4 \text{ o/min}$$

$$v_M = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s} \quad \text{за } t_w = 20^\circ \text{ C}$$

$$H_M = 10 \text{ m} \quad \text{за } t_w = 20^\circ \text{ C}$$

Рејнолдсов број прототипа одредиће се, такође, за температуру воде $t_w = 20^\circ \text{ C}$ коришћењем величине са прототипа [13]:

$$Re_{uP} = \frac{\pi n_T}{60} \cdot \frac{D_1^2}{v_P} = \frac{\pi \cdot 343,3}{60} \cdot \frac{1^2}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 25,7 \cdot 10^6$$

Коефицијент у формули за прерачунавање степена корисности израчунава се по обрасцу [13]:

$$\delta_{ref} = \frac{1 - \eta_{mM}}{\left(\frac{Re_{uref}}{Re_{uM}}\right)^{0,16} + \frac{1 - V_{ref}}{V_{ref}}} \quad (5.12)$$

Где се применом обрасца (5.12) добија:

$$\delta_{ref} = \frac{1 - \eta_{mM}}{\left(\frac{Re_{uref}}{Re_{uM}}\right)^{0,16} + \frac{1 - V_{ref}}{V_{ref}}} = \frac{1 - 0,92}{\left(\frac{7 \cdot 10^6}{12,03 \cdot 10^6}\right)^{0,16} + \frac{1 - 0,8}{0,8}} = 0,0685$$

Вредност коефицијента прерасподеле губитака V_{ref} представља средњу вредност добијену на испитивањима модела турбина хидраулички глатких површина при номиналном Рејнолдсовом броју $Re_{uref} = 7 \cdot 10^6$. За аксијалне и полуаксијалне турбине $V_{ref} = 0,8$, док је за радијалне турбине овај коефицијент $V_{ref} = 0,7$ [12].

Прерачунавање степена корисности са модела на прототип у оптималном погонском режиму врши се по следећем изразу:

$$\eta_{iT} = \eta_{mM} + \delta_{ref} \left[\left(\frac{Re_{uref}}{Re_{uM}}\right)^{0,16} - \left(\frac{Re_{uref}}{Re_{uP}}\right)^{0,16} \right] \quad (5.13)$$

$$\eta_{iT} = 0,92 + 0,0685 \left[\left(\frac{7}{12,03}\right)^{0,16} - \left(\frac{7}{25,7}\right)^{0,16} \right]$$

$$\eta_{iT} = 0,927 = 92,7 \%$$

Имајући у виду малу вредност поправке степена корисности, за прототип ће се користити вредности са модела.

На основу расположиве количине воде и напора а по препоруци из каталога произвођача усваја се Капланова двоструко регулисана турбина произвођача «Энергомаш (Сысерть)–Уралгидромаш» тип ПЛ20/811-ВБ-50 [11].

5.14 Одређивање средње годишње производње МХЕ

У предходном делу извршен је избор и дефинисање основних параметара турбине. Као решење усвојено је постројење са две Капланове турбине које раде у опсегу $1,44 \div 5,26 \text{ m}^3/\text{s}$.

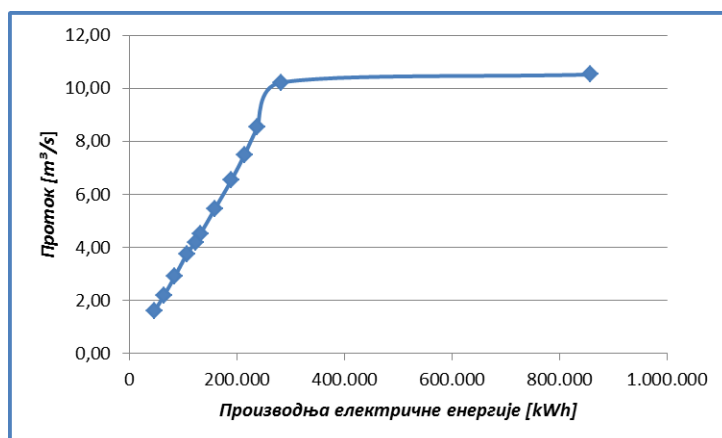
Унутрашњи степен корисности турбине одређен је према шкољкастом дијаграму са слике 5.5, при чему је потребно нето пад и проток турбине трансформисати у јединичну брзину обртања и јединични проток

За механички степен корисности, који обухвата губитке у лежајевима турбине и мултипликатора, узета је константна вредност $\eta_{meh} = 95 \%$

За номинални степен корисности генератора узета је вредност $\eta_{Gn} = 93 \%$ а за номиналну снагу генератора $P_g = 340,69 \text{ kW}$.

Тачка	Број турбина у раду	T [dan]	ΔT [h]	Q [m ³ /s]	H [m]	n ₁₁ [o/min]	Q ₁₁ [m ³ /s]	η_T	η_{meh}	PT [kW]	η_g	PG [kW]	ΔE [kWh]
1	2	54	1296	10,52	8,14	146,36	1,826	0,890	0,950	710,40	0,93	660,67	856.229
2	2	18	438	10,22	8,16	146,19	1,774	0,890	0,950	691,67	0,93	643,25	281.744
3	2	18	438	8,54	8,25	145,38	1,483	0,890	0,950	584,43	0,93	543,52	238.063
4	2	18	438	7,48	8,30	144,95	1,299	0,905	0,950	523,62	0,93	486,97	213.293
5	2	18	438	6,53	8,34	144,62	1,134	0,915	0,950	464,32	0,93	431,82	189.135
6	2	18	438	5,45	8,38	144,29	0,946	0,915	0,950	389,27	0,93	362,02	158.563
7	1	18	438	4,52	8,40	144,06	0,785	0,915	0,950	323,88	0,93	301,20	131.927
8	1	18	438	4,19	8,41	143,99	0,727	0,915	0,950	300,53	0,93	279,49	122.417
9	1	18	438	3,74	8,42	143,90	1,299	0,890	0,950	261,24	0,93	242,96	106.414
10	1	18	438	2,90	8,44	143,76	1,007	0,905	0,950	206,38	0,93	191,93	84.065
11	1	18	438	2,17	8,45	143,67	0,753	0,915	0,950	156,33	0,93	145,39	63.680
12	1	18	432	1,59	8,45	143,62	0,552	0,915	0,950	114,63	0,93	106,61	46.055
Укупно												2.491.586	

Табела 5.3 Производња електричне енергије



Слика 5.9 Зависност производње електричне енергије од протока

6. ПРОРАЧУН И ИЗБОР ЕЛЕКТРО ОПРЕМЕ

6.1 Технички опис

Мала хидроелектрана (МХЕ) „Ковиљача“ биће изграђена на територији КО Крепољин на територији општине Жагубица.

МХЕ ће бити опремљена са два хидроагрегата са каплановим турбинама које преко мултипликатора брзине обртања погони трофазни асинхрони генератор стандардног извођења.

Електрана ће радити потпуно аутоматизовано без људске посаде, паралелно са дистрибутивном мрежом. МХЕ ће се аутоматски прилагођавати дотоку воде.

6.2 Генератор

Обзиром да ће МХЕ радити искључиво паралелно са електродистрибутивном мрежом, предвиђен је асинхрони генератор стандардног извођења. Генератор је израђен од сивог лива. Улежиштење ротора на вратилу је изведено са котрљајућим лежајевима који се подмазују машћу. Хлађење се врши вентилатором који је смештен на другом крају вратила.

Узимајући у обзир добијену активну снагу генератора и прописани фактор снаге $\cos(\varphi) = 0,98$, добија се привидна снага једног генератора:

$$S_g = \frac{P_g}{\cos(\varphi)} = \frac{335,5}{0,98} = 342,2 \approx 345 \text{ kVA}$$

Основне карактеристике асинхроног генератора су следеће:

- извођење: отворена асинхрона машина са кавезним ротором,
- снага на вратилу 360 kW
- корисна (електрична) 336 kW
- привидна снага генератора 345 kVA
- номинални напон 400 V
- номинална брзина обртања 1545 o/min

С обзиром да се у постројењу МХЕ „Ковиљача“ инсталирају два турбинска агрегата, неопходно је за сваку турбину уградити асинхрони генератор са горе приказаним карактеристикама.

6.3 Компезација реактивне снаге

Пошто асинхрона машина у генераторском раду, одајући активну снагу узима из мреже реактивну снагу са фактором снаге који је чак нешто нижи него у моторном раду, неопходна је компензација реактивне снаге прикључењем кондезаторских батерија на сабирнице генератора. Предвиђена је трофазна батерија кондезатора снаге 280 kVAr за сваки генератор посебно. [15]. Да би се избегло самопобуђивање генератора у празном ходу, а тиме и велике ударне струје које би се тада јавиле код везивања

генератора на мрежу, кондензатори се прикључују тек после укључења генераторског прекидача. У поступку искључења генератора са мреже, најпре се искључују батерије кондензатора, а потом генераторски прекидач.

6.4 Мерење и сигнализација

Мерно место за мерење електричне енергије се налази у објекту МХЕ у мерно-прикључном орману. Предвиђена су два бројила, за сваки смер енергије по једно. Бројила су микропроцесорска, вишефункционална, двотарифна, за полуиндиректно мерење активне и реактивне енергије. Бројило које мери енергију коју МХЕ прима из мреже опремљено је максиграфом. У оба бројила је интегрисан управљачки уређај за пребацивање тарифе.

Поред мерења електричне енергије, предвиђено је индикаторско мерење главних електричних, хидраулучких и механичких величина и то:

- струје у све три фазе,
- напона,
- активне снаге,
- реактивне снаге.

Осим тога, мере се кота горње воде и број сати рада хидроагрегата.

Обзиром да је МХЕ без сталне посаде, сигнализација кварова и осталих погонских догађаја се врши увођењем свих сигнала у ПЛЦ где се чувају у меморији до обиласка од стране стручног лица које ће их после прегледа и анализе поништити. Као помоћни напон у МХЕ користи се оловна акумулаторска батерија 24 V, 120 Ah, која не захтева никакво одржавање нити проветравање просторије.

6.5 Начин пуштања и заустављања МХЕ

Да би отпочео процес аутоматског покретања агрегата и његовог прикључења на мрежу, морају бити испуњени следећи услови спремности за старт:

- агрегат стоји ($n=0$),
- нормални притисак регулационог уља ($P > P_0$),
- нормална кота горње воде ($Z > Z_{min}$),
- електричне заштите непобуђене,
- присутан помоћни напон 220 V, 50 Hz,
- присутан помоћни напон 24 V DC.

После давања налога за старт агрегата, спроводни апарат турбине се отвара на отвор празног хода. Агрегат почиње да се окреће и при достизању 95 % од номиналне брзине укључује се генераторски прекидач, чиме се генератор везује на мрежу. Одмах потом укључује се аутоматска регулација нивоа горње воде путем турбинског регулатора који регулише снагу турбине, односно проток воде кроз турбину уз одржавање константне коте горње воде као задатог параметра. Истовремено, даје се сигнал аутоматици табластог затварача како би се искључила из регулације нивоа горње воде и затворила испуст. Такође, одмах по укључењу генераторског прекидача укључује се секција кондензаторске батерије за компензацију реактивне снаге, а

турбински регулатор повећава снагу агрегата све до постизања изједначеног биланса између дотока реке и истицања воде кроз турбину.

Постоји временска контрола процеса аутоматског пуштања агрегата, и ако време од давања команде за старт до укључења генераторског прекидача премаше подешено време, добија се сигнал да покретање није успело. У том случају, руковалац ће поништити команду и зауставити агрегат, где ће након отклањања сметњи поновити поступак.

Поступак искључења генератора са мреже и аутоматског заустављања агрегата почиње давањем команде за заустављање и обавља се аутоматски следећим редоследом:

- затварање спроводног апарата до отвора празног хода,
- искључење секције батерије кондензатора за компензацију реактивне енергије снаге,
- искључење генератора са мреже искључењем генераторског прекидача,
- затварање спроводног апарата турбине до краја,
- давање сигнала аутоматици за отварање испуста како би отпочела регулација нивоа горње воде.

Временска контрола прати процес заустављања агрегата и у случају да предвиђено време буде премашено, даје се команда за хаваријско затварање турбине.

При деловању заштита или неконтролисано искључењу генераторског прекидача такође даје се команда за аутоматско заустављање како би се обавиле преостале секвенце, т.ј. зауставила турбина и искључила компензација реактивне снаге.

Предвиђено је и хаваријско заустављање турбине у случају отказа турбинског регулатора активирањем тега који преко полуге својом тежином затвара спроводни апарат. И у том случају се истовремено даје команда и за аутоматско заустављање како би се обезбедило искључење компензације и искључење генератора са мреже.

6.6 Систем управљања

Систем управљања МХЕ је са програмабилним логичким контролером (PLC) и садржи све информације за ниво контроле који обезбеђује сигуран рад, високи ниво учинка и поузданост хидроагрегата. Управљачки систем контролисан је са једном програмираном аутоматском јединицом за хидро агрегат, погон без послуге МХЕ и омогућава даљинску комуникацију уз помоћ система SCADA (или кроз GSM модем) са могућношћу даљинског преноса знакова и сигнализације притиска, струје, напона, активни погон, јалови погон итд.

Систем за управљање обезбеђује:

- аутоматски рад МХЕ паралелно на постојећу електричну мрежу,
- минималну количину заштите, поднапонска, преднапонска, фрекфентна, надструјна, несиметрични ток и сл.
- аутоматско подешавање и постављање према нивоу воде у турбинском шахту (управљачки систем PLC),
- даљинско управљање и сигнализацију (GSM модем),
- хидраулички агрегат, укључујући регулационе ваљке, сензоре регулације,
- ниво уља,
- комуникационе каблове ,
- разводник са извршном заштитом 400 V, 50 Hz.

7. ХИДРОТЕХНИЧКЕ ГРАЂЕВИНЕ МХЕ

7.1 Бетонска преграда – брана

Брана МХЕ „Ковиљача” је бетонска гравитациона брана, која се састоји од преливног дела ширине 11,0 m, четири испусна поља са табластим уставама за евакуацију великих вода, ширине по 3,0 m и рибље стазе. Браном се формира акумулација са котом нормалног успора 194,50 мнм. Брана је лоцирана на парцелама бр. 5991/5, 9482, 9483 К.О. Крепољин.

Брана ствара успор висине $H = 8,5$ m. Успор воде је око 1295 m. Успором воде ствара се мала акумулација запремине $V = 68.250$ m³. Сам успор воде је уједно и таложник [9].

За испуст воде биолошког минимума и омогућавање миграционог кретања риба у више токове реке пројектована је рибља стаза.

Основне техничке карактеристике бране су:

- конструктивна висина 8,50 m,
- дужина у круни 21,00 m,
- кота круне бране 194,50 мнм.

Како је преграда пројектована у речном кориту које је усечено у стенски масив, за умирење енергије воде при преливању преко преграде у слапишту је предвиђена уградња ломљених камених блокова којих има у околини.

7.1.1 Евакуација великих вода

Опрема на брани се састоји од табластих устава за евакуацију великих вода. У телу бране пројектована су четири поља ширине 3,00 m на којима су уграђени табласти затварачи. Затварачи су вертикални клизни. У нормалним околностима затварач, се диже и спушта у струји воде. Затварач треба да ради мирно без вибрација при делимичном или пуном отвору. Погон затварача је хидраулички сервомотором монтираним на одговарајућим челичним носачима

Евакуациони органи су димензионисани да пропусте велику воду повратног периода 100 година која износи 303 m³/sek.

Низводно од преграде предвиђено је спуштање коте терена на коту 185,00 мнм и њено облагање крупним каменом ради заштите од ерозије.

7.1.2 Прорачун величине прелива за биолошки минимум и рибљу стазу

Да би одређена количина воде (биолошки минимум) стално преливала и отицала, кота улаза захватне грађевине за одвод воде ка таложнику биће виша од пројектованог испуста за биолошки минимум. Испод прелива за биолошки минимум предвиђена је рибља стаза у виду каскада од бетона.

Основна функција рибље стазе је да омогући пролаз риби у више токове реке. Узимајући у обзир наведене разлоге мора се изградити такав прелаз (рибља стаза) која задовољава следеће услове:

- да се на каскадама прелаза чује природни жубор воде,
- да се за изградњу стазе користе природни материјали као што је камен који се спаја цементним малтером,
- да максимална брзина воде у стази не прелази 5 m/sek.

Количина воде за биолошки минимум срачунаће се на основу меродавних малих вода. Ако се узме да је количина воде која стално прелива - биолошки минимум и износи $Q_{\text{мин}} 95\% = 1,41 \text{ m}^3/\text{sek}$, онда се величина прелива за брану са заобљеним врхом рачуна на следећи начин:

За висину прелива $H = 0,3 \text{ m}$, проток кроз прелив се рачуна [16]:

$$Q = b \cdot C_{dD} \cdot H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{2g} \quad (7.1)$$

Пошто је познат тражени проток кроз прелив, из једначине (7.1) рачуна се ширина прелива:

$$b = \frac{Q}{C_{dD} \cdot H^{2/3} \cdot \sqrt{2g}} = \frac{1,41}{0,494 \cdot 0,3^{2/3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} = 1,44 \text{ m}$$

Усваја се ширина прелива $b = 1,5 \text{ m}$

Где је:

C_{dD} [–] коефицијент протока, који зависи од типа бране и облика преливног отвора.

7.2 Пролаз за рибе

Рибља стаза представља хидротехничку грађевину која заобилази бране, уставе и бродске преводнице, а омогућује рибама миграцију. Рибе обично прелазе рибље стазе пливањем или прескакањем до друге стране преграде. Брзина протока воде мора бити довољна да рибе могу прећи препреке, али не сме бити превелика да се риба не измори, тако да је често постављање одмаралишта на рибљим стазама неизбежно.



Слика 7.1 Рибља стаза

Рибљи пролаз који ће се изградити уз постројење МХЕ Ковиљача (слика 7.1), биће пролаз са преливима и базенима, који се састоји из низа базена са водом која протиче од базена до базена преко правоугаоних брана. Овде базени имају двоструку улогу:

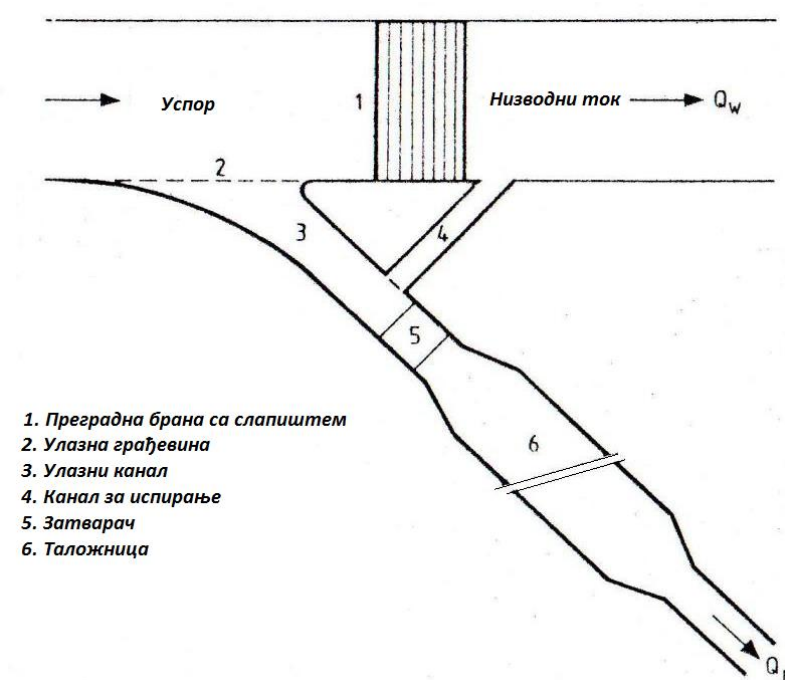
- Обезбеђују одморишни простор, и
- Умањују енергију воде која пада низ степениште.

7.3 Водозахват

Водозахват као хидротехнички објект служи за захватање воде из акумулације, задржавање чврстих пливајућих предмета, леда, шљунка и песка у акумулацији, и усмеравање воде у канал којим се вода одводи ка постројењу.

Собзиром да се вода од водозахвата до постројења води отвореним деривационим каналом биће примењен површински водозахват (слика 7.2) који обезбеђује површинско одвођење воде [10].

Одређивање улаза захвата је кључни фактор у смањењу наслага отпада у акумулацији, који представља извор могућих проблема за одржавање. Најбоља позиција захвата је да буде под правим углом у односу на прелив, тако да током сезона поплава, ток гура отпадке преко врха бране. Захват не треба да буде смештен у деловима површине мирне воде, далеко од прелива, јер вртложне струје у таквим водама нагомилавају отпад на улазу. Такође, захват је опремљен решетком за одвајање пливајућих нечистоћа [1].



Слика 7.2 Шематски приказ водозахвата МХЕ Ковиљача

7.4 Разводник воде

На крају доводног канала, а непосредно пред турбински улаз налази се разводник воде. Он служи најпре за пропуштање воде у турбину, а затим и за регулисање нивоа воде тј. пада који се користи у турбини. Разводник воде је шири и дубљи од доводног канала како би се у њему таложио песак и муљ који су прошли кроз решетку и доводни канал.

Разводници се израђују на више начина и међусобно се разликују према облику, величини, положају и начину дејства. Примењени тип разводника воде код МХЕ Ковиљача јесте разводник са слободном површином воде. Овај разводник се састоји из:

- базена,
- прелива,
- уставе за пражњење,
- преграде за острањивање пливајућих тела,
- зидова за усмеравање воде,
- турбинске уставе,
- фине решетке и
- канала за пражњење

Базен се добија проширивањем и продубљивањем корита доводног канала. У базену разводника се налази бетонирани ров дубине 30-40 cm у коме се таложе песак и муљ. Овај ров је обично испред решетке, а спојен је са уставом за пражњење ради повремених испирања. Прелив треба да је довољно широк да би се сувишна вода могла неометано удаљити из разводника. Ако у близини бране постоје преливи или испусти онда преко прелива у разводнику не прелази сва количина сувишне воде, па прелив на разводнику служи само за фино регулисање нивоа воде. Ово фино регулисање воде омогућава да димензије доводног канала и разводника буду знатно мање [1].

7.5 Одводни канал

Вода која истиче из турбине одлази у речно корито, или непосредно или кроз одводни канал који почиње од сифона турбине. Одводни канал се може изградити као отворен или као затворен канал са слободном површином воде или као тунел. Код постројења са ниским притиском, као код МХЕ „Ковиљача“, нарочито је важно димензионисање пресека канала да би губици пада који настају у одводном каналу били што мањи, јер постројење користи и онако мали пад. Губитак пада у одводном каналу не може се сасвим избећи јер канал мора имати извештан нагиб да би вода могла отицати. Ако је одводни канал ископан у земљишту које вода лако односи, после извесног времена може се десити да вода продуби корито канала те ће ниво воде у њему за време ниског водостаја опати испод предвиђене границе. Таква појава доводи до продирања ваздуха у сифон услед чега снага турбине нагло опада.

На крају сифона поставља се низводна устава са улогом да се може у случају потребе вршити поправка самог сифона или турбине. Ова устава је просте грађе изграђена од гвоздене конструкције чије се отварање и затварање врши хидрауличним агрегатом [16].

7.6 Машинска зграда

Машинска зграда је деривациона и служи за смештај турбина, генератора и осталих уређаја потребних за рад електране, и лоцирана је на обали реке Млаве. Зграда је правоугаоног попречног пресека димензија у основи су: 11,00 x 10,60 m. Трансформатор је предвиђен ван машинске зграде на платоу поред ње. У машинској згради смештена су два пропелерна агрегата са вертикалном осовином инсталисаног протока $5,24 \text{ m}^3/\text{s}$.

Димензије машинске зграде дефинисане су на основу димензије и броја агрегата, облика околног терена, земљишта и уређаја за регулисање рада турбине. У машинској згради МХЕ „Ковиљача“ се налази следећа опрема:

- улазни затварач,
- турбина,
- мултипликатор,
- генератор,
- систем контроле и управљања,
- заштитни систем,
- мосна дизалица-кран.

Собзиром да се локација хидроелектране не налази у подручју туристичких вредности, машинска зграда биће изграђена од стандардног грађевинског материјала и иста неће бити уклапана у средину.

8. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА

Економском анализом утврђује се цена коштања производње електричне енергије у малој хидроелектрани, као и укупни инвестициони трошкови и трошкови одржавања постројења. При прорачуну појединих и укупних трошкова полази се од стандардних шема за израду калкулација и поделе трошкова. Трошкови су сврстани у две основне групе и то:

- инвестициони трошкови,
- оперативни трошкови.

8.1 Инвестициони трошкови

Да би пројекат малих хидроелектрана био економски исплатив потребно је пре свега свести све инвестиционе трошкове који су заправо и највећи трошкови, па тек након тога експлоатационе трошкове, нето годишњу зараду и на крају време повратка инвестиције односно профитабилност пројекта.

Циљ економске анализе пројекта МХЕ је анализа да ли предложени пројекат обезбеђује повраћај уложених средстава током експлоатације у жељеном временском року. Економска анализа подразумева поређење трошкова и добити, које инвеститорима омогућава да направе избор између опција даљег улагања у пројекат или напуштања истог. За обављање економске анализе потребно је анализирати трошкове и приходе који настају током свих фаза пројекта (од идеје за градњу МХЕ, до читавог периода експлоатације МХЕ) [3].

Највећи инвестициони трошкови јесу трошкови грађевинских и хидрограђевинских радова. У ове трошкове спадају бетонска брана са рибљом стазом, водозахват, деривациони канал, машинска зграда са одводним каналом, заштита приобаља, регулација речног тока у околини бране, парцијално преграђивање реке и припрема градилишта као и остали грађевински и хидрограђевински радови. Предрачун грађевинских и хидрограђевинских радова приказан је у *табели 8.1*.

Ред.бр.	Врста радова	Јед.мере	Количина	Цена/јед. мере [€]	Укупни трошкови [€]
1	Ископ земље и камена за потребе бране	m ³	300	15	4.500
2	Бетонирање и обликовање бетонске бране	m ³	350	200	70.000
3	Трошкови набавке и уградње табластих устава	/	/	/	25.000
4	Ископ земље за потребе доводног канала	m ³	3000	10	30.000
5	Шаловање, армирање и бетонирање доводног канала	m ³	225	200	45.000
6	Набавка материјала и изградња машинске зграде	m ²	150	300	45.000
7	Ископ одводног канала	m ³	450	10	4.500
8	Набавка материјала и изградња одводног канала	m ³	200	250	50.000
9	Изградња рибље стазе	/	/	/	7.000
10	Заштита приобаља	/	/	/	10.000
11	Остала грађевинска и хидрограђевинска инфраструктура	/	/	/	50.000
12	Регулација речног тока у околини бране	/	/	/	15.000
13	Остали непредвиђени трошкови (10%)	/	/	/	35.600
УКУПНИ ТРОШКОВИ ГРАЂЕВИНСКИХ И ХИДРОГРАЂЕВИНСКИХ РАДОВА					391.600

Табела 8.1 Прерачун грађевинских и хидрограђевинских радова

Инвестициони трошкови који су веома значајни су трошкови који се тичу машинске и хидромашинске опреме и приказани су у *табели 8.2*. У ове трошкове спадају Капланова турбина са кућиштем, турбински регулатор, хидромашинска опрема у машинској згради, хидромашинска опрема на брани и остали помоћни системи.

Ред.бр.	Врста опреме	Ком	Маса [kg]	Јед.цена [eur/kg]	Укупни трошкови [eur]
1	Вертикална Капланова турбина	2	2 x 9.000	20	360.000
2	Облога спирале $\phi=180^\circ$	2	2 x 2000	3	12.000
3	Облога конуса сифона	2	2 x 1000	4	8.000
4	Турбински регулатор	2	2 x 1000	15	30.000
5	Предтурбински затварач	2	2 x 900	10	18.000
6	Мултипликатор са укрштеним вратилима	2	2 x 500	30	30.000
7	Мосна дизалица носивости 100 kN	1	700 600	20 3	15.800
8	Улазна решетка	1	1500	3	4.500
9	Транспорт и монтажа (15%)	-	-	-	71.745
УКУПНИ ТРОШКОВИ МАШИНСКЕ И ХИДРОМАШИНСКЕ ОПРЕМЕ					550.045

Табела 8.2 Предрачун машинске и хидромашинске опреме

Комплексна електро опрема је врло скупа што представља велики инвестициони трошак. У ову опрему спадају генератор, енергетски трансформатор, опрема за праћење и контролу рада постројења, прикључни вод, опрема у трафо станици, трошкови прикључења система на мрежу као и транспорт и монтажа. У табели 8.3 приказана је рекапитулација трошкова електро опреме.

Ред.бр.	Врста опреме	Укупни трошкови [eur]
1	Асинхронни генератор привидне снаге 345 kVA - 2 ком	95.000
2	Трофазна батерија кондезатора за компензацију реактивне енергије 280 kVAr 2 ком.	15.600
3	Програмибилни логички контролер (PLC)	10.450
4	Трансформатор 10/0,4 kV	60.000
5	Остала електро опрема (30%)	54.315
6	Радови на монтажи, испитивању и пуштање у рад (рачуна се паушално 30% од цене опреме)	54.315
УКУПНИ ТРОШКОВИ ЕЛЕКТРО ОПРЕМЕ		289.680

Табела 8.3 Предрачун електро опреме

У предходним табелама приказани су инвестициони трошкови опреме и грађевинских радова. Из свега тога може се извести рекапитулација инвестиционих трошкова:

- | | |
|--|-----------|
| 1. трошкови грађевинских и хидрограђевинских радова: | 391.600 € |
| 2. трошкови машинске и хидромашинске опреме: | 550.045 € |
| 3. трошкови електро опреме: | 289.680 € |

Укупно: 1.231.325 €

На основу срачунатих укупних инвестиционих трошкова и снаге постројења, може се израчунати инвестиционо улагање по kW снаге постројења.

$$\text{Инвестициони трошкови} = \frac{1.231.325}{682} \approx 1.805 \text{ €/kW}$$

8.2 Оперативни трошкови

Оперативни трошкови МХЕ Ковиљача јављају се у фази рада постројења. Ове трошкове чине:

1. трошкови инвестиционог и текућег одржавања,
2. трошкови уговорених обавеза – осигурања,
3. експлоатациони трошкови.

Трошкови инвестиционог и текућег одржавања обухватају средства која се морају издвојити на годишњем нивоу за одржавање комплетног објекта, односно МХЕ Ковиљача. Ови трошкови приказани су у *табели 8.4*.

Ред.бр.	Врста опреме	Предрачунска вредност [eur]	Инвестиционо одржавање [%]	Укупни трошкови [eur]
1	Грађевински и хидрограђевински радови	391.600	0,5	1.958
2	Машинска и хидромашинска опрема	550.045	1	5.500
3	Електро опрема	289.680	1	2.897
УКУПНИ ТРОШКОВИ ОДРЖАВАЊА				10.355

Табела 8.4 Инвестиционо и текуће одржавање

Објекте и опрему МХЕ неопходно је осигурати од лома или пожара. Стопа осигурања варира зависно од осигуравајућег друштва. Стопе осигурања које су приказане у *табели 8.5* представљају просечне стопе осигурања које важе на територији Републике Србије.

Ред.бр.	Врста опреме	Предрачунска вредност [eur]	Стопа осигурања [%]	Укупни трошкови [eur]
1	Грађевински и хидрограђевински радови	391.600	0,1	392
2	Машинска и хидромашинска опрема	550.045	0,2	1.100
3	Електро опрема	289.680	0,2	579
УКУПНИ ТРОШКОВИ ОСИГУРАЊА				2.071

Табела 8.5 Трошкови осигурања

Експлоатациони трошкови који се тичу зараде и накнаде запослених у малој хидроелектрани на годишњем нивоу приказани су у табели 8.6. С обзиром да мала хидроелектрана ради самостално без људске посаде, одређени радници биће ангажовани делимично у одређеном временском периоду.

Ред.бр.	Степен стручне спреме	Број потребних радника	Средства за исплату радника [eur]	Време ангажовања у току године [месеци]	Укупни трошкови [eur]
1	Висока стручна спрема	1	1.000	1	1.000
2	Средња стручна спрема	1	750	2	1.500
3	Квалификовани радник	1	600	2	1.200
УКУПНИ ТРОШКОВИ РАДНЕ СНАГЕ					3.700

Табела 8.6 Трошкови радне снаге

Трошкови амортизације су директно повезани са технолошким радним веком објекта и опреме. Технолошки радни век за МХЕ Ковиљача процењује се на 50 година за грађевинске објекте, док за хидромашинску опрему технолошки радни век износи 30 година. Радни век за електро опрему се процењује на 20 година. На основу технолошког радног века и цене амортизационих трошкова могу се израчунати укупни амортизациони трошкови за МХЕ Ковиљача који су приказани у табели 8.7.

Ред.бр.	Врста опреме	Предрачунска вредност [eur]	Амортизационо учешће [%]	Укупни трошкови [eur]
1	Грађевинска и хидро грађевинска опрема	391.600	2	7.832
2	Машинска и хидро машинска опрема	550.045	2	11.000
3	Електро опрема	289.680	5	14.484
УКУПНИ ТРОШКОВИ АМОРТИЗАЦИЈЕ				33.316

Табела 8.7 Трошкови амортизације

На основу прорачунатих годишњих оперативних трошкова може се извести рекапитулација истих што износи:

- | | |
|--|----------|
| 1. трошкови инвестиционог и текућег одржавања: | 10.355 € |
| 2. трошкови уговорених обавеза: | 2.071 € |
| 3. експлоатациони трошкови: | 3.700 € |
| 4. трошкови амортизације: | 33.316 € |

Укупно: 49.442 €

8.3 Приход остварен производњом електричне енергије

У табели 8.8 приказана је висина прихода на основу произведене електричне енергије.

Показатељ	Произведена ел. енергије [kWh]	Цена [eur/kWh]	Годишњи приходи [eur]
Производња електричне енергије	2.491.586	0,1041	259.374

Табела 8.8 Приход од производње електричне енергије

На основу Уредбе о мерама подстицаја за производњу електричне енергије коришћењем обновљивих извора енергије и комбинованом производњом електричне и топлотне енергије („Службени гласник РС”, бр. 99/09 и 124/12), цена откупа произведене електричне енергије за производњу од 0,5 до 1 MW у хидроелектранама износи 10,41 €с/kWh [17].

На основу ове цене за произведену електричну енергију добија се да је бруто приход МХЕ Ковиљача 259.374 eur.

8.4 Профитабилност пројекта и време повратка инвестиција

Просто време повраћаја инвестиција представља однос укупних инвестиција и нето годишњих прихода. Прво се од бруто годишњих прихода производње електричне енергије одузму укупни годишњи оперативни трошкови, затим се од добијене нето годишње зараде одузме део новца за опорезивање и добија се укупни нето приход. Нето годишњим приходом је потребно поделити суму укупних инвестиционих трошкова како би се добило просто време повраћаја инвестиције.

А. Укупна инвестиција	1.231.325 €
В. Бруто годишњи приход	259.374 €
С. Укупни годишњи трошкови	49.442 €
Д. Нето годишњи приход (В – С)	209.932 €

$$\text{Време повраћаја инвестиција} = \frac{\text{Укупна инвестиција}}{\text{Нето годишњи приход}} = \frac{1.231.325}{209.932} = 5,86 \text{ година}$$

Може се закључити да период повраћаја инвестиционог улагања за МХЕ Ковиљача износи 5,86 године, што овакав систем чини исплативим.

ЗАКЉУЧАК

Енергија је неопходан ресурс за технички и економски развој савременог света и укључена је у све аспекте друштвеног живота. Управо због тога, рационално управљање енергијом једна је од кључних претпоставки одрживог развоја. Рационално управљање енергијом укључује пре свега максимално искоришћење примарне енергије у свим енергетским процесима.

Мале хидроелектране доприносе одрживом развоју друштва, јер су економски изводљиве, еколошки прихватљиве и обезбеђују децентрализовану производњу електричне енергије и доприносе развоју удаљених заједница.

У Србији постоји неискоришћен хидроенергетски потенцијал малих водотокова. Имајући у виду да све земље чланице Европске Уније до 2020. године морају обезбедити најмање 20% укупне финалне потрошње енергије из обновљивих извора енергије, Србија би морала повећати производњу електричне енергије управо из постројења малих хидроелектрана уколико буде тежила ка прикључењу европској заједници.

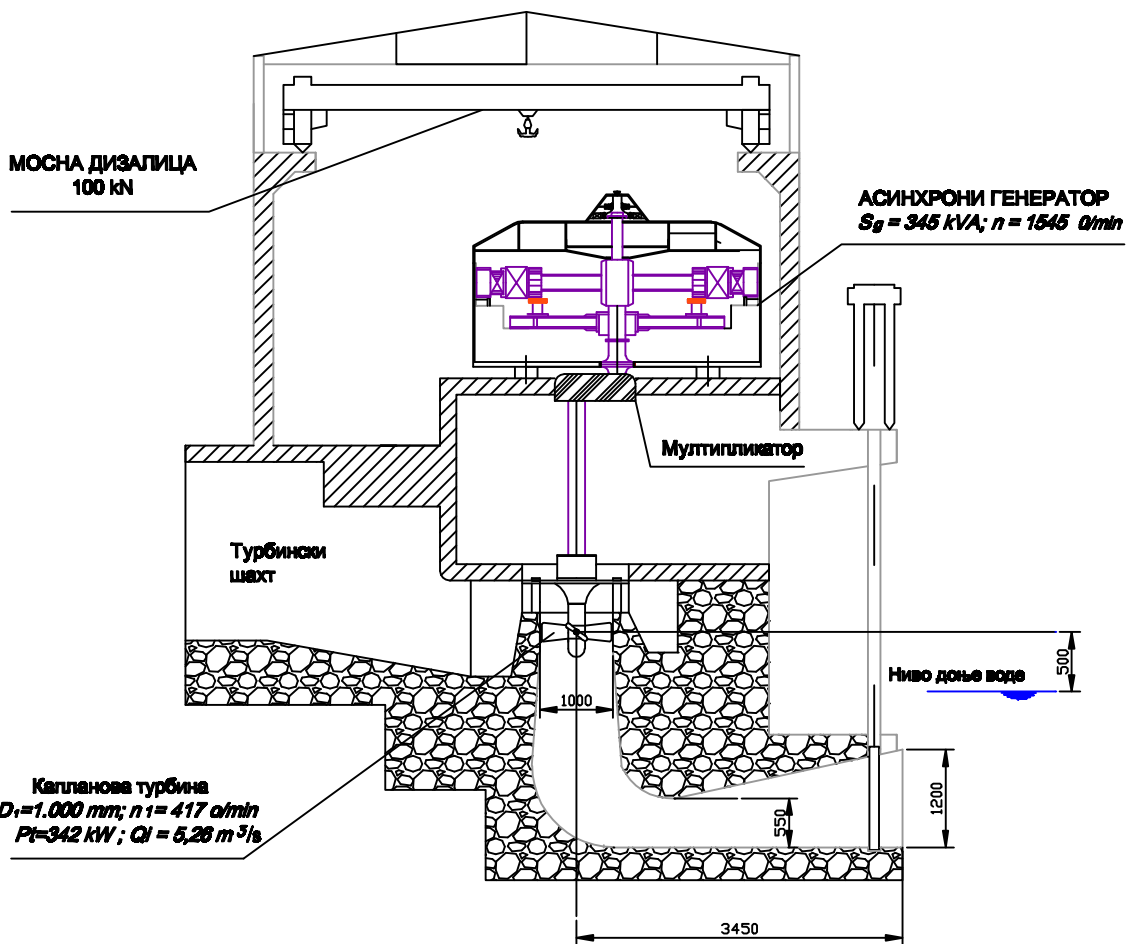
Идеја рада је била да се прикаже хидролошка анализа водотока мале хидроелектране „Ковиљача“ на реци Млави, на чијим резултатима је урађен хидромашински прорачун са избором електро опреме.

Након прорачуна и избора опреме, извршена је економска анализа пројекта, која је обухватила трошкове инвестиционих улагања, трошкове текућег одржавања и амортизације. Такође, у оквиру економске анализе дата је добит остварена производњом електричне енергије. Добит је остварена на основу уредбе о мерама подстицаја за производњу електричне енергије коришћењем обновљивих извора енергије (*Feed-in tariff*).

Сагледавањем трошкова и добити МХЕ „Ковиљача“ дошло се до закључка да период повраћаја инвестиционих улагања износи 5,86 године, што овај пројекат чини веома исплативим.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] http://sr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus приступљено 01.03.2013.године.
- [2] Гордић Д.: *Обновљиви извори енергије 2 - мале хидроелектране*, скрипта.
- [3] Гордић Д.: *Пренос снаге флуидом – хидраулика*, Машински факултет у Крагујевцу, 2007.
- [4] Бенишек М.: *Хидроенергетска постројења и опрема, четврти део – мале хидроелектране*, скрипта.
- [5]] Бенишек М.: *Хидроенергетска постројења и опрема, први део – хидромашинска постројења*, скрипта.
- [6] Layman's Guidebook: On how to develop a small hydro site, ESHA, 2004
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Mlava> приступљено 11.03.2013.године.
- [8] *Водопривредна основа Републике Србије*, Институт за Водопривреду „Јарослав Черни, Београд, јун 2001.год.
- [9] Скупштина општине Жагубица, *План детаљне регулације подручја МХЕ Козји грб и МХЕ Ковиљача на реци Млави у КО Крепољин, општина Жагубица*, Жагубица, 2011.
- [10] Ристић Б.: *Хидромашинска опрема*, Научна књига, Београд, 1996.
- [11] Г. И. КРИВЧЕНКО: *ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ТУРБИНЫ И НАСОСЫ*, МОСКВА, Э н е р г и я, 1978
- [12] Бенишек М.: *Мерења у хидротехници*, скрипта.
- [13] Rus Danzor System d.o.o.: *Главни пројекат адаптације млинског погона за потребе Производње хидроелектричне енергије у Војводиницима на реци Караиш – Машински и електро део*, Београд, јули 2006.
- [14] Белорусский Национальный Технический Университет: *Здание гэс*, Минск, 2005.
- [15] <http://www.energija.co.rs/srpski/vodi%C4%8D-za-projektante> приступљено 10.07.2013. године.
- [16] Ђорђевић Б.: *Коришћење водних снага, објекти хидроелектрана*, Научна књига, Београд, 1984.
- [17] Уредба о мерама подстицаја за производњу електричне енергије коришћењем обновљивих извора енергије и комбинованом производњом електричне и топлотне енергије („Службени гласник РС”, бр. 99/09 и 124/12).



Контролисао:

Мала хидроелектрана "Ковиљача"

Цртао:

Милан М. Павловић

Факултет инжењерских наука Крагујевац

Година:

Обновљиви извори енергије 2

2012/2013

ПРИЛОГ

**Извештај Републичког хидрометеоролошког
завода Србије за период 2002-2012 год.**

REPUBLICKI
HIDROMETEOROLOSKI ZAVOD SRBIJE
BEOGRAD

PROTICAJI VODE (m3/s) ZA 2002. godinu

Stanica: GORNJAK Kota "0" (m n.J.m.): 161
Reka : MLAVA Udaljenost od usca (km): 92.5
Sifra : 42520 Povrsina sliva (km2): 656.2

DAN	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	2.00	15.7	4.24	3.40	4.38	4.24	3.68	2.92	3.40	6.24	4.38	4.38
02	2.00	13.8	4.24	3.28	4.24	3.54	3.40	2.68	3.16	4.98	4.38	5.16
03	2.20	11.8	4.24	3.28	3.96	3.54	3.28	2.56	3.16	4.52	12.3	5.34
04	2.80	10.0	4.24	3.28	3.68	4.38	3.16	2.32	3.04	4.38	10.0	5.34
05	3.16	9.08	3.96	3.28	3.54	4.66	3.04	2.44	2.92	3.96	12.8	5.34
06	3.04	8.20	3.82	3.28	3.54	4.38	2.92	2.44	2.68	3.68	12.0	6.60
07	2.92	7.40	3.68	3.28	3.54	3.82	2.92	3.04	2.68	3.40	10.8	7.20
08	3.04	7.00	3.54	3.16	3.28	3.54	3.04	17.7	2.56	3.40	10.0	6.42
09	2.92	6.60	3.40	2.92	3.04	3.16	2.92	15.4	2.44	3.28	8.60	5.52
10	2.92	6.60	3.54	3.54	3.04	9.08	2.80	18.0	2.32	3.04	7.80	4.98
11	2.68	6.24	3.54	4.10	3.04	92.0	2.80	11.8	2.32	3.82	7.20	4.98
12	2.80	5.88	3.28	4.24	3.04	143	3.16	9.56	2.20	4.24	7.00	4.98
13	2.80	5.52	3.16	8.84	3.04	80.6	2.56	7.80	2.20	4.80	6.80	4.66
14	2.68	5.34	3.16	12.0	2.80	28.4	2.44	6.80	2.10	4.80	7.20	4.66
15	2.32	5.52	3.04	13.8	2.68	17.1	2.32	9.08	2.10	4.66	7.60	4.38
16	2.44	4.98	3.04	13.0	2.56	13.0	2.32	13.5	2.10	4.52	7.40	4.38
17	2.44	4.66	2.92	11.5	2.44	10.0	2.20	12.5	2.10	4.38	7.00	4.24
18	2.32	4.38	2.92	10.0	2.32	8.20	2.80	12.5	2.00	4.24	6.42	4.24
19	2.20	4.66	2.80	9.08	2.20	7.60	3.54	10.8	1.90	4.10	6.24	4.24
20	2.00	4.98	3.40	8.20	2.44	6.80	2.92	13.5	1.80	4.10	5.88	3.96
21	2.44	4.66	3.54	7.40	3.16	6.06	2.68	9.80	1.80	3.54	5.70	3.82
22	3.40	4.66	3.68	6.60	3.40	5.52	2.44	8.00	2.00	3.40	5.52	3.82
23	4.38	4.38	3.82	6.60	3.16	5.16	2.32	6.60	2.10	3.82	5.52	3.82
24	6.60	4.38	3.68	6.24	3.04	4.80	2.32	5.70	2.00	6.60	5.16	3.96
25	8.60	4.52	3.82	5.88	2.92	4.52	2.44	5.16	2.00	7.40	4.80	4.80
26	10.3	4.38	3.96	5.88	2.92	4.38	2.56	4.98	2.10	7.60	4.52	7.20
27	11.3	4.24	3.96	5.52	2.92	4.24	2.68	4.52	2.32	6.60	4.38	6.60
28	14.9	4.24	4.10	5.34	2.92	3.96	3.54	4.38	2.20	5.70	4.24	6.60
29	18.3		3.96	4.98	2.80	3.96	3.28	4.10	2.10	5.16	4.24	8.40
30	18.6		3.82	4.66	6.60	3.82	3.04	3.82	3.04	4.80	4.24	12.3
31	17.1		3.54		5.52		2.92	3.54		4.52		15.4

min 2.00 4.24 2.80 2.92 2.20 3.16 2.10 2.32 1.80 3.04 4.10 3.82
dana 1 23 19 9 19 9 24 4 17 9 30 20

sr. 5.40 6.56 3.61 6.22 3.30 16.6 2.85 7.67 2.36 4.64 7.00 5.73

max 19.2 15.9 4.38 14.0 9.08 143 4.10 21.0 4.66 7.80 15.9 15.4
dana 30 1 1 15 30 12 19 10 30 25 3 31

Godisnji minimum: 1.80 Srednji Godisnji maksimum: 143
Datum: 17.09. godisnji: 6.00 Datum: 12.06.

Povrsina sliva (km²): 656.2

Datum: 14.04.

REPUBLICKI
HIDROMETEOROLOSKI ZAVOD SRBIJE
BEOGRAD

PROTICAJI VODE (m3/s) ZA 2004. godinu

Stanica: GORNJAK

Kota "0" (m n.J.m.): 161

Reka : MLAVA

Udaljenost od usca (km): 92.5

Sifra : 42520

Povrsina sliva (km2): 656.2

DAN	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	6.60	6.80	50.1	2.32	4.98	3.40	2.32	1.05	1.05	1.10	1.50	9.56
02	7.60	6.80	33.7	2.20	4.80	3.82	2.32	1.05	1.05	1.15	1.40	11.5
03	7.20	8.84	21.6	1.90	5.16	3.68	2.20	1.20	1.05	1.40	1.50	14.9
04	6.80	13.0	15.1	1.70	4.66	5.88	2.20	1.30	1.05	1.15	1.60	15.7
05	6.24	22.9	11.0	2.20	4.52	16.5	2.10	2.20	.950	1.10	1.60	15.7
06	5.88	40.1	8.00	4.10	5.70	16.5	2.00	1.10	.950	1.10	1.60	14.3
07	5.34	36.1	6.06	7.40	5.70	14.3	1.80	1.20	.950	1.05	1.60	12.8
08	4.66	32.6	4.80	7.40	5.16	11.8	1.80	1.60	.950	1.05	1.50	11.8
09	4.52	16.8	4.24	7.20	4.98	9.56	1.70	1.70	.900	1.05	10.5	9.80
10	4.52	29.5	3.82	7.40	4.66	8.40	1.70	1.20	.950	1.05	10.3	8.40
11	4.52	9.08	3.28	7.40	4.52	7.40	1.60	1.30	.950	1.40	7.20	6.80
12	4.66	17.7	2.92	7.60	4.24	6.42	1.60	1.20	.950	1.70	5.52	9.08
13	4.66	16.2	2.56	8.00	4.10	5.70	1.80	1.20	.950	1.50	4.80	9.08
14	12.8	14.9	2.20	12.3	4.52	5.34	2.10	1.70	.950	1.80	5.16	6.06
15	26.0	13.8	2.10	13.3	4.80	4.98	1.90	2.44	.950	2.44	12.3	5.16
16	27.0	12.5	2.44	12.3	4.52	4.52	1.70	1.60	.950	2.80	17.1	4.80
17	19.8	11.0	3.54	11.5	5.34	4.66	1.50	1.40	.950	2.92	13.0	4.66
18	22.2	10.0	5.70	11.0	5.88	4.38	1.40	1.30	1.00	3.04	22.5	4.98
19	30.2	9.56	8.00	10.0	5.70	4.98	1.30	1.20	1.05	2.68	16.2	6.06
20	33.7	9.08	8.84	9.32	5.16	4.10	1.20	1.20	1.10	2.44	12.5	5.34
21	45.0	8.20	8.60	8.60	4.66	3.68	1.15	1.15	1.05	2.32	10.3	4.98
22	34.7	7.60	8.20	7.80	4.38	3.40	1.15	1.15	1.00	2.32	9.08	4.80
23	24.9	7.40	7.00	7.60	5.16	3.28	1.10	1.10	1.00	2.20	9.32	4.38
24	19.2	7.60	5.88	7.00	5.34	3.04	1.10	1.15	1.00	2.10	8.20	4.10
25	15.7	8.60	5.34	6.60	5.16	2.92	1.10	1.15	1.00	1.90	15.1	4.10
26	13.3	9.32	4.24	6.42	4.66	3.04	1.05	1.10	1.20	1.90	12.5	3.96
27	11.0	24.2	3.96	6.06	4.38	3.04	1.05	1.05	1.50	1.90	10.5	4.10
28	10.5	51.5	4.24	5.70	3.96	2.80	1.10	1.15	2.00	1.80	9.32	4.10
29	10.0	56.2	3.40	5.34	3.68	2.56	1.15	1.15	1.40	1.80	8.60	4.38
30	8.84		2.92	5.16	3.54	2.56	1.20	1.05	1.15	1.70	8.40	4.38
31	7.80		2.56		3.54		1.20	1.05		1.60		4.52
min	4.52	6.80	2.10	1.70	3.54	2.56	1.05	1.05	.900	1.05	1.40	3.96
dana	9	1	15	4	30	29	26	1	9	7	2	26
sr.	14.4	17.9	8.27	7.09	4.76	5.89	1.57	1.30	1.07	1.79	8.36	7.55
max	47.6	67.7	56.9	13.5	6.24	16.8	2.56	3.96	2.32	3.16	24.2	15.9
dana	21	28	1	15	6	5	1	15	28	18	18	4
Godisnji minimum:	.900		Srednji		Godisnji maksimum:		67.7					
Datum:	9.09.		godisnji: 6.66		Datum:		28.02.					

REPUBLICKI
HIDROMETEOROLOSKI ZAVOD SRBIJE
BEOGRAD

PROTICAJI VODE (m³/s) ZA 2005. godinu

Stanica: GORNJAK

Kota "0" (m n.J.m.): 161

Reka : MLAVA

Udaljenost od usca (km): 92.5

Sifra : 42520

Povrsina sliva (km²): 656.2

DAN	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	3.92	2.80	5.64	30.0	11.3	11.3	2.44	1.72	4.06	1.84	1.84	20.3
02	4.06	3.36	6.00	22.4	10.0	8.75	2.68	1.60	3.22	34.2	1.84	39.5
03	4.20	3.22	6.25	19.4	9.00	6.75	3.22	1.60	3.08	32.1	1.84	38.1
04	8.75	3.08	8.25	15.8	8.00	5.82	3.50	1.60	2.80	20.6	1.72	33.9
05	11.0	2.80	20.6	13.7	8.00	5.28	3.08	2.20	2.44	14.0	1.72	32.5
06	6.75	3.92	7.75	12.2	7.75	5.10	3.50	2.08	2.32	10.3	1.72	26.5
07	6.75	1.60	7.75	11.0	10.3	5.64	3.92	2.08	2.20	7.75	1.60	22.7
08	6.75	2.32	7.50	10.5	14.9	5.28	2.94	2.08	2.20	6.25	1.60	19.1
09	6.75	2.32	5.82	10.0	16.4	8.50	2.68	2.56	1.96	5.46	1.52	15.5
10	6.75	3.50	5.64	9.50	14.6	13.7	4.92	1.84	1.84	8.00	1.52	12.8
11	6.00	4.92	4.92	8.50	17.0	13.4	20.3	1.60	1.60	6.25	1.52	11.0
12	5.82	3.64	5.64	7.75	22.7	14.6	17.9	1.36	1.96	5.46	1.52	10.0
13	5.46	3.78	10.8	7.25	21.5	11.3	12.2	1.36	2.94	3.78	1.52	9.25
14	5.28	9.00	13.1	11.0	18.8	9.25	15.8	1.36	2.08	3.78	1.52	8.50
15	4.92	7.50	19.4	15.8	16.7	7.25	17.3	1.36	2.56	3.78	1.44	8.00
16	4.38	6.00	29.0	13.1	14.9	6.25	11.6	4.06	2.44	3.64	1.84	7.75
17	4.06	5.28	39.5	13.1	12.5	5.82	8.50	4.06	1.84	3.36	10.5	9.25
18	3.64	4.92	52.3	71.5	10.8	5.64	9.25	7.00	2.20	3.22	12.5	8.75
19	3.64	4.56	67.1	66.7	10.3	5.10	6.00	23.7	1.72	2.94	10.0	7.25
20	3.78	4.74	71.5	43.7	11.3	4.56	5.10	16.1	2.20	2.80	7.75	6.25
21	3.64	5.10	54.3	35.6	11.9	4.38	4.38	10.5	3.08	2.68	6.00	6.00
22	3.78	5.46	38.4	48.3	10.5	3.78	3.78	7.25	2.56	2.68	5.28	6.00
23	3.64	11.9	29.7	40.5	9.25	3.50	3.50	10.5	2.44	2.56	4.92	6.00
24	3.22	19.1	25.1	32.8	9.00	3.50	3.22	12.8	2.32	2.44	4.56	6.00
25	3.22	17.9	23.7	26.9	8.50	3.36	3.08	16.4	2.32	2.32	5.64	6.75
26	3.36	19.4	27.6	23.0	7.75	3.08	2.80	7.25	2.20	2.20	6.75	8.00
27	3.22	19.1	30.0	19.7	9.25	2.80	2.56	14.9	1.96	2.08	8.00	15.8
28	2.94	20.6	30.7	16.4	9.50	2.80	2.44	15.2	1.84	2.08	12.2	29.0
29	3.36		43.7	14.3	8.75	2.68	2.20	10.0	1.84	1.96	13.4	33.2
30	3.22		44.4	12.8	7.75	2.56	2.08	7.50	1.84	1.96	11.9	33.5
31	3.08		44.0		7.00		1.84	5.64		1.96		35.6
min	2.94	1.60	4.92	7.25	7.00	2.56	1.84	1.36	1.60	1.84	1.44	6.00
dana	28	7	11	13	31	30	31	12	11	1	15	21
sr.	4.82	7.21	25.3	22.8	11.8	6.39	6.09	6.43	2.34	6.59	4.86	17.2
max	14.0	20.6	75.6	82.3	23.4	15.8	38.4	25.8	5.10	37.0	16.7	43.0
dana	4	28	20	18	12	11	11	19	1	3	17	2
Godisnji minimum:	1.36	Srednji						Godisnji maksimum:				
Datum:	12.08.	godisnji: 10.2						Datum: 18.04.				

Povrsina sliva (km²): 656.2

Povrsina sliva (km²): 656.2

Godisnji minimum: .892 Srednji Godisnji maksimum: 37.0
Datum: 30.08. godisnji: 4.84 Datum: 4.03.

REPUBLICKI
HIDROMETEOROLOSKI ZAVOD SRBIJE
BEOGRAD

PROTICAJI VODE (m3/s) ZA 2008. godinu

Stanica: GORNJAK

Kota "0" (m n.J.m.): 161

Reka : MLAVA

Udaljenost od usca (km): 92.5

Sifra : 42520

Povrsina sliva (km2): 656.2

DAN	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
01	2.32	9.00	6.50	13.4	7.00	2.28	1.30	1.12	1.00	1.62	1.79	3.11
02	2.32	8.25	11.0	11.9	6.25	2.15	1.24	1.12	.946	1.54	1.62	3.87
03	2.20	7.75	12.2	10.8	7.96	2.15	1.24	1.06	.892	1.46	1.54	4.70
04	2.08	7.50	11.6	9.50	7.52	2.15	1.18	1.00	.946	1.38	1.46	18.3
05	3.64	7.75	11.0	8.75	7.30	2.67	1.18	1.06	.892	3.72	1.46	23.1
06	4.20	7.75	10.8	9.75	7.30	2.80	1.18	1.00	.892	5.45	1.46	17.6
07	2.44	8.25	9.75	10.0	6.64	2.54	1.18	1.00	.892	4.33	1.46	13.7
08	3.08	19.1	14.3	8.75	6.20	2.54	1.18	1.00	.892	3.26	1.46	11.6
09	3.08	20.3	16.7	8.25	6.01	2.41	1.12	1.06	.838	2.54	1.62	9.36
10	2.94	17.0	15.2	8.00	5.45	2.06	1.18	1.06	.892	2.15	1.70	7.52
11	2.94	14.0	13.7	7.75	5.27	1.97	1.12	1.06	.892	2.06	1.70	6.20
12	3.22	11.6	12.2	7.00	5.08	2.06	1.12	1.00	.892	1.88	1.62	5.64
13	3.64	9.75	11.9	6.25	4.89	2.80	1.06	1.00	.892	1.88	1.62	7.52
14	4.20	9.00	11.3	5.82	4.52	2.95	1.06	.946	1.06	1.79	1.54	11.3
15	4.56	8.25	10.0	7.50	4.33	2.54	1.06	.946	1.24	1.70	1.54	9.84
16	4.56	7.00	9.25	36.7	4.18	2.15	1.18	.946	1.24	1.62	1.54	8.64
17	4.38	6.00	9.00	44.0	3.87	2.06	1.18	.946	1.30	1.62	1.46	7.96
18	5.28	5.46	9.00	34.2	3.72	1.88	1.12	.946	1.46	1.62	1.46	10.3
19	10.5	5.46	8.50	27.2	3.72	1.88	1.18	.892	1.30	1.62	1.46	15.7
20	14.6	5.28	7.75	21.8	3.41	1.79	1.12	.892	1.18	1.54	1.46	16.6
21	16.4	4.92	7.25	17.6	3.26	1.70	1.12	.892	1.18	1.46	1.46	16.0
22	17.3	4.56	6.75	14.9	4.33	1.54	1.24	.892	1.18	1.46	2.06	13.7
23	18.5	4.20	6.50	16.1	4.52	1.54	1.88	.838	1.12	1.38	2.06	14.6
24	15.2	4.20	7.50	16.7	3.87	1.46	1.97	.892	1.12	1.38	1.88	14.0
25	12.8	4.38	20.0	13.7	3.57	1.46	1.54	.892	1.12	1.46	1.70	12.1
26	10.8	4.92	20.0	12.2	3.26	1.70	1.46	.892	1.54	1.46	2.41	10.1
27	14.9	5.64	19.4	11.0	2.95	1.70	1.54	.892	4.52	1.38	2.80	9.12
28	22.4	6.25	17.9	9.75	2.80	1.62	1.38	.946	3.26	1.46	2.67	7.52
29	14.9	6.75	17.3	9.00	2.54	1.46	1.30	1.24	2.41	1.38	2.80	6.42
30	11.6		16.4	8.25	2.41	1.38	1.24	1.30	1.88	1.30	2.95	6.20
31	10.3		14.6		2.41		1.12	1.06		1.54		5.83
min	2.08	4.20	6.50	5.82	2.41	1.38	1.06	.838	.838	1.30	1.46	3.11
dana	4	23	1	14	30	30	13	23	9	30	4	1
sr.	8.10	8.29	12.1	14.2	4.73	2.05	1.26	.993	1.33	1.95	1.79	10.6
max	28.6	23.0	20.9	49.9	7.96	3.26	2.28	1.62	5.45	6.42	3.11	24.9
dana	27	8	25	16	3	13	23	29	27	6	30	5
Godisnji minimum:	.838											
Datum:	23.08.											
Srednji												
godisnji:	5.62											
Godisnji maksimum:	49.9											
Datum:	16.04.											

Povrsina sliva (km²): 656.2

Datum: 27.02.

Povrsina sliva (km²): 656.2

Datum: 18.03.