

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Obnova vodního díla na řece Oskava v lokalitě Oskava

Renovation of waterwork on the river Oskava in the location Oskava

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jitka Kučerová, CSc.

Květen 2017

Pavčina BRDKOVÁ



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: BRDKOVÁ Jméno: Pavčina Osobní číslo: 424408

Zadávací katedra: K 142 - Katedra hydrotechniky

Studijní program: B3651 - Stavební inženýrství

Studijní obor: 3647R015 Vodní stavby a vodní hospodářství

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Obnova vodního díla na řece Oskava v lokalitě Oskava

Název bakalářské práce anglicky: Renovation of waterwork on the river Oskava in the location Oskava

Pokyny pro vypracování:

- získání dostupných podkladů a analýza stávajícího stavu vodních děl v Oskavě
- posouzení vhodnosti energetické obnovy dané lokality
- návrh variant nového hydronenergetického využití (vodohospodářské a hydroenergetické výpočty)
- variantní řešení technologického vybavení pro rekonstrukci vodního díla
- studie proveditelnosti (konstrukční řešení) vybrané lokality

Seznam doporučené literatury:

Dušíčka P., Gabriel P., Hodák T., Čihák F., Šulek P.: Malé vodní elektrárny, Jaga group, Bratislava 2003

Kolář V., Patočka C., Bém J.: Hydraulika, SNTL Praha 1983

ČSN 752601 Malé vodní elektrárny - Základní požadavky

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Jitka Kučerová, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28. 5. 2017

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

20.2.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

.....

Místo zpracování, celé datum

.....

Jméno a příjmení

## **Poděkování**

Chtěla bych tímto poděkovat paní Ing. Jitce Kučerové, CSc., vedoucí mé práce, za podporu a připomínky, společnosti MAVEL a.s. za všechny poskytnuté podklady a konzultace, firmě P&S a.s. za vyhotovení nabídek turbín pro vypracování této bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině za podporu.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je rozdělena na dvě části. V teoretické části se zabývá využitím vodní energie v České republice, rozdělením vodních elektráren z různých pohledů a jejich vybavením. Dále jsou blíže popsány typy vodních turbín. Praktická část je zaměřena na analýzu stávajícího stavu vodního díla v lokalitě Oskava a návrhu obnovení hydroenergetického využití. Pro konkrétní podmínky lokality je zpracován návrh přívodního potrubí a variantní řešení technologického vybavení malé vodní elektrárny a je vypočtena roční výroba elektrické energie. V závěru jsou varianty posouzeny z ekonomického hlediska a vybráno vhodné řešení a umístění malé vodní elektrárny.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Malá vodní elektrárna, vodní turbína, Bánki turbína, tlakový přivaděč, využití vodní energie

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis consists of two parts. The theoretical part is about hydropower utilization in the Czech Republic and types of hydroelectric power plants and water turbines. The practical part is focused on analysis of the actual conditions and hydroenergetic use in the location Oskava and the renovation of waterworks on the river Oskava. It consists of a design of inlet pressure pipeline, variant technological concepts of a small hydroelectric power plant, calculation of annual electricity production. In conclusion, their economical assessment was made and the most appropriate solution and its location were chosen.

## **KEY WORDS**

Small hydroelectric power plant, water turbine, cross-flow turbine, inlet pressure pipeline  
hydroelectric power

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Vodní energie a její využití</b> .....	<b>4</b>
2.1	Využití vodní energie v ČR .....	4
<b>3</b>	<b>Vodní elektrárna</b> .....	<b>6</b>
3.1	Turbogenerátor.....	7
3.1.1	Vodní turbína .....	7
<b>4</b>	<b>Popis lokality</b> .....	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Umístění stavby</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Podklady</b> .....	<b>15</b>
6.1	Hydrologické údaje a jejich zpracování.....	15
6.1.1	Stanovení minimálního zůstatkového průtoku.....	16
6.2	Geodetické zaměření.....	16
6.3	Turbíny.....	16
<b>7</b>	<b>Popis stávajícího stavu</b> .....	<b>17</b>
7.1	Konstrukce jezu .....	17
7.2	Přívodní kanál s volnou hladinou .....	18
7.3	Stávající vtokový objekt u mlýna .....	18
7.4	Objekt mlýna a technologie .....	18
7.5	Odpadní kanál .....	18
<b>8</b>	<b>Přívod vody k elektrárně</b> .....	<b>19</b>
8.1	Rekonstrukce jezu .....	19
8.2	Vtokový objekt.....	19
8.3	Přívodní kanál a potrubí.....	19
8.3.1	Výpočet ztrát přívodního potrubí .....	20
<b>9</b>	<b>Návrh nové MVE</b> .....	<b>21</b>
9.1	Strojovna .....	21
9.2	Určení spádu .....	21
9.3	Varianta 1 – 1 Bánki turbína .....	22
9.3.1	Výroba elektrické energie .....	23
9.4	Varianta 2 – 2 Bánki turbíny .....	25
9.4.1	Výroba elektrické energie .....	25
9.5	Varianta 3 – Kaplanova turbína .....	27

9.5.1	Výroba elektrické energie .....	27
<b>10</b>	<b>Ekonomické zhodnocení variant .....</b>	<b>29</b>
10.1	Varianta 1 – 1 Bánki turbína .....	30
10.2	Varianta 2 – 2 Bánki turbíny .....	30
10.3	Varianta 3 – Kaplanova turbína .....	30
<b>11</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>31</b>
<b>12</b>	<b>Výpočtová část .....</b>	<b>32</b>
12.1	Doplnění čáry překročení $Q_m$ .....	32
12.2	Tlakový přivaděč – výpočet ztrát .....	33
12.3	Parametry turbín .....	34
12.3.1	Bánki B600/300: .....	34
12.3.2	Bánki B340/340: .....	34
12.4	Výroba elektrické energie .....	34
12.5	Prostá doba návratnosti .....	37
	<b>Literatura .....</b>	<b>41</b>
	<b>Výkresová část</b>	
	<b>Fotodokumentace</b>	

# 1 ÚVOD

Elektrická energie je nedílnou součástí našeho každodenního života, avšak k její výrobě jsou stále nejčastěji využívány tepelné elektrárny poškozující ovzduší a životní prostředí. Také vzhledem k omezenému množství fosilních paliv, jako je ropa a uhlí, se v současnosti do popředí zájmu odborníků i veřejnosti dostává problematika výroby ekologicky čisté elektrické energie. Jaderná energetika s sebou přináší neoddiskutovatelná rizika, proto se stále více klade důraz na obnovitelné zdroje, mezi které patří sluneční, větrná, vodní energie a spalování biomasy, a jejich možné využití.

V historii lidstva je vodní energie nejdéle technicky využívanou formou energie. Využití hydroenergetického potenciálu toků má v porovnání s ostatními zdroji mnoho výhod. Jedná se o trvalý a čistý zdroj energie, který neznečišťuje ovzduší a je bezodpadový. Vyžaduje poměrně nízké investiční náklady a velmi nízké provozní náklady. Vyznačuje se dlouhou životností, malou poruchovostí a s rozvojem automatizace se jedná takřka o bezobslužný provoz. Při technicky správném a citlivém řešení nezpůsobuje devastaci přírodního prostředí, ale naopak přispívá k jeho zlepšení a vytvoření nových možností pro rekreaci, sport a odpočinek.

Díky schopnosti rychlého najezení do provozu mají vodní elektrárny nezastupitelné místo v elektrizační soustavě. Regulační vodní elektrárny s akumulací umožňují pružné krytí proměnné spotřeby elektrické energie v síti, zabezpečují krytí výpadků, kompenzační provoz, atd. Přecherčovací vodní elektrárny jsou vhodné pro vykrývání špičkových spotřeb energie. Malé vodní elektrárny se vyznačují poměrně nízkými náklady a několikanásobně delší dobou ekonomické životnosti, proto energie jimi vyráběná je nejlevnější energií dodávanou do elektrizační soustavy. [1]

Vzhledem ke všem těmto výhodám se vodní energie stává trendem a velmi lukrativním zdrojem. O její využití mají zájem jak velké firmy, tak i soukromé osoby.

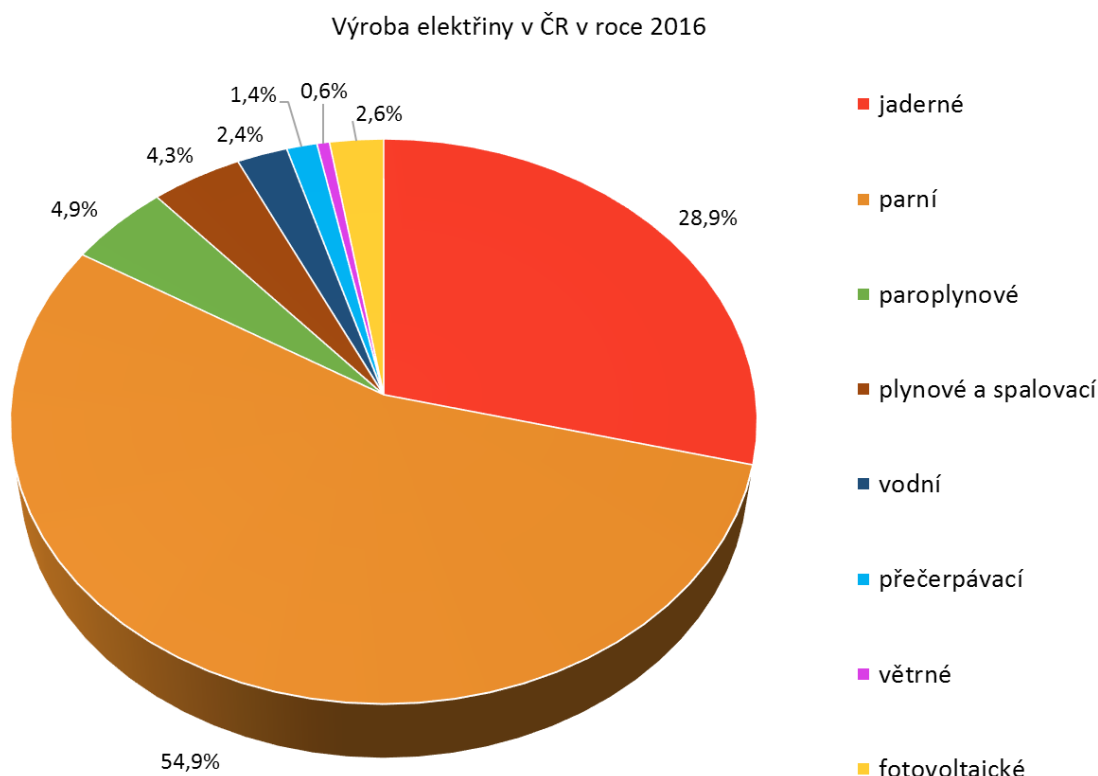


## 2 VODNÍ ENERGIE A JEJÍ VYUŽITÍ

Vodní energie je nejdéle technicky využívanou formou energie v přírodě. Je obnovitelným, čistým a relativně dostupným zdrojem. Nejvýznamnější využití má mechanická energie vodních toků. Využívají se všechny její složky: potenciální (polohová), i kinetická (rychlostní) energie. Hydroenergetický potenciál vodních toků lze využívat pro výrobu elektrické energie ve vodních elektrárnách. Vodní elektrárny mají relativně vysoký počet provozních hodin, nízké provozní náklady, jejich provoz může být prakticky bezobslužný a poruchovost jejich zařízení je velmi malá. Vodní elektrárny mají schopnost rychlého njetí na plný výkon a často zajišťují start ze tmy, neboli „nastartují“ celou soustavu po blackoutu. Z hlediska působení na životní prostředí a znečišťování vodních zdrojů jsou vodní elektrárny nezávadná zařízení. [1] [2]

### 2.1 Využití vodní energie v ČR

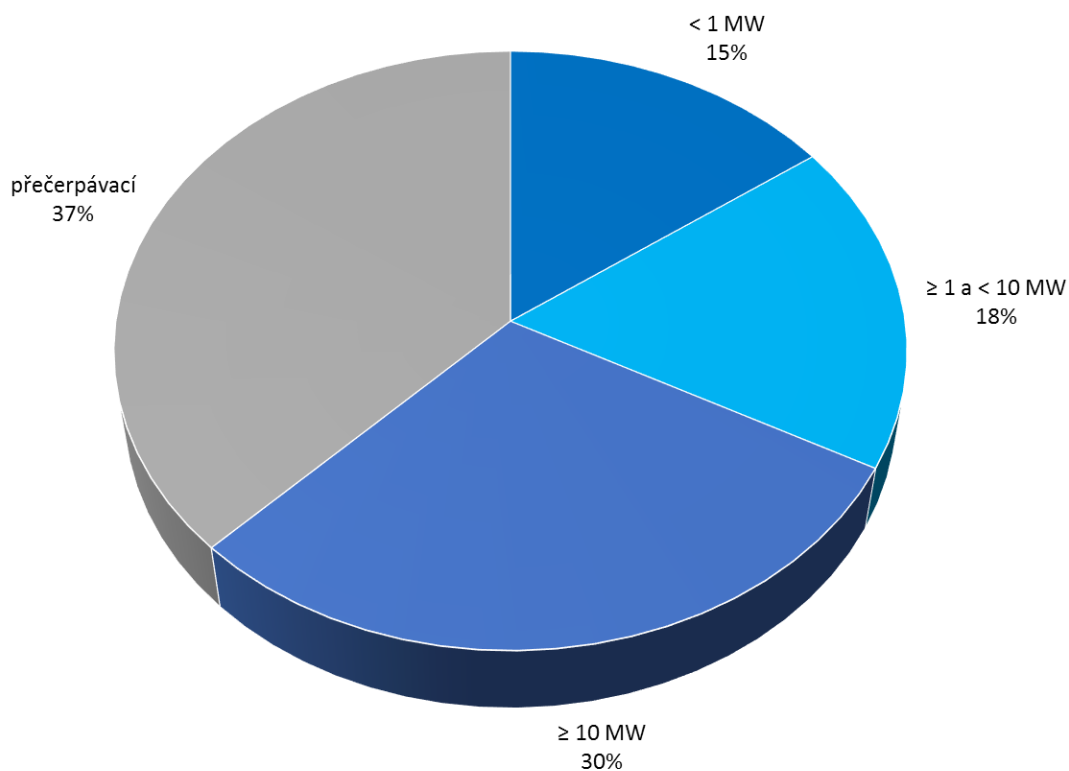
Vodní energie je v našich podmínkách doplňkovým, přesto velmi cenným zdrojem. Podle údajů Energetického regulačního úřadu (ERÚ) z roku 2016 se vodní elektrárny a přečerpávací vodní elektrárny podílely téměř 4 % na výrobě elektrické energie v České republice.



Graf 2.1: Výroba elektřiny v ČR v roce 2016 podle ERÚ [10] [11] [12] [13]

V současnosti je v České republice v provozu asi 1 400 malých vodních elektráren. Na našem území je nejvíce energeticky využitou řekou Vltava, především Vltavská kaskáda. Další energeticky významná díla jsou přečerpávací vodní elektrárny Dalešice na řece Jihlavě a Dlouhé Stráně na Divoké Desné. Také jezové stupně na Labi jsou osazeny malými vodními elektrárnami.

Výroba elektřiny vodních a přečerpávacích vodních elektráren v ČR v roce 2016



Graf 2.2: Podíl na výrobě elektřiny ve vodních elektrárnách různého instalovaného výkonu v ČR v roce 2016 podle ERÚ [10] [11] [12] [13]

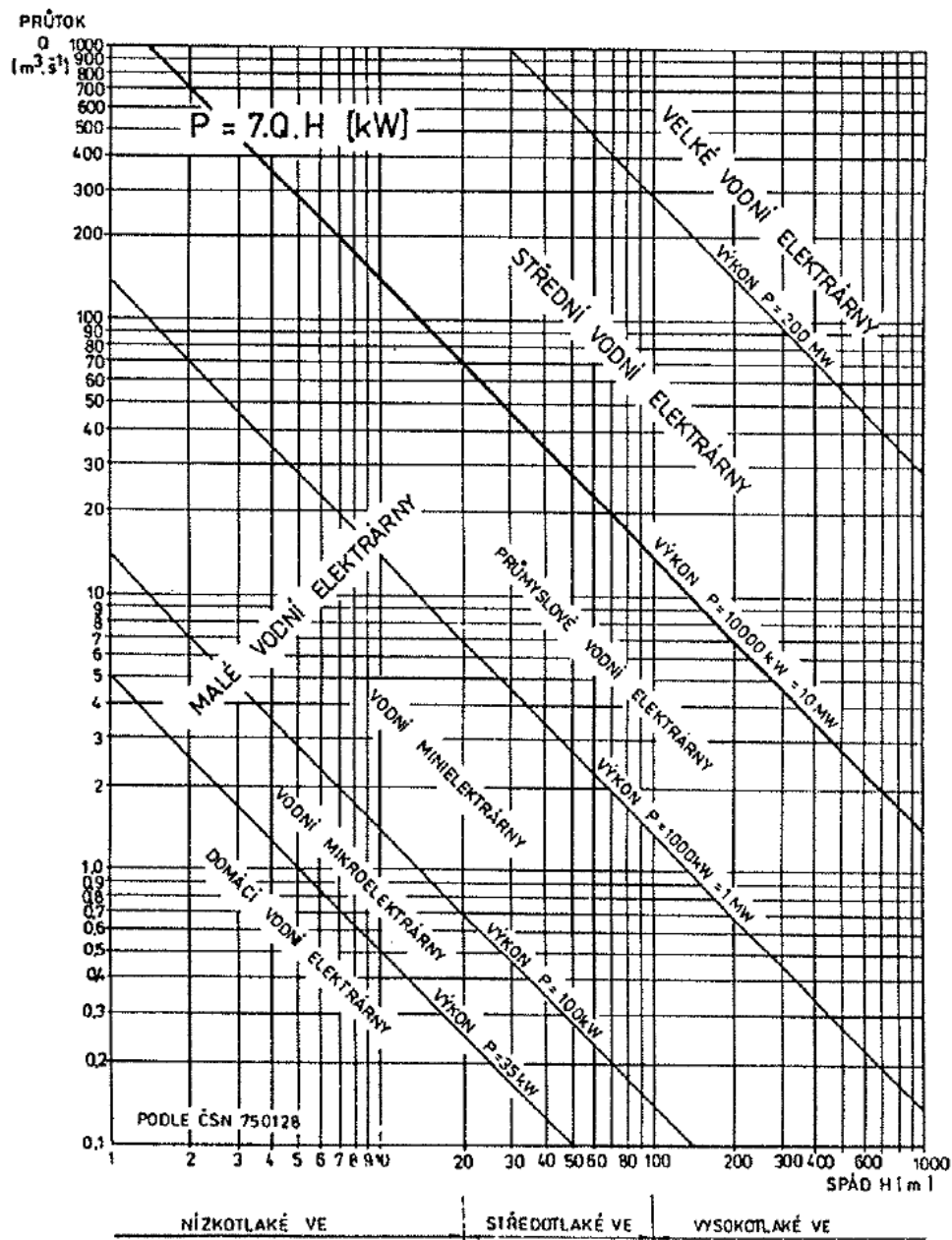
### 3 VODNÍ ELEKTRÁRNA

Ve smyslu platných právních předpisů, zejména zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), se jedná o vodní dílo. Obvykle se vodní elektrárna skládá z:

- vodního díla zadržující vodu (přehrada, jez)
- jímacího objektu
- přívodního objektu
- strojovny s vodní turbínou a hydroalternátory
- odtoku

Výkon vodní elektrárny v zásadě závisí na spádu a průtoku v dané lokalitě. Vodní elektrárny lze dělit podle různých hledisek, která se vzájemně prolínají, např:

- podle velikosti instalovaného výkonu:
  - velké (VVE) s instalovaným výkonem nad 200 (100) MW
  - střední (SVE) s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 (100) MW
  - malé (MVE) s instalovaným výkonem do 10 MW
- podle získaného spádu:
  - přehradové – spád vytvořen přehradní hrází
  - zdržové (jezové) – spád vytvořen jezem
  - derivační – využívá umělého vedení vody mimo vodní tok pomocí tlakového nebo beztlakového derivačního přivaděče (kanál, štola, potrubí)
  - přehradně derivační – kombinace
  - bez vzdouvací stavby
- podle velikosti využívaného spádu:
  - nízkotlaké – využívající spád do 20 m
  - středotlaké – využívající spád od 20 m do 100 m
  - vysokotlaké – využívající spád nad 100 m
- podle charakteru pracovního režimu
  - průtočné – výrazně neovlivňují přirozený průtok vodního toku
  - akumulární (špičkové) – řízený odběr z akumulární nádrže, patří k nim i přečerpávací vodní elektrárny
- podle řízení provozu
  - s ručním ovládáním
  - automatizované
  - částečně automatizované
- podle umístění strojovny
  - hrázové – strojovna u hráze, v tělese hráze, v přelivných bocích
  - jezové – strojovna v těsné blízkosti jezu nebo přímo ve spodní stavbě
  - břehové – strojovna u jezu v jeho břehové části
  - členěné – strojovna je rozdělena na několik částí
  - pilířové – strojovna v pilířích přelévané hráze nebo jezu
  - plovoucí – soustrojí umístěné např. na pontonu
  - individuální – strojovna v rekonstruovaném objektu např. bývalý mlýn
  - věžové – strojovna v objektu tvaru věže umístěné v nádrži nebo zdrži
- Dále můžeme dělit podle celkového dosažitelného výkonu, uspořádání strojovny, provozovatele, zapojení do sítě. [1] [2]



Obr. 3.1: Rozdělení vodních elektráren [1]

### 3.1 Turbogenerátor

Turbogenerátor je elektromechanické soustrojí složené z poháněcího točivého mechanického stroje – turbíny a elektrického generátoru. Oba stroje jsou navzájem propojeny hřídelí.

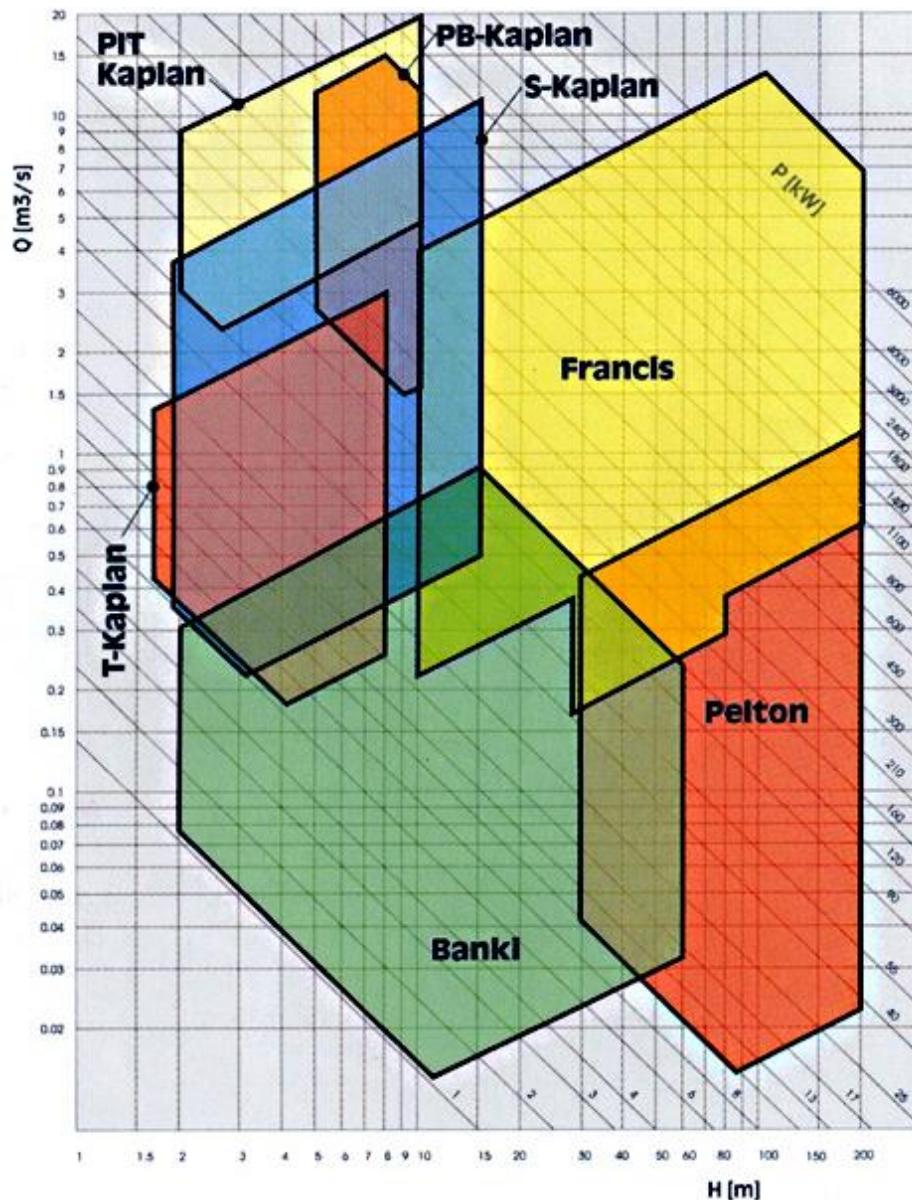
#### 3.1.1 Vodní turbína

Vodní turbíny provozované ve vodních elektrárnách jsou rotační hydraulické stroje, kde dochází k přeměně potenciální a kinetické energie přitékající vody na energii rotující hřídele, která se v magnetickém poli hydroalternátoru mění na energii elektrickou. V přečerpávacích vodních elektrárnách se používají hydraulické stroje, které pracují buď jako turbína, nebo čerpadlo, nebo jako reverzibilní turbíny. Počet, typ a velikost turbín instalovaných ve vodní elektrárně se odvíjí od požadavku zajištění jejich provozu s požadovanou účinností v celém svém regulačním rozsahu průtoků a spádu v dané lokalitě. Vícestrojové uspořádání, které umožňuje lepší hydroenergetické využití vodního toku je typické pro SVE a VVE. Pro malé

MVE je časté použití pouze jednoho soustrojí, avšak ve větších MVE se volí minimálně dvě, buď stejná, nebo různě veliká soustrojí.

Turbíny můžeme dělit podle mnoha hledisek, nejčastější rozdělení bývá:

- podle způsobu využití vodní energie:
  - rovnotlaké (akční) turbíny
  - přetlakové (reakční) turbíny
- podle dispozičního řešení s osou:
  - horizontální
  - vertikální
  - šikmou
- podle autorů:
  - Francisova
  - Peltonova
  - Kaplanova
  - Bánkiho [1] [2]

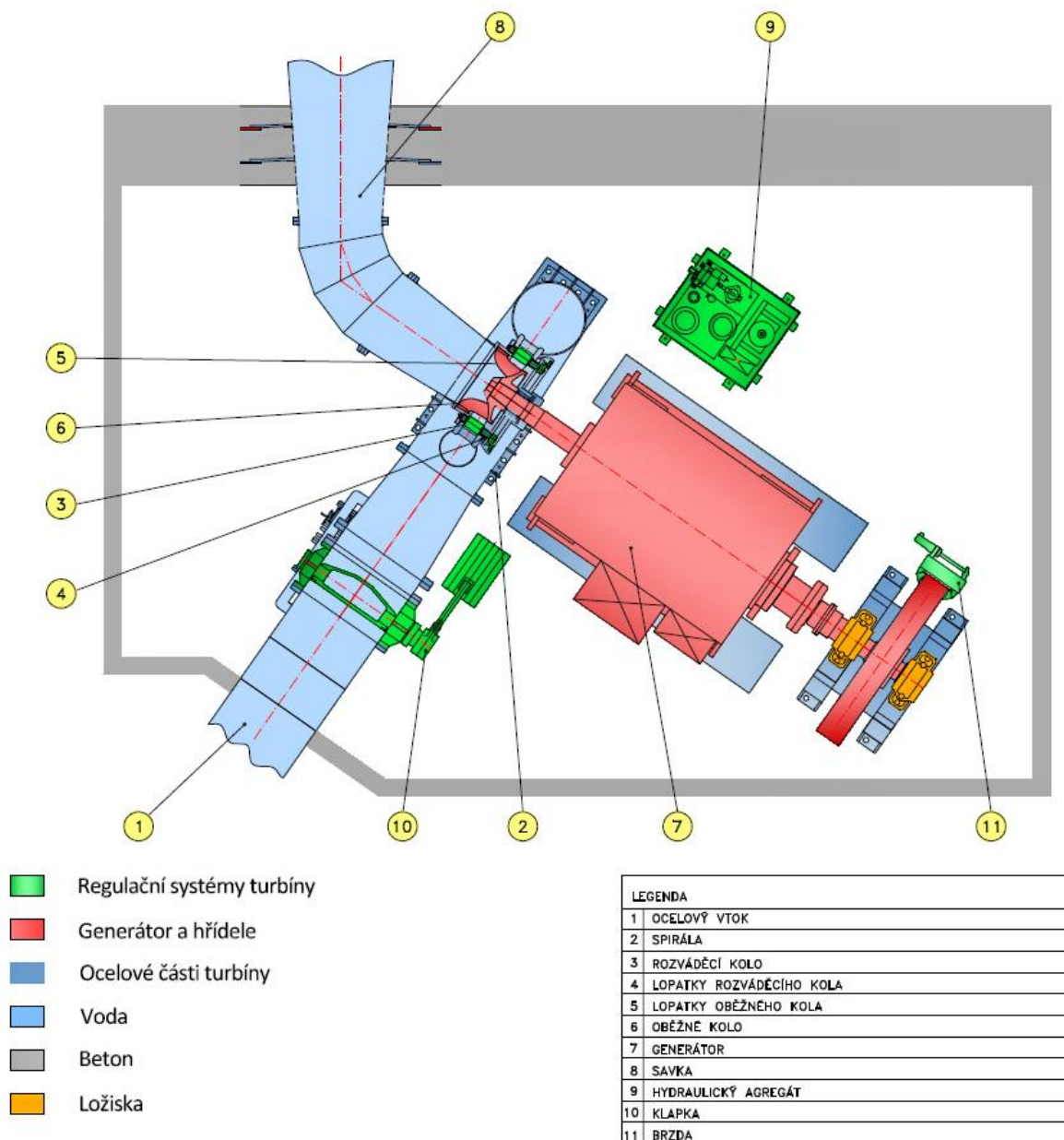


Obr. 3.2: Rozdělení použití typů vodních turbín [9]

### 3.1.1.1 Francisova turbína

Jedná se o nejstarší typ moderní vodní turbíny, byla vynalezena Jamesem B. Francismem v roce 1848. Francisova turbína je přetlaková turbína, to znamená, že převažuje přeměna tlakové energie vody na mechanickou energii rotující hřídele nad přeměnou kinetické energie. Voda je na oběžné kolo přiváděna spirálou, která zajišťuje rovnoměrný radiální přítok po obvodu oběžného kola turbíny. Mezi oběžným kolem a spirálou je umístěno rozváděcí kolo s pohyblivými lopatkami, umožňujícími plynule měnit přítok na turbínu. Voda procházející oběžným kolem snižuje svou rychlost a zároveň odevzdává energii oběžnému kolu. Francisova turbína má dvě možné varianty uložení hřídele a to horizontální a vertikální. Voda je odváděna sávkou. [3] [5]

Francisovy turbíny se používají pro spády od 40 do 700 m a střední stabilní průtoky. Vhodné jsou i pro použití v přečerpávacích vodních elektrárnách, kde lze turbínu v reverzním režimu použít jako čerpadlo. V České republice jsou dvě Francisovy turbíny (každá o výkonu 325 MW, největší reverzní turbíny v Evropě) osazeny ve vodní elektrárně Dlouhé Stráně. [5]

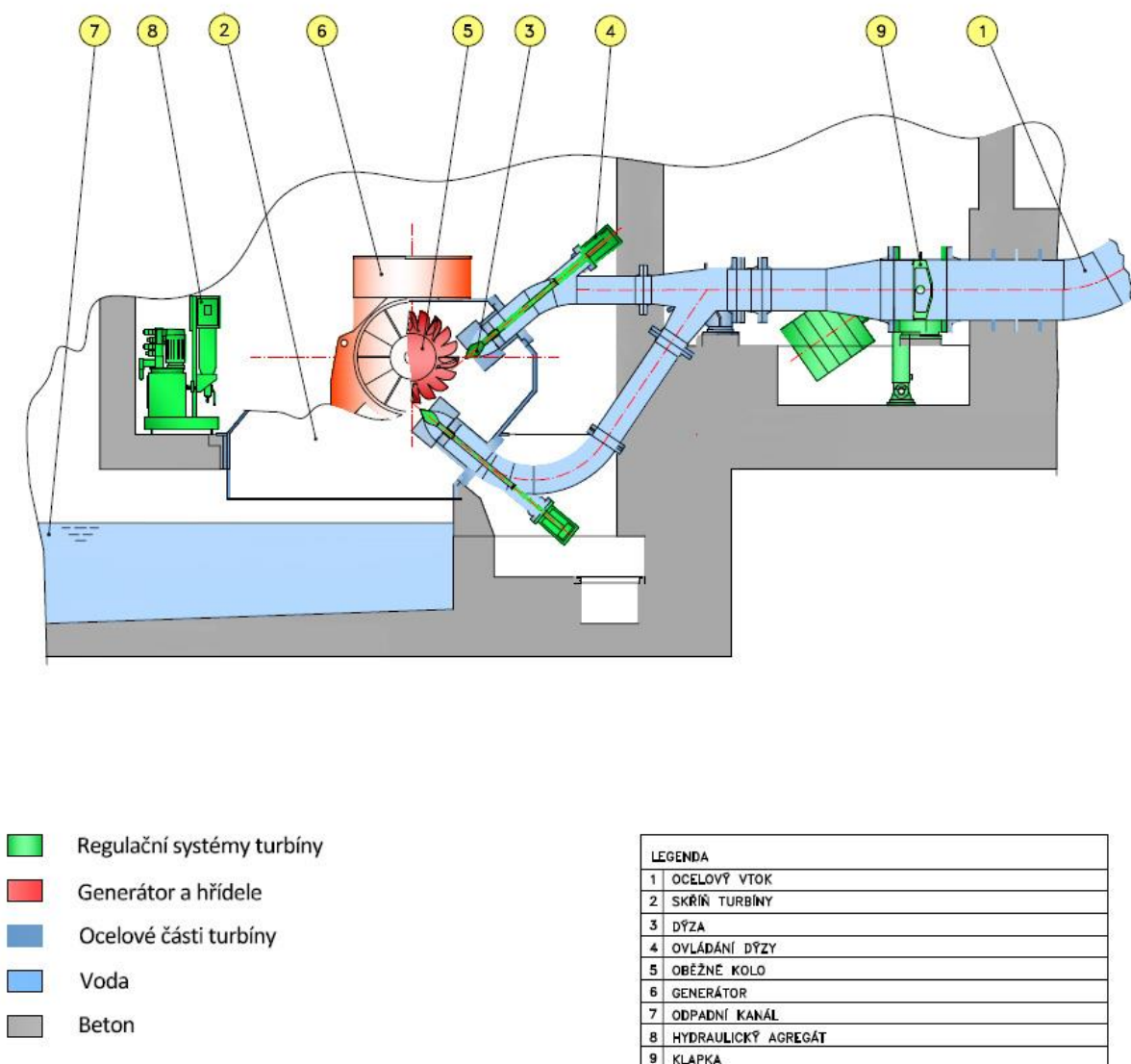


Obr. 3.3: Francisova turbína a její příslušenství, katalogový list Mavel a.s.

### 3.1.1.2 Peltonova turbína

Tento typ turbíny byl vynalezen Lesterem Allanem Peltonem v roce 1880. Principiálně představuje zdokonalené vodní kolo. Jedná se o rovnotlakou turbínu. Voda je tryskami (počet trysek je dán hltností turbíny) tangenciálně přiváděna na oběžné kolo, které je osazeno lžícovitými lopatkami. Každá z oběžných lopatek je postavena do směru toku vody, který lopatkám předá svoji kinetickou energii, roztočí je a v magnetickém poli hydroalternátoru se energie rotující hřídele přemění na energii elektrickou. Regulace průtoku vody (a tím i výkonu turbíny) se provádí zasouváním regulační jehly do výtokového otvoru dýzy. Pro rychlý zásah regulace se používá odklonění vodního paprsku pomocí deflektoru nebo deviátoru mimo oběžné kolo. [3] [6]

Peltonovy turbíny se používají pro vysoký spád 15 až 1800 m a malý průtok vody. Její použitelnost v hydrologických poměrech České republiky je omezená. Přecherpávací vodní elektrárna Černé jezero na Šumavě je osazena dvěma Peltonovými turbínami. [6]

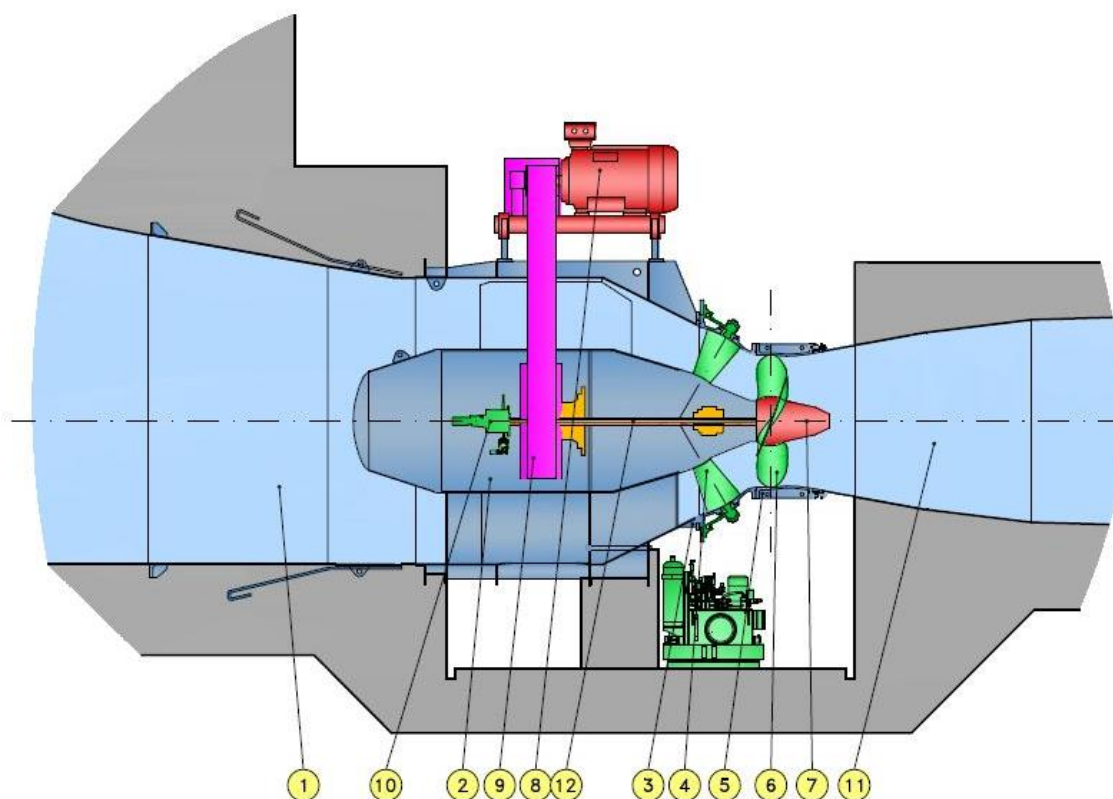


Obr. 3.4: Peltonova turbína a její příslušenství, katalogový list Mavel a.s.

### 3.1.1.3 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína byla vynalezena Viktorem Kaplanem v roce 1913. Jedná se o přetlakovou axiální turbínu s velmi dobrou možností regulace. Prívod vody na oběžné kolo je řešen podobně jako u Francisovy turbíny, voda vtéká přes lopatky rozváděcího kola a po změně směru z radiálního na axiální se dostává na nastavitelné lopatky oběžného kola. Od Francisovy turbíny se především liší počtem lopatek oběžného kola (pro nejnižší spády tři lopatky a pro nejvyšší spády až osm lopatek), jejich tvarem a možností regulace lopatek oběžného i rozváděcího kola (to zaručuje vysokou účinnost turbíny i při velkých změnách hlnosti). Voda je od turbíny odváděna savkou, která umožňuje plné využití zbyvající energie vody. V závislosti na rozdílu hladin může být tato turbína instalována buď se svislou, nebo vodorovnou osou otáčení. [3] [7]

Kaplanovy turbíny se instalují především v místech s kolísavým průtokem nebo spádem. Používají se pro spády od 1 do 70,5 m (spád na vodní elektrárně Orlick) a pro menší průtoky (od 0,15 po několik desítek  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). [7]



- Regulační systémy turbíny
- Řemenový převod
- Generátor a hřídele
- Ocelové části turbíny
- Voda
- Beton
- Ložisko

LEGENDA	
1	OCELOVÝ VYTOK
2	OCELOVÁ SKŘÍŇ TURBÍNY
3	ROZVÁDĚCÍ KOLO
4	LOPATKY ROZVÁDĚCÍHO KOLA
5	KOMORA OBĚŽNEHO KOLA
6	LOPATKY OBĚŽNEHO KOLA
7	OBĚŽNÉ KOLO
8	GENERÁTOR
9	ŘEMENOVÝ PŘEVOD
10	HYDROMOTOR
11	SAVKA
12	HŘÍDEL

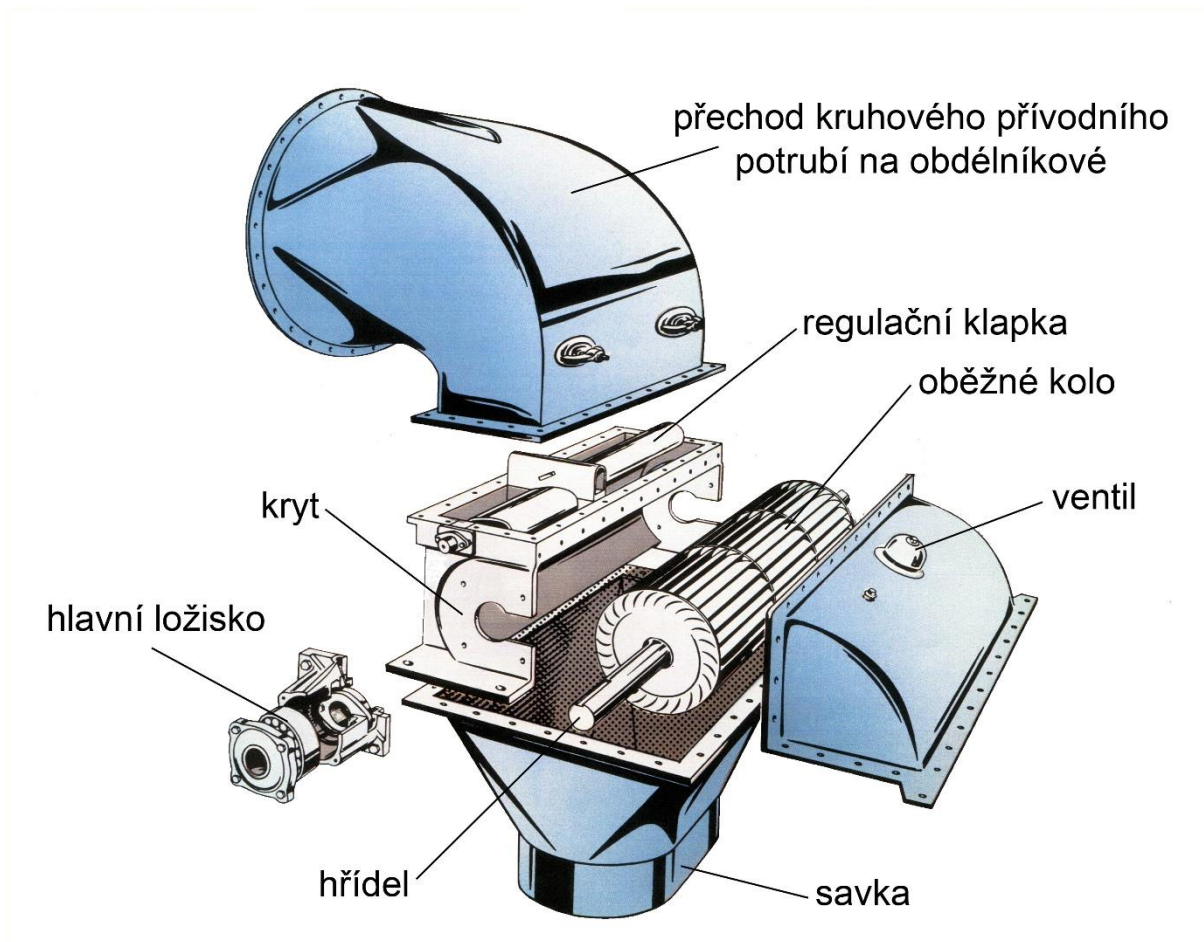
Obr. 3.5: Kaplanova turbína a její příslušenství, katalogový list Mavel a.s.



### 3.1.1.4 Bánki turbína

Tato turbína byla vynalezena Donátem Bánkim v roce 1917. Jedná se o jednoduchou rovnotlakou turbínu, používanou v malých vodních elektrárnách. Zajímavostí je, že voda prochází přes lopatky dvakrát, při vstupu do oběžného kola a následně i při jeho opouštění. Oběžné kolo je tvořeno dvěma kruhovými deskami, mezi nimiž jsou lopatky (připomíná mlýnské kolo). Voda přes lopatky vtéká dovnitř kola a odtud opět přes lopatky vytéká. Při každém průtoku lopatkami odevzdá část své energie.

Bánkiho turbíny se instalují zejména na malých tocích. Používají se pro spád menší než 200 m a malé průtoky. [8]



Obr. 3.6: Bánkiho turbína a její části [14]

## 4 POPIS LOKALITY

Řeka Oskava, hydrologické pořadí 4-10-03-022 se nachází v Olomouckém kraji v České republice. Oskava pramení v Hanušovické vrchovině 831,1 m n. m., je levostranným přítokem řeky Moravy, do které se vlévá v nadmořské výšce 213,3 m. Délka toku je 50,3 km a plocha povodí měří 569,2 km<sup>2</sup>.

Větší přítoky:

- levostranné – Zlatý potok, Oslava, Teplička, Říčí potok, Sitka (Huzovka)
- pravostranné – Dlouhý potok, Václavovský potok, Mladoňovský potok, Lukavice [15]

Mezi obcemi Oskava a Bedřichov se na řece Oskavě nachází pevný jez, který byl vybudován pro zajištění vzduť a stabilizaci koryta řeky. Při rekonstrukci silničního mostku, nacházejícího se asi 15 m proti proudu nad jezem, došlo k ubourání horní stavby jezového tělesa, proto je v současnosti jez bez energetického využití.

V katastrálním území obce Oskavy byla původně dvě spojená vodní díla, zpracovávající hydroenergetický potenciál lokality – hamr a vodní mlýn s instalovanou turbínou firmy Ossberger.

Turbína ve mlýně nebyla využívána pro energetický provoz, neboť mlýn v Oskavě nelze najít v žádných archivních materiálech – jeho energetické využití není zachyceno ani v „Seznamu vodních děl“ (z roku 1930, vydáno tiskem 1932), ani ve „Směrném vodohospodářském plánu“ z roku 1955. Využití turbíny zřejmě bylo pouze pro pohon mlýna.

Tato vodní díla – vodní mlýn a hamr, mohla pracovat společně, nebo naopak zcela nezávisle na sobě. V současnosti je zachovaný vodní mlýn, původní hamr je od 20 – 30 let minulého století nefunkční.

Záměrem bakalářské práce je využít celý hydroenergetický potenciál lokality malou vodní elektrárnou v blízkosti stávajícího mlýna v obci Oskava.

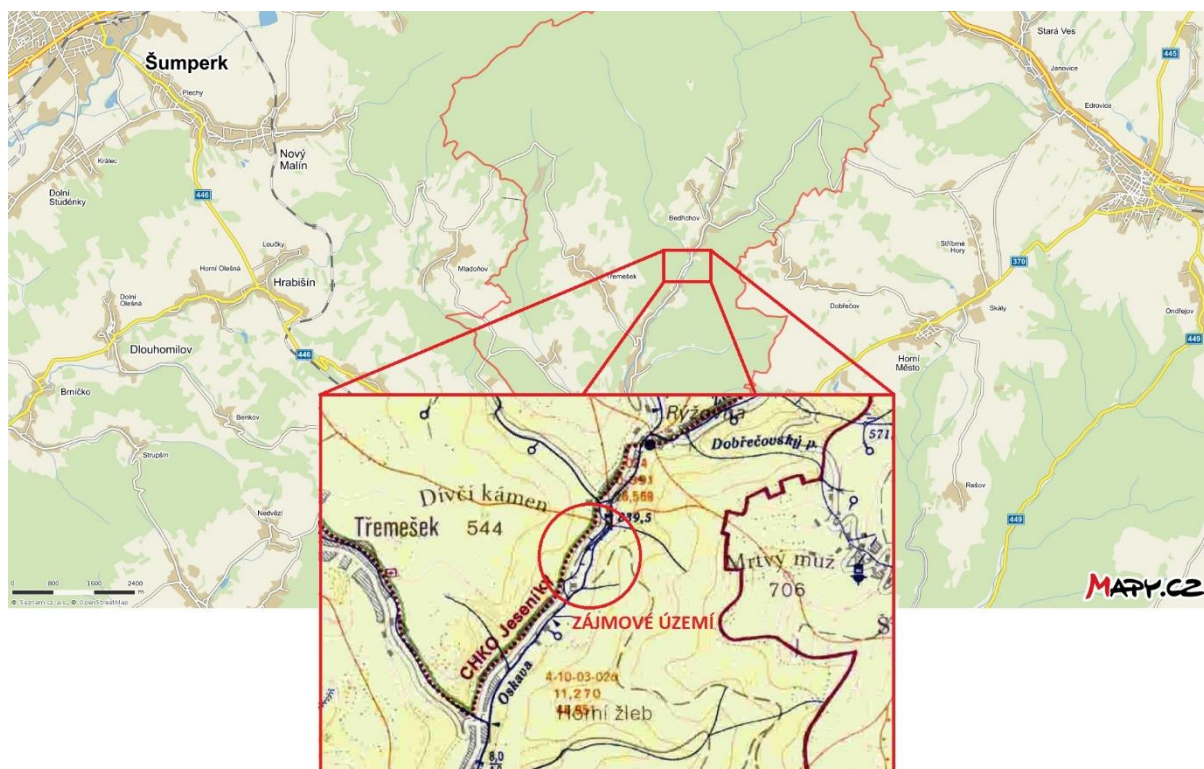
## 5 UMÍSTĚNÍ STAVBY

Kraj: Olomoucký

Okres: Šumperk

Obec: Oskava

Tok: Oskava (hydrologické pořadí 4-10-03-022)



Obr. 5.1: Mapa zobrazující zájmové území

## 6 PODKLADY

Byla poskytnuta hydrologická data lokality, zaměření zájmového území a nabídky turbín od různých výrobců.

### 6.1 Hydrologické údaje a jejich zpracování

Hydrologické údaje byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), pobočkou v Ostravě pro profil: silnice Oskava-Bedřichov, most ev.č. 37010-8, k.ú. Bedřichov.

- celková plocha povodí k danému profilu 37,5 km<sup>2</sup>
- dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí P<sub>a</sub> 896 mm
- dlouhodobý průměrný průtok Q<sub>a</sub> 0,457 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

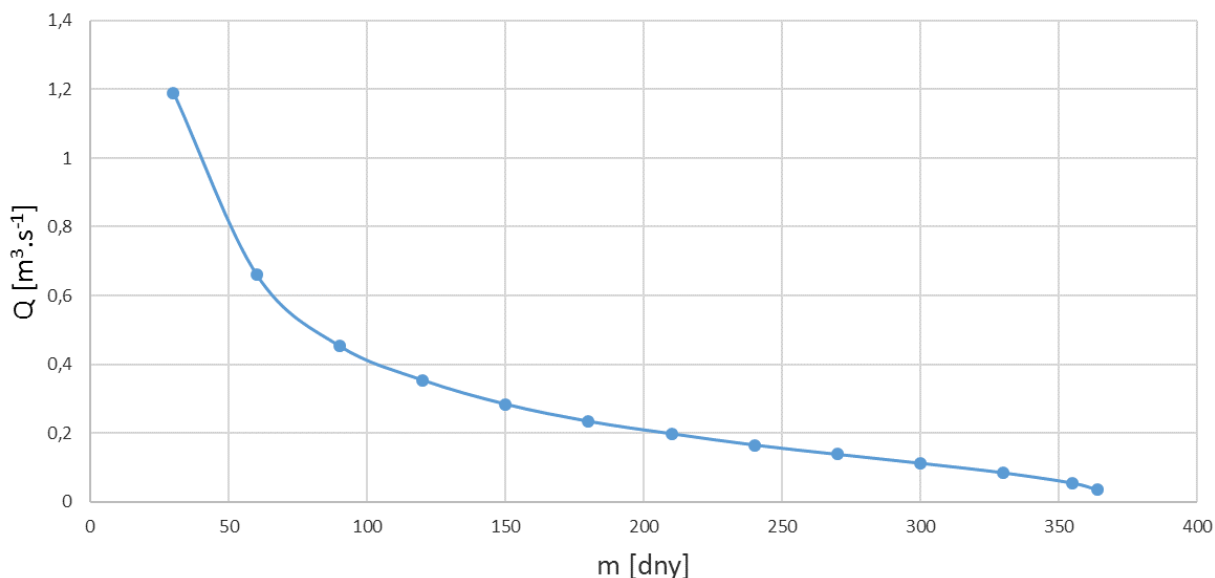
Tab. 6.1: N-leté průtoky Q<sub>N</sub> [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]

N [roky]	1	2	5	10	20	50	100	Třída
Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	7,44	11,80	18,50	24,10	30,10	38,80	45,90	III

Tab. 6.2: m-denní průtoky Q<sub>m</sub> [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]

m [dny]	30	60	90	120	150	180	210
Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	1,190	0,661	0,453	0,354	0,284	0,234	0,198
m [dny]	240	270	300	330	355	364	Třída
Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,165	0,138	0,112	0,084	0,054	0,034	III

Čára překročení m-denních průtoků



Graf 6.1: Čára překročení m-denních průtoků

### 6.1.1 Stanovení minimálního zůstatkového průtoku

U provozované elektrárny na dotčeném vodním díle – MVE Oskava na řece Oskavě musí být dle manipulačního řádu zachován pod vzdouvacím objektem minimální zůstatkový průtok  $Q_{MZP}$ .

Na základě Metodického pokynu ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích, vydaného odborem ochrany vod Ministerstva životního prostředí České republiky, je možné stanovit  $Q_{MZP}$ . [16]

Tab. 6.3: Směrné hodnoty MZP

Průtok $Q_{355d}$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$Q_{MZP}$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]
< 0,05	$Q_{330d}$
0,05 – 0,50	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
0,51 – 5,00	$Q_{355d}$
> 5,00	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Dle ČHMÚ pro profil - silnice Oskava-Bedřichov, most ev.č. 37010-8, k.ú. Bedřichov, hodnota  $Q_{355d} = 0,054 m^3 \cdot s^{-1}$ .

$$Q_{MZP} = (Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$$

$$Q_{MZP} = (0,084 + 0,054) \cdot 0,5$$

$$Q_{MZP} = \mathbf{0,069 m^3 \cdot s^{-1}}$$

### 6.2 Geodetické zaměření

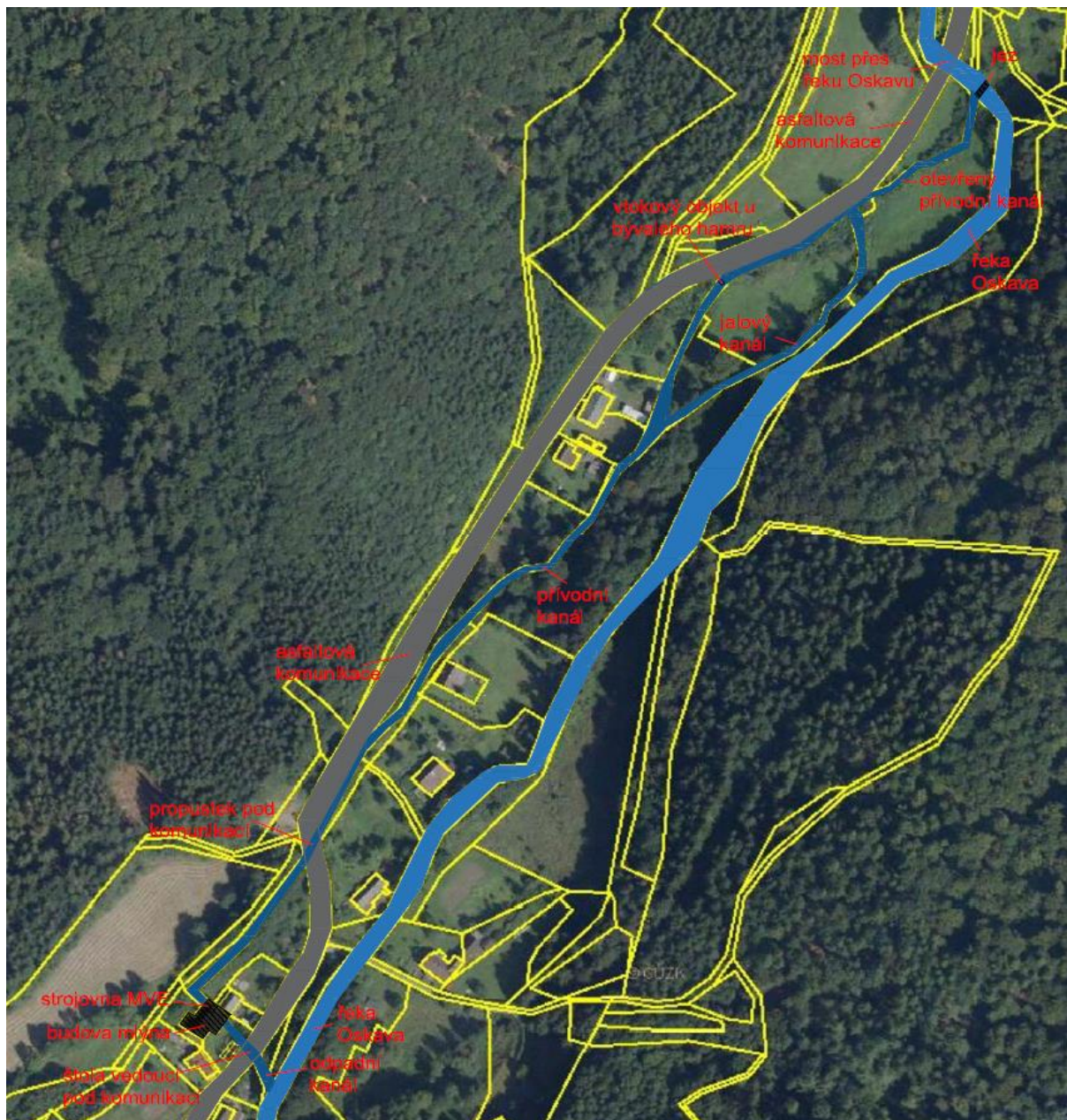
Podrobné geodetické zaměření bylo provedeno geodetickou kanceláří Lebeda geodézie v místě jezu, původního náhonu, místní komunikace, budovy mlýna a stávající strojovny a odtokového kanálu.

### 6.3 Turbíny

Na základě odeslaných poptávek do různých firem zabývajících se výrobou vodních turbín a následně získaných nabídek byly zpracovány různé variantní řešení MVE.

## 7 POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

Stávající vodní dílo je v upravené inundaci řeky Oskavy. V okolí se nachází louky, lesy, zahrady a obytné domy. Zájmové území se nachází v těsné blízkosti CHKO Jeseníky, proto některé z pozemků jsou podle katastru nemovitostí vedeny jako „rozsáhlé chráněné území“.



Obr. 7.1: Mapa zobrazující stávající stav

Pro lepší představu stávajícího stavu jsou jednotlivé objekty popsány níže a také zdokumentovány ve fotodokumentaci.

### 7.1 Konstrukce jezu

Na místě původního pevného jezu je v současnosti stále zachována celá spodní stavba jezu, spodní stavba šterkové výpusti a vtok do přívodního kanálu.

Koruna jezu je přímá a kolmá k ose řeky. Na pravé straně jezu u vtoku do přívodního kanálu se nachází sedimentační dnový žlab, na který navazuje stavidlo šterkové výpusti o šířce 1,5 m.

Konstrukčně se jedná o železobetonový jez, který má za stávajícího stavu uraženou vrchní hradící konstrukci. Pod jezem není klasický vývar, ale přeléváná zpevněná deska. Celková délka přelivné hrany jezu je přibližně 6,5 metru.

## 7.2 Přívodní kanál s volnou hladinou

U pravé strany jezu navazuje vtok do přívodního kanálu s volnou hladinou, který je i za současného stavu zahrazen dvojicí stavidel asi 1 metr od ústí. Vtok je široký 2 metry, každé stavidlo má šířku 1 m. Hloubka vody na vtoku při původní výšce koruny jezu je 0,6 m. Stavidla jsou konstruována jako dřevěné hradící desky pohybované prostřednictvím vřetenové tyče. Drážky, hradící desky i vřetenové tyče se zachovaly, chybí pohybovací matice.

Na lokalitě je zachován přívodní kanál – původní mlýnský náhon, který se cca po 100 metrech od vtoku dělí na dvě větve, vzájemně oddělené stavidlem. Horní náhon je dalších přibližně 100 metrů veden v souběhu se stávající komunikací, poté, v místě bývalého vodního hamru, odbočuje vlevo a spojuje se s dolní větví náhonu. Od soutoku obou větví pokračuje náhon jako jedno zemní koryto s volnou hladinou. Je veden dál od komunikace, aby se vyhnul stávajícím objektům s katastrálními čísly 205 a 233. Dále se náhon pomalu přibližuje ke komunikaci, u objektu s katastrálním číslem 180 je přívodní kanál zatrubněn do propustku z betonových trubek o světlosti  $D = 1$  m. Na propustek opět navazuje kanál s volnou hladinou vedoucí až ke vtokovému objektu mlýna.

## 7.3 Stávající vtokový objekt u mlýna

Vtokový objekt mlýna má dvě pole. První pole má přelivný práh vysoký 50 cm nade dnem přívodního kanálu, dále voda protéká jemnými česlemi o světlosti 2 cm do přívodního potrubí k původní turbíně ve strojovně mlýna. Druhé pole tvoří jalová propust, která je za provozu elektrárny uzavřena stavidlem s dřevěnou hradící deskou pohybovanou manuálně vřetenovou tyčí. Voda, odváděna jalovou propustí, je podzemním jalovým kanálem vedena pod turbínu a odtud je jalový průtok veden odpadním kanálem zpět do řeky Oskavy.

## 7.4 Objekt mlýna a technologie

V zachovalém mlýně je instalována Bánkiho turbína s horizontální osou. Turbína je pro potřeby regulace v podélném směru rozdělena na dvě nestejně dlouhé části (1/3 délky a 2/3 délky oběžného kola turbíny), každá z těchto částí turbíny má jako regulaci instalovány dvě Reifensteinské klapky. Je tak dosaženo poměrně vysokého stupně regulace, která pak umožňuje chod turbíny na 1/8 maximálního průtoku. Turbína nemá savku, je instalována cca 30 cm nad stávající hladinou dolní vody v odpadním bazénu. V budově mlýna jsou zachovány dvě kompletní mlýnské stolice. Mlýnská zařízení (dopravníky, stolice, síta aj.) byla poháněna pomocí plochých řemenů nasazených na řemenice instalované na hlavní transmisní hřídeli. Turbína byla ovládána a regulována ručně na základě aktuálních průtoků v řece Oskavě. Turbína pravděpodobně nebyla využívána pro energetický provoz, ale pouze pro pohon mlýna.

## 7.5 Odpadní kanál

Od turbíny je voda vedena pod mlýnem a dvorem kamennou skládanou štolou, vysokou 1,50 - 1,80 metru a širokou 1 metr, která podchází i stávající komunikaci. Voda je dále přiváděna zpět do řeky Oskavy odpadním kanálem ve tvaru zemního koryta miskovitěho příčného profilu s volnou hladinou.

## 8 PŘÍVOD VODY K ELEKTRÁRNĚ

Pro přívod vody k turbíně budou využity jak stávající objekty, tak i nově navržený tlakový přivaděč. Bude nutná rekonstrukce jezu a instalace nové hradící konstrukce. Dále bude využit přívodní kanál, vedoucí podél stávající komunikace. V místě, kde se náhon vzdaluje od silnice, bude vybudován nový vtokový objekt, na který bude navazovat tlakové potrubí, vedené protlakem pod komunikací a dále vedoucí podél druhé strany komunikace než jsou obytné domy. Tato nově navržená trasa vede po pozemcích patřících Lesům ČR, se kterými je již zahájeno řízení o povolení této výstavby. Viz výkres č. 1 – „Celková situace“.

### 8.1 Rekonstrukce jezu

Z konstrukce původního pevného jezu se zachovala ve velmi dobrém stavu pouze spodní stavba, kterou je potřeba vyčistit od sedimentů a splavenin. V návrhu rekonstrukce vodního díla na řece Oskavě se počítá s instalací ocelové duté sklápěné klapky, která umožní bezproblémový převod velkých vod.

Předpokládaná vrchní hradící konstrukce a její umístění je patrné na výkresu č. 2 – „Situace jezu“ a na výkresu č. 3 – „Objekt jezu a šterková propust“.

Šterková propust bude obnovena ve svém původním tvaru a umístění, tzn. jednoduché stavidlo s dřevěnou hradící deskou, ručně pohybovanou pomocí dvojice cévových tyčí poháněných šnekovými převody. Manipulace je zde předpokládána manuální. Šterková propust má světlou hrazenou šířku 1,2 m a čistou hrazenou výšku 1,2 m. Šterbinou pod stavidlem se bude trvale přepouštět do podjezí sanační průtok.

### 8.2 Vtokový objekt

Nový vtokový objekt ze železobetonu je navržen v místě původního hamru. Vtokový objekt bude vybaven stavidlem s dřevěnou hradící deskou a elektromechanickým pohonem a jemnými česlemi. Jemné česle slouží k zachycení plovoucích nečistot. Česle jsou navrženy v šikmém uspořádání pod úhlem 70° se světlostí česlic 40 mm. Česle budou stírané čistícím strojem. Viz výkres č. 4 – „Vtokový objekt“.

### 8.3 Přívodní kanál a potrubí

K přívodu vody bude ve vrchní části využit původní otevřený kanál vedoucí podél komunikace, který je taktéž potřeba vyčistit od sedimentů a nánosů. Součástí rekonstrukce bude oprava stávajících stavidel a doplnění dnes chybějícího stavidla jalové propusti. Přívodní kanál bude využit až k bývalému hamru, kde se vzdaluje od komunikace a pokračuje podél zahrad. Zde bude nově vybudovaný vtokový objekt a dále bude voda zatrubněna. Potrubí nebude pokračovat v původní trase náhonu, ale za vtokovým objektem bude protlak pod silnicí a k mlýnu povede přívodní potrubí podél stávající silnice. Dále bude pokračovat původní strojovnou a pod komunikací do nově vybudované strojovny, kde bude v případě osazení dvou turbín rozděleno kalhotovým kusem na dvě potrubí vedoucí k turbínám. Na těchto větvích budou umístěny uzávěry, pravděpodobně klapky.

Tlakové potrubí je navrženo ocelové, kruhového profilu o jmenné světlosti 800 mm. Viz výkres č. 5 – „Vzorový příčný řez tlakového potrubí“.

V případě variant 1 a 2 – použití Bánki turbín je nutné před turbíny osadit nátokový kus, měnící kruhový profil přivaděče na obdélníkový profil. Minimální délka tohoto kusu je 1 m.



### 8.3.1 Výpočet ztrát přivodního potrubí

Ztráty na přivodním potrubí jsou počítány podle vztahu:

$$Z = Z_t + Z_m = \left( \lambda \cdot \frac{L}{D} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Kde  $\lambda$  je součinitel tření,  $L$  délka úseku potrubí,  $D$  průměr potrubí,  $\xi$  součinitel místní ztráty,  $v$  rychlost vody v potrubí,  $g$  tíhové zrychlení.

- Místní ztráty:

$$Z_m = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (8.1)$$

Ve výpočtu místních ztrát  $Z_m$  jsou uvažována 4 kolena – tři ostrá a jedno obloukové. Po dosazení neznámých do rovnice (8.1) vyšly ztráty místní 0,045 m. Viz výpočtová část 12.2

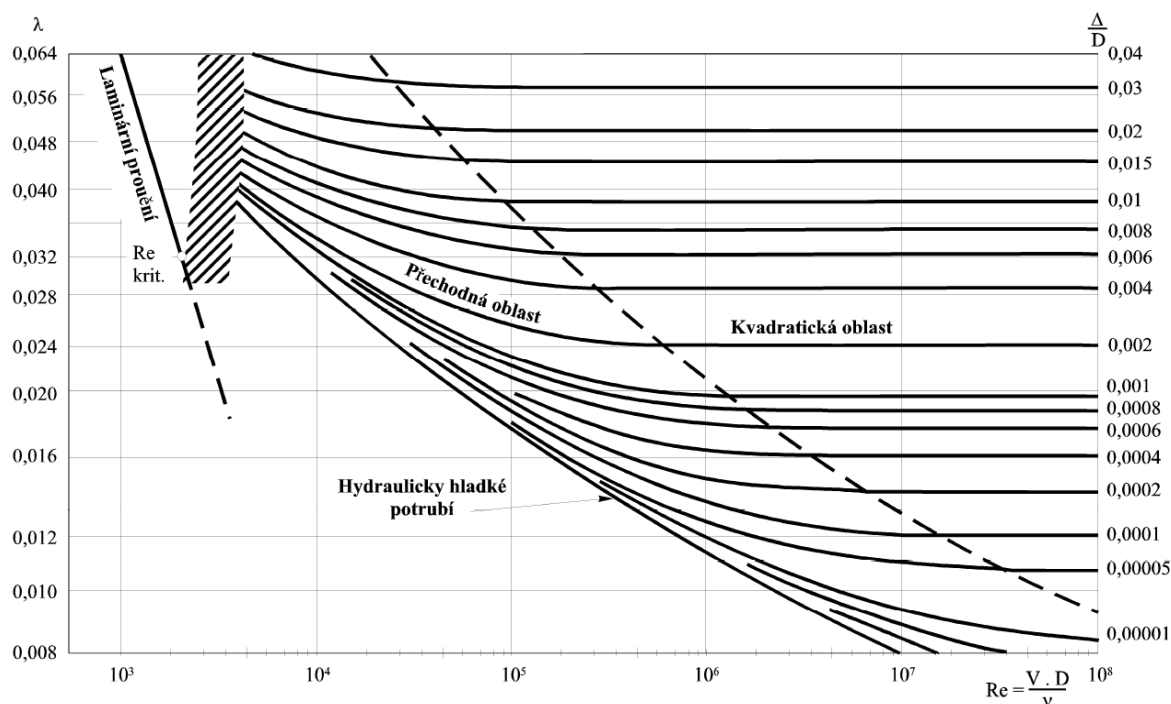
- Ztráty třením:

$$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (8.2)$$

Pro součinitel tření  $\lambda$  platí Colebrook-Whiteova rovnice:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7 \cdot D} \right)$$

Grafickým vyjádřením této rovnice je Moodyho diagram umožňující určení  $\lambda$  v závislosti na hodnotě Reynoldsova čísla  $Re$  a relativní drsnosti  $\Delta/D$ .



Obr. 8.1: Moodyho diagram

Po dosazení do rovnice (8.2) vyšly ztráty třením 1,561 m. Sečtením ztrát místních a třením byly určeny celkové ztráty 1,609 m při průtoku  $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Viz výpočtová část 12.2.

Dle výsledků výpočtu obou typů ztrát, lze potrubí považovat za hydraulicky dlouhé a místní ztráty uvažovat jako zanedbatelné oproti ztrátám tření.

## 9 NÁVRH NOVÉ MVE

Tato malá vodní elektrárna je navržena jako průtočná, nevyužívá nadjezí k akumulaci vody a následně ke špičkovému provozu, a derivační, využívá umělého vedení vody mimo vodní tok pomocí tlakového přivaděče.

### 9.1 Strojovna

Z důvodu nedostatečné velikosti původní strojovny v mlýně a navýšení spádu, bude vybudována nová strojovna, umístěna na opačné straně komunikace než je mlýn. Výhodou nového umístění bude taktéž odhlučnění provozu, protože strojovna bude zčásti pod úrovní terénu.

Strojovna je navržena železobetonová, obdélníkového půdorysu 7,36 x 5,41 metru. Vchod do strojovny je vyvýšen o 30 cm nad původní terén z důvodu protipovodňové ochrany. Viz výkres č. 6a, 6b – „Strojovna MVE“.

Voda bude odvedena odpadním kanálem s volnou hladinou vody a lichoběžníkovým příčným řezem. Svahy budou zpevněny kamenným záhozem a na obou stranách bude kamenná patka z těžkého kamenného záhozu. Viz výkres č. 7 – „Vzorový příčný řez otevřeného kanálu“. Trasa kanálu respektuje stávající koryto.

### 9.2 Určení spádu

Hrubý spád  $H_{\text{brutto}}$  byl určen rozdílem kóty horní a dolní vody, dle geodetického zaměření lokality. Stávající dno v místě jezu se nachází na kótě 391,95 m n. m. při uvažované výšce nové hradící konstrukce 60 cm, hydrostatická hladina horní vody odpovídá kótě 392,55 m n. m. Hladina dolní vody je uvažována na kótě 377,03 m n. m.

$$H_{\text{brutto}} = 392,55 - 377,03 = 15,52 \text{ m}$$

Čistý spád  $H_{\text{netto}}$  byl určen odečtením ztát od spádu hrubého.

$$H_{\text{netto}} = 15,52 - 1,115 = 13,96 \text{ m při průtoku } 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

### 9.3 Varianta 1 – 1 Bánki turbína

Na základě nabídky firmy P&S a.s. byla z jejich výrobního programu doporučena Bánki turbína B600/300. Turbíny řady B600 jsou konstrukčně přizpůsobené pro spády do 20 m. Tento typ má průměr oběžného kola 600 mm a délku rotoru 300 mm. Jedná se o turbínu s plynulou regulací přítoku segmentovým uzávěrem ovládaným hydraulickým válcem. Hydraulický systém turbíny (hydraulický agregát, hydraulické rozvody a hydraulický válec segmentu) umožňuje plynulou regulaci hltnosti turbíny v rozsahu 20 – 100 % maximálního průtoku turbínou. Údaje o stupni otevření turbíny jsou zobrazované na dotykovém displeji s přesností  $\pm 0,5$  %.

Segmentový uzávěr turbíny slouží jako regulační mechanismus turbíny i jako rychlouzávěr při výpadku elektrické energie. Automatické zavření segmentu se řeší pomocí akumulátoru tlaku na hydraulickém agregátu pro turbíny B600.

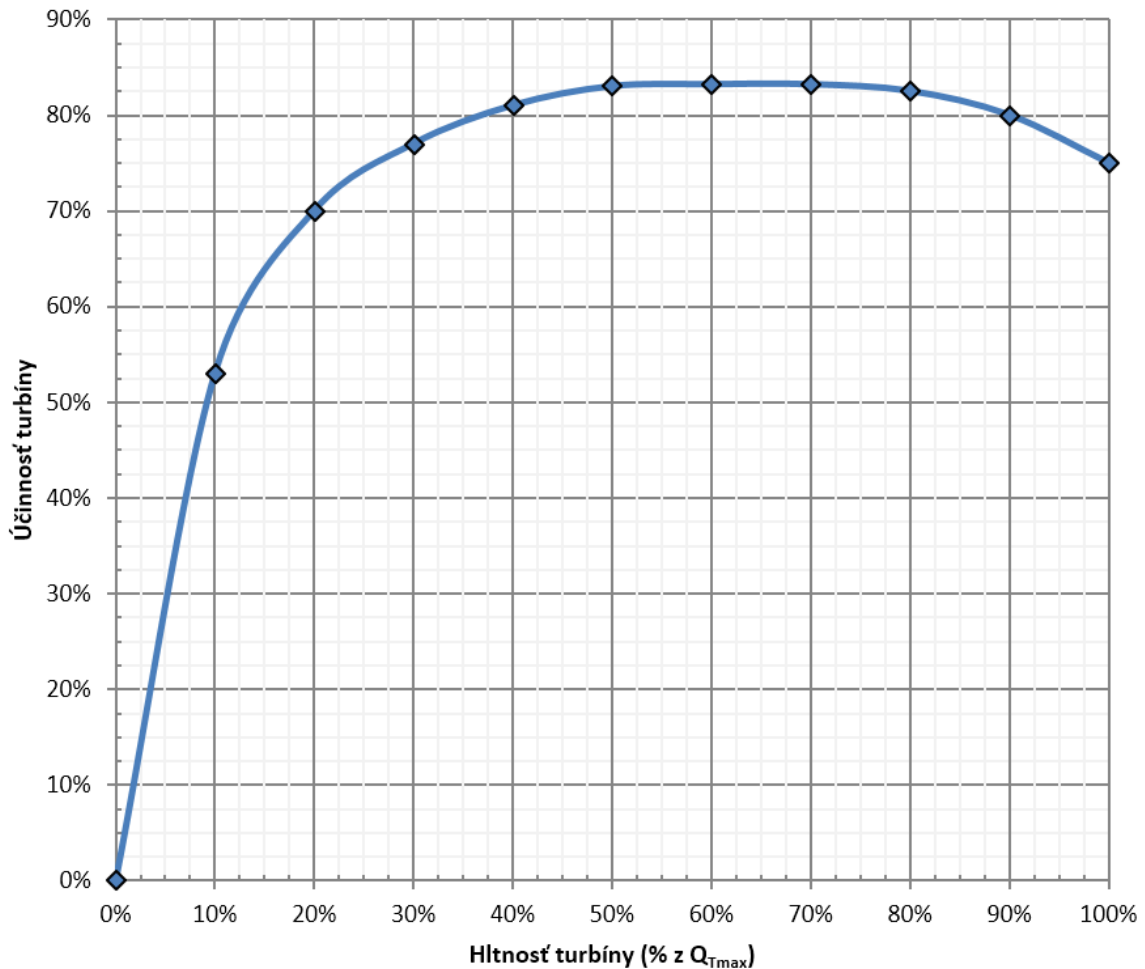
Tab. 9.1: Navrhované parametry technologického zařízení varianty 1

		TG 1/MVE
Návrhový hrubý spád	[m]	15,52
Návrhový čistý spád	[m]	13,96
Typ turbíny		Bánki
Průměr oběžného kola	[mm]	600
Délka rotoru	[mm]	300
Otáčky turbíny/generátoru	[min <sup>-1</sup> ]	269/600
Maximální hltnost turbíny	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,55
Minimální hltnost turbíny	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,11
Maximální výkon turbíny	[kW]	56,49

Viz výpočtová část 12.3.1.

Optimální hltnost turbín výrobce uvádí v rozmezí 45 – 85 % z maximálního průtoku turbínou. V tomto rozsahu průtoků účinnost turbíny dosahuje 82 – 83 %, při minimální hltnosti účinnost turbíny dosahuje 70 %.

**Graf účinnosti turbín Banki**

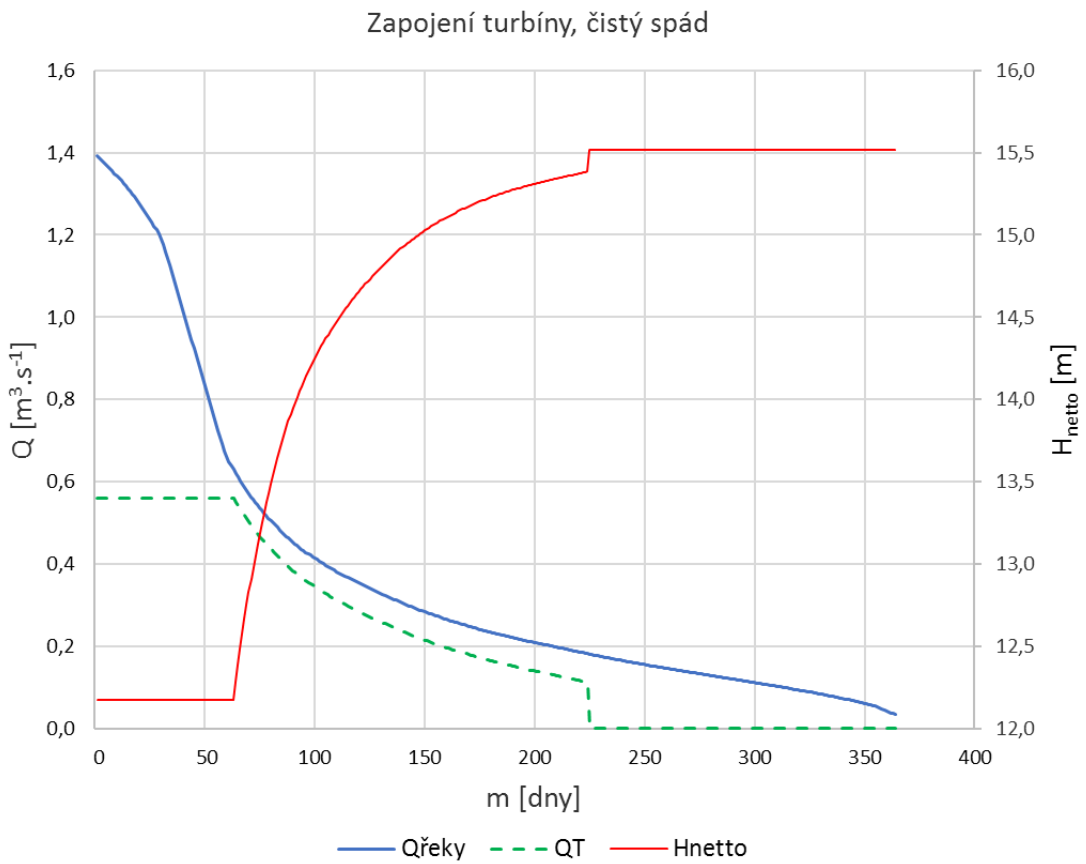


**Graf 9.1: Charakteristika Bánki turbíny od výrobce**

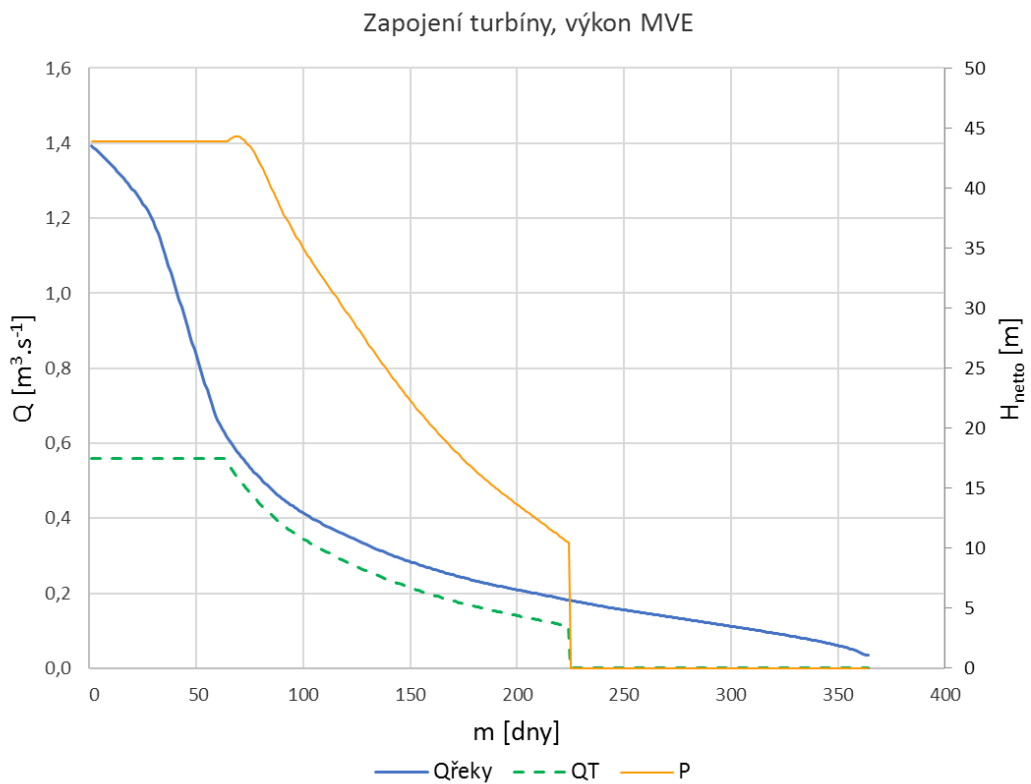
Účinnost řemenového převodu a generátoru se liší podle celkového zatížení. Obvykle se uvažuje 92 - 93% účinnost řemenového převodu a 93 - 94% účinnost generátoru.

### 9.3.1 Výroba elektrické energie

Ve výpočtu roční výroby elektrické energie (viz výpočtová část 12.4) je počítáno s doplněnými m-denními průtoky (viz výpočtová část 12.1) a započítáním pouze ztrát třením na přivaděči. Vzhledem k maximální hltnosti turbíny  $0,55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , je uvažováno s přivaděčem o průměru 600 mm. Dle výpočtu vyjde roční výroba 164,2 MWh. Z důvodu revizí, oprav a odstávek se obvykle uvažuje s 80 % teoretické roční výroby, která je 131,4 MWh.



Graf 9.2: Čistý spád, průtoky řekou, MVE, turbínou a její zapojení



Graf 9.3: Výkon MVE, průtoky řekou, MVE, turbínou a její zapojení

## 9.4 Varianta 2 – 2 Bánki turbíny

V druhé variantě byla k předchozí variantě, Bánki turbíně B600/300, přidána druhá, menší Bánki turbína B340/340, která taktéž patří do výrobního programu firmy P&S a.s.

Typ B340/340 má průměr oběžného kola 340 mm a délku rotoru 340 mm. Taktéž se jedná o turbínu s plynulou regulací přítoku segmentovým uzávěrem ovládaným hydraulickým válcem. Hydraulický systém turbíny umožňuje plynulou regulaci hlnosti turbíny v rozsahu 20 – 100 % maximálního průtoku turbínou. Automatické zavření segmentu u typu B340 lze řešit pomocí závaží.

Tab. 9.2: Navrhované parametry technologického zařízení varianty 2

		TG 1	TG 2	MVE
Návrhový hrubý spád	[m]	15,52	15,52	15,52
Návrhový čistý spád	[m]	13,96	13,96	13,96
Typ turbíny		Bánki	Bánki	
Průměr oběžného kola	[mm]	600	340	
Délka rotoru	[mm]	300	340	
Otáčky turbíny/generátoru	[min <sup>-1</sup> ]	269/600	643/1000	
Maximální hlnost turbíny	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,55	0,37	0,92
Minimální hlnost turbíny	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,11	0,074	0,074
Maximální výkon turbíny	[kW]	56,49	37,84	94,33

Viz výpočtová část 12.3.1, 12.3.2.

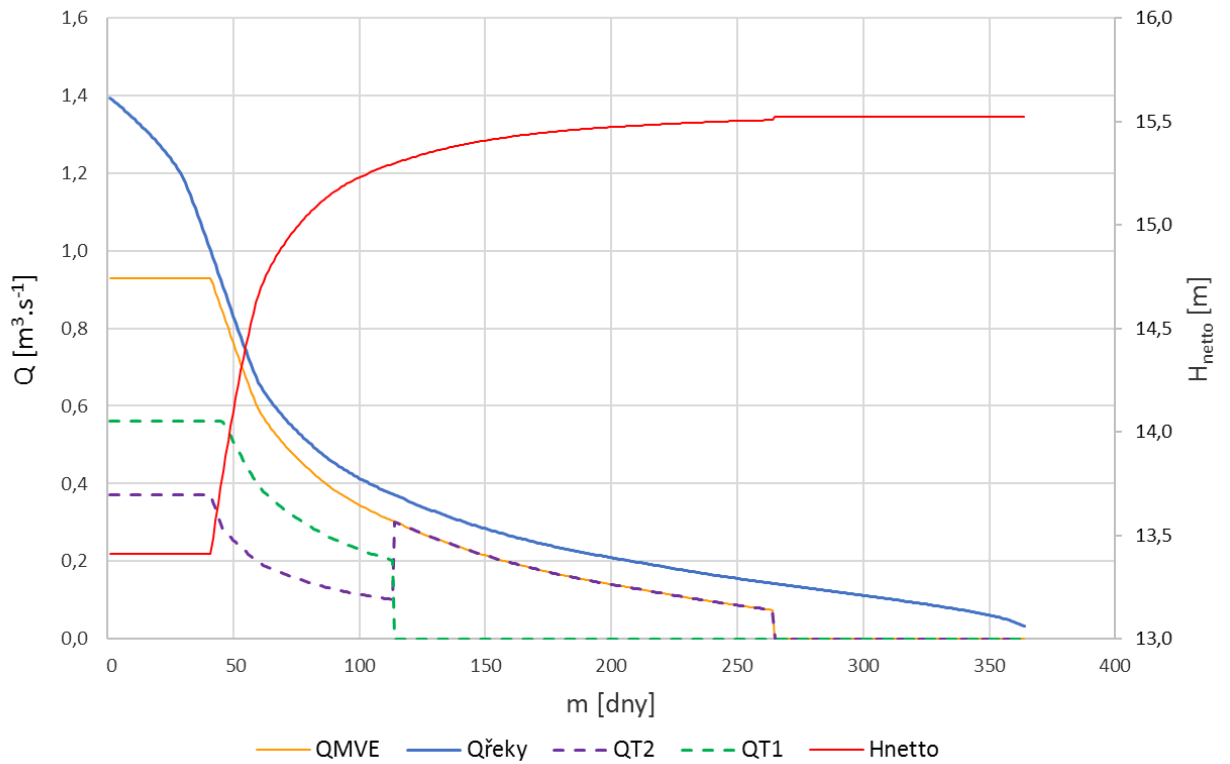
Optimální hlnost turbín výrobce uvádí v rozmezí 45 – 85 % z maximálního průtoku turbínou. V tomto rozsahu průtoků účinnost turbíny dosahuje 82 – 83 %, při minimální hlnosti účinnost turbíny dosahuje 70 %.

Účinnost řemenového převodu a generátoru se liší podle celkového zatížení. Obvykle se uvažuje 92 - 93% účinnost řemenového převodu a 93 - 94% účinnost generátoru.

### 9.4.1 Výroba elektrické energie

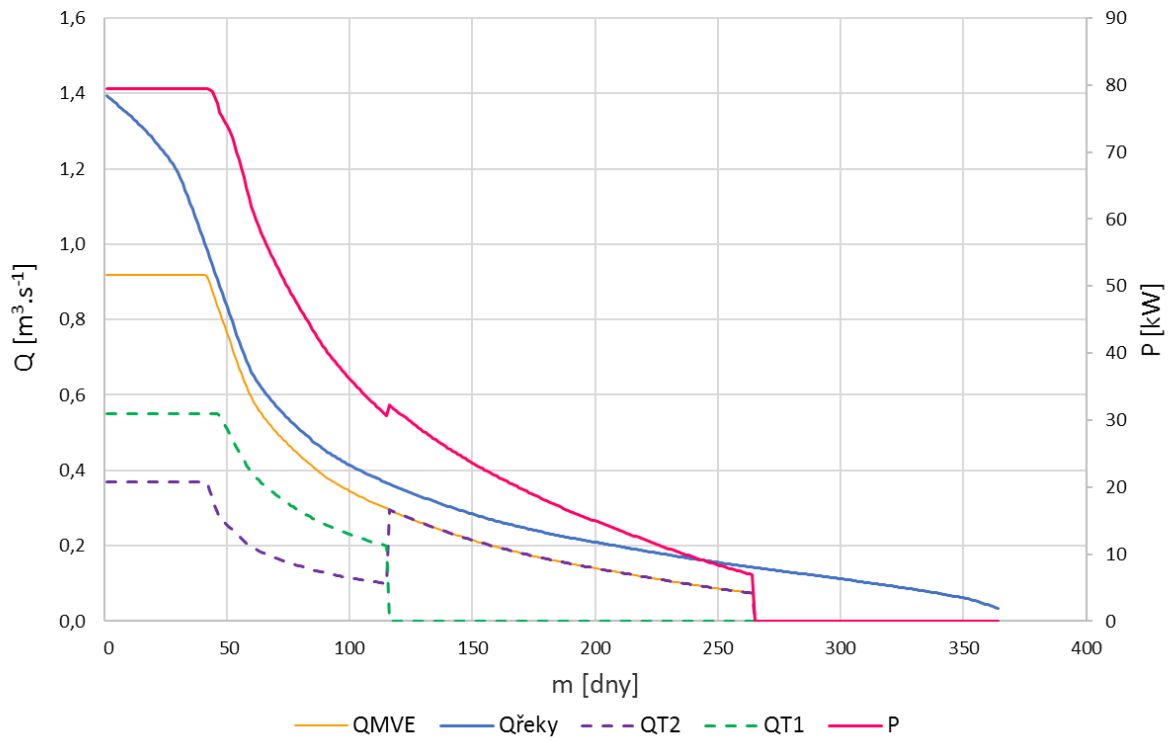
Ve výpočtu roční výroby elektrické energie (viz výpočtová část 12.4) je počítáno s doplněnými m-denními průtoky (viz výpočtová část 12.1) a započítáním pouze ztrát třením na přivaděči. Dle výpočtu vyjde roční výroba 230,3 MWh. Z důvodu revizí, oprav a odstávek se obvykle uvažuje s 80 % teoretické roční výroby, která je 184,3 MWh.

Zapojení turbín, čistý spád



Graf 9.4: Čistý spád, průtoky řekou, MVE, turbínami a jejich zapojení

Zapojení turbín, výkon MVE



Graf 9.5: Výkon MVE, průtoky řekou, MVE, turbínami a jejich zapojení

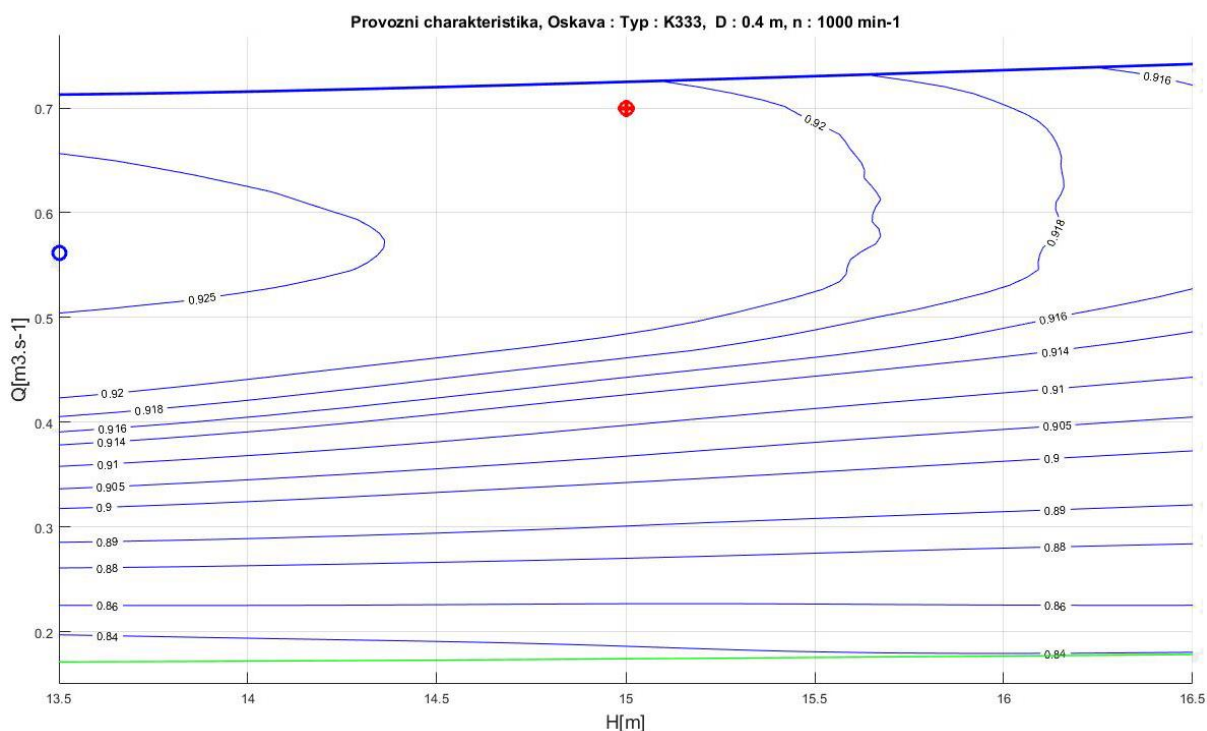
## 9.5 Varianta 3 – Kaplanova turbína

Na základě výrobní nabídky MAVEL a.s., byla zpracována nabídka pro Kaplanovu turbínu K333. Parametry byly poskytnuty výrobcem přímo pro konkrétní lokalitu.

Kaplanova turbína se vyznačuje velmi dobrou regulací a schopností zpracovávat kolísavé průtoky. Je často osazována v MVE a oproti Bánki turbínám se vyznačuje vyšší účinností.

Tab. 9.3: Navrhované parametry technologického zařízení varianty 3

		TG 1/MVE
Návrhový hrubý spád	[m]	15,52
Návrhový čistý spád	[m]	13,96
Typ turbíny		Kaplan K333
Průměr oběžného kola	[mm]	400
Otáčky turbíny	[min <sup>-1</sup> ]	1000
Maximální hlnost turbíny	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,72
Minimální hlnost turbíny	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	0,17
Maximální výkon turbíny	[kW]	91,90

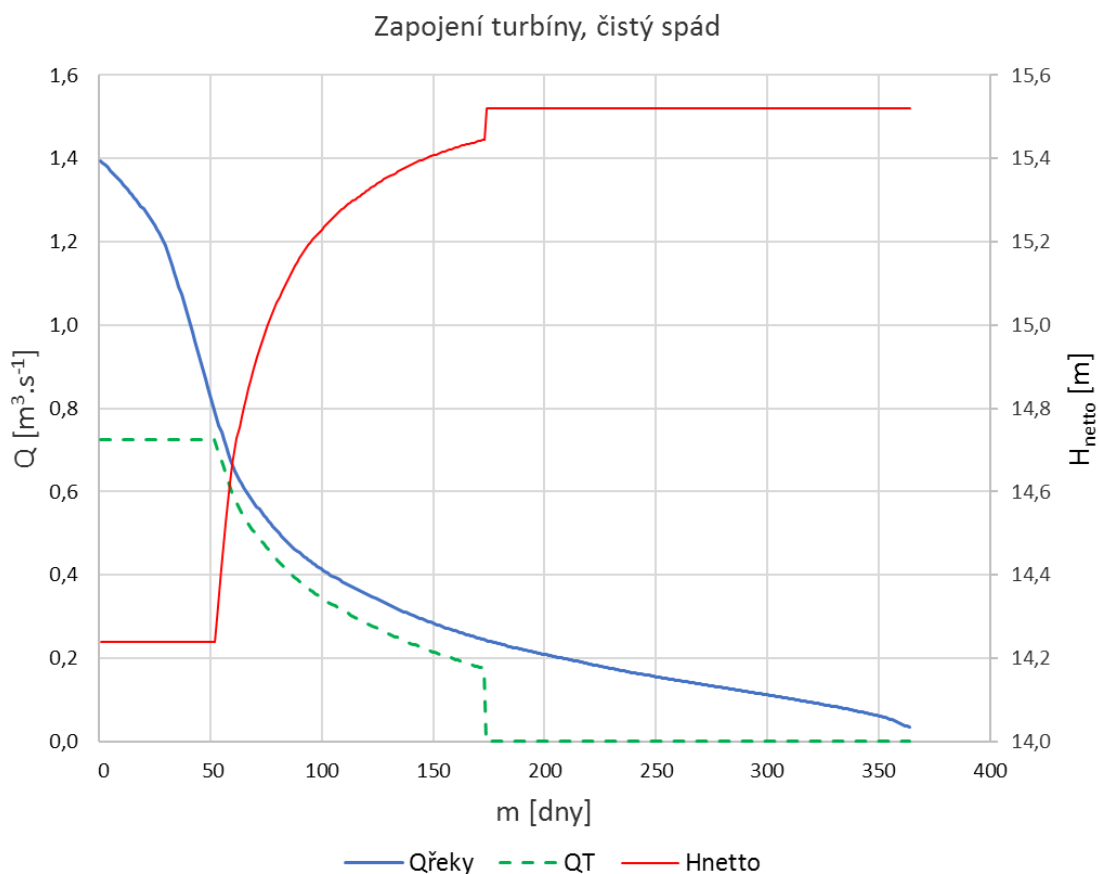


Graf 9.6: Charakteristika Kaplanovy turbíny K333 pro danou lokalitu od výrobce

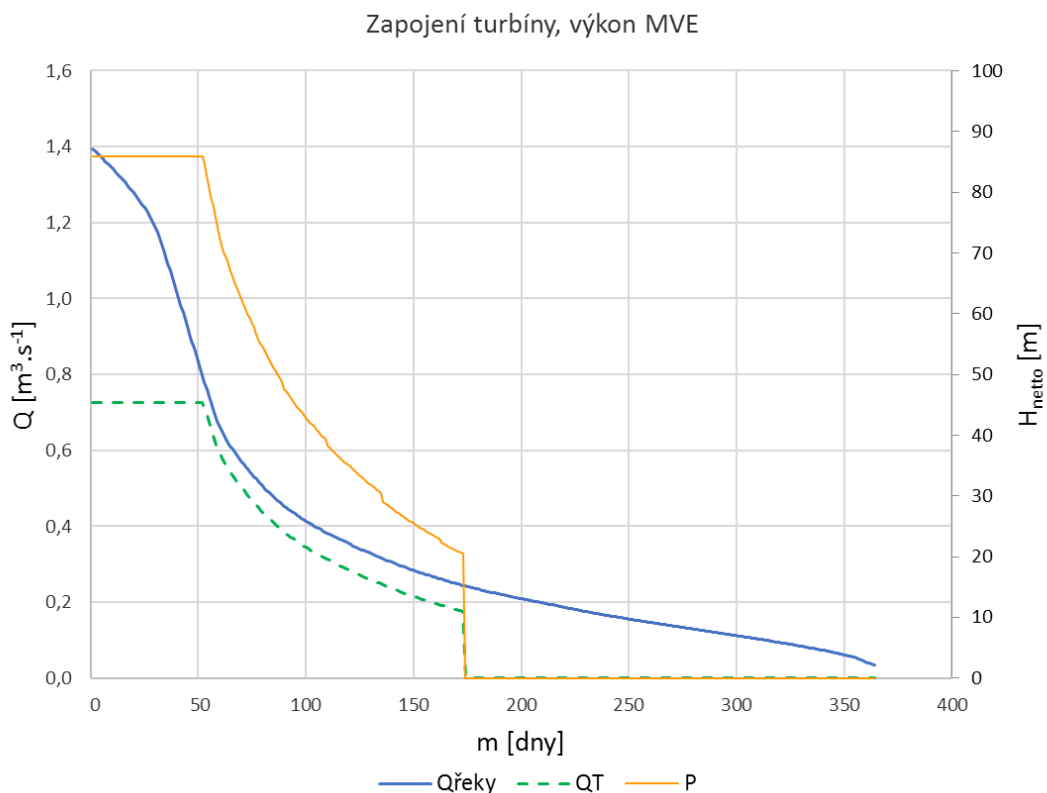
### 9.5.1 Výroba elektrické energie

Ve výpočtu roční výroby elektrické energie (viz výpočtová část 12.4) je počítáno s doplněnými m-denními průtoky (viz výpočtová část 12.1) a započítáním pouze ztrát třením na přiváděči. Dle výpočtu vyjde roční výroba 227,6 MWh. Z důvodu revizí, oprav a odstávek se obvykle uvažuje s 80 % teoretické roční výroby, která je 182,1 MWh.





Graf 9.6: Čistý spád, průtoky řekou, MVE, turbínou a její zapojení



Graf 9.7: Výkon MVE, průtoky řekou, MVE, turbínou a její zapojení

## 10 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANT

Dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 9/2016 ze dne 14. prosince 2016, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie, byla určena výkupní cena 2 741 Kč/MWh. MVE Oskava je uvažována jako malá vodní elektrárna v nových lokalitách z důvodu, že původní turbína sloužila pouze pro pohon mlýna soustavou transmisí a nebyla využívána pro energetický provoz. Mlýn v Oskavě nelze najít v žádných archivních materiálech – jeho energetické využití není zachyceno ani v „Seznamu vodních děl“ (z roku 1930, vydáno tiskem 1932), ani ve „Směrném vodohospodářském plánu“ z roku 1955.

Tabulka 10.1: Výkupní ceny dle ERÚ z prosince 2016 [17]

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
			Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
	od (včetně)	do (včetně)			VT	NT
a	b	c	j	k	n	o
Malá vodní elektrárna splňující podmínku bodu 1.6.6.	1.1.2006	31.12.2017	2 110	1 470	-	-
Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách	1.1.2006	31.12.2013	2 705	2 065	2 555	1 693
	1.1.2014	31.12.2014	2 652	2 012	-	-
	1.1.2015	31.12.2015	2 600	1 960	-	-
	1.1.2016	31.12.2016	2 549	1 909	-	-
	1.1.2017	31.12.2017	2 214	1 574	-	-
Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	1.1.2006	31.12.2013	2 705	2 065	2 555	1 693
	1.1.2014	31.12.2014	2 652	2 012	-	-
	1.1.2015	31.12.2015	2 600	1 960	-	-
	1.1.2016	31.12.2016	2 549	1 909	-	-
	1.1.2017	31.12.2017	2 214	1 574	-	-
Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	3 005	2 365	2 885	1 977
	1.1.2008	31.12.2009	3 180	2 540	2 885	2 241
	1.1.2010	31.12.2010	3 456	2 816	2 885	2 654
	1.1.2011	31.12.2011	3 379	2 739	2 885	2 539
	1.1.2012	31.12.2012	3 522	2 882	2 885	2 753
	1.1.2013	31.12.2013	3 497	2 857	2 885	2 715
	1.1.2014	31.12.2014	3 428	2 788	-	-
	1.1.2015	31.12.2015	3 361	2 721	-	-
	1.1.2016	31.12.2016	3 130	2 490	-	-
1.1.2017	31.12.2017	2 741	2 101	-	-	

Vodní turbína patří do odpisové skupiny 3 s odpisovou dobou 10 let, je uvažováno lineární odpisování a hodnota je získána z ceny turbíny a jejího příslušenství (není uvažována doprava a montáž). Ve výpočtu cash flow není uvažováno s náklady na provoz a údržbu turbíny. Prvotní investice je uvažována pouze za technologickou část, stavební část bude ve všech variantách podobná.

### **10.1 Varianta 1 – 1 Bánki turbína**

Celkový roční zisk, s úvahou 80 % teoretické roční výroby elektrické energie:  
 $131,390 \cdot 2\,741 = 360\,139$  Kč za rok.

Prostá doba návratnosti je 8 let. Diskontovaná doba návratnosti s výnosem 2 % ročně je 8 let. Viz výpočtová část 12.5.

### **10.2 Varianta 2 – 2 Bánki turbíny**

Celkový roční zisk, s úvahou 80 % teoretické roční výroby elektrické energie:  
 $184,250 \cdot 2\,741 = 505\,030$  Kč za rok.

Prostá doba návratnosti je 9 let. Diskontovaná doba návratnosti s výnosem 2 % ročně je 10 let. Viz výpočtová část 12.5.

### **10.3 Varianta 3 – Kaplanova turbína**

Celkový roční zisk, s úvahou 80 % teoretické roční výroby elektrické energie:  
 $182,063 \cdot 2\,741 = 499\,034$  Kč za rok.

Prostá doba návratnosti je 10 let. Diskontovaná doba návratnosti s výnosem 2 % ročně je 11 let. Viz výpočtová část 12.5.

## 11 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá využitím hydroenergetického potenciálu na řece Oskava v lokalitě Oskava. Původní dvě vodní díla, hamr a mlýn, zpracovávající tento potenciál jsou v současnosti již nefunkční. Úkolem bakalářské práce bylo provést variantní řešení technologického vybavení a pro vybranou variantu provést předběžný návrh konstrukčního řešení.

Pro daný spád a hydrologické podmínky byly vybrány tři varianty řešení, jedna Bánki turbína, dvě různé Bánki turbíny a Kaplanova turbína.

První varianta s použitím jedné Bánki turbíny B600/300 má nejlevnější technologii, avšak nevyužije plného rozsahu průtoků. Předpokládaná roční výroba je 131,390 MWh a roční zisk 360 139 Kč. Doba návratnosti je 8 let.

Druhou variantou jsou dvě Bánki turbíny B600/300 a B340/340. Použitím dvou turbín se zvednou celkové náklady na technologii, ale menší turbína zajistí větší pokrytí průtoků a optimální využití obou turbín. Předpokládaná roční výroba je 184,250 MWh a roční zisk 505 030 Kč. Doba návratnosti je 9 let.

Poslední varianta s použitím Kaplanovy turbíny, která pracuje s celkovou vyšší účinností, ale taktéž jako v první variantě nedokáže pokrýt dostatečný rozsah průtoků, teoreticky vyrobí 182,063 MWh za rok. Roční zisk je 499 034 Kč, ale vzhledem k vysoké pořizovací ceně je doba návratnosti 10 let.

Přestože první varianta má nejkratší dobu návratnosti a nejnižší pořizovací náklady, byla doporučena varianta 2 s dvěma Bánki turbínami, protože zajistí zpracování i nižších průtoků a tím i optimální využití hydroenergetického potenciálu. Doba návratnosti je jen o jeden rok vyšší a z dlouhodobého hlediska má tato varianta vyšší výnos.

Pro výslednou variantu technologického vybavení se dvěma různými Bánki turbínami byl proveden návrh rámcového konstrukčního řešení. Z důvodu nedostatku prostoru v původní strojovně nefunkčního mlýna, je navržena výstavba zcela nové malé vodní elektrárny mimo stávající mlýn. Nově navrhované řešení povede k lepšímu využití hydroenergetického potenciálu řeky Oskavy, tj. lepšímu využití spádu, možnosti využití menších průtoků. Navíc bude provoz lépe odhlučněn.

## 12 VÝPOČTOVÁ ČÁST

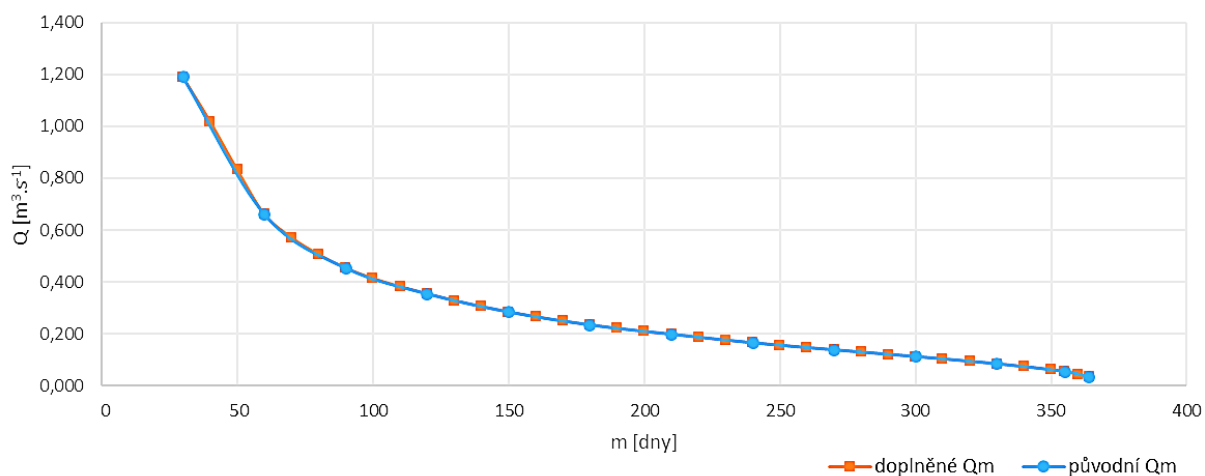
### 12.1 Doplnění čáry překročení $Q_m$

Tabulka 9.1: Doplněné m-denní průtoky

m [dny]	Q [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	m [dny]	Q [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	m [dny]	Q [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]
30	1,190	160	0,266	290	0,121
40	1,019	170	0,249	300	0,112
50	0,832	180	0,234	310	0,103
60	0,661	190	0,221	320	0,094
70	0,571	200	0,209	330	0,084
80	0,506	210	0,198	340	0,073
90	0,453	220	0,186	350	0,061
100	0,414	230	0,175	355	0,054
110	0,382	240	0,165	360	0,043
120	0,354	250	0,156	364	0,034
130	0,328	260	0,147	290	0,121
140	0,305	270	0,138	300	0,112
150	0,284	280	0,129	310	0,103

Hodnoty  $Q_m$  byly doplněny pomocí excel doplňku XonGrid, který umožňuje interpolaci z daných dat. Byla použita metoda Kriging, kde jsou interpolované hodnoty modelovány gaussovským procesem.

Čára překročení m-denních průtoků



Graf 12.1: Porovnání hodnot doplněných  $Q_m$  a původních  $Q_m$

## 12.2 Tlakový přivaděč – výpočet ztrát

$$Z = Z_t + Z_m = \left( \lambda \cdot \frac{L}{D} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

délka přivaděče  $L = 700 \text{ m}$

průměr potrubí  $D = 800 \text{ mm}$

návrhový průtok  $Q = 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

drsnost stěny potrubí  $\Delta = 0,1 \text{ mm}$

viskozita vody při 10 °C  $\nu = 1,3101 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{0,8}{\pi \cdot \left(\frac{0,8}{2}\right)^2} = 1,59 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\frac{\Delta}{D} = \frac{0,1}{800} = 0,000125$$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,59 \cdot 0,8}{1,3101 \cdot 10^{-6}} = 9,72 \cdot 10^5$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7 \cdot D} \right) \xrightarrow{\text{řešitel excel}} \lambda = 0,014$$

$$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,014 \cdot \frac{700}{0,8} \cdot \frac{1,59^2}{2 \cdot 9,81} = 1,561 \text{ m}$$

Uvažována 3 ostrá kolena:  $\delta_1 = 28^\circ, \delta_2 = 15^\circ, \delta_3 = 26^\circ$

$$\frac{\Delta}{D} = 0,000125$$

Tabulka 12.1: Součinitel ztráty ostrým kolenem  $\xi_{sh}$  pro hladké potrubí

$\delta$	10°	15°	22,5°	30°	45°	60°	90°
$\xi_{sh} (\Delta/D < 0,001)$	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129

$$\xi_1 = 0,113, \xi_2 = 0,042, \xi_3 = 0,095$$

Obloukové koleno:  $r_{s,4} = 4 \text{ m}$

$$\frac{r_{s,4}}{D} = \frac{4}{0,8} = 5$$

$$\delta_4 = 92^\circ$$

Tabulka 12.2: Součinitel ztráty pravoúhlým kolenem  $\xi_{sh90}$  pro hladká potrubí

$r_s/D$	0,8	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	10
$\xi_{sh90} (\Delta/D < 0,001)$	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129

$$\xi_{sh90} = 0,098$$

$$\xi_4 = \xi_{sh90} \cdot \frac{\delta^\circ}{90^\circ} = 0,098 \cdot \frac{92^\circ}{90^\circ} = 0,101$$

$$Z_m = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = (0,113 + 0,042 + 0,095 + 0,101) \cdot \frac{1,59^2}{2 \cdot 9,81} = 0,045 \text{ m}$$

$$Z = Z_t + Z_m = 1,561 + 0,045 = 1,609 \text{ m}$$

## 12.3 Parametry turbín

### 12.3.1 Bánki B600/300:

- **Max. a min. hltnost turbíny  $Q_{Tmax}$ ,  $Q_{Tmin}$ :**

$$Q_{Tmax} = 0,49 \cdot B \cdot \sqrt{H_{netto}} = 0,49 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{13,96} = 0,55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{Tmin} = Q_{Tmax} \cdot 20 \% = 0,55 \cdot 20 \% = 0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

- **Max. výkon na hřídeli  $P_{Tmax}$ :**

$$P_{Tmax} = 9,81 \cdot Q_{Tmax} \cdot H_{netto} \cdot 0,75 = 9,81 \cdot 0,55 \cdot 13,96 \cdot 0,75 = 56,49 \text{ kW}$$

- **Otáčky turbíny  $n_T$ :**

$$n_T = 72 \cdot \sqrt{H_{netto}} = 72 \cdot \sqrt{13,96} = 269 \text{ ot. min}^{-1}$$

### 12.3.2 Bánki B340/340:

- **Max. a min. hltnost turbíny  $Q_{Tmax}$ ,  $Q_{Tmin}$ :**

$$Q_{Tmax} = 0,29 \cdot B \cdot \sqrt{H_{netto}} = 0,29 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{13,96} = 0,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{Tmin} = Q_{Tmax} \cdot 20 \% = 0,37 \cdot 20 \% = 0,074 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

- **Max. výkon na hřídeli  $P_{Tmax}$ :**

$$P_{Tmax} = 9,81 \cdot Q_{Tmax} \cdot H_{netto} \cdot 0,75 = 9,81 \cdot 0,37 \cdot 13,96 \cdot 0,75 = 37,84 \text{ kW}$$

- **Otáčky turbíny  $n_T$ :**

$$n_T = 172 \cdot \sqrt{H_{netto}} = 172 \cdot \sqrt{13,96} = 643 \text{ ot. min}^{-1}$$

## 12.4 Výroba elektrické energie

$$P = H_{netto} \cdot Q_T \cdot \eta_T \cdot \eta_{\check{r}} \cdot \eta_G \cdot \rho \cdot g \text{ [W]}$$

$$E = P \cdot t \text{ [Wh]}$$

Kde  $P$  je výkon,  $H_{netto}$  je čistý spád,  $Q_T$  je průtok turbínou,  $\eta_T$  je účinnost turbíny,  $\eta_{\check{r}}$  je účinnost řemenového převodu,  $\eta_G$  je účinnost generátoru,  $\rho$  je hustota vody ( $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) a  $g$  je gravitační zrychlení ( $9,81 \text{ s} \cdot \text{m}^{-2}$ ),  $E$  je vyrobená elektrická energie,  $t$  je časový krok.

# Bánki turbína

QMZP	0,069 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	λ	0,014
Hbrutto	15,52 m	L	700 m
		D	0,6 m
		S	0,283 m <sup>2</sup>

	Qmax	Qmin	Qoptimální	
	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	
TG1	0,549	0,110	0,247	0,467

m [dny]	Q <sub>řeky</sub> [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Q <sub>řeky</sub> -Q <sub>MZP</sub> [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	H <sub>brutto</sub> [m]	Z [m]	H <sub>netto</sub> [m]	TG B600/300						
						Q <sub>T</sub>		η <sub>T</sub>	η <sub>R</sub>	η <sub>G</sub>	P	E
						[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kW]	[kWh]
1	1,393	1,324	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	1 043
10	1,344	1,275	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	9 389
20	1,279	1,210	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	10 432
30	1,190	1,121	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	10 432
40	1,019	0,950	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	10 432
50	0,832	0,763	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	10 432
60	0,661	0,592	15,52	3,22	12,30	0,549	100,0	75,0	93,0	94,0	43,5	10 432
70	0,571	0,502	15,52	2,69	12,83	0,502	91,4	79,3	93,0	94,0	43,8	10 515
80	0,506	0,437	15,52	2,03	13,49	0,437	79,5	83,0	93,0	94,0	41,9	10 068
90	0,453	0,384	15,52	1,57	13,95	0,384	69,9	83,0	93,0	94,0	38,1	9 150
100	0,414	0,345	15,52	1,27	14,25	0,345	62,8	83,0	93,0	94,0	35,0	8 399
110	0,382	0,313	15,52	1,04	14,48	0,313	56,9	83,1	93,0	94,0	32,3	7 744
120	0,354	0,285	15,52	0,87	14,65	0,285	51,9	83,1	93,0	94,0	29,8	7 143
130	0,328	0,259	15,52	0,72	14,80	0,259	47,2	82,6	93,0	94,0	27,2	6 525
140	0,305	0,236	15,52	0,59	14,93	0,236	43,0	81,8	93,0	94,0	24,7	5 927
150	0,284	0,215	15,52	0,49	15,03	0,215	39,1	80,7	93,0	94,0	22,4	5 369
160	0,266	0,197	15,52	0,41	15,11	0,197	35,8	79,6	93,0	94,0	20,3	4 864
170	0,249	0,180	15,52	0,35	15,17	0,180	32,8	78,3	93,0	94,0	18,3	4 402
180	0,234	0,165	15,52	0,29	15,23	0,165	30,0	77,0	93,0	94,0	16,6	3 984
190	0,221	0,152	15,52	0,25	15,27	0,152	27,7	75,8	93,0	94,0	15,1	3 619
200	0,209	0,140	15,52	0,21	15,31	0,140	25,5	74,4	93,0	94,0	13,7	3 287
210	0,198	0,129	15,52	0,18	15,34	0,129	23,5	73,0	93,0	94,0	12,4	2 974
220	0,186	0,117	15,52	0,15	15,37	0,117	21,4	71,3	93,0	94,0	11,0	2 651
230	0,175	0,106	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
240	0,165	0,096	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
250	0,156	0,087	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
260	0,147	0,078	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
270	0,138	0,069	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
280	0,129	0,060	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
290	0,121	0,052	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
300	0,112	0,043	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
310	0,103	0,034	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
320	0,094	0,025	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
330	0,084	0,015	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
340	0,073	0,004	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
350	0,061	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
355	0,054	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
360	0,043	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
364	0,034	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
<b>ΣE</b>											<b>164 237 kWh</b>	
<b>80 % ΣE</b>											<b>131 390 kWh</b>	





## Kaplanova turbína

QMZP	0,069 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	λ	0,014
Hbrutto	15,52 m	L	700 m
		D	0,8 m
		S	0,503 m <sup>2</sup>

	Q <sub>max</sub>	Q <sub>min</sub>	Q <sub>optimální</sub>
	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
TG1	0,72	0,17	0,58

m [dny]	Q <sub>reky</sub> [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	Q <sub>reky</sub> -Q <sub>MZP</sub> [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	H <sub>brutto</sub> [m]	Z [m]	H <sub>netto</sub> [m]	TG K333						
						Q <sub>T</sub>		η <sub>T</sub>	η <sub>PR</sub>	η <sub>G</sub>	P	E
						[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	[%]	[%]	[%]	[%]	[kW]	[kWh]
1	1,393	1,324	15,52	1,28	14,24	0,725	100,0	75,0	98,0	94,0	70,0	1 679
10	1,344	1,275	15,52	1,28	14,24	0,725	100,0	75,0	98,0	94,0	70,0	15 111
20	1,279	1,210	15,52	1,28	14,24	0,725	100,0	75,0	98,0	94,0	70,0	16 790
30	1,190	1,121	15,52	1,28	14,24	0,725	100,0	75,0	98,0	94,0	70,0	16 790
40	1,019	0,950	15,52	1,28	14,24	0,725	100,0	75,0	98,0	94,0	70,0	16 790
50	0,832	0,763	15,52	1,28	14,24	0,725	100,0	75,0	98,0	94,0	70,0	16 790
60	0,661	0,592	15,52	0,85	14,67	0,592	81,7	82,7	98,0	94,0	64,9	15 564
70	0,571	0,502	15,52	0,61	14,91	0,502	69,3	83,0	98,0	94,0	56,1	13 473
80	0,506	0,437	15,52	0,47	15,05	0,437	60,2	83,0	98,0	94,0	49,3	11 835
90	0,453	0,384	15,52	0,36	15,16	0,384	53,0	83,1	98,0	94,0	43,7	10 495
100	0,414	0,345	15,52	0,29	15,23	0,345	47,6	82,7	98,0	94,0	39,3	9 421
110	0,382	0,313	15,52	0,24	15,28	0,313	43,1	81,8	98,0	94,0	35,3	8 483
120	0,354	0,285	15,52	0,20	15,32	0,285	39,3	80,8	98,0	94,0	31,9	7 652
130	0,328	0,259	15,52	0,16	15,36	0,259	35,8	79,6	98,0	94,0	28,6	6 870
140	0,305	0,236	15,52	0,14	15,38	0,236	32,5	78,2	98,0	94,0	25,7	6 158
150	0,284	0,215	15,52	0,11	15,41	0,215	29,7	76,8	98,0	94,0	23,0	5 520
160	0,266	0,197	15,52	0,09	15,43	0,197	27,1	75,4	98,0	94,0	20,7	4 960
170	0,249	0,180	15,52	0,08	15,44	0,180	24,8	74,0	98,0	94,0	18,6	4 457
180	0,234	0,165	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
190	0,221	0,152	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
200	0,209	0,140	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
210	0,198	0,129	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
220	0,186	0,117	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
230	0,175	0,106	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
240	0,165	0,096	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
250	0,156	0,087	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
260	0,147	0,078	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
270	0,138	0,069	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
280	0,129	0,060	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
290	0,121	0,052	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
300	0,112	0,043	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
310	0,103	0,034	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
320	0,094	0,025	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
330	0,084	0,015	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
340	0,073	0,004	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
350	0,061	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
355	0,054	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
360	0,043	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
364	0,034	0,000	15,52	0,00	15,52	0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
											<b>ΣE</b>	<b>227 578 kWh</b>
											<b>80 % ΣE</b>	<b>182 063 kWh</b>

### 12.5 Prostá doba návratnosti

cash flow CF = příjmy-výdaje-daň z příjmu

$$\text{diskontované cash flow DCF} = \frac{CF_t}{(1+i)^t}$$

Kde t jsou jednotlivé roky, i je diskontní míra odrážející požadovanou výnosnost investice.

# Bánki turbína

položka	počet kusů	cena [Kč]
Bánki turbína B600/300	1	565 000
nátokový kus DN600/310x300	1	30 000
koleno 45° DN600 s protipřírubou	1	33 000
základ generátoru a řemenový převod	1	152 000
generátor 55 kW / 600 ot.min <sup>-1</sup>	1	108 000
hydraulický systém regulace turbíny	1	186 000
elektrotechnologie		660 000
doprava (po ČR)		27 000
celkem		1 761 000
montáž 12 %		211 320
celkem bez DPH		1 972 320
DPH (21 %)		414 187
celkem s DPH		2 386 507

celkem turbína 1 734 000 Kč  
 DPH 364 140 Kč  
 celkem s DPH 2 098 140 Kč  
 výnosnost 2 %

celková výroba 164,237 MWh  
 80 % výroby 131,390 MWh  
 výkupní cena 2 741 Kč  
 roční zisk 360 139 Kč  
 odpisová skupina 3 10 let

rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
přijmy	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139
výdaje										
odpisy	209 814	209 814	209 814	209 814	209 814	209 814	209 814	209 814	209 814	209 814
daň z příjmu (15 %)	22 549	22 549	22 549	22 549	22 549	22 549	22 549	22 549	22 549	22 549
cash flow	337 590	337 590	337 590	337 590	337 590	337 590	337 590	337 590	337 590	337 590
kumulativní cash flow	-2 386 507	-2 048 917	-1 373 737	-1 036 147	-698 557	-360 967	-23 377	314 213	651 804	989 394
diskontované cash flow	-2 386 507	330 971	318 119	311 881	305 766	299 770	293 892	288 130	282 480	276 941
kum. disk. cash flow	-2 386 507	-2 055 537	-1 412 937	-1 101 056	-795 290	-495 520	-201 627	86 503	368 983	645 924

rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
přijmy	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139	360 139
výdaje										
odpisy	54 021	54 021	54 021	54 021	54 021	54 021	54 021	54 021	54 021	54 021
daň z příjmu (15 %)	306 118	306 118	306 118	306 118	306 118	306 118	306 118	306 118	306 118	306 118
cash flow	1 295 512	1 601 630	1 907 748	2 213 865	2 519 983	2 826 101	3 132 219	3 438 337	3 744 455	4 050 573
kumulativní cash flow	246 199	241 372	236 639	231 999	227 450	222 990	218 618	214 331	210 129	206 009
diskontované cash flow	892 124	1 133 496	1 370 135	1 602 134	1 829 584	2 052 575	2 271 193	2 485 524	2 695 653	2 901 661

## 2 Bánki turbíny

položka	počet kusů	cena [Kč]
Bánki turbína B600/300	1	565 000
nátokový kus DN600/310x300	1	30 000
koleno 45° DN600 s protipřírubou	1	33 000
Základ generátoru a řemenový převod	1	152 000
generátor 55 kW / 600 ot.min <sup>-1</sup>	1	108 000
hydraulický systém regulace turbíny	1	186 000
elektrotechnologie	1	660 000
Bánki turbína B340/340	1	345 000
nátokový kus DN450/180x340	1	21 000
koleno 45° DN450 s protipřírubou	1	25 000
Základ generátoru a řemenový převod	1	149 000
generátor 37 kW / 1000 ot.min <sup>-1</sup>	1	90 000
hydraulický systém regulace turbíny	1	186 000
elektrotechnologie	1	540 000
doprava (po ČR)		27 000
celkem		3 117 000
montáž 12 %		374 040
celkem bez DPH		3 491 040
DPH (21 %)		733 118
celkem s DPH		4 224 158

celkem turbína 3 090 000 Kč  
 DPH 648 900 Kč  
 celk. s DPH 3 738 900 Kč  
 výnosnost 2 %

celková výroba 230,313 MWh  
 80 % výroby 184,250 MWh  
 výkupní cena 2 741 Kč  
 roční zisk 505 030 Kč  
 odpisová skupina 3 10 let

rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
přijmy		505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030
výdaje	4 224 158										
odpisy		373 890	373 890	373 890	373 890	373 890	373 890	373 890	373 890	373 890	373 890
daň z příjmu		19 671	19 671	19 671	19 671	19 671	19 671	19 671	19 671	19 671	19 671
cash flow	-4 224 158	485 359	485 359	485 359	485 359	485 359	485 359	485 359	485 359	485 359	485 359
kumulativní cash flow	-4 224 158	-3 738 799	-3 253 440	-2 768 081	-2 282 722	-1 797 363	-1 312 003	-826 644	-341 285	144 074	629 433
diskontované cash flow	-4 224 158	475 842	466 512	457 365	448 397	439 605	430 985	422 534	414 249	406 127	398 164
kum. disk. cash flow	-4 224 158	-3 748 316	-3 281 804	-2 824 439	-2 376 042	-1 936 438	-1 505 453	-1 082 918	-668 669	-262 542	135 622

rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
přijmy	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030	505 030
výdaje										
odpisy		75 755	75 755	75 755	75 755	75 755	75 755	75 755	75 755	75 755
daň z příjmu		429 276	429 276	429 276	429 276	429 276	429 276	429 276	429 276	429 276
cash flow	1 058 709	1 487 985	1 917 260	2 346 536	2 775 812	3 205 087	3 634 363	4 063 639	4 492 914	4 922 190
kumulativní cash flow	345 251	338 481	331 844	325 337	318 958	312 704	306 573	300 561	294 668	288 890
diskontované cash flow	480 872	819 353	1 151 197	1 476 534	1 795 493	2 108 197	2 414 769	2 715 331	3 009 999	3 298 889

# Kaplanova turbína

položka	počet kusů	cena [Kč]
Kaplanova turbína K333	1	2 500 000
generátor	1	350 000
hydraulický ovládač	1	160 000
rozsaděč automatiky	1	320 000
doprava (po ČR)		27 000
celkem		3 357 000
montáž 12 %		402 840
celkem bez DPH		3 759 840
DPH (21 %)		789 566
celkem s DPH		4 549 406

celkem turbína 3 330 000 Kč  
 DPH 699 300 Kč  
 celkem s DPH 4 029 300 Kč  
 výnosnost 2 %

celková výroba 227,578 MWh  
 80 % výroby 182,063 MWh  
 výkupní cena 2 741 Kč  
 roční zisk 499 034 Kč  
 odpisová skupina 3 10 let

rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
přijmy		499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034
výdaje	4 549 406										
odpisy		402 930	402 930	402 930	402 930	402 930	402 930	402 930	402 930	402 930	402 930
daň z příjmu (15 %)		14 416	14 416	14 416	14 416	14 416	14 416	14 416	14 416	14 416	14 416
cash flow	-4 549 406	484 618	484 618	484 618	484 618	484 618	484 618	484 618	484 618	484 618	484 618
kumulativní cash flow	-4 549 406	-4 064 788	-3 580 170	-3 095 552	-2 610 934	-2 126 316	-1 641 697	-1 157 079	-672 461	-187 843	296 775
diskontované cash flow	-4 549 406	475 116	465 800	456 667	447 712	438 934	430 327	421 889	413 617	405 507	397 556
kum. disk. cash flow	-4 549 406	-4 074 291	-3 608 491	-3 151 824	-2 704 112	-2 265 178	-1 834 851	-1 412 962	-999 345	-593 838	-196 283

rok	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
přijmy	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034	499 034
výdaje										
odpisy										
daň z příjmu (15 %)	74 855	74 855	74 855	74 855	74 855	74 855	74 855	74 855	74 855	74 855
cash flow	424 179	424 179	424 179	424 179	424 179	424 179	424 179	424 179	424 179	424 179
kumulativní cash flow	720 954	1 145 133	1 569 311	1 993 490	2 417 669	2 841 847	3 266 026	3 690 205	4 114 383	4 538 562
diskontované cash flow	341 151	334 462	327 904	321 474	315 171	308 991	302 933	296 993	291 169	285 460
kum. disk. cash flow	144 869	479 331	807 235	1 128 709	1 443 880	1 752 871	2 055 804	2 352 796	2 643 966	2 929 426

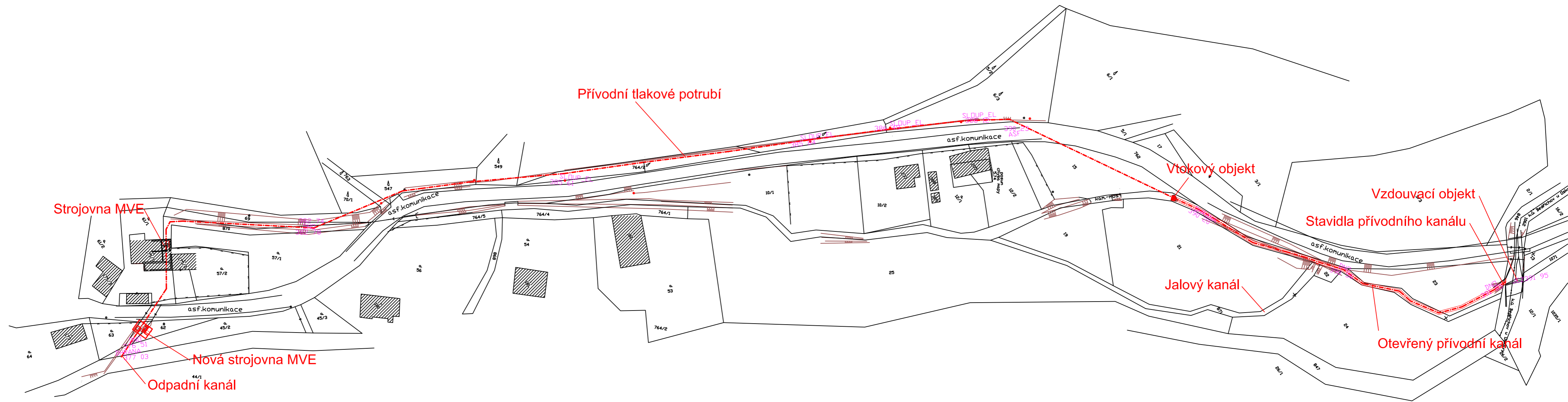
## LITERATURA

- [1] GABRIEL, Pavel, František ČIHÁK a Petr KALANDRA. Malé vodní elektrárny. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
- [2] MELICHAR, Jan. Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05283-9.
- [3] BROŽA, Vojtěch. Vodohospodářské stavby. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03175-6.
- [4] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. Hydraulika: modul 01. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [5] Francisova turbína – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova_turb%C3%ADna)
- [6] Peltonova turbína – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Peltonova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turb%C3%ADna)
- [7] Kaplanova turbína – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turb%C3%ADna)
- [8] Cross-flow turbine - Wikipedia. [online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine)
- [9] OEnergetice.cz [online]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/domains/oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/06/turbiny.jpg>
- [10] Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR I. čtvrtletí 2016 – ERÚ [online]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni\\_zprava\\_2016-I.Q.pdf/20d62e53-7401-4dd8-ae0e-3bd658da184b](http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni_zprava_2016-I.Q.pdf/20d62e53-7401-4dd8-ae0e-3bd658da184b)
- [11] Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR I. čtvrtletí 2016 – ERÚ [online]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni\\_zprava\\_2016\\_II\\_Q.PDF/9d5b0204-d69d-4917-8afc-ea7beeddb4db](http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni_zprava_2016_II_Q.PDF/9d5b0204-d69d-4917-8afc-ea7beeddb4db)
- [12] Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR I. čtvrtletí 2016 – ERÚ [online]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni\\_zprava\\_2016\\_III\\_Q.PDF/2ccc99a5-1737-4f09-8dcd-e9dd1128dde8](http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni_zprava_2016_III_Q.PDF/2ccc99a5-1737-4f09-8dcd-e9dd1128dde8)
- [13] Čtvrtletní zpráva o provozu ES ČR I. čtvrtletí 2016 – ERÚ [online]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni\\_zprava\\_2016\\_IV\\_Q.PDF/ad22f9a4-4f90-4f59-bef4-f1a384722302](http://www.eru.cz/documents/10540/2298821/Ctvrtletni_zprava_2016_IV_Q.PDF/ad22f9a4-4f90-4f59-bef4-f1a384722302)
- [14] File:Ossberger turbine.jpg - Wikimedia Commons. [online]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7977920>
- [15] Oskava (řeka) – Wikipedie. [online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Oskava\\_\(%C5%99eka\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oskava_(%C5%99eka))
- [16] Ministerstvo životního prostředí [online]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [17] Energetický regulační věstník – ERÚ [online]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV\\_12\\_2016/058c6730-a61f-4606-a51b-e72ada54c052](http://www.eru.cz/documents/10540/2041142/ERV_12_2016/058c6730-a61f-4606-a51b-e72ada54c052)

## VÝKRESOVÁ ČÁST

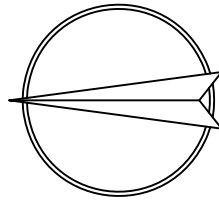
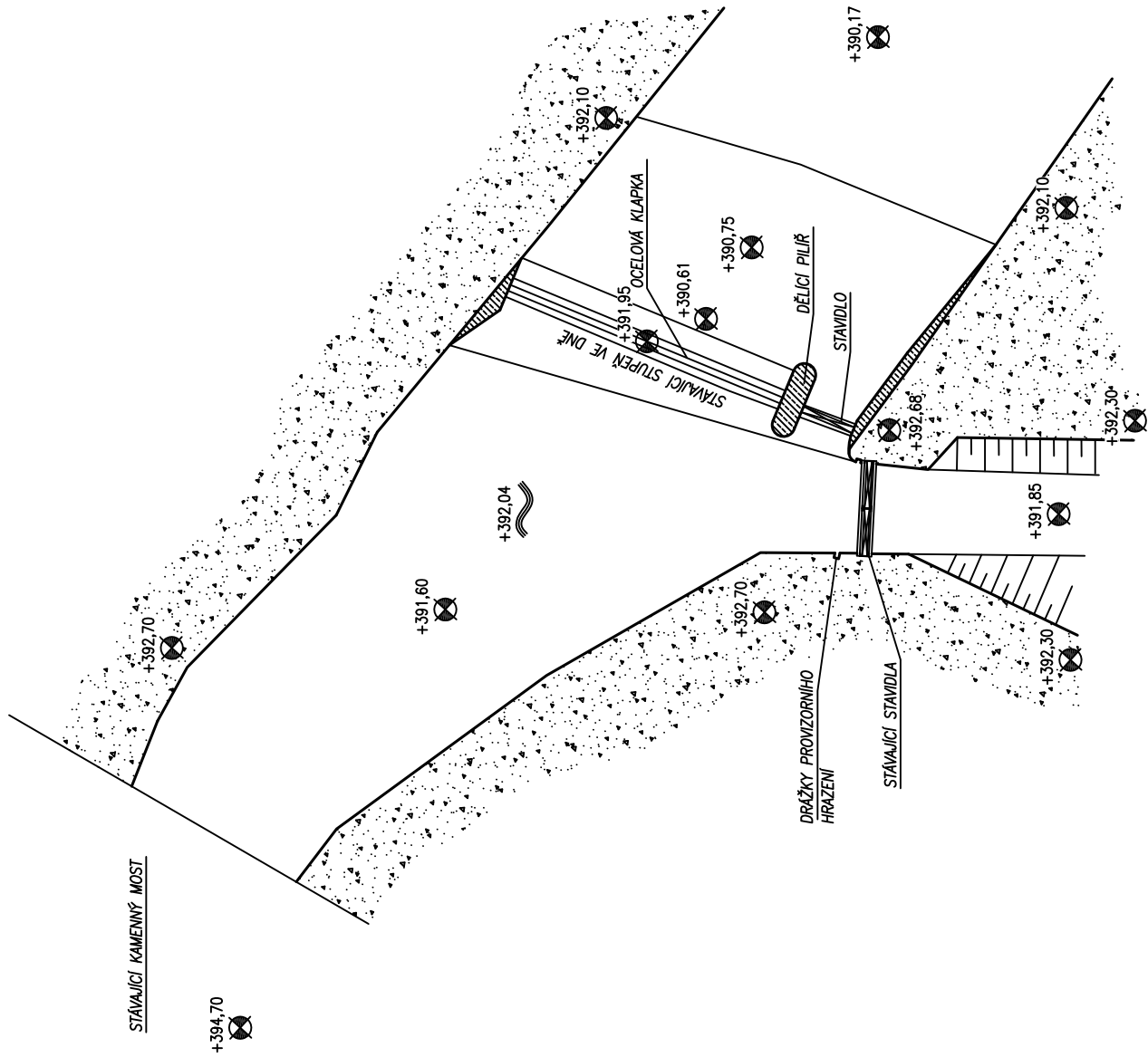
### Seznam výkresů

Výkres č. 1	Celková situace
Výkres č. 2	Situace jezu
Výkres č. 3	Objekt jezu
Výkres č. 4	Vtokový objekt
Výkres č. 5	Vzorový příčný řez tlakového potrubí
Výkres č. 6a	Strojovna nové MVE
Výkres č. 6b	Strojovna nové MVE
Výkres č. 7	Vzorový příčný řez odpadního kanálu

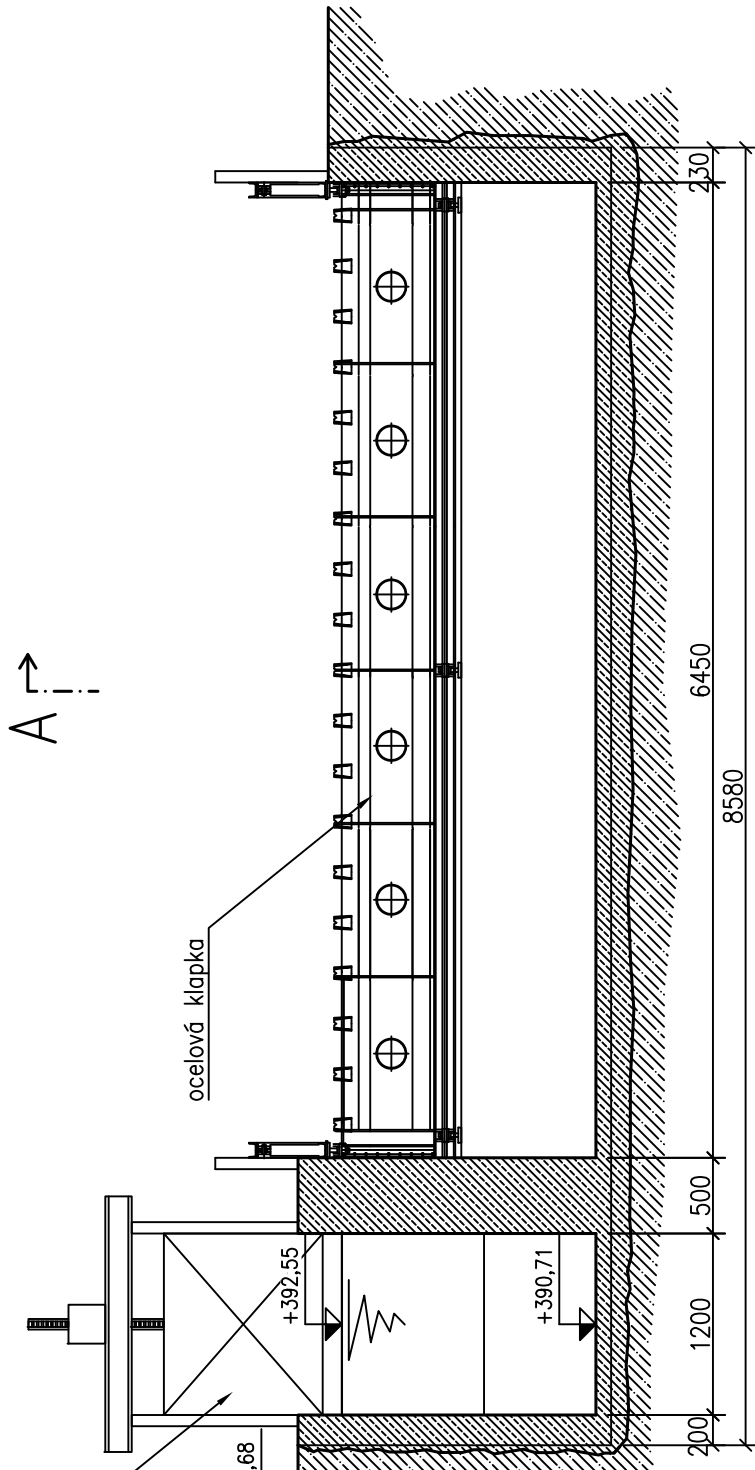


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY			
VYPRACOVAL: Pavlína Brdková	VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jitka Kučerová, CSc.	MĚŘITÝK: 1:1200	FORMÁT: 3x44
<b>OBNOVA VODNÍHO DÍLA          NA ŘECE OSKAVA</b>		DATUM: 05/2017	ČÍSLO VÝKRESU: 1
VÝKRES: CELKOVÁ SITUACE			

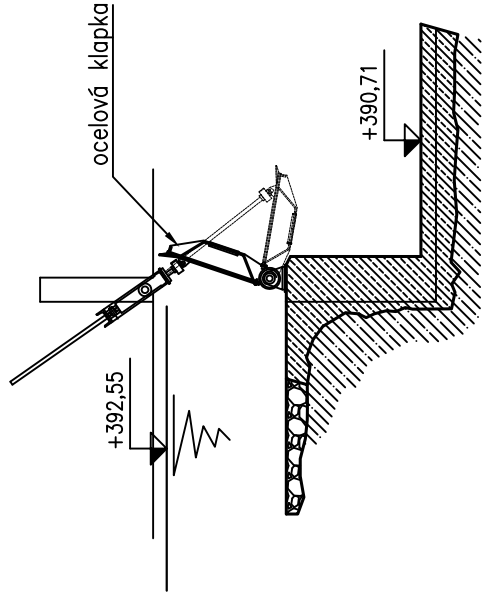





ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY		VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jiřka Kučerová, CSc.	
VYPRACOVAL: Pavlína Brdková		MĚŘITKO: 1:150 FORMÁT: A4	DATUM: 05/2017
OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA		ČÍSLO VÝKRESU: 2	SITUACE JEZU

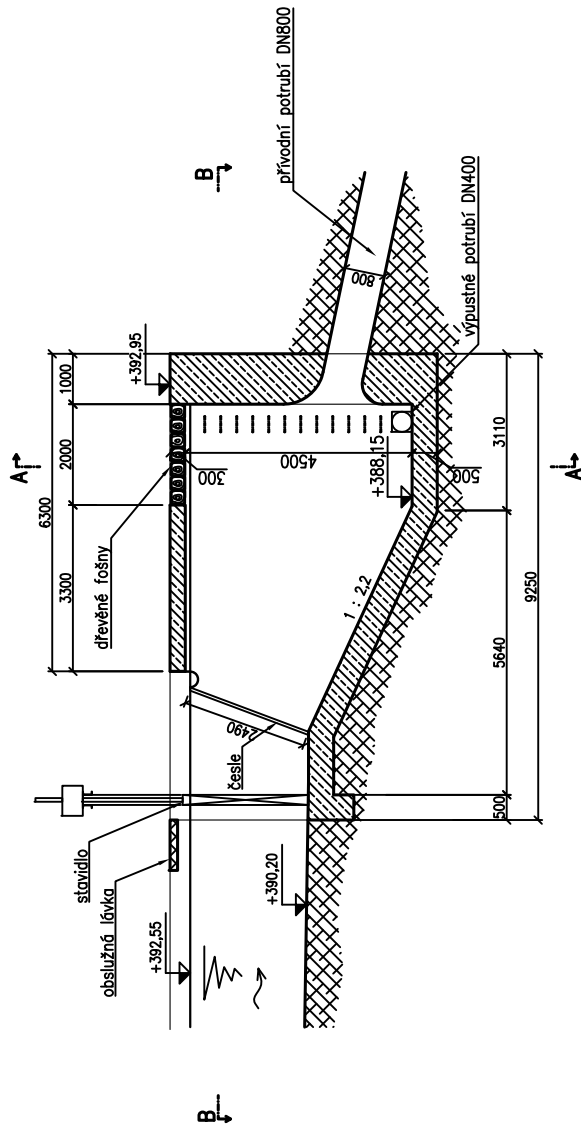


ŘEZ AA

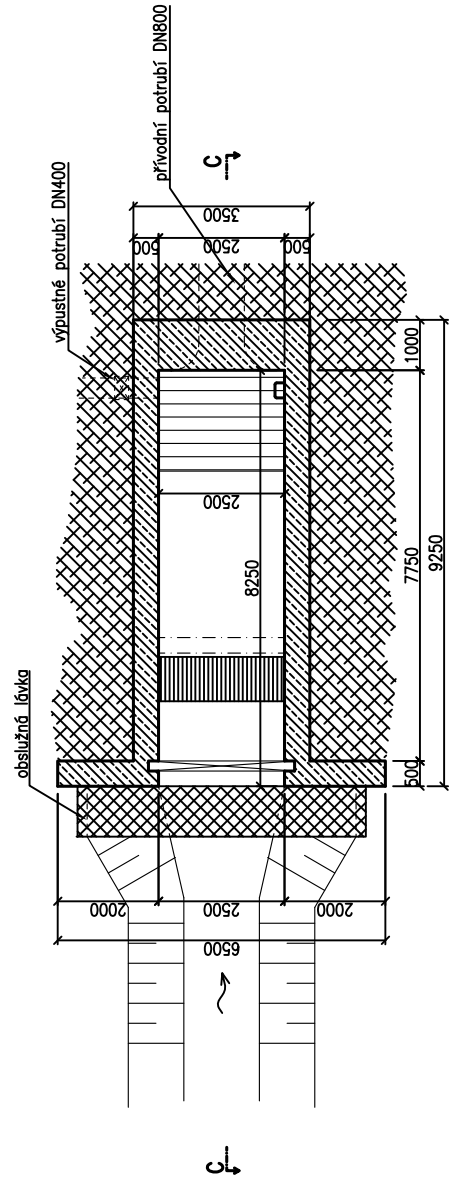


 ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY		VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jiřka Kučerová, CSc.	
VYPRACOVAL: Pavlína Brdková		MĚŘITKO: 1:50	FORMÁT: A4
OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA		DATUM: 05/2017	ČÍSLO VÝKRESU: 3
VYKRES: OBJEKT JEZU			

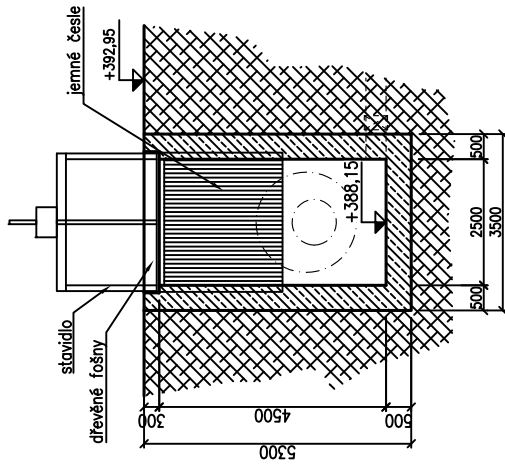
ŘEZ CC




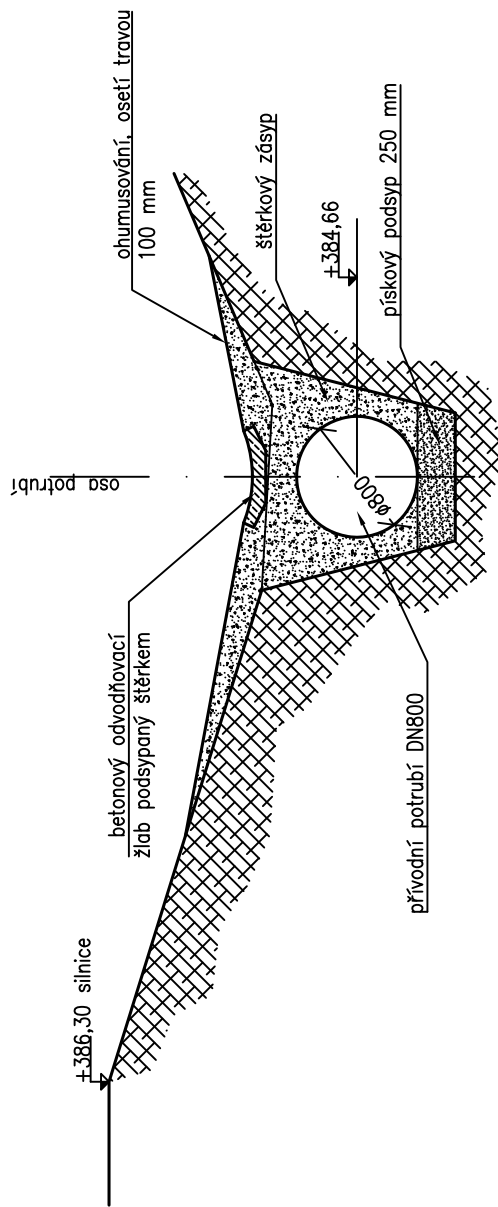
PŮDORYS BB



ŘEZ AA

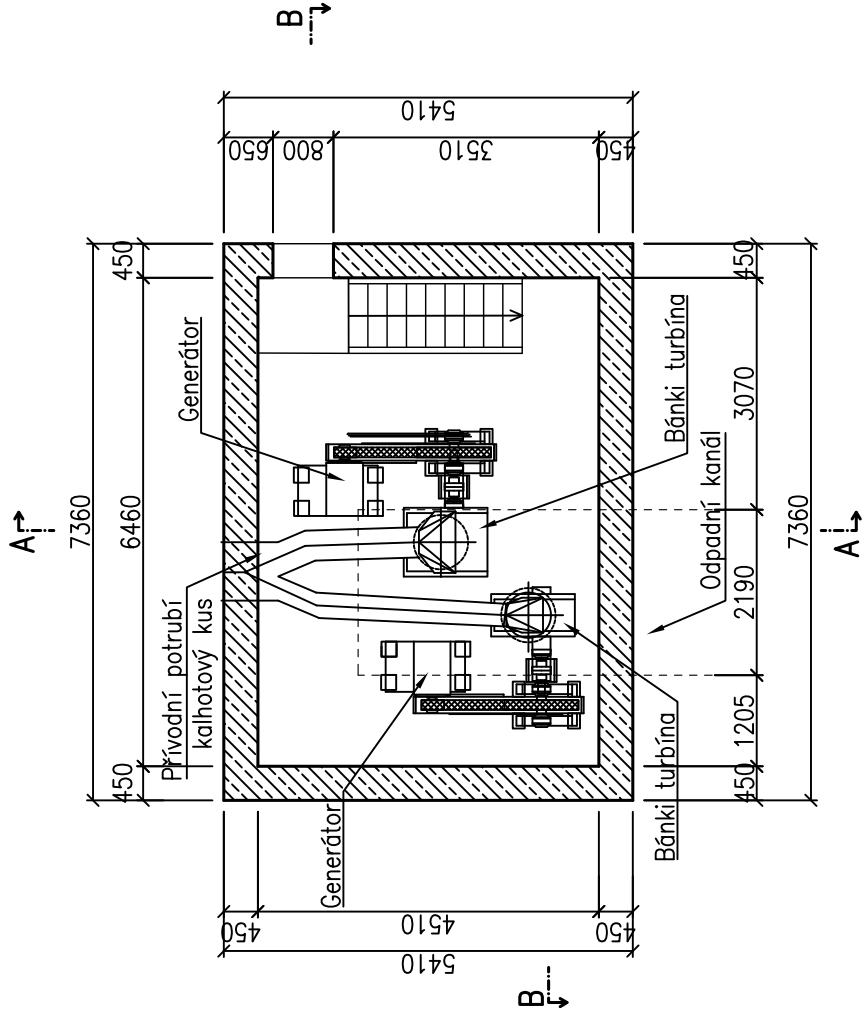


 <b>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</b> FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY		VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jitka Kučerová, CSc.
VYPRACOVAL: Pavlína Brdková		
<b>OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA</b>		
MĚŘITKO: 1:150 FORMÁT: A4 DATUM: 05/2017	ČÍSLO VÝKRESU: 4	
VTKOVÝ OBJEKT		

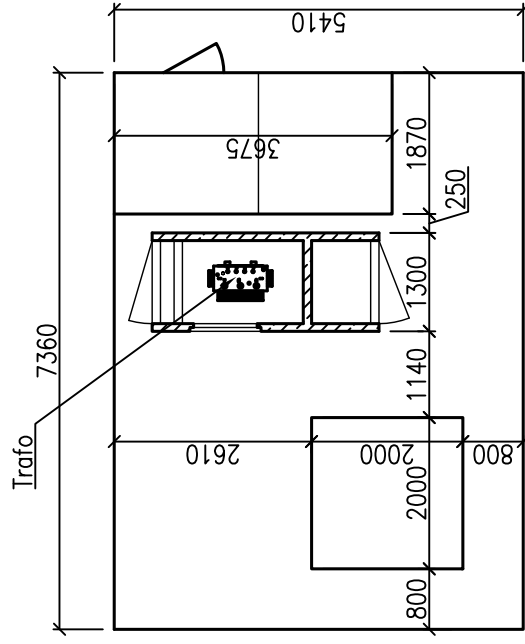



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY		VYPRACOVAL: Pavlína Brdtková		VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jitka Kučerová, CSc.	
		MĚŘÍTKO: 1:50		FORMÁT: A4	
OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA		DATUM: 05/2017		ČÍSLO VÝKRESU: 5	
		VÝKRES: VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ TLAKOVÉHO POTRUBÍ			

# PŮDORYS CC

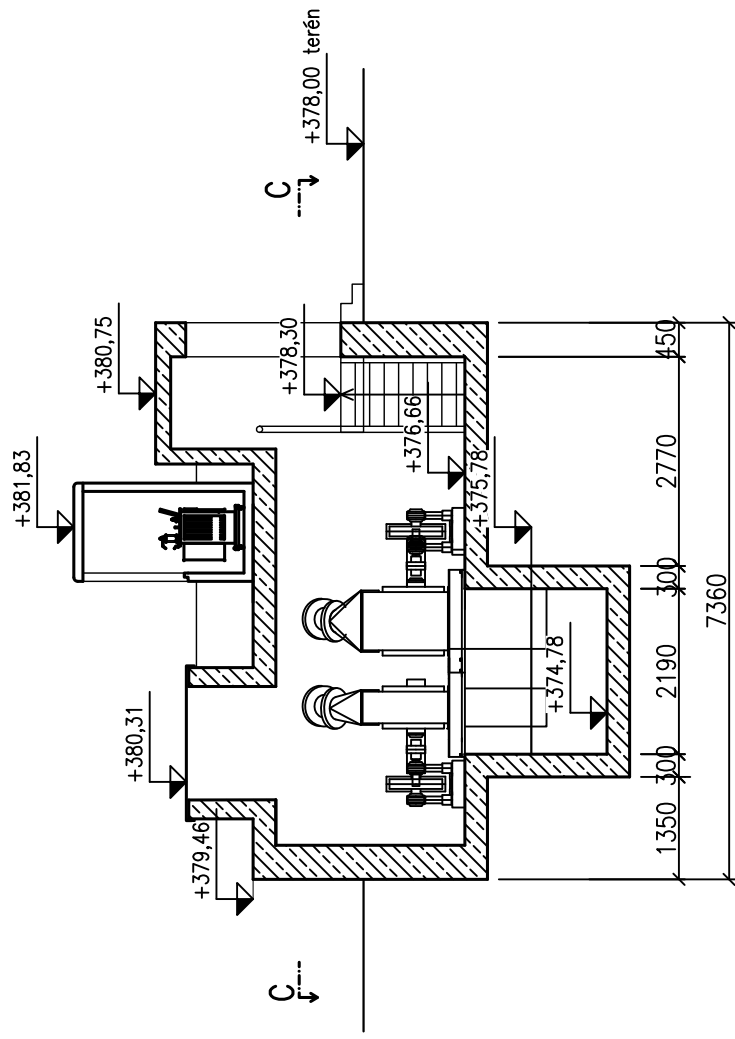


# POHLED SHORA

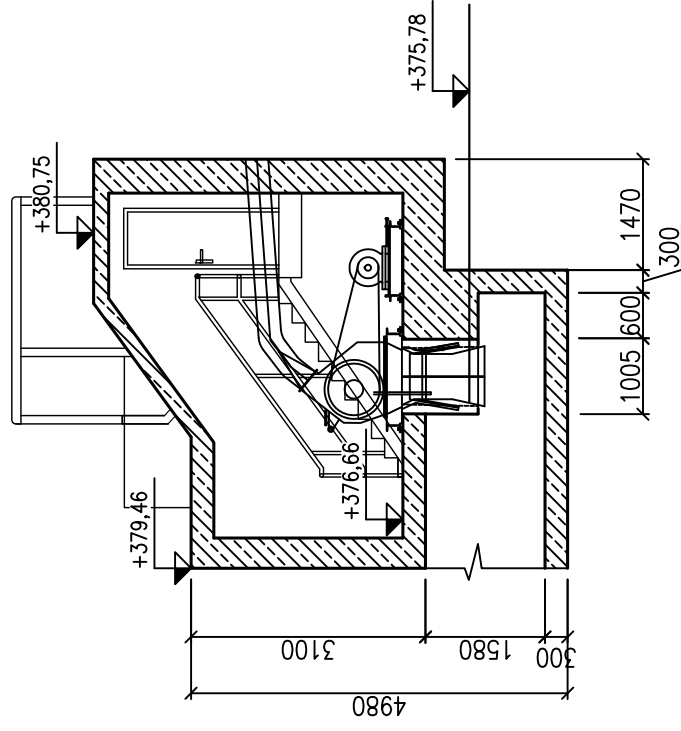



 <b>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</b> FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY		VYPRACOVAL: Pavlína Brdřková		VEDOUcí PRÁCE: Ing. Jiřka Kučerová, CSc.	
		MĚŘITKO: 1:100		FORMÁT: A4	
OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA		DATUM: 05/2017		ČÍSLO VÝKRESU: 6d	
STROJOVNA MVE		VÝKRES:			

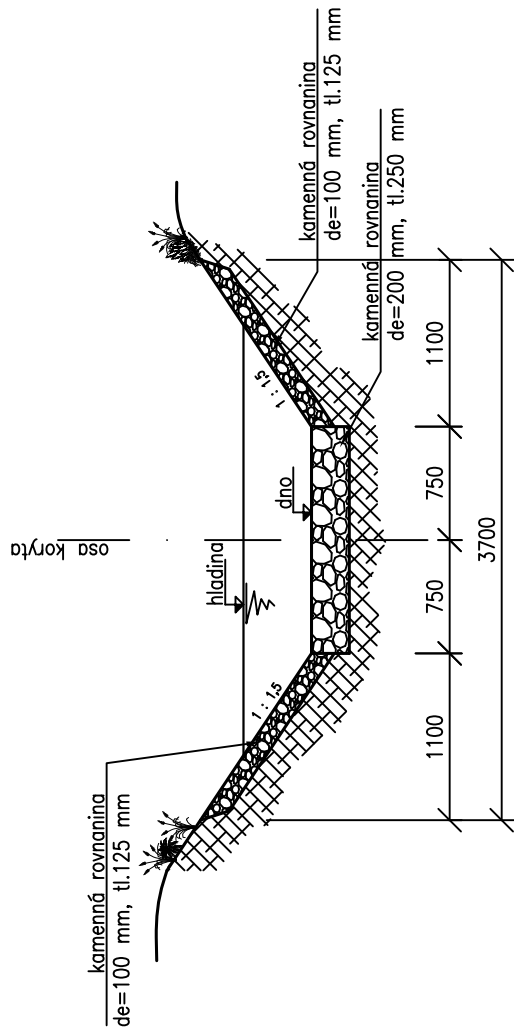
ŘEZ BB




ŘEZ AA



	
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY	
VYPRACOVAL:	Pavčina Brdková
VEDOUcí PRÁCE:	Ing. Jiřka Kučerová, CSc.
MĚŘITKO:	1:100
FORMÁT:	A4
DATAK:	05/2017
ČÍSLO VÝKRESU:	6b
OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA	
STROJOVNA MVE	



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STAVEBNÍ – KATEDRA HYDROTECHNIKY			
VYPRACOVAL:	Pavčina Brdtková	VEDOUcí PRÁCE:	Ing. Jitka Kučerová, CSc.
OBNOVA VODNÍHO DÍLA NA ŘECE OSKAVA		MĚŘITKO:	1:50
		FORMÁT:	A4
		DATAK:	05/2017
VYKRES:		ČÍSLO VYKRESU:	7
VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ ODPADNÍHO KANÁLU			

## FOTODOKUMENTACE



Původní jez



Stavidla vtokového kanálu





Horní část otevřeného přívodního kanálu



Zatrubnění přívodního kanálu u obytných objektů



Spodní část otevřeného přívodního kanálu



Propustek pod silnicí



Vtokové těleso do MVE



Vtokové těleso do MVE, pohled shora



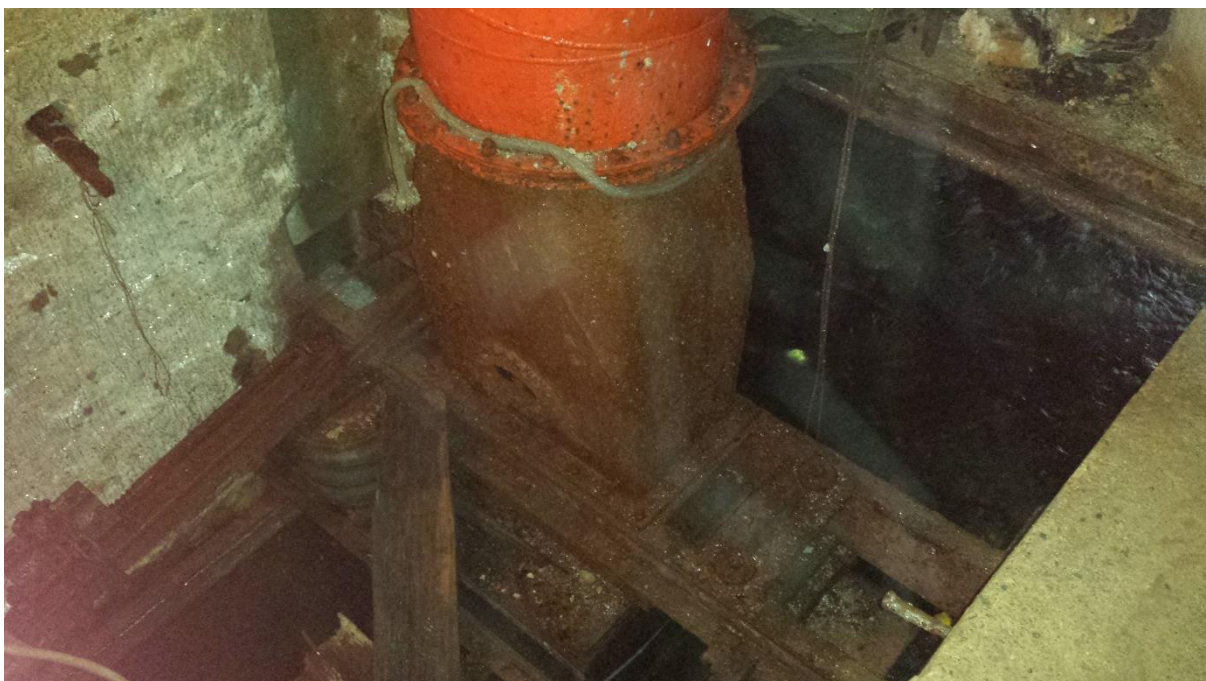
Jemné česle jednoho vtokového pole u mlýna



Přívod vody k turbíně



Tlakový přivaděč vody



Původní turbína Ossberger



Budova mlýna



Místo původního osazení mlýnských kol



Mlecí stroje



Excentr podávacího mechanizmu ve mlýně





Strop odtokového kanálu