

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování



**Vodní energie v ČR – návrh obnovy malé  
vodní elektrárny**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

Autor práce: Kohoutek Michal

2012

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Vodní energie ČR – návrh obnovy malé vodní elektrárny“ vypracoval samostatně a použil zdroje, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Kostelci nad Černými lesy, dne 30. dubna 2012

Podpis autora: .....

## **ABSTRAKT**

Moje práce pojednává o návrhu obnovy malé vodní elektrárny na lokalitě Toušice a na lokalitě Dobronice u Bechyně. V prvním a v druhém bodě popíšu stav, rozvoj a využití vodní energie v České republice. Dále se zabývám hlavně teorií návrhu a rozdělení malých vodních elektráren. Čtvrtý bod pojednává o stavebně hydraulické části návrhu. V pátém bodě je již konkrétní návrh obnovy malé vodní elektrárny lokalita Toušice a popis již obnovené lokality Dobronice u Bechyně. V závěru je vyhodnocena ekonomická část návrhu lokality.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

(MVE) Malá vodní elektrárna, vodní energie, generátor, spád, turbína, obnovitelný zdroj energie.

## **THESIS**

This thesis addresses the design recovery small hydropower plants in two locations at Toušice and Dobronice Bechyně. In the first and second point of my work is described in detail the current state of development and utilization of water energy in the Czech Republic.

The work also includes construction and design of the hydraulic design of water plants. Specifically developed a proposal for renewal of small hydro power plants in the St. Lawrence area Toušic creek. The conclusion is evaluated the economic balance of the proposed renewal small hydropower plants on the site Toušic.

## **KEY WORDS**

(MVE) Small hydroelectric power, hydroelectric power, generator, differential, turbine renewable energy source.

Volná stránka pro zadání

# Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Stav a využití vodní energie v ČR .....	10
2.1	Stav malých vodních elektráren v ČR.....	10
2.2	Využití vodní energie v ČR.....	10
2.3	Hydroenergetický potenciál ČR .....	10
2.3.1	Dělení Hydroenergetického potenciálu.....	10
2.3.2	Historie a možný vývoj hydroenergetického potenciálu.....	11
3.	Rozvoj malých vodních elektráren v ČR .....	14
4.	Dělení vodních elektráren .....	15
4.1	Dělení podle instalovaného výkonu podle ČSN 75 01 28.....	15
4.2	Malé vodní elektrárny podle ČSN 75 01 28.....	15
4.3	MVE dělení podle celkového dosažitelného výkonu podle ČSN 73 68 81	15
4.4	Dělení podle získaného spádu .....	15
4.5	Dělení podle charakteru pracovního režimu .....	16
4.6	Dělení podle umístění strojovny.....	16
4.7	Dělení podle uspořádání strojovny.....	16
4.8	Dělení podle velikosti spádu .....	17
4.9	Dělení podle řízení provozu .....	17
4.10	Dělení podle provozovatele.....	17
4.11	Dělení podle zapojení.....	17
5.	Vodohospodářské a stavebně hydraulické řešení MVE.....	18
5.1	Vodohospodářské řešení.....	18
5.2	Parametry.....	20
5.2.1	Spád turbíny .....	20
5.2.2	Průtok turbínou .....	20
5.2.3	Výkon turbíny .....	22
5.2.4	Otáčky turbíny a generátoru.....	22
5.3	Vodní stavby a hydraulická zařízení .....	23
5.3.1	Vtokové objekty .....	23
5.3.2	Části vtokových objektů.....	24
5.4	Přivaděče a odpady.....	25

5.4.1	Přivaděče (náhony) beztlakové .....	25
5.4.2	Odpady beztlakové.....	25
5.4.3	Tlakové přivaděče a odpadní kanály.....	25
5.5	Koncepce umístění turbíny v MVE.....	26
5.5.1	Spodní a horní stavba strojovny.....	26
5.6	Typy turbín pro malé vodní elektrárny.....	28
5.6.1	Peltonova turbína .....	28
5.6.2	Bánkiho turbína.....	28
5.6.3	Francisova turbína.....	29
5.6.4	Propelerova vrtulová turbína.....	30
5.6.5	Kaplanova turbína .....	30
5.6.6	Reverzibilní turbíny .....	31
5.6.7	Rozsahy použití turbín .....	32
6.	Lokalita Dobronice u Bechyně.....	33
6.1	Dobronice u Bechyně .....	33
6.2	Popis lokality .....	33
6.3	Popis stávajícího vodního díla.....	33
6.3.1	Rozdělení dle ČSN 73 6881 .....	34
6.3.2	Vzdouvací stavba .....	34
6.3.3	Vtokový objekt.....	34
6.3.4	Přivaděč.....	34
6.3.5	Odpadní kanál .....	34
6.3.6	Parametry MVE .....	34
6.3.7	Řez Thomanovou turbínou.....	35
6.3.8	Řez Francisovou turbínou .....	36
7.	Návrh obnovy MVE.....	37
7.1	Lokalita Toušice .....	37
7.1.1	Popis lokality.....	37
7.1.2	Popis stávajícího vodního díla .....	39
7.1.3	Parametry stávající turbíny .....	40
7.1.4	Hydrologické údaje o povodí Výrovka .....	40
7.1.5	Vybraná data pro návrh.....	41

7.2	Využitelný hydroenergetický potenciál lokality Toušice.....	42
7.3	Určení vhodné turbíny .....	42
7.3.1	Spád.....	42
7.3.2	Průtok turbínou .....	43
7.3.3	Určení stroje .....	43
7.4	Parametry stroje.....	44
7.4.1	Vstupní parametry .....	44
7.4.2	Turbína .....	44
7.4.3	Regulace-účinnost.....	45
7.4.4	Uspořádání soustrojí .....	46
7.5	Odhad Roční výroby elektrické energie .....	47
7.5.1	Průtok využitelný .....	47
7.5.2	Průtok turbínou .....	47
7.5.3	Výkon MVE .....	47
7.5.4	Množství vyrobené energie .....	47
7.5.5	Odhad roční výroby elektrické energie lokalita Toušice .....	47
8.	Ekonomické zhodnocení .....	49
8.1	Náklady na rekonstrukci MVE Toušice .....	49
8.1.1	Stavební části .....	49
8.1.2	Strojovna .....	49
8.1.3	Projekt .....	49
8.1.4	Provozní náklady.....	49
8.1.5	Celkové odhadované náklady .....	49
8.2	Výkupní ceny za elektrickou energii.....	49
8.2.1	Garantovaná výkupní cena.....	49
8.2.2	Zelený bonus .....	50
8.3	Tržba za vyrobenou energii .....	50
8.3.1	Tržba .....	50
8.4	Doba odhadu návratnosti investice.....	50
9.	Diskuse.....	52
10.	Závěr .....	53
11.	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	54

12. Seznam tabulek .....	56
13. Seznam obrázků .....	57
14. Seznam příloh.....	59

|

# 1. Úvod

Malé vodní elektrárny zaujímají významné místo mezi obnovitelnými zdroji energie. Jsou schopny využívat hydroenergetický potenciál toků s vysokou účinností při zanedbatelném dopadu na životní prostředí. V České republice jsou podmínky pro malé vodní elektrárny do jisté míry omezené, protože velká část hydroenergetického potenciálu je rozdělena mezi malé toky. Realizace na malém toku je náročná, někdy i zcela nemožná z hlediska vysoké investice a dlouhé doby návratnosti. Proto je snaha zjednodušit standardizovat, typizovat a zefektivnit části malé vodní elektrárny a tím dosáhnout nižších investic kratší doby návratnosti. V minulosti panoval názor, že malé vodní elektrárny jsou zbytečné a proto se mnoho malých zdrojů rušilo. Dnes je tento názor přehodnocován z důvodu rostoucích cen elektrické energie a energie obecně. Je snaha o rekonstrukci na starých lokalitách nebo novou výstavbu malých vodních elektráren na nových lokalitách.

V této bakalářské práci popisuji využívání vodní energie v České republice, dále pak rozvoj malých vodních elektráren a nakonec se zabývám návrhem obnovy malé vodní elektrárny Toušice. O lokalitu Toušice se zajímám už delší dobu a chtěl bych obnovit funkci stávajícího vodního díla.

## 2. Stav a využití vodní energie v ČR

### 2.1 Stav malých vodních elektráren v ČR

V poslední době znamenal rozvoj malých vodních elektráren (MVE) v České republice značného rozmachu. A to z důvodů ekonomických a politických změn nejen v České republice, ale i ve světě. Především z důvodů rostoucích cen fosilních paliv a nestálé politické situaci na Středním východě. Tyto změny jsou pro provoz, výstavbu a rozvoj MVE i jiných obnovitelných zdrojů příznivě nakloněny.

Po změně režimu v 90. letech 20. století nastala možnost svobodného podnikání v oblasti MVE. Nástup nových výrobců na trh zapříčinil zvýšení kvality, účinnosti a v neposlední řadě snížení nákladů na zakoupení vodních strojů. Pokrok zaznamenala především automatizace provozu, čímž je docíleno bez obslužnosti malých vodních elektráren (HOLATA, 2002).

Díky příznivým podmínkám za, kterých se vykupuje vyrobená energie a povinnosti státu jí vykupovat, roste zájem o výstavbu a rekonstrukce MVE. *“Zatímco v roce 1986 bylo v České republice v provozu 259 MVE o celkovém výkonu 22 MW a roční výrobě 88 500 GWh, v roce 1998 dosáhl jejich počet 1230, o celkovém výkonu 170 MW s průměrnou roční výrobou 440 000 GWh.”* (HOLATA, 2002). Z těchto údajů je jasně zřetelný nárůst nově vystavěných a obnovených MVE.

### 2.2 Využití vodní energie v ČR

Vodní elektrárny patří mezi obnovitelné zdroje energie. Podílejí se na celkovém instalovaném výkonu zhruba 17% a na výrobě pouhými 4%. Využitelný potenciál našich toků je v průměru 3400 GWh/rok. Z tohoto údaje je v malých vodních elektrárnách využitelné průměrně 1600 GWh/rok. K dnešnímu dni je v České republice využito potenciálu MVE zhruba jen 30%. Při přepočtu na GWh/rok je to cca 500 GWh/rok. (JAKUBES et al. 2006).

### 2.3 Hydroenergetický potenciál ČR

#### 2.3.1 Dělení Hydroenergetického potenciálu

Hydroenergetický potenciál vodního toku nám sděluje informaci o možnosti využití energie na určitém území. Dělíme je na (BROŽA et al. 1990).

- teoretický,
- hrubý,
- reálně využitelný.

**Teoretický hydroenergetický potenciál** vodních toků nám vyjadřuje jejich schopnost vydat určité množství elektrické energie. Počítá se po daných úsecích toku z příslušných dlouhodobých průtoků a z rozdílu výšky hladiny při účinnosti výrobního zařízení. Teoretický hydroenergetický potenciál počítáme podle vzorce.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \quad [\text{kW}]$$

P je výkon v [kW], Q je průtok v [m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>], H je spád v [m]

Využít veškerou sílu vody k přeměně na energii mechanickou – točivou je prakticky nemožné. Určitá část energie vody se ztrácí třením o dno řečiště. Další část energie ztrácíme z důvodu ponechání určité rychlosti proudu v přírodním řečišti v zájmu zachování poříční ekologie. Z toku můžeme odebrat jen tolik energie, aby byl zachován „líný“ odtok vody. Z těchto důvodů se nedaří využít ani polovinu energetického potenciálu vody, která odteče z příslušných povodí(PAŽOUT, 1987).

**Hrubý hydroenergetický potenciál** získáváme z nadmořských výšek dané oblasti a průměrných průtoků. Určuje se k hladině mořeného ke kótě hladiny, na hranici státu. Slouží výhradně k evidenčním účelům (BROŽA et al. 1990).

Hrubý hydroenergetický potenciál České republiky byl stanoven hodnotou 18740 GWh/rok(SMĚRNÝ VODOHOSPODÁŘSKÝ PLÁN ČSR, 1989).

Nejpoužívanější metodou výpočtu jednotlivých úseků řeky je podle zásad přijatých Mezinárodním energetickým výborem. Tok se rozdělí na úseky, ve kterých lze umístit jezy nebo přehrady. Jejich výšky musí být udělaný tak, aby v podélném profilu vytvořily souvislou kaskádu s vodorovnými hladinami v každém z úseků.

Potenciální výkon úseku řeky mezi dvěma profily se počítá podle vzorce

$$P_{1-2} = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \cdot H_{1-2}$$

P<sub>1-2</sub> je výkon mezi dvěma zvolenými profily 1 a 2, Q<sub>1</sub> je průtok v profilu 1, Q<sub>2</sub> je průtok v profilu 2, H<sub>1-2</sub> je spád mezi dvěma zvolenými profily.

**Reálný (skutečný) využitelný hydroenergetický potenciál** vodního toku je znatelně menší a to z několika důvodů. Energeticky využít tok nelze beze zbytku, protože na toku leží komunikace, města, a jiné objekty nebo například chráněná území. Dále pak jezy, přehrady nemůžeme vystavět v dostatečném počtu a ani co do rozměru. Na našem území lze hydroenergetický potenciál využít jen asi 40-50% potenciálu teoretického.(KALANDRA et al. 1998).

Přečerpávací vodní elektrárny se do skutečného hydroenergetického potenciálu nezapočítávají.(PAŽOUT, 1987).

### 2.3.2 Historie a možný vývoj hydroenergetického potenciálu

Názory o velikosti hydroenergetického potenciálu na území České republiky se v minulosti postupně měnily. První publikované informace o hydroenergetickém potenciálu na našem území jsou z roku 1922.

**Tabulka č. 1 Hydroenergetický potenciál Československa v roce 1922 (POŠÍK, 1925)**

	Instalovaný výkon (kW)	Možná výroba (mil.kW /h)	Skutečná výroba (mil.kW/ h)
Vodní elektrárny vybudované na území ČSR	48 850	265	79,5
Možno vybudovat VE			
Čechy	195 785	1050	-
Morava a Slezsko	48 520	290,5	
Slovensko	476 630	2 383	
Podkarpatská Rus	60 720	273	
<b>Celkem</b>	<b>830 500</b>	<b>4 261,50</b>	<b>79,5</b>

V dnešní době jsou v České republice možnosti využívat energii vody ve velkých vodních elektrárnách takřka vyčerpány. Navíc výstavba velkých vodních děl má velký vliv na životní prostředí. V České republice je ale stále velké množství lokalit, na kterých lze uplatnit malé vodní elektrárny. Na mnoha „lukrativních“ lokalitách jsou již MVE realizovány. Zbylé lokality mohou být z pohledu investice méně výhodné ale ne nerealizovatelné (JAKUBES et al. 2006).

**Tabulka č. 2 Potenciál vodní energie (model do roku 2050), (Ministerstvo životního prostředí)**

Potenciál	Roční výroba (GWh/rok)	Procento využití	Výkon (MW)	Počet elektráren
<b>Teoretický</b>	<b>13 100</b>	-	-	-
<b>využitelný</b>	<b>2 342</b>	<b>1</b>	<b>1 143</b>	<b>1 976</b>
z toho VE nad 10 MW	1 165	1	736	8
z toho VE do 10 MW	1 177	1	407	1 968
<b>Využitý</b>	<b>1 892</b>	<b>1</b>	<b>1 008</b>	<b>1 331</b>
z toho VE nad 10 MW	1 165	1	736	8
z toho VE do 10 MW	727	1	272	1 323
z toho MVE 5-10 MW	98	-	58	7
z toho MVE 1-5 MW	390	-	106	47
z toho MVE 0,2 - 5 MW	150	-	60	149

Potenciál	Roční výroba (GWh/rok)	Procento využití	Výkon (MW)	Počet elektráren
z toho MVE do 0,2 MW	89	-	48	1 120
<b>Nevyužitý</b>	<b>450</b>	<b>0</b>	<b>135</b>	<b>645</b>
z toho VE do 10 MW	450	0	135	645

### 3. Rozvoj malých vodních elektráren v ČR

V období První republiky byl položen základ k soustavné elektrizaci Československa zákonem č. 438/1919 Sb. (tzv. elektrizační zákon). Snahou tohoto bylo v neposlední řadě podporovat výstavbu vodních elektráren. V období od roku 1919 do roku 1930 bylo na našem území vybudováno více jak 11 785 malých vodních elektráren. A však Hospodářská krize roku 1930 až 1933 se projevila omezením výroby a snížením investic do MVE. To znamená snížení počtu provozovaných MVE v ČSR. Další ránou pro MVE byla okupace v letech 1939 až 1945 armádami hitlerovského Německa. Po skončení války v roce 1945 poklesla výroba elektrické energie na území ČR téměř o 35%. V roce 1946 bylo v provozu na území ČR méně než 5000 MVE. Mohlo by se zdát, že po válce nastane renesance v oblasti MVE, ale bylo tomu naopak. V období let 1945 – 1947 byly podniky zabývající se výrobou elektrické energie z obnovitelných zdrojů znárodněny. MVE sloužící k mechanickému pohonu přešly do držení JZD nebo pod místní národní výbor. Tyto změny měly negativní vliv na provoz a údržbu vodních děl. Malá vodní díla, která sloužila potřebám podniků, obcím, atd. byla na provoz náročnější a to z důvodu nedostatečné automatizace. V letech 1948 až 1953 s nástupem socializace průmyslové výroby a s kolektivizace zemědělství dochází ke značnému rušení MVE. V roce 1966 je v provozu pouhých 450 vodních děl a na konci 80 let jen 109 vodních děl. Toto období znamená pro MVE období hlubokého temna a nepochopení významnosti malých vodních elektráren (**GABRIEL et al. 1998**), (**PAŽOUT, 1987**).

Zájem o malé vodní elektrárny v dnešní době má rostoucí tendenci. Tato rostoucí tendence je vyvolán změnou energetické situace. Energie je obecně nedostatek a s rostoucí cenou fosilních paliv roste i cena elektrické energie.

## 4. Dělení vodních elektráren

Vodní elektrárny třídíme podle různých kritérií. Třídění, která zde budu uvádět, odpovídají platné normě ČSN 75 01 28, „Vodní hospodářství – Názvosloví využití vodní energie“ a s normou ČSN 73 68 81, „Malé vodní elektrárny – Základní požadavky“ (GABRIEL et al. 1998).

### 4.1 Dělení podle instalovaného výkonu podle ČSN 75 01 28

- Malé vodní elektrárny – instalovaným výkonem do 10 MW.
- Střední vodní elektrárny – instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW.
- Velké vodní elektrárny – instalovaným výkonem nad 200 MW.

### 4.2 Malé vodní elektrárny podle ČSN 75 01 28

- Domácí vodní elektrárny – instalovaným výkonem do 35 kW.
- Vodní mikroelektrárny – instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW.
- Vodní minielektrárny – instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 kW.
- Průmyslové elektrárny – instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW.

### 4.3 MVE dělení podle celkového dosažitelného výkonu podle ČSN 73 68 81

Tabulka č. 3 Dělení podle celkového dosažitelného výkonu (GABRIEL et al. 1998)

Kategorie MVE	Výkon MVE v kW
1a	nad 1000
1b	nad 500 do 1000
2	nad 100 do 500
3	nad 35 do 100
4	do 35

Tabulka č. 4V návaznosti na stanovený typ a kategorii MVE se určí jednotkový výkon soustrojí podle tabulky (GABRIEL et al. 1998)

Třída A	nad 520 kW
Třída B	nad 100 kW do 520 kW
Třída C	do 100 kW

### 4.4 Dělení podle získaného spádu

- Přehradová vodní elektrárna – spád tvořen přehradou.
- Jezová vodní elektrárna – spád tvořen jezem.

- Derivační vodní elektrárna – spád získán derivací vody vedením vody mimo vodní tok.
- bez vzdouvací stavby – využívá energii vody proudící v otevřeném potrubí, kanálech. Bez vybudované vzdouvací stavby.

#### 4.5 Dělení podle charakteru pracovního režimu

- Průtočné – neovlivňují přirozený průtok v korytě
- Akumulační – akumulční nádrž vytváří spád- řízený odběr vody a pracovní režim týdenní nebo denní záleží na velikosti zásobního prostoru.

#### 4.6 Dělení podle umístění strojovny

- Hrázová vodní elektrárna – strojovna je umístěna u hráze, v tělese hráze nebo v přelivných bocích.
- Jezová vodní elektrárna – strojovna je umístěna u jezu v jeho těsné blízkosti nebo ve spodní stavbě
- Věžová vodní elektrárna – strojovna je umístěna v objektu ve tvaru věže nebo šachty umístěné v nádrži nebo zdrži.
- Břehová vodní elektrárna – strojovna umístěna u jezu v jeho břehové části.
- Členěná vodní elektrárna – strojovna rozdělena na dvě nebo více částí.
- Pilířová vodní elektrárna – strojovna je umístěna v pilířích přelivné hrany hráze nebo jezu.
- Plovoucí vodní elektrárna – strojovna je umístěna na pontonu nebo na jiném plovoucím zařízení.
- Individuální vodní elektrárna – strojovna je umístěna v rekonstruovaném objektu bývalého mlýna nebo pily.

#### 4.7 Dělení podle uspořádání strojovny

- Krytá vodní elektrárna
- Nekrytá vodní elektrárna
- Polokrytá vodní elektrárna
- Přelévaná vodní elektrárna – strojovna umístěna pod přelivnou hranou jezu nebo hráze.

- Sdružená vodní elektrárna – ve spodní stavbě je umístěna nejen strojovna, ale i spodní výpusti.

#### **4.8 Dělení podle velikosti spádu**

- Nízkotlaké vodní elektrárna – využívající spád do 20m.
- Středotlaké vodní elektrárna – využívající spád nad 20m do 100m.
- Vysokotlaké vodní elektrárna – využívající spád nad 100m.

#### **4.9 Dělení podle řízení provozu**

- S ručním ovládním – provoz je řízen výhradně obsluhou.
- Plně automatizované – provoz je řízen výhradně automatikou.
- Částečně automatizované – provoz řízen částečně automatikou a částečně obsluhou.

#### **4.10 Dělení podle provozovatele**

- Elektrizační soustavy – resortní vodní elektrárny, které jsou zapojeny do elektrizační soustavy a pracují především podle jejich potřeb.
- Závodní vodní elektrárny – zapojené do elektrizační soustavy, ale sloužící převážně pro oblastní účely provozovatele.
- Soukromé vodní elektrárny – provozovatelé jsou soukromníci MVE je zapojena do vyčleněné sítě nebo do elektrizační soustavy.

#### **4.11 Dělení podle zapojení**

- MVE zapojené v celostátní nebo místní energetické soustavě.
- MVE schopné pracovat odděleně od elektrizační soustavy.
- Mikro zdroje a mobilní zdroje schopné pracovat odděleně i s nenormalizovaným napětím. (GABRIEL et al. 1998).

## 5. Vodohospodářské a stavebně hydraulické řešení MVE

### 5.1 Vodohospodářské řešení

Využití vodní energie v rámci vodních zdrojů za pomoci metodiky vodohospodářských řešení hydroenergetických děl popřípadě vodohospodářských děl s hydroenergetickým využitím je jedna z metod vodohospodářských řešení vodohospodářských soustav (**VOTRUBA et al. 1968**)

V těchto soustavách se mohou vyskytovat různé objekty a funkční prvky pro hydroenergetice využití. Využití vodní energie musí být efektivní, ale zároveň šetrné k vodohospodářské soustavě (**BROŽA et al. 1990**).

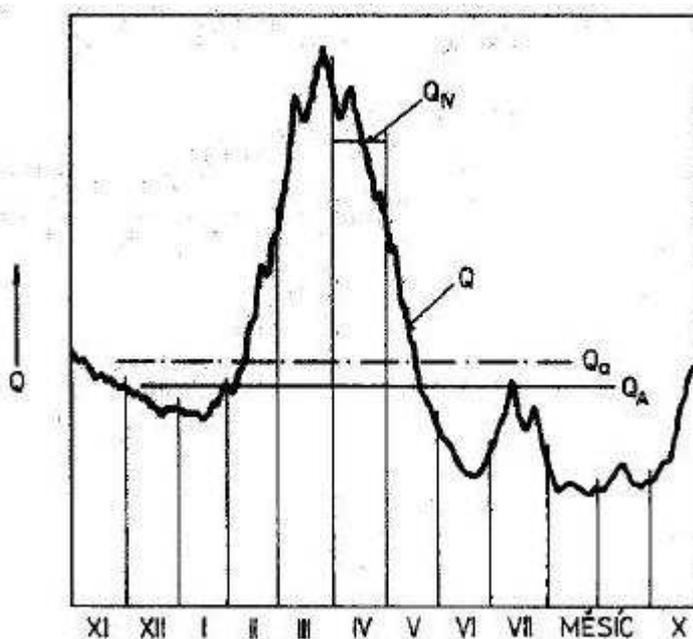
Hospodaření s vodou rozděluje hydroenergetická díla na dva druhy:

- průtočná,
- regulační.

Průtočná díla využívají přirozený průtok toku, který není ovlivňován. Využíváme zde průtoky až do hodnoty max. hltnosti instalované turbíny. Průtoky, které jsou vyšší než, je tato hodnota označujeme jako průtoky jalové. Jalové průtoky přepadají přes vzdouvací zařízení nevyužité. Vzdouvacím zařízením myslíme z pravidla jez. Průtočné MVE bývají obvykle jezové a nízkotlaké.

Regulační díla odebírají vodu z akumulacních prostor, ty mohou být umělé nebo přirozené. Regulační díla mají schopnost regulovat odběr v závislosti na potřebě energie po určitý čas. Pracují při využití denní popřípadě týdenní zásoby vody (**BEDNÁŘ, 1989**), (**GABRIEL et al. 1998**).

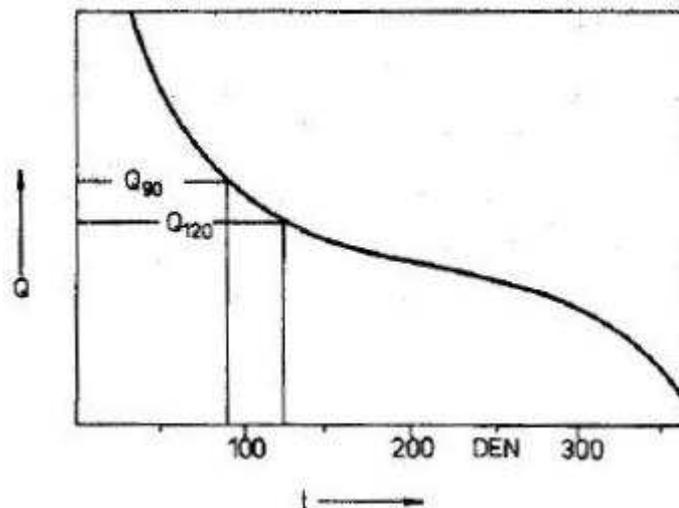
*„Nerovnoměrné rozdělení atmosférických srážek a odtokové poměry daného povodí způsobují proměnlivost průtoku každého přirozeného toku.“* (**BEDNÁŘ, 1989**).



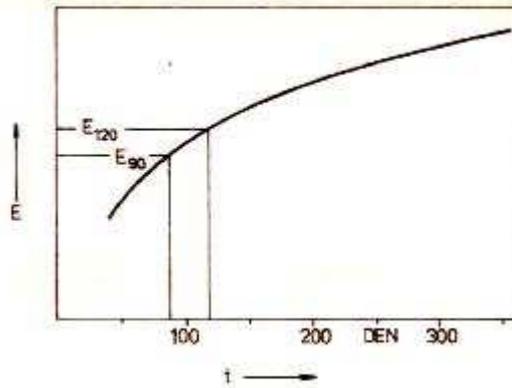
Obrázek č. 1 Proměnlivost průtoku toku (BEDNÁŘ, 1989)

$Q$  je průtok,  $Q_{IV}$  je průměrný průtok měsíce dubna,  $Q_a$  je průměrný roční průtok,  $Q_A$  je dlouhodobý průměrný roční průtok

Tuto proměnlivost můžeme vyjádřit čarou překročení průměrných denních průtoků. Čára překročení má jiný průběh pro rok suchý a pro rok mokrý. Vodohospodářské řešení MVE je závislé na dlouhodobém průměru překročení průměrných denních průtoků.



Obrázek č. 2 Čára překročení průměrných denních průtoků (BEDNÁŘ, 1989)



Obrázek č. 3 Čára překročení průměrné denní energie (BEDNÁŘ, 1989)

Z čar překročení průměrných denních průtoků a průměrné denní měrné energie můžeme odvodit závislost. Tuto závislost můžeme označit jako hydrologickou charakteristiku díla. (TURČA, 1982).

## 5.2 Parametry

### 5.2.1 Spád turbíny

Spád hydroenergetického díla je definován jako rozdíl horní kóty hladiny a kóty, která se nachází pod vodním dílem a značí se  $H_b$  nazývá se spád celkový. Cílem je získat co možná největší hodnotu celkového a čistého spádu. Spád můžeme změřit pomocí vodováhy a latí nebo nivelací.

Spád čistý je definován vztahem

$$H = H_b + h_{v0} - h_{v2} - h_{z0,1}$$

kde  $H$  je čistý spád,  $H_b$  je celkový spád,  $h_{v0}$  je kinetická energie vody vstupující do přivaděče,  $h_{v2}$  je kinetická energie vystupující z turbíny a  $h_{z0,1}$  jsou ztráty v přivaděči. (HOLATA, 2002).

### 5.2.2 Průtok turbínou

Průtok turbínou můžeme definovat jako množství vody, které proteče turbínou za jednotku času. Značí se  $QT$  a jednotky jsou  $m^3 \cdot s^{-1}$ . Jde především o využití průtoků k účinnému energetickému zpracování a o využití co možná největší roční výroby elektrické energie.

U malých vodních elektráren, se v našich podmínkách uplatňuje rozmezí 90 až 120 denních průtoků průměrného mokrého roku. Obecně platí, že žádná malá vodní elektrárna (průtočná elektrárna) není schopna využít maximálního výkonu instalované turbíny. (BEDNÁŘ, 1989).

během roku nastávají tři charakteristická období, kdy je:

- nedostatku spádu a přebytku průtoku,
- dostatek průtoku i spádu,

- hodně spádu, ale nedostatek průtoku.

První období zapříčiní odstavení MVE z důvodu poklesnutí čistého spádu pod hodnotu efektivního využití soustrojí.

U druhého období, říká se mu období produkce, se snažíme plně využít potenciál soustrojí. Období se dá prodloužit kombinací různého počtu strojů s různou hltností. Toto období bývá z pravidla nejdelší. Hltnost je největší průtok turbínou neboli největší průtok, který je turbína schopna zpracovat.

Poslední období dochází k odstavení soustrojí z důvodů velkých spádů a nedostatku průtoku. Období můžeme prodloužit opět kombinací většího a menšího soustrojí, kdy větší soustrojí přebírá 2/3 průtoku a menší soustrojí 1/3 průtoku. **(HOLATA, 2002).**

Pro určení průměrných ročních průtoků můžeme využít data od Českého hydrometeorologického úřadu. Pokud ale nejsou hydrologické podklady k dispozici, musíme přistoupit k přímému měření v dané lokalitě hydroenergetického díla. K měření použijeme vhodné metody:

- měření průtoků plovákem,
- objemové měření,
- měření průtoků měrnými přelivy,
- měření přepadem na jezu,
- měření hydrometrickými vrtulemi (hydrometrováním).

Z metod zde popsaných považuji za nejjednodušší metodu měření průtoku plovákem. Proto si jí podrobně popíšeme.

Vyhledáme si nejprve vhodný úsek vodoteče. Tento úsek by měl být rovný bez oblouků a ramen dlouhý (min 40m). V úseku by měla být všude stejná hloubka a konstantní příčný profil. K měření použijeme plastovou lahev, která má funkci plováku. Lahev naplníme vodou tak aby byla částečně ponořená. Tu část lahve, která vyčnívá nad hladinu, zvýrazníme. Lahev vhodíme do vody zhruba deset metrů před měřeným úsekem. Vhodné je lahev hodit do míst, kde se nachází střed proudu. Po vplutí lahve do měřeného úseku zahájíme měření času  $t$  (s). Po vyplutí plováku z měřeného úseku ukončíme měření. Pokus několikrát opakujeme. Výsledky měření zprůměrujeme. Střední rychlost proudu počítáme podle vztahu

$$v = l \cdot t^{-1}$$

kde  $v$  střední rychlost proudu ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $l$  je délka měřeného úseku (m) a  $t$  čas, za který lahev proplula měřený úsek. Pro změření průtoku použijeme vztah

$$Q = k \cdot F \cdot v$$

kde  $Q$  je hledaný průtok v ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $F$  je střední ploch koryta v délce měřeného úseku ( $\text{m}^2$ ),  $v$  je rychlost v měřeném úseku a  $k$ , je součinitel závislý na hydraulickém poloměru koryta a na materiálu koryta.

Hydraulický poloměr značíme  $R(m)$  a počítáme vztahem

$$R = \frac{F}{O}$$

kde  $F$  je plocha příčného profilu v ( $m^2$ ) a  $O$  je omočený obvod v (m). V odborné literatuře se můžeme setkat s pojmem hltnost turbíny. (VILÉM, 1992),(HOLATA, 2002).

### 5.2.3 Výkon turbíny

Výkon turbíny si můžeme představit, jako energii vody, kterou přeměníme za pomoci oběžného kola turbíny na mechanickou energii dodanou na hřídele v podobě otáček za jednotku času. Výkon turbíny zjistíme spojením hřídele turbíny s hřídelí elektrického generátoru, tím přeměníme mechanickou energii na energii elektrickou a následným změřením výkonu na svorkách generátoru. Výkon na generátoru je snížen o účinnost turbíny a o mechanické ztráty v ložiskách generátoru a elektrické ztráty generátoru. Ke ztrátám se ještě připočítávají ztráty v převodech a ztráty v setrvačnicku a to v případě snahy o zvýšení otáček generátoru Výpočet je dán vztahem

$$P_s = 9,81 * Q * H * \eta_T * \eta_G * \eta_S * \eta_P$$

kde  $P_s$  je výkon na celkovém soustrojí v (kW),  $Q$  je průtok turbínou v ( $m^3*s^{-1}$ ),  $H$  je spád čistý v (m),  $\eta_T$  je účinnost turbíny,  $\eta_G$  je účinnost generátoru,  $\eta_S$  je účinnost setrvačnicku,  $\eta_P$  je účinnost převodu. (BEDNÁŘ, 1989), (BROŽA et al. 1990).

### 5.2.4 Otáčky turbíny a generátoru

Otáčky vodní turbíny vycházejí z konstrukčního řešení soustrojí a z hydraulického řešení. Nízké otáčky turbín vyžadují převody do rychla, které mohou být konstrukčně náročné. Vysoké otáčky turbíny mohou být nebezpečné při vysazení generátoru. Při vysazení generátoru se turbína roztočí na vysoké otáčky, kterým říkáme průběžné otáčky. Opakované zatěžování turbíny průběžnými otáčkami může vést až k destrukci vodního stroje. Navrhování vhodných provozních otáček je proto vhodné konzultovat s výrobcem turbíny. (BEDNÁŘ, 1989). Pro určení jmenovitých otáček můžeme použít vztah, který vychází z praxe.

$$n = \frac{n_s * H * \sqrt[4]{H}}{\sqrt{P_T}} * 1,166$$

$n$  jsou jmenovité provozní otáčky v ( $min^{-1}$ ),  $n_s$  jsou specifické otáčky geometricky podobné turbíny,  $P_T$  je výkon na hřídeli v (kW) a  $H$  je čistý spád.

Otáčky vycházejí především z vlastností generátoru a to zejména z počtu pólových dvojic. 1 plová dvojice je čtyřpólové magnetické pole. Těch z pravidla bývá více jak 3. V České republice používáme frekvenci 50Hz pro vypočítání otáček elektrického generátoru použijeme vztah

$$n = \frac{60 * f}{p}$$

$n$  jsou otáčky synchronního generátoru ( $\text{min}^{-1}$ ),  $f$  je frekvence a  $p$  je počet pólových dvojic generátoru. Tato problematika je náročnější na vysvětlení. Proto zde přikládám tabulku používaných synchronních otáček generátorů od **HOLATY (2002)**na, které je vše názornější.

**Tabulka č. 5 Malé vodní elektrárny projektování a provoz (HOLATY, 2002 a BEDNÁŘ, 1989).**

n	3000	1500	1000	750	600	500	428,6	375	333,3	300
p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	272,7	250	230,8	214,3	200	187,5	176,5	166,7	157,9	150
p	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n	142,9	136,4	130,4	125	120	115,4	111,1	107,1	103,4	100
p	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
n	96,8	93,8	90,9	88,2	85,7	83,3	81,1	78,9	76,9	75
p	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
n	73,2	71,4	69,8	68,2	66,7	65,2	63,8	62,5	61,2	60
p	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
n	58,8	57,7	56,6	55,6	54,5	53,6	52,6	51,7	50,8	50
p	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

## 5.3 Vodní stavby a hydraulická zařízení

### 5.3.1 Vtokové objekty

Vtokové objekty slouží k odebírání vody z vodního toku a zajišťují dostatek vody pro vodní stroj. Odebírat vodu mohou z toku zdrže nebo nádrže. Vtokový objekt splňuje důležité požadavky, zejména nesmí vyvolávat velké tlakové ztráty, musí odolat povodním, plovoucím předmětům, jako jsou například kusy dřeva, trávy, větvi, listí a v zimním období ledu, dále musí zabraňovat vnikání jemných i hrubých splavenin sunutých po dně. Dále musí umožnit zahrazení přivaděče při jakékoliv hladině. (**HYNKOVÁ, 1983**).

Základní dělení vtokových objektů:

- beztlakové,
- tlakové.

Vtokové objekty beztlakové odebírají vodu do přivaděčů s volnou hladinou, používají k odběru vody nejčastěji z jezových staveb u kterých, předpokládáme malé kolísání hladiny. (**HODAK, 1984**).

Vtokové objekty tlakové odebírají vodu do tlakových přivaděčů. Vstup do přivaděče je celý ponořen pod hladinou. Nalezneme je nejčastěji u přehradních nádrží nebo u nádrží přečerpávacích elektráren. Předpokládáme velké kolísání hladiny. (**BROŽA et al. 1990**). Vtokové objekty se dále dělí na různé typy hlavně podle typu MVE a podle koncepce MVE uvedu zde rozdělení podle Vojtěcha Broži:

- vtokové objekty přehradové vodní elektrárny,
- vtokové objekty jezové vodní elektrárny,
- vtokové objekty kanálové vodní elektrárny,
- vtokové objekty derivační vodní elektrárny,
- vtokové objekty přečerpávací vodní elektrárny.

### 5.3.2 Části vtokových objektů

Mezi základní části vtokových objektů patří:

- vtokové prahy,
- norná stěna,
- hrubé česle,
- provizorní hrazení,
- jemné česle,
- provozní uzávěry,
- bezpečnostní rychlouzávěry.

**Vtokový práh** zabraňuje sunutým splaveninám poškodit vodní stroj. Práh je umístěn z pravidla nad dnem toku. Prahy bývají zaoblené nebo zkosené. (MOSONY, 1987).

**Norná stěna** zabraňuje plovoucím předmětům vniknout do hydraulického zařízení MVE. Je ponořena zhruba padesát centimetrů pod minimální hladinu potřebnou pro provoz. (MOSONY, 1987)

**Hrubé česle** jsou tvořeny silnými česlicovými pruty, které mají tloušťku 80-150mm, rozteč mezi pruty bývá 300-600mm. (HOLATY, 2002). Musí být robustní a zasazené do pevné konstrukce. Vyrábí se z oceli. Slouží k zachycení velkých nečistot například ledových ker, větví, stromu a dalšího materiálu. Jejich čištění je náročné, proto by konstrukce měla být opatřena obslužnou lávkou. (HYNKOVÁ, 1983).

**Provozní hrazení** slouží k zahrazení vtoku. Skládá se z více částí a je osazeno v drážkách, které se nacházejí před nebo za jemnými česlemi. Manipulace s hrazením bývá obvykle ruční. (HYNKOVÁ, 1983).

**Jemné česle** mají podobnou funkci jako česle hrubé. Liší se šířkou prutů v rozmezí 8-20mm a šířkou mezer mezi pruty, která je 30-150mm. Slouží k zachycování jemných částic, které by mohly poškodit lopatky turbíny. Konstrukce jemných česlí je náročná. (MOSONY, 1987) Konstrukce musí být pevná, ale zároveň musí zajistit maximální přítok k turbíně. Rychlost mezi česlicovými pruty bývá v rozmezí od 0,8-1,2(m.s<sup>-1</sup>) a to podle intervalu mezi čištěním a způsobu čištění. Jemné česle se zpravidla čistí strojně z důvodu rychlého zanášení. (KALANDRA et al. 1998).

**Provozní uzávěr** by měl být u všech vodních elektráren. Slouží k uzavření přívodu vody do vodní elektrárny nebo regulaci průtoku. Provozní uzávěr slouží i jako montážní uzávěr v případě nutných oprav nebo výměně poškozených částí nebo revizi popřípadě čištění. Umisťuje se za jemné česle. Konstrukční řešení může být různé v závislosti na typu MVE. (HYNKOVÁ E., 1983).

**Bezpečnostní uzávěry** slouží k okamžitému zahrazení vtoku k turbíně z důvodu poruchy nebo vniknutí předmětu do turbíny. Bezpečnostní uzávěr by měl být schopen odolat hydraulickým rázům. Umisťuje se za provozní uzávěr. (GABRIEL, 1995).

## 5.4 Přivaděče a odpady

Přivaděče a odpady slouží k přivádění a odvádění vody. Přivaděč přivádí vodu z koryta řeky, zdrže nebo nádrže a vede jí do MVE, kde voda předá svou energii. Odpad odvádí vodu od MVE zpět do koryta řeky. Tomuto procesu říkáme derivace. Derivací vody získáváme soustředěný průtok a spád. Stavba přivaděčů a odpadu je finančně nákladná a zvyšuje celkovou investici do MVE. Přivaděče a odpady dělíme na tlakové a beztlakové. (HOLATY, 2002).

### 5.4.1 Přivaděče (náhony) beztlakové

Přivaděče neboli náhony o volné hladině jsou nejčastějším typem u MVE a to z důvodu nižší ceny než u přivaděčů tlakových. Budují se tak, aby byla hladina vody nad terénem, to znamená budování násypů. Trasu přivaděče vedeme nejčastěji po vrstevnici. Tím soustředíme spád na MVE. Trasa by měla být co možná nejpřímější a to z důvodu hydraulických ztrát. U přivaděčů vybudovaných s hladinou nad terénem je třeba bránit uniku vody svahy nebo dnem kanálu. Zároveň musí být zkonstruován tak, aby byl stabilní. Z důvodu podemílání, sesuvu a podmáčení. Všech těchto podmínek lze dosáhnout typem použitých materiálu budovaných přivaděčů. Například lze k těsnění použít plastové folie, betonové segmenty, jíl nebo jiné materiály. Přivaděče bývají nejčastěji lichoběžníkového nebo obdélníkového profilu. Dělíme je na kryté a nekryté. Oby typy mají své výhody i nevýhody.

**Kryté přivaděče** jsou konstrukčně složité i finančně nákladné. Výhody jsou především v zabránění znečištění vody větvemi listím a podobně. Dále pak možnost využití prostoru nad kanálem. V zimním období brání zamrznutí kanálu.

**Nekryté přivaděče** nejsou finančně tak nákladné jako přivaděče kryté, ale vyžadují častější čištění a celkovou údržbu nebrání zamrznutí. Zamrznutí lze zabránit vhodným návrhem rychlosti proudění. (GABRIEL et al. 1992) a (HYNKOVÁ, 1983).

### 5.4.2 Odpady beztlakové

Pro navýšení spádu se odpady budují tak, aby byla hladina co možná nejvíce zaříznuta do okolního terénu. To sebou přináší komplikace, protože se hladina v odpadním kanálu nachází obvykle pod hladinou podzemní vody. Je tedy třeba utěsnit dno i svahy před pronikáním podzemní vody do koryta a to v rozmezí kolísání hladin. Platí pro ně stejná pravidla, jako pro přivaděče. (HYNKOVÁ, 1983).

### 5.4.3 Tlakové přivaděče a odpadní kanály

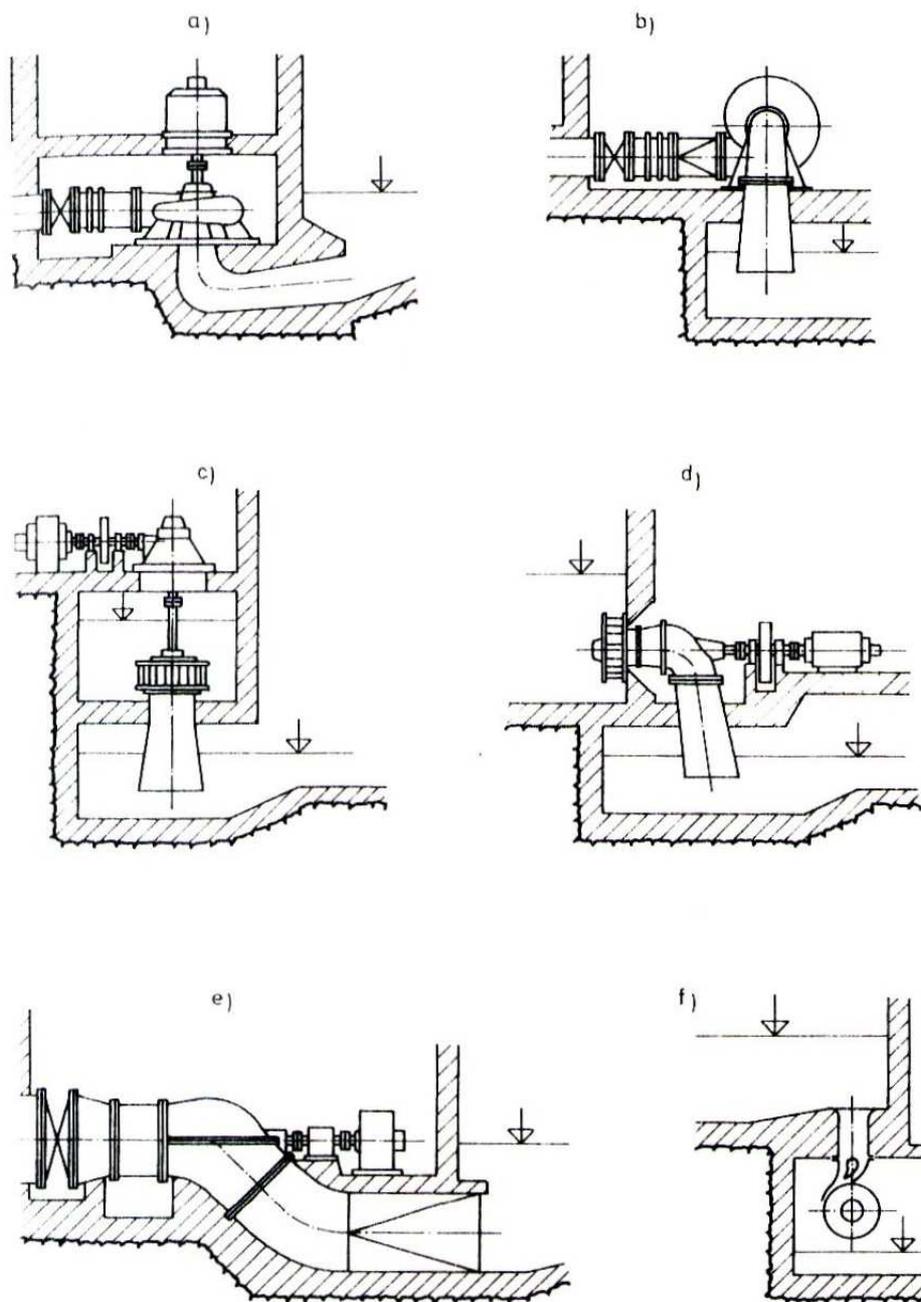
Použití tlakových přivaděčů a odpadů v konstrukci malé vodní elektrárny není tak časté z důvodu vysoké ceny, která je vyšší než u přivaděčů s volnou hladinou. Přesto

se bez jejich budování občas neobejdeme. Tlakové přivaděče jsou schopny překonávat velké spády všude tam, kde výstavba přivaděčů s volnou hladinou je zcela nerealizovatelná. Dělíme je na tlakové potrubní a štolové. Bývají kruhového profilu A vyrábí se nejčastěji z ocele, plastu, železo betonu, litiny nebo ze dřeva. Hydraulický návrh tlakového přivaděče je náročný a je vhodné ho nechat navrhnout odborníkem v dané problematice.(**HOLATY, 2002**).

## **5.5 Koncepce umístění turbíny v MVE**

### **5.5.1 Spodní a horní stavba strojovny**

Umístění turbín ve spodní části stavby je nejčastějším řešením MVE. Na stavbu spodní části jsou kladeny nejvyšší nároky. Především na typ betonu, jeho kvalitu a na základy stavby. Spodní stavba je namáhaná na průsaky vody, vztlak a tlak. Proto je velmi často tvořena železobetonovou konstrukcí. Umístění turbíny záleží na typu a uspořádání soustrojí, zdali je vertikální nebo horizontální, na rozměrech oběžného kola.(**KALANDRA et al. 1998**).



**Obrázek č. 4** Používaná řešení turbín a) vertikální, b) horizontální, c) vertikální kašnová, d) horizontální kašnová, e) přímoproudá, e) Bánkiho turbína (BEDNÁŘ, 1989)

Horní stavba je suší proto jsou v ní z pravidla umístěny veškeré elektrické součásti. Nacházejí se v ní montážní prostory, provozní části, ale i sociální zařízení. Horní stavbu strojovny dělíme na:

- zakrytou,
- polo zakrytou,
- odkrytou.

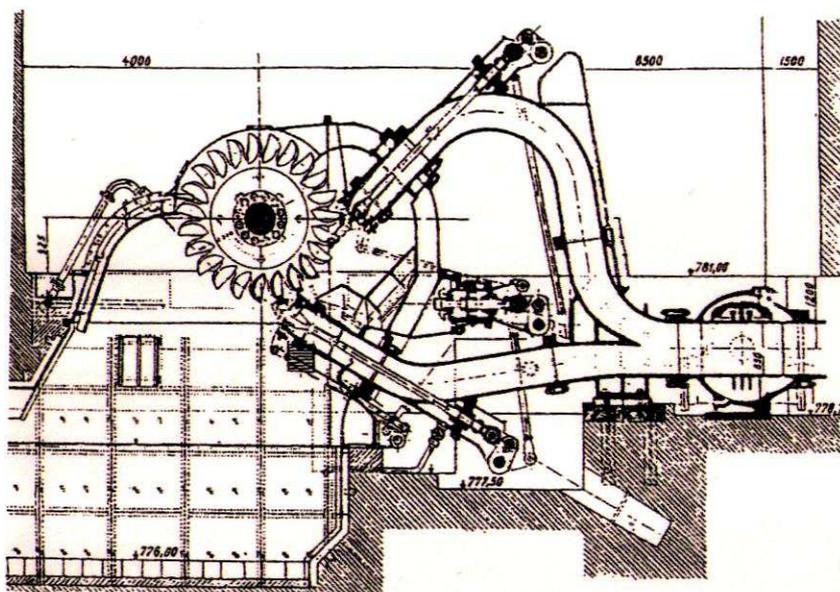
Každý tento typ má své specifické výhody i nevýhody. Nejlevnějším řešením je typ odkryté MVE. (GABRIEL et al. 1992).

## 5.6 Typy turbín pro malé vodní elektrárny

Nejpoužívanější typy turbín jsou Kaplanova, Francisova, Peltonova, Bánkiho.

### 5.6.1 Peltonova turbína

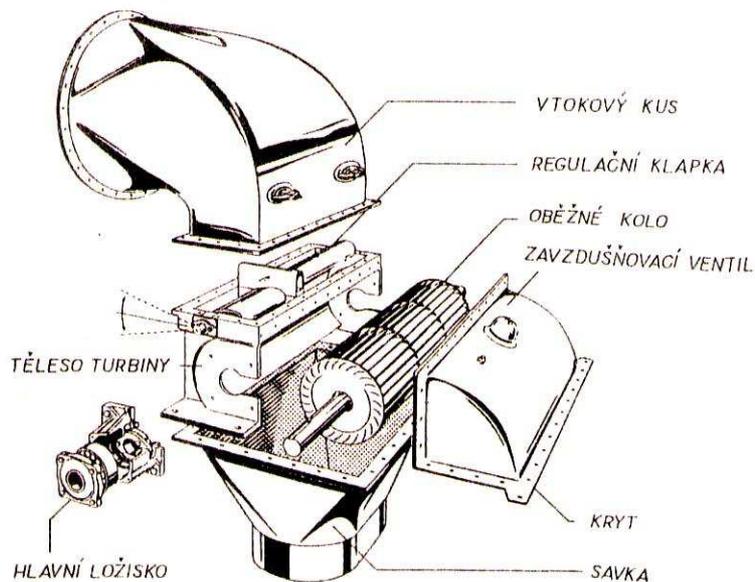
Peltonova turbína patří mezi rovnotlaké neboli akční turbíny. Tento typ turbíny je v České republice málo používán u MVE. Voda se přivádí na oběžné kolo turbíny tryskou. Tryska je zásobena vodou z tlakového přivaděče (nejčastěji kruhového průřezu). Tryska může být jedna, ale jsou konstrukce využívající trysky šest. Pro regulaci se používají deflektory, které ztenčují paprsek vody vycházející z trysky nebo deviátory, které vychylují paprsek z osy. Peltonovy turbíny se používají všude tam, kde je dostatek spádu (více jak 30m) a malých průtoků. Používají se v horizontálním provedení i vertikálním.(HYNKOVÁ, 1983) a (GABRIEL et al. 1992).



Obrázek č. 5 Peltonova horizontální turbína dvou trysková (GABRIEL a KUČEROVÁ, 1995)

### 5.6.2 Bánkiho turbína

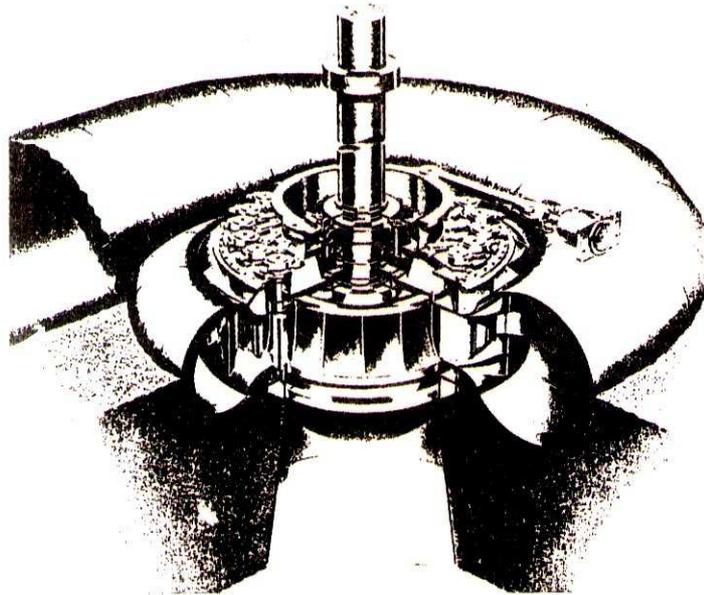
Bánkiho turbína patří mezi rovnotlaké neboli akční turbíny. Tento typ je v současné době hojně používanou turbínou u MVE z důvodů nízké ceny. Nízká cena je dána jednoduchou, ale velice účinnou konstrukcí.(GULILIVER, 1991). Voda je vtokovým kusem přiváděna přes regulační klapku k oběžnému kolu. Průtok je zde regulován regulační klapkou. Používá se pro spády od 2m s různým rozsahem průtoků. Bánkiho turbíny jsou výhradně v horizontálním provedení.(GABRIEL et al. 1992).



Obrázek č. 6 Bánkiho turbína s popisem (GABRIEL et al. 1992)

### 5.6.3 Francisova turbína

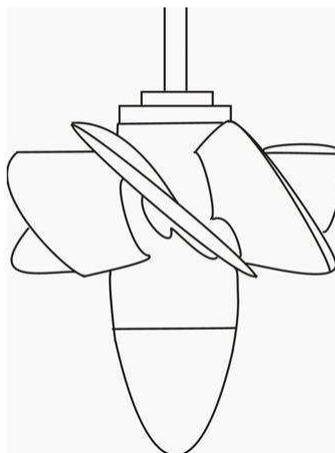
Francisova turbína patří mezi přetlakové turbíny. Tento typ je v České republice nejrozšířenějším typem turbíny. Voda je přiváděna kašnou u malých spádů nebo spirálou u větších spádů. Ještě než vteče voda do prostoru oběžného kola, projde přes regulovatelné lopatky rozváděcího kola. Francisovy turbíny můžeme přizpůsobit dané lokalitě změnou jejich tvaru oběžného kola. Při změně tvaru oběžného kola se změní jejich specifické otáčky. Francisovy turbíny dělíme na rychloběžné pomaloběžné a normální. Uložení může být horizontální nebo vertikální. Používají se pro spády nad 30m s širokým rozsahem průtoků. Při kolísání spádů a průtoků se její účinnost strmě snižuje. (GABRIEL a KUČEROVÁ, 1995). (NOYES, 1980)



Obrázek č. 7 Francisova vertikální turbína se spirálou (GABRIEL a KUČEROVÁ, 1995).

#### 5.6.4 Propelerová vrtulová turbína

Propelerová turbína patří mezi přetlakové turbíny. Tento typ je hojně využíván ve světě i u nás a to z důvodu nízkých pořizovacích nákladů a technické nenáročnosti. Oběžné kolo má tvar připomínající vrtuli. Lopatky oběžného kola jsou nepohyblivé. Avšak v některých případech jsou lopatky připevněny k náboji rozebíratelným spojem, lze je tedy nastavit při odstavení stroje. Regulace za chodu se provádí pomocí lopatek oběžného kola. Používají se od 1,5m spádu s širokým rozsahem průtoků. Při kolísání spádů a průtoků se její účinnost snižuje. Uložení turbíny může být vertikální nebo horizontální. (SHAW, 1982)(GABRIEL et al. 1992).

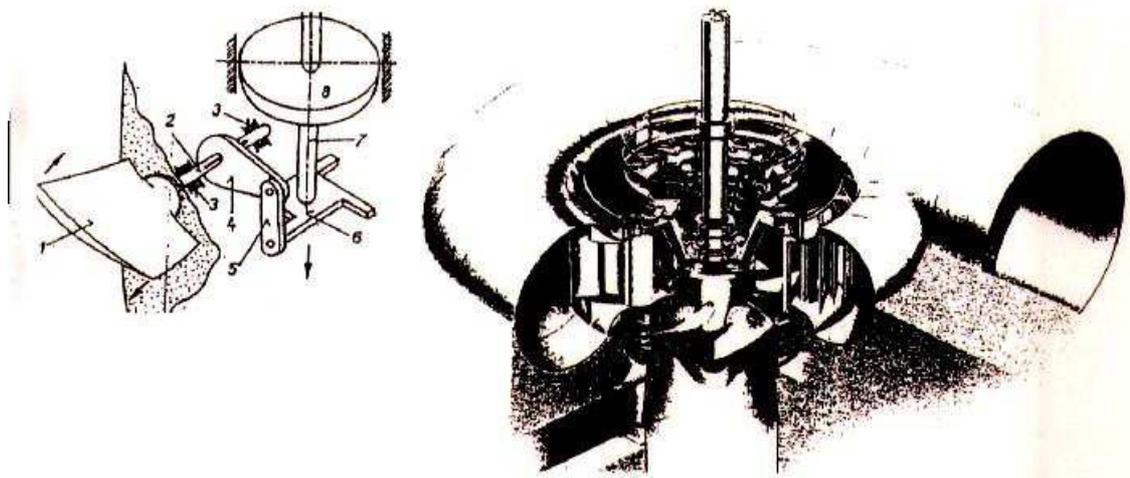


Obrázek č. 8 Kaplanova vrtulová turbína (<http://www.absolventi.gymcheb.cz>).

#### 5.6.5 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína patří mezi přetlakové turbíny. Tento typ je nejvíce vhodný pro MVE z důvodu možnosti využití spádu od 1,5 m a širokého rozsahu průtoků.

Vychází z konstrukce Propelerovy vrtulové turbíny, ale na rozdíl od vrtulové turbíny má mechanismus natáčení lopatek oběžného kola. Dá se tedy regulovat za plného provozu. To z ní činí specialistu na kolísavé spády a průtoky. Náročnost konstrukce se ale promítne v ceně soustrojí. Uložení může být horizontální i vertikální. Nejrozšířenější typ turbíny na Vltavské kaskádě (HOLATY, 2002), (GABRIEL et al. 1992)

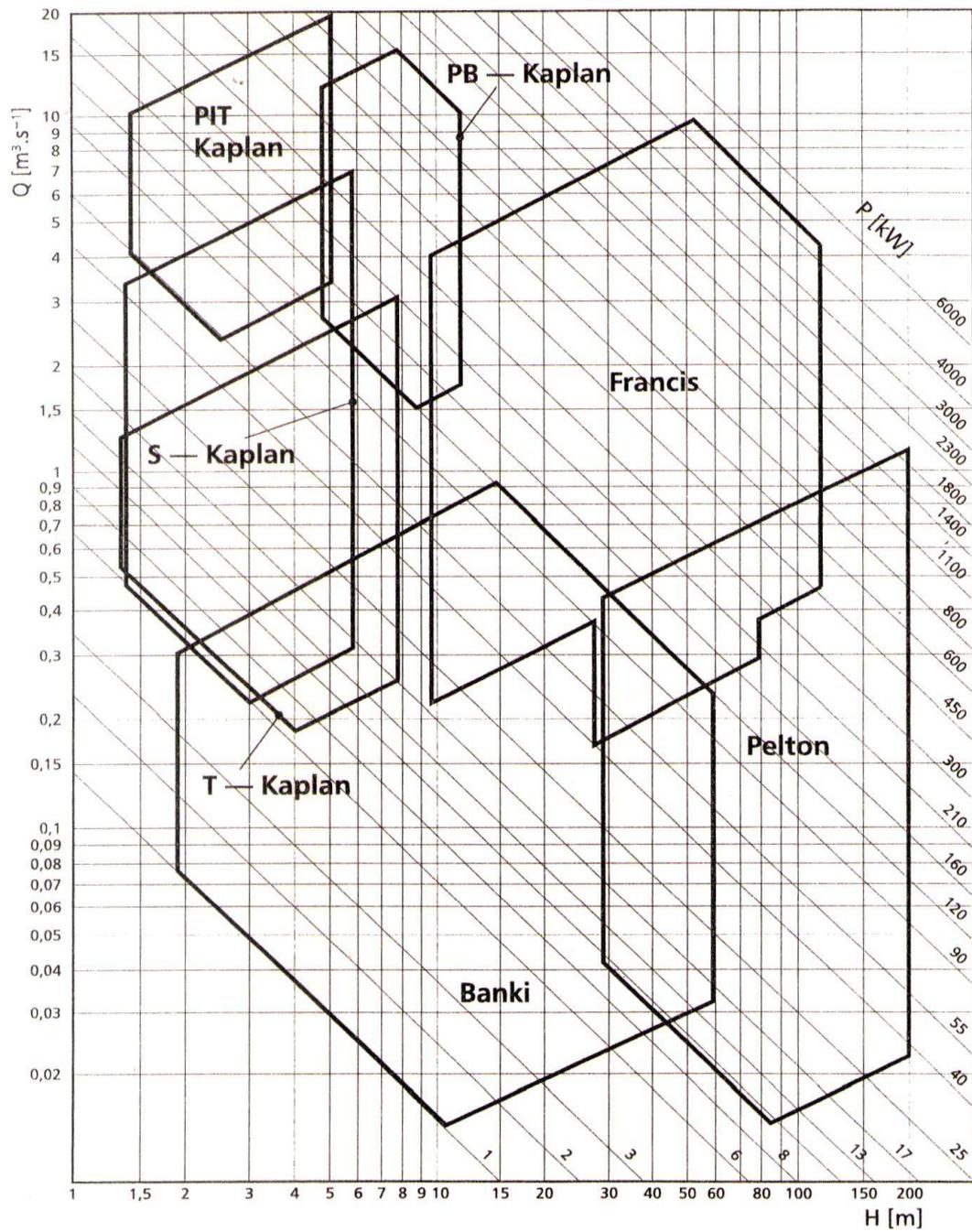


Obrázek č. 9 Kaplanova vertikální turbína se spirálou (GABRIE a KUČEROVÁ, 1995).

### 5.6.6 Reverzibilní turbíny

Jsou to výhradně přetlakové turbíny. Reverzibilní znamená, že při změně otáčení turbíny pracuje jako čerpadlo. Využití je především v přečerpávacích elektrárnách.

## 5.6.7 Rozsahy použití turbín



Obrázek č. 10 Pracovní diagram turbín firmy ČKD Turbo Technics (HODAK a DUŠIČKA, 1998).

## 6. Lokalita Dobronice u Bechyně

### 6.1 Dobronice u Bechyně

Nejprve popíšu lokalitu MVE Dobronice u Bechyně. Toto dílo jsem si vybral pro názornou ukázkou kombinace třech soustrojí. Tato lokalita je v provozu od roku 1998. MVE zrekonstruoval pan Zdeněk Švehla. Pan Švehla zde instaloval 3 turbíny (2 x Thoman a 1 x Francis).

### 6.2 Popis lokality

Vodní dílo se nachází v obci Dobronice u Bechyně v Jihočeském kraji, okres Tábor. Zhruba 18 km jižně od města Tábor. Nachází se v geologické oblasti jednotvárného moldanubika, svorové ruly, pararuly až migmatiti. Typ krajiny podle využití – lesozemědělské krajiny. Typ krajiny podle reliéfu – krajiny zaříznutých údolí. (<http://www.geoportal.gov.cz>).

Vodní dílo je situováno na pravém břehu toku Lužnice na 20,0 říčním kilometru v budově bývalého mlýna. Nedaleko se nachází kamenný hrad z počátku 14. století. Vodní dílo se nachází v klimaticky oblasti MT4 – mírně teplý, vlhký vrchovinný. Průměrná roční teplota 5-8°C, průměrný roční úhrn srážek 400-500 mm, pravděpodobnost suchých vegetačních období 25-35 %, vláhová jistota 2-4. (<http://www.chmi.cz>). Nenachází se v CHKO ani v žádném jinak chráněném území. Lokalita neodporuje žádným požadavkům na životní prostředí.



Obrázek č. 11 Označená obec Dobronice u Bechyně (<http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/>).

### 6.3 Popis stávajícího vodního díla

### **6.3.1 Rozdělení dle ČSN 73 6881**

- podle umístění - jezová
- podle uspořádání - krytá
- podle provozovatele - soukromá
- podle spádu - nízkotlaká
- podle instalovaného výkonu – vodní minielektrárna kategorie II třídy B
- podle řízení provozu bezobslužná s denní kontrolou (mobilní průběžné)

### **6.3.2 Vzduovací stavba**

Vzdouvací stavba je tvořena tělesem šikmého jezu. Na koruně je pohyblivý segment ovládaný pneumatickým měchem.

### **6.3.3 Vtokový objekt**

Vtokový objekt je umístěn do zářezu v břehu řeky. Je opatřen nornou stěnou a hrubými česlemi

### **6.3.4 Přivaděč**

Beztlakový nekrytý přivaděč, opatřen dvojicí stavidel. První jsou spouštěna ručně. Druhá jsou spouštěna hydraulicky. Před vtokem do turbíny jsou jemné česle.

### **6.3.5 Odpadní kanál**

Beztlakový nekrytý dlouhý cca 150m

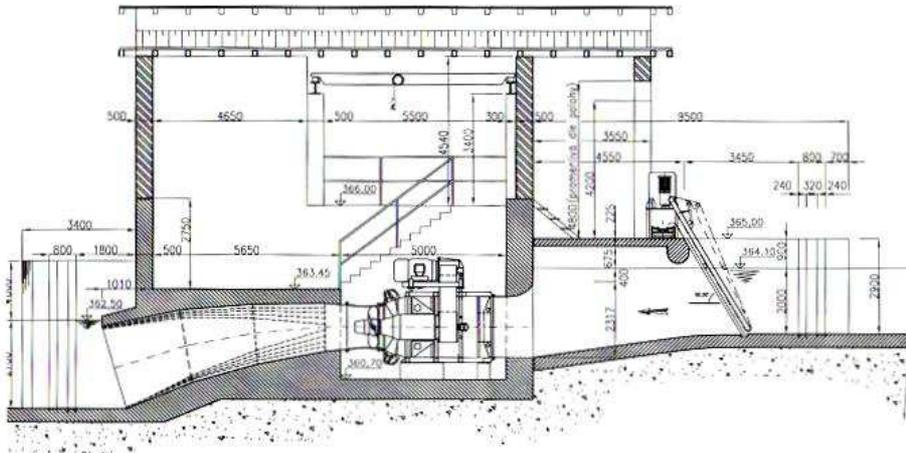
### **6.3.6 Parametry MVE**

- spád – 2 m,
- průměrný průtok - 22 m<sup>3</sup>/s,
- počet soustrojí – 3 ks,
- typ turbín - 2 x přímoproudá turbína Thomanova po 55 kW, Francisova turbína firmy Prokop 110 kW,
- průměr oběžného kola - turbína Thomanova 1290 mm,
- řemenový převod
- průměr oběžného kola - Francisova turbína firmy Prokop 2300 mm
- řemenový převod
- celkový instalovaný výkon 220 kW

V MVE jsou 2 x přímoproudá turbína Thomanova s neregulovatelným rozváděcím kolem s oběžným kolem regulovatelným za klidu. Výkon obou je 55 kW. Nové stroje byly spuštěny do provozu roku 1998. Dále se tam nachází Francisova turbína firmy Prokop 110 kW. Má regulovatelné rozváděcí kolo. Byla Repasovaná v roce 1998. Má průměrem oběžného kola 2300 mm. Spuštěná do provozu roku 1999.

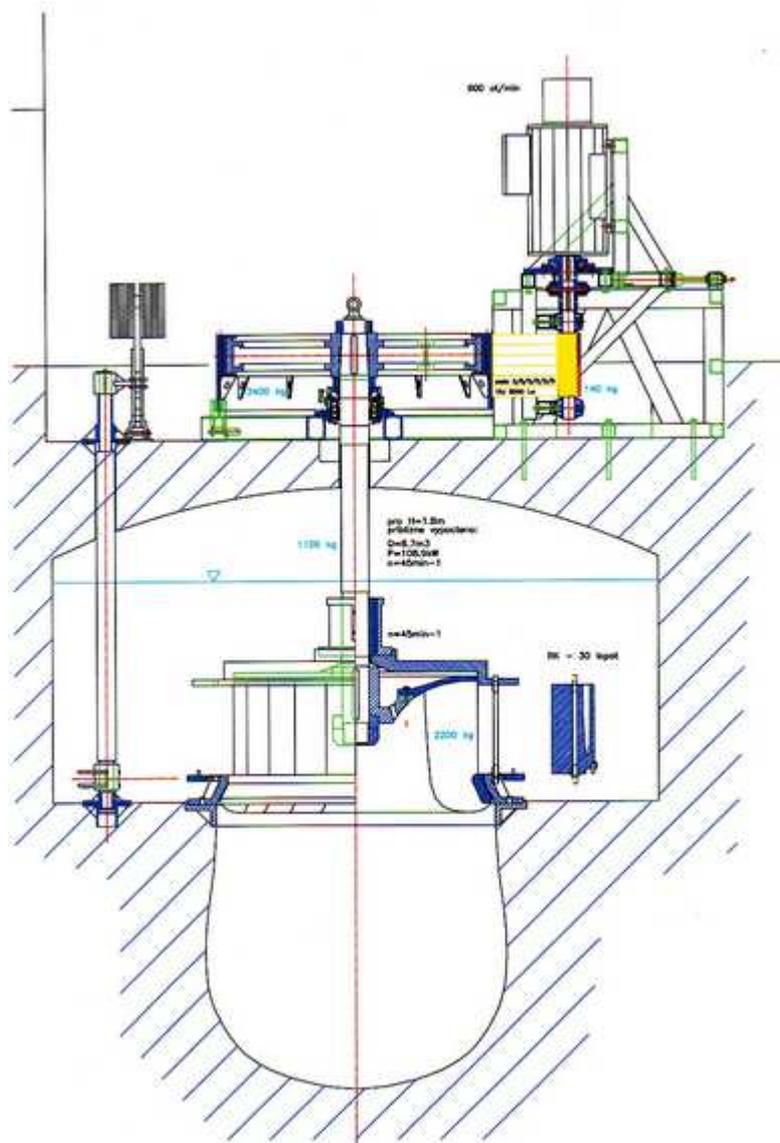
### 6.3.7 Řez Thomanovou turbínou

#### PODELNY REZ HYDRAULICKYM SYSTEMEM MVE M 1:100



Obrázek č. 12 Řez Thomanovou turbínou (technická dokumentace Švehla, 2012)

### 6.3.8 Řez Francisovou turbínou



Obrázek č. 13 Řez Francisovou turbínou (technická dokumentace Švehla, 2012.)

## 7. Návrh obnovy MVE

### 7.1 Lokalita Toušice

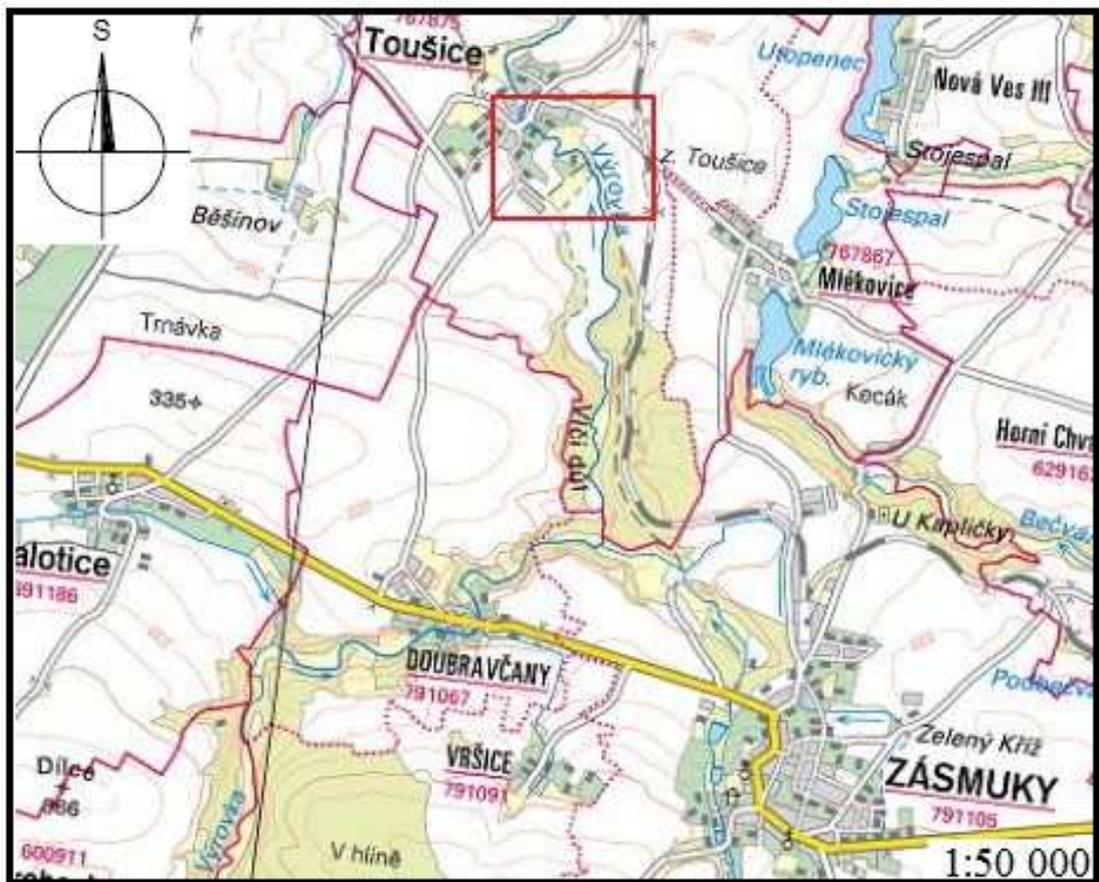
První zmínky o Toušickém mlýnu jsou z roku 1860. Další zmínka je z roku 1930, kdy byl vytvořen seznam vodních děl pro potřeby daňového důchodkového úřadu. Majitelem v té době byl pan Josef Mikolášek. Vodní dílo plnilo funkci mlýnu. Byla zde instalována dvě kola na svrchní vodu. Mlýn byl roku 1936 zmodernizován. Dvě kola na svrchní vodu vystřídala jedna Francisova turbína. Mlýn zanikl v roce 1958. Mým zájmem je obnovit stávající vodní dílo.

#### 7.1.1 Popis lokality

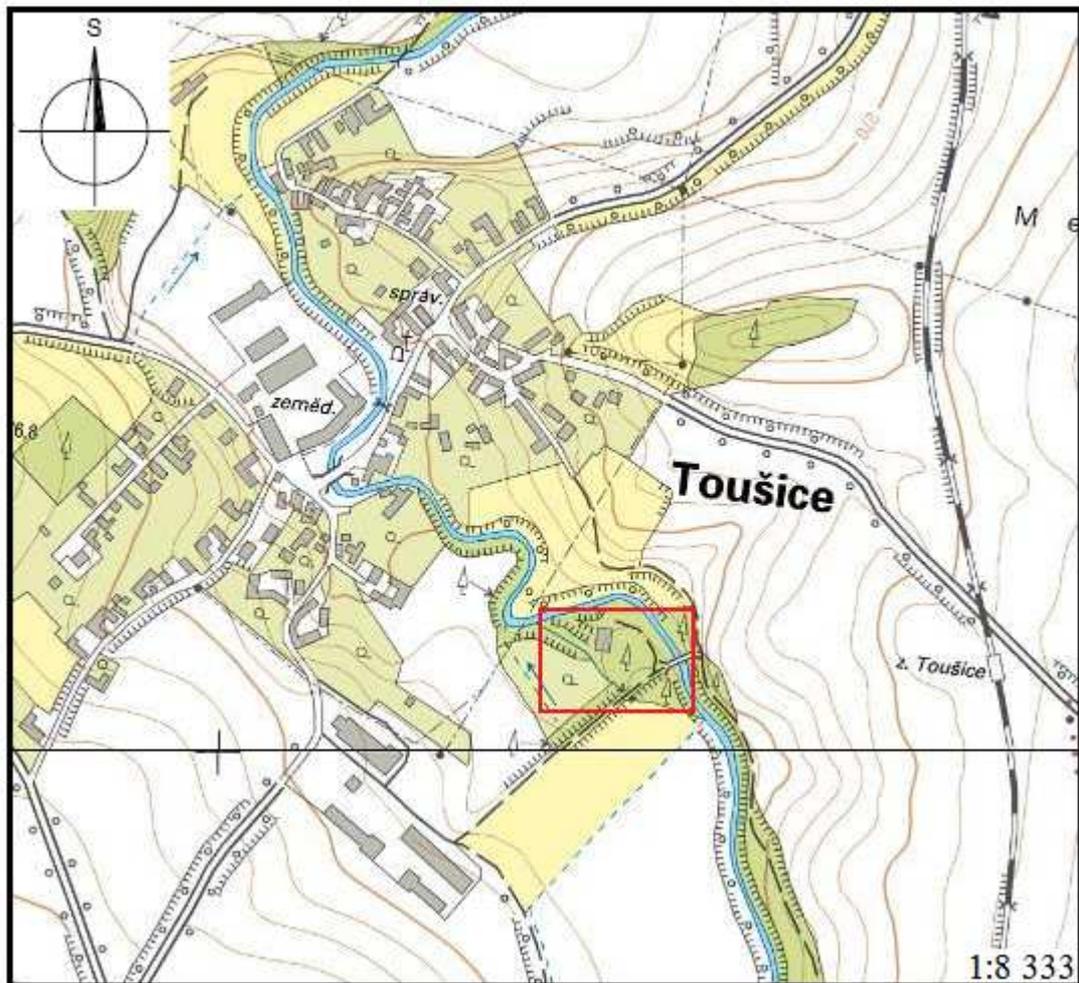
Vodní dílo se nachází v obci Toušice ve Středočeském kraji, okres Kolín. Zhruba 20 km západně od města Kolín. Nachází se v geologické oblasti ortoruly, granulitů a velmi pokročilých migmatitů v moldanubiku a proterozoiku. Typ krajiny podle využití – zemědělské krajiny. Typ krajiny podle reliéfu – krajiny plošin a pahorkatin. (<http://www.geoportál.gov.cz>).

Vodní dílo je situováno na levém břehu toku Výrovka asi 1000m nad obcí Toušice proti směru proudu v rozbořenině bývalého mlýna. Nedaleko se nachází kamenný historický most z počátku 18. století, který byl součástí hrázového tělesa rybníku. Most je zapsán jako kulturní památka. Rybník byl vypuštěn na konci 18. století, od té doby hráz neplní svůj účel. (<http://www.libri.cz>).

Vodní dílo se nachází v klimaticky oblasti T2 – teplá mírně suchá. Průměrná roční teplota 8-9°C, průměrný roční úhrn srážek 500-600mm, pravděpodobnost suchých vegetačních období 20-30%, vláhová jistota 2-4. (<http://www.chmi.cz>). Nenachází se v CHKO ani v žádném jinak chráněném území. Lokalita neodporuje žádným požadavkům na životní prostředí.



Obrázek č. 14 Označená obec Toušice (<http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/>).



Obrázek č. 15 Bližší pohled na lokalitu Toušice (<http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/>)

### 7.1.2 Popis stávajícího vodního díla

Stávající vodní dílo leží na toku Výrovka na 33,7 říčním kilometru. Spád vytváří z velké části skalní masiv, po kterém potok teče. Na vrchu masivu stojí kamenný most s pěti oblouky z 18. století, který byl součástí tělesa hráze. Na koruně hráze vede polní cesta.

**Vzdouvací stavba** se nachází ve třech obloucích. Tvoří jí fošny usazené v drážkách paty mostních oblouků.

**Vtokový objekt** byl tvořen bočním odběrem. Nacházel se na levém břehu 1m za mostní konstrukcí, v současné době je zrušen.

**Přivaděč** (náhon) o délce 67m byl beztlakový, nekrytý a zaříznutý do terénu. Součástí náhonu byl mostek, pod kterým náhon vedl. V současné době je náhon částečně zasypán a mostek zbořen. Typ malé vodní elektrárny je kašnový.

**Kašna** je částečně porušena v horní části. Dolní části je částečně zasypána. Vývar pod kašnou není porušen.

Instalovaný vodní **stroj** je typ Francisovy horizontální turbíny s mokrou savkou. Stroj je zcela zničen.

**Spodní stavba** nejeví známky statického narušení.

**Horní stavba** je však zcela zničena. Strojovna je také zničena.

**Odtokový kanál** je dlouhý 109m a je z 1/3 zasypan.

### 7.1.3 Parametry stávající turbíny

Z naměřených hodnot na stroji jsem určil typ a parametry vodního stroje:

- Francisova horizontální kašnová turbína se suchou savkou,
- instalovaný stroj – 1ks,
- přetlaková,
- typ normální se specifickými otáčkami –  $n_s$  120-220 ot/min,
- průměr oběžného kola 300 mm,
- návrhový spád 5,7 m,
- návrhový průtok 0,290 m<sup>3</sup>/s,
- otáčky v rozmezí 400-500 ot./min,
- převod pravděpodobně řemenový.

**Tabulka č. 6 Parametry Francisovy normální turbíny**  
(LAIKA, (<http://www.mve.energetika.cz>))

ns=202	spád H [m]								
	2	3	4	5	6	8	10	12	
prům. Ds 300 [mm]	115	140	162	182	198	229	256	280	hltnost Q [litr./sec.]
	312	383	442	494	541	625	700	766	otáčky n [ot./min.]
	2	3,6	5,6	7,8	10,2	15,7	22	28,9	výkon P [kW]

Tento typ turbíny se v minulé době často používal hlavně u malých zdrojů. Dnes by však na takovéto lokalitě nebyl tento typ instalován a to z důvodu značné citlivosti na kolísavý spád a průtok.

### 7.1.4 Hydrologické údaje o povodí Výrovka

Vodní dílo se nachází na levém břehu toku Výrovka. **Výrovka** je levý přítok Labe. Vzniká soutokem Bečvářky a Kouřimky u obce Plaňany. Významným přítokem je Šembera (levostranný přítok ve Zvěřínku), Střebovka (levostranný přítok v Kouřimi), Blinka (pravostranný přítok v Plaňanech). Do Labe ústí v říčním kilometru 163,0 v malé obci Písty. Směr toku Výrovka je severní. Tok je dlouhý 65,3km. Odvádí vodu z povodí o rozloze 517,6 km<sup>2</sup>. Průměrná roční srážka je 642mm. Průměrný roční průtok je 1,95 m<sup>3</sup>/s. Koeficient odtoku z povodí je 0,185. Specifický odtok 3,8 l/s z 1 km<sup>2</sup>. Povodí **Kouřimky** má rozlohu 172,4km<sup>2</sup> a průměrný průtok 0,70 m<sup>3</sup>/s.

Pramení pod jménem Anenský potok u Kochánova jižně od Uhlířských Janovic v nadmořské výšce 470m. Protéká Vavříneckým rybníkem. Od něj se nazývá Vavřínecký potok. Dále pak teče skrz obec Toušice, kde se nachází zájmová lokalita. Pod městem Kouřim přebírá jméno Kouřimka. (KOVÁŘÍK, 1951)

Tabulka č. 7 Hydrologický seznam podrobného členění vodních toků Převzato z ČHMU 2012).

Číslo hydrologického pořadí (ČHP) dílčího povodí	Název hlavního vodního toku v dílčím povodí	ČHP dílčího povodí recipientu	ČHP pramenného povodí	Plocha dílčího povodí [km <sup>2</sup> ]	Plocha povodí k profilu nad zaústěním [km <sup>2</sup> ]
1-04-06-0120	Barchovický potok	1-04-06-0130	1-04-06-0120	11.020	11.020
1-04-06-0130	Výrovka	1-04-06-0150	1-04-06-0010	5.081	107.063
1-04-06-0140	Malotický potok	1-04-06-0150	1-04-06-0140	6.685	6.685
1-04-06-0150	Výrovka	1-04-06-0170	1-04-06-0010	3.786	117.534
1-04-06-0160	Špandava	1-04-06-0170	1-04-06-0160	5.666	5.666
1-04-06-0170	Výrovka	1-04-06-0190	1-04-06-0010	10.307	133.507
1-04-06-0180	Kouřimka	1-04-06-0190	1-04-06-0180	12.425	12.425
1-04-06-0190	Výrovka	1-04-06-0270	1-04-06-0010	27.989	173.921
1-04-06-0200	Bečvářka	1-04-06-0220	1-04-06-0200	3.728	3.728

### 7.1.5 Vybraná data pro návrh

- Hydrologické pořadí 1-04-06-170
- Plocha povodí 133,507 km<sup>2</sup>
- Průměrná srážka 696 mm
- Rozdíl srážek z odtoku 523mm
- Odtok 173 mm
- Odtokový součinitel 0,25
- Specifický odtok 5,5 l/s.km<sup>2</sup>
- Průměrný průtok 0,64 m<sup>3</sup>/s
- Spád využitelný vodní elektrárnou 5,7 m

Tabulka č. 8 M - denní průtoky Q<sub>Md</sub> ČHMU Praha

Průtoky překročené průměrně po M dnů v roce ( Doubravčany vodočet)							
m [dní]	30	90	180	270	330	355	364
Q <sub>Md</sub> [ m <sup>3</sup> /s]	1,49	0,66	0,33	0,16	0,1	0,07	0,03

Tabulka č. 9 N - leté průtoky Q<sub>N</sub> ČHMU Praha

Velká voda dosažená nebo překročená průměrně jednou za N- let ( Doubravčany vodočet)							
N [roky]	1	2	5	10	20	50	100
Q <sub>N</sub> [m <sup>3</sup> /s]	7	9	13	18	24	35	47

## 7.2 Využitelný hydroenergetický potenciál lokality Toušice

Hydroenergetický potenciál dělíme na **teoretický** a **reálně využitelný**. Teoretický počítáme podle vzorce

$$P = 9,81 * Q * H \text{ [kW]}$$

kde Q je průtok v [ m<sup>3</sup>/s], H je spád v [m ].(GABRIEL et al. 1998)

Reálně využitelný potenciál P<sub>r</sub> v České republice představuje 40-50% potenciálu teoretického. Teoretickou výrobu elektrické energie vypočítáme podle vzorce

$$A = P * T \text{ [kWh]}$$

kde P je výkon v [ kW] a T je čas v [h ]. (GABRIEL et al. 1998)

Pomocí těchto vzorců a návrhového spádu 5,7 m vypočítáme hodnoty v následující tabulce.

**Tabulka č. 10 teoretická a reálný potenciál lokality (Toušice historická data ČVUT)**

Využitelný potenciál lokality Toušice							
M [dní]	30	90	180	270	330	355	364
Q <sub>Md</sub> [ m <sup>3</sup> /s]	1,49	0,66	0,33	0,16	0,1	0,07	0,03
P <sub>t</sub> [ kW]	83,32	36,91	18,45	8,95	5,59	3,91	1,68
A <sub>t</sub> [kWh]	59987,8	79715,3	79715,3	57974,7	44286,3	33348,9	14654,7
ΣP <sub>t</sub> [ kWh/rok]	369682,9						
P <sub>r</sub> 50% [ kW]	41,66	18,45	9,23	4,47	2,80	1,96	0,84
A <sub>r</sub> [kWh]	29993,9	39857,6	39857,6	28987,4	22143,1	16674,4	7327,4
ΣP <sub>r</sub> [ kWh/rok]	<b>184841,47</b>						

Kde Q<sub>Md</sub> je M - denní průtok [ m<sup>3</sup>/s], P<sub>t</sub> je teoretický výkon v [ kW], A<sub>t</sub> je teoretická výroba za čas [kWh], ΣP<sub>t</sub> je teoreticky celkově vyrobené množství energie za rok v [ kWh/rok], P<sub>r</sub> je reálný výkon v [ kW], A<sub>r</sub> je reálná výroba za čas [kWh], ΣP<sub>r</sub> je celkově reálně vyrobené množství energie za rok v [ kWh/rok].

## 7.3 Určení vhodné turbíny

Pro určení turbíny musíme nejdříve určit základní parametry. Základní parametry jsou:

- spád, který se značí H [m],
- průtok, který se značí Q [ m<sup>3</sup>/s].

### 7.3.1 Spád

V našich výpočtech budeme počítat s hrubým spádem. Pro přesnější výpočty se používá spád čistý, který je zmenšen o výškové ztráty:

- pokles hladiny na vstupu do náhonu,
- rozdíl hladin mezi začátkem a koncem náhonu,
- rozdíl hladin před česlemi a za česlemi,

- tlakovou ztrátu v přívodním potrubí,
- rozdíl hladin na začátku a na konci odpadního kanálu (LAIKA, <http://www.mve.energetika.cz> cit 13.4 2012).

**Hrubý spád na naší lokalitě je 5,7 m**

### 7.3.2 Průtok turbínou

Průtok jsem určil podle 180 denního průtoku  $Q_{180}=0,33$  [ m<sup>3</sup>/s]. Od tohoto průtoku musíme odečíst sanitární průtok. Sanitární průtok je průtok, který musíme ponechat v korytě řeky. Volí se podle 364 denního průtoku  $Q_{364}=0,03$  [ m<sup>3</sup>/s]

Vzorec

$$Q_V = Q_{180} - Q_{364}[\text{m}^3/\text{s}]$$

Výpočet

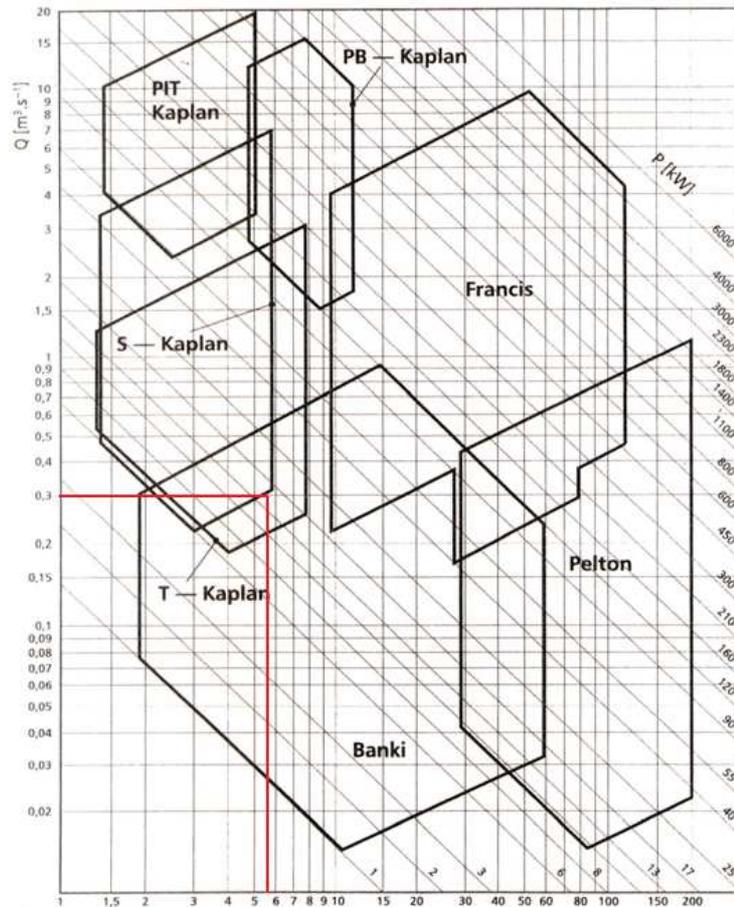
$$0,33 - 0,03 = 0,3[\text{m}^3/\text{s}]$$

**Průtok turbínou je 0,3 m<sup>3</sup>/s.**

### 7.3.3 Určení stroje

Stroj určíme podle pracovního diagramu turbin, viz obrázek č. 14.

Z diagramu vychází dva možné typy turbin. První typ je T-Kaplan Thomanova turbína s regulovatelnými lopatkami oběžného kola a s pevnými rozváděcími lopatkami. Druhý typ je Bánkiho turbína, ta je popsána v předchozí kapitole 5.6.2. Thomanova turbína není vhodná na lokalitu s častým kolísáním hladiny a spádu. Pořizovací cena Thomanovy turbíny je vysoká. Proto volím Bánkiho turbínu a to z důvodu nižších pořizovacích nákladů a schopnosti pracovat s kolísavým spádem a průtokem.



Obrázek č. 16 Pracovní diagram turbin firmy ČKD Turbo Technics (HODAK a DUŠIČKA, 1998).

## 7.4 Parametry stroje

### 7.4.1 Vstupní parametry

Pomocí vstupních parametrů určíme soustrojí MVE.

- Průtok  $0,3 [m^3/s]$
- Spád Hrubí spád  $5,7 [m]$

### 7.4.2 Turbína

Těmto vstupním parametrům vyhovuje turbína Bánki- univerzálního provedení – Kovopodnik Brno.

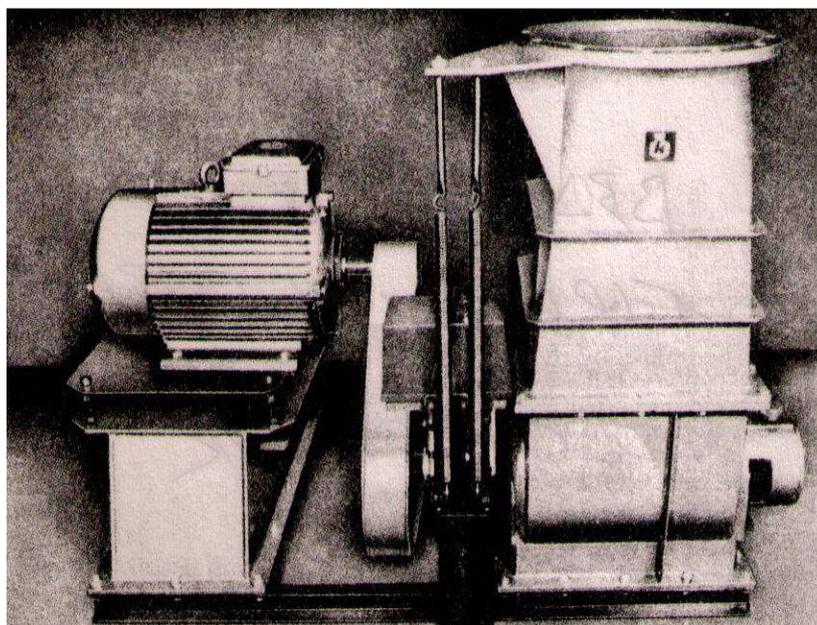
Tabulka č. 11 parametry Bánkiho turbíny Kovopodnik Brno (HOLATA, 2002)

Bánki 30/50 U (D=300 [mm], B=500 [mm]) Kovopodnik Brno				
H [m]	Q [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	$n_t [min^{-1}]$	$P_t [kW]$	$P_G [kW]$
2	0,189-0,094	207	2,7-1,3	1,9-0,75
3	0,232-0,116	254	4,9-2,4	3,8-1,7
4	0,268-0,134	294	7,6-3,8	5,9-2,75
5	0,298-0,149	312	10,6-5,3	8,2-3,9

Banki 30/50 U (D=300 [mm], B=500 [mm]) Kovopodnik Brno				
6	0,327-0,163	342	13,9-6,9	12,5-6,05
7	0,354-0,177	370	17,6-8,8	14,2-6,9
8	0,378-0,189	395	21,5-10,7	17,4-8,5
9	0,402-0,201	420	25,7-12,8	21,5-10,55
10	0,423-0,231	442	30,0-15,0	25,4-12,5
12	0,463-0,231	460	39,5-19,7	33,4-16,5

H je spád v [m], Q je průtok v  $[m^3 \cdot s^{-1}]$ ,  $n_t$  jsou otáčky turbíny v  $[min^{-1}]$ ,  $P_t$  je výkon turbíny v [kW],  $P_G$  je výkon generátoru [kW], D je průměr oběžného kola v [mm], B je šířka oběžného kola v [mm].

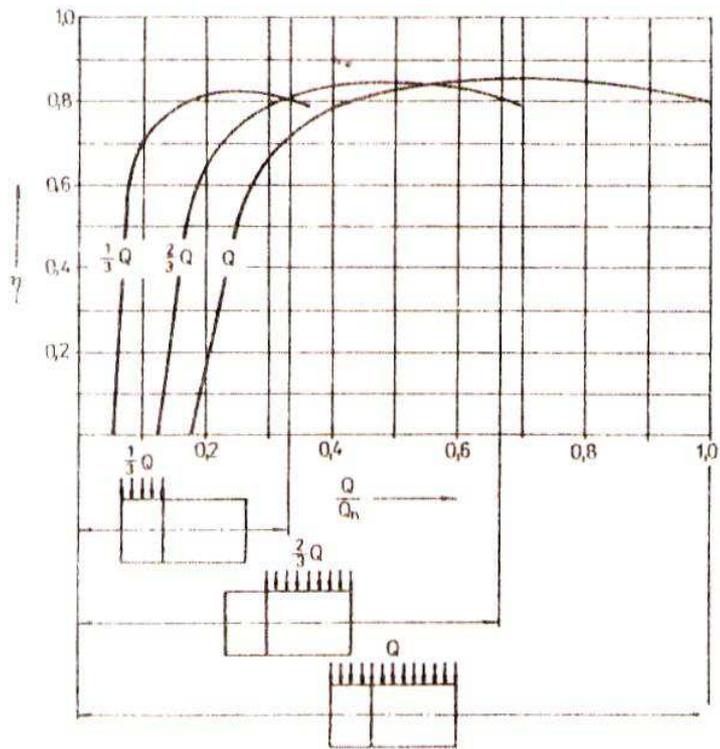
Soustrojí se skládá z generátoru řemenového převodu a regulační klapky. Všechny části soustrojí jsou usazeny na desce do rámu a tvoří kompaktní celek. Účinnost soustrojí se pohybuje v rozmezí 62-76 %. Účinnosti 76 % lze podle výrobce dosáhnout použitím savky. (HOLATA, 2002). V našem případě bude savka použita.



Obrázek č. 17 Celkový pohled na soustrojí Bánkiho turbíny (BEDNÁŘ, 1989).

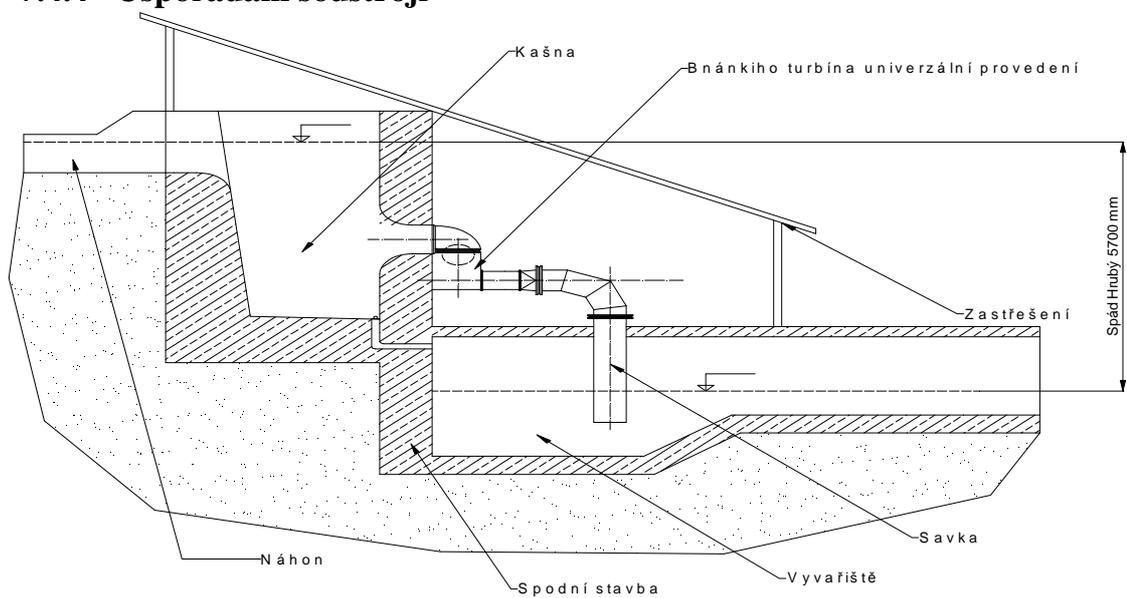
### 7.4.3 Regulace-účinnost

Regulace průtoku a výkonu Bánkiho provádíme regulační klapkou nebo posuvným segmentovým uzávěrem. Pro dosažení optimální účinnosti, je regulační segment dělen po své délce analogicky jako oběžné kolo. Dělení se používá v poměru (1/3 a 2/3). Každý segment můžeme regulovat samostatně. Dosáhneme tím plynulé regulace průtoku a ploché křivky průběhu účinnosti v našem případě budeme počítat s účinností  $\eta = 69\%$ . (BEDNÁŘ, 1989).



Obrázek č. 18 Průběh účinnosti Bánkiho turbíny (BEDNÁŘ, 1989)

#### 7.4.4 Uspořádání soustrojí



Obrázek č. 19 Schéma MVE Toušice s Bánkiho turbínou (zdroj : autor)

## 7.5 Odhad Roční výroby elektrické energie

### 7.5.1 Průtok využitelný

Průtok jsem určil podle 180 denního průtoku  $Q_{180}=0,33$  [ m<sup>3</sup>/s]. Od tohoto průtoku musíme odečíst sanitární průtok. Sanitární průtok je průtok, který musíme ponechat v korytě řeky. Volí se podle 364 denního průtoku  $Q_{364}=0,03$  [ m<sup>3</sup>/s] vše je popsáno v kapitole 7.3.2

### 7.5.2 Průtok turbínou

Ve 180 denním intervalu použijeme poměr 3/3 to znamená plnou hlnost turbíny  $Q_T = 0,298$  m<sup>3</sup>/s. V 90 denním intervalu pak 1/3 hlnosti. Dosáhneme tím plynulé regulace průtoku při stejné účinnosti 69 %.

Výpočet

$$(0,298 \div 3) * 1 = 0,09 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

### 7.5.3 Výkon MVE

Výkon malé vodní elektrárny vypočítáme podle vzorce

$$P_{VE} = 9,81 * Q_T * H * \eta_S$$

$P_{VE}$  je výkon vodní elektrárny v [ kW],  $Q_T$  je průtok turbínou nebo také hlnost turbíny v [ m<sup>3</sup>/s],  $\eta_S$  je účinnost soustrojí v [%], H je spád v [ m].

### 7.5.4 Množství vyrobené energie

Množství vyrobené energie A v [kWh] se vypočítá podle vzorce

$$A = P_{VE} * T \text{ [ kWh ]}$$

A vyrobené množství elektrické energie v [kWh],  $P_{VE}$  je výkon vodní elektrárny v [ kW], T je čas v [ hod].

### 7.5.5 Odhad roční výroby elektrické energie lokalita Toušice

Tabulka č. 12 Odhad roční výroby elektrické energie lokalita Toušice

Odhad roční výroby energie Bánkiho turbíny lokality Toušice							
m[dní]	30	90	180	270	330	355	364
$Q_{Md}$ [ m <sup>3</sup> /s]	1,49	0,66	0,33	0,16	0,1	0,07	0,03
$Q_v$ [ m <sup>3</sup> /s]	1,46	0,63	0,3	0,13	0,07	0,04	0
H [ m]	5,7	5,7	5,7	5,7	MIMO PROVOZ		
$Q_T$ [ m <sup>3</sup> /s]	0,298	0,298	0,298	0,099			
$\eta_S$ [%]	69,00	69,00	69,00	69,00			
$P_{VE}$ [ kW]	11,5	11,5	11,5	3,8			
T [ hod]	180*24=4320			90*24=2160			
$A_C$ [ kWh]	57920,4						

Kde  $Q_{Md}$  je m - denní průtok [  $m^3/s$  ],  $P_{VE}$  je výkon vodní elektrárny v [ kW ],  $Q_v$  je průtok využitelný [  $m^3/s$  ],  $H$  je spád v [ m ],  $Q_T$  je průtok turbínou nebo také hltnost turbíny v [  $m^3/s$  ],  $\eta_s$  je účinnost soustrojí v [ % ],  $P_{VE}$  je výkon generátoru v [ kW ],  $A_C$  celkové vyrobené množství elektrické energie v [ kWh ].

Celkové vyrobené množství elektrické energie je 57920,4 kWh.

## 8. Ekonomické zhodnocení

### 8.1 Náklady na rekonstrukci MVE Toušice

#### 8.1.1 Stavební části

Vyčištění přívodního a odpadního kanálu bude nejnákladnější položkou. Odhadovaná cena výkopových prací je 180 000 Kč. Oprava vzdouvací stavby - odhadovaná cena 40 000 Kč. Výstavba vtokového objektu, hrubých česlí, jemných česlí - odhadovaná cena 100 000 Kč. Rekonstrukce spodní stavby a horní stavby - odhadovaná cena 100 000 Kč. Vybudování kryté strojovny - odhadovaná cena 50 000 Kč.

#### 8.1.2 Strojovna

Cena Soustrojí Bánkiho turbíny Kovopodnik Brno se pohybuje v rozmezí 40 000 až 80 000 Kč. Turbína se již nevyrábí lze jí zakoupit pouze z inzerce. Součástí soustrojí je řemenový převod, generátor, regulace, Bánkiho turbína. Součástí soustrojí není savka - odhadovaná cena 10 000 Kč. Elektrická zařízení - odhadovaná cena 100 000 Kč

#### 8.1.3 Projekt

Cena vyhotovení projektu - odhadovaná cena 100 000 Kč.

#### 8.1.4 Provozní náklady

Odhad provozních nákladů  $P_N$  na jeden rok 30 000 Kč.

#### 8.1.5 Celkové odhadované náklady

Tabulka č. 13 Celkový odhad nákladu  $C_N$

Položka	cena
Projekt	100 000,00 Kč
Stavební část	470 000,00 Kč
Strojovna	290 000,00 Kč
celkem	860 000,00 Kč

### 8.2 Výkupní ceny za elektrickou energii

#### 8.2.1 Garantovaná výkupní cena

Garantovaná výkupní cena je cena, na kterou má provozovatel ze zákona nárok, pokud elektřinu vyrobenou v MVE prodá do rozvodné sítě. Provozovatel sítě má od vás povinnost odkoupit veškerou vyrobenou energii právě za tuto garantovanou cenu. Výši garantované ceny určuje Energetického regulačního úřadu. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011ze dne 23. listopadu 2011, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie,

kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů. Výkupní ceny a zelené bonusy pro malé vodní elektrárny jsou uvedeny v tabulce:

**Tabulka č. 14** Výkupní ceny elektrické energie (<http://www.eru.cz>)

Zdroj	Výkupní cena	Zelený bonus
<b>Vodní elektrárny</b>		
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	3,19 Kč za kWh	2,14 Kč za kWh
<b>Větrné elektrárny</b>		
Větrná elektrárna uvedená do provozu od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	2,23 Kč za kWh	1,79 Kč za kWh
<b>Fotovoltaika</b>		
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj s instalovaným výkonem do 30 kW včetně a uvedený od 1. ledna 2012 do 31. prosince 2012	6,16 Kč za kWh	5,08 Kč za kWh

### 8.2.2 Zelený bonus

V tabulce se objevuje sloupec s označením zelený bonus. Zelený bonus je příplatek k tržní ceně elektřiny, který může získat výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů elektřiny. Systém zelených bonusů je zakotven v zákoně č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. Výše zeleného bonusu v Kč/MWh je pro každý druh obnovitelného zdroje každoročně upravována a zveřejněna v cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu. (<http://www.czechsolar.cz>)

## 8.3 Tržba za vyrobenou energii

### 8.3.1 Tržba

Odhad celkového vyrobeného množství elektrické energie  $A_C$  za rok je 57920,4 [kWh]. Výkupní cena  $V_C$  je pro rok 2012 stanovena na hodnotu 3,19 Kč za kWh

$$Tržba = A_C * V_C$$

$$57920,4 * 3,19 = 184\,766 \text{ Kč/rok}$$

Celková tržba za vyrobenou energii  $C_T$  je 184 766 Kč/rok.

## 8.4 Doba odhadu návratnosti investice

Doba návratnosti investice  $D_N$ , Celkový odhad nákladu  $C_N$ , Celková tržba  $C_T$ , Odhad provozních nákladu  $P_N$ .

$$D_N = \frac{C_N + (5 * 30\ 000)}{C_T}$$

$$\frac{860\ 000\ K\check{c} + (5 * 30\ 000)}{184\ 766\ K\check{c}} = 5,46\ let$$

Odhad doby návratnosti investice podle zjednodušeného výpočtu je 5,5 let.

## 9. Diskuse

### Malá vodní elektrárna

Lokalita Toušice je vhodné místo na obnovení malé vodní elektrárny. Průtok zde sice není veliký, ale výhodou zmíněné lokality je na České poměry relativně veliký spád 5,7 metru. Další výhodou je část zachovalé Francisovy turbíny a poměrně zachovalá spodní i horní stavba, která významně snižuje náklad na rekonstrukci. Lokalita nabízí malý výkon, který určuje dobu návratnosti investice. Investice na obnovu MVE by měli být proto co možná nejnižší. Na lokalitu Toušice jsem navrhnul univerzální provedení Bánkiho turbíny Kovopodnik Brno z důvodu nízké pořizovací ceny. Bánkiho turbína má výhodu v jednoduchosti konstrukce, spolehlivosti v provozu a schopnosti využít široký rozsah průtoků. Tato turbína má nedostatky především v dosahování malé účinnosti. Kovopodnik Brno už dnes tuto univerzální turbínu nevyrábí a je k dostání pouze „z druhé ruky“, proto může být zakoupení tohoto typu turbíny obtížné.

Při zakoupení nového stroje je nutné počítat s navýšením nákladu na realizaci. Vhodným typem by byla Kaplanova turbína s polohovatelnými lopatkami oběžného kola. Tento typ dosahuje lepších výsledků ve všech ohledech, ale pořizovací cena nového i použitého stroje je velmi vysoká.

Další možností je repas stávající Francisovy turbíny. Francisova turbína, ale není vhodná na kolísavé průtoky. Další možností je kombinace dvou nebo tří různých turbín, které by byly schopny využít větší rozsah hydroenergetického potenciálu.

Například navrhovanou Bánkiho turbínu v kombinaci s repasovanou Francisovou turbínou a malou vrtulovou turbínou k využití malých průtoků. Tento návrh by vedl k zvýšení nákladů na realizaci v podobě jiného konstrukčního řešení a zvýšení množství vyrobené energie.

Příkladem je malá vodní elektrárna Dobronice u Bechyně, kde je kombinace tří strojů (2 x Thomanova a jedna Francisova turbína). Thomanovy turbíny jsou neregulovatelné a nejsou schopny pracovat v širokém rozsahu průtoků, ale dosahují větší účinnosti než Francisova turbína. Francisova turbína je regulovatelná, proto je schopna pracovat v širokém rozsahu průtoků. Kombinací soustrojí lze dosáhnout zkrácení období, kdy je malá vodní elektrárna mimo provoz.

V návrhu obnovy lokality Toušice není řešena konstrukce prvků malé vodní elektrárny. Podrobný návrh konstrukce částí MVN je důležitý pro celkovou efektivnost díla. Zejména konstrukce hrubých a jemných česlí, vtokového objektu, přívodního a odpadního kanálu a vzdouvací stavby.

## 10. Závěr

Česká republika není bohatá na fosilní zdroje energie, proto by se měla snažit využívat obnovitelné zdroje energie. Energie vyráběná v průtočných malých elektrárnách je v dlouhodobém průměru nejlevnější energií dodávanou do rozvodné sítě. Náklady na zbudování MVE mohou být vysoké, ale ekonomická životnost je několikanásobně delší, než doba návratnosti investice. Životnost malé vodní elektrárny se pohybuje mezi 25 - 30 lety, záleží na typu stroje a výrobci. V ekonomické části návrhu obnovy malé vodní elektrárny jsem vyčíslil dobu návratnosti na necelých 5,5 roku. Tento výsledek se jeví jako dobrá investice. Zjednodušený ekonomický návrh může být ale nepřesný, přesto si myslím, že budoucí investice je vhodná.

## 11. Přehled literatury a použitých zdrojů

- [1] BEDNÁŘ JOSEF., *Malé vodní elektrárny*, Praha 1989, 237str.
- [2] BROŽA V., GABRIEL., ČIHÁK F., KUČEROVÁ J., PROCHÁZKA A., *Využití vodní energie*, Praha 1990, 251str.
- [3] GABRIEL P., ČIHÁK F., KUČEROVÁ J., *Malé vodní elektrárny*, ČVUT Praha 1992, 178 str. ISBN 80-01-00875-4
- [4] GULLIVER JOHN S., ROGER E. A. ARNDT., *Hydropowerengineering handbook*, Print in the United Statesof America 1991 191 str
- [5] HODAK TOMÁŠ a DUŠIČKA PETR., *Malé vodné elektrárne*, Bratislava, 1998 Jaga group
- [6] HODÁK TOMÁŠ., *Využitie vodnej energie* Bratislava 1984, 343 str.
- [7] HOLATA MIROSLAV, *Malé vodní elektrárny- projektování a provoz*, Academia Praha, 2002, 271 str. ISBN 80-200-0828-4
- [8] HYNKOVÁ ELIŠKA., *Využití vodní energie, Vybrané statě 2*, VUT Brno 1983, 139 str. 55-552-84
- [9] JAKUBES J.,PIKÁLEK J., PROUZA L., *2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V PODMINKÁCH ČR*, Příručka obnovitelné zdroje energie, Hospodářská Komora České Republiky. říjen 2006
- [10] KALANDRA P., ČIHÁK F., GABRIEL P., *Malé vodní elektrárny*, Vydavatelství ČVUT Praha 1998, 321str. ISBN 80-01-01812-1
- [11] KOVAŘÍK FRANTIŠEK., *Vodopis Československého Labe se stručným přehledem jeho vodního režimu*, Praze – Podbabě 1951, 77str.
- [12] MOSONYI EMIL., *Low-HeadPowerplants*Budapest 1978 1074str
- [13] NOYES ROBERT., *Small and mikrohydroelktricpowerplants*, New Jersey ,USA 1980 455str ISBN 0-8155-0819-0
- [14] SMĚRNÝ VODOHOSPODÁŘSKÝ PLÁN ČSR – *Využití vodní energie*, Publikace SVP č. 36 MLVD ČSR, Praha 1989.
- [15] SHAW ROLAND., *Waveenergy a design challenge*, University liverpool 1982 202 str. ISBN 0,-85312-382-9
- [16] TURČAN J., *Hydrologické podklady preorientačny návrh malých vodných elektrarní na Slovensku*. Bratislava 1982.
- [17] VOTRUBA L., PATERA A., *Nádrže a vodohospodářské soustavy*, Praha 1986.
- [18] VILÉM JAN., *Hydroenergetika*, Bratislava 1992, 196 str.
- [19] PAŽOUT F., *Malé vodní elektrárny*, Nakladatelství technické literatury, Praha 1987. 501 str. 04- 727-87
- [20] PAVEL GABRIEL., JITKA KUČEROVÁ., *Navrhování vodních elektráren*, ČVUT Praha 1995, 195 str. ISBN 80-01-01304-9
- [21] DUŠAN JOSEF 2012 *Encyklopedie mostů v Čechách, na Moravě ve Slezsku*<<http://www.libri.cz>> cit 5.4 2012.
- [22] NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE (online)<<http://www.geoportál.gov.cz>> cit 5.4 2012.
- [23] ČESKÝ HYDROMETOOROLOGICKÝ ÚSTAV (online)<<http://www.chmi.cz>>cit 5.4 2012.
- [24] ČUZK NAHLÍŽENÍ DO KATASTRU NEMOVITOSTÍ (online)<<http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/>> cit 5.4 2012.
- [25] Hydrologický seznam podrobného členění vodních toků (online)<[ftp://www.chmi.cz/hydrologicky\\_seznam\\_povodi.pdf](ftp://www.chmi.cz/hydrologicky_seznam_povodi.pdf)> cit 6.4 2012
- [26] Český Hydrometeorologický Ústav Praha., M denní průtoky -  $Q_{Md}$  , n - leté průtoky - $Q_N$

- [27] LAIKA VIKTOR., *Abeceda malých vodních pohonů*  
(online)<<http://www.mve.energetika.cz>> cit 13.4 2012
- [28] Kaplanova vrtulová turbína (online)<<http://www.absolventi.gymcheb.cz>>cit  
13.4 2012.
- [29] Energetický regulační úřad *Garantované výkupní ceny elektrické  
energie*<<http://www.eru.cz>>cit 24.4 2012
- [30] Solární panely <<http://www.czechsolar.cz>> 24.4 2012

## 12. Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Hydroenergetický potenciál Československa v roce 1922 (POŠÍK, 1925) .....	12
Tabulka č. 2Potenciál vodní energie (model do roku 2050), (Ministerstvo životního prostředí) .....	12
Tabulka č. 3Dělení podle celkového dosažitelného výkonu (GABRIEL et al. 1998)15	15
Tabulka č. 4V návaznosti na stanovený typ a kategorii MVE se určí jednotkový výkon soustrojí podle tabulky (GABRIEL et al. 1998) .....	15
Tabulka č. 5Malé vodní elektrárny projektování a provoz (HOLATY, 2002 a BEDNÁŘ, 1989). .....	23
Tabulka č. 6 Parametry Francisovy normální turbíny (LAIKA,( <a href="http://www.mve.energetika.cz">http://www.mve.energetika.cz</a> ) .....	40
Tabulka č. 7 Hydrologický seznam podrobného členění vodních toků Převzato z ČHMU 2012).....	41
Tabulka č. 8 M - denní průtoky $Q_{Md}$ ČHMU Praha .....	41
Tabulka č. 9 N - leté průtoky $Q_N$ ČHMU Praha.....	41
Tabulka č. 10 teoretická a reálný potenciál lokality (Toušice historická data ČVUT) .....	42
Tabulka č. 11 parametry Bánkiho turbíny Kovopodnik Brno (HOLATA, 2002) .....	44
Tabulka č. 12Odhad roční výroby elektrické energie lokalita Toušice .....	47
Tabulka č. 13Celkový odhad nákladu $C_N$ .....	49
Tabulka č. 14Výkupní ceny elektrické energie ( <a href="http://www.eru.cz">http://www.eru.cz</a> ) .....	50

### 13. Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Proměnlivost průtoku toku (BEDNÁŘ, 1989) .....	19
Obrázek č. 2 Čára překročení průměrných denních průtoků (BEDNÁŘ, 1989) .....	19
Obrázek č. 3 Čára překročení průměrné denní energie (BEDNÁŘ, 1989).....	20
Obrázek č. 4 Používaná řešení turbín a) vertikální, b) horizontální, c) vertikální kašnová, d) horizontální kašnová, e) přímoproudá, e) Bánkiho turbína (BEDNÁŘ, 1989) .....	27
Obrázek č. 5 Peltonova horizontální turbína dvou trysková (GABRIEL a KUČEROVÁ, 1995) .....	28
Obrázek č. 6 Bánkiho turbína s popisem (GABRIEL et al. 1992).....	29
Obrázek č. 7 Francisova vertikální turbína se spirálou (GABRIEL a KUČEROVÁ, 1995). .....	30
Obrázek č. 8 Kaplanova vrtulová turbína ( <a href="http://www.absolventi.gymcheb.cz">http://www.absolventi.gymcheb.cz</a> ).....	30
Obrázek č. 9 Kaplanova vertikální turbína se spirálou (GABRIEL a KUČEROVÁ, 1995). .....	31
Obrázek č. 10 Pracovní diagram turbin firmy ČKD Turbo Technics (HODAK a DUŠIČKA, 1998).....	32
Obrázek č. 11 Označená obec Dobronice u Bechyně ( <a href="http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/">http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/</a> ).....	33
Obrázek č. 12 Řez Thomanovou turbínou (technická dokumentace Švehla, 2012) ..	35
Obrázek č. 13 Řez Francisovou turbínou (technická dokumentace Švehla, 2012.)...	36
Obrázek č. 14 Označená obec Toušice ( <a href="http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/">http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/</a> ).....	38
Obrázek č. 15 Bližší pohled na lokalitu Toušice ( <a href="http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/">http://www.nahlizenidokn.cuzk.cz/</a> ) .....	39
Obrázek č. 16 Pracovní diagram turbin firmy ČKD Turbo Technics (HODAK a DUŠIČKA, 1998).....	44
Obrázek č. 17 Celkový pohled na soustrojí Bánkiho turbíny (BEDNÁŘ, 1989).....	45
Obrázek č. 18 Průběh účinnosti Bánkiho turbíny (BEDNÁŘ, 1989) .....	46
Obrázek č. 19 Schéma MVE Toušice s Bánkiho turbínou (zdroj : autor) .....	46
Obrázek č. 20 MVE před rekonstrukcí .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 21 MVE po rekonstrukci rekonstrukcí .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 22 Vzdouvací stavby s pohyblivým segmentem na koruně jezu ....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 23 Vtokový objekt s hrubými česlemi .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 24 Vtokový objekt k Francisově turbíně s jemnými česlemi.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 25 Uložení 2 x Thomanovy turbíny ....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 26 Strojovna 2 x Thomanovy turbíny .	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 27 Uložení Francisovy turbíny .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 28 Strojovna Francisovy turbíny.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 29 Historický most z počátku 18. století	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obrázek č. 30 Horní stavba.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

- Obrázek č. 31 Spodní stavba s vývarem a savkou **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek č. 32 Kašna částečně zasypaná ..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek č. 33 Přivaděč ..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek č. 34 Francisova kašnová turbína se suchou savkou **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek č. 35 oběžné kolo Francisovy kašnové turbíny **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek č. 36 Důchodkový kontrolní úřad ..... **Chyba! Záložka není definována.**
- Obrázek č. 37 Hydrologická data ..... **Chyba! Záložka není definována.**

## **14. Seznam příloh**

Příloha č. 1 Malá vodní elektrárna Dobronice u bechyně **Chyba! Záložka není definována.**

Příloha č. 2 Lokalita Toušice ..... **Chyba! Záložka není definována.**

