ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh malé vodní elektrárny

Autor: **Filip Schmidt**

Vedoucí práce: **Ing. Vladimír Křenek**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Filip SCHMIDT**
Osobní číslo:	**S13B0030K**
Studijní program:	**B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Stavba energetických strojů a zařízení**
Název tématu:	**Návrh malé vodní elektrárny**
Zadávající katedra:	**Katedra energetických strojů a zařízení**

Zásady pro vypracování:

Máte za úkol:

1. Vypracovat rešerši typů a parametrů vodních turbin používaných ve světě a zejména v České republice.
2. Provést výběr výkonů a počtů vhodných malých vodních turbin pro vybranou lokalitu.
3. Vypracovat několik variant řešení pro danou lokalitu, pro daný průtok a spád.
4. Provést technicko-ekonomické vyhodnocení navržených variant.

Rozsah grafických prací: **dispoziční řešení MVE - 2 x A2**

Rozsah pracovní zprávy: **40 stran A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- **Holata M.: Malé vodní elektrárny**
- **Melichar J., Bláha J., Vojtek J.: Malé vodní turbiny, konstrukce a provoz**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Křenek**
Katedra energetických strojů a zařízení

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Vladimír Křenek**
Katedra energetických strojů a zařízení

Datum zadání bakalářské práce: **16. září 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**

Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan

L.S.

Doc. Ing. Jiří Polanský, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 12. září 2013

Prohlášení o autorství:

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: 24. 6. 2014 **. . . . . .**

podpis autora

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu a zároveň konzultantovi bakalářské práce v jedné osobě za jeho celoroční vstřícnost, ochotu věnovat se mým dotazům a jeho cenné rady. Dále můj dík patří panu Miroslavu Crhonkovi z ČKD Blansko a.s., který si nad rámec svých povinností našel čas na vytvoření nabídky a dalších poznatků, na kterých tato práce staví.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Schmidt	**Jméno** Filip	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Ing. Křenek	**Jméno** Vladimír	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKE		
DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Návrh malé vodní elektrárny		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKE		**ROK ODEVZD.**	2014

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58		**TEXTOVÁ ČÁST**	56		**GRAFICKÁ ČÁST**	2

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Bakalářská práce se zabývá postupnými úkony a s tím spojenými problémy při návrhu a výstavbě malé vodní elektrárny. Práce se zabývá oblastmi, které jsou pro investora nezbytné řešit pro úspěšnou realizaci. Dále obsahuje rešerši turbín, výpočet výkonu MVE, návrh variant a jejich ekonomické zhodnocení. Práce slouží jako hrubý návod pro případného zájemce o provoz podobné elektrárny.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Malá vodní elektrárna, elektrárna, vodní turbína, turbína, hydraulické ztráty, matlab, životní prostředí, návratnost

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	**Surname** Schmidt	**Name** Filip	
FIELD OF STUDY	2301R016 „Design of Power Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Ing. Křenek	**Name** Vladimír	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKE		
TYPE OF WORK	~~**DIPLOMA**~~	**BACHELOR**	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	Small hydro power plant design		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	KKE		**SUBMITTED IN**	2014

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58		**TEXT PART**	56		**GRAPHICAL PART**	2

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	This thesis deals with necessary steps and attached problems during the Small hydro power plant design. The thesis concerns necessary fields for successful realization. It also contains research of the turbines, performance calculation, various designs and their economic summary. This thesis serves as a rough manual for a potential candidate to run similar power plant.
KEY WORDS	Small hydro, power plant, water turbine, turbine, hydraulic losses, matlab, environment, profitability

Použité symboly a zkratky:

B	Smočená šířka kanálu	[m]
Chézy	Chézyho rychlostní součinitel	[-]
E_{120}	Energie vyrobená v jednom roce	[MWh]
g	Gravitační zrychlení	[m/s^2]
H	Čistý spád	[m]
h	Spád obecně	[m]
H_b	Hrubý spád	[m]
H_{S1}	Kinetická energie vstupující do přivaděče	[m]
H_{S2}	Kinetická energie vystupující z turbíny	[m]
H_{Z1}	Hydraulické ztráty rozšířením	[m]
H_{Z2}	Hydraulické ztráty zúžením	[m]
H_{ZC}	Celkové hydraulické ztráty	[m]
L	Délka kanálu	[m]
MVE	Malá vodní elektrárna	
n	Hodnota stupně drsnosti	[-]
P	Výkon	[W, kW]
P_{120}	Výkon při 120-ti denním průtoku	[W, kW]
P_{celk}	Celkový výkon elektrárny	[kW]
Q	Průtok, průtok elektrárnou	[m^3/s]
Q_{120}	Průtok pro 120 dnu v roce	[m^3/s]
Q_{355d}	Průtok pro 355 dnů v roce	[m^3/s]
Q_{364d}	Průtok pro 364 dnů v roce	[m^3/s]
Q_{90}	Průtok pro 90 dnů v roce	[m^3/s]
Q_b	Zbytkový průtok (biologický)	[m^3/s]
Q_{celk}	Celkový průtok	[m^3/s]
R	hydraulický poloměr kanálu	[m]
S	Plocha smočeného průřezu	[m]
S_0	Smočená plocha před vstupem	[m^2]
S_3	Smočená plocha za výstupem	[m^2]
S_{max}	Plocha maximálního smočeného průřezu	[m^2]
S_{min}	Plocha minimálního smočeného průřezu	[m^2]
t	Čas	[s]
t_h	Doba, kterou dodává MVE energii do sítě	[h]
u_{ind}	Indukované napětí	[V]
V	Smočená výška kanálu	[m]
w	Rychlost	[m/s]
y	Mocninový součinitel	[-]
α	Coriollisovo číslo	[-]
δ	Úhel rozevření kanálu	[°]
Φ	Indukční tok	[Wb]
η	Účinnost	[%]
η_c	Celková účinnost	[%]

η_g	Účinnost generátoru	[%]
η_p	Účinnost převodu	[%]
η_t	Účinnost turbíny	[%]
η_{tr}	Účinnost transformátoru	[%]
ρ	Měrná hmotnost vody	[kg/m^3]
ζ	součinitel místní ztráty	[-]

Obsah:

1 Úvod 8

2 Zařízení malé vodní elektrárny 9
2.1 Vodní turbíny 9
2.1.1 Vodní kolo 9
2.1.2 Peltonova turbína 10
2.1.3 Bánkiho turbína 11
2.1.4 Francisova turbína 12
2.1.5 Kaplanova turbína 13
2.2 Převod 14
2.2.1 Ozubená soukolí 14
2.2.2 Řemenové převody 14
2.2.3 Lanové převody 15
2.2.4 Řetězové převody 15
2.3 Generátor 16
2.4 Transformátor 17

3 Provozování malých vodních turbín 18
3.1 Turbíny používané v ČR 18
3.2 Turbíny používané ve světě 21

4 Postup při navrhování MVE 23

5 Vliv výstavby malé vodní elektrárny na okolní prostředí 26

6 Výpočet výkonu malé vodní elektrárny 31
6.1 Určení čistého spádu H 32
6.2 Určení celkové účinnosti elektrárny 37

7 Výběr a realizace variant 39
7.1 Kaplan se savkou typu S 39
7.2 Vertikální Kaplanova turbína 42
7.3 Výkonové a dispoziční porovnání obou variant 44

8 Ekonomické vyhodnocení 45
8.1 Varianta 1 46
8.2 Varianta 2 49
8.3 Vyhodnocení investice 50

9 Závěr 51

10 Použitá literatura 52

1. Úvod

Lidstvo nyní prochází obdobím, kdy si konečně začalo uvědomovat, že je potřeba se začít k okolnímu prostředí a planetě samotné chovat mnohem více ekologicky, než tomu bylo doposud. Jedním z trendů jak tohoto cíle dosáhnout je výroba energie z obnovitelných zdrojů. Mezi solární a větrnou energií je jedním ze zástupců i vodní energie.

Ačkoliv zpravidla vodní elektrárny nedosahují tak velkých výkonů jako kupříkladu elektrárny na fosilní paliva, jejich přínos v energetické bilanci České republiky je nezpochybnitelný. V roce 2012 činila podle energetického regulačního úřadu výroba elektřiny z vodních zdrojů něco přes tři procenta z celkového množství v České republice.

To se může jevit jako malé číslo, ale i přesto je to větší množství energie než z jiných obnovitelných zdrojů u nás.

I když je hydrologický potenciál vodních toků vyčerpatelný a tudíž nemůže výstavba malých vodních elektráren pokračovat do nekonečna, jsou způsoby jak se k provozování MVE dostat. Vedle odkoupení fungující elektrárny se nabízí kupříkladu renovace staré elektrárny, nebo předělání starého mlýnu na MVE. Malé vodní elektrárny se obecně vyznačují mnohem delší dobou životnosti, než je doba navrácení investic. Z tohoto důvodu můžou být pro některé lidi formou lukrativního podnikání.

Energie z ekologických zdrojů pravděpodobně nikdy sama nepokryje poptávku po energii. Nicméně může být efektivním podpůrným zdrojem například energie jaderné, která se v současnosti těší obrovskému výzkumnému potenciálu (Fúzní reaktory). Otázkou je, zda bude jaderná energie stěžejním energetickým artiklem v budoucnosti, protože do energetického průmyslu bude vždy mluvit politika a v podstatě záleží na momentální náladě společnosti, jaký druh energie chce využívat.

Energie je jedním ze statků, který bude lidstvo vždy nutně potřebovat. Konkrétně elektrická energie vyrobená z vody dnes napájí průmyslové objekty, nebo i celé vesnice. I dnes se dá vstoupit na trh vodní energetiky, ať už jako výrobce strojního nebo elektrického zařízení, tak i jako provozovatel malé vodní elektrárny. Tato bakalářská práce, by měla sloužit jako návod pro člověka, který se odhodlá k výstavbě a následnému provozu tohoto druhu elektrárny.

2. Zařízení malé vodní elektrárny

2.1. Vodní turbíny

Vodní turbíny spadají do kategorie vodních rotačních motorů. Jejich smyslem je přeměna vodní mechanické energie na mechanickou energii rotujícího hřídele. Dnes je běžně tato energie přeměněna v energii elektrickou pomocí generátoru napojeného na turbínu určitým převodem.

Turbíny se mimo jiné způsoby rozdělují na rovnotlaké a přetlakové.

- Rovnotlaké:
  Polohová energie vody se mění v rozváděcích kanálech na kinetickou energii. Tato energie se pak používá v oběžném kole umístěném nad dolní hladinou.

- Přetlakové:
  Polohová energie vody se v rozváděcích kanálech mění na kinetickou energii jen z části. Zbylá část polohové energie se mění v kinetickou až na oběžném kole. Uvnitř turbíny se hydrostatický tlak směrem od vstupu zmenšuje a vzniká tam přetlak.

2.1.1. Vodní kolo

Vodní kolo spadá do kategorie rotačních vodních motorů, ale o samotnou turbínu se nejedná. Zmiňuji se zde ale o něm, protože je nejjednodušším vodním strojem a vodním turbínám je předchůdcem. Vynález prvního vodního kola se datuje už do roku 135 před naším letopočtem.

I přes svou dlouhou historii, jsou vodní kola v určitých aspektech nezastupitelná jinými vodními stroji. Pokud jsou kola dobře technicky řešena, dokážou dosáhnout účinnosti až $\eta = 0{,}6 \div 0{,}7$, což je číslo srovnatelné s účinností některých dnešních turbín za podobných pracovních podmínek.

Vodní kola můžou být efektivně použita tam, kde se instalace turbíny nevyplatí, nebo není technicky možná. Příkladem můžou být malé spády vodních toků. Sice s malou účinností (asi okolo 20%), ale vodní kolo je schopno transformovat energii vody i při spádech 0,1m. S vyššími spády se pak samozřejmě zvyšuje i účinnost kola. Jeho nevýhodou je ale bezpochyby malý počet otáček.

Obr. 1 Vodní kolo [22]

Tento problém se kompenzuje instalováním převodovky, která zvětší počet otáček na využitelný počet. Toto řešení s sebou ale nese snížení účinnosti celého soustrojí.

Vodní kola můžeme rozdělit podle konstrukčního provedení na korečková a lopatková. První zmíněná využívají ke svému pohybu potenciální energii vody, jinými slovy korečky naplněné vodou působí svou hmotností silové zatížení, díky kterému je kolo uváděno do pohybu. Naopak lopatková kola využívají pouze kinetickou energii vody, jejíž setrvačný účinek tlačí na lopatku a díky tomu opět vzniká moment, který otáčí celým kolem.

Pokud budeme rozdělovat kola dle způsobu přívody vody, můžeme říct, že se jedná o kola se svrchním, středním, nebo spodním nátokem.

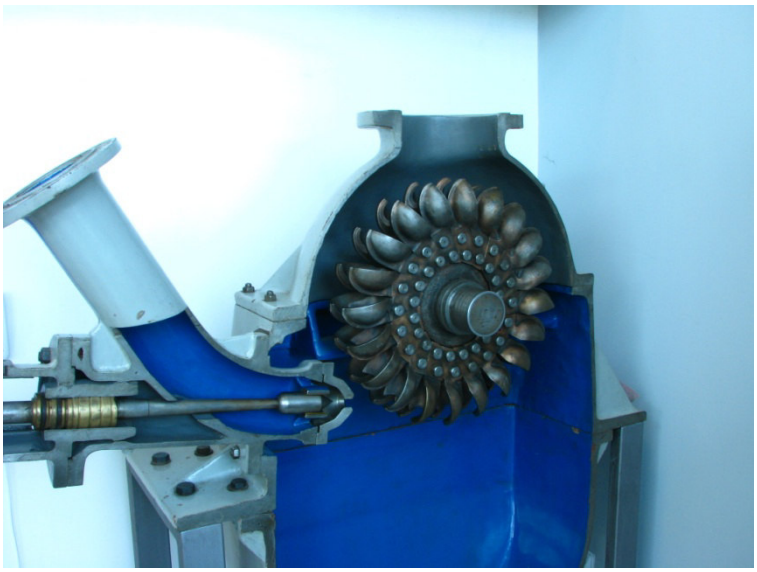
2.1.2. Peltonova turbína

Byla vynalezena Lesterem Allanem Peltonem roku 1880. Jedná se o nejčastějšího zástupce rovnotlakých turbín. Její výhodou je použitelnost při malých průtocích a poměrně jednoduché konstrukční a hydraulické řešení. Pro MVE se tyto turbíny používají při průtocích od 0,01m^3/s do 3m^3/s. Je vhodná k použití při velkých spádech.

Peltonova turbína funguje na základě ostřikování lopatek vodou vypouštěnou z trysek. Lopatky jsou ostřikovány v tangenciálním směru vůči roztečné kružnici oběžného kola. Výkon turbíny je regulován změnou průřezu dýzy v trysce pomocí regulační jehly, která se pohybuje v axiálním směru trysky. Rychlé snížení výkonu je pak prováděno deflektorem, nebo deviátorem jejichž funkce je z důvodu bezpečnosti svázaná s pohybem regulační jehly. Smyslem těchto regulačních orgánů je zmenšení průřezu paprsku vody (deflektor), nebo jeho úplné odklonění (deviátor).

Síly působící na jehlu se mění s momentální polohou jehly. Pokud jehla trysku zcela uzavírá, pak je jehla tlačena ve směru proudu, tedy do zavřené polohy. Při otevírání dýzy se tato síla nejprve zvětšuje zhruba do 10 procent otevření a následně se začíná zmenšovat. Směr síly zůstává ale stále stejný.

Provedení hydroagregátu s Peltonovou turbínou bývá buď horizontální, nebo vertikální, přičemž častějším řešením je turbína s horizontálně situovanou hřídelí. U horizontální koncepce je běžnější menší počet vstřiků, obvykle jeden až dva. U vertikálního provedení se zpravidla používají čtyři až šest vstřiků. Oběžné kolo je pak uloženo v turbínové skříni, která zabraňuje nežádoucímu odtoku vody do okolí.



Obr. 2 Model Peltonovy turbíny [20]

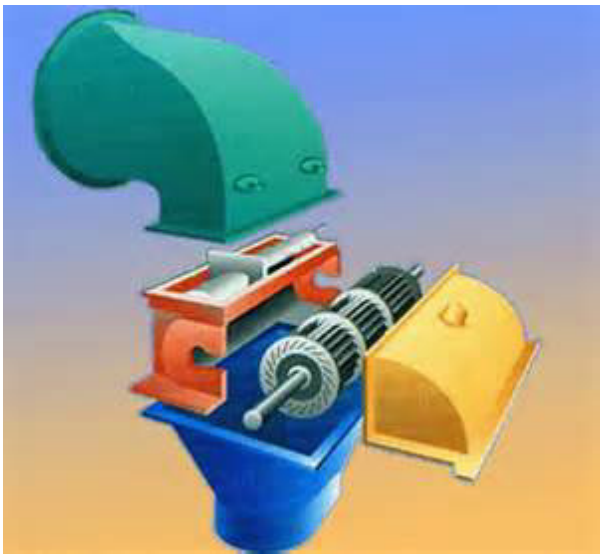
Lopatka turbíny je ve tvaru dvojice korečků elipsoidového tvaru. Počet lopatek vychází ze dvou požadavků. Za prvé chceme zajistit co největší přenos kinetické energie vodního paprsku na oběžné kolo a za druhé musíme korigovat počet vstupů lopatky do

paprsku, jelikož každý takový kontakt má vliv na proudové pole paprsku. Část vody tak může být nepříznivě odchýlena, nebo lopatku zcela mine. Počet lopatek se běžně volí na počet 18 až 26.

2.1.3. Bánkiho turbína

Je to další zástupce z řady rovnotlakých turbín, která je pojmenována po profesorovi Donátu Bánkim z Maďarska. Ten v roce 1917 využil řešení A. G. M. Mitchela z roku 1903 a k danému typu turbíny přidal vstupní těleso a vypracoval teorii řešení turbíny.

Díky svojí konstrukční jednoduchosti se používá především v malých vodních elektrárnách s výkonovým rozsahem přibližně od P = (1 až 1000) kW. Je vhodná pro průtoky Q = (0,05 až 0,9) m^3/s a pro spády h = (1,5 až 200) m. Bánkiho turbína, i přes svou jednoduchost dokáže dosahovat účinnosti až 85%.



Obr. 3 Řešení Bánkiho turbíny [24]

Voda je do turbíny přiváděna vstupním tělesem, kde prochází přes regulační klapku. Následně vstupním kanálem pokračuje voda skrz lopatkovou mříž, která je uchycena na bocích pomocí dvou kruhových desek. To znamená, že prostor uvnitř lopatkové mříže je dutý a tedy pro vodu průchozí. Toho je účelně využíváno a voda, která se dostala dovnitř turbíny díky lopatkám v blízkosti vtokového tělesa, turbínu opouští skrze lopatky na druhé straně. Dochází tak k dvojnásobnému průtoku vody turbínou. Pro lepší pochopení také můžeme říct, že první průtok je dostředivý, kdežto druhý je odstředivý.

Proud uvnitř turbíny je buď ponechán volně, tedy není ničím korigovaný, nebo se užívá vnitřního usměrňovacího tělesa, které proud vody pohltí a vyvede do zvoleného místa, díky čemuž dosáhneme co nejmenších energetických ztrát.

Díky svému principu fungování se používají turbíny s horizontálním uložením hřídele. Nicméně řešení s vertikální osou hřídele je teoreticky možné.

I přesto, že tato turbína spadá mezi rovnotlaká provedení, je nutno podotknout, že rovnotlaký průtok vzniká až na výstupu proudu z turbíny. Na vstupu vzniká mírný přetlak v důsledku malé vzdálenosti mezi stěnou vtokového tělesa a lopatek na oběžném kole. Voda v tomto místě má totiž minimální množství tlakové energie, která je při prvním průtoku využita. Pro výpočet turbíny se ale tato tlaková energie zanedbává a uvažuje se tak rovnotlaký průtok.

Lopatky turbíny se obvykle vyrábějí s proměnlivou tloušťkou. Jejich výhodou je větší plynulost změny průtočného kanálu. Dále se užívají lopatky konstantního průřezu, které jsou snadno vyrobitelné. Často se vyrábějí z částí trubek.

2.1.4. Francisova turbína

Jedná se o přetlakovou turbínu radiálně-axiální, která se v minulosti i dnes těší jednomu z nejpočetnějších užívání mezi turbínami v malých vodních elektrárnách. Byla vynalezena roku 1848 britsko-americkým inženýrem Jamesem B. Francisem.

Její použití je vhodné pro spády od 30m do 500m, i když to nemusí být pravidlem. V některých lokalitách jsou už dnes Francisovy turbíny nahrazeny Kaplanovými. Běžná jsou provedení jak s horizontální tak s vertikální hřídelí. Oběžné kolo má pevné lopatky, což znamená, že turbína nemůže být efektivně použita v lokalitách, kde se příliš mění spád, nebo průtok.

Podle konstrukčního řešení rozeznáváme turbíny pomaloběžné, normální, rychloběžné a expresní. Každá z těchto variant dosahuje velkých účinností, avšak při fungování mimo navrhované parametry účinnost prudce klesá.

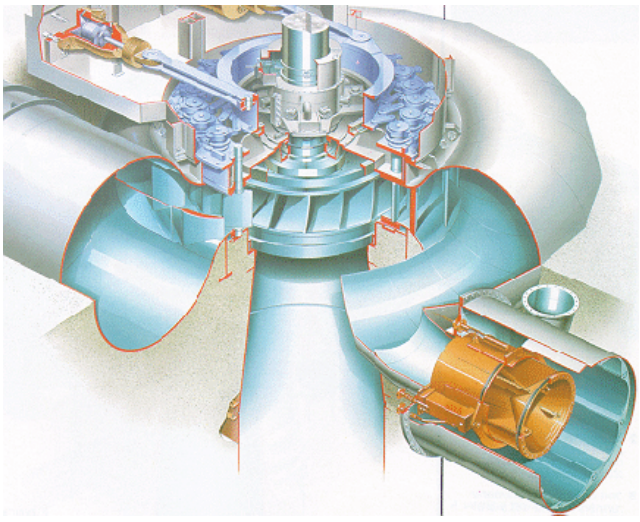
Francisova turbína se skládá ze čtyř hlavních částí, a sice z „kašny“, nebo ze „spirály“, kudy je přiváděna voda do soustrojí samotné turbíny. Dále voda pokračuje přes rozváděcí kolo, které disponuje natáčecími lopatkami a může tak regulovat průtok vody celým soustrojím, popřípadě může průtok zcela uzavřít. Turbíny s malým výkonem si většinou vystačí jen s regulační klapkou, která je uložena v přívodním potrubí. V tomto případě jsou lopatky rozváděcího kola uchyceny napevno. Oběžné kolo je pak orgánem, který vykonává mechanickou práci. Nakonec voda vytéká ven savkou.

Voda je do turbíny přiváděna jedním ze dvou způsobů. Buď z kašny, což je prakticky nádrž s vodou a voda je do rozváděcího kola tlačena tlakem vody. Nebo používáme potrubí ve tvaru spirály, které vede vodu k rozváděcím lopatkám.

Rozváděcí kolo je tedy jediným orgánem na soustrojí, které může nějakým způsobem regulovat nebo zamezit průtok vody. Je toho dosaženo pomocí rozváděcích lopatek, které jsou nasazeny na otočných čepech a konce lopatek jsou chyceny tahélky. Tato tahélka jsou spojena s regulačním kruhem, který je ovládaný servomotorem. Pokud je regulační mechanismus umístěn v prostoru vyplněném vodou, hovoříme o vnitřní regulaci, jinak se jedná o regulaci vnější. Lopatky tedy díky tomuto mechanismu můžeme uzavírat, nebo natáčet do požadované polohy a upravovat tak výkon turbíny.

Přes rozváděcí kolo se voda dostává k oběžnému kolu, které má pevné lopatky. Tento segment je spojením perem nasazený na hřídeli přenáší tak na ní točivý moment. Otáčky hřídele jsou pak přímo, nebo přes převod využívány v generátoru.

Poslední částí je savka, kudy voda opouští prostor turbíny. Rozeznáváme savku mokrou, která je vedena skrz kašnu, nebo suchou která kašnou neprochází.



Obr. 4 Řešení vertikální Francisovy turbíny [23]

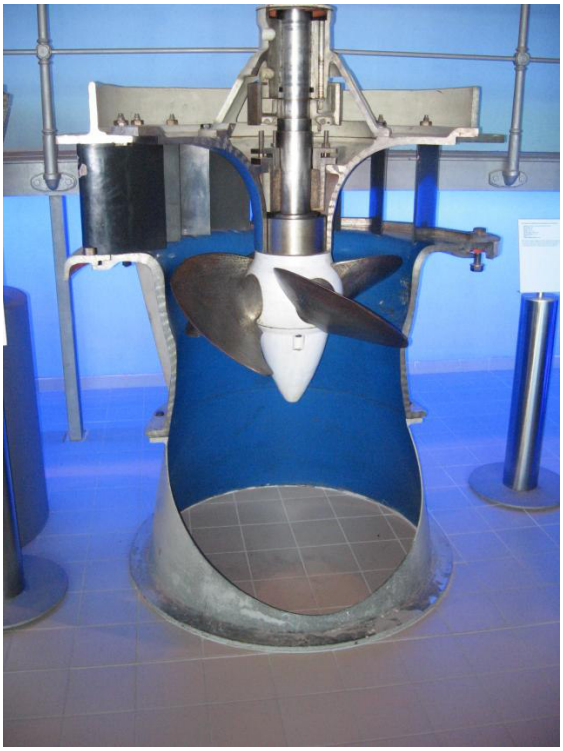
2.1.5. Kaplanova turbína

Toto zařízení je přetlaková axiální turbína, která byla vynalezena profesorem Brněnské techniky Viktorem Kaplanem v letech 1910 až 1912. Celá koncepce vychází z vrtulové turbíny, které ale chyběla možnost natáčet lopatky. Vyznačuje se velmi dobrou mechanickou účinností a především snadnou možností regulace, protože na rozdíl od svého předchůdce, Francisovy turbíny, může natáčet lopatky jak rozváděcího zařízení, tak i oběžného kola. Proto je vhodná pro použití v místech kde se mění průtok nebo spád. Konkrétněji se pak používá při malých spádech a větších průtocích.

Kaplanova turbína se používá pro spády 1,5m až 75m. Počet jejích oběžných lopatek bývá volen na 3 až 10, záleží na tom, při jakém spádu musí pracovat. Rozváděcí kruh může být konstruován radiálně, diagonálně, nebo axiálně, přičemž počet lopatek se běžně volí mezi 24 až 32.

Celé soustrojí se skládá z „kašny“, nebo „spirály“, rozváděcího kola, oběžného kola a savky. Jako u Francisovy turbíny, i zde platí, že kašna a spirála jsou konstrukčními prvky pro přívod vody do soustrojí turbíny. Voda tedy prochází nejprve přes rozváděcí kolo, kde je její proud usměrňován regulačními lopatkami podle toho, jak potřebujeme. Následně je voda vedena krátkým kanálem k oběžnému kolu. Oběžným kolem opět proteče regulovatelnými lopatkami a pokračuje do savky, kudy je odváděna pryč.

Díky natáčení jak lopatek rozváděcích, tak lopatek oběžných dokážou Kaplanovy turbíny dosahovat vysokých účinností, řádově kolem 90%. S možností natáčení lopatek, samozřejmě roste náročnost na výrobu a proto jsou tyto turbíny většinou nákladnější než jiné typy. Lopatky oběžného kola bývají ovládány natáčejícím se mechanismem, který je řízen elektromotorem. Někdy se používá systém natáčení v klidu, který je rozšířen především u malých vodních elektráren. Turbína se kompletně odstaví a nastavovacím šroubem jsme schopni přemístit lopatky do požadované polohy. Existují i řešení, kdy se lopatky dají po uvolnění natočit jednotlivě.



Obr. 5 Model Kaplanovy turbíny [21]

2.2. Převod

Převod je pro malé vodní elektrárny v drtivé většině případů naprostou nezbytností. Z ekonomických důvodů se nevyplatí malým elektrárnám používat synchronní generátory, na které by turbína byla napojena přímo. Proto se u většiny provozovatelů MVE těší veliké oblibě asynchronní generátory s převodem do rychla.

Rozeznáváme celkem 4 základní typy převodů:

- Ozubená soukolí
- Řemenové převody
- Lanové převody
- Řetězové převody

2.2.1. Ozubená soukolí

Je to tradiční, spolehlivý a osvědčený způsob přenosu energie rotujícího hřídele turbíny. Mezi výhody ozubených soukolí se řadí především schopnost přenášet vysoké výkony, při minimální stavební náročnosti.

Používají se jak ve formě přímých ozubených kol s vnějším nebo i vnitřním ozubením tak i ve formě kuželových kol. Nevýhodou přímých ozubených kol je především jejich značná hlučnost. Nicméně přes svou hlučnost dosahují vysokých účinností a jejich cena je pro zákazníka nejpřívětivější. Kuželová kola dosahují zpravidla jen o něco málo menší účinnosti, ale jejich výhodou zůstává nízká hlučnost. Náročnost jejich výroby se ovšem odráží na ceně.

Podle výkonu a obvodové rychlosti jednotlivých kol je třeba dbát na jejich mazání a popřípadě i chlazení.

Účinnost samozřejmě závisí na způsobu a přesnosti výroby, počtu zubů, jejich povrchové drsnosti, ale i na míře opotřebení nebo mazání. Pochopitelně největším faktorem je druh ozubení. Účinnost čelního ozubení může být až 97%, u kuželového ozubení platí toto číslo taktéž. S pokročilou opotřebovaností je však běžná účinnost i okolo 85% [5].

Obr. 6 Příklad ozubeného soukolí [11]

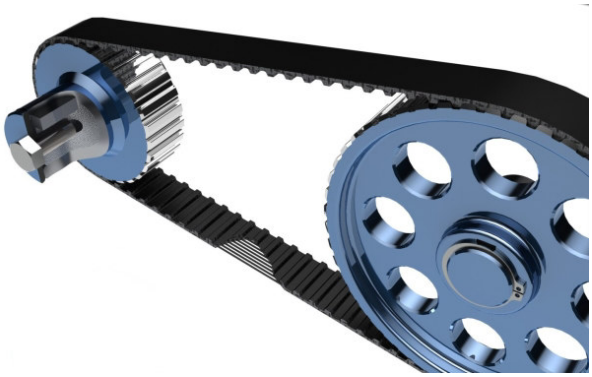
2.2.2. Řemenové převody

Řemenové převody rozeznáváme ploché, klínové, nebo ozubené. Řádově jsou vyráběny pro menší výkony než ozubená kola, nicméně jsou známá řešení, kdy tyto řemeny přenáší výkon až 5000kW. Oproti ozubeným kolům mají výhodu v tichosti chodu.

Účinnost plochých řemenů je závislá na velikosti převodu, průměru řemenice, úhlu opásání, obvodové rychlosti, materiálu řemene, ale i řemenic, což s sebou nese závislost na drsnosti povrchu styčných ploch. Číselně vyjádřená účinnost se pohybuje mezi 98% a 96%.

Klínové řemeny dokážou přenášet mnohem větší výkony než řemeny ploché. Jsou však náročnější na výrobu. Jejich účinnost může dosáhnout až 98,5%. Ztráty prokluzem mohou činit zhruba 2% na celkové účinnosti. Problémem může být i práce, která je potřebná na ohyb řemene pokud jsou řemenice příliš malé. Proto se doporučuje volit maximální převodový poměr 1:10. Pokud řemen pracuje na malých řemenicích, výrazně se snižuje jeho účinnost a zkracuje se životnost.

Posledním druhem řemenů jsou řemeny ozubené, které jsou ze zmíněných nejmodernější a také tedy nejdokonalejší. Jejich účinnost se pohybuje okolo 99%, a jejich reálné použití je do výkonu 300kW. Velkou výhodou je pak jejich tichý chod.



Obr. 7 Model řemenového převodu [10]

2.2.3. Lanové převody

Lanové pohony jsou používány například ve formě ocelových lan u výtahů, lanovek, apod. Prokluz je menší než u řemenů, pokud jsou drážky lanovnice vyloženy speciální vystýlkou, která zvyšuje součinitel tření. Účinnost pak může dosáhnout i 99%. Pro převody je však možné užití i konopných lan. Výhodou lan zůstává především jejich přizpůsobivost v různých polohách.

2.2.4. Řetězové převody

V porovnání s převody již výše zmíněnými jsou řetězové nejméně náročné, co se týče prostorových dispozic a na rozdíl od řemenových a lanových nevyžadují předpětí.

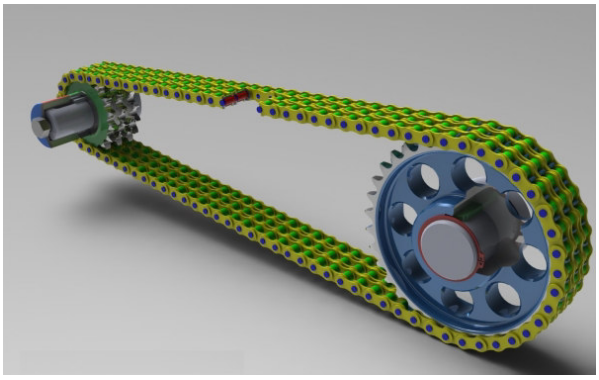
Řetězy se podle druhu dělí na tyto základní:

- Článkové
- Článkové s můstkem
- Kloubové Gallovy
- Válečkové

Na rozdíl od řemenových nebo lanových převodů, řetězové vyžadují rovnoběžnost os otáčejících se hřídelů, jinak hrozí velké snížení účinnosti a defekt v nepoměrně kratší době.

Nejčastějším zástupcem jsou válečkové řetězy. Je charakterizuje z pohledu velikosti rozteč mezi válečky. Čím menší rozteč mají, tím se dají použít na větší převodové poměry, větší obvodové rychlosti a dosáhnout tak i větší účinnosti a menší hlučnosti. V praxi se běžně uplatňují víceřadé řetězy s malou roztečí právě kvůli výše zmíněným výhodám.

Válečkové řetězy jsou používány až pro obvodovou rychlost 20m/s při účinnosti 98,5%. Účinnost má zde tu výhodu, že se téměř nemění s opotřebením, nicméně velký vliv zde hraje mazání a příliš malý počet zubů. Řetězy jsou dnes schopny přenášet výkon až 5000kW.



Obr. 8 Model řetězového převodu [9]

2.3. Generátor

Generátor je elektrický točivý stroj, který přeměňuje mechanickou energii rotujícího hřídele na energii elektrickou. K dalšímu transportu elektrické energie, většinou přes transformátor, je potřeba, aby byl generátor připojen k místu spotřeby. Celá přenosová cesta je pak tvořena elektrickým obvodem s jističi, spínači, měřicími a řídicími zařízeními a zabezpečovacími obvody.

Dle svého uspořádání je generátor schopen vyrábět buď energii se střídavým, nebo stejnosměrným proudem. Podle napětí na jaké je generátor konstruován se užívá následujícího rozdělení.

- vysokonapěťové nad 1000V
- nízkonapěťové 50 až 1000V
- malonapěťové do 50V

Jejich výběr je řízen výkonem vodního stroje, na který je generátor plánován napojit. Pro výkony do 1000kW se volí generátory nízkonapěťové, pro vyšší výkony se pak vyplatí z hlediska efektivnosti užití generátorů vysokonapěťových.

Pro naprostou většinu malých vodních elektráren se hodí použití generátorů na střídavý proud. Tento druh generátorů se dále dělí na:

- Synchronní
- Asynchronní

Výběr toho, či onoho typu závisí na požadavcích provozovatele MVE a provozovatele distribuční sítě. Od tohoto výběru se pak odvíjí i další elektrická zařízení.

Synchronní generátor disponuje statorem se střídavým, trojfázovým vinutím a jeho rotor má stejnosměrné budicí vinutí. Rotor se otáčí při synchronních otáčkách, čímž se vytváří magnetické pole. Generátor distribuuje činný výkon, který je roven výkonu vodního stroje

poníženému o příslušné mechanické a elektrické ztráty. Vedlejším produktem je jalový výkon, který zatěžuje generátor statorovým proudem.

Asynchronní generátory mají stejnou konstrukci jako asynchronní motory. Stator má trojfázové střídavé vinutí, obdobné jako u synchronních strojů. Rotor může být vinutý s kroužky, ale používá se i rotor s klecovým vinutím bez citlivých součástí [3]. Funguje na principu přívodu střídavého proudu do vinutí ve statoru. Tím se vytvoří točivé magnetické pole, které zasahuje i do vinutí rotoru, kde se následně indukuje napětí a vinutím protéká proud. Tento proud je zdrojem dalšího magnetického pole rotoru a pole rotoru a statoru se vzájemně ovlivňují. Díky této interakci vzniká točivý moment a rotor se otáčí.

Dimenzování asynchronních strojů vyplývá z velikosti výkonu vodního motoru. Jejich výkon se totiž snažíme navrhnout co nejblíže k výkonu turbíny.

2.4. Transformátor

Jedná se o zařízení, které se dá popsat jako elektrický netočivý stroj fungující na bázi elektromagnetické indukce, jehož cílem je přenos elektrické energie z jednoho obvodu na druhý a transformace střídavého napětí z určité hodnoty na hodnotu, která je vhodná pro distribuci do sítě.

Transformátor se skládá ze tří hlavních částí, a sice z vinutí, magnetického obvodu a izolačního systému. Primární vinutí slouží k převodu elektrické energie na magnetickou. Díky proudu, který prochází cívkou, se vytváří magnetický tok. Ten je pak veden jádrem k sekundární cívce, v níž se indukuje napětí podle Faradayova indukčního zákona uvedeného v rovnici (1).

$$u_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

Kde	u_{ind}	=	indukované napětí	[V]
	$d\Phi$	=	diferenciál idukčního toku	[Wb = $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$]
	dt	=	diferenciál času	[s]

Jádro má funkci magnetického vodiče. Jeho účelem je směrovat většinu magnetického toku na požadované místo, tedy do sekundárního vinutí.

3. Provozování malých vodních turbín

Výběr a následné používání malých vodních turbín závisí na hydrologických podmínkách v dané oblasti, na ekonomických možnostech majitelů, ale také na technologickém rozvoji. Jinými slovy, turbíny, které s velkou oblibou používáme dnes, mohou být za několik desítek let zcela nahrazeny jiným, vývojově dokonalejším typem. Kupříkladu už dnes převládá tendence používat spíše Kaplanovu turbínu namísto turbíny Francisovy pro její lepší technické možnosti.

Základními typy vodních turbín jsou podle předcházející kapitoly tyto čtyři:

- Bánkiho turbína
- Peltonova turbína
- Francisova turbína
- Kaplanova turbína

Tím však výčet používaných strojů, zdaleka nekončí. Vypsané čtyři jsou pouze základními předlohami pro turbíny z nich odvozené. Zmiňme například turbíny Reiffensteinovu, nebo Kvjatkovského, které koncepčně vychází z Francisovy turbíny. Z Kaplanovy turbíny pak vychází například properelová turbína, nebo řešení podle Thomanna.

3.1. Turbíny používané v ČR

V České republice bylo k roku 2012 evidováno 1510 malých vodních elektráren [7]. Oblíbené jsou zde především turbíny typu Kaplan, nebo Francis, které jsou instalovány spíše ve starších elektrárnách. V drobných elektrárnách nejsou výjimkou Bánkiho turbíny, ale ty jsou k vidění spíše na malých tocích. Toto použití je dáno především geografickým a hydrologickým charakterem naší země, kde nemáme příliš vysoké hory. Na druhou stranu, řeky utvořené za hornatými oblastmi disponují dostatečným průtokem. Někteří zástupci malých vodních elektráren jsou uvedeni níže.

MVE Vydra

Jedná se o elektrárnu ležící na řece Vydra na Šumavě. Jejím projektantem byl Ing. Karel Kosek, který po několika studiích vhodnosti šumavských toků pro energetické využití nakonec započal výstavbu této elektrárny v roce 1937. Po dvou letech začala již elektrárna pracovat jako průtočná, ale úplného dokončení se dočkala až roku 1942, kdy byla dokončena její akumulační nádrž a elektrárna tak začala plnit roli krytí odběrových špiček. Voda je pak do elektrárny přiváděna tlakovým potrubím ze zmíněné akumulační nádrže vzdálené od elektrárny vzdušnou čarou přibližně 1,5km.

Parametry:

Tok:	Vydra
Hltnost:	1,85m^3/s
Spád:	215,5m
Turbína:	2xFrancis horizontální
Výkon:	2x3200kW

Obr. 9 Pohled na vodní elektrárnu Vydra [14]

MVE Čeňkova pila

Další elektrárna ze zástupců Šumavských leží v blízkém sousedství elektrárny Vydra. Z dnešního hlediska se jedná spíše o historickou památku a to i přesto, že elektrárna stále spolehlivě funguje. První zmínky o technické stavbě z tohoto prostředí pochází již z roku 1717, kdy zde měl stát mlýn s vodním kolem. V devatenáctém století zde nechal postavit jistý podnikatel z Prahy Čeněk Bubeníček vodní pilu, kterou nechal pohánět soustavou třech za sebou umístěných kol. Roku 1912 se stavba začala po svém vyhoření roku 1910 definitivně měnit na vodní elektrárnu. Po dokončení elektrárny byla elektřina využívána k zásobování Kašperských hor. Ve svém originálním vzezření fungovala elektrárna až do 1961, kdy se její nový správce (ZČE) začal snažit o automatizaci. Dnes slouží jako součást expozice Šumavská energie.

Parametry:

Tok:	Vydra
Hltnost:	1,5m^3/s
Spád:	10,3m
Turbína:	Francis horizontální
Výkon:	150k

Obr. 10 MVE Čeňkova pila [16]

MVE Lysá nad Labem

Tato elektrárna leží zhruba na čtyřicátém říčním kilometru řeky Labe. V roce 1935 bylo uvedeno do provozu zdymadlo, které se po čase stalo základem pro titulní malou vodní elektrárnu. Samotná elektrárna začala být budována roku 1939, ale práce byly dokončeny až po devíti letech z důvodu průběhu druhé světové války. Turbína v elektrárně je poháněná vodou vycházející ze spirálového přivaděče, přičemž samotná koncepce turbíny je vertikální.

Parametry:

Tok:	Labe
Hltnost:	53m^3/s
Spád:	2,84m
Turbína:	Kaplan vertikální
Výkon:	1200kW

Obr. 11 MVE Lysá nad Labem [15]

MVE Les Království

Les Království je původně vodní přehrada postavená již během 1. světové války. Následně roku 1923 bylo této stavby využito k vybudování malé vodní elektrárny. Srdcem elektrárny byla dvojice Francisových horizontálních turbín. Původní plánovaná hltnost 12m^3/s s sebou nesla časté poruchy a tudíž se omezila na 9m^3/s, což dávalo výkon 1120kW. V roce 2005 se majitel elektrárny (ČEZ) rozhodl pro její rekonstrukci, díky které se výkon mnohokrát zvýšil.

Parametry:

Tok:	Labe
Hltnost:	2x6m^3/s
Spád:	Neuveden
Turbína:	2xFrancis horizontální
Výkon:	2x1060kW

Obr. 12 MVE Les Království [17]

MVE Spálov

Poblíž Semil na řece Jizeře leží elektrárna Spálov budovaná roku 1921. Od roku 1926 byla pak v provozu až do roku 1998, aby na ní mohla být provedena modernizace. Celá rekonstrukce měla dokázat dát elektrárně lepší výkon při zachování její historické autentičnosti a krásy. I tato elektrárna je tedy vedle své energetické přirozenosti vítaným zpestřením návštěvníků Riegrovy stezky, k níž MVE náleží.

Parametry:

Tok:	Jizera
Hltnost:	6m^3/s
Spád:	23,1m
Turbína:	2xKaplan vertikální
Výkon:	2x1200kW

Obr. 13 Pohled na MVE Spálov [18]

3.2. Turbíny používané ve světě

Malibu Hydro

Kanada – Britská Kolumbie

Tok:	Ledovcová voda
Průtok:	0,21m^3/s
Spád:	402,6m
Turbína:	Pelton
Výkon:	580kW

Obr. 14 Peltonova turbína s jednou tryskou v elektrárně Malibu [13]

Babail

Indie - provincie Saharanpur

Tok:	East Yamuna Canal
Průtok:	49,56m^3/s
Spád:	5,7 až 7,2m
Turbína:	2xS-Kaplan
Výkon:	2x1500kW

Dientenbach
Rakousko

Tok:	Dientenbach
Průtok:	2,5m^3/s
Spád:	222m
Turbína:	6xPelton
Výkon:	6x780kW

Obr. 15 Pohled na vodní elektrárnu Dientenbach [12]

Závěrem k této kapitole lze tedy říci, že malé vodní elektrárny jsou rozšířené po celém světě. V některých oblastech slouží spíše jako doplňkový zdroj energie, nebo dokonce jen jako atrakce, naopak v jiných částech světa jsou MVE životně důležité pro základní prosperitu tamějšího obyvatelstva. Kupříkladu v těžce přístupných horských oblastech Peru je efektivně využíváno terénu a velký spád vody tak může pohánět zpravidla Peltonovy turbíny a produkovat dostatečný výkon pro napájení celých vesnic.

V Českých končinách slouží MVE především k dodávání elektrické energie do sítě buď neustálou distribucí, nebo při špičkových zátěžích. Výkony všech turbín jsou samozřejmě ovlivňovány počasím. Některé více, některé naopak dokážou pružněji reagovat na změnu průtoku a spádu. Vzhledem k tomu, že ale tvoří jen okrajové množství vyrobené energie, není Česká republika z větší části energeticky závislá na počasí.

4. Postup při navrhování MVE

Prvním krokem k úspěšnému vybudování MVE je výběr lokality a následné posouzení a zhodnocení najatým odborníkem nejlépe se zkušenostmi z dřívějších staveb. Následuje zpracování systému provozu a projektové dokumentace, která bude předkládána úřadům a jiným osobám, se kterými je nutné komunikovat. K tomuto úkonu musíme brát v potaz několik specifik, která prozradí, zda se výstavba elektrárny vyplatí, nebo vůbec může uskutečnit. Jedná se zejména o tyto:

- Vztahy majetkoprávní
- Technicko-vodohospodářské poměry
- Ochrana přírody
- Ochrana památková
- Postoj veřejnosti

Při komunikaci se zúčastněnými osobami jsou zcela běžné různé střety zájmů. Proto je někdy potřeba domlouvat se formou kompromisu i za pomoci úřadů. Výstavbu je nutné předem domluvit a nechat si odsouhlasit správcem toku. Poté je na místě začít řešit souhlasy od ostatních organizací, jakými jsou například rybářský svaz, ochránci přírody, nebo památková péče. Pokud chceme využít již existující zdymadlovou stavbu, je potřeba její užití projednat s jejím majitelem. Může se ovšem stát, že funkce stávající vodní stavby nebude slučitelná s požadavky na MVE. V takovém případě jsme nuceni celý projekt přesunout do jiné lokality, nebo se domluvit na přestavbě zdymadlové stavby, je-li to smysluplné a technicky možné.

Pro první nápady a návrhy musíme znát data, která jsou dána přírodními podmínkami v daném místě. Jedná se zejména o informace o průtoku vody a spádu. Pro bližší představu o návrhu se může hodit znalost plochy povodí vodního toku, úhrn srážek, trend v kolísání vody v rámci určitého časového úseku. Je na místě znát vývoj průtoku jak z krátkodobého hlediska, tak i z hlediska dlouhodobého, abychom si například ověřili jaká je možnost vzniku povodně a popřípadě její možná velikost a intenzita. Pro návrhy technického zařízení elektrárny je dále taktéž potřeba znát míru znečištění vody různými předměty, jako jsou spadlé větve, kmeny apod. Je nutné brát ohled i na faunu, která se vyskytuje v okolí výstavby a podle druhu živočichů zrealizovat za prvé vhodná opatření proti jejich újmě na zdraví nebo smrti a za druhé možnost jejich přechodu přes vodní dílo (tzv. rybí přechod, nebo biokoridor).

Pozemek pro MVE lze získat dvěma způsoby. Za prvé koupí, nebo pak dlouhodobým pronájmem parcely. Tak či tak, výstavba elektrárny se řídí zákonem o územním plánování a stavebním pořádku (stavební zákon). Abychom byli schopni obdržet stavební povolení, musíme získat kladná vyjádření orgánů, které jsou účastníky územního a následně stavebního řízení. Tato jednání se tedy vedou se zástupci podniku, který spravuje povodí, se společností, která bude zajišťovat rozvod vyrobené energie, kde je třeba vyřešit způsob připojení a dále podmínky dodávek a odběrů. Dále je pak nutné jednat s obcí, pod jejíž katastr spadá daná lokalita a samozřejmě je potřeba projednat podmínky výstavby s orgánem státní správy, který má tyto záležitosti na starost.

Jen osoby, které jsou oprávněné k vyhotovování dokumentace pro územní rozhodnutí a stavební povolení mohou tyto dokumenty vydávat. Jsou jimi autorizovaní stavební inženýři, nebo architekti, kteří jsou zapsáni v příslušných registrech, a společnosti, která je zaměstnává, se tak dostává práva vydávat tyto již zmíněné dokumenty. Tato dokumentace se dělí na podklady pro územní rozhodnutí a podklady pro stavební povolení.

Územní rozhodnutí

Každý návrh na vydání územního rozhodnutí musí obsahovat tyto údaje:

- Jméno, příjmení a adresu navrhovatele.
- Popis současného využívání pozemku a jeho charakteristiku.
- Seznam všech osob, které se účastní územního řízení.
- Druhy a čísla parcel, které jsou předmětem návrhu, ale taktéž pozemků sousedících. Popis majetkoprávních vztahů dotčených pozemků a staveb.
- Souhlas vlastníka pozemku o využití s cílem postavit MVE, nemá-li navrhovatel k pozemku vlastnické právo.
- Údaje o splnění všech podmínek pro stavbu určených orgány státní správy, jestliže byly tyto podmínky splněny před podáním návrhu [3].

Přílohy:

- Situační výkres, kde je zakreslen stav území na základě katastrální mapy a předmět územního rozhodnutí. Taktéž zde musí být vyznačeny účinky na okolí.
- Dokumentace pro územní rozhodnutí vypracována autorizovanou osobou.
- Veškerá vyjádření a rozhodnutí týkající se stavby vydaná orgány státní správy nebo obcí.
- Závěrečné stanovisko o posouzení vlivu stavby na prostředí, pokud bylo vydáno
- Doklady o jednáních s účastníky územního řízení, pokud se konala před podáním návrhu [3].

Stavební povolení

Pakliže jsme byli úspěšní při získání územního rozhodnutí, můžeme se začít zabývat stavebním povolením.

Žádost o stavební povolení obsahuje tyto údaje:

- Jméno, Příjmení a adresu stavebníka v případě fyzické osoby. Jedná-li se o právnickou osobu, bude uveden její název a sídlo.
- Předpokládaný datum ukončení stavby, dále plánovaný účel, místo a druh stavby.
- Na základě informací z katastru nemovitostí se uvádějí druhy a čísla parcel, na kterých je záměr stavbu provést. Tyto informace se taktéž uvádějí o sousedních parcelách. K tomu se vážou i majetkoprávní vztahy jednotlivých pozemků

- Jméno, Příjmení a adresu projektanta. V případě právnické osoby opět uvádět název a sídlo
- Způsob provádění stavby, tedy zhotovitelem, nebo svépomocí.
- Základní údaje o stavbě, jako je její členění, technická zařízení, která bude obsahovat, předpokládaný vliv na životní prostředí včetně informací o budoucím provozu.
- Seznam účastníků stavebního řízení. Pokud je počet těchto účastníků příliš velký, seznam se neuvádí [3].

Přílohy:

- Doklady, kterými stavitel prokáže, že má vyřešeny všechny majetkoprávní vztahy týkající se pozemku a může tedy začít bez problémů se stavbou. Pokud stavitel není vlastníkem parcely, je třeba dokázat, že je možné pozemek použít pro výstavbu.
- Projektová dokumentace stavby, jež je zpracována osobou s příslušným vzděláním a autorizací.
- Vyjádření a stanoviska dotčených orgánů a obce.
- Doklady o jednáních s účastníky územního řízení, pokud se konala před podáním návrhu
- Kopie obecného závazného nařízení o schválení územního plánu.
- Jedná-li se o stavbu, která bude budována svépomocí, prohlášení osoby odborně způsobilé, že bude zabezpečovat vedení stavby [3].

Celý proces před zahájením samotné stavby je spíše úřednická záležitost. Je potřeba dbát všech náležitostí, které stanoví zákon. Aby se ale k realizaci MVE mohlo přistoupit jako k celku, musíme následovat zákonů hned několik. Některé z nich jsou:

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů – vodní zákon
- Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích – energetický zákon
- Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie
- Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny [6]

Dále jsou některé základní věci týkající se provozu, nebo samotné výstavby upraveny různými vyhláškami. Ty se dokonce můžou lišit i v závislosti na kraji, kde má být stavba provedena.

K této kapitole lze závěrem doporučit, aby byly všechny kroky konzultovány s právníkem znalým v této oblasti. Samotná legislativní problematika je zpracována i knižně například v publikacích P. Dušičky a kolektivu – Malé vodní elektrárny, nebo F. Pažouta – Malé vodní elektrárny, ekonomika předpisy. Nicméně s postupem času se zákony a vyhlášky mění a je tedy nutné hledat především v příslušných zákonech a podobně publikace si ponechat spíše jako návod na úspěšné splnění úřednické části projektu.

5. Vliv výstavby malé vodní elektrárny na okolní prostředí

Všechny stavby, které člověk vytvoří, nějakým způsobem ovlivňují životní prostředí. Výjimkou nejsou ani stavby vodní. Typickým příkladem takové vodní stavby je vodní přehrada. Některé důsledky výstavby můžeme hodnotit kladně, jiné naopak negativně, přičemž pozitivní faktory převažují. Jako negativní dopady můžeme uvést především změnu klimatických podmínek v okolí stavby, abrazi břehů, nebo zhoršení kvality podzemní vody. Nicméně nic z výše uvedeného nemusí nutně být negativním účinkem, pokud použijeme vhodná technická opatření. Jak již bylo zmíněno, pozitivní účinky převažují a jsou to zejména schopnost ochránit povodí před velkými vodami, zásobování říčních koryt vodou v obdobích málo vydatných na srážky, nebo zabezpečovat splavnost.

Malé vodní elektrárny jsou ze všech zdrojů energie ke svému okolí nejšetrnější možností, jak energii získávat. V porovnání s jinými možnostmi získávání elektrické energie se MVE však podílí jen malou měrou a proto zůstávají jen doplňkovým zdrojem. Přesto všechno, jsou malé vodní elektrárny jediným zástupcem z inženýrských staveb (průmyslové, dopravní, občanské), které nepředstavují trvalý negativní zábor přírodního prostředí (jsou většinou umisťovány do koryta řeky), ale jsou v podstatě přínosnou transformací s mnohastranným využitím.

Výhody MVE:

- Při jejich provozu nevznikají žádné nežádoucí plyny znečišťující ovzduší a životní prostředí, jako například oxidy síry nebo uhlíku.
- Na rozdíl od tepelných a jaderných elektráren MVE nepotřebují využívat dopravu pro transport uhlí, uranu, nebo jiných surovin.
- Nedevastují a neznečišťují krajinu povrchovou těžbou surovin, nutných pro jejich chod.
- Na rozdíl od tepelných a jaderných elektráren MVE nevytvářejí žádný odpad jako je popílek, nebo použité jaderné palivo.
- Při uvažování havárie by měly MVE daleko menší dopad, než jejich sestry v podobě jaderných nebo tepelných elektráren.
- Náklady na provoz a údržbu MVE jsou relativně nízké, přičemž se můžou pyšnit dlouhou životností, která zaručí několikanásobně vrácení původních investic.
- Je u nich možnost automatizace, tedy bezobslužný provoz. Taktéž je možné je ovládat dálkově.

Výstavba MVE se výhodně uplatňuje na místech, kde již jsou díla se soustředěným spádem. Na mnoha místech v těchto lokalitách je vodní energie zatím nevyužita a čeká na dobudování vodních elektráren. Taktéž je k dispozici mnoho lokalit s odstavenými nebo zrušenými MVE, které čekají na rekonstrukci. Zavedení nové elektrárny v těchto místech je tedy výhodné nejen z hlediska finančního, ale i tím, že se prakticky nejedná o žádný nový zábor přírodního prostředí. Pro budování MVE se tedy především využívají následující vodní díla:

- Vodní díla na Labsko-Vltavské vodní cestě, která slouží k zabezpečování splavnosti v průběhu celého roku.
- Díla vybudovaná k vodárenským účelům, u nichž průtok pouštěný do původního koryta není využíván k výrobě energie.
- Jezy a jiné vzdouvací stavby. Taktéž nízké jezy a stupně, jejichž účelem je zmírnění erozivního procesu působením řek.
- Výpustná zařízení rybníků, u nichž zatím není instalováno zařízení na přeměnu energie a voda tedy odtéká nevyužita.
- Zrušené mlýny a elektrárny.

Nízkotlaká vodní díla v mnoha směrech pozitivně ovlivňují životní prostředí na tocích a v jejich okolí. Mluvíme zejména o stabilizaci hladin, ochraně proti povodním, možnosti likvidace znečištění ropnými látkami, zmírnění erozivního procesu, nebo zlepšení kyslíkové bilance v toku.

Stabilizace hladin je významná především ve městech, kde díky ní můžeme regulovat výšku toku a skrýt tak nevzhledné elementy při nízkých průtocích řek. Díky tomu pak může tok sloužit i jako součást městské infrastruktury, nebo jako forma rekreace pro obyvatele. Regulace výšky hladiny je důležitá samozřejmě i pro zemědělství z hlediska udržení hladiny podzemní vody v obdobích sucha a vytvoření optimálních podmínek pro vegetaci.

Zvýšení ochrany proti povodním lze dosáhnout pohyblivými jezy, díky kterým se snižuje riziko zarůstání koryt z náletů. Tento typ jezu taktéž zajišťuje určitou ovladatelnost hladinového režimu, což je důležité zejména při zimních povodních, doprovázených tvorbou ledu. Vhodnými manipulacemi na vodních dílech se pak dokáže zabránit potenciální povodni, nebo na konci období mrazu urychlit odchod ledů a zajistit tak v co nejbližší době normální režim.

Tato díla dokážou efektivně likvidovat znečištění ropnými látkami, které se můžou v toku vyskytnout po různých haváriích. K jejich operativní a účinné likvidaci jsou výhodně využívány mobilní plovoucí zábrany, instalované nad vybranými díly v horní vzduté vodě s malými rychlostmi proudění.[3]

Erozivnímu procesu, který se odehrává především v horských a středních oblastech, jsme schopni předcházet vytvářením stupňů ve formě pevných nebo pohyblivých jezů. Tato snaha byla aktuální i v minulosti, kde se tento problém řešil výstavbou různých přehrážek a voda se tím pádem usměrnila dle potřeb stavitele.

Zlepšení kyslíkové bilance v toku je dosahováno propouštěním vody přes jezový přepad. Pozitivní vliv je tím větší, čím je větší průtok přes přepad. Tohle je způsob, kterým se dá voda prokysličit a v obdobích úhynu ryb dosáhnout dostatečné koncentrace kyslíku po celé jezové zdrži. Avšak měření na regulačně splavněném úseku Labe ukázalo, že vývoj kyslíkového režimu a samočisticí procesy nejsou prakticky nijak ovlivněny, přičemž není k dispozici žádný prostředek ke zlepšení situace. Jedinou možností jak prokysličit tok, je tedy v podstatě jen dostavba vodních děl. Z tohoto důvodu bylo provedeno opatření ve formě přepouštění na zdymadlech Labské i dolno-Vltavské kaskády v kritických obdobích nízkých průtoků a zhoršené kyslíkové bilance část nebo celý průtok přepadem přes jezová pole, a to i za cenu ztrát na výrobě elektrické energie.[3]

Eliminace možných negativních vlivů na životní a přírodní prostředí

Je zde několik faktorů týkajících se malých vodních elektráren, které jsou ekology a ochránci přírody považovány za riskantní vůči životnímu prostředí. Často skloňovány jsou především následující:

- Změna průtokových poměrů.
- Zvýšení erozivní činnosti toku.
- Dopady na migraci ryb a jiných vodních živočichů.
- Hlučnost elektrárny a její umístění do prostředí, ve kterém může způsobit újmu na krajinném rázu.
- Potenciální únik ropných látek.
- Změna kvality vody.
- Ohrožení vodních živočichů chodem turbín.
- Změna druhového složení vodních organismů.

Mluvíme-li o změně průtokových poměrů, je nutno podotknout, že malé vodní elektrárny budované vedle jezů, kterých je většina průtok nijak neovlivňují, jelikož většinou pracují v průběžném provozu. Změna průtoku se obvykle objevuje u přehrad derivačního typu. Jelikož do derivace přivádíme určité množství vody, je o to samé množství ochuzen originální tok. Následkem může být ztráta potravy pro ryby, která byla na původním průtoku závislá. Taktéž při poklesu hladiny riskujeme, že ryby ztratí své přirozené úkryty. V létě hrozí přehřívání, v zimě naopak vymrzání toku. Výška hladiny může být zachráněna výstavbou dnových přehrádek.

Změny průtokových poměrů ovšem vznikají u přehrad. Vzhledem k velké potenciální energii vody v přehradě, se zde ale nebudují MVE nýbrž střední a velké vodní elektrárny, které disponují výkonem vyšším než 10MW. Odtok pod přehradou tady bývá tedy proměnný, což ale nemusí nutně znamenat negativum. Naopak díky přehradě jsme schopni zadržet povodňové průtoky a vypouštět vodu v takovém množství, aby neohrožovala obyvatelstvo popřípadě i faunu pod přehradou. Vypouštění vody z přehrady pro energetické účely se řídí manipulačním řádem vodního díla, u kterého je samozřejmě kladen důraz na ochranu přírody.

Pro přirozené vodní toky je erozivní činnost zcela běžným jevem. Při velkých průtocích má tok tendenci transportovat splaveniny, nebo různé humusovité látky z polí a lesů. Pokud do toku zasáhneme pro účely MVE vystavením vodní zdrže, dochází pak ke zmenšení unášecí síly a k usazování splavenin. Pro tok to může znamenat, že se změní unášecí síla vody pod jezem, ve zdrži se změní kvalita vody v důsledku usazování splavenin, což má za následek změnu složení vodních organismů v dané lokalitě.

Voda odtékající ze zdrže je tedy zbavená splavenin, na které vázala svou unášecí sílu a má tedy z tohoto důvodu silnější erozivní účinky. Koryto pod jezem má proto tendenci se prohlubovat, což může vést k vysychání některých ramen řeky a vegetace vyskytující se poblíž. Tomuto problému jsme ale schopni zabránit výstavbou na sebe navazujících vodních stupňů.

Výstavbou jakéhokoliv vodního díla se nějakým způsobem naruší průchodnost pro ryby. V některých případech je vliv nepatrný, v jiných je naopak naprosto zásadní.

Kupříkladu vystavením přehrady se migrace ryb zcela přeruší. V současné době se však přehradní MVE nebudují. U jezových elektráren je potřeba k překonání překážky vystoupat řádově jednotky metrů (v ČR bývá rozdíl hladin pod jezem a nad jezem do šesti metrů). K překonání jezů se staví vnitro-korytové rybovody, nebo uměle vybudované biokoridory, které se situují vedle toku. Pro ryby je samozřejmě vhodnější biokoridor, který imituje přírodní povrch (používá se balvanité dno přesypané štěrkopískem) a voda v něm proudí pomaleji a rybám tak dává při migraci možnost odpočinku.

Z pohledu nejpříznivějšího pohybu ryb se jako nejvhodnější varianta jeví MVE derivačního typu. Na toku je v tomto případě jen nízký stupeň nebo práh s odběrným objektem a ryby se jeho překonáváním v podstatě nemají větší problémy.

Bohaté zkušenosti s výstavbou a provozem rybovodů mají odborníci v Německu, Rakousku, nebo Švýcarsku, kde vycházejí i kvalitní publikace zabývající se právě touto kapitolou, podle nichž je možné dané objekty navrhovat.

Nároky na parametry rybovodu se samozřejmě liší s lokalitou a vodními živočichy vyskytujících se v místě stavby. Znamená to tedy, že dílčích způsobů jak vyřešit vybudování rybovodu je mnoho. Doporučené parametry rybovodu pro různé ryby jsou k nalezení ve zmíněných publikacích.

Hlučnost provozu je různá pro jednotlivé typy hydro-agregátů a vliv má samozřejmě i kvalita jejich provedení. Ve většině případů jsou však turbíny uloženy ve strojovně a vhodným návrhem hlukové izolace se tedy dá hluk pro vnějšího pozorovatele zcela eliminovat. Samotná hlučnost vody přepadající přes jez je většinou větší než hlučnost vlastní vodní elektrárny.

Posouzení urbanistického zásahu do prostředí výstavbou MVE je spíše subjektivní faktor. Rozhodně je vhodné ponechat návrh architektonického řešení odborníkům, ale v konečném důsledku záleží na pocitu každého jednotlivce. V určitých oblastech dokáže MVE svým vzhledem pozvednout celkový dojem z okolního prostředí, naopak při stavbě v ryze přírodních oblastech se může jednat o hyzdění přírodních krás. Proto se v případě zasazení elektrárny do okolního prostředí jedná mnohdy spíše o umění než o technické řešení.

Šance na únik mazadel (ropných látek) z turbíny jsou v dnešní době minimální díky dobře provedenému technickému řešení. V laické veřejnosti panuje totiž názor, že každá vodní elektrárna je zdrojem znečištění, což jsou jevy, které se vyskytovaly v minulosti z důvodu nedokonalé konstrukce turbín a jejich pomocného zařízení. Ojedinělé úniky mazadel se mohou vyskytnout, ale to je způsobeno především nedostatečným know-how nových poskytovatelů turbín na trhu.

Kvalita vody se tedy z hlediska znečištění ropnými látkami může přihodit jen ojediněle a to nedostatečnou znalostí konstrukce vodních turbín. Naopak MVE mají spíše tendenci kvalitu vody zvyšovat díky okysličování vody, kterého se dosáhne vířením vody v turbínách. MVE derivačního typu pracují v drtivé většině případů v průběžném provozu. Ke zhoršení kvality vody může však dojít, pracuje-li elektrárna v režimu špičkového provozu. Tato situace nastává, když se stojatá voda v derivačním kanále přehřeje. Je to závislé na teplotě, slunečním záření a tedy i na ročním období. Samozřejmě velkou roli hraje doba mezi špičkami, po kterou voda v kanálu stojí. Opatřením, jak předejít zhoršení kvality vody tímto způsobem je zkrácení přestávek mezi špičkami, nebo úplný přechod na průběžný provoz.

Proti vniknutí ryb do turbíny slouží česle, které zároveň brání nečistotám dostat se do přiváděcího kanálu a poničit pak turbínu. Hustota česlí se volí s ohledem na velikost ryb v dané lokalitě a velikosti nečistot, které lze očekávat. Jsou-li ryby ale příliš malé, česle nemusí proti jejich vniknutí stačit. Používá se tedy plašič ryb, který je pod proudem při napětí zhruba 3V a ryby tak odpuzuje pryč. Pokud se i přesto podaří rybám do přívodního kanálu dostat, dokážou zpravidla bez újmy proplout turbínami konstrukce Kaplan a Francis. Typy Pelton a Bánki jsou pro ně ovšem mnohem nebezpečnější.

Výstavbou MVE může být ovlivněno druhové složení vodních živočichů. Ať už z důvodu změny proudu v toku, která odláká proudomilné ryby do míst blízkých původnímu biotopu, nebo z důvodu změny potravního řetězce, což má pro ryby za následek ztrátu atraktivity místa poblíž elektrárny. Samozřejmě, že v lokalitách, kde už je postaven jez, je dopad na přírodní prostředí po vybudování elektrárny bezvýznamný.

6. Výpočet výkonu malé vodní elektrárny

Výpočty v této kapitole byly prováděny v software Matlab.

Jsou v podstatě dva způsoby jak se dobrat čísel, která člověk jako investor potřebuje pro zadání poptávky u výrobců turbín a dodavatelů ostatního zařízení, jako jsou například generátor, transformátor a stroje pro obsluhu běžného provozu jako jsou čistící stroje česle, stavidla a podobně. Tato potřebná data získá buď zadáním parametrů projekční kanceláři, která se o výpočty postará a díky svým zkušenostem bude pravděpodobně vědět jaké konstanty použít a jak dané metody koncipovat. Druhou možností je samozřejmě výpočet, který si investor provede sám a díky tomu dostane dobrou představu o finálním výkonu a také podobě své malé vodní elektrárny.

Základem pozdějších výpočtů a projekčních návrhů je samozřejmě výběr vhodné lokality. K tomuto tématu více v kapitole „Postup při navrhování MVE“. Pokud tedy má investor k dispozici lokalitu a má vyřešeny všechny majetkoprávní vztahy a další náležitosti nutné k výstavbě, je potřeba se začít starat o údaje o vodním toku. Je tím myšlen především spád a m-denní průtoky. Tato data je potřeba sehnat u příslušných úřadů, kde informace o spádu v závislosti na říčním kilometru poskytne Povodí daného toku (v případě této práce se jedná o Povodí Berounky, sídlící v Plzni).

Pro získání dat o m-denních průtocích je potřeba kontaktovat hydrometeorologický úřad, který na zakázku provede placenou studii. Tato studie může obsahovat různá data definovaná objednatelem, zejména pak informace o denních průtocích, ploše povodí, úhrnu srážek, nebo data ze starších měření.

Avšak pro výpočet této práce byly jisté parametry již vyplývající ze zadání, jako hrubý spád $H_b=2,6m$ a průtok $Q_{celk}=25,1m^3/s$. Q_{celk}, který byl zadán byl uvažován jako Q_{120}. Návrhový průtok malou vodní elektrárnou se obvykle právě volí v rozmezí Q_{90} až Q_{120}. Kdyby nebylo k dispozici toto zadání bylo by třeba si v rámci studie od hydrometeorologického úřadu nechat vyhotovit křivku překročení denních průtoků, ze které se pak dá relativně pohodlně odečíst velikost vhodného průtoku.

Tento průtok je ale potřeba opravit o biologický průtok Q_b, což je vlastně množství vody, které proudí mimo elektrárnu, za účelem zachování dobrých podmínek pro život vegetace a vodních živočichů. Množství biologického průtoku stanovuje Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích v kapitole B odstavci 3. Zde je uvedeno, že pro průtok větší než $5m^3/s$ se minimální zůstatkový průtok určí jako:

$$Q_b = \frac{Q_{355d}+Q_{364d}}{2} \tag{2}$$

Kde podle hydrologické charakteristiky vodních útvarů na webu www.pvl.cz je pro Berounku až po soutok s Litavkou $Q_{355d}=5,28m^3/s$ a $Q_{364d}=3,20\ m^3/s$. Pak

$$Q_b = 4,24\ m^3/s \tag{3}$$

A nakonec tedy

$$Q = Q_{celk} - Q_b = 20{,}86\ m^3/s \tag{4}$$

Vztah pro výpočet výkonu malé vodní elektrárny je:

$$P_{celk} = \rho g H Q \eta \tag{5}$$

Kde	P_{celk}	=	celkový výkon malé vodní elektrárny	[W]
	ρ	=	měrná hmotnost vody	[kg/m^3]
	g	=	gravitační zrychlení	[m/s^2]
	H	=	čistý spád	[m]
	Q	=	průtok vody samotnou elektrárnou	[m^3/s]
	η	=	účinnost elektrárny	[-]

Měrná hmotnost vody ρ se samozřejmě mění s tlakem a pak především s teplotou. Ovšem tyto fluktuace jsou v porovnání s řádovou hodnotou této veličiny tak malé, že nemá smysl se jimi zabývat a můžeme tedy hustotu uvažovat jako konstantu $\rho = 1000\ kg/m^3$.

Gravitační zrychlení v našich zeměpisných podmínkách nabývá hodnoty přibližně $g=9{,}81 m/s^2$.

Čistý spád H je závislý na více proměnných, které budou v následujícím textu blíže probrány.

Průtok vody elektrárnou $Q = 20{,}86 m^3/s$ vychází z rovnice, kde byl určen pomocí zadaného a biologického průtoku.

Konečně účinnost elektrárny η je závislá na účinnostech jednotlivých strojních a elektrických zařízeních. Jmenovitě na účinnosti turbíny, převodu, generátoru a transformátoru.

Nyní je tedy patrné, že k výpočtu celkového výkonu elektrárny zbývá určit Čistý spád H a účinnost η.

6.1. Určení čistého spádu *H*

Čistý spád H se podle [5] spočítá jako:

$$H = H_{S1} - H_{S2} + H_b - H_{zc} \tag{6}$$

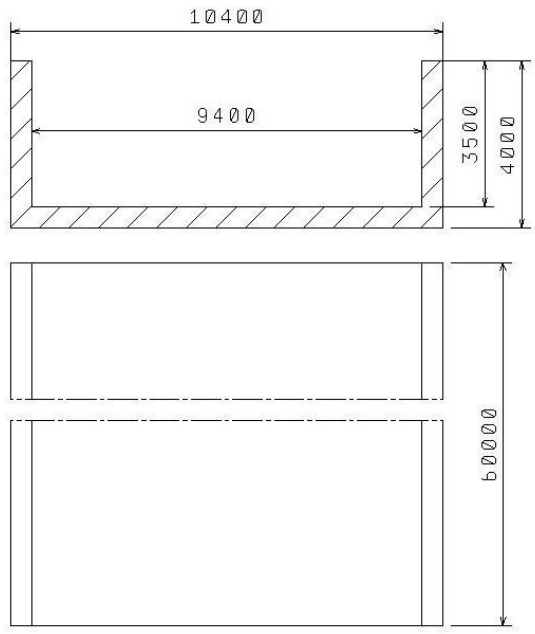
Po dosazení pak:

$$H = \frac{\alpha_1 w_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 w_2^2}{2g} + H_b - H_{zc} \tag{7}$$

Kde	H	=	čistý spád	[m]
	H_b	=	hrubý spád	[m]

H_{zc}	=	celkové hydraulické ztráty	[m]
H_{S1}	=	kinetická energie vstupující do přivaděče	[m]
H_{S2}	=	kinetická energie vystupující z turbíny	[m]
α	=	Coriolisovo číslo	[-]
w	=	rychlost v daném profilu	[m/s]
g	=	gravitační zrychlení	[m/s^2]

Indexy 1 a 2 určují k jakému místu se α vztahuje. Číslo 1 reprezentuje průřez kanálu těsně před vstupem do turbíny, číslo 2 pak průřez těsně za vývodem vody z tělesa turbíny. Pro určení celkových hydraulických ztrát je potřeba navrhnout tvar a materiál přívodního kanálu. Geometrické rozměry jsou zobrazeny na obrázku 16. Jako materiál kanálu byl zvolen beton s hladkou omítkou, pro nějž je hodnota stupně drsnosti pro umělé kanály *n=0,013* [3]. Tento materiál byl volen s ohledem na jeho poměrně nízký součinitel *n* a vhodné mechanické vlastnosti.



Obr. 16 Průřez přívodního kanálu

Nicméně voda v kanálu bude dosahovat do 2m jeho výšky. Odtud tedy plyne i hydraulický poloměr kanálu *R*, který je definován následovně [3]:

$$R = \frac{S}{B+2V} \tag{8}$$

Kde:

R	=	hydraulický poloměr kanálu	[m]
S	=	plocha smočeného průřezu	[m^2]
B	=	smočená šířka kanálu	[m]
V	=	smočená výška kanálu	[m]

Po dosazení číselných hodnot tedy vychází:

$$R_1 = R_2 = R = \frac{S}{B+2V} = \frac{18,8}{9,4+2(2)} = 1,403m \tag{9}$$

Tento hydraulický poloměr *R* je jakýmsi charakteristickým rozměrem kanálu a my jsme díky němu schopni spočítat dalších několik členů, které budeme potřebovat pro výpočet čistého spádu *H*.

Jedním takovým členem je Pavlovského mocninový součinitel *y*, pro který podle [5] platí:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}\left(\sqrt{n} - 0,1\right) \tag{10}$$

Po dosazení hodnot stupně drsnosti *n* a hydraulického poloměru *R*:

$$y = 0{,}1426 \tag{11}$$

Abychom byli schopni spočítat Coriolisovo číslo α, které udává vliv nerovnoměrného rozdělení rychlosti po profilu na celkovou kinetickou energii toku, musíme nejdříve znát Chézyho rychlostní součinitel. Jeho předpis se v různých literaturách liší, v závislosti na znalosti, nebo neznalosti součinitele *y*. V případě, že Pavlovského součinitel neznáme, uvádí se vztah:

$$Chézy = \frac{1}{n} R^{1/6} \tag{12}$$

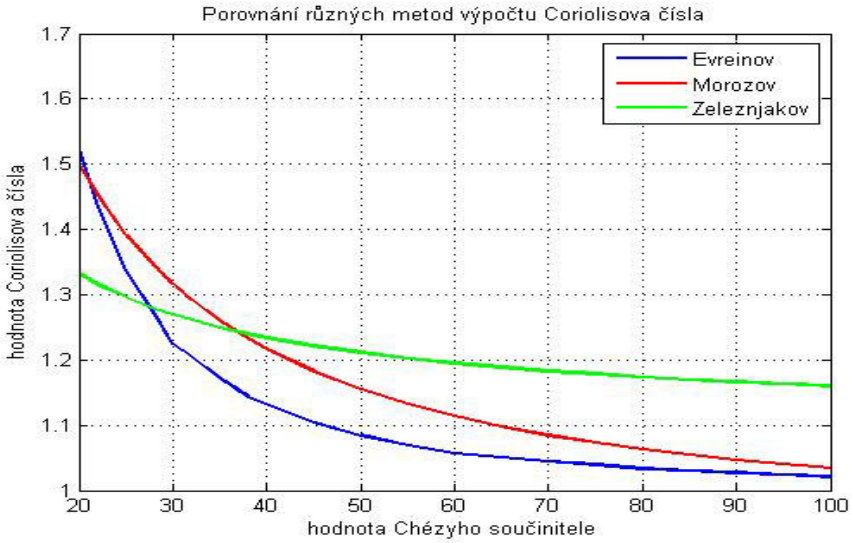
Avšak vzhledem k tomu, že zmiňovaný součinitel je nám znám, můžeme výpočet lehce zpřesnit použitím vztahu:

$$Chézy = \frac{1}{n} R^{y} \tag{13}$$

Po dosazení pak můžeme psát:

$$Chézy = \frac{1}{0{,}013} (1{,}403)^{0{,}1426} = 80{,}7282 \tag{14}$$

Se znalostí Chézyho rychlostního součinitele již není problém spočítat Coriolisovo číslo α. Obtíž nastává ve zvolení vhodného předpisu funkce α. Coriolisovo číslo je odvozeno různými autory různě. Domnívám se, že správný výběr dané metody závisí především na zkušenostech projektanta, který si je vědom různých úskalí pro různá řešení a podle této znalosti je schopen vybrat vhodnou volbu. Naštěstí se výsledky jednotlivých přístupů značně neliší. Pro účel této práce jsem vybral vzorec podle Morozova, který pro hodnotu *Chézy=80,7282* nabývá hodnoty mezi dalšími zkoumanými, tedy metodou Evroinovou a Železnjakovou. Pro ilustraci jsem vyhotovil graf na obrázku 17.



Obr. 17 Graf porovnání metod

Předpis pro vyřešení Coriolisova čísla α podle Morozova je tedy konečně:

$$\alpha = 1 + 0{,}84 \left(\frac{3{,}7}{Chézy^{1/4}} - 1 \right)^{1{,}8} \tag{15}$$

V rozšířené rovnici pro výpočet čistého spádu H, můžeme vidět, že α má různé indexy odkazující na různé průřezy. Vzhledem k tomu, že v tomto případě je průřez stejný jak před tak i za tělesem turbíny, můžeme definovat:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha \tag{16}$$

Abychom měli kompletní oba členy popisující kinetickou energii vody, je potřeba určit rychlosti toku. Díky znalosti průtoku Q a průřezu S_1 spočítáme rychlost jako:

$$w_1 = \frac{Q}{S_1} = \frac{20{,}86}{18{,}8} = 1{,}1096 m/s \tag{17}$$

Pro výpočet rychlosti v korytu za výtokem w_2 použijeme rovnici kontinuity v jejím lineárním tvaru:

$$w_1 S_1 = w_2 S_2 \tag{18}$$

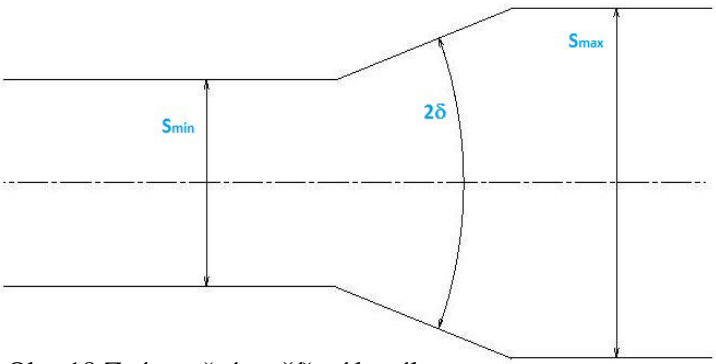
Odkud:

$$w_2 = \frac{w_1 S_1}{S_2} = 1{,}1096 m/s \tag{19}$$

Nyní už známe, nebo jsme schopni dopočítat první tři členy rovnice 7. Pro výpočet posledního ztrátového součinitele musíme znát hodnoty ζ_1 a ζ_2, což jsou součinitelé místní ztráty pro kónické zúžení, respektive rozšíření. Jsou to tabelované hodnoty, závislé na geometrii kanálu.

S_{max}/S_{min}	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	6,00	8,00
2δ=5°	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
2δ=10°	0,02	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,12
2δ=15°		0,06	0,08	0,10	0,13	0,17	0,20
2δ=20°					0,17	0,20	0,23

Tabulka 1 – hodnoty součinitele ζ_1 pro různá geometrická řešení při rozšíření kanálu [8]



Obr. 18 Znázornění rozšíření kanálu

V tabulce 1 je jasně uvedeno jaké hodnoty ζ_1 použít pro jaké poměry většího průřezu k menšímu. Pro ilustraci jsou dané rozměry uvedeny na obrázku 18. Při návrhu vlastní geometrie kanálu ovšem nevycházel tento poměr číselně přesně podle tabulky 1.

Určení ζ_1 by tedy mělo vycházet z aproximace křivky procházející body zaznamenanými v tabulce 1. Pro zjednodušení výpočtu však bylo použito interpolace, která ale nezpůsobuje zvlášť velkou chybu. Mezi jednotlivými body jsou tedy uvažovány lineární průběhy.

Pro zjištění součinitele zúžení ζ_2 je opět použito tabelovaných hodnot, u kterých se už ale neuvažuje poměr většího a menšího průřezu. Zmíněné hodnoty jsou v tabulce 2:

2δ	5°	7°	10°	20°	30°	60°
ζ_2	0,06	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32

Tabulka 2 - hodnoty součinitele ζ_2 pro různá geometrická řešení při rozšíření kanálu

Přívodní kanál byl v této práci navržen na vstupu s úhlem $2\delta=10°$ a na výstupu $2\delta=5°$. Pro vstup to má tedy za následek volbu $\zeta_2=0,16$. Pro zvolení ζ_1 je nejprve potřeba spočítat poměr S_{max}/S_{min}, který je v případě této práce roven $S_{max}/S_{min}=2,3936$. Následně přichází na řadu interpolace, která má za výsledek $\zeta_1=0,0579$. Nyní při znalosti všech potřebných veličin můžeme spočítat hodnoty hydraulických ztrát při zúžení a rozšíření kanálu.

$$H_{z1} = \zeta_1 \frac{\left(\frac{Q}{S_3}\right)^2}{2g} \tag{20}$$

$$H_{z2} = \zeta_2 \frac{\left(\frac{Q}{S_0}\right)^2}{2g} \tag{21}$$

Kde	H_{z1}, H_{z2}	=	hydraulické ztráty rozšířením a zúžením	[m]
	S_3, S_0	=	průřezy kanálu za výstupem a před vstupem	[m^2]

Po dosazení:

$$H_{z1}=0,0006m;\ H_{z2}=0,0039m$$

Nyní jsme dopočítali energetické ztráty na vstupu a výstupu kanálu, způsobené změnou tvaru. Je však ještě nutné dopočíst ztráty způsobené samotný kanálem při konstantním průřezu podle následující rovnice (22).

$$H_{z12} = \frac{w_s L}{Chézy_s^2 R_s} + \alpha \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} \tag{22}$$

Kde	H_{z12}	=	hydraulické ztráty podél kanálu	[m]
	w_s	=	střední rychlost	[m/s]
	L	=	délka kanálu	[m]
	$Chézy_s$	=	střední hodnota Chézyho součinitelů	[-]
	R_s	=	střední hodnota hydraulického poloměru kanálu	[m]

V našem případě máme před elektrárnou a za ní stejný průřez kanálu, z čehož vyplývá, že střední hodnoty zmíněných veličin jsou v podstatě rovny výše uvedeným bez indexu.

Jedná se o tyto veličiny:

$$w_s = \frac{w_1+w_2}{2} \tag{23}$$

$$Chézy_s = \frac{Chézy_1+Chézy_2}{2} \tag{24}$$

$$R_s = \frac{R_1+R_2}{2} \tag{25}$$

Předpisy středních hodnot v této práci uvádím z důvodu možné potřeby použití, pokud někdo bude navrhovat kanál s různými geometrickými parametry.

Po dosazení všech známých hodnot do rovnice (22), spočítáme, že:

$$H_{z12} = 0{,}0073m \tag{26}$$

Konečně můžeme určit celkové ztráty H_{zc}, které vyplývají z prostého součtu:

$$H_{zc} = H_{z12} + H_{z1} + H_{z2} \tag{27}$$

Kde H_{zc} = celkové hydraulické ztráty [m]

Po dosazení vyjde:

$$H_{zc}=0{,}0119m \tag{28}$$

Nyní můžeme všechny spočítané veličiny dosadit do rovnice (7) a po sečtení nám vyjde čistý spád H roven:

$$H=2{,}5881m \tag{29}$$

6.2. Určení celkové účinnosti elektrárny

Celková účinnost malé vodní elektrárny závisí na mnoha faktorech. Zejména na účinnostech jednotlivých strojních zařízení a elektrických strojů. Celková účinnost se spočte podle vztahu:

$$\eta_c = \eta_t\eta_p\eta_g\eta_{tr} \tag{30}$$

Kde	η_c	=	celková účinnost malé vodní elektrárny	[-]
	η_t	=	účinnost turbíny	[-]
	η_p	=	účinnost převodu	[-]
	η_g	=	účinnost generátoru	[-]
	η_{tr}	=	účinnost transformátoru	[-]

Turbína, kterou má v nabídce ČKD Blansko, bude dosahovat účinnosti:

$$\eta_t=87{,}8\% \tag{31}$$

Pro potřeby této práce byla vybrána převodovka s kuželovými koly dle nabídky společnosti ČKD Blansko, a.s., s účinností přesahující 97%. Pro výpočty byla tedy účinnost uvažována jako:

$$\eta_p = 98\% \tag{32}$$

Podle konzultace s odborníky z ČKD Blansko, a.s., byl po zvážení parametrů vodního zdroje a možné vodní turbíny pro účel této práce zvolen horizontální asynchronní generátor typu AG124KL8. Jedná se o třífázový vzduchem chlazený generátor dimenzovaný na příkon 315kW a následný výkon 299kW. Jeho průměrná účinnost v závislosti na hodnotě skluzu je 95%.

$$\eta_g = 95\% \tag{33}$$

Účinnost transformátoru závisí především na velikosti dodaného výkonu. Obecně platí, že čím menší výkon je transformován, tím je nižší účinnost. V technické praxi se u transformátorů běžně dosahuje účinnosti 85 až 99%. Pro případ této úlohy byla po konzultaci s odborníkem na Elektro-inženýrství za směrodatnou hodnotu zvolena hodnota bližší maximální účinnosti z výše zmíněného rozsahu, s odůvodněním, že moderní transformátory dokážou velice efektivně přetransformovat vyšší výkony, jakým je i výkon elektrárny v této práci. Účinnost transformátoru tedy je:

$$\eta_{tr} = 97\% \tag{34}$$

Celková účinnost se po dosazení do rovnice (30) bude rovnat:

$$\eta_c = 78{,}2\% = \eta \tag{35}$$

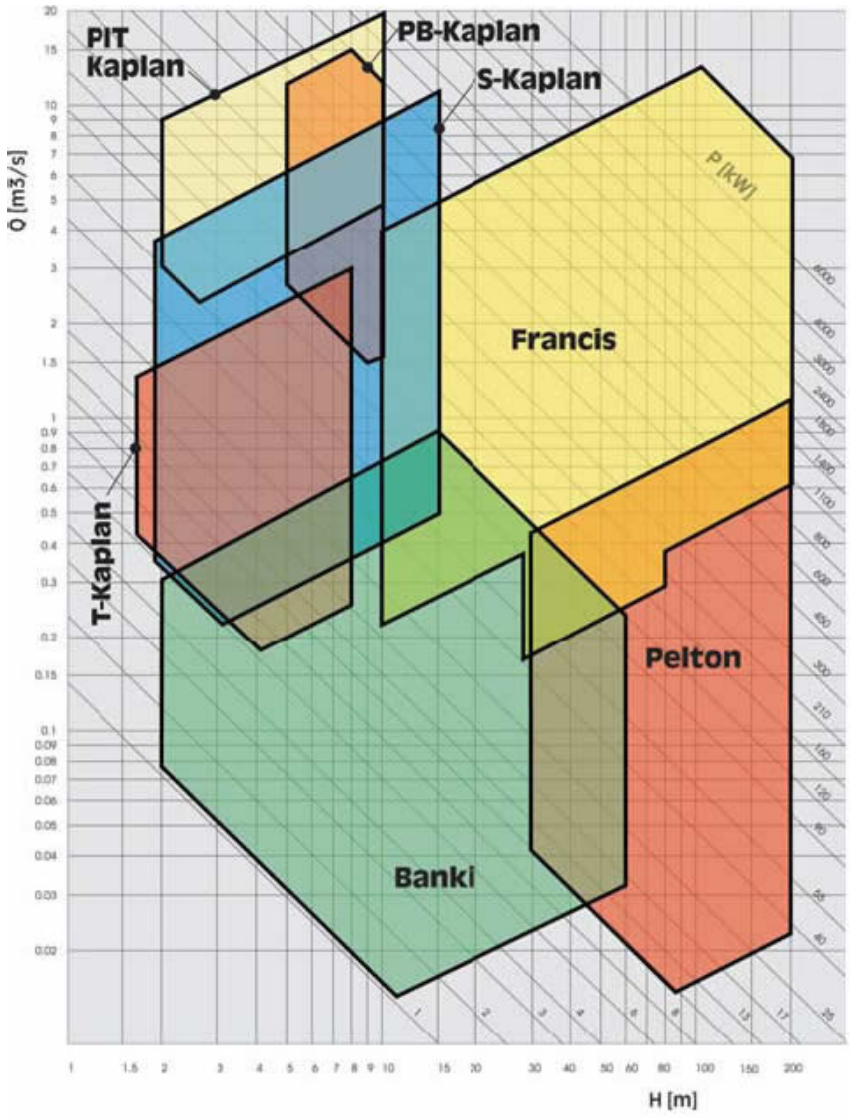
Vrátíme-li se na začátek kapitoly a dosadíme nyní všechny známé hodnoty do rovnice (5), vyjde nám hodnota pro celkový výkon malé vodní elektrárny:

$$P_{celk} = 420kW \tag{36}$$

Tato hodnota slouží k přibližné představě o tom, co můžeme očekávat po dostavění elektrárny. Nicméně podrobné výpočty je radno ponechat v režii společnosti, u které objednáváme potřebné zařízení a projektovou činnost. Ti si díky tomu můžou spočítat svoje hodnoty, které jim budou rozumným způsobem korespondovat s jejich dalšími interními postupy.

7. Výběr a realizace variant

Výběr technicky vhodné varianty je zcela zásadní pro úspěšný provoz MVE. Základními ukazateli, podle kterých se řídit jsou průtok a spád. Na základě jejich znalosti můžeme úspěšně volit vodní turbínu, která nám zajistí co možná nejoptimálnější využití energetického potenciálu vodního zdroje. Vždy je samozřejmě žádoucí a ideální konzultovat tento výběr s odbornou osobou. Nicméně pro elementární představu, kdy jaký typ turbíny použít slouží aplikační diagram uvedený na obrázku 19, který je pouze příkladem jak může takový diagram vypadat. Každá společnost zabývající se výrobou vodních turbín, používá své diagramy, které jsou průběžně zdokonalovány o nabité zkušenosti z realizace.



Obr. 19 Aplikační diagram [19]

Porovnáním grafu a zadaných parametrů, bylo jasné, že se návrh bude muset uchýlit ke Kaplanově turbíně. Tato práce si klade za cíl porovnat dvě různé varianty výstavby. Velice častá bývají řešení se savkou typu S, nebo spirálou. Z tohoto důvody byly pro tuto práci vybrány právě tyto dvě.

7.1. Kaplan se savkou typu S

Rozdíl vodních hladin toku před a za jezem je pro tuto práci zadán hodnotou H_b=2,6m. Výkon vodního toku je však natolik velký, že abychom ho dokázali celý využít, museli bychom mít turbínu o větším průměru než je spád. To je ovšem nereálné a proto se přistoupilo k návrhu se dvěma turbínami typu S-Kaplan.

Celá elektrárna je tvořena strojovnou a souborem vnějších zařízení, která mají za úkol vhodně připravit proud vody pro zpracování turbínou. Voda je do turbín přiváděna

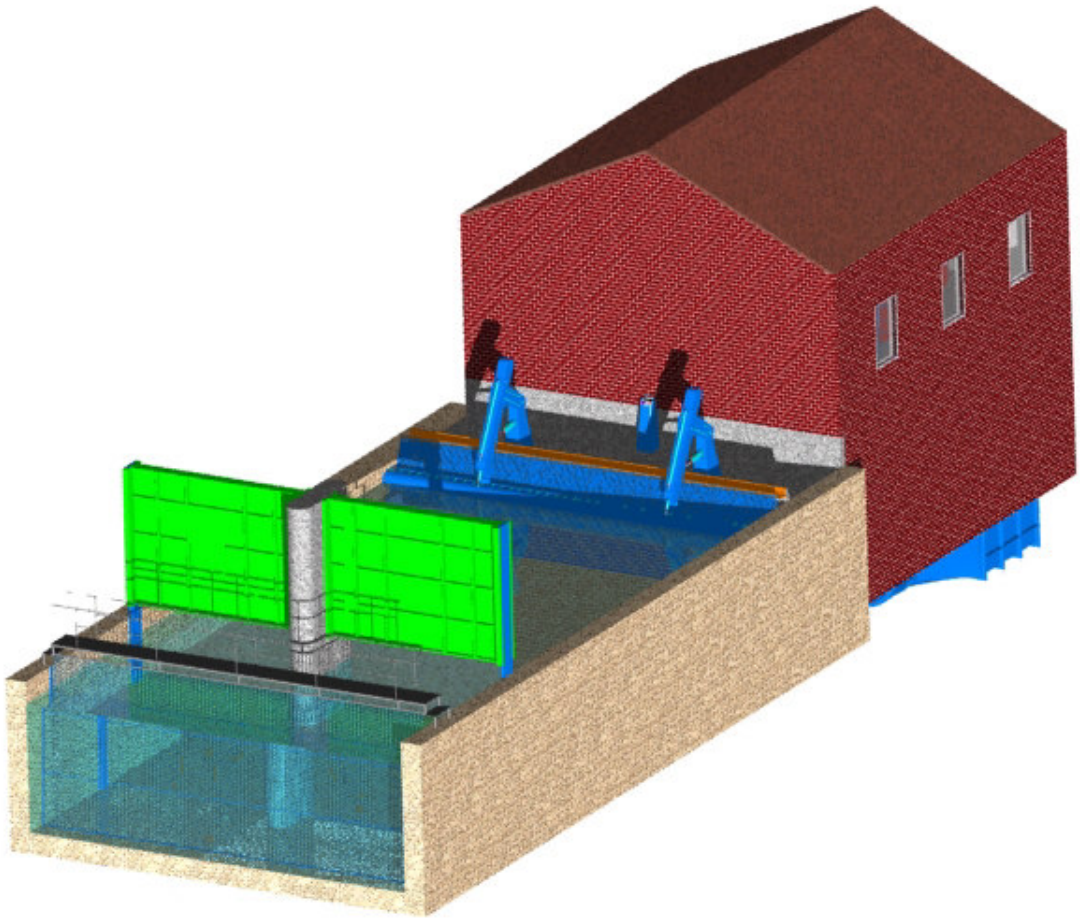
obdélníkovým přivaděčem z hladkého betonu. Nejprve se voda střetává s hrubými česlemi, které slouží k zachytávání velkých nečistot, jako jsou kupříkladu spadané větve nebo jiné větší objekty, které by mohly turbínu poškodit.

Těsně za hrubými česlemi by měl být elektrický plašič ryb, který se stará o to, aby se vodní živočichové vůbec nedostali do prostoru přivaděče. K hrubým česlím většinou neodmyslitelně patří i obslužná lávka. Díky ní je pracovník schopen zbavovat česle nežádoucích naplavených objektů.

Další nutností jsou stavidla, jejichž smyslem je zastavení, nebo regulace průtoku vody při situacích, které to můžou vyžadovat.

Hrubé česle zachycují zpravidla jen opravdu větší objekty. Nicméně nečistoty jako listí, menší větvičky apod. jimi projdou a pro turbínu představují nebezpečí v podobě zanášení, které je následováno poklesem účinnosti. Aby se tomuto předešlo, používáme tzv. jemné česle, které se od hrubých v zásadě liší především kratšími vzdálenostmi mezi jednotlivými profily. Dle nabídky ČKD Blansko a. s. byly použity česle s roztečí 7cm. Stejně tak jako hrubé česle je potřeba i jemné česle pravidelně čistit. U MVE podobného výkonu jako je v této práci bývá standardem, že čištění provádí čisticí stroj, který ponoří pod hladinu své rameno a kartáči pak vytáhne nečistoty buď do žlabu, odkud se odplaví pryč, nebo se jen vyhrnou na obslužnou plošinu, odkud je obsluha odklidí do kontejneru.

Celkový pohled na elektrárnu v provedení S-Kaplan je k vidění na obrázku 20.



Obr. 20 Pohled na elektrárnu v provedení S-Kaplan

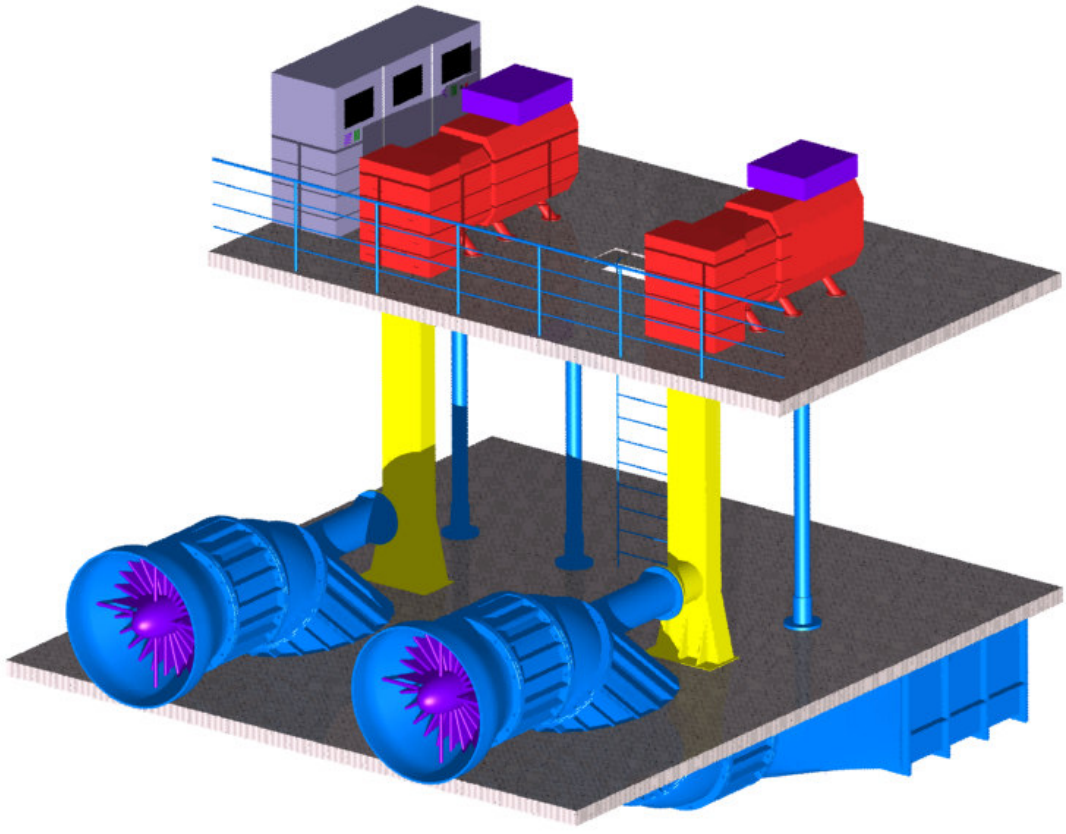
Podle nabídky ČKD Blansko a. s. byly zvoleny dvě Kaplanovy turbíny, jejichž hlavní parametry pro každou jednu z nich jsou následující:

- Maximální průtok 12,55 m^3/s
- Minimální průtok 5 m^3/s
- Maximální výkon na spojce turbíny 280,9 kW
- Minimální výkon na spojce turbíny 114,2 kW
- Otáčky turbíny 180 min^{-1}

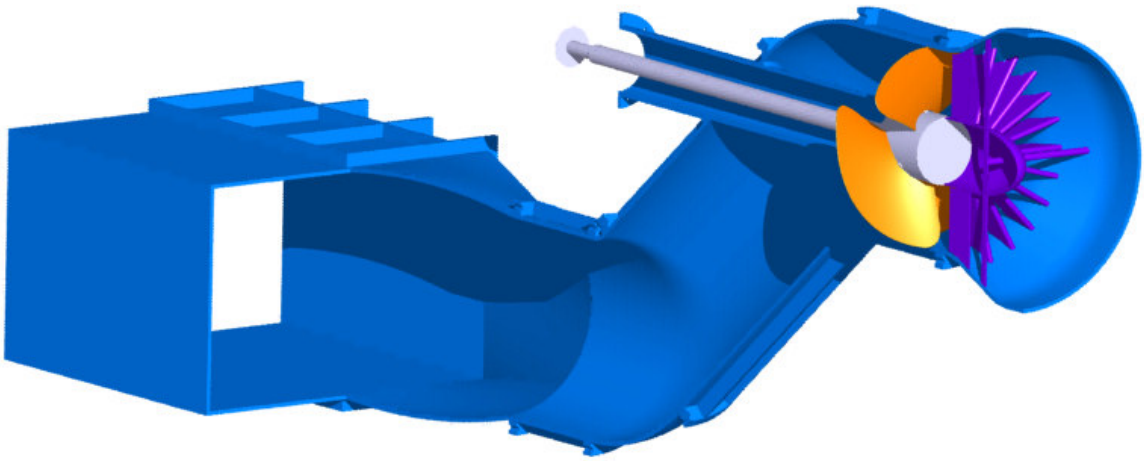
Výše uvedené hodnoty jsou extrémy, při kterých je očekáváno, že soustrojí může pracovat. Nicméně nejvyšší účinnosti turbíny $\eta_t=92,1\%$ je dosaženo při optimálním výkonu, který činí 202,4kW.

Oběžné kolo turbíny o průměru 1600mm je osazeno třemi lopatkami, které jsou regulovatelné v rozmezí 30°. Výsadou tohoto typu jsou regulovatelné rozváděcí lopatky, díky kterým je možno se relativně dobře přizpůsobit různým průtokům s minimálním poklesem účinnosti.

Hřídel turbíny je vyvedena mimo těleso do ložiskového domku, kde je napojena na převodovou hřídel kuželovým ozubením. Tato hřídel pak opět kuželovým soukolím pohání rotor generátoru. Toto uspořádání má výhodu v tom, že při případném zatopení strojovny vodou nemusí být generátor potopen ve vodě, což by se ve výsledku mohlo majiteli elektrárny prodražit formou oprav, nebo nákupem nového zařízení. Pohled na strojovnu a těleso turbíny je k vidění na obrázcích 21 a 22.



Obr. 21 Strojovna se dvěma turbínami S-Kaplan



Obr. 22 Těleso s turbínou v řezu

7.2. Vertikální Kaplanova turbína

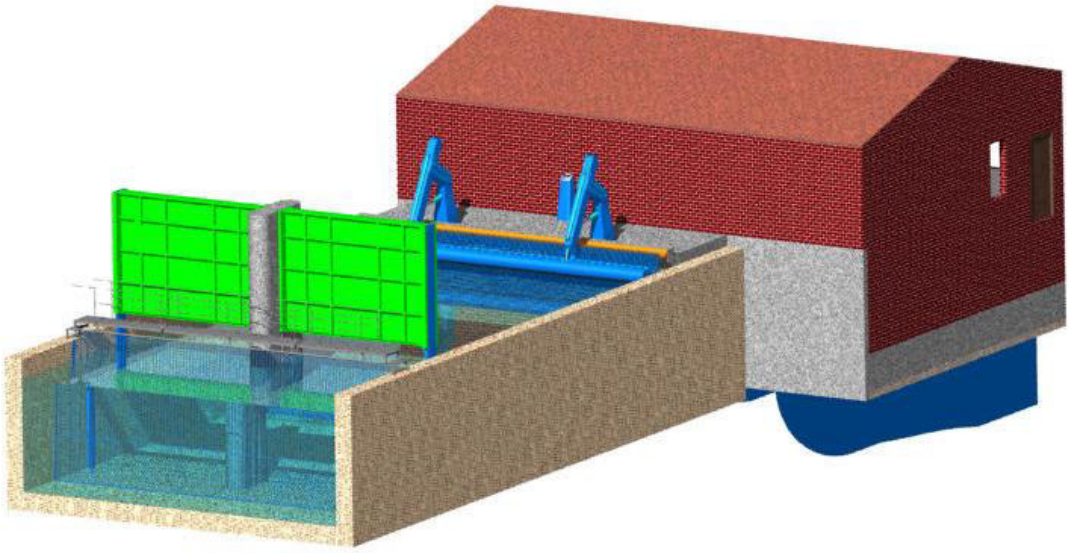
Tato varianta se od předchozí liší pouze uspořádáním strojovny. Všechna zařízení před elektrárnou, která mají za úkol regulaci toku a jeho pročištění zůstávají stejná jako v kapitole 7.1.

Strojovna opět obsahuje dvě turbíny. Jejich vertikální koncept, však přináší několik rozdílů. Voda je přiváděna z betonového přivaděče spirálou, která distribuuje vodu po celém obvodu až po ostruhu. Úhel obchvatu bývá v hodnotách 345° až 330°. Průřez spirály se s její délkou postupně zmenšuje, tak aby bylo množství vody přivedeno do turbíny co nejvíc rovnoměrně v každém místě. Ve statorové části jsou uloženy rozváděcí lopatky, které svým natáčením usměrňují proud a pomáhají tak zvyšovat účinnost výroby energie.

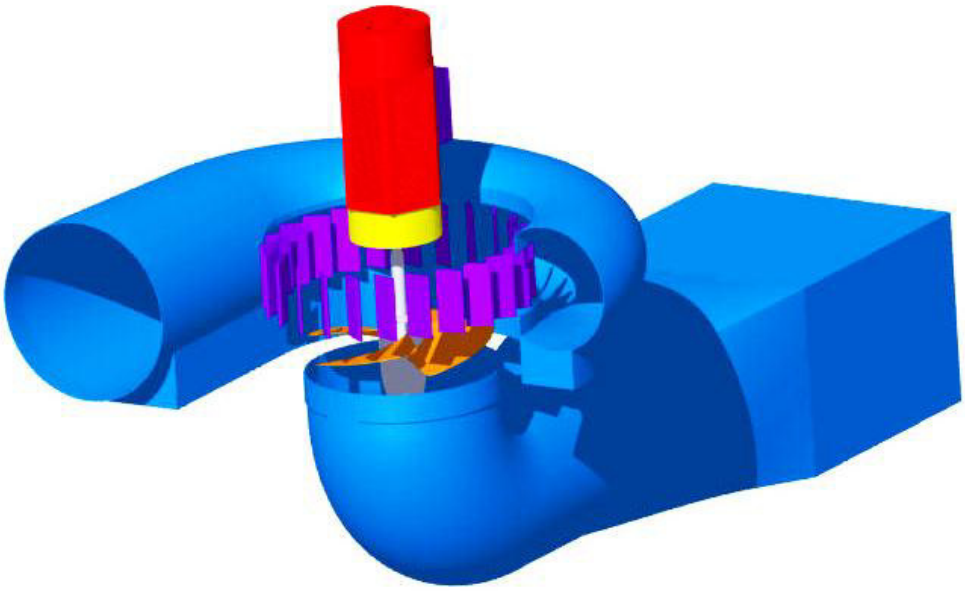
Rotor s oběžným kolem o průměru 2000mm disponuje ve vertikální úpravě čtyřmi lopatkami. Hřídel turbíny je vyvedena do převodové skříně, kde získáme potřebné otáčky pro použití na hřídeli v generátoru. Parametry turbíny jsou uvedeny níže.

- Maximální průtok 12,55 m^3/s
- Minimální průtok 3,5 m^3/s
- Maximální výkon na spojce turbíny 286,3 kW
- Minimální výkon na spojce turbíny 74 kW
- Otáčky turbíny 125 min^{-1}

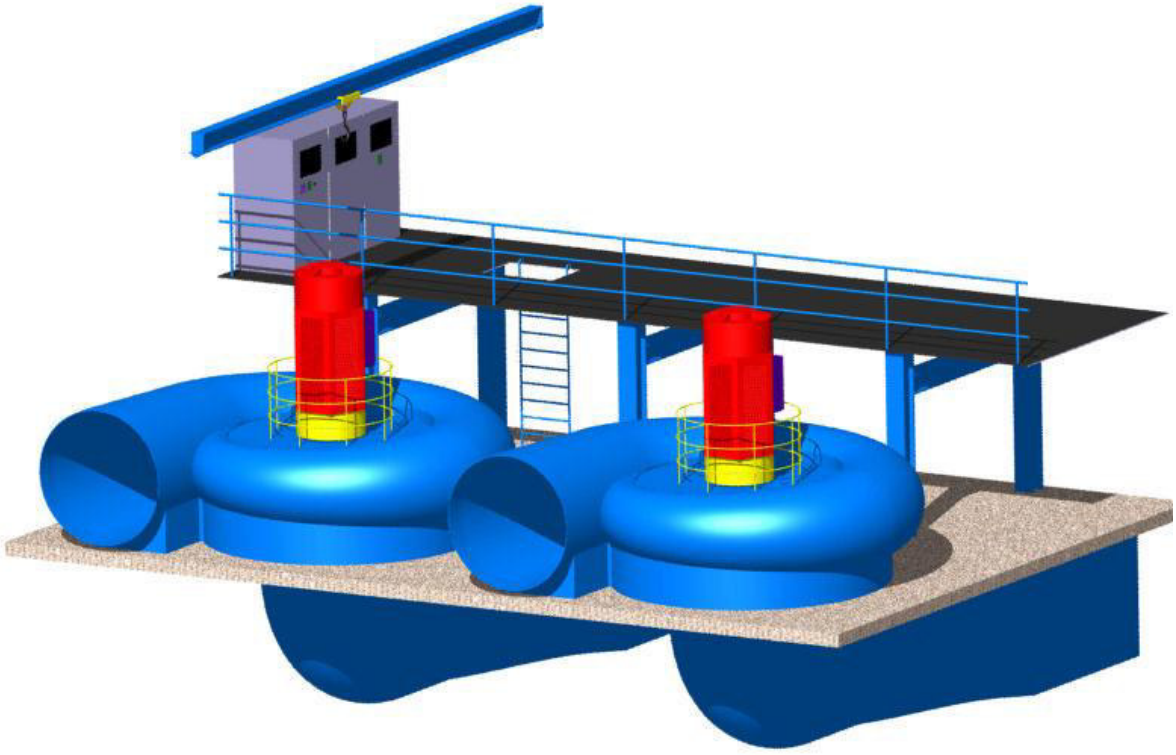
V tomto případě optimální výkon dosahuje hodnoty 195,5kW při účinnosti η_t=91,3%. Uspořádání soustrojí v tomto návrhu má výhodu především v kompaktnosti. Na druhou stranu může nastat problém při zatopení strojovny, protože generátor je umístěn jen těsně nad turbínou a pokud by byl generátor v kontaktu s vodou, riskujeme jeho poškození. Druhou variantu řešení blíže ilustrují následující obrázky 23, 24 a 25.



Obr. 23 Pohled na elektrárnu s vertikální Kaplanovou turbínou



Obr. 24 Spirálový přivaděč v řezu s RK a OK, generátor a savka



Obr. 25 Pohled do strojovny 2. varianty

7.3. Výkonové a dispoziční porovnání obou variant

Hodnoty účinností uvedené v kapitole 6 jsou uvedeny pro první variantu. Jelikož ale jiná turbína s sebou nese i jinou účinnost, liší se pak i konečný výkon. Účinnosti generátoru a transformátoru jsou uvažovány jako totožné.

Varianta 1:

Maximální výkon na spojce turbíny:	280,9	kW
Výkon na svorkách generátoru:	261,5	kW
Výkon vycházející z transformátoru:	253,7	kW

Varianta 2:

Maximální výkon na spojce turbíny:	286,3	kW
Výkon na svorkách generátoru:	266,5	kW
Výkon vycházející z transformátoru:	259,0	kW

Z hlediska dispozičního uspořádání je výhodnější varianta číslo 1, která je uložena v budově o čtyři metry užší. Tento délkový rozdíl je způsoben velikostí dvojicí spirál, které jsou širší, než savka S. Pro obě varianty je společná obslužná plošina, na které je umístěn ovládací panel turbíny s instalovaným software. Nutností je pohyblivý nosník, na kterém je uchycena kočka zabezpečující manipulaci s těžkým příslušenstvím.

8. Ekonomické vyhodnocení

Základem pro stanovení finanční návratnosti je cena vykupované energie a taktéž množství vyrobené energie v roce. Pro určení množství vyrobené energie za rok předpokládám průměrný průtok, který jsem v kapitole 6 určil jako Q_{120}. Doba výroby elektrické energie byla uvažována na 5200h/rok. To zhruba odpovídá 217 dnům v roce. Zbylé dny jsou uvažovány jako rezerva pro nutné opravy, odstávky, nebo přerušení provozu z důvodu nevhodných hydrologických podmínek. Konkrétní hodnota se pak určí podle vzorce:

$$E_{120}=P_{120}*t_h \tag{37}$$

kde:	*E120*	*Energie vyrobená v jednom roce*	*[MWh]*
	P120	*Výkon při Q120*	*[MW]*
	t_h	*doba, kterou MVE dodává energii do sítě*	*[h]*

Pro variantu 1 platí:

$$E_{120} = 2*253,7*5200 = 2638,48MWh \tag{38}$$

Pro variantu 2 platí:

$$E_{120} = 2*259*5200 = 2693,6MWh \tag{39}$$

Tento výpočet je spíše přibližný. Abychom byli schopni spočítat množství vyrobené energie za rok blízko realitě, museli bychom znát křivku překročení průtoků. V této práci se ale počítá se zadanými hodnotami.

Výkupní cena elektřiny z vodních zdrojů je uvedena v Cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2013 ze dne 27. listopadu 2013, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. Toto rozhodnutí pro MVE vzniklých v nových lokalitách v roce 2014 stanovuje výkupní cenu elektřiny následovně:

Druh dotace	Suma
Výkupní cena [Kč/MWh]	3230
Zelený bonus [Kč/MWh]	2410

Zelený bonus je druh dotace, který je spíše zaměřen na domácnosti nebo velmi malé elektrárny, které velkou část energie dodávají do obydlí a tu tak v podstatě spotřebovávají samy. Hraniční hodnota je 30%. Pokud distribuujeme do sítě více jak 30% vyrobené energie, není výhodné uplatňovat Zelený bonus. To je přesně případ této práce a proto budeme uvažovat ve výpočtech Výkupní cenu v hodnotě 3230Kč. Pokud je elektrárna postavena v roce 2014, měla by tato hodnota zůstat stejná i pro další roky.

Veškeré zařízení a projektové práce budou objednány u společnosti ČKD Blansko a. s. Jejich cenová nabídka jednotlivých komponent a úkonů je následující:

8.1. Varianta 1

Vnější zařízení elektrárny:

Položka	Cena
Hrubé česle s příslušenstvím	80 000
Hradicí tabule s příslušenstvím	870 000
Jemné česle	500 000
Snímač vodní hladiny	100 000
Stavidlové uzávěry s příslušenstvím	2 480 000
2 Hydraulické čisticí stroje	1 900 000
Dopravník nečistot	160 000
Kontejner	25 000
Čerpací agregát + trubkování	450 000
Hradidla výtoku	755 000
Celkem	7 320 000

Hrubými česlemi s příslušenstvím jsou myšleny trubky a jejich uchycení. Hradicí tabule jsou provizorní prostředky, kterými se odklání voda během výstavby. Je pravděpodobné, že úkony s odkloněním vody bude v budoucnu potřeba provést opětovně, proto se pro ně buduje boční vedení a dolní práh.

Obdobně jako hrubé česle tak i jemné česle jsou tvořeny několika desítkami ocelových profilů. Jemné česle jsou vyztuženy rozpěrkami a distančními trubkami. Taktéž se na nich provádí povrchové úpravy, aby vydržely v nepříznivém prostředí.

Snímače vodní hladiny v podobě tlakových sond slouží k regulaci turbíny od horní hladiny a k ovládání čisticího stroje. Jsou dodávány včetně ochranné trubky a přepěťové ochrany.

Stavidla jsou válcované profily. K nim je dodáváno boční vedení, práh, servomotor a ukotvení.

Čisticí stroje, dopravník nečistot, kontejner a čerpací agregát tvoří dohromady soubor pro čištění česlí.

Strojní část elektrárny:

Položka	Cena
Turbíny s příslušenstvím	27 000 000
Regulační agregáty turbín	760 000
Převodovky	1 700 000
Zařízení k výrobě elektrické energie	2 200 000
Řídicí jednotka + software	1 900 000
Celkem	33 560 000

Turbínami s příslušenstvím se rozumí samotné turbíny včetně savky, skříně, spojek, servomotorů a ložisek.

Do cen převodovek jsou započítány i mazací agregáty.

Do zařízení k výrobě elektrické energie spadá asynchronní generátor a transformátor.

Práce na elektrárně:

Položka	Cena
Montáž zařízení	5 800 000
Zpracování projektu	350 000
Stavební práce	7 000 000
Celkem	13 150 000

Montáž zařízení odborně vyškoleným personálem se podle dodavatele pohybuje zhruba od 12% do 15% ceny strojní části.

Hodina práce projektanta je stanovena na 500Kč. Rozsah práce byl odhadnut na 700 až 800 hodin.

Stavební práce v sobě obsahují výkop přívodního kanálu + výkop základů strojovny. Dále pak kompletní stavbu budovy strojovny.

Celkové náklady varianty 1

Soubor položek	Cena
Vnější zařízení elektrárny	7 320 000
Strojní část elektrárny	33 560 000
Práce na elektrárně	13 150 000
Celkem	54 030 000

Určení kritérií pro výpočet návratnosti investice

- Celková investice činí 54 030 000 Kč.
- Příjem z prodeje elektrické energie v jednom roce činí 2638,48*3230 = 8 522 290 Kč
- Daň z příjmu je 15%
- MVE je podle zákona o dani z příjmu č.586/1992Sb. zařazena ve 4. odpisové skupině, kde je stanovena doba odpisování na dvacet let. Odpisy budou provedeny lineárně.
- Provozní náklady byly odhadnuty za rok na částku 100 000Kč

Provedení výpočtu návratnosti investice můžeme vidět v následující tabulce 3.

Rok provozu	Příjem [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Odpis[Kč]	Zisk[Kč]	Zisk po dani[Kč]	Celkový Zisk[Kč]
1	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	4862671,5
2	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	9725343
3	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	14588014,5
4	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	19450686
5	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	24313357,5
6	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	29176029
7	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	34038700,5
8	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	38901372
9	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	43764043,5
10	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	48626715
11	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	53489386,5
12	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	58352058
13	8522290	100000	2701500	5720790	4862671,5	63214729,5

Tabulka 3 – Výpočet návratnosti investice pro Variantu 1

8.2. Varianta 2

Tato verze se od první z hlediska nákladů liší pouze ve strojní části. Zbytek nákladů zůstává totožný. Tedy:

Strojní část elektrárny

Položka	Cena
Turbíny s příslušenstvím	23 000 000
Regulační agregáty turbín	760 000
Vertikální čelní převodovky	1 600 000
Zařízení k výrobě elektrické energie	2 800 000
Řídicí jednotka + software	1 900 000
Celkem	30 060 000

Celkové náklady varianty 2

Soubor položek	Cena
Vnější zařízení elektrárny	7 320 000
Strojní část elektrárny	30 060 000
Práce na elektrárně	13 150 000
Celkem	50 530 000

Určení kritérií pro výpočet návratnosti investice

Tento krok bude proveden obdobně jako pro variantu 1. Změní se ale Celková investice a příjem z prodeje elektrické energie.

- Celková investice činí 50 530 000 Kč.
- Příjem z prodeje elektrické energie v jednom roce činí 2693,6*3230 = 8 700 328 Kč

Provedení výpočtu návratnosti investice můžeme vidět v následující tabulce 4.

Rok provozu	Příjem [Kč]	Provozní náklady [Kč]	Odpis[Kč]	Zisk[Kč]	Zisk po dani[Kč]	Celkový Zisk[Kč]
1	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	5162753,8
2	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	10325507,6
3	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	15488261,4
4	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	20651015,2
5	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	25813769
6	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	30976522,8
7	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	36139276,6
8	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	41302030,4
9	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	46464784,2
10	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	51627538
11	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	56790291,8
12	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	61953045,6
13	8700328	100000	2526500	6073828	5162753,8	67115799,4

Tabulka 4 – Výpočet návratnosti investice pro Variantu 2

8.3. Vyhodnocení investice

Z předchozích tabulek můžeme vidět, že se jedná o poměrně dobrou investici s relativně dobrou dobou návratnosti. Varianta 1 vykazuje návratnost po 12 letech, varianta 2 už po 11 letech. Vzhledem k tomu, že životnost malých vodních elektráren se pohybuje řádově od dvaceti do třiceti let, lze očekávat vysoký výnos. Pravděpodobně se provoz neobejde bez oprav. Ceny oprav by ale neměly převýšit zisk, pokud budou provedeny kvalitně a s dostatečným časovým odstupem.

Výpočet návratnosti uvažuje návratnost pouze nominální hodnoty vložené investice. Abychom byli schopni určit reálnou hodnotu návratnosti, museli bychom do výpočtu zahrnout roční inflaci, která se pohybuje od 2% do 4%. Reálná doba návratnosti by se tak o něco prodloužila.

Pokud se ale zaměříme na vlastní porovnání zvolených variant, je samozřejmě vhodnější zvolit variantu číslo 2, která má počáteční investici nižší zhruba o 3 500 000 Kč a díky výkonu soustrojí je i výdělečnější.

9. Závěr

Cílem této práce bylo především navrhnout malou vodní elektrárnu pro zadané parametry a následně provést zhodnocení investiční návratnosti. Tohle se v realitě ovšem neobejde bez jednání s úřady, občany žijícími v lokalitě a jinými zúčastněnými osobami. Proto do této práce byly taktéž zařazeny kapitoly „Postup při navrhování MVE“ a „Vliv výstavby malé vodní elektrárny na okolní prostředí“.

Dispoziční řešení je zde provedeno spíše rámcově. Bylo to však cílem a to z toho důvodu, že potenciální investor si bude velice pravděpodobně elektrárnu nechávat stavět na objednávku. To probíhá tak, že investor sdělí jemu známé parametry vodního toku společnosti, u které práci poptává. Následně obdrží nabídku, podle které se rozhodne výstavbu uskutečnit, nebo nikoliv. Stejný princip byl použit i v této práci ve spolupráci s firmou ČKD Blansko a.s.

Ve stati o provozování malých vodních turbín bylo cílem provést rešerši vodních turbín v ČR i ve světě. Je uvedeno několik zástupců, kteří reprezentují použití různých strojů. Ve finále lze ale říci, že v podstatě všechny hlavní typy turbín se běžně používají, jediným kritériem výskytu jsou přírodní podmínky.

Práce jako celek byla koncipována tak, aby mohla sloužit jako hrubý návod osobě, která by měla zájem o stavbu, provoz, nebo rekonstrukci malé vodní elektrárny. Nicméně pro přesné stanovení co a jak provést by každá kapitola musela jít do problematiky mnohem hlouběji.

10. Použitá literatura

[1] Barták, J. – Ettler, Z. – Fremr, V.: Malé vodní elektrárny v západních Čechách. Západočeská energetika, a.s., 2003, ISBN 80-239-1475-8

[2] Bednář, J.: Malé vodní elektrárny 2 Turbíny. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., Praha 1989, DT 621.311.21-181.4

[3] Dušička, P. – Gabriel, P. – Hodák, T. – Čihák, F. – Šulek, P.: Malé vodní elektrárny. Jaga group, v. o. s., Bratislava 2003, ISBN 80-88905-45-1

[4] Gasha, H. – Pflanz, S.: Kompendium fyziky. Euromedia Group, k. s. – Universum, 2008, ISBN 978-80-242-2013-0

[5] Holata, M.: Malé vodní elektrárny. Academia, nakladatelství akademie věd České republiky, Praha 2002, ISBN 80-200-0828-4

[6] Pytlík, O. – Posouzení možnosti stavby malé vodní elektrárny. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie.

[7] Stream map [online]. [cit. 2014.05-01].
Dostupné z: <http://streammap.esha.be/14.0.html.>

[8] hydraulika.fsv.cvut.cz, [skripta online]. [cit. 2014.02-13].
Dostupné z:
<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_04_Hydraulika_potrubi.pdf>

[9] <http://solidworks.caxmix.cz/wp-content/uploads/2013/01/%C5%99et%C4%9Bzov%C3%BD-p%C5%99evod-Slav%C3%ADk-SolidWorks1.jpg> [cit. 2014.04-29]

[10] <http://solidworks.caxmix.cz/wp-content/uploads/2013/01/%C5%99emenov%C3%BD-p%C5%99evod-Slavik-SolidWorks.jpg> [cit. 2014.04-29]

[11] <http://vodnimlyny.cz/data/uploaded/images/mills/204/1074.jpg> [cit. 2014.04-29]

[12] <http://www.rieder.cc/typo3temp/pics/002ebacee5.jpg> [cit. 2014.05-02]

[13] <http://www.malibuhydro.com/2005_0309genstuff0018.jpg> [cit. 2014.05-03]

[14] <http://www.cez.cz/edee/content/img/pro-media/fotogalerie/galerie-vydra/01_vydra.jpg> [cit. 2014.05-03]

[15] <http://www.calla.cz/atlas/images/img/2009-11-04-13-16-57-c.jpg> [cit. 2014.05-04]

[16] <http://www.cez.cz/edee/content/img/pro-media/fotogalerie/galerie-vydracpila/16_cenpila.jpg> [cit. 2014.05-04]

[17] <http://www.cez.cz/edee/content/img/pro-media/fotogalerie/galerie-les-kralovstvi/01_les_kralovstvi.jpg> [cit. 2014.05-04]

[18] <http://www.cez.cz/edee/content/img/pro-media/fotogalerie/galerie-spalov/01_spalov.jpg> [cit. 2014.05-04]

[19] <http://www.ekowatt.cz/uspory/img/uvod/voda_02.jpg> [cit. 2014.06-17]

[20] <http://vyuka.ic.cz/elektrina-vyroba/obr/turbina-peltonova-tech-muzeum-Brno2008.jpg> [cit. 2013.10-30]

[21] <http://www.cojeco.cz/obrazek.php?cesta=http://www.cojeco.cz/attach/image/max/f3/f809/f3f809426f647f0eb486f22fe8b6883b.jpg> [cit. 2013.10-30]

[22] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Vodní_kolo.jpg> [cit. 2013.10-30]

[23] <http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2014/Taylor_Hanley/taylor_hanley%232/Project%20template%202/project/project%20pics/francispicture.gif> [cit. 2014.06-24]

[24] <http://members.tripod.com/hydrodocs_1/ossberger.gif> [cit.2014.06-24]

Seznam příloh:

P1: Výkres dispozičního řešení 1. Varianty
P2: Výkres dispozičního řešení 2. Varianty

P3: Zdrojový kód programu MATLAB pro výpočet výkonu elektrárny

Příloha P3:

```
% Vypocet vykonu male vodni elektrarny
% Filip Schmidt

clc;
clear;

% Zadane udaje:
Qz=25.1;                                %[m3/s]     prutok zadany
Qb=4.24;                                %[m3/s]     prutok biologicky
Hb=2.6;                                 %[m]        hruby spad
g=9.81;                                 %[m/s2]     gravitacni zrychleni
ro=1000;                                %[kg/m3]    merna hmotnost vody

% Navrzene parametry:
B0=10;                                  %[m]        sirka koryta pred vstupem
V0=3;                                   %[m]        smocena vyska koryta pred
vstupem
B1=9.4;                                 %[m]        sirka koryta na vstupu
V1=2;                                   %[m]        smocena vyska koryta na vstupu
B2=9.4;                                 %[m]        sirka koryta na vystupu
V2=2;                                   %[m]        smocena vyska koryta na vystupu
B3=15;                                  %[m]        sirka koryta za vystupem
V3=3;                                   %[m]        smocena vyska koryta za
vystupem
S0=B0*V0;                               %[m2]       smoceny prurez koryta pred
vstupem
S1=B1*V1;                               %[m2]       smoceny prurez koryta na vstupu
S2=B2*V2;                               %[m2]       smoceny prurez koryta na
vystupu
S3=B3*V3;                               %[m2]       smoceny prurez koryta za
vystupem
delta1=5;                               %[deg]      uhel zuzeni koryta na vstupu
delta2=10;                              %[deg]      uhel rozsireni koryta na
vystupu
ndrsnost=0.013;                         %[-]        stupen drsnosti n pro umele
kanaly pro beton s omitkou
L=60;                                   %[m]        delka koryta od bodu 1 do bodu
2
etaturbiny=0.878;                        %[-]        ucinnost turbiny
etaprevodu=0.98;                        %[-]        ucinnost prevodu
etageneratoru=0.95;                     %[-]        ucinnost generatoru
etatransformatoru=0.97;                 %[-]        ucinnost transformatoru
ns=1000;                                %[-]        konstanta geometricke
podobnosti pro Kaplan = 300 az 1000

% Odvozene parametry:
Q=Qz-Qb;                                %[m3/s]     prutok elektrarnou
R1=S1/(B1+2*V1);                        %[m]        hydraulicky prumer na vstupu
R2=S2/(B2+2*V2);                        %[m]        hydraulicky prumer na vystupu
y=2.5*sqrt(ndrsnost)-0.13-0.75*sqrt(R1)*(sqrt(ndrsnost)-0.1);
Chezy1=1/ndrsnost*R1^(y);               %[m]        Chezyho rychlostni soucinitel
na vstupu
Chezy2=1/ndrsnost*R2^(y);               %[m]        Chezyho rychlostni soucinitel
na vystupu
alfa1=1+0.84*(3.7/Chezy1^(1/4)-1)^(1.8);
alfa2=1+0.84*(3.7/Chezy2^(1/4)-1)^(1.8);
w1=Q/S1;                                %[m/s]      rychlost na vstupu
w2=S1*w1/S2;                            %[m/s]      rychlost na vystupu
eta=etaturbiny*etaprevodu*etageneratoru*etatransformatoru;  %[-]    ucinnost MVE

    %ztraty

        %mistni ztraty
```

```
        %tabulka hodnot soucinitele mistni ztraty pro konicke zuzeni a rozsireni
        S2kuS1          =[1.5     2.0     2.5     3.0     4.0     6.0     8.0 ];
        delta5dg        =[0.03    0.05    0.06    0.07    0.08    0.09    0.1 ];
        delta10dg       =[0.02    0.05    0.06    0.07    0.08    0.10    0.12];
        delta15dg       =[0.04    0.06    0.08    0.10    0.13    0.17    0.20];
        delta20dg       =[0.1325  0.14    0.1475  0.155   0.17    0.20    0.23];

        %vypocet dzeta2:
        dzeta2 = 0.16;

        %vypocet dzeta1:
        if S3/S2<1.5
            display ('S3/S2 musi byt vetsi nebo rovno 1.5');
        break
        end

        if delta2 == 5
        dzeta1 = interp1(S2kuS1,delta5dg,(S3/S2));
        elseif delta2 == 10
            dzeta1 = interp1(S2kuS1,delta10dg,(S3/S2));
        elseif delta2 == 15
            dzeta1 = interp1(S2kuS1,delta15dg,(S3/S2));
        elseif delta2 == 20
            dzeta1 = interp1(S2kuS1,delta20dg,(S3/S2));
        else display ('je potreba zadat uhel delta2= 5, 10, 15, nebo 20');
        break
        end
        dzeta1;
        Hz1=dzeta1*(Q/S3)^2/(2*g);
        Hz2=dzeta2*(Q/S0)^2/(2*g);

        %hydraulicke ztraty
        ws=(w1+w2)/2;
        Chezys=(Chezy1+Chezy2)/2;
        Rs=(R1+R2)/2;
        Hz12=ws*L/(Chezys^2*Rs)+alfa1*(w2^2-w1^2)/(2*g);

        %celkove ztraty
        Hzcelk=Hz12+Hz1+Hz2;


    % cisty spad
    H=alfa1*w1^2/(2*g)-alfa2*w2^2/(2*g)+Hb-Hzcelk

    %vykon
    Pcelk=ro*g*H*Q*eta;

    %otacky turbiny
    otacky=ns*H*H^(1/4)*1.166/sqrt(ro*g*H*Q*etaturbiny/1000);

    % Vysledky:
display (alfa1)
display (otacky)
display (Pcelk)
display (eta)
```