

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta
Katedra mechaniky a strojnictví



Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách
Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.
Autor bakalářské práce: Tomáš Pícek
Praha 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Pícek

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách

Název anglicky

The use of different types of turbines in small hydro power plants

Cíle práce

Na základě literární rešerše zmapovat historický vývoj, současný stav a výhledy ve využívání různých typů turbín v malých vodních elektrárnách. Provést technicko-ekonomické hodnocení vybrané instalace.

Metodika

Zpracovat literární rešerši na dané téma. Popsat a zhodnotit vybranou malou vodní elektrárnu.

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

malá vodní elektrárna, vodní turbína, hydroenergetika, spád, průtok, měrné otáčky

Doporučené zdroje informací

Bednář, J.: Turbíny – malé vodní elektrárny, Nakladatelství Marcela Bednářová 2013, ISBN 978-80-905437-0-6.

Melichar, J., Bláha, J., Brada, K.: Hydraulické stroje konstrukce a provoz, ČVUT Praha 2002.

Melichar, J.: Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny, ČVUT Praha 2013.

Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny konstrukce a provoz, ČVUT Praha 1998.

Nechleba, M., Hušek, J.: Hydraulické stroje, SNTL Praha 1966.

Štoll, Č., Kratochvíl, S., Holata, M.: Využití vodní energie, SNTL Praha 1977.



Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2016

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci “Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách” jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na jejím konci.

V Praze dne 28.3.2016

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za vedení při tvorbě práce, jeho podnětné připomínky a cenné rady. Také bych rád poděkoval panu Jaroslavu Skoupému za poskytnuté informace o studované lokalitě.

Využití různých typů turbín v malých vodních elektrárnách

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá vývojem využití vodní energie pomocí vodních motorů. Obsahuje základní parametry vodních toků a klasifikaci malých vodních elektráren. Dále popisuje základní rozdělení, konstrukci, princip činnosti a oblast využití nejpoužívanějších vodních turbín v malých vodních elektrárnách.

Druhá část bakalářské práce se zabývá malou vodní elektrárnou Skála „Hlaváčkův mlýn“ na Perlovém potoce. Popisuje historii a umístění budovy elektrárny, hydroenergetický potenciál Perlového potoka v dané lokalitě a celkové ekonomické hodnocení investice do vybrané malé vodní elektrárny

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, vodní turbína, hydroenergetika, spád, průtok, měrné otáčky.

The use of different types of turbines in small hydro power plants

Summary

This thesis deals with the development of hydropower through water motors. It contains the basic parameters of watercourses and classification of small hydropower plants. It describes the basic distribution, construction, operation principle and scope of application of the most widely used water turbine in small hydro power plants.

The second part deals with small hydroelectric power Skála "Hlaváček mill" basin on the Pearl creek. It describes the history and location of the building power plant, hydropower potential of the Pearl creek in the area and overall economic assessment of investment in selected small hydropower plants.

Klíčová slova

Small hydro power, water turbine, hydropower, gradient, flow rate, specific speed.

OBSAH

1.	ÚVOD.....	1
2.	VODNÍ TOK A VODNÍ DÍLO.....	2
2.1	Rozdělení vodních elektráren.....	2
2.2	Parametry vodního toku a vodního díla.....	3
3.	VODNÍ MOTORY A JEJICH HISTORICKÝ VÝVOJ.....	4
3.1	Vývoj vodních kol.....	5
3.2	Vývoj vodních turbín.....	7
4.	CHARAKTERISTIKA VODNÍCH TURBÍN.....	9
4.1	Parametry vodních turbín.....	9
4.2	Rozdělení vodních turbín.....	10
4.2.1	Rozdělení podle způsobu přenosu energie vody.....	10
4.2.2	Rozdělení podle průtoku vody oběžným kolem.....	11
4.3	Peltonova turbína.....	12
4.5	Bánkiho turbína.....	14
4.6	Francisova turbína.....	15
4.7	Kaplanova turbína.....	18
4.8	Přímoproudé turbíny.....	21
5.	MVE SKÁLA „HLAVÁČKŮV MLÝN“.....	24
5.1	Historie.....	24
5.2	Popis MVE Skála.....	25
5.3	Soustrojí MVE.....	27
6.	HYDROTECHNICKÝ POTENCIÁL.....	29
6.1	Perlový potok.....	29
6.2	Výpočet výkonu turbíny.....	31
6.3	Výpočet roční produkce elektrické energie.....	31
6.4	Výkupní ceny energie.....	32
7.	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ MVE SKÁLA.....	34
7.2	Doba návratnosti investice.....	34
7.3	Rentabilita investice.....	37
7.4	Čistá současná hodnota.....	37
7.5	Index ziskovosti.....	38
7.6	Vnitřní výnosové procento.....	39
9.	ZÁVĚR.....	40
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	42
	Knižní publikace.....	42

Internetové zdroje	42
Ostatní zdroje.....	43
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	43
SEZNAM TABULEK.....	43
SEZNAM GRAFŮ	44
SEZNAM VELIČIN	44
POUŽITÉ ZKRATKY	45
SEZNAM PŘÍLOH	45

1. ÚVOD

Vývoj civilizace je neodmyslitelně spjat s využitím nejrůznějších forem energie. V současnosti je nejrozšířenější energie tepelná, získaná především spalováním fosilních a jaderných paliv, např. uhlí a ropy. Současně ale není tento způsob získávání energie šetrný k životnímu prostředí. Metody těžby a spalování, i přes jejich technologickou vyspělost, představují velkou ekologickou zátěž. Navíc zásoby fosilních a jaderných paliv nejsou nevyčerpatelné. Česká republika se roku 2009 zavázala Evropské unii ke snížení závislosti na fosilních palivech a k podpoře využívání obnovitelných zdrojů energie. Obnovitelné zdroje jsou nevyčerpatelné, avšak jejich využitelnost závisí na daných geografických podmínkách. Jedním z nejdéle známých obnovitelných energetických zdrojů je vodní energie.

Česká republika má z tohoto hlediska dobrou geografickou polohu. Leží na rozvodí tří evropských moří a pramení zde mnoho řek. Nových lokalit pro stavbu velkých akumulčních elektráren se již nedostává, avšak veliký potenciál je ve využití energie malých vodních toků v malých vodních elektrárnách (dále MVE). Lokalit pro stavbu nových MVE na území České republiky je stále dostatek. Zprovoznění MVE je možné za relativně nízké náklady. Při volbě správného typu vodního motoru lze efektivně využít hydroenergetický potenciál v dané oblasti. Případnou přestavbou starých vodních děl (např. mlýnů, pil, hamrů) nebo rekonstrukcí soustrojí starých elektráren se značně ušetří na případných počátečních investičních nákladech.

Historicky probíhal vývoj jejího využívání pozvolně a velmi pomalu, ale v současné době, kdy je na obnovitelné zdroje kladen vysoký důraz, význam vodní energie významně roste.

2. VODNÍ TOK A VODNÍ DÍLO

Z hlediska technického využití vodní energie je nejvýznamnější energie vodních toků, kdy je využívána jak potenciální (polohová), tlaková, tak i kinetická (pohybová) energie vody. Vodní toky jsou v našich podmínkách sice vedlejším, ale velmi cenným zdrojem energie. V současné době je zvládnuto využití vodní energie technologickými zařízeními na vysoké technické úrovni. Ta se v současnosti instalují především ve vodních elektrárnách, tzv. vodních dílech, jejichž nedílnou součástí je vodní motor, který transformuje energii vodního toku na mechanickou energii. Ta je následně pomocí generátoru přeměněna na energii elektrickou.[3]

2.1 Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny se dělí podle různých hledisek, která se mnohdy vzájemně prolínají. Dělení podle velikosti instalovaného výkonu[4]:

- velké; s instalovaným výkonem nad 200 MW
- střední; s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW
- malé; s instalovaným výkonem do 10MW

Rozdělení elektráren podle výkonu udává [4] a je znázorněno v příloze 1.

MVE se dále dělí podle [4] na:

- průmyslové; s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW
- minielektrárny; s instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 kW
- mikrolektrárny; s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- domácí elektrárny; s instalovaným výkonem do 35 kW.

Další výčet dělení vodních elektráren je v úzké vazbě na typ turbíny a její konstrukční a hydraulické řešení. Rozdělení vodních elektráren podle způsobu soustředění vodní energie a přívodu vody k turbíně[3]:

- přehradní; spád vytvořen přehradou

- zdržové (jezové); spád vytvořen jezem
- derivační; využívá umělé vedení vody mimo vodní tok pomocí tlakového derivačního (kanál, potrubí) nebo beztlakového přivaděče.
- přehradně derivační; kombinace dvou výše uvedených typů
- bez vzdouvací stavby.

Podle velikosti využívaného spádu (polohové energie vody)[3]:

- nízkotlaké; využívající spád do 20m
- středotlaké; využívající spád nad 20m do 100m
- vysokotlaké; využívající spád nad 100m

Toto dělení je významné z hlediska použití vhodného typu vodního motoru.

Podle charakteru pracovního režimu[3]:

- průtočné; neovlivňují přirozený průtok
- akumuláční; řízený odběr vody z akumuláční nádrže vytvářející spád (k nim patří i přečerpávací)

2.2 Parametry vodního toku a vodního díla

Základním parametrem vodního toku je jeho hydroenergetický potenciál. Představuje celkovou měrnou energii odtékající vody, znázorněnou vztahem (1):

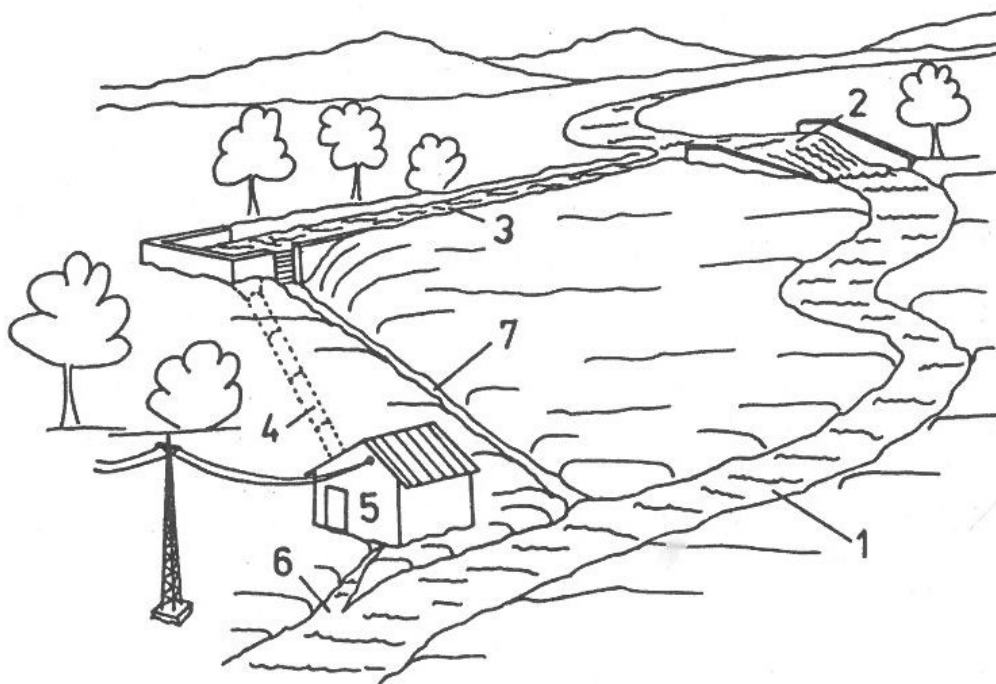
$$m \cdot E = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h = P \quad (1)$$

Měrná energie toku je závislá na průtoku Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a spádu h (m), výškovém rozdílu mezi hladinami dvou zvolených profilů koryta toku. Protéká-li každou sekundu množství kapaliny měrné hmotnosti ρ (kgm^{-3}), výškový rozdíl koná každou sekundu práci, neboli odevzdá teoretický výkon P (W). Energie E ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) je vztahena na 1 kg kapaliny, proto se nazývá měrná energie vodního toku.[3]

Každá řeka představuje primární hydroenergetický potenciál. Sekundární hydroenergetický potenciál se vytváří v přečerpávacích elektrárnách. V přírodě je

relativně málo míst s přirozeným soustředěním spádu a průtoku. Obvykle je nutné spád a průtok vytvořit uměle pomocí vhodného vzdouvacího zařízení (jez, přehrada, náhon).

Obr. 1 – Schéma MVE



1)Koryto vodního toku. 2)Jez. 3)Náhon. 4)Potrubí. 5)Strojovna. 6)Odpadní kanál.
7)Jalová propust.

Zdroj: [3]

Typická ukázka řešení MVE, jak je nejčastěji zřizována, je znázorněná na obr. 1.[3]

3. VODNÍ MOTORY A JEJICH HISTORICKÝ VÝVOJ

K využití vodní síly slouží vodní motory. Podle přeměny energie na mechanickou práci je lze rozdělit do dvou skupin: vodní kola a vodní turbíny. Ve funkci výše uvedených dvou druhů motorů je podstatný rozdíl. U první skupiny, vodních kol, působí voda na kolo hlavně svoji tíhou. Jedná se zde o pomaloběžné motory, ve kterých voda využívá převážně polohovou a někdy i kinetickou energii, která se tu mění na mechanickou práci. Na rozdíl od vodních turbín je totiž jejich výkon závislý více na průtoku a méně na spádu.

Ve druhé skupině jsou vodní turbíny. Ty jsou podobně jako vodní kola také rotačními vodními motory. Mohou využívat jak kinetickou, tak i tlakovou energii vody, dochází v nich k přeměně energie vody na mechanickou energii rotujícího hřídele.

3.1 Vývoj vodních kol

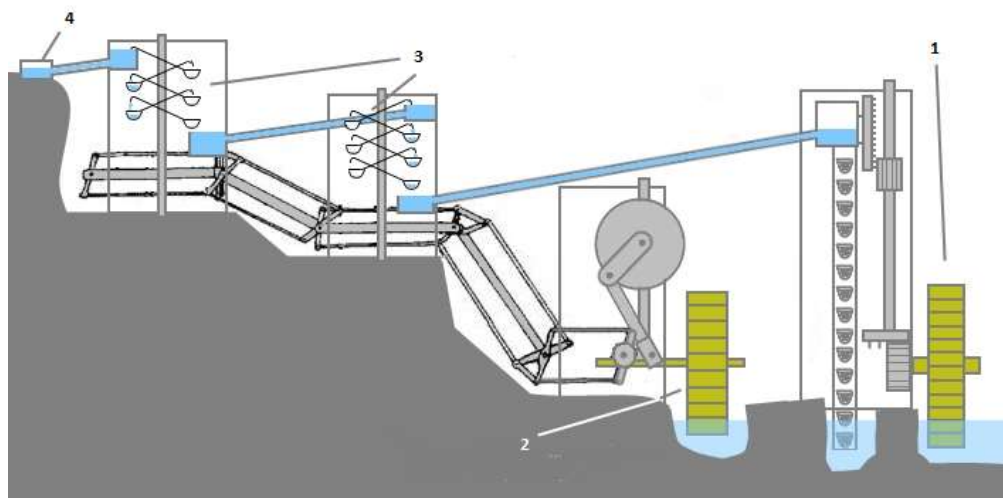
Již v 5. tisíciletí p. n. l. byly v oblasti povodí řek Eufrat a Tigris sestrojeny první složitější mechanismy na zavlažování půdy - tzv. vahadlová čerpadla. V 6. století př. n. l. bylo zkonstruováno čerpací kolo, na které bylo později navázáno myšlenkou využití vodního kola jako motoru. První zařízení, kterými byla využita vodní síla na konání práce, byla popsána ve 3. století př. n. l. Je to čerpací kolo zvané Noira od Philona Byzantského a tzv. Archimedův šroub. Stavěna byla na spodní vodu a využívala se především k pohonu mlýnů na obilí. K většímu rozšíření a vývoji ve využití vodního kola nastalo až s úpadkem římského císařství, kdy byl nedostatek dříve preferovaných otroků. Ve 4. století byl Římany postaven veliký mlýn poháněný osmi koly na spodní vodu.[6]

Vodní kolo se stalo ve středověku hybnou silou pokroku a to i přes jeho malou účinnost přeměny vodní energie na energii mechanickou - ta se pohybovala od dvaceti do padesáti procent. Na našem území byl v roce 718, jako první ve střední Evropě, vybudován na řece Ohři u Žatce mlýn poháněný vodní energií.[1]

K úplnému uplatnění vodních kol došlo až na konci prvního tisíciletí. Především ve 12. století, kdy přišel hospodářský rozmach. Masově se užívalo vodního kola na spodní vodu i pro pohony jiných zařízení, např. hamrů, valch a dmýchacích měchů. Ve 14. století se zdokonaluje účinnost vodního kola použitím svrchního náhonu.[6]

Ve feudální éře se začaly sestavovat z vodních kol a hydraulických strojů celé systémy přenosu vody. Sloužily většinou na čerpání vody do měst. Jeden z čerpacích systémů zvaný Artificio zásoboval hlavní město Španělské říše Toledo. Zkonstruoval jej roku 1540 španělský mechanik Juanelo Turriano a jeho výkon je dnes odhadován na 1000 m³ za den. Čerpací kolo vynášelo vodu pomocí mechanismu pohyblivých ramen, které jsou poháněna kolem na spodní vodu. Schéma zobrazeno na obr. 2.[6]

Obr. 2 – Čerpací systém Artificio

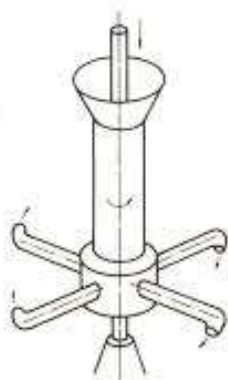


1)Čerpací kolo. 2)Poháněcí kolo. 3)Pohyblivá ramena. 4)Zdroj vody

Zdroj: [8]

V 18. století byla realizace vodních kol podložena teoretickým a experimentálním zkoumáním proudění. Konec tohoto století představuje vyvrcholení vývoje vodního kola. Současně se však objevila i nová řešení vodních motorů pracujících na reakčním principu, vedoucí k vývoji vodních turbín. Roku 1750 Johann Andreas Segner objevil při svém experimentování reaktivní účinek proudu vody a sestrojil tzv. Segnerovo kolo, uvedeno na obr. 3.

Obr. 3 – Segnerovo kolo

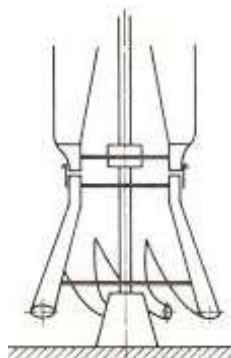


Zdroj: [2]

Ke zdokonalení využití reakčního principu přispěl Leonard Euler, který roku 1754 sestrojil svůj stroj. Náčrt Eulerova stroje je na obr. 4. Řešení využívalo rozváděč

k vytvoření obvodové složky rychlosti na vstupu do oběžného kola, které mělo tvarované průtočné kanály a umožňovalo dosáhnout účinnosti až 70%. [2]

Obr. 4 – Eulerův stroj

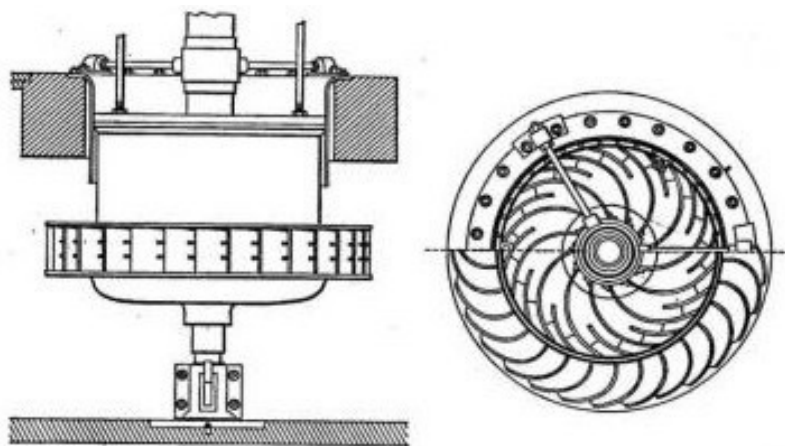


Zdroj: [2]

3.2 Vývoj vodních turbín

Teprve roku 1826 navrhl Claude Burdin řešení vodního motoru nazvaného „turbinens“ (víry tvořící), který se stal skutečným předobrazem současných přetlakových turbín. Nesprávné řešení lopatkování bylo příčinou jeho nízké účinnosti. Motor se díky tomu v praxi neuplatnil. V roce 1827 toto řešení zdokonalil Benoit Fourneyron a sestrojil první provozuschopnou vodní přetlakovou radiální turbínu, která v praxi našla široké uplatnění. [2] Schéma zobrazeno na obr. 5.

Obr. 5 – Fourneyronova turbína

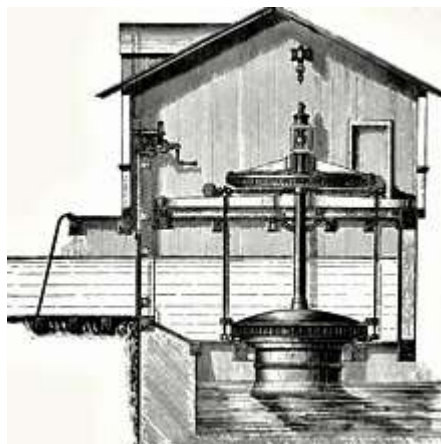


Zdroj: [10]

V období po roce 1840 přinesl vývoj vodních turbín řadu konstrukčních řešení, z nichž mnohá se prakticky uplatnila. Byly vynalézány další principy využití vodní energie, které zlepšovaly účinnosti, snižovaly měrné hmotnosti strojů a celkově zlepšovaly efektivitu vyvíjených vodních motorů.[2]

Roku 1841 bylo z Eulerova stroje odvozeno řešení Jonvalovy turbíny, obr. 6.

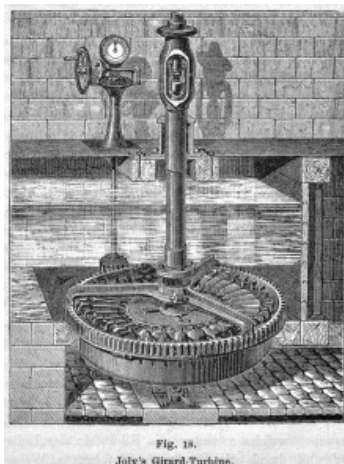
Obr. 6 – Jonvalova turbína



Zdroj: [11]

Jednalo se o přetlakovou axiální turbínu s rozváděčem, používající k regulaci průtoku uzavírání kanálů rozváděče. Po roce 1905 se tyto turbíny přestaly vyrábět a byly nahrazeny turbínami Francisovými. Z Jonvalovy turbíny bylo roku 1849 odvozeno řešení pro axiální rovnotlakou Girardovu turbínu, obr. 7. Ty byly později také vytlačeny – turbínami Peltonovými.[2]

Obr. 7 – Girardova turbína



Zdroj: [12]

Řešení těchto turbín se stalo výchozím bodem pro vznik dalších konstrukčních variant rovnotlakých a přetlakových turbín, které se používají dodnes. Nejvýraznější kvalitativní skok ve využití vodní energie zaznamenal Viktor Kaplan, který v Brně roku 1913 předložil návrh axiální turbíny s natáčivými lopatkami oběžného kola. Kaplanova turbína umožnila využít proměnlivý průtok vodního díla při měnící se hodnotě měrné energie.[2] Více o používaných turbínách současnosti v kapitole 4.

4. CHARAKTERISTIKA VODNÍCH TURBÍN

Jak už bylo výše popsáno, vodní turbína je rotační vodní motor, který mění energii toku vody na mechanickou energii rotující hřídele. Hřídel odevzdá svoji energii buď přímo, nebo převodem do generátoru, který generuje elektrickou energii. Obecně se vodní turbína skládá ze tří základních částí: oběžné kolo, zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu (spirální skříň, kašna, násosková spirála aj.) a zařízení pro odvod vody od oběžného kola (turbínová skříň, savka, komora oběžného kola aj.)[2]

4.1 Parametry vodních turbín

Základními parametry vodní turbíny jsou průtok turbínou Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), měrná energie turbíny E ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$) a měrné otáčky turbíny n_q (s^{-1}).

Průtokem turbínou se rozumí množství vody, které proteče turbínou za jednotku času.

Měrná energie turbíny značí rozdíl měrných energií ve vstupním a výstupním řezu stroje. Nahrazuje veličinu užitný spád h (m), která je běžně v literatuře používán. Je vždy menší než měrná geodetická energie vodního díla E_g díky hydraulickým ztrátám stroje. Pro turbínu jsou určující tzv. jmenovité parametry - jmenovitý průtok a jmenovitá měrná energie při jmenovitých otáčkách - tj. takové parametry, při kterých má turbína nejlepší hydraulické vlastnosti (maximální účinnost).

Měrné (specifické) otáčky jsou nezbytným parametrem pro volbu typu turbín, určení hlavních rozměrů turbíny, posouzení některých vlastností turbíny, např.

rychloběžnosti nebo sklonu ke kavitaci. Podle teorie podobnosti jsou měrné otáčky n_q , počítanými podle průtoku, otáčkami geometricky podobné turbíny, která má při spádu jeden metr průtok jeden metr kubický za sekundu. Znázorněno vztahem (2):

$$n_q = n \cdot \frac{Q^{0,5}}{h^{0,75}} \quad (2)$$

Kde n jsou provozní otáčky turbíny [s^{-1}], Q jmenovitý průtok turbínou [$m^3 \cdot s^{-1}$] a h užitiný spád [m]. Přesněji určují měrné otáčky vhodný typ turbíny s ohledem na spád i průtok (resp. hltnost). Orientační rozdělení je uvedeno v tabulce 1. Rozsahy v tabulce mohou být teoreticky překročeny. Oblast využití různých typů turbín podle měrných otáček je znázorněna v příloze 2.[5]

Tabulka 1 – Rozdělení různých typů turbín podle měrných otáček

Doporučený typ turbíny	měr. ot./min.
Peltonova s jednou dýzou	2 - 5
Peltonova s více dýzami	4 - 12
Bánkiho	30 - 60
Francisova volnoběžná	20 - 40
Francisova normální	40 - 70
Francisova rychloběžná	70 - 100
Kaplanova	80 - 220

Zdroj: data [5], tabulka vlastní

4.2 Rozdělení vodních turbín

Zvláštnosti hydroenergetiky vyžadují použití turbín nejrůznějších typů, výkonů, rozměrů a konstrukčních řešení podle konkrétních hydrologických a morfologických podmínek v dané lokalitě.

4.2.1 Rozdělení podle způsobu přenosu energie vody

Podle způsobu přenosu energie vody se rozlišují turbíny na rovnotlaké a přetlakové.

U rovnotlakých turbín se celá hodnota tlakové energie mění v zařízení pro přívod vody v kinetickou energii a na výstupu a vstupu do oběžného kola je stejný tlak. Proud vody nevyplňuje plně průtočné kanály oběžného kola, které musí mít okolí zaplněné vzduchem.

U přetlakových turbín je část tlakové energie v zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu přeměněna na kinetickou energii a zbývající část tlakové energie se mění v kinetickou energii při průchodu vody oběžným kolem. Průtok oběžným kolem se uskutečňuje působením přetlaku na vstupu do oběžného kola

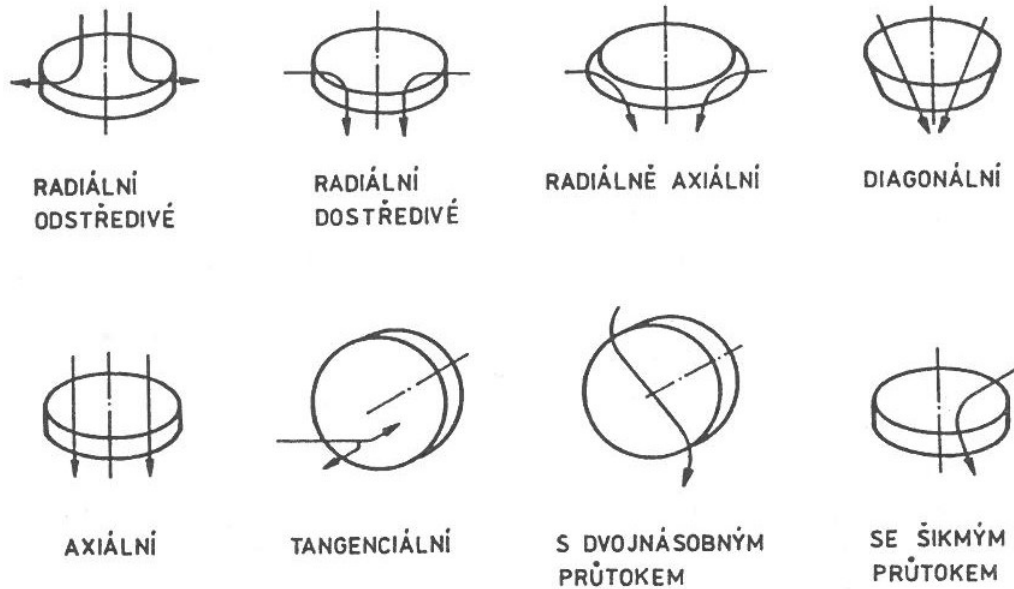
4.2.2 Rozdělení podle průtoku vody oběžným kolem

V oběžném kole se mění směr proudu vody působením lopatek oběžného kola. Lopatky ustupují pod proudem vody, otáčí kolem, které koná práci. Podle orientace proudění vody vzhledem k ose otáčení, znázorněno na obr. 8, se turbíny dělí následovně.

- a) Radiální odstředivé (centrifugální) – s vnitřním vtokem vody; voda protéká mezi lopatkami oběžného kola směrem od hřídele, např. Fourneyronova turbína.
- b) Radiální dostředivé (centripetální) – s vnějším vtokem vody; voda protéká mezi lopatkami oběžného kola směrem k hřídeli, např. historická Francisova turbína.
- c) Radiálně axiální; oběžným kolem voda proudí nejprve radiálně (kolmo na osu) a po přiblížení k ose mění směr na přibližně osový, např. moderní Francisova turbína.
- d) Diagonální; voda protéká oběžným kolem šikmo ke hřídeli, např. Dériazova turbína.
- e) Axiální; voda protéká mezi lopatkami oběžného kola zhruba ve stejné vzdálenosti od jeho osy, např. Jonvalova turbína, Kaplanova turbína.
- f) Tangenciální; na lopatky oběžného kola vstupuje voda ve směru tečny ke kružnici se středem na ose rotace kola, např. Peltonova turbína.
- g) S dvojnásobným průtokem; voda vstupuje do oběžného kola dostředivě, vystupuje z něj odstředivě, např. Bánkiho turbína.

- h) Se šikmým průtokem; na lopatky oběžného kola vstupuje voda z boční strany, vystupuje v osové směru, např. turbína TURGO.[3]

Obr. 8 - Členění vodních turbín dle průtoku oběžným kolem



Zdroj: [3]

4.3 Peltonova turbína

Byla vyrobena roku 1880 L. A. Peltonem a vychází z principu činnosti Girardovy turbíny. Praktické řešení tvaru lopatek a uspořádání dýzy bylo určeno až návrhy Dobleovými roku 1900.

Peltonova turbína je prakticky jediný představitel tangenciální rovnotlaké turbíny. Voda se na turbínu přivádí tryskou, většinou několika tryskami, proto je výhodná pro poměrně malá množství vody a velký spád.[5] Pro průmyslové malé vodní elektrárny je využití oblasti měrných energií a průtoků:

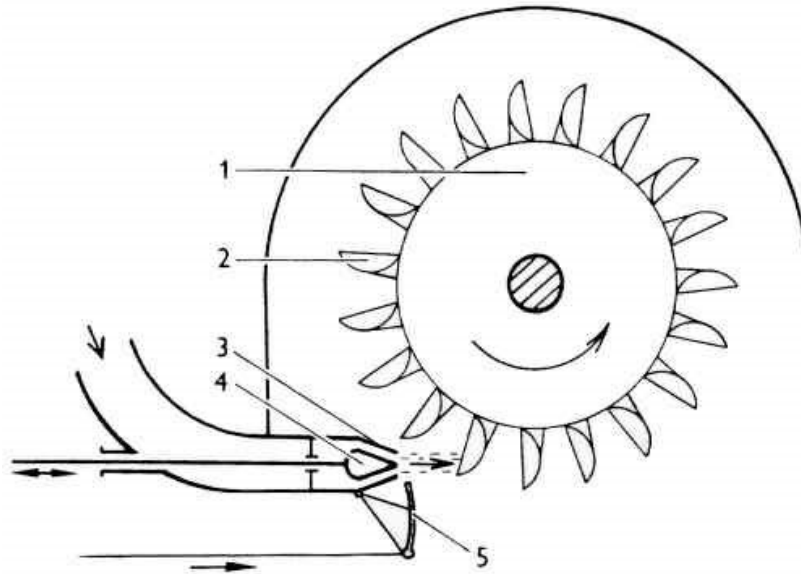
$$E = (500 - 4000) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, Q = (0,2 - 3,0) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

U drobných MVE se používají pro měrné energie a průtoky:

$$E > 200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}, Q = (0,01 - 0,20) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.[2]$$

Turbína má tyto hlavní části: příváděcí zařízení, oběžné kolo s lopatkami, deflektor, regulační zařízení – viz obr. 9.

Obr. 9 - Schéma Peltonovy turbíny



1)Oběžné kolo. 2)Lopatka. 3)Dýza (tryska). 4)Regulační jehla. 5)Deflektor

Zdroj: [13]

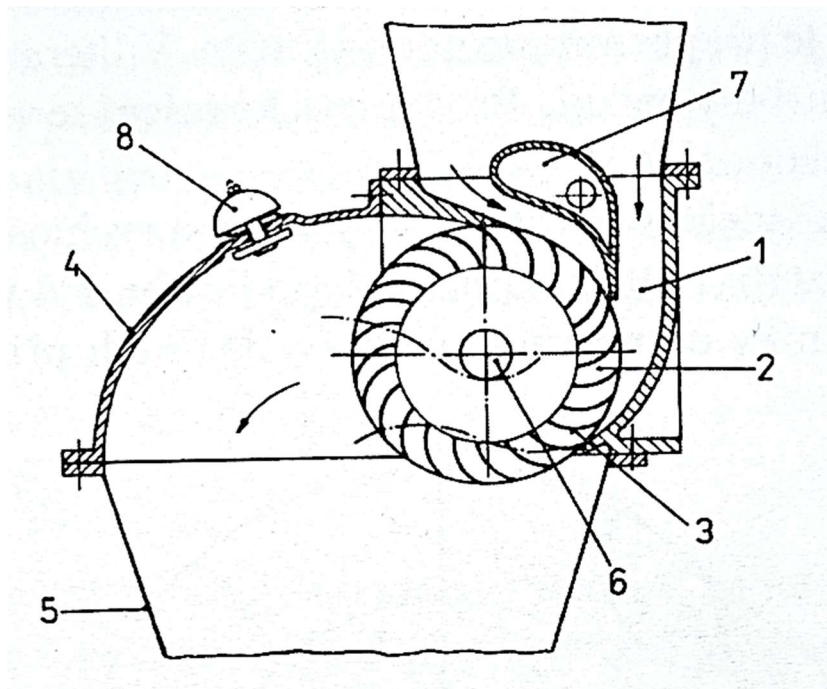
Příváděcí zařízení je provedeno jako tryska, zvaná dýza, z níž voda v kompaktním paprsku kruhového průřezu vstupuje do oběžného kola. Účinnost dýzy dosahuje hodnot $\eta_d = (0,95 - 0,98)$. Peltonovy turbíny pro MVE používají maximálně čtyři dýzy.[2]

Na oběžném kole jsou po jeho obvodu upevněny oběžné lopatky ve tvaru dvojitě misky, které jsou vnitřními hranami spojené v jeden břit. Na lopatky naráží paprsek vody tryskající z dýzy a břity jej dělí na dvě souměrné části. Tím předává energii oběžnému kolu.

Pro hydrologické podmínky v České republice má Peltonova turbína omezenou použitelnost. Na menších spádech ji zastoupí turbína Bánkiho – viz dále.

4.5 Bánkiho turbína

Obr. 10 - Schéma Bánkiho turbíny



- 1) Vstupní těleso. 2) Oběžné kolo. 3) Lopatka oběžného kola. 4) Těleso turbíny. 5) Savka. 6) Hřídel.
7) Regulační lopatka. 8) Zavzdušňovací ventil

Zdroj: [2]

Rovnotlaká radiální turbína s dvojnásobným průtokem, neboli Bánkiho turbína, schéma na obr. 10. Autorem řešení je A.G.M Mitchel, který vycházel z teorie Ponceletova vodního kola a staršího řešení parních turbín. Profesor D. Bánki v letech 1912 až 1919 intenzivně pracoval na zlepšení tohoto typu turbíny. Přidal vstupní těleso a vypracoval teorii jejího řešení.

Moderní vývoj turbíny je spojen s německou firmou Ossberger. Používá se pro měrné energie $E = (10 - 2000) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, průtok $Q = (0,02 - 9,0) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Jelikož má rozmezí výkonu $P = (1 - 1000) \text{ kW}$, je vhodnou turbínou pro celou řadu řešení malých vodních elektráren.[2]

Voda ve vstupním tělese je přiváděna k vnější části oběžného kola. Přes lopatky protéká oběžným kolem do tzv. usměrňovacího tělesa. Poté opět proteče skrz

lopatkovou mříž oběžného kola do tělesa turbíny, které je spojeno s odpadní šachtou nebo savkou. Dochází k dvojnásobnému využití energie proudu vody. U prvního průtoku se využije 73% a u druhého necelých 20% měrné energie turbíny při uvažované maximální hydraulické účinnosti.[2]

4.6 Francisova turbína

Francisova přetlaková radiálně axiální turbína je nejdéle využívaným typem vodní turbíny. Jejím vynálezcem je J. B. Francis. Roku 1849 představil nové řešení Howdovy turbíny, u níž vylepšil hydraulické řešení oběžného kola. Jde o přelomové použití dostředivého průtoku u radiálních turbín na rozdíl od dřívějších turbín s odstředivým průtokem. Velkým přínosem bylo řešení řízení průtoku pomocí natáčení rozváděcích lopatek od Finka (r. 1868).

Jejich neznámějším výrobcem u nás byla firma Josef Prokop a synové, Pardubice. Konstrukční řešení zobrazeno na obr. 11.[2]

Francisovy turbíny původně pokrývaly oblast měrných otáček $n_q = (17 - 120)$. Použití pro hodnoty měrné energie $E > 20 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Zájem o lokality s malými hodnotami měrné energie a velkými průtoky dal užití vodním turbínám s vyššími měrnými otáčkami. Při malých měrných energiích se zkoušela řešení více oběžných kol o menších průměrech na jedné hřídeli. Zvedly se tím ale stavební náklady díla.

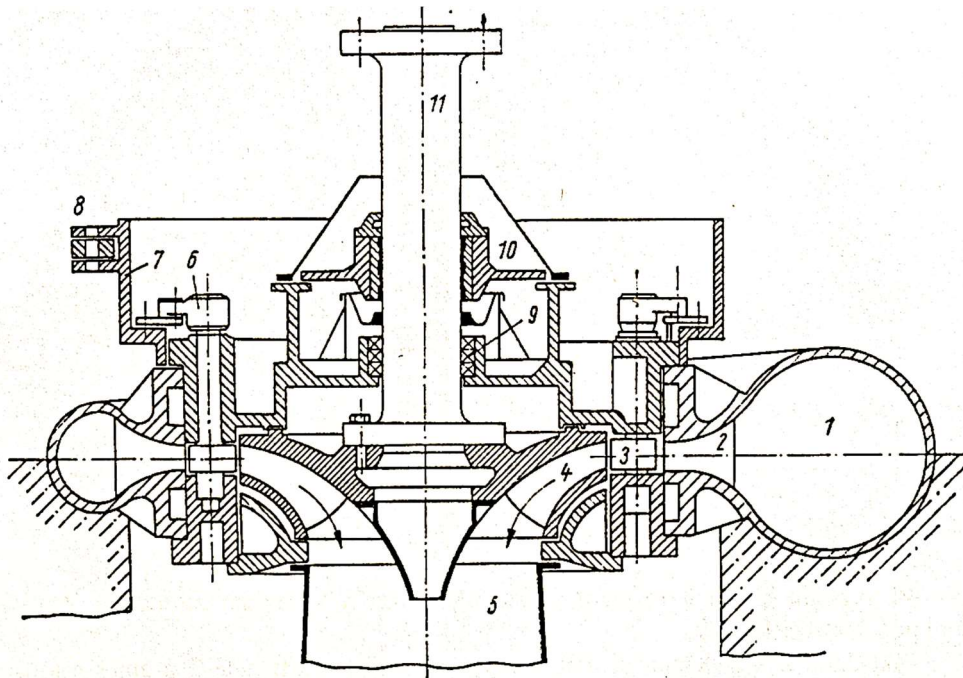
Francisovy turbíny se uplatňovaly až do nástupu turbín Kaplanových začátkem 20. let minulého století. V současné době je v MVE využívána pro měrné energie:

$$E = (50 - 3000) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1},$$

oblast používaných otáček se zmenšila na:

$$n_q = (27 - 87).[2]$$

Obr. 11 - Konstrukční řešení Francisovy vertikální spirální turbíny



1)Spirální skříň. 2)Rozpěrné lopatky. 3)Rozváděcí lopatky. 4)Oběžné kolo. 5)Sací trouba. 6)Páka pro přestavování rozváděcích lopatek. 7)Regulační prstenec. 8)Kloub pro připojení páky hydraulického servomotoru. 9)Těsnění hřídele. 10)Vodící ložisko. 11)Hřídel se spojovací přírubou

Zdroj: [5]

Francisovy turbíny pro MVE se používají v horizontálním uspořádání. Z řady důvodů je upřednostňováno před vertikálním. Snižuje stavební náklady, je lépe přístupná pro montáž i údržbu, nezatěžuje axiální ložiska hmotnostmi rotujících částí. Z hlediska celkových nákladů je však použití limitováno výkonem stroje a využívané měrné energie.[2]

Na obr. 11 je zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu řešený spirální skříňí. Pro malé spády a výkony není nezbytnou součástí. Klasické, dosud stále používané, je řešení přívodu vody pomocí kašny. Je to vhodné řešení pro turbíny s průměrem oběžného kola menším než jeden metr, které pracují s měrnou energií $E < 50 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Přetlakové turbíny větších rozměrů se instalují do spirálních skříňí, kde přítoková rychlost je větší než v předchozím případě. Pro vyšší hodnoty měrné energie se používá uzavřených kašen. Příklad využití je kotlová turbína, která pracuje v rozsahu $E = (80 - 250) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ s výkonem $P < 1000 \text{ kW}$. Nejpoužívanější přívod vody k turbíně je už výš zmíněná

spirální skříň (obr. 12). Její součástí je výztužné těleso s předzováděcími lopatkami. Dříve lité spirály se nahradily svařovanými. Svařovaná spirální skříň je stavěna ze segmentů relativně velké šířky. Francisova spirální turbína, s maximální ekonomicky použitelnou velikostí oběžného kola $D = 1,25\text{m}$, je vhodná pro oblast $E = (200 - 3000) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $Q = (0,6 - 17) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. [2]

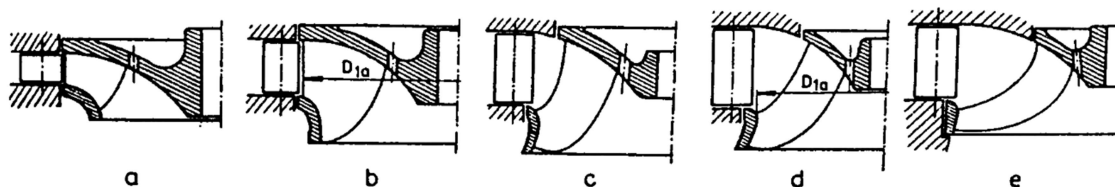
Obr. 12 - Spirální skříň Francisovy turbíny



Zdroj: [15]

Oběžná kola jsou řešena nejen jako odlitek, ale i jako svařenec z důvodů snadného opracování. Dříve se hojně používaly oběžné lopatky konstantní tloušťky vylisované z plechu. Díky myšlence zvyšování rychloběžnosti se geometrie kola měnila s měrnými otáčkami, zobrazeno na obr. 13. Zlepšování hydraulických parametrů oběžného kola mělo však své limity. [2]

Obr. 13 - Geometrie oběžného kola Francisovy turbíny závislá na měrných otáčkách

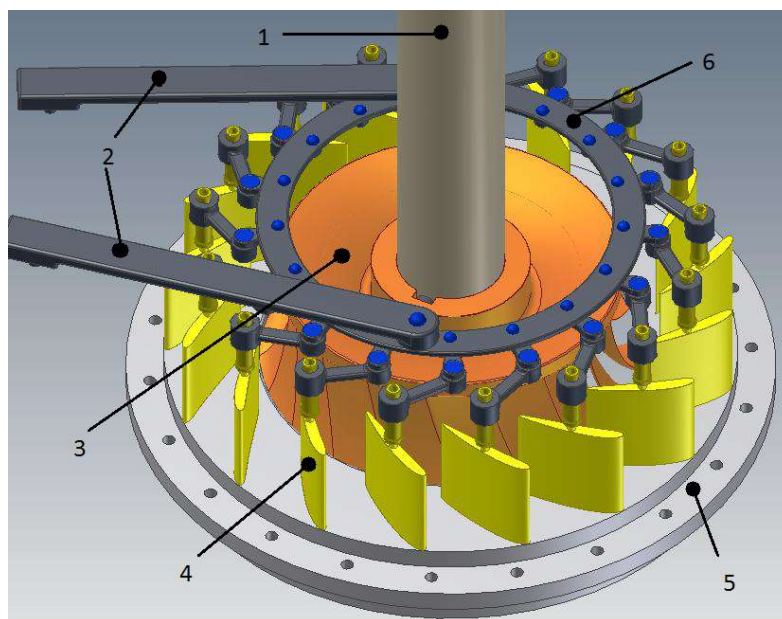


a) $n_q = 70$, b) $n_q = 100$, c) $n_q = 250$, d) $n_q = 300$, e) $n_q = 400$

Zdroj: [3]

Regulace průtoku se provádí změnou otevření regulačního orgánu (rozdávěče) pomocí natočení rozváděcích lopatek. Servomotorem se ovládají táhla spojená s regulačním kruhem, který natáčí rozváděcí lopatky. Schéma regulačního mechanismu společně s uloženým oběžným kolem na obr. 14.

Obr. 14 - Schéma regulačního mechanismu Francisovy turbíny



1)Hřídél. 2)Táhla. 3)Oběžné kolo. 4)Rozváděcí lopatka. 5)Víko turbíny. 6)Regulační kruh

Zdroj: [16], upraveno autorem

Energeticky účinný odvod vody z turbíny zajišťuje zejména sací trouba (savka). Je umístěna pod oběžným kolem a vzduchotěsně spojena s turbínou. Konzistentní sloupec vody savkou protéká a vytváří na jejím konci podtlak. Pokud nedojde k přerušení vodního sloupce v savce, výška savky je součástí celkové měrné energie díla. Tím neztrácíme spád, pokud je turbína instalována nad spodní hladinou vody.

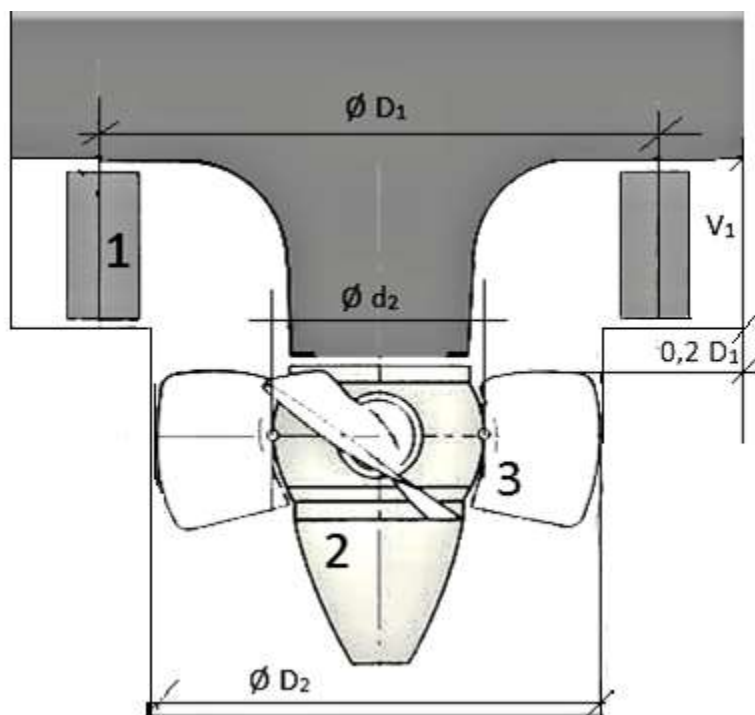
4.7 Kaplanova turbína

V roce 1913 v Brně vynalezl Viktor Kaplan přetlakovou axiální turbínu, která se dokázala přizpůsobit změnám hodnot průtoků a měrných energií. Turbína měla natáčivé lopatky oběžného kola. Společně s natáčením lopatek rozváděcích umožnila dvojí regulaci průtoku. Možnost nastavení optimálního otevření lopatek rozváděče a

oběžného kola zaručuje dobré průtokové poměry v oběžném kole a zlepšení účinnosti turbíny. Účinnost dosahuje hodnot $\eta = (0,88 - 0,90)$ i vyšších. Používají se pro měrné energie $E = (15 - 150) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ a hodnoty měrných otáček jsou v rozmezí $n_q = (100 - 300)$. Konstrukční řešení vychází ze stejného konceptu jako u turbín Francisových. Liší se charakteristickým řešením oběžného kola s axiálním průtokem. Rozvaděč může být orientován radiálně, diagonálně nebo axiálně.[2]

Poprvé v Čechách vyrobila Kaplanovu turbínu firma Ignác Storek Brno. První turbína byla zprovozněna roku 1919 v rakouském Velmu. Dosahovala na tu dobu velmi dobré účinnosti kolem 85 %. Turbína sloužila až do roku 1955; dnes se nachází v Technickém muzeu ve Vídni.[14]

Obr. 15 - Hydraulické řešení oběžného kola Kaplanovy turbíny



1)Radiální rozvaděč. 2)Oběžné kolo. 3)Natáčivá lopatka. $\varnothing D_1$ – průměr rozvaděče, $\varnothing D_2$ – průměr oběžného kola, $\varnothing d_2$ – průměr náboje, V_1 – výška rozvaděče

Zdroj: [17]

Na obr. 15 je zobrazené hydraulické řešení oběžného kola. Mezi rozvaděčem a oběžným kolem je relativně velký prostor, kde se mění směr průtoku vody z radiálního

na axiální. Dále jde proud přes lopatky oběžného kola. Počet natáčivých lopatek závisí na měrných otáčkách; volí se tři nebo čtyři lopatky. Používá se i větší počet lopatek pro větší hodnoty měrné energie. Nejvyšší počet lopatek oběžného kola Kaplanovy turbíny, celkem deset, byl použit na vodní elektrárnu Orlík v České republice. Měrná energie využívaná turbínou $E = 691,6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Úhly profilu lopatky u náboje a na vnějším obvodu se liší a jejich rozdíl hodnotí energetické a kavitační vlastnosti lopatky. Mechanismus natáčení lopatek je nejčastěji řízen hydraulickým servomotorem umístěným v náboji oběžného kola nebo mimo oběžné kolo. Používá se i regulace pomocí vnějšího mechanismu ovládaného pákovou tyčí.[2]

Nevýhodou Kaplanovy turbíny je velký kavitační součinitel, který zvyšuje náklady na opatření proti kavitačnímu opotřebení, např. na dodržení potřebné hodnoty sací energie, odolný materiál oběžných lopatek.[2] Sací trouba vytváří na výstupu z oběžného kola podtlak. Při poklesu tlaku pod tlak nasycených par kapaliny dochází k tzv. kavitaci, která způsobuje silnou mechanickou korozi. Vzniká u rotačních hydraulických strojů, především u přetlakových turbín. Zamezit kavitaci lze dobře zvolenou sací výškou.[5]

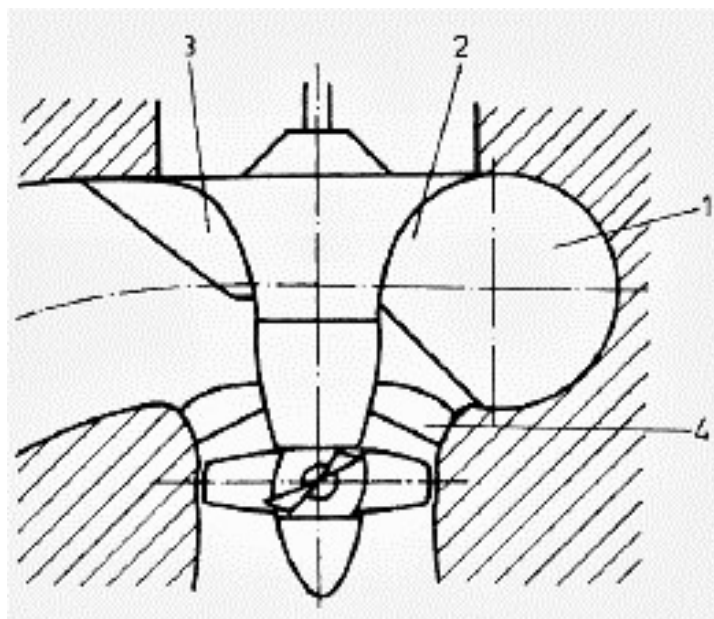
Typem nejčastěji u nás aplikované Kaplanovy turbíny pro MVE je horizontální kašnová turbína. Oběžné kolo bylo regulováno mechanismem ovládaného pákovou tyčí. Byla používána pro hodnoty měrné energie $E = (15 - 50) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ a průtoky $Q = (0,5 - 6,0) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při průměru oběžného kola maximálně jeden metr. Vertikální kašnové uspořádání bylo používáno pro měrné energie $E = (50 - 100) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vhodné řešení pro MVE je Kaplanova turbína se spirálou typu Reiffenstein. Jedná se o řešení spirály s regulační klapkou. Při dodržení zásady dvojité regulace se výrazně sníží náklady na regulaci rozvaděče. Podle výkonu je však řazena do oblasti drobných MVE pro $E = 100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. [2]

Volba Kaplanovy turbíny pro MVE je sice vhodným řešením, avšak drahým. Nákladné jsou hlavně regulační mechanismy oběžného kola. Tzv. propelerová turbína je snaha o levné řešení Kaplanovy turbíny při dodržení vysokých hodnot měrných otáček. Jedná se o axiální turbínu s pevnými lopatkami a regulovatelným rozvaděčem. Lopatky oběžného kola jsou s nábojem vyráběny buď jako odlitek, nebo jsou spojeny šroubovým

spojem. Nevýhodou propelerové turbíny je kolísavý průběh účinnosti při změnách průtoku.[2]

Thomannova turbína, obr. 16, má na rozdíl od propelerové turbíny regulovatelné lopatky oběžného kola a pevný rozvaděč. Z provozně - ekonomického hlediska je srovnatelná s turbínou Kaplanovou. Nevýhodou turbíny je rychlost zavírání oběžného kola a nemožnost uzavření průtoku vody.[2]

Obr. 16 - Thomannova turbína



1)vtokové těleso, 2)dělicí žebro, 3)usměrňovací žebro, 4)rozdávěč

Zdroj: [2]

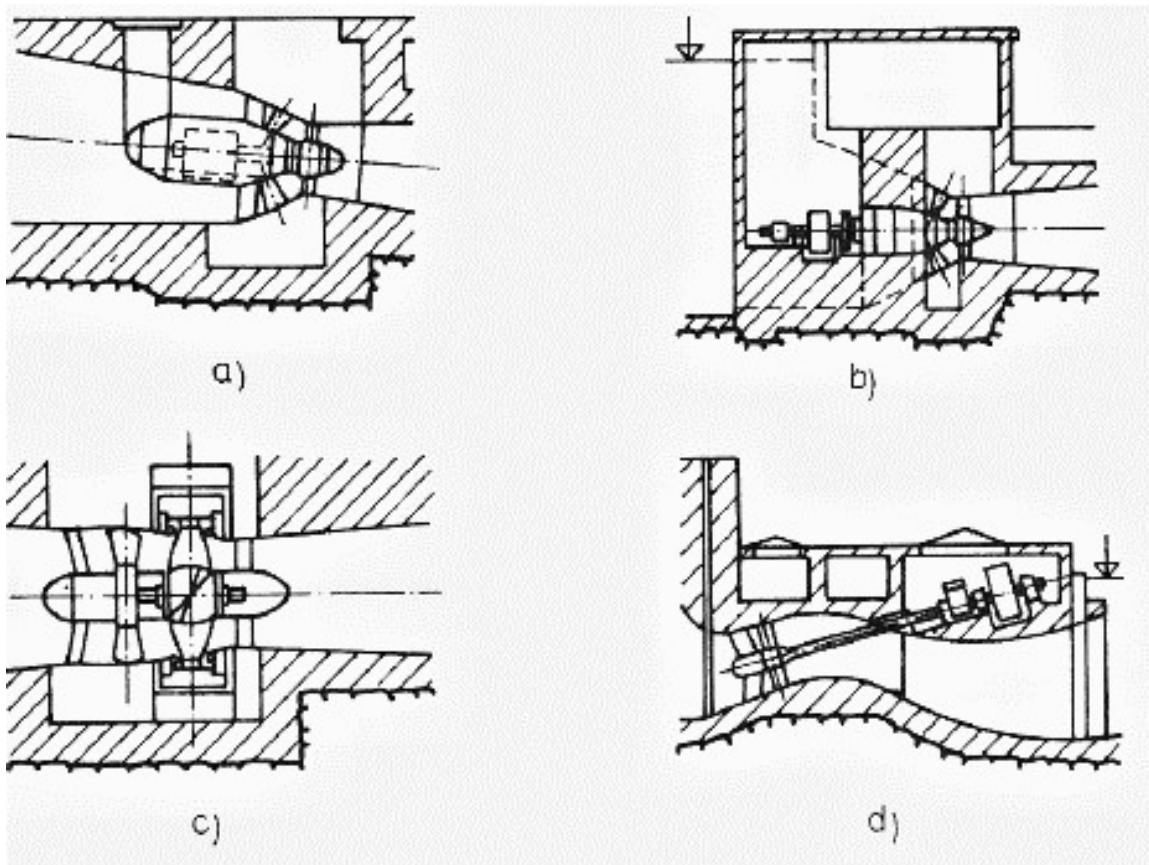
Axiální neregulovatelná turbína má pevné oběžné kolo i rozvaděč. Je vhodná pro oblasti, které nevyžadují regulaci průtoku. Výhodou jsou její minimální investiční náklady a dobrá provozní spolehlivost. Pro mále zdroje může být regulována např. změnou výšky rozvaděče.[2]

4.8 Přímoproudé turbíny

Vývojově navazují na Kaplanovy turbíny. Rozměrově a tvarově jednodušší hydraulické parametry turbíny umožňují značně snížit stavební náklady. Díky sníženým

hydraulickým ztrátám v přivaděči dosahují vyšší účinnosti i průtoku. Při použití stejného oběžného kola mají přímoproudé turbíny stejné měrné otáčky jako turbíny Kaplanovy, avšak s nižším kavitačním koeficientem. Na obr. 17 jsou zobrazena schémata řešení přímoproudých turbín v MVE podle pozice generátoru.[2]

Obr. 17 - Schémata řešení přímoproudých turbín

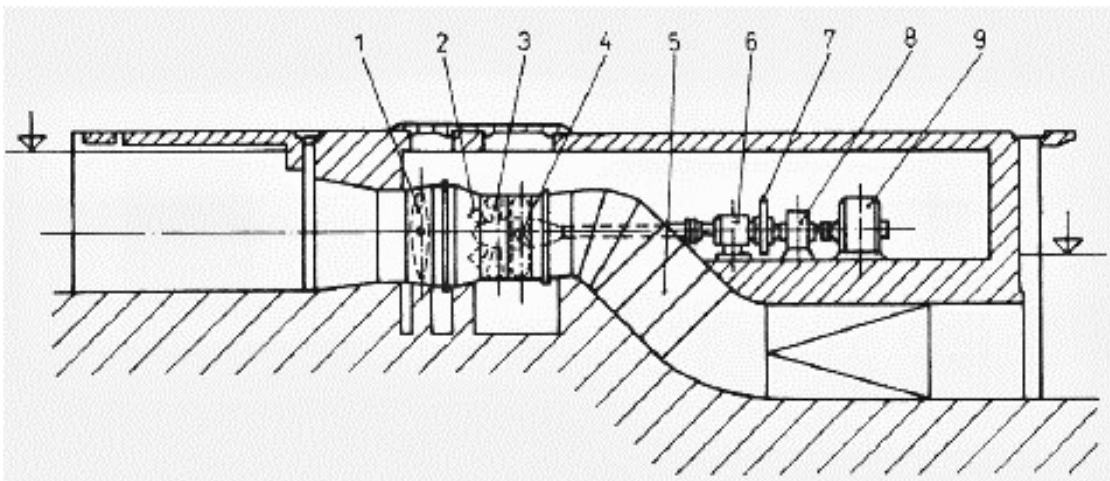


Zdroj: [2]

- a) S obtékaným generátorem: nejčastěji řešeny systémem dvojí regulace s diagonálním rozvaděčem. Díky snaze o redukci rozměrů se generátoru zvyšují otáčky pomocí planetové převodovky. Její použití: maximální průměr oběžného kola dva metry, výkon do $P = 3500\text{kW}$, měrné energie $E < 90 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$, čtyři nebo pět lopatek oběžného kola.

- b) S generátorem v šachtě: snaha o využití hydraulického potenciálu turbíny bez redukce generátoru dala vytvořit tzv. PIT turbínu, podle anglického výrazu pro šachtu. Uplatnění pro vyšší měrné energie $E = (30 - 100) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Nevýhodou jsou vyšší stavební náklady.
- c) S protékáním generátorem: soustrojí řešeno bez spojovacího hřídele turbíny a bez generátoru. Leží ve stejné rovině s axiálním průtokem oběžného kola. Výhodou jsou ušetřené stavební náklady. Také snadný přístup do strojovny a k řízení.
- d) S vnějším generátorem: nejrozšířenější řešení přímoproudých turbín současné výstavby MVE. Charakteristická koncepce řešení, označovaná jako S – turbína, zobrazena na obr. 18. Je vhodná pro celou výkonovou oblast MVE do hodnoty měrné energie $E = 250 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. [2]

Obr. 18 - Schéma S-turbíny



1)uzavírací klapka, 2)nosná hvězda, 3)rozdávěč, 4)oběžné kolo, 5)savka, 6)radiálně axiální ložisko, 7)setrvačnick, 8)převodovka, 9)generátor.

Zdroj: [2]

5. MVE SKÁLA „HLAVÁČKŮV MLÝN“

Vodní dílo se nachází v katastrálním území obce Skála u Havlíčkova Brodu v povodí Perlového potoka, který je přítokem řeky Sázavy. Na říčním km 18,380 je situován rybník Mlejňák, který zásobuje elektrárnu vodou, obr. 19. Nádrž je průtočného typu. Vodní dílo není součástí žádného chráněného území. Detailní situace MVE a rybníka zobrazena v příloze 3.

Obr. 19 – Situace MVE Skála



1)Rybník Mlejňák. 2)Stavidlový jez. 3)Perlový potok. 4)Budova MVE. 5)Tlakový přivaděč vody k MVE. 6)Odpadní kanál.

Zdroj: [19], upraveno autorem

5.1 Historie

MVE Skála vznikla z budovy mlýna manželů Hlaváčkových u rybníka Mlejňák. Vodní kolo sloužilo k pohonu několika strojů, např. žitné stolice, cirkulárky, řezačky, loupačky.

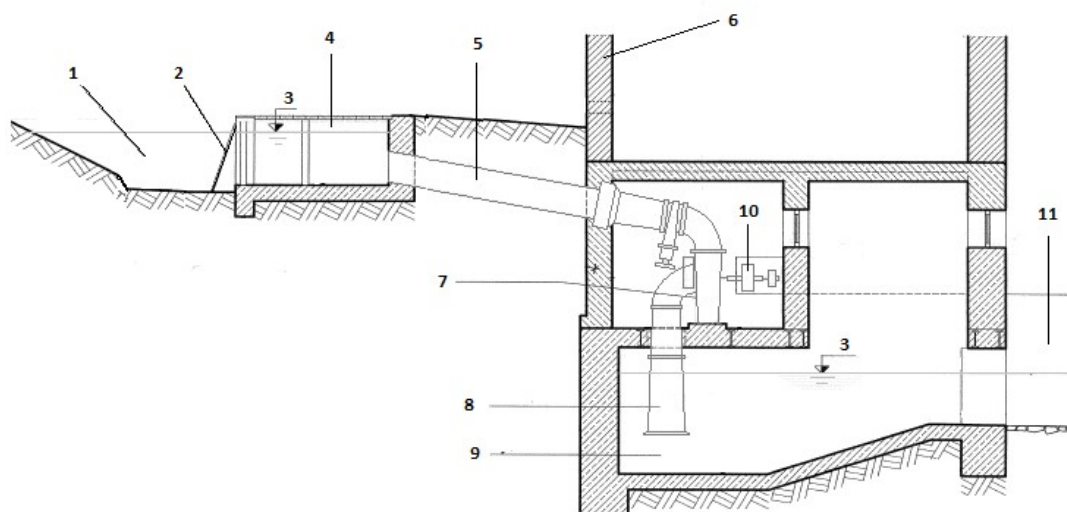
Roku 1937 byl mlýn přebudován a vodní kolo nahradila horizontální spirální Francisova turbína firmy Jos. Prokopa synové. V tomto uspořádání slouží dodnes. V roce 1957 byla elektrárna znárodněna a budova se využívala jako sklad ovoce. Do provozu se dostala roku 1988, kdy současný majitel vyčistil zanesený rybník a začal objekt využívat. Vyrobená elektrická energie sloužila pouze pro vlastní potřebu, např. na topení v budově.

Od roku 2005 je majitelem MVE Skála pan Jaroslav Skoupý, vnuk pana Skoupého. MVE plně automatizoval a investoval prostředky do celkové rekonstrukce objektu. Vyrobenou elektrickou energii využívá pro vlastní potřebu. V roce 2016, po dokončení opravy rybníka, se začne vyrobená elektrická energie poprvé poskytovat dalším odběratelům.

5.2 Popis MVE Skála

Budova a celkové uspořádání součástí MVE je zobrazeno v řezu na obr. 20.

Obr. 20 – Příčný řez MVE Skála



1)Zdrž rybníka. 2)Jemné česle. 3)Provozní hladina. 4)Tlakový přivaděč vody. 5)Přívodní potrubí. 6)Budova MVE. 7)Francisova turbína. 8)Savka. 9)Vývařiště. 10)Řemenice. 11)Odpadní kanál.

Zdroj: [26], upraveno autorem

Hráz rybníka tvoří levý břeh Perlového potoka a stavidlový jez na potoce. Hráz je nepravidelná, o celkové délce 72m a maximální výšce 1,78m od dna rybníka. V příčném řezu má tvar nepravidelného lichoběžníku a je tvořena převážně hlinito-jílovitým materiálem. Koruna hráze je ve výšce 531,350 m n. m. a tvoří ji zatravněná plocha o šířce cca 3m. Návodní líc hráze je opevněn kamenným pohozením a částečně betonovou ochrannou zdí. Zatravněný vzdušný líc hráze tvoří břeh Perlového potoka.

Stavidlový jez tvoří dvě stavidla. Jedno slouží k regulaci hladiny zdrže rybníka, druhé k ovládnutí minimálního zůstatkového průtoku a vypouštění náhonu. Obsluhovat stavidla lze z obslužné lávky, viz obr. 21. Nové stavidlo připravené k instalaci je zobrazeno v příloze 4.

Obr. 21 – Stavidlový jez



Zdroj: Fotografie autora

Na betonové zdi rybníka určuje provozní hladinu přelivná hrana stavidlového jezu. Výška činí 531,030 m n. m. Ve zdrži rybníka se také nachází zachovalý skalní výčnělek s cejchem provozní hladiny z roku 1890, příloha 5.

Další součástí vodního díla jsou jemné česle, které zachycují naplaveniny těsně před vstupem vody do tlakového přivaděče. Ten zajišťuje přímý přívod vody k turbíně

ocelovým potrubím. Za savkou je voda odváděna odpadním kanálem o délce cca 30m zpět do koryta Perlového potoka. Ústí odpadního kanálu zobrazeno na obr. 22.

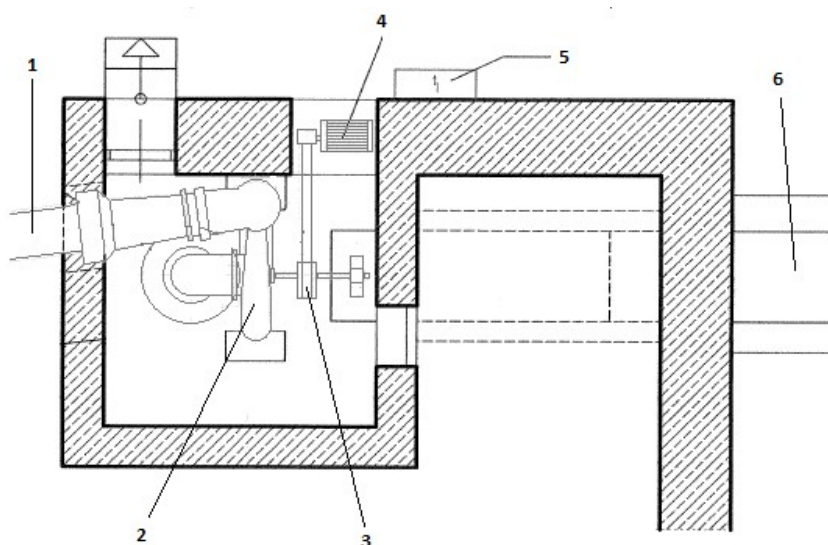
Obr. 22 – Ústí odpadního kanálu



Zdroj: Fotografie autora

5.3 Soustrojí MVE

Obr. 23 – Schéma strojovny MVE Skála



1)Přívodní potrubí. 2)Francisova turbína. 3)Řemenice. 4)Generátor. 5)Elektroměřová skříň

Zdroj: [26], upraveno autorem

Hydroenergetický potenciál je využíván jednou spirální Francisovou turbínou 400 B s horizontálně uloženou hřídelí. Turbína byla navržena přímo pro danou lokalitu firmou Jos. Prokopa synové. Schéma uložení turbíny ve strojovně MVE Skála na obr. 23.

Turbína má oběžné kolo o průměru 400 mm se čtrnácti oběžnými lopatkami. Výška rozváděcích lopatek je 90 mm. Hřídel turbíny je řemenovým převodem spojena s třífázovým asynchronním generátorem SIEMENS – viz obr. 24. Řez turbínou zobrazen v příloze 6. Jmenovitá hltnost turbíny je $0,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a spád 5,5 m.

Obr. 24 – Strojovna MVE Skála



Zdroj: Fotografie autora

Ovládání rozváděcích lopatek je automatické. Chod turbíny je řízen systémem hladinových sond osazených před a v tlakovém přivaděči vody a je ovládán pomocí elektrorozvaděče na stěně strojovny MVE. Řídicí systém je zobrazen v příloze 7. Turbínu lze odstavit z provozu automaticky i ručně.

6. HYDROTECHNICKÝ POTENCIÁL

6.1 Perlový potok

Perlový potok pramení v kraji Vysočina u obce Plačkov východně od Humpolce ve výšce 595 m. n. m. Protéká okresy Pelhřimov a Havlíčkův Brod. Plocha povodí Perlového potoka činí 55,4 km² a jeho délka je 23,1 km.[18]

Při využívání vodního toku je zapotřebí ponechat v daném profilu nebo úseku vodoteče tzv. minimální zůstatkový průtok, dále MZP. T. j. takový průtok, který nenaruší základní vodohospodářské a ekologické funkce vodního toku. Zásady stanovení velikosti MZP a jeho směrné hodnoty udává metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. Postup znázorněn v tabulce 2.

Tabulka 2 – Postup stanovení MZP

průtok Q_{355d}	minimální zůstatkový průtok
$< 0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{330d}
$0,05 - 0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
$0,51 - 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{355d}
$> 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Zdroj: [27]

Pro stanovení MZP je zapotřebí znát M-denní průtoky danou lokalitou a jeho směrnou hodnotu Q_{355d} , viz tabulka 3. Každý sloupec v tabulce udává průměrný denní průtok danou lokalitou s počtem dní v roce, kdy byla daná hodnota průtoků překročena. Tabulku M-denních průtoků obsahuje manipulační řád. Informace poskytuje také Český hydrometeorologický ústav.

Tabulka 3 – M-denní průtoky pro danou oblast

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_m	0,300	0,180	0,125	0,100	0,080	0,070	0,060	0,050	0,035	0,030	0,020	0,014	0,010

Zdroj: [26]

Dle tabulky 4 je $Q_{355d} = 0,014 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

MZP pro danou lokalitu je $Q_{330d} = 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – viz tabulka 3.

Instalovaná Francisova turbína je limitována svojí minimální hltností ($Q_{\min}=0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a hodnotou MZP. Pro určení teoretického průtoku použijeme vztahy (3) a (4):

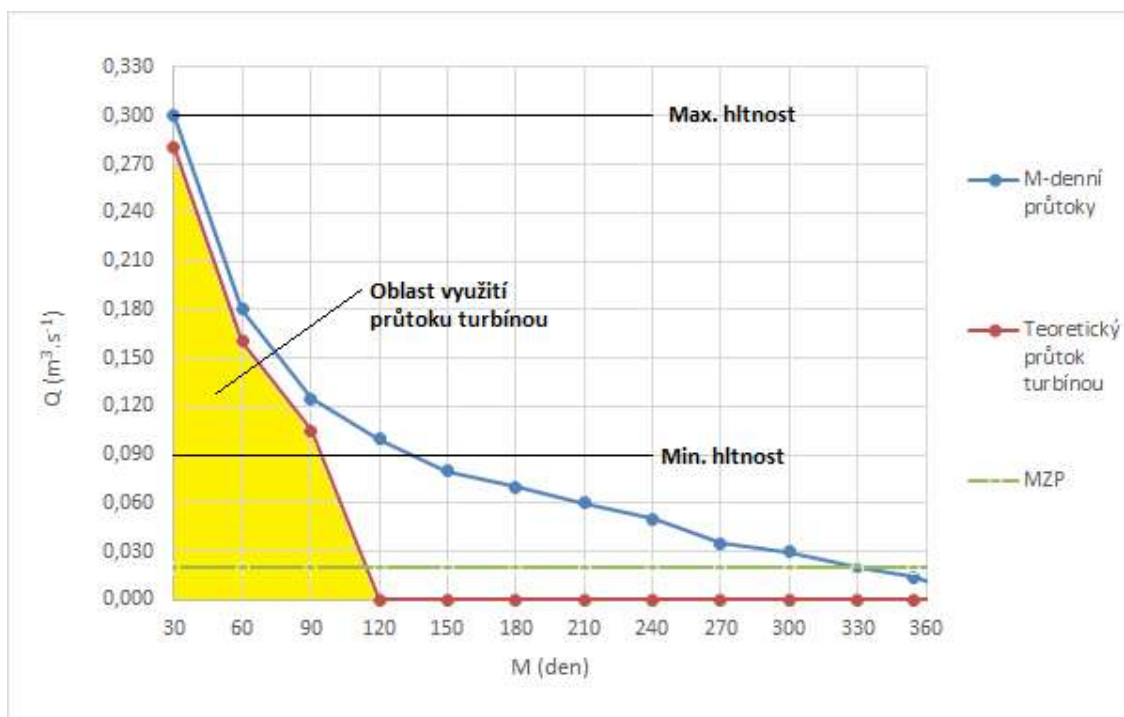
$$Q_{\text{teor}} = Q - Q_{\text{mz}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3)$$

$$Q_{\min} < Q_{\text{teor}} < Q_{\max} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

Z uvedených vztahů vyplývá, že teoretický průtok turbínou (Q_{teor}) je hodnota MZP odečtená od hodnoty M-denního průtoku, vztah (3). Zároveň hodnota teoretického průtoku je vymezena hodnotami maximální a minimální hltností turbíny, vztah (4).

Z vypočtených hodnot průtoků turbínou a z průtokové křivky vyčteme oblast využití průtoku turbínou – viz graf 1.

Graf 1 – Oblast využití průtoku turbínou



Zdroj: Graf vlastní, data Manipulační řád MVE Skála

6.2 Výpočet výkonu turbíny

Maximální výkon turbíny vypočteme podle vztahu (5):

$$P_{\max} = Q \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_c \text{ [W]} \quad (5)$$

- Q = využitelný průtok turbínou [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- h = užitný spád [m]
- ρ = hustota vody [$1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- g = gravitační zrychlení [$9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]
- η_c = celková účinnost soustrojí [-]

Pro Francisovu turbínu v MVE Skála je spád $h = 5,5 \text{ m}$. Maximální průtok turbínou v dané lokalitě je $Q_{\max} = Q_{30d} - Q_{330d} = 0,28 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Celkovou účinnost dostaneme součinem účinností turbíny ($\eta_t = 0,75$), generátoru ($\eta_g = 0,96$) a převodu ($\eta_{př} = 0,92$). Poté platí: $\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{př} = 0,75 \cdot 0,96 \cdot 0,92 = 0,66$. Dosadíme do vzorce pro výkon a dostaneme maximální výkon turbíny pro danou oblast.

$$P_{\max} = 0,28 \cdot 5,5 \cdot 9,81 \cdot 1000 \cdot 0,66 = 10 \text{ kW}.$$

6.3 Výpočet roční produkce elektrické energie

Pro výpočet hrubé roční výroby elektrické energie použijeme následující údaje:

- Doba, po kterou voda protéká turbínou: T [den]
- Spád: h [m]
- Účinnost turbíny pro daný průtok: η_{td} [-]
- Výkon turbíny pro daný průtok: P_d [kW]
- Maximální a minimální hlnost turbíny: Q_{\max} a Q_{\min} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- M-denní průtoky lokalitou: Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
- Minimální zůstatkový průtok: Q_{mz} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

- Teoretický průtok turbínou: $Q_{\text{teor}} = Q - Q_{\text{mz}} ; Q_{\text{min}} < Q_{\text{teor}} < Q_{\text{max}} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
- Výroba turbíny: $N_d = P_d \cdot T \cdot 24 [\text{kWh}]$

Po dosažení jednotlivých hodnot M-denních průtoků (viz tabulka 3) dostáváme hodnoty hrubé produkce elektrické energie v kWh. Přehled výsledků v tabulce 4.

Tabulka 4 – Roční produkce elektrické energie

M_d	Q	Q_{mz}	Q_{teor}	η_t	P	N
(den)	(m ³ /s ⁻¹)	(m ³ /s ⁻¹)	(m ³ /s ⁻¹)	(-)	(kW)	(kWh)
30	0,300	0,020	0,280	0,75	10	7204
60	0,180	0,020	0,160	0,71	5	3873
90	0,125	0,020	0,105	0,63	3	2269
120	0,100	0,020	0,000	0,00	0	0
150	0,080	0,020	0,000	0,00	0	0
180	0,070	0,020	0,000	0,00	0	0
210	0,060	0,020	0,000	0,00	0	0
240	0,050	0,020	0,000	0,00	0	0
270	0,035	0,020	0,000	0,00	0	0
300	0,030	0,020	0,000	0,00	0	0
330	0,020	0,020	0,000	0,00	0	0
355	0,014	0,020	0,000	0,00	0	0
364	0,010	0,020	0,000	0,00	0	0
Celkem za rok						13346 kWh

Zdroj: Vlastní zpracování

Hrubá roční produkce elektrické energie činí 13 346 kWh. Během roku turbína vyrábí elektrickou energii cca 90dní.

6.4 Výkupní ceny energie

Výkupní cenovou politiku řídí Energetický regulační úřad (dále ERÚ) od roku 2002. ERÚ zavedl podporu obnovitelných zdrojů stanovením minimální výkupní ceny energie, avšak dodavatel si může sjednat vyšší cenu. Dříve byla cena závislá pouze na

dohodě mezi dodavatelem a odběratelem. Od roku 2006 byly stanoveny tzv. Zelené bonusy podle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Později nahrazen zákonem č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Zelené bonusy jsou pevné ceny za energii. Odpovídají rozdílu mezi výkupní cenou a tržní cenou za elektřiny z daného zdroje.[20]

ERÚ každoročně vydává Cenové rozhodnutí, kde minimální výkupní ceny a Zelené bonusy aktualizují. Ceny za energii jsou především závislé na stáří a lokalitě MVE. Poté na případné rekonstrukci MVE, která musí splňovat všechny dané podmínky. Např. výměna nebo generální oprava turbíny, instalace nového automatického systému řízení, výměna nebo převinutí generátoru a další.[21]

Platné Cenové rozhodnutí ERÚ je ze dne 19. listopadu 2015. Výkupní ceny a Zelené bonusy jsou znázorněny v tabulce 5.

Tabulka 5 – Cenové rozhodnutí ERÚ ze dne 19. listopadu 2015

Podporovaný druh energie	Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
MVE ve stávajících lokalitách, technologie starší víc jak 5 let	1.1.2013 - 31.12.2015	2069	1369
MVE ve stávajících lokalitách a rekonstruovaná MVE	1.1.2013 - 31.12.2013	2652	1952
	1.1.2014 - 31.12.2014	2600	1900
	1.1.2015 - 31.12.2015	2549	1849
MVE v nových lokalitách	1.1.2013 - 31.12.2013	3428	2728
	1.1.2014 - 31.12.2014	3361	2661
	1.1.2015 - 31.12.2015	3295	2595

Zdroj: Tabulka vlastní, data [21]

MVE v nových lokalitách podle ERÚ jsou takové, které nebyly od 1. ledna 1995 připojeny k přenosové nebo distribuční soustavě. Do takové skupiny spadá MVE Skála. Výkupní cena elektrické energie činí 3295 Kč za MWh, Zelený bonus 2595 Kč za MWh. Bylo použito nejnovějšího Cenové rozhodnutí, které bylo vydáno roku 2015.

Roční tržby za elektrickou energii činí 43 976 Kč v případě, že bude vyrobená elektrická energie prodána za minimální výkupní cenu 3295 Kč za MWh.

7. EKONOMICKÉ HODNOCENÍ MVE SKÁLA

Metody hodnocení investice do projektu jsou důležitým podkladem investora. Podle výsledků se rozhoduje, zda bude či je investice výhodná či nikoliv. Výsledky musí být známy institucím, které na projekt finančně přispívají buď formou půjček, nebo dotací.[20]

Základní ekonomické kritéria pro rozhodování o možné investici do projektu jsou:

- Doba návratnosti investice
- Rentabilita investice
- Čistá současná hodnota
- Index ziskovosti
- Vnitřní výnosové procento

Tato práce bude pomocí ekonomických metod hodnotit investici do MVE Skála. Jedná se především o investici do oprav náhonu a modernizace soustrojí elektrárny

7.2 Doba návratnosti investice

Je doba, za kterou jsou investované náklady splaceny z peněžních příjmů z investice. Doba návratnosti by neměla být delší než je životnost investice. Majitel MVE Skála celkem investoval 227 000 Kč. Stavební náklady činí celkem 80 000 Kč. Jedná se o rekonstrukci odpadního kanálu, výměnu stavidla a vyčištění rybníka Mlejňák. Vynaložené náklady na technologie jsou 147 000 Kč. Částka zahrnuje koupi nového asynchronního generátoru (31 000 Kč), nový automatický řídicí systém (90 000 Kč), generální opravu turbíny včetně převodu (20 000 Kč) a výměnu savky (6 000 Kč). Nová savka připravena k instalaci zobrazena v příloze 8. Předpokládané roční provozní náklady jsou podle majitele MVE ve výši 4 000 Kč.

- **Odpisy (O):** Podle zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů se stavební část MVE řadí do 5. odpisové skupiny s odpisem 1,4% pro první rok odpisování a 3,4% pro další roky odpisování. Doba odpisování je 30 let. Technologickou část MVE řadíme do 3. odpisové skupiny s odpisem pro první rok 5,5% a pro další roky odpisování 10,5%. Doba odpisování je 10 let. Odpisy vypočteme podle vztahu (6).[22]

$$O = IN \cdot S \text{ [Kč]} \quad (6)$$

IN = celkové investiční náklady [Kč]

S = odpisová sazba [-]

a) Stavební část:

$$O_1 = 80000 \cdot 0,014 = 1120 \text{ Kč}$$

$$O_{2-30} = 80000 \cdot 0,034 = 2720 \text{ Kč}$$

b) Technologická část:

$$O_1 = 147000 \cdot 0,055 = 8085 \text{ Kč}$$

$$O_{2-10} = 147000 \cdot 0,105 = 15435 \text{ Kč}$$

- **Hrubý zisk (Z_h):** Částka před zdaněním. Je to základ pro výpočet daně z příjmu. Vypočteme podle vztahu (7):

$$Z_h = T_r - N_p - O \quad (7)$$

T_r = roční tržba [Kč]

N_p – roční provozní náklady [Kč]

Výpočet:

$$Z_{h1} = 43976 - 4000 - 1120 - 8085 = 30771 \text{ Kč}$$

$$Z_{h2-1} = 43976 - 4000 - 2720 - 15435 = 21821 \text{ Kč}$$

$$Z_{h11-3} = 43976 - 4000 - 2720 = 37256 \text{ Kč}$$

- **Čistý zisk (Z_č):** Hrubý zisk po odečtení daně z příjmu. Daň z příjmu d činí 15 % hrubého zisku. Vypočteme podle vztahu (8):

$$Z_{\check{c}} = Z_h - d \quad (8)$$

Výpočet:

$$d_1 = Z_{h1} \cdot 0,15 = 30771 \cdot 0,15 = 4616 \text{ Kč}$$

$$d_{2-1} = Z_{h2-} \cdot 0,15 = 21821 \cdot 0,15 = 3273 \text{ Kč}$$

$$d_{11-3} = Z_{h11-30} \cdot 0,15 = 37256 \cdot 0,15 = 5588 \text{ Kč}$$

$$Z_{\check{c}1} = 30771 - 4616 = 26155 \text{ Kč}$$

$$Z_{\check{c}2-10} = 21821 - 3273 = 18548 \text{ Kč}$$

$$Z_{\check{c}11-3} = 37256 - 5588 = 31668 \text{ Kč}$$

- **Cash flow (Cf):** Tzv. peněžní tok, je příjem nebo výdej peněžních prostředků. Představuje rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků v daném období. Vypočteme podle vztahu (9):

$$Cf = Z_{\check{c}} + O \quad (9)$$

Výpočet:

$$Cf_1 = Z_{\check{c}1} + O_1 = 26155 + 1120 + 8085 = 35360 \text{ Kč}$$

$$Cf_{2-10} = Z_{\check{c}2-1} + O_{2-10} + O_{2-30} = 18548 + 15435 + 2720 = 36703 \text{ Kč}$$

$$Cf_{11-30} = Z_{\check{c}11-30} + O_{11-30} = 31668 + 2720 = 34388 \text{ Kč}$$

- **Kumulované cash flow (KCf):** Průběžný součet všech toků hotovosti od nultého do daného roku-viz tabulka 6.

Tabulka 6 – Součet toků hotovosti

Rok	Kumulované cash flow KCf [Kč]
1	-191 640
2	-154 937
3	-118 234
4	-81 531
5	-44 828
6	-8 125
7	28 577
8	65 280
9	101 983
10	138 686
11	173 074
12	207 461
13	241 849
14	276 236
15	310 624

Zdroj: Vlastní zpracování

- **Doba návratnosti investice (DN):** Podle tabulky 6 zjistíme, že doba návratnosti investice je mezi šestým a sedmým rokem.

Výpočet:

$$DN = 6 + \frac{|KCf_6|}{Cf_7} = 6 + \frac{8125}{36703} = 6,22 \text{ roku.}$$

Doba návratnosti investice je 6 let a 3 měsíce.

7.3 Rentabilita investice

ROI (Return On Investment) je ukazatel produktivity investice. Určuje se jako podíl výnosu investice k celkovým vynaloženým nákladům do investice, vztah (10). Udává se v procentech.[23]

Výpočet:

$$ROI = \frac{Z_{\check{c}}}{IN} \cdot 100 \quad (10)$$

$$ROI_1 = \frac{Z_{\check{c}1}}{IN} \cdot 100 = \frac{26155}{227000} \cdot 100 = 11,5 \%$$

$$ROI_{2-10} = \frac{Z_{\check{c}2-10}}{IN} \cdot 100 = \frac{18548}{227000} \cdot 100 = 8,2 \%$$

$$ROI_{11-30} = \frac{Z_{\check{c}11-30}}{IN} \cdot 100 = \frac{31668}{227000} \cdot 100 = 14,0 \%$$

7.4 Čistá současná hodnota

NPV (Net Present Value) jedna z nejpoužívanějších a nejvhodnějších ekonomických metod hodnocení investice, vztah (11). Počítá s časovou hodnotou peněz (pro výpočet použito zhodnocení 0,05%) a je v ní zahrnuta celá životnost projektu. Výsledek udává očekávané diskontované příjmy z investice.[24]

Výpočet:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{Cf_t}{(1+r)^t} \text{ [Kč]} \quad (11)$$

NPV = čistá současná hodnota – výpočet uveden v příloze 9.

n = doba životnosti projektu = 30 let

r = diskontní úroková míra = 0,05 %

$$NPV = 545221 \text{ Kč}$$

Pro zhodnocení, zda je investiční projekt je přijatelný či nikoliv, se používají následující vztahy:

$NPV > IN$ – investiční projekt je přijatelný

$NPV < IN$ – investiční projekt je nepřijatelný

Investice do MVE Skála je přijatelná a může být považována za efektivní (pro dobu životnosti 30 let).

7.5 Index ziskovosti

Vyjadřuje poměr mezi očekávanými diskontovanými příjmy a celkovými investičními náklady, vztah (12). Výsledek udává relativní obohacení společnosti, investora.[24]

Výpočet:

$$PI = \frac{NPV}{IN} = \frac{545405}{227000} = 2,4 \quad (12)$$

$PI > 1$ – investiční projekt je přijatelný

$PI < 1$ – investiční projekt je nepřijatelný

Podle míry ziskovosti je MVE Skála je přijatelným investičním projektem.

7.6 Vnitřní výnosové procento

Anglicky Internal Rate of Return – IRR. Udává, kolik procent projekt vydělá po dobu jeho životnosti. Přitom uvažujeme časovou hodnotu peněz. Je rovna diskontní sazbě, při které je NPV rovna nule, vztah (13).[25]

$$\sum_{t=1}^t \frac{Cf_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0 \quad (13)$$

Zjištění IRR není numericky příliš jednoduché. Pro zjednodušení výpočtu použijeme funkci v tabulkovém procesoru MS Excel MÍRA.VÝNOSNOSTI.

Po zpracování dat pomocí funkce v MS Excel dostaneme pro MVE Skála hodnotu IRR = 18%. Za požadovanou hodnotu IRR je považována hodnota vyšší než diskontní úroková míra. Diskontní úroková míra vyjadřuje procentní navýšení půjčené částky. Její hodnota je 0,05 % (viz čistá současná hodnota, vztah (11)). MVE Skála podmínku splňuje.

Přehled výsledků jednotlivých metod ekonomického hodnocení rekonstrukce MVE Skála v tabulce 7.

Tabulka 7 – Přehled výsledků jednotlivých metod ekonomického hodnocení rekonstrukce MVE Skála

Metoda	Značka	Vypočtená hodnota
Doba návratnosti investice	DN	6 let a 3 měsíce
Rentabilita investice	ROI	8,2% - 14,0%
Čistá současná hodnota	NPV	545 221 Kč
Index ziskovosti	PI	2,4
Vnitřní výnosové procento	IRR	18%

Zdroj: Vlastní zpracování

Z jednotlivých výsledků použitých ekonomických metod je zřejmé, že investice do rekonstrukce MVE Skála je výhodná. Díky malým provozním nákladům a skutečností,

že majitel nemusel vynakládat finanční prostředky do nové budovy MVE a nové turbíny, se značně zkracuje doba návratnosti investice. U rekonstruovaných MVE je doba návratu vložených financí obvykle 10 let a více, výstavba nové MVE má dobu návratnosti investice 15 let a více. Výsledky následujících metod ekonomického hodnocení hodnotí investici do rekonstrukce MVE Skála jako přijatelnou.

9. ZÁVĚR

Teoretická část práce se zabývá problematikou využití vodní energie pomocí vodních turbín v malých vodních elektrárnách. Základním rozdělením vodních elektráren podle různých hledisek, např. podle instalovaného výkonu nebo podle využívaného spádu. Dále je popsán význam vodního toku z hlediska technického využití v MVE.

Další kapitola popisuje historický vývoj vodních motorů. Jsou zde popsány první mechanizmy zavlažování pomocí vodních kol. Kapitola o charakteristice vodních turbín popisuje jejich základní parametry a rozdělení. Dále jsou popisovány jednotlivé typy turbín, z nichž největší prostor je věnován třem nejpoužívanějším turbínám: Peltonově, Francisově, Kaplanově, včetně oblasti jejich využití, tj. měrných energií a průtoků. Dále jsou popsány jejich hlavní části a konstrukční řešení daného typu turbíny.

Praktická část bakalářské práce se zabývá popisem a technicko-ekonomickým hodnocením MVE Skála „Hlaváčkův mlýn“, jejíž majitel je pan Jaroslav Skoupý. MVE vznikla z budovy mlýna u rybníka Mlejňák. Rybník je zásoben vodou z Perlového potoka. Po generální rekonstrukci dosahuje turbína maximální výkon 10 kW, maximální hltnost turbíny je $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, užitný spád činí 5,5 m. Přívod vody je řešen pomocí přívodního potrubí ze zdrže rybníka do strojovny MVE, dále odpadním kanálem zpět do povodí Perlového potoka.

Z tabulky M-denních průtoků lokalitou vychází výpočet hrubé produkce elektrické energie, která činí 13 346 kWh ročně. To znamená tržbu za elektrickou energii ve výši 43 975 Kč za rok v případě distribuce za minimální výkupní cenu 3 295 Kč za MWh.

Následuje ekonomické zhodnocení investice do rekonstrukce MVE Skála. Pan Jaroslav Skoupý celkem investoval 227 000 Kč. Z toho 147 000 Kč na strojní technologie a 80 000 Kč na stavební úpravy objektu. Pro ekonomické zhodnocení dané investice byly použity následující metody: výpočet doby návratnosti investice (DN), výpočet rentability investice (ROI), výpočet čisté současné hodnoty (NPV), výpočet indexu ziskovosti (PI), určení vnitřního výnosového procenta (IRR).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Knižní publikace

- [1] PAŽOUT, František. *Malé vodní elektrárny 1: Ekonomika - předpisy*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1987. 501 s.
- [2] BEDNÁŘ, J.: *Turbíny - malé vodní elektrárny*. Českovice: Nakladatelství Marcela Bednářová, 2013. 357 s. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [3] MELICHAR, Jan., VOJTEK, Jan., BLÁHA, Jaroslav. *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998. 504 s. ISBN 80-010-1808-3
- [4] ČSN 75 0128, Vodní hospodářství. *Názvosloví využití vodní energie*.
- [5] ULRYCH, Emil. *Aplikovaná hydromechanika I*, ČZU v Praze, 2007
- [6] ZEITHAMMER, Karel. *Vývoj techniky*. Vyd. 3. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2003. 315 s. ISBN 978-80-01-02836-0
- [7] NECHLEBA, Miroslav. *Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1954. 546 s.

Internetové zdroje

- [8] https://es.wikipedia.org/wiki/Juanelo_Turriano
- [9] <http://mve.energetika.cz>
- [10] <http://www.moulin-neuf.ffe.com>
- [11] <http://www.voith.com/en/group/history/milestones-13690.html>
- [12] <http://dingler.culture.hu-berlin.de/article/pj285/ar285043>
- [13] http://www.energyweb.cz/web/EE/images/s_497.jpg
- [14] <http://www.mvestipsky.estranky.cz/>
- [15] <https://advancedcadsystems.wordpress.com/tag/2d-drafting/>
- [16] <http://www1.fs.cvut.cz/stretech/2009/pdf/1067.pdf>
- [17] <http://www.heliciel.com/en/helice/eolienne%20hydrolienne/Hydrolienne-turbines.htm>
- [18] https://cs.wikipedia.org/wiki/Perlov%C3%BD_potok
- [19] <https://www.google.cz/maps/>
- [20] <http://www.tzb-info.cz/>

- [21] <http://www.eru.cz/cs/>
- [22] <http://www.penize.cz/investice/17063-odpisove-doby-sazby-a-koeficienty>
- [23] <http://wiki.knihovna.cz/index.php/ROI>
- [24] <https://managementmania.com/cs>
- [25] <http://www.businessvize.cz/>

Ostatní zdroje

- [26] Manipulační řád MVE Skála
- [27] Metodický pokyn odboru Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma MVE	4
Obr. 2 – Čerpací systém Artificio	6
Obr. 3 – Segnerovo kolo	6
Obr. 4 – Eulerův stroj	7
Obr. 5 – Fourneyronova turbína	7
Obr. 6 – Jonvalova turbína	8
Obr. 7 – Girardova turbína	8
Obr. 8 - Členění vodních turbín dle průtoku oběžným kolem.....	12
Obr. 9 - Schéma Peltonovy turbíny	13
Obr. 10 - Schéma Bánkiho turbíny	14
Obr. 11 - Konstrukční řešení Francisovy vertikální spirální turbíny	16
Obr. 12 - Spirální skříň Francisovy turbíny	17
Obr. 13 - Geometrie oběžného kola Francisovy turbíny závislá na měrných otáčkách	17
Obr. 14 - Schéma regulačního mechanismu Francisovy turbíny.....	18
Obr. 15 - Hydraulické řešení oběžného kola Kaplanovy turbíny	19
Obr. 16 - Thomannova turbína	21
Obr. 17 - Schémata řešení přímoproudých turbín	22
Obr. 18 - Schéma S-turbíny	23
Obr. 19 – Situace MVE Skála	24
Obr. 20 – Příčný řez MVE Skála	25
Obr. 21 – Stavidlový jez.....	26
Obr. 22 – Ústí odpadního kanálu	27
Obr. 23 – Schéma strojovny MVE Skála	27

Obr. 24 – Strojovna MVE Skála	28
-------------------------------------	----

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – Rozdělení různých typů turbín podle měrných otáček.....	10
Tabulka 2 – Postup stanovení MZP	29
Tabulka 3 – M-denní průtoky pro danou oblast	29
Tabulka 4 – Roční produkce elektrické energie	32
Tabulka 5 – Cenové rozhodnutí ERÚ ze dne 19. listopadu 2015	33
Tabulka 6 – Součet toků hotovosti	36
Tabulka 7 – Přehled výsledků jednotlivých metod ekonomického hodnocení rekonstrukce MVE Skála..	39

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Oblast využití průtoku turbínou	30
--	----

SEZNAM VELIČIN

d	[%]	daň z příjmu
DN	[den]	doba návratnosti investice
E	[J.kg ⁻¹]	měrná energie
E_g	[J.kg ⁻¹]	geodetická energie
g	[m.s ⁻²]	gravitační zrychlení
h	[m]	spád, užitný spád
H_{ztr}	[m]	ztracený výškový rozdíl
IN	[Kč]	investiční náklady
n	[s ⁻¹], [den]	provozní otáčky, doba životnosti
N	[Wh]	výroba elektrické energie
N_p	[Kč]	roční provozní náklady
NPV	[Kč]	čistá současná hodnota
n_q	[s ⁻¹]	měrné otáčky
O	[%]	odpisy
P	[W]	teoretický výkon
PI	[-]	index ziskovosti
Q	[m ³ .s ⁻¹]	průtok, hltnost
Q_{mz}	[m ³ .s ⁻¹]	minimální zůstatkový průtok
Q_{teor}	[m ³ .s ⁻¹]	teoretický průtok turbínou
r	[%]	diskontní úroková míra

ROI	[%]	rentabilita investice
S	[%]	odpisová sazba
T	[den]	počet dní
T_r	[Kč]	roční tržba
Z_č	[Kč]	čistý zisk
Z_h	[Kč]	hrubý zisk
η_{c,d,t,př,g}	[-]	účinnost celková, dýzy, turbíny, převodu, generátoru
ρ	[kg.m⁻³]	hustota

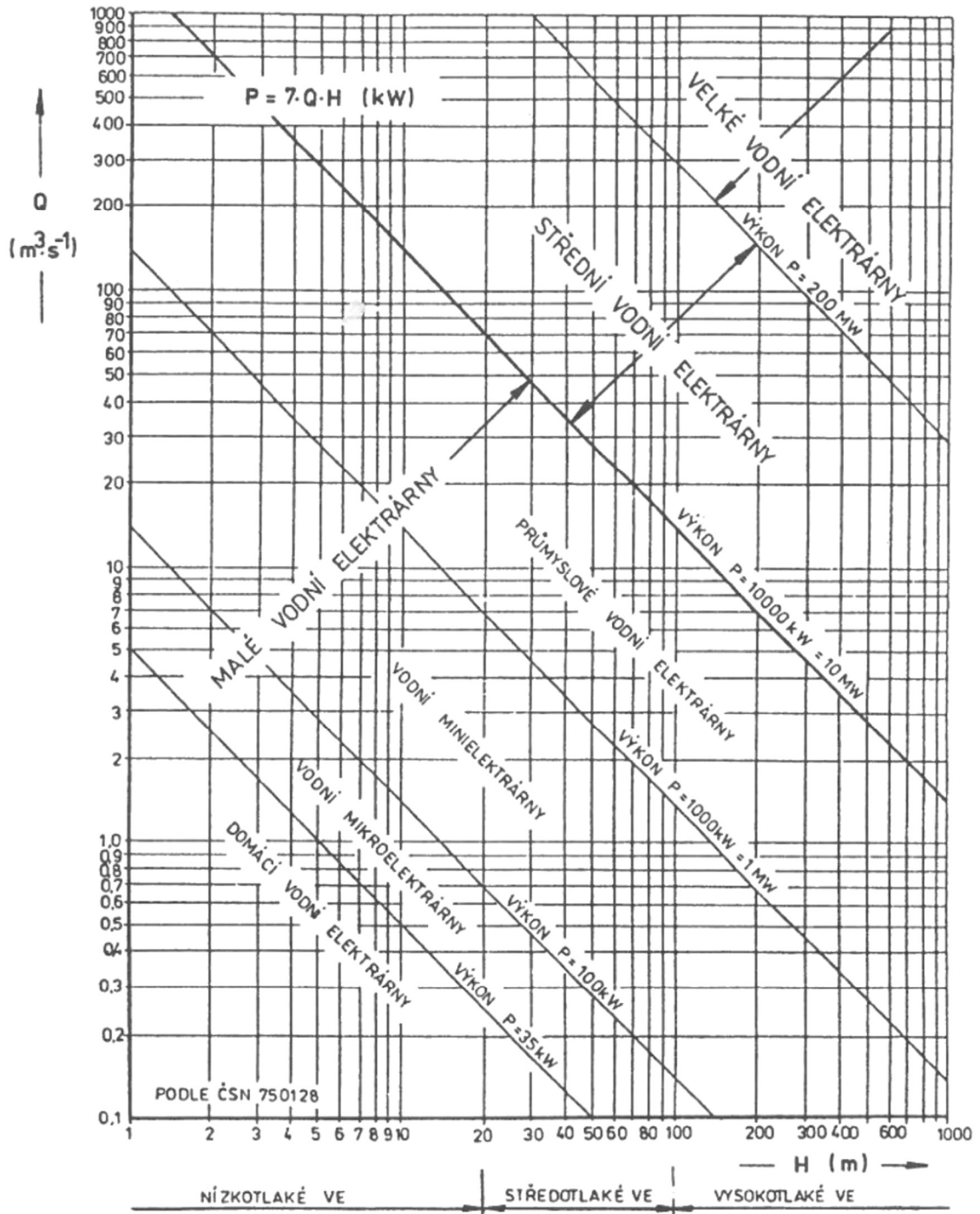
POUŽITÉ ZKRATKY

- ERÚ** - Energetický regulační úřad
- MVE** - Malá vodní elektrárna
- MZP** - Minimální zůstatkový průtok

SEZNAM PŘÍLOH

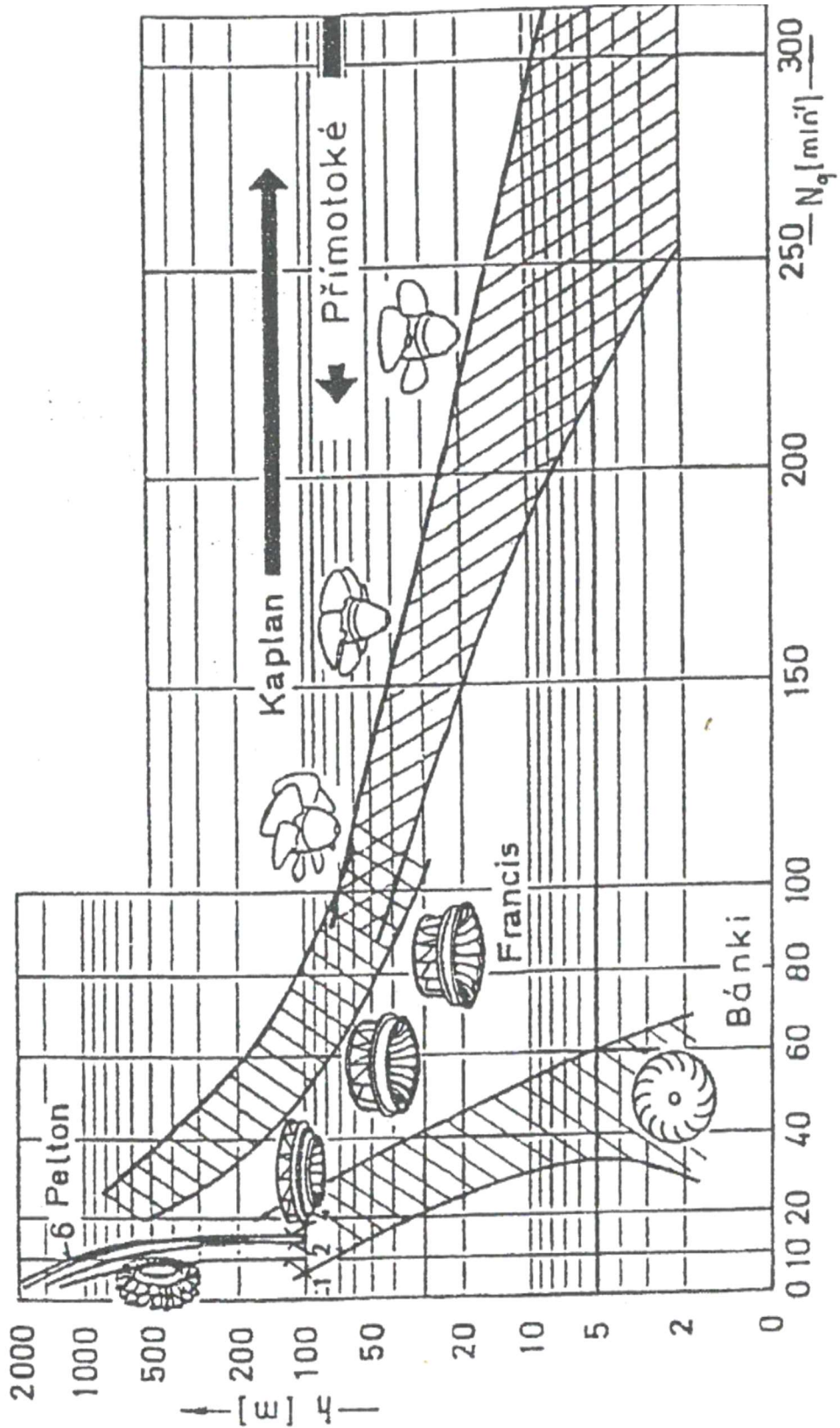
Příloha 1 - Rozdělení vodních elektráren podle výkonu	I
Příloha 2 - Oblast využití různých typů turbín podle měrných otáček.....	II
Příloha 3 – Situace MVE Skála a rybníka Mlejňák	III
Příloha 4 – Stavidlo pro MVE Skála	IV
Příloha 5 – Skalní výčnělek s cejchem provozní hadiny	IV
Příloha 6 – Řez turbínou MVE Skála.....	V
Příloha 7 – Řídicí systém MVE Skála	VI
Příloha 8- Savka připravená k instalaci	VI
Příloha 9 – Výpočet současné hodnoty očekávaných příjmů	VII

Příloha 1 - Rozdělení vodních elektráren podle výkonu



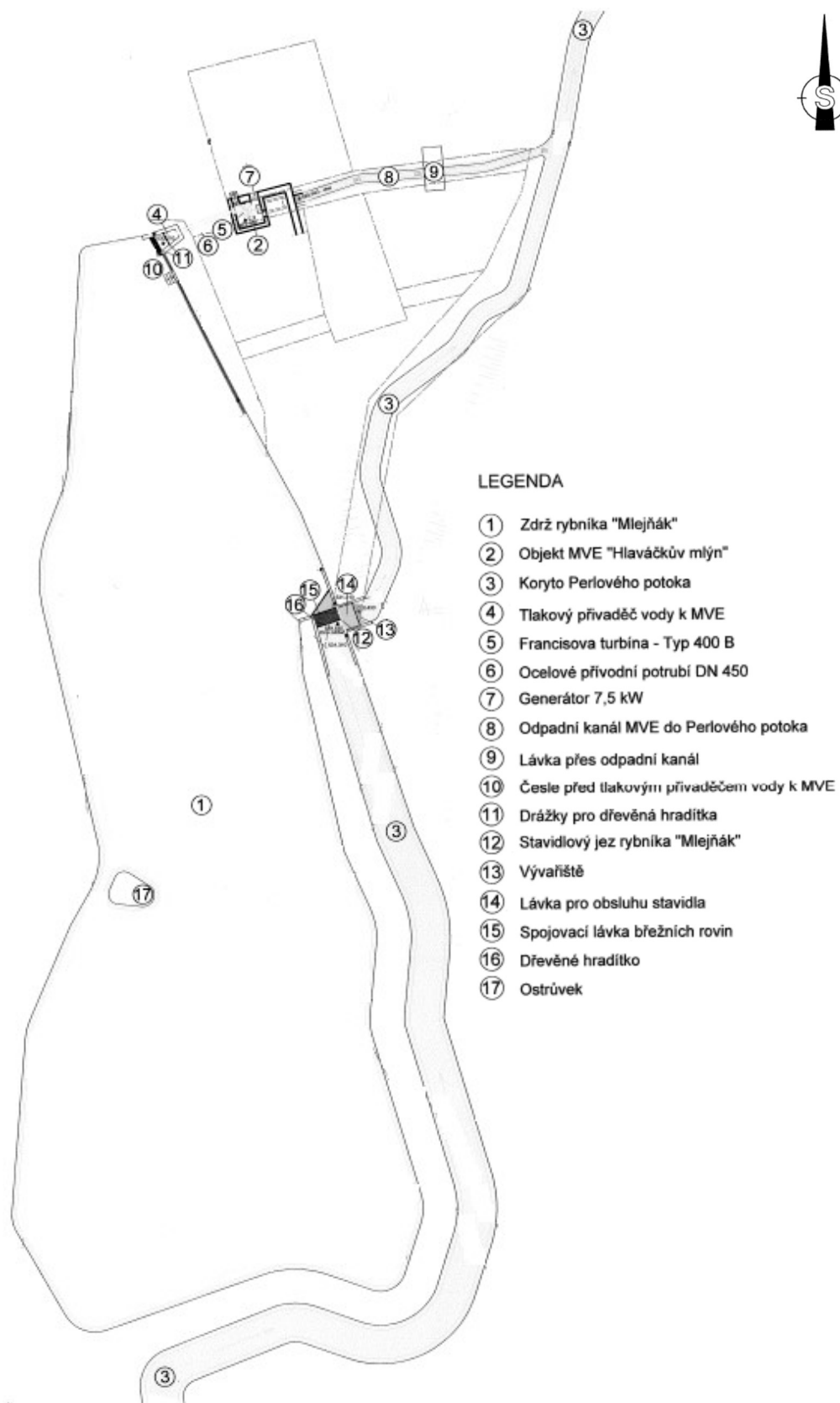
Zdroj: [3]

Příloha 2 - Oblast využití různých typů turbín podle měrných otáček



Zdroj: [5]

Příloha 3 – Situace MVE Skála a rybníka Mlejňák



Zdroj: [26], upraveno autorem

Příloha 4 – Stavidlo pro MVE Skála



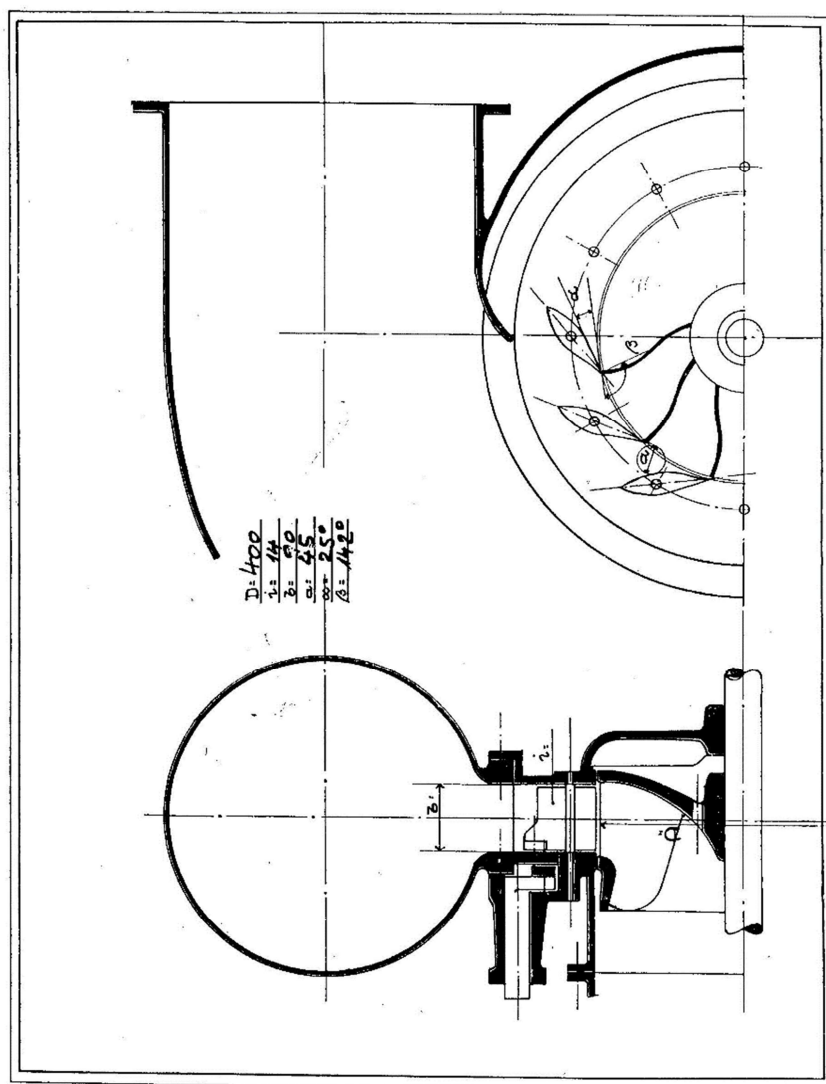
Zdroj: Fotografie autora

Příloha 5 – Skalní výčnělek s cejchem provozní hadiny



Zdroj: Fotografie autora

Příloha 6 – Řez turbínou MVE Skála



Josef Prokopa synové
PARUBÍČIČI

ppa.

V Parubíčích, 11. května 1937.-

Zdroj: [26]

Příloha 7 – Řídicí systém MVE Skála



Zdroj: Fotografie autora

Příloha 8- Savka připravená k instalaci



Zdroj: Fotografie autora

Příloha 9 – Výpočet současné hodnoty očekávaných příjmů

Rok	Cash flow Cf	Diskontované Cash flow (0,05%)
	[Kč]	[Kč]
1	35 360	33 677
2	36 703	33 291
3	36 703	31 705
4	36 703	30 196
5	36 703	28 758
6	36 703	27 388
7	36 703	26 084
8	36 703	24 842
9	36 703	23 659
10	36 703	22 532
11	34 388	20 106
12	34 388	19 148
13	34 388	18 236
14	34 388	17 368
15	34 388	16 541
16	34 388	15 753
17	34 388	15 003
18	34 388	14 289
19	34 388	13 608
20	34 388	12 960
21	34 388	12 343
22	34 388	11 755
23	34 388	11 196
24	34 388	10 662
25	34 388	10 155
26	34 388	9 671
27	34 388	9 211
28	34 388	8 772
29	34 388	8 354
30	34 388	7 957
Celkem		545 221 Kč

Zdroj: Vlastní zpracování