

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra mechaniky a strojnictví**



**Diplomová práce**

**Rekonstrukce malé vodní elektrárny s Francisovou  
turbínou**

*Autor diplomové práce: Bc. Dana Fišerová*

*Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.*

© 2019 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Dana Fišerová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Rekonstrukce malé vodní elektrárny s Francisovou turbínou**

Název anglicky

**Reconstruction of small hydropower plants with a Francis turbine**

---

### Cíle práce

Technická a ekonomická analýza malé vodní elektrárny s Francisovou turbínou a vyhodnocení elektivnost její rekonstrukce.

### Metodika

Popis historických a technických aspektů vybrané lokality s malou vodní elektrárnou (MVE). Analýza stávajícího stavu technologie MVE a její technicko-ekonomický rozbor. Zhodnocení efektivnosti rekonstrukce MVE, případný návrh alternativního řešení.

Pozn.:

- práce by měla být strukturována do těchto oddílů: Úvod, Materiál a metody, Výsledky, Diskuse, Závěr. V pracích rešeršního charakteru lze sloučit kapitulu Materiál a metody s kapitolou Výsledky, stejně tak Diskusi se Závěrem
- rovnice, tabulky a obrázky je nutno číselně označovat a na toto značení se v textu odkazovat.
- nedílnou součástí práce je Obsah, Abstrakt, Seznam použitých zkratk a symbolů, obrázků a Seznam použité literatury.
- je nezbytné respektovat citační pravidla dle ČSN ISO 690:2011
- vedoucího práce je nutno čtvrtletně seznamovat s postupem zpracování zadaného tématu

**Doporučený rozsah práce**

60 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

**Klíčová slova**

malá vodní elektrárna, vodní turbína, hydroenergetika

---

**Doporučené zdroje informací**

Bednář, J.: Turbíny [malé vodní elektrárny], Nakladatelství Marcela Bednářová, Blansko, ISBN 978-80-905437-0-6

Hýbl, J.: Vodní motory I, II, III, Česká matice technická, Praha 1922 až 1928

Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny – konstrukce a provoz, ČVUT Praha 1998, ISBN 80-01-01808-0

Müller, G.: Water Wheels as a Power Source. Renewable energy 2013

Munson, B. R; Zouny, D. F.; Okiishi, T., H.: Fundamentals of fluid mechanics – fifth edition, 2006, John Wiley & Sons, Inc., USA, 770 s., ISBN 0-471-67582-2

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

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra mechaniky a strojnictví

---

Elektronicky schváleno dne 16. 2. 2018

**doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2018

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 01. 10. 2018

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Rekonstrukce malé vodní elektrárny s Francisovou turbínou" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 4.4.2019

---

## Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří mi vytvořili podmínky pro realizaci této diplomové práce. Zejména děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za odborné vedení, užitečné rady a cenné připomínky. Dále bych ráda poděkovala své rodině za poskytnutou podporu.

# Rekonstrukce malé vodní elektrárny s Francisovou turbínou

---

## Reconstruction of small hydropower plants with a Francis turbine

**Souhrn:** Diplomová práce se v první části zabývá historickým a současným využitím malých vodních elektráren (MVE) v podmínkách ČR. Jsou zde popsány nejčastější typy vodních děl a jejich technologické vybavení. Na to navazuje popis konkrétní vybrané lokality MVE Kounov s Francisovou turbínou. V praktické části je navrženo a vypočteno alternativní řešení s Bánkiho turbínou. Na základě vlastního měření průtoků v roce 2017 je pro původní Francisovu a nově navrhovanou Bánkiho turbínu vypočtena hrubá roční výroba elektrické energie. V závěru jsou porovnány dvě varianty využití vyrobené energie – prodej do rozvodné sítě vs. vlastní spotřeba pro tepelné čerpadlo k vytápění rodinného domu.

**Klíčová slova:** malá vodní elektrárna (MVE), turbína, rekonstrukce, vodní dílo

**Summary:** In the first part, the thesis deals with the historical and current use of small hydropower plants in the Czech Republic. It describes the most common types of water works and their technological equipment. This is followed by a description of a specific selected site of small hydropower plant Kounov with Francis turbine. In the practical part alternative solution with Banki turbine is proposed and calculated. Based on the actual flow rate measurement in 2017, the gross annual electricity production is calculated for the original Francis and newly designed Banki turbines. In the conclusion, two variants of utilization of the produced energy are compared - sales to the distribution network vs. own consumption for heat pump for heating family house.

**Key words:** small hydropower plant (SHP), turbine, reconstruction, waterwork

## OBSAH

1	Úvod .....	2
2	Cíl práce a metodika .....	4
3	Malé vodní elektrárny .....	5
3.1	Typy turbín pro MVE .....	7
	Kaplanova turbína .....	7
	Peltonova turbína.....	9
	Bánkiho turbína .....	11
4	Francisova turbína .....	13
4.1	Horizontální kašnová turbína .....	14
4.2	Vertikální kašnová turbína .....	16
4.3	Hlavní parametry turbíny .....	18
4.4	Přidružené parametry .....	22
5	Generátory.....	24
5.1	Asynchronní generátory .....	24
5.2	Synchronní generátory .....	25
6	Malá vodní elektrárna Kounov.....	27
6.1	Popis lokality .....	27
6.2	Malé vodní elektrárny v okolí .....	27
6.3	Historie vzniku MVE Kounov.....	30
6.4	Vodního dílo MVE Kounov .....	32
6.5	Parametry Francisovy turbíny .....	33
6.6	Přehled denních průtoků v roce 2017 .....	34
6.7	Využití energie z MVE .....	37
6.8	Náklady na provoz tepelného čerpadla .....	39
7	Alternativní řešení .....	40
7.1	Využití energie z navrženého alternativního řešení.....	44
8	Ekonomické zhodnocení .....	47
8.1	Náklady spojené s údržbou MVE .....	49
9	Závěr .....	51
10	Použitá literatura.....	52
11	Seznam zkratk.....	55
12	Přílohy.....	55

# 1 Úvod

Nezanedbatelným parametrem hovořícím pro intenzifikaci výstavby malých vodních elektráren je zájem každého státu na co nejvyšší energetické soběstačnosti, která dále implikuje nejen soběstačnost ekonomickou, ale také politickou. Zvláště v posledně jmenovaném parametru nabývá v dnešním multipolárním a stále více fragmentovaném světě na větším a větším významu. V neposlední řadě je zde třeba zohlednit zájem na co nejvyšší míru surovinové nezávislosti, která je v případě konvenčního získávání elektrické energie z fosilních zdrojů na vzestupu, ať se již jedná o uhlí, tak i o plyn a jadernou energii.

Řešením uvedené problematiky a cestou k dosažení klimatických cílů 2020, resp. 2050, se zdá být v budoucnosti právě zvyšování podílu tzv. „zelené elektřiny“ – tedy elektrické energie z obnovitelných zdrojů v národním energetickém mixu. Přes veškerá parciální negativa se jeví intenzifikace využívání malých vodních elektráren právě jako nejstabilnější cesta i v hydrogeologických podmínkách České republiky.

Významným hydrogeologickým argumentem pro podporu malých vodních elektráren v České republice je fakt, že se území našeho státu rozkládá na evropském rozvodí řek (České republice se z tohoto pohledu přezdívá „střecha Evropy“). Většina vodní energie je u nás soustředěna ještě v malých vodních tocích, které u nás sice pramení, ale odtékají z našeho území pryč. Přestože jsme z tohoto pohledu řazeni mezi hydroenergeticky chudé země, máme potenciál právě v malých vodních elektrárnách (MVE). Navíc u tohoto typu elektráren, na rozdíl od velkých, vysokokapacitních vodních elektráren, nehrozí ekologické katastrofy, jako protržení přehradních hrází, nedochází k lokální změně fauny a flóry v důsledku zvětšení vodních ploch, nebo k ovlivnění mikroklimatu, ani k zátěži životního prostředí v důsledku samotného budování velkých vodních děl.

Vodní elektrárny jako zdroje elektrické energie nabízejí nejen vysokou flexibilitu v energetických špičkách, ale i akumulaci u přečerpávacích vodních elektráren, které jsou právě provozem ve špičkách ekonomicky rentabilní. U malých vodních elektráren nabízejí



především další možnosti v souvislosti s rozvojem nových technologií akumulace elektrické energie a jejího dalšího využívání přímo v místě výroby.

V České republice má využívání vodní energie, zejména pro výrobu elektřiny dlouholetou tradici. První česká vodní elektrárna byla postavena už v roce 1888 v Písku, který se tak stal prvním českým městem, jež mělo stálé veřejné elektrické osvětlení. Prvenství Písku nebylo náhodné, neboť rok předtím, v roce 1887, právě zde předvedl František Křizík první celoplošné elektrické osvětlení centra města.

Ve srovnání se stavem před 2. světovou válkou, kdy naše republika patřila k průmyslově nejvyspělejším částem Evropy, dnes využíváme pouze jen 5% celkového počtu tehdy provozovaných vodních elektráren. V absolutních číslech dnes existuje kolem 550 MVE, zatímco v roce 1934 bylo v provozu 10 514 takových zdrojů. [29]

## 2 Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce je zhodnotit přínos a efektivnost malé vodní elektrárny, která se nachází v obci Kounov v Královéhradeckém kraji. Jedná se o MVE s Francisovou turbínou, která byla zakoupena roku 1972. První voda do nově instalované turbíny šla přibližně v roce 1982. Turbína však byla navržena a vyrobena původně pro tkalcovnu v Dobřanech roce 1948.

Rešeršní část pojednává o malých vodních elektrárnách, jejich historickém vývoji a využití. Jsou zde popsány jednotlivé typy vodních děl, která jsou nejčastěji využívána jako MVE a je zde vysvětlen jejich princip. Podrobněji je popsána Francisova turbína, která se nachází ve zvolené lokalitě.

Praktická část je věnována využití vyrobené elektrické energie z MVE Kounov pro vytápění objektu. Na základě naměřených průtoků v roce 2017 je stanovena hrubá roční výroba elektrické energie. V souvislosti s nízkým průtokem je navrženo alternativní řešení s Bánkiho turbínou, která by v dané lokalitě měla větší uplatnění. Na základě vypočtených ročních výkonů je u Francisovy a Bánkiho turbíny porovnána vyrobená elektrická energie se spotřebou tepelného čerpadla Niebe Split ACVM 270, AMS 10 (vzduch, voda), které daný objekt využívá. V závěru je vyhodnocen přínos MVE v porovnání s potřebnými výdaji na údržbu.

### 3 Malé vodní elektrárny

Vodní elektrárny vyrábí elektrickou energii s využitím energie vody generované koloběhem vody na Zemi v důsledku působení sluneční energie a gravitačních sil. Na vodním díle s elektrárnou je polohová a kinetická energie vody využívána pro výrobu energie prostřednictvím vodního motoru (turbíny) a generátoru elektrického proudu. Z hlediska ekonomické využitelnosti je rozhodující podmínkou spád a průtok vody, které tvoří tzv. hydrotechnický potenciál dané lokality. Charakter hydrotechnického potenciálu může být přirozený nebo umělý, jelikož míst s přirozeně koncentrovanou měrnou energií při dostatečném průtoku je v přírodě málo. Proto je nutné obvykle využít koncentrace umělé. Podle systému soustředění vodní energie a přívodu vody k turbíně se obecně rozlišují hydroenergetická přehradní díla, derivační, přehradně derivační nebo přečerpávací. [2]

V současné době představují malé vodní elektrárny především intenzifikační faktor využití primárního hydroenergetického potenciálu se zřetelným ekonomickým důsledkem ve formě úspory fosilních paliv a nákladů spojených s jeho těžbou. Malými vodními elektrárnami jsou u nás označovány takové elektrárny, které mají instalovaný výkon do 10MW včetně. Evropská unie však považuje za limit již výkon 5MW. Naprostá většina instalovaného výkonu malých vodních elektráren (přibližně 90%) je tvořena většími výkony než 5MW. Zbýlých 10% představují malé vodní elektrárny, které mají výkon do 5 MW. Malé vodní elektrárny jsou budovány v místech bývalých mlýnů, hamrů, ale i v místech stávajících jezů či jiných přirozených nebo umělých vzduť hladiny vodního toku. Velký počet soustrojí malých vodních elektráren je instalováno do technologických zařízení vodohospodářských a vodárenských systémů, v petrochemických, hutních či jiných provozech. Důležité tedy je vnímat malé vodní elektrárny nikoli jen za intenzifikační faktor využití energetických zdrojů v přírodě, ale též jako úsporu energie v uzavřených výrobních systémech. [2]

Vodní dílo je dle normy ČSN 750128 souhrn veškerého stavebního a strojního zařízení. Cílem je využití vodní energie na daném místě vodního toku. Typy a rozdělení vodních děl je následující: [7]

Na základě velikosti instalovaného výkonu se VD dělá na:

- velká (nad 200 MW)
- střední (10 – 200 MW)
- malá (pod 10 MW)
  - průmyslové elektrárny (1 – 10 MW)
  - minielektrárny (100 kW – 1 MW)
  - mikroelektrárny (35 – 100 kW)
  - domácí elektrárny (pod 35 kW)

Podle pracovního režimu:

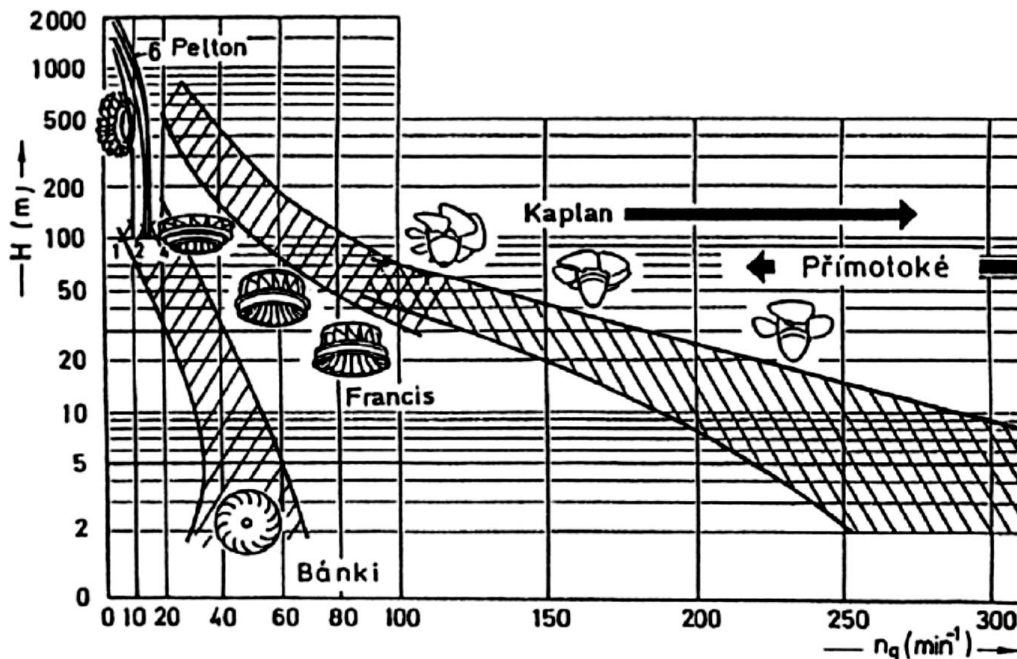
- průtočná
- akumulární (přečerpávací, špičková)

Podle využívaného spádu:

- nízkotlaká (do 20 m)
- středotlaká (2 – 100 m)
- vysokotlaká (nad 100 m) [8]

V minulosti bylo často pro pohon strojů používáno vodní kolo. Jeho hlavní nevýhodou byla však nedostatečná účinnost. V roce 1826 vyvinul Benoit Fourneyron vysoce efektivní vodní turbínu (s účinností až 80%). V roce 1820 vyvinul Jean-Victor Poncelet turbínu, která fungovala na podobném principu. V roce 1838 získal S. B. Howd v USA patent na radiální přetlakovou turbínu o vnějším vtoku, kterou v roce 1849 zdokonalil James B. Francis, kterému se podařilo dosáhnout celkové účinnosti 90%. Maximálně efektivní turbínu vytvořil za pomoci vědeckých postupů a měření. Metody výpočtů a měření, se staly součástí teorie turbíny. [17]

Na obr. 3.1 je znázorněn diagram k volbě vhodného typu turbíny pro MVE. Na svislé ose je spád ( $H$ ) v metrech a na vodorovné ose měrné otáčky turbíny ( $N_q$ ) za minutu. Měrné otáčky představují otáčky turbíny geometricky podobné, která při spádu  $H = 1$  m zpracovává průtok  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bližší vysvětlení a výpočet  $N_q$  je v kapitole 4.4. [8]



Obr. 3.1: Diagram oblastí spádů  $H$  vhodné pro různé typy turbín  
Zdroj: [3]

### 3.1 Typy turbín pro MVE

#### Kaplanova turbína

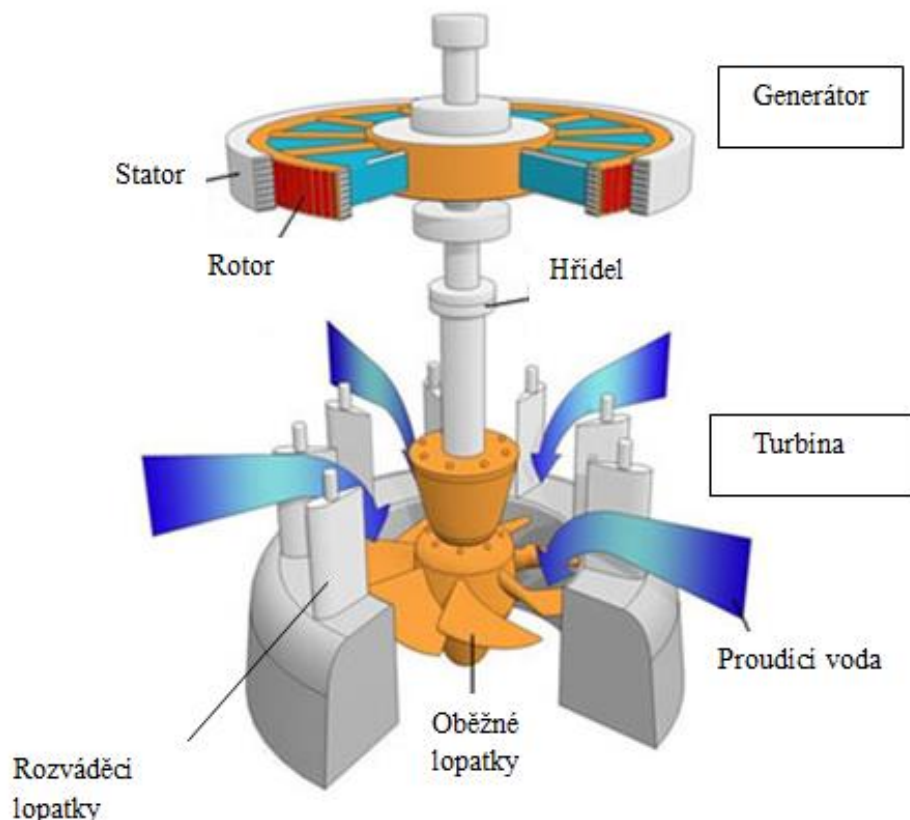
Profesor Viktor Kaplan jako první zkonstruoval, teoreticky propracoval a přihlásil k patentování nový tvar oběžného kola, který vznikl na základě úvah v letech 1910 – 1912. V roce 1919 byl brněnskou firmou Ignác Storek vyroben první prototyp Kaplanovy turbíny pro přádelnu v rakouském Velmu. Na základě zkoušek se ukázalo, že tato turbína dosahuje výborné účinnosti a to až 86%. [10]

Kaplanova turbína se řadí mezi nejčastěji používané hnací stroje na nově budovaných malospádových vodních elektrárnách. Je využívána i při přestavbě starších

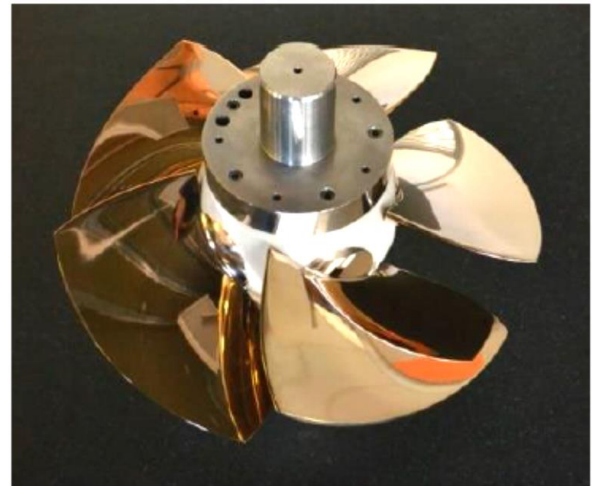
vodních děl původně osazených vertikální Francisovou turbínou, kde většinou dosahuje lepšího využití toku. [11]

Na obr. 3.1.1 je znázorněno schéma Kaplanovy turbíny. Voda je přiváděna do spirálové skříně a proudí mezi lopatky rozváděcího kola, kde nabývá na rychlosti a v určitém směru vtáčí na lopatky oběžného kola. Obvykle má oběžné kolo 3 až 10 lopatek. Voda, která prošla oběžným kolem, odtéká sací rourou do odpadního kanálu, odkud se vrací zpět do řeky. Při změně výkonu se průtok řídí pomocí natočení lopatek rozváděcího a oběžného kola. [12]

Oběžné kolo, které nemá vnější věnec, má oběžné lopatky upevněny natáčivě v náboji kola. Uvnitř náboje kola je osazený regulační mechanismus, který lopatky otáčí za chodu stroje. Natáčení lopatek rozváděcího i oběžného kola (tzv. dvojitá regulace) je možné podle průtočného množství vody. Oběžné kolo je zobrazeno na obr. 3.1.2. [3]



Obr. 3.1.1: Schéma Kaplanovy turbíny  
Zdroj: [30], upraveno autorem



*Obr. 3.1.2: Oběžné kolo Kaplanovy turbíny  
Zdroj: [13]*

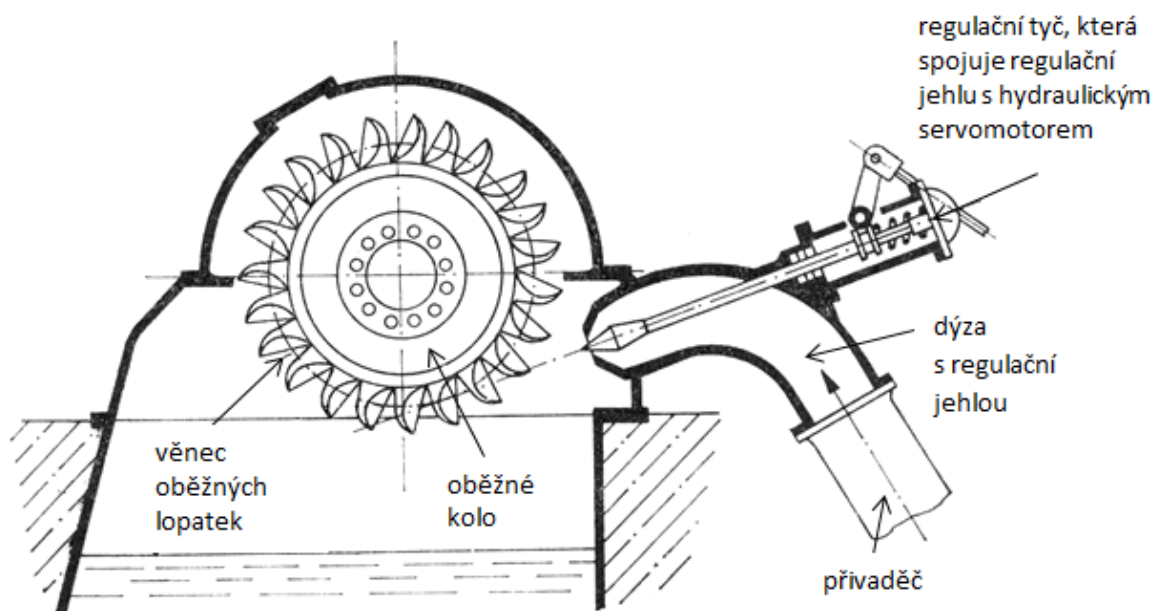
Výhodou Kaplanovy turbíny je malá stavební výška a možnost instalace do malých strojoven u jezových elektráren nebo v jezových pilířích. Regulovatelný rozvaděč ve spolupráci s regulací oběžného kola umožňuje nastavit a efektivně využít průtok ve velmi širokém rozmezí. Nevýhodou Kaplanových turbín s dvojitou regulací je mechanická složitost, od které se odvíjí vysoká cena a vyšší náklady na údržbu. [11]

### **Peltonova turbína**

Peltonovu turbínu vynalezl Lester Allan Pelton v roce 1880. K inspiraci ho přivedla studia důlních vodních kol během Kalifornské zlaté horečky. Peltonova turbína je nejčastěji používaný typ rovnotlaké turbíny. Turbína je využívána v lokalitách s menším průtokem a s velkým spádem, který může být až stovky metrů. Jedná se o vysokotlaká vodní díla. [10, 14]

Regulační ústrojí je tvořeno tzv. dýzou (tryskou) s regulační jehlou (viz. obr. 3.1.3). Z dýzy vystupuje paprsek vody, který má kruhový průřez a ostříkuje oběžné kolo, které tvoří lopatky ve tvaru dvojíých mističek. Veškerou energii oběžnému kolu předává paprsek tak, že dopadá na střední břit lopatek, kde se dělí na dvě části a vektor hybnosti mění směr o 180°. Regulace průtoku i výkonu je ovlivněna pohybem regulační jehly do

výtokového průřezu dýzy. Při nouzových stavech dochází ke snížení výkonu a rychlé regulaci pomocí odklonu vodního paprsku. Peltonova turbína je na území České republiky využívána výjimečně, jelikož většina lokalit nedosahuje tak velkých spádů. [14]



Obr. 3.1.3: Regulační ústrojí Peltonovy turbíny  
Zdroj: [7], upraveno autorem

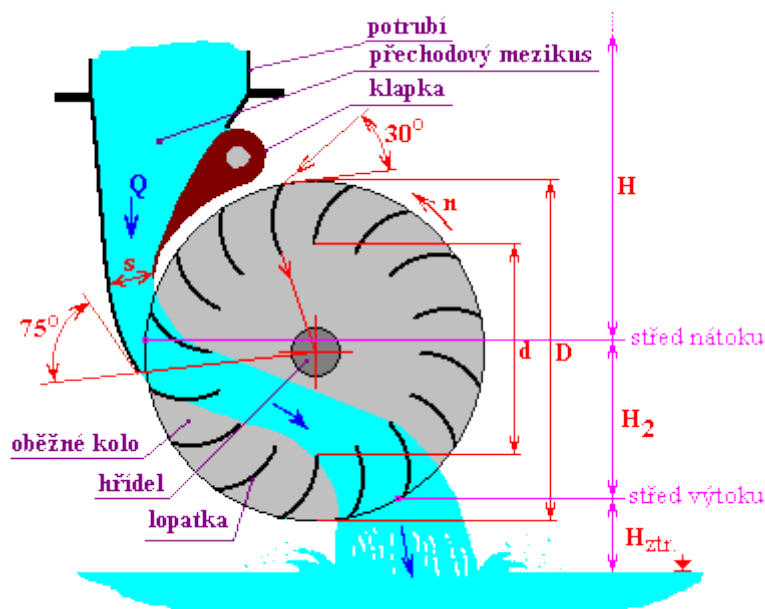
Voda se přivádí k turbíně pomocí potrubí kruhového průřezu, které vede k jedné, nebo více dýzám. Celý spád vody se v dýze transformuje na kinetickou energii. Do oběžného kola voda vstupuje tangenciálně. Vzájemný souběh rychlosti vody, která teče po lopatce při současném otáčení oběžného kola, vede k tomu, že voda opouští lopatky na vnější straně a volně odtéká do obou stran z oběžného kola ven a padá do odpadu, který je pod turbínou. [15]



## Bánkiho turbína

První teoretické výpočty byly provedeny v roce 1903 australským inženýrem A. G. M. Mitchelem, který využil teorii Ponceletova vodního kola a starších řešení parních turbín. V letech 1912 – 1919 s tímto typem turbíny prováděl intenzivní experimentální práce profesor Donát Bánki z Maďarska, který přidal vstupní těleso a vypracoval teorii jejího řešení. [10]

Bánkiho turbína je hojně používaný typ rovnotlaké turbíny. Její velkou předností je využití v širokém rozsahu průtoku, ale i spádu. Bánkiho turbína je relativně konstrukčně jednoduchá (obr. 3.1.4). Skládá se ze tří základních částí. První část je tvořena tzv. vtokovým segmentem s regulační klapkou, která je tvarovaná do podoby rozváděcí lopatky. Rozváděcí lopatka usměřňuje proud vody na lopatky oběžného kola. Druhou část tvoří těleso turbíny osazené oběžným kolem s válcovým uspořádáním, ve kterém jsou situovány tvarované lopatky. Zvláštnost tohoto stroje spočívá v tzv. dvojitém průtoku oběžným kolem – voda nejprve přitéká od lopatek ke středu oběžného kola a potom vytéká přes protilehlé lopatky ze stroje ven. Poslední část tvoří savka se zavzdušňovacím ventilem. Úkolem ventilu je zajistit, aby se oběžné kolo nebrodilo v odtékající vodě. [19]



Obr. 3.1.4: Schéma Bánkiho turbíny  
Zdroj: [20]

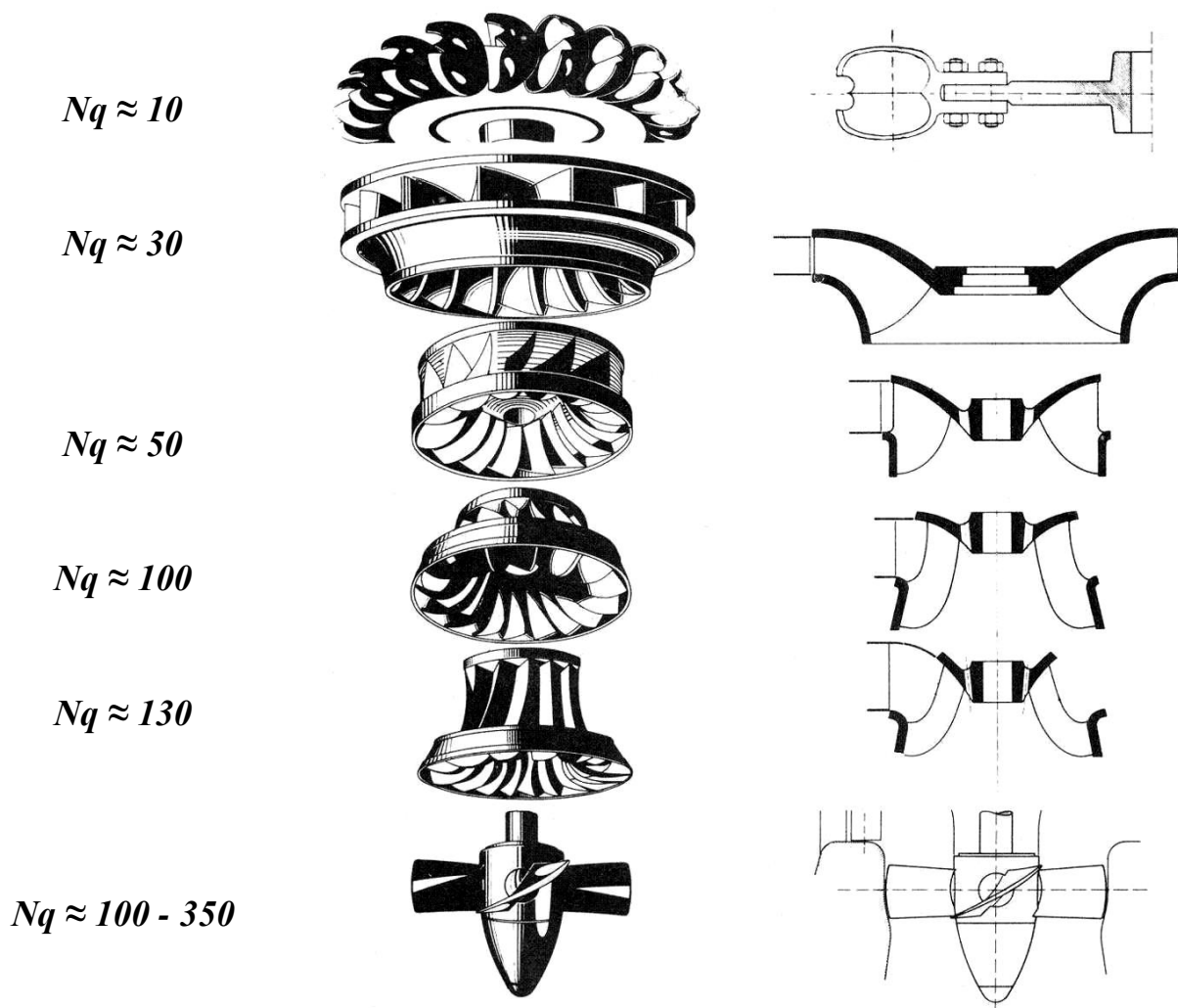
Při prvním průtoku lopatkami se turbíně se předává cca 79% z celkové energie. Vytékající parsek vlivem souběhu mezi rychlostí vody a otáčením kola nemíří na hřídel turbíny, ale mine ji volným zavzdušněným prostorem. Poté protéká lopatkami na protilehlé straně lopatkového věnce. Voda opět mění směr a tím předává lopatkám zbývajících cca 21% energie. Voda volně vytéká pod oběžné kolo po opuštění lopatkového věnce. Ztracený spád ( $H_{ztr}$ ), představuje výškový rozdíl mezi oběžným kolem a hladinou. [20]

## 4 Francisova turbína

Francisovu turbínu vyvinul James B. Francis. Jedná se o přetlakovou turbínu využívanou pro střední a větší průtoky a spády. Francisovy turbíny se dnes řadí mezi nejpoužívanější typy a často je nalezneme u přečerpávacích elektráren. [16]

U prvního konstrukčního řešení Francisovy turbíny protékala voda oběžnými kanály dostředným směrem. Oběžné lopatky byly válcové plochy. Za výtokem z oběžných kanálů se dostředný průtokový směr klenutým oběžným kolem měnil v axiální odtok. Roku 1869 změnil Swain radiální průtok v axiální v oběžných kanálech prodloužením lopatek do prostoru, ve kterém se mění radiální průtok v axiální. Swain je tedy prvním tvůrcem turbíny, která je označována jako Francisova. Již u prvních turbín dosáhl Francis účinnosti 80%. Proto byla tomuto stroji věnována větší pozornost. V této době však nebyla teoretickými hydrauliky turbína příznivě posuzována z toho důvodu, že si byli vědomi obtíží správného bezvírového převedení proudu vody z radiálního směru v axiální v oběžných kanálech. [6]

Na obr. 4.1 jsou znázorněny tvary oběžných kol čtyř nejčastěji využívaných turbín v závislosti na měrných otáčkách. Francisovy turbíny mohou být instalovány s horizontální nebo vertikální hřídelí. Do turbíny může být voda přiváděna buď pomocí spirální skříně, nebo u menších spádů pomocí tzv. kašny. Oběžné kolo Francisovy turbíny se skládá z vnějšího věnce, náboje a lopatek. Jejich tvar závisí na rychloběžnosti turbíny (viz obr. 4.1). Na oběžné kolo je voda přiváděna rozváděcím kolem v radiálním směru. V oběžném kole se však směr toku vody mění na axiální. Konstrukce rozváděcího kola je tvořena lopatkami otočnými kolem čepů, které regulují průtok turbínou. [1]



Obr. 4.1: Tvary oběžných kol a lopatek  
Zdroj: [1], upraveno autorem

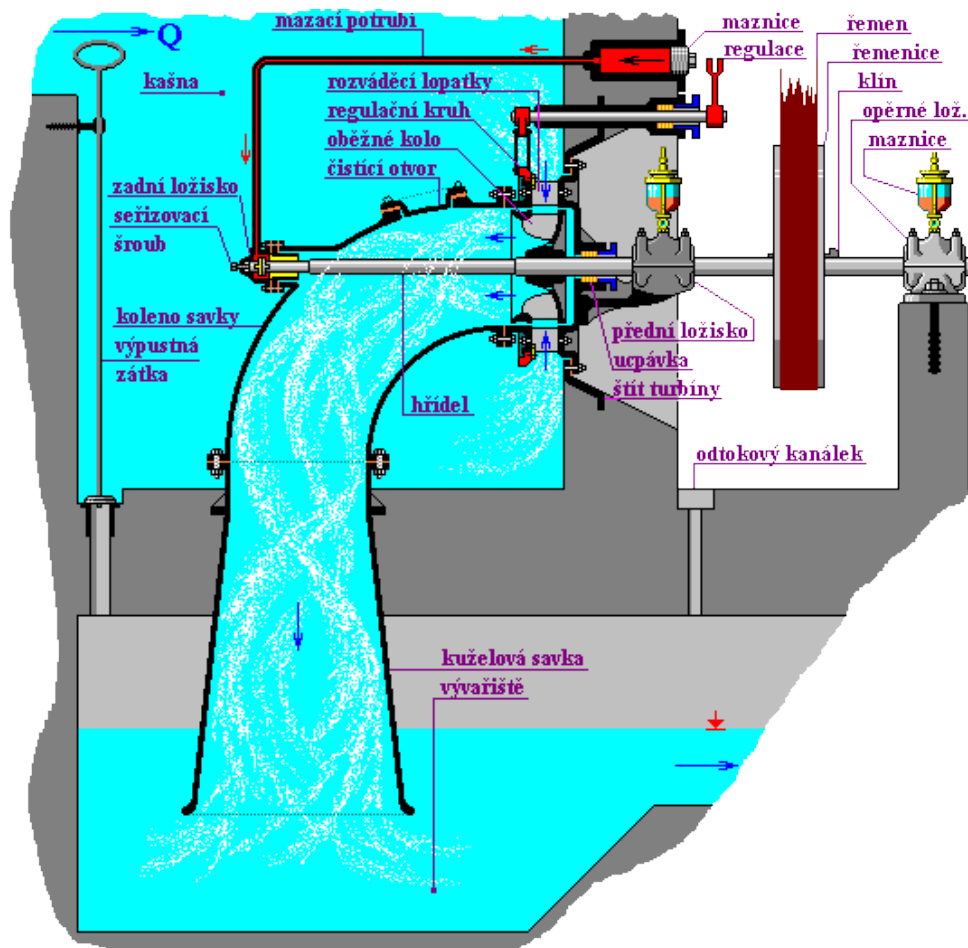
#### 4.1 Horizontální kašnová turbína

K nejrozšířenějším přetlakovým vodním motorům v MVE v minulosti patřila horizontální kašnová Francisova turbína (viz. schéma obr. 4.1.1).

Turbína je umístěna ve stěně kašny naplněné vodou. Z kašny voda vystupuje do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. V oběžném kole předává voda svoji energii. Po výtoku z oběžného kola se odvádí do odpadního kanálu. Jelikož je turbína ve stěně kašny a je vysoko nad spodní hladinou, řeší se odvod vody pomocí

kolenové sací trouby kruhového průřezu. Sací trouba může být vedena uvnitř kašny, tedy se jedná o „mokrou savku“ nebo strojovnou a jedná se o tzv. „suchou savku“. [21]

Toto uspořádání většinou využívala derivační vodní díla s otevřeným nebo tlakovým přivaděčem. Turbíny byly vyráběny v typizovaných výrobních řadách, odstupňované v závislosti na hydrotechnických podmínkách. Výrobní řady byly zvoleny tak, že na každý spád a průtok byla nalezena vhodná turbína nebo kombinace několika různě velkých turbín. Nejčastěji se používaly jako hlavní nebo doplňkový přímý mechanický pohon mlýnů, pil, hamrů a dalších drobných živností. Do dnešních dnů se zachovalo mnoho těchto strojů. Některé z nich jsou provozovány jako malé vodní elektrárny, jiné po desítkách let nečinnosti čekají na opravu. [21]



Obr. 4.1.1: Horizontální kašnová turbína s mokrou savkou  
Zdroj: [21]

Horizontální Francisova turbína se používá na spádech od 2 do 8 metrů při malých a středních průtocích. V porovnání s vertikálním má horizontální uspořádání o trochu nižší celkovou účinnost. Tato nevýhoda je však vyvážena spoustou jiných výhod. Hlavní z nich je vodorovný hřídel, vycházející z turbíny přímo do prostoru strojovny. Tím jsou výrazně zjednodušeny převody. Mnohdy se vystačí pouze s řemenovým převodem a tak se celková bilance účinnosti vyrovná. [21]

## 4.2 Vertikální kašnová turbína

Vertikální kašnová turbína patřila v minulosti k hojně rozšířenému vodnímu motoru. Většinou jí byla osazována vodní díla jezová nebo vodní díla derivační s otevřeným přivaděčem. Nejčastěji byla využita jako hlavní mechanický pohon větších mlýnů, městských elektráren nebo průmyslových závodů. Použití tohoto uspořádání je obvyklé na spádech od 1,5 metru, při středních a velkých průtocích (přibližně od 600 do 8 000 l/s). [9]

Uspořádání vertikální kašnové Francisovy turbíny je na obr. 4.2.1. Umístění vlastní turbíny je na dně turbínové kašny naplněné vodou. Zespodu na těleso turbíny navazuje sací trouba ústící do vývařiště pod kašnou. Okraj sací trouby musí být stále pod vodou. Turbína je shora uzavřena víkem, kterým do vnitřního prostoru stroje prochází hřídel, na jehož konci je zavěšeno oběžné kolo. Po obvodu tělesa turbíny je otočně nasazený regulační kruh s rozváděcími lopatkami. Ve víku je hřídel centrován vodícím ložiskem. Na betonovém základě ve strojovně stojí těleso ložiskového stojanu se závěsným axiálním a hlavním radiálním ložiskem. Stojan slouží i jako opora ložiska předlohového hřídele, na kterém je naklínován pastorek a řemenice. [9]



### 4.3 Hlavní parametry turbíny

1) **Průtok turbínou:**  $Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

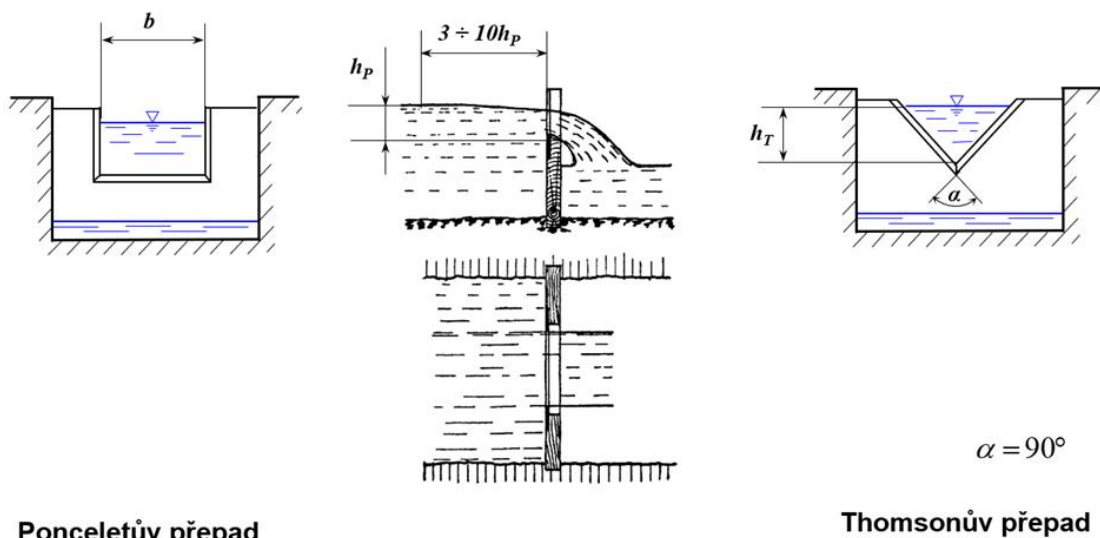
Průtok turbínou vyjadřuje množství vody protékající turbínou za jednotku času.

Kromě průtoku oběžným kolem zahrnuje i množství vody, které protéká a je nevyužito. Jedná se o tzv. objemové ztráty, což je např. průtok vody mezi mezerami statoru a rotoru anebo jsou tyto ztráty způsobeny ucpávkami a netěsnostmi turbíny. Je to i množství vody potřebné pro chlazení ložisek turbíny, pokud je tato voda odebírána z přírodního potrubí. Důležitý je tzv. jmenovitý průtok, což je průtok při jmenovitých otáčkách a jmenovité měrné energii. [3]

Na obr. 4.3.1 je znázorněno měření průtoku přepady. V případě Ponceletova přepadu metoda spočívá v dočasném přehrazení toku neprodyšnou stěnou s výřezem obdélníkového průřezu. Přepad musí mít spodní hranu přesně vodorovnou a všechna voda musí přepadem přetékat. V případě Thomsonova přepadu se jedná o trojúhelníkový průřez. [8]

Z přepadu voda vytéká do volného prostoru. Hladina nesmí být měřena v bezprostřední blízkosti před přepadem, kde je již hladina přepadem ovlivněna.





**Ponceletův přepad**

**Thomsonův přepad**

*Obr. 4.3.1: Schéma měření průtoku přepadem  
Zdroj: [8], upraveno autorem*

Tyto měřicí metody se využívají při měření malých a středních průtoků. Jedná se o měření tloušťky přepadajícího paprsku vody, z níž se průtok vypočítá na základě následujících vztahů:

Ponceletův přepad

$$Q = \frac{2}{3} \mu_P \cdot b \cdot h_P \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_P} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4.1)$$

Thomsonův přepad

$$Q = \frac{8}{15} \mu_T \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_T^{5/2} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (4.2)$$

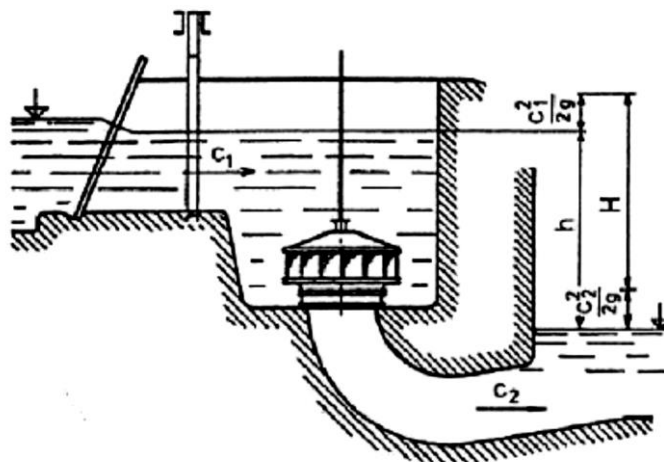
kde:  $\mu_P$  – součinitel Ponceletova přepadu ( $\approx 0,63$ )  
 $\mu_T$  – součinitel Thomsonova přepadu ( $\approx 0,59$ )  
 $b$  – délka přelivné hrany [m]  
 $h_{P,T}$  – přepadová výška [m]  
 $g$  – gravitační zrychlení [m/s<sup>2</sup>]

Tento způsob měření pomocí Ponceletova přepadu byl použit při měření průtoků MVE Kounov. Výsledky měření průtoků jsou zaznamenány v Tab. 1.

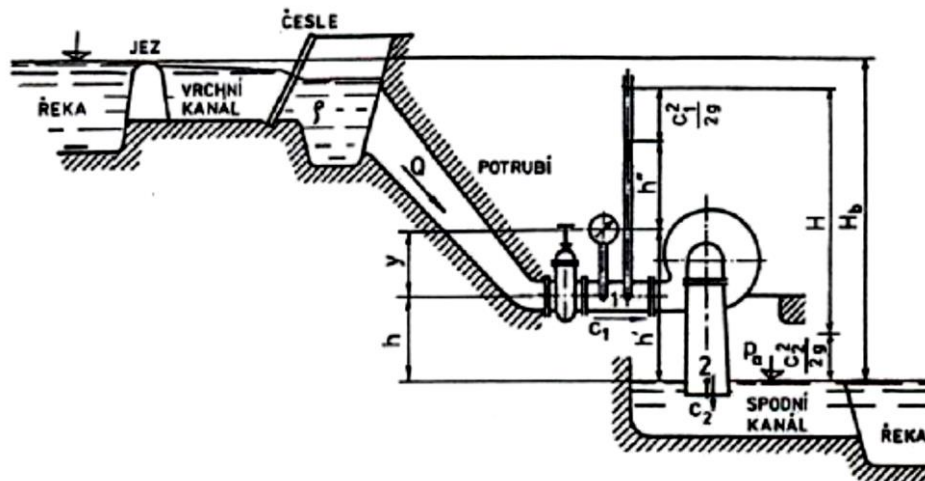
2) **Měrná energie turbíny:**  $E$  [ $J \cdot kg^{-1}, m^2 \cdot s^{-2}$ ]

Tato veličina udává rozdíl celkových měrných energií kapaliny mezi vstupním a výstupním průřezem stroje. Důležitá je jmenovitá měrná energie ( $E_n$ ). Je to měrná energie turbíny při jmenovitých otáčkách a jmenovitém průtoku turbíny. [3]

Na obr. 4.3.2 jsou znázorněny jednotlivě měrné energie pro kašnovou turbínu a pro turbínu se spirální skříní. [3]



*Kašnová turbína*



*Turbína se spirální skříní*

*Obr. 4.3.2: Určení měrné energie přetlakové turbíny*

*Zdroj: [3]*

Měrná energie přetlakové kašnové turbíny

$$E = g \cdot h + 0,5 \cdot (c_1^2 + c_2^2) \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.3)$$

Měrná energie přetlakové turbíny se spirální skříní

$$E = \frac{p_1 - p_2}{\rho} + 0,5 \cdot (c_1^2 - c_2^2) + g \cdot h \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.4)$$

kde:  $g$  – gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]

$h$  – svislá odlehlost bodů 1 a 2 [m]

$c_1$  – rychlost vody na vstupu do oběžného kola [m/s]

$c_2$  – rychlost vody na výstupu ze sací trouby [m/s]

$p_1$  – absolutní tlak na vstupu [Pa]

$p_2$  – absolutní tlak na výstupu [Pa]

$\rho$  – hustota vody [ $\text{kg/m}^3$ ]

### 3) Užitný spád

Je dán poměrem mezi celkovou měrnou energií turbíny a gravitačním zrychlením. [3]

$$H = \frac{E}{g} \text{ [m]} \quad (4.5)$$

## 4.4 Přidružené parametry

### 1) Otáčky: $n$ [ $s^{-1}$ , $\text{min}^{-1}$ ]

Provozní otáčky turbíny by měly být jmenovitými otáčkami. Jsou dány z hydraulického a konstrukčního řešení turbíny a vycházejí z optimální obvodové rychlosti oběžného kola a měrné energie. [3]

#### Měrné otáčky: $N_q$

Měrné otáčky jsou rozhodujícím kritériem při volbě typu turbíny a při výpočtu hlavních rozměrů oběžného kola. Měrné otáčky vychází z teorie fyzikální podobnosti hydraulických strojů. Za předpokladu, že turbína pracuje při „měrných podmínkách“, tj. při spádu  $H = 1$  m a průtoku  $Q = 1$   $\text{m}^3/\text{s}$  dostaneme vztah pro jejich výpočet (4.6). [8]

$$N_q = N \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \text{ [ot/min]} \quad (4.6)$$

kde:  $Q$  – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$H$  – spád [m]

$N$  – otáčky hřídele turbíny [ot/min]

### 2) Výkon: $P$ [W]

Mechanický výkon turbíny – mechanická energie přenášená hřídelí za jednotku času. Jmenovitý mechanický výkon turbíny – výkon turbíny při jmenovité měrné energii a jmenovitých otáčkách.

Instalovaný výkon – maximální mechanický výkon turbíny. [3]

Výkon na hřídeli vodního motoru je určen okamžitým průtokem, čistým spádem a účinností při daném průtoku. Vztah pro výpočet výkonu tedy je:

$$P = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c \text{ [kW]} \quad (4.7)$$

kde:  $g$  – gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]

$Q$  – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$H$  – užitný spád [m]

$\eta_c$  - celková účinnost [-]

### 3) Účinnost: $\eta_c$

Celková účinnost zahrnuje všechny ztráty energie, k nimž v turbíně dochází. Její hodnota je vždy menší než 1. [3]

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{př} \cdot \eta_{tr} \quad (4.8)$$

kde:  $\eta_t$  – účinnost turbíny [0,65 – 0,85]

$\eta_g$  – účinnost generátoru [0,70 – 0,95]

$\eta_{př}$  – účinnost převodu [0,80 – 1,00]

$\eta_{tr}$  – účinnost transformátoru [0,90 – 0,95]

## 5 Generátory

Ve vodních elektrárnách se elektrická energie získává přeměnou mechanické energie elektrickým točivým strojem na principu elektromagnetické indukce. Tyto stroje se souborně nazývají generátory. Podle funkce rozlišujeme alternátory (pro střídavý proud) a dynama (pro stejnosměrný proud). [4]

V malých vodních elektrárnách se používají synchronní i asynchronní generátory, jimiž často bývají klasické asynchronní motory. Ty je možné použít buď připojením ke stávající rozvodné síti, nebo za jistých podmínek jako samostatný generátor pracující do ostrovního režimu, kde není k dispozici žádná distribuční síť. [2]

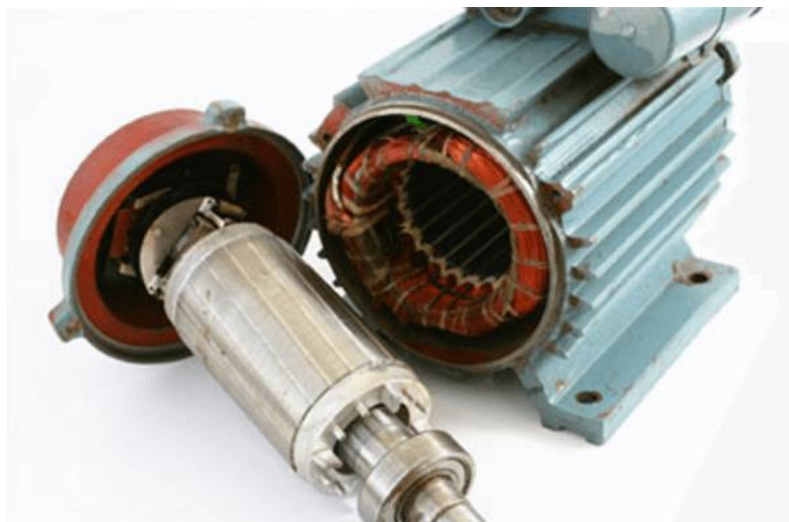
### 5.1 Asynchronní generátory

Turbína roztáčí asynchronní motor do nadsynchronních otáček a tehdy začíná stroj pracovat jako generátor. Činná složka proudu je úměrná výkonu stroje. Jalová složka proudu přechodem stroje do generátorického stavu nemění svůj směr. Proto je zapotřebí, aby asynchronní generátor pracoval paralelně s jinými zdroji, které mu mohou dodat příslušný jalový výkon – kondenzátory, synchronní stroje. [5]

Při použití asynchronního motoru ve funkci asynchronního generátoru je možné použít zatížení elektrickým výkonem v úrovni jeho příkonu – jmenovitým proudem. [2]

Výhody asynchronních generátorů spočívají ve spolehlivosti, jednoduchosti a minimálních nárocích na údržbu. Mají tedy relativně nízké investiční a provozní náklady. Nevýhodou je komplikovanější problematika samostatného chodu, menší účinnost při částečném zatížení a odběr jalového proudu. [2]

Asynchronní stroj (obr. 5.1.1) je trojfázový indukční stroj s prostorově rozloženým statorovým vinutím jednotlivých fází tak, že při připojení na třífázovou síť vzniká ve stroji točivé magnetické pole. Ve vinutí rotoru se indukuje budící proud, jehož magnetické pole se snaží sledovat točivé pole statoru a stroj se začíná roztáčet. Připojením asynchronního motoru k turbíně se stává stroj asynchronním generátorem. [1]



*Obr. 5.1.1: Asynchronní stroj*  
*Zdroj: [31]*

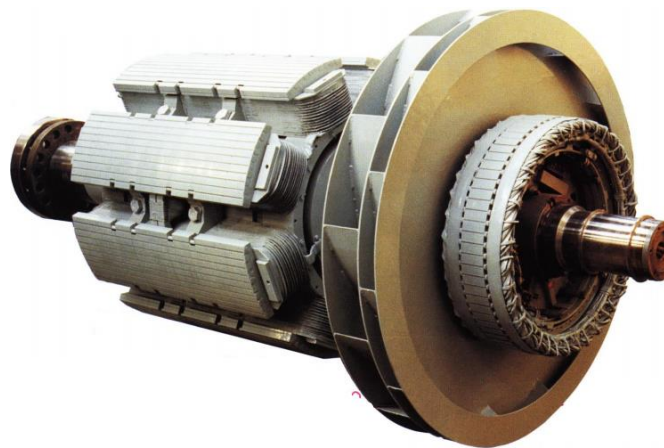
## 5.2 Synchronní generátory

Stator je složen z železných legovaných plechů, které musí být od sebe izolovány z důvodu snížení ztrát v železe a na vnitřním obvodu mají drážky. Izolované vodiče, které jsou vloženy do drážek, jsou vně drážek v čelech vinutí propojeny spojkami do cívek a spojeny do tří jednofázových vinutí neboli fází. Jsou tedy rozloženy tak, že každá fáze zabírá jednu třetinu obvodu statoru, tzn. po  $120^\circ$ . Začátky a konce jsou fází vyvedeny izolačními průchodkami. V kostře jsou upevněny statorové plechy. Ve statoru je pomocí ložisek upevněn rotor, který se otáčí v dutině statoru. Hřídel rotoru je spojena s oběžným kolem turbíny přímo nebo pevnou spojkou. Rotor je složen z několika dvojic magnetických pólů, které mají budící cívky a pólové nástavce. Póly jsou buzeny stejnosměrným proudem ze zvláštního dynama, tzv. budiče. V pólových nástavcích je zvláštní tyčové vinutí – amortizér neboli tlumič. Úkolem tlumiče je zabraňovat náhodným mechanickým kmitům rotoru, které by mohly být vyvolány např. účinkem jiných generátorů paralelně spojených se sítí zásobovanou generátorem. [4]

V cívkách statoru je otáčením nabuzeného rotoru indukováno střídavé napětí sinusového průběhu s časovým posunem v jednotlivých cívkách. Připojením generátoru k síti dochází k jeho zatížení a vinutím statoru prochází střídavý třífázový proud a vzniká točivé magnetické pole. Rychlost otáčení pole statoru se shoduje s rychlostí otáčení rotoru a jeho magnetické pole je tedy bez skluzu. Frekvence otáčení je s frekvencí připojené sítě

synchronní. Regulátor předsazený budiči rotoru umožňuje řízení. Magnetické pole rotoru může být vyvoláno indukcí, permanentními magnety nebo ve vinutí rotoru napájeného přímým proudem ze sběrných kroužků a kartáčků. [2]

Se synchronními generátory (obr. 5.2.1) je možné se často setkat při rekonstrukcích starších MVE. Hlavním důvodem pro instalaci je možnost provozu elektrárny nezávisle na provozu napájecí sítě. [1]



*Obr. 5.2.1: Rotor synchronního generátoru  
Zdroj: [32]*



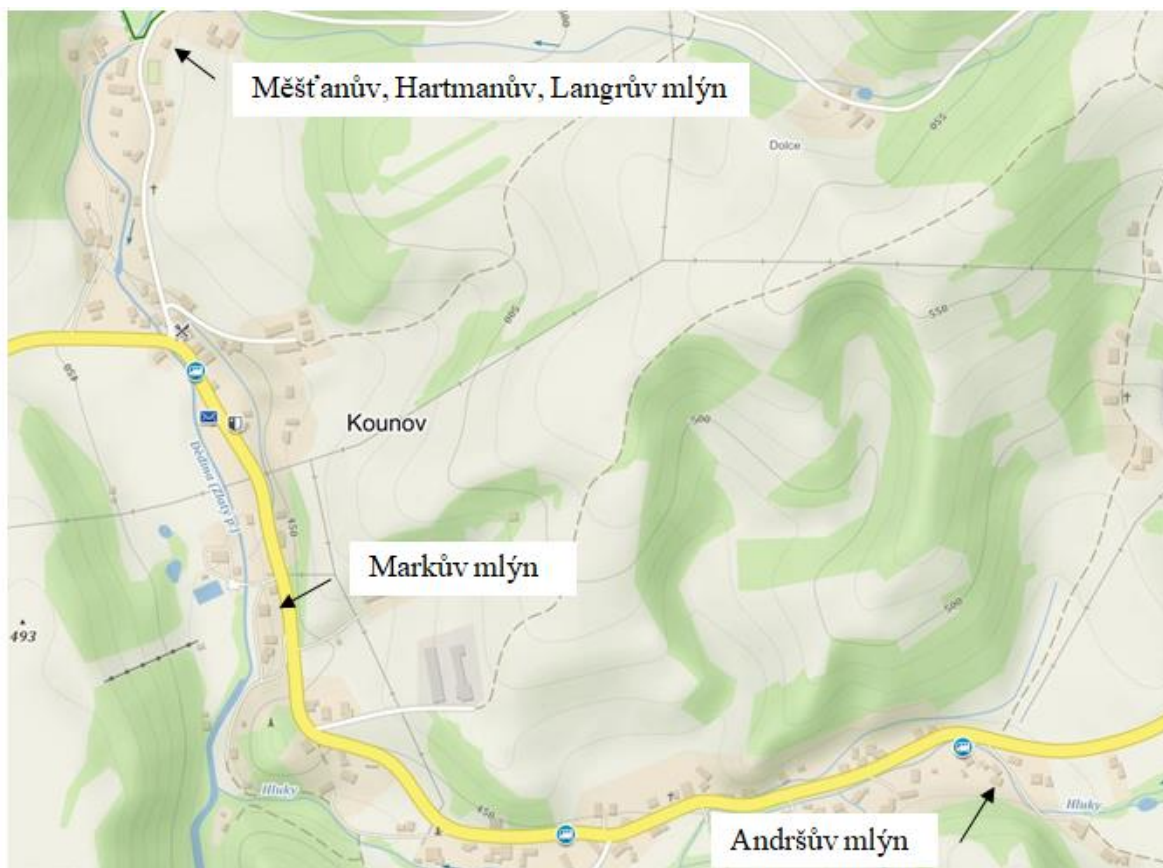
## 6 Malá vodní elektrárna Kounov

### 6.1 Popis lokality

V rámci zpracování diplomové práce byla pro technicko – ekonomické zhodnocení zvolena malá vodní elektrárna, která se nachází v malé obci Kounov v Královéhradeckém kraji. Obec Kounov se rozkládá v údolí Zlatého a Hluckého potoka, kterým prochází silnice z Dobrušky do Deštného v Orlických horách. Charakteristickým znakem obce je protáhlý tvar, kopírující hlavní komunikaci. [28]

### 6.2 Malé vodní elektrárny v okolí

V obci Kounov a jeho blízkém okolí se nachází hned několik obydlí, ve kterých byla využívána nebo se doposud využívá vodní energie. Na obr. 6.2.1 je zobrazeno rozmístění těchto bývalých mlýnů, které slouží jako MVE.

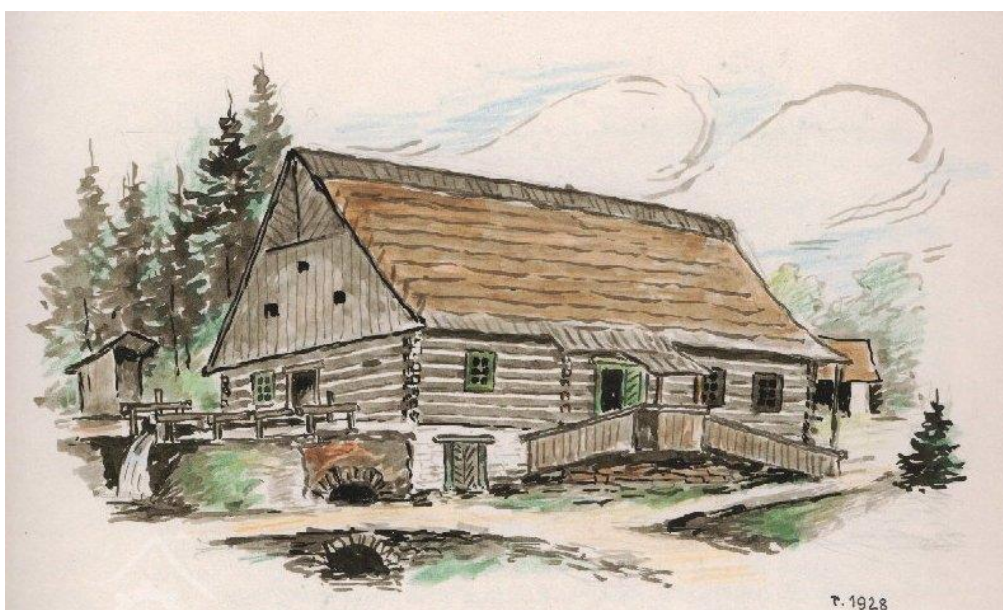


Obr. 6.2.1: Obec Kounov – rozmístění MVE

Zdroj: [24], upraveno autorem

### Andršův mlýn

Andršův mlýn (obr. 6.2.2) se nachází v obci Kounov čp. 27 na vodním toku Dědina. Jedná se o poměrně mladý mlýn, vybudovaný kolem roku 1800. Po celou dobu své existence byl mlýn v držení rodu Andršů. Voda je zde vedena přes 600 metrů dlouhým náhonem od mlýna čp. 1 v Nedvězí, překonávající terénní depresi pomocí vantrok. Je zde vodní kolo na vrchní vodu. [23]



*Obr. 6.2.2: Andršův mlýn*

*Zdroj: [23]*

### Měšťanův, Hartmanův, Langrův mlýn

Tento objekt (obr. 6.2.3) se nachází v obci Bystré čp. 72 na vodním toku Dědina. V mlýně bylo ukončeno mletí rokem 1925. Mlynář Josef Langr téhož roku pronajal mlýnici Josefu Hejzlarovi, který zde nechal zřídit tkalcovnu pro 12 mechanických stavů, dále soukačku, snovačku a převíječku. Roku 1929 nechal však stavy přemístit do vlastní nové tkalcovny v Nedvězí. V mlýně v tkalcování pokračovali sami Langrovi na osmi a později na dvanácti stavech. Tkalcovna pracovala až do roku 1970, kdy byla definitivně ukončena výroba. [22]



Langrův mlýn na Dolech z r. 1910

*Obr. 6.2.3: Měšťanův, Hartmanův, Langrův mlýn  
Zdroj: [22]*

Dochovala se zde však původní a dosud funkční Francisova turbína (obr. 6.2.4) s původním regulátorem a transmisemi, která vyrábí elektrickou energii za pomoci asynchronního generátoru. [22]



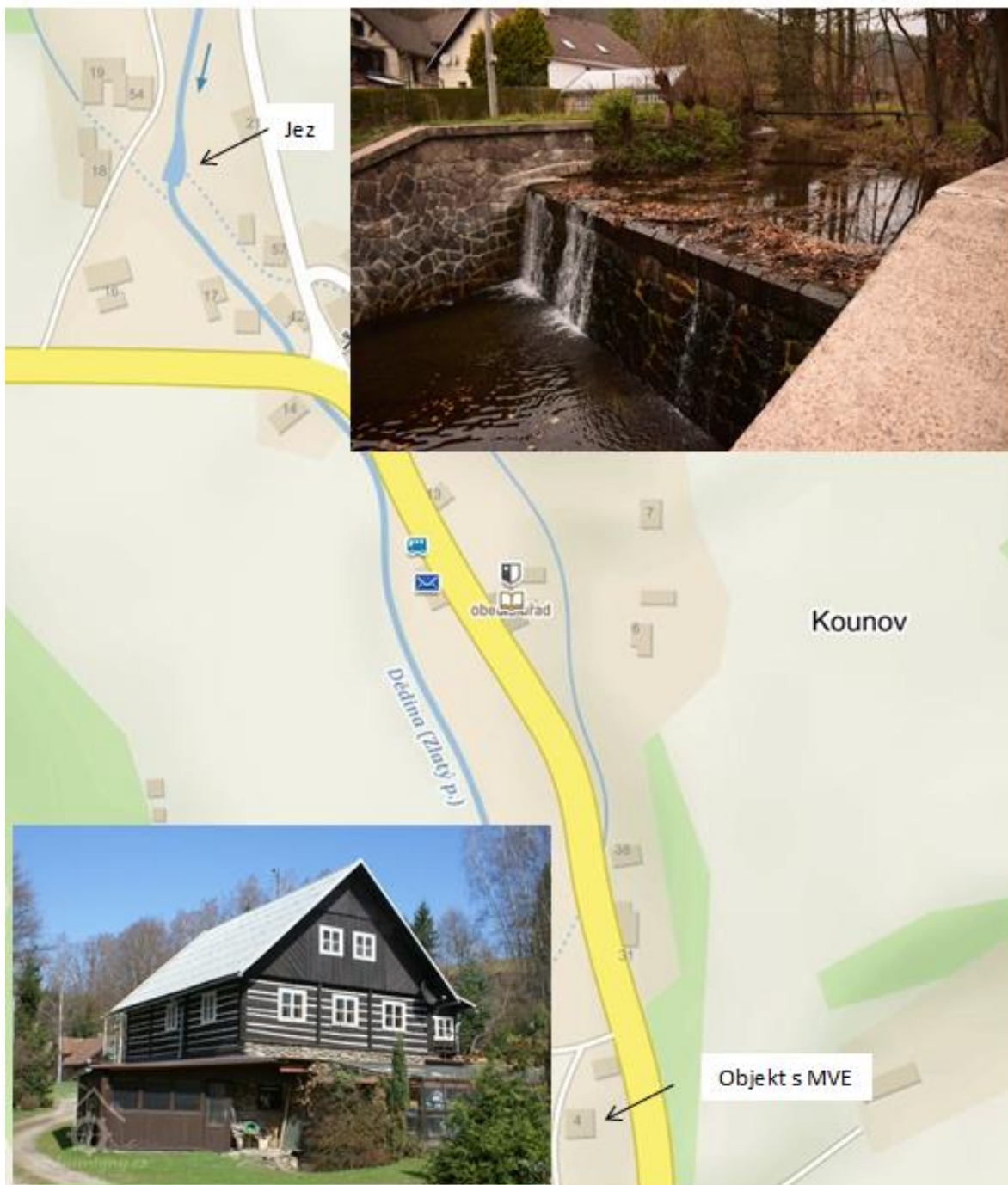
*Obr. 6.2.4: Francisova turbína v bývalém mlýně  
Zdroj: [vlastní]*



### 6.3 Historie vzniku MVE Kounov

V roce 1972 koupil rozpadlý bývalý Markův mlýn pan Jan Šritr. U stavení se zachovalo původní vodní kolo, které však mělo být nahrazeno modernějším strojem. Tím byla doposud sestavená litinová Francisova turbína, která byla odkoupena od pana Kopáčka z Dobřan. Do dvou let od zakoupení turbíny bylo položeno odtokové potrubí – koryto odtoku o šířce 3 m, hloubky 4 m a délce cca 25 m.

Po roce betonování a stavby strojovny byla sestavena turbína. První voda do turbíny šla přibližně okolo roku 1982. Turbína se točila, ale vody bylo velice málo. Po chvíli byl náhon vypuštěn a stroj se zastavil. Celé dílo je totiž na malém potoce a velmi dlouhém náhonu. Důvodem zahájení stavby byla především relativně nízká pořizovací cena MVE (viz. příloha 1). Na obr. 6.3.1 je zobrazen objekt s MVE a jez.



*Obr. 6.3.1: Bývalý Markův mlýn, čp. 4, umístění jezu  
Zdroj: [18, 24], upraveno autorem*

## 6.4 Vodního dílo MVE Kounov

Prvotním objednavatelem Francisovy turbíny (obr. 6.4.1) byl původně pan Karel Kopáček, který ji chtěl využívat ve své tkalcovně v Dobřanech. Zakázku zadal firmě Továrna mlýnských strojů a stavba mlýnů, dříve PROKOP národní podnik v Pardubicích, prostřednictvím pana Ing. Kohouta. V té době cena turbíny činila 47 305,- Kč. Původní objednávací list, který se zachoval do dnešní doby a je zobrazen v příloze 1.

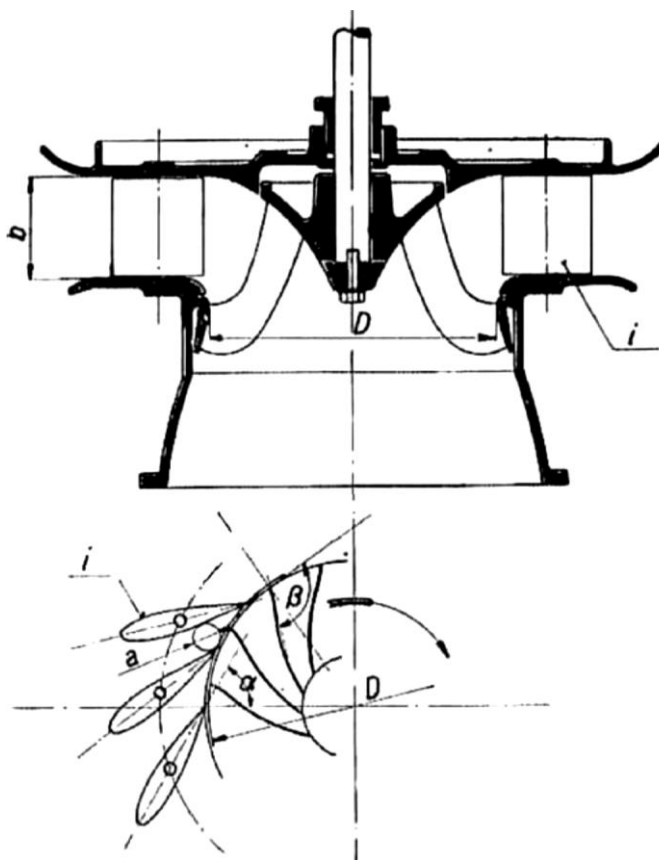


*Obr. 6.4.1: Francisova turbína  
Zdroj: [vlastní]*

## 6.5 Parametry Francisovy turbíny

Turbína byla vyrobena firmou Josefa Prokopa synové v Pardubicích v roce 1948 a měla nahradit staré vodní kolo v tkalcovně v Dobřanech. Jednalo se o kašnovou Francisovu turbínu s vodorovným hřídelem a se suchou sací troubou. Turbína měla následující technické parametry:

- užitný spád  $H = 4,5 \text{ m}$
- průměr oběžného kola  $D = 300 \text{ mm}$
- počet rozváděcích lopatek  $i = 10$
- největší otevření rozváděcích lopatek  $a = 40 \text{ mm}$
- výška rozváděcích lopatek  $b = 70 \text{ mm}$
- největší úhel posledního elementu lopatky rozváděcího kola k tečně  $\alpha = 30^\circ$
- úhel posledního elementu lopatky oběžného kola k tečně  $\beta = 153^\circ$



Obr. 6.5.1: Parametry turbíny

Zdroj: [vlastní – hydrotechnický výpočet]

Technické parametry, které jsou uvedeny výše, byly podkladem pro hydrotechnický výpočet MVE Kounov. Z důvodu, že turbína byla původně konstruována a vyrobena pro jinou lokalitu – tkalcovnu v Dobřanech, vznikly hydrotechnické výpočty dva. Původní stavební a montážní plán (příloha 2) byl konstruován pro užitečný spád  $H = 5,5$  m. K tomuto návrhu zůstal zachován i hydrotechnický výpočet ze dne 6.2.1948 (příloha 3). Druhý hydrotechnický výpočet (příloha 4) byl již počítán s užitným spádem MVE Kounov:  $H = 4,5$  m. Na základě změny užitého spádu vznikl i nový schématický plán Francisovy turbíny (příloha 5).

## **6.6 Přehled denních průtoků v roce 2017**

Průměrné denní průtoky v jednotlivých měsících v roce 2017 jsou zapsány v Tab. 1. Hodnoty denních průtoků byly zjištěny na základě vlastního měření – pomocí Ponceletova přepadu (viz. kapitola 4.3). Aby mohla turbína dodávat potřebnou elektrickou energii, tak na základě získaných zkušeností vyžaduje, aby minimální průtok dosahoval alespoň 100 l/s. Z tabulky 1 tedy vyplývá, že turbína mohla být v provozu pouze tyto měsíce: leden, únor, březen, duben, říjen, listopad a prosinec. V měsících květen až září nebylo dosaženo potřebného průtoků.



*Tab. 1: Průměrné denní průtoky  
v jednotlivých měsících v roce 2017*

	Průtok [l/s] <i>vlastní měření</i>	Průtok [l/s] <i>ČHMÚ</i>
Leden	228,9	408,8
Únor	114,8	1 659
Březen	207,6	1 771
Duben	107,3	639,7
Květen	97,7	748,5
Červen	51,9	603,2
Červenec	62,5	423,7
Srpen	47,9	353,1
Září	15,7	205,3
Říjen	122,1	1 192
Listopad	168,7	1 555
Prosinec	165,9	1 500

Nedosažení potřebného průtoku mohlo nastat vlivem nízkých dešťových srážek a v letních měsících z důvodu abnormálně vysokých teplot. V posledních letech se však situace v oblasti MVE razantně mění díky poklesu množství povrchových vod a nízkých srážek. Z toho důvodu došlo k vysychání vodního toku a voda potřebná pro provoz MVE již není k dispozici.

Průměrné denní průtoky v roce 2017 v místě, kde se MVE nachází, je možné porovnat s daty, která byla poskytnuta ČHMÚ – Tab. 1. ČHMÚ má na vodním toku Dědina umístěnou vodoměrnou stanici v obci Chábory pod silničním mostem Dobruška – Rychnov na pravém břehu. [34]



Obr. 6.6.1: Vodní tok Dědina, 1 – Chábory, 2 - Kounov  
Zdroj: [35]

Vodní tok Dědina (obr. 6.6.1), který je na horním a středním toku nazývaný též Zlatý potok, je řeka protékající okresy Rychnov nad Kněžnou a Hradec Králové. Jedná se o pravostranný přítok řeky Orlice, do které ústí u Třebechovic pod Orebem. Délka toku je 56,7 km a plocha povodí má rozlohu 369 km<sup>2</sup>. [35]

Při porovnání hodnot průtoků vlastního měření s daty poskytnutými ČHMÚ je zřejmé, že průtoky naměřené ČHMÚ v roce 2017 by pro provoz MVE Kounov byly dostačující a turbína by mohla být v provozu celoročně i při požadovaném průtoku 100 l/s.

## 6.7 Využití energie z MVE

Na základě dosažných denních průtoků v roce 2017, které jsou uvedeny v Tab. 1 jsou podle vzorce (4.7)  $P = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c$ , uvedeném v kapitole 4.4 vypočteny průměrné okamžité výkony v jednotlivých měsících.

$$\text{leden: } P_L = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,229 \cdot 0,603 = 6,1 \text{ kW}$$

$$\text{únor: } P_U = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,115 \cdot 0,603 = 3,1 \text{ kW}$$

$$\text{březen: } P_B = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,208 \cdot 0,603 = 5,5 \text{ kW}$$

$$\text{duben: } P_D = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,107 \cdot 0,603 = 2,8 \text{ kW}$$

$$\text{říjen: } P_R = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,122 \cdot 0,603 = 3,2 \text{ kW}$$

$$\text{listopad: } P_{LIS} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,169 \cdot 0,603 = 4,5 \text{ kW}$$

$$\text{prosinec: } P_P = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,166 \cdot 0,603 = 4,4 \text{ kW}$$

Hodnota celkové účinnosti se vypočítá na základě vztahu (4.8)

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{př} \cdot \eta_{tr}$$

kde:  $\eta_t$  – účinnost turbíny [0,65 – 0,85] – uvažována hodnota 0,80

$\eta_g$  – účinnost generátoru [0,70 – 0,95] – uvažována hodnota 0,90

$\eta_{př}$  – účinnost převodu [0,80 – 1,00] – uvažována hodnota 0,90

$\eta_{tr}$  – účinnost transformátoru [0,90 – 0,95] – uvažována hodnota 0,93

Z důvodu nízké výkupní ceny (2,214 Kč, uvedeno v kapitole 8) nebude vyrobená elektrická energie prodána do sítě, ale bude využita jako podpůrný zdroj kombinovaného tepelného čerpadla Niebe Split ACVM 270, AMS 10 s ohřevem teplé užitkové vody (TUV), které daný objekt využívá.

Tepelné čerpadlo (TČ) je dimenzováno pro tepelný výkon v rozmezí od 3,5 kW do 11 kW na základě venkovní teploty, která řídí režim provozu. V našem případě je režim tepelného čerpadla nastaven tak, že nepožadujeme žádné útlumy (nožní režim). Čerpadlo je provozováno 24 hodin denně.

V Tab. 2 je znázorněna spotřeba elektrické energie TČ za rok 2017 zaznamenaná vlastním měřením v podružném elektroměru. Energie vyrobená MVE, vypočtená na základě vlastního měření průtoků, by vystačila na pokrytí provozu tepelného čerpadla pouze v měsících březem, říjen a listopad, kdy jí bylo vyprodukováno více, než je skutečná spotřeba. V ostatních měsících (leden, únor, duben, prosinec) by vyrobená elektrická energie mohla být využita pouze na ohřev teplé užitkové vody.

*Tab. 2: Přehled spotřebované a vyrobené elektrické energie za rok 2017*

Období	Spotřebovaná energie (kWh)	Průměrný denní výkon MVE (kW)	Vyrozená energie za měsíc (kWh)
leden	757	6,1	189,1
únor	323	3,1	86,8
březen	139	5,5	170,5
duben	162	2,8	84
květen	38	0	0
červen	48	0	0
červenec	67	0	0
srpen	125	0	0
září	60	0	0
říjen	95	3,2	99,2
listopad	71	4,5	135
prosinec	311	4,4	136,4
Celkem za rok 2017	2196	29,6	901

## 6.8 Náklady na provoz tepelného čerpadla

Na základě informací ČEZ se cena za nákup elektrické energie v obci Kounov pohybuje v rozmezí od 3,06 Kč/1 kWh (vysoký tarif) do 2,79 Kč/1 kWh (nízký tarif). Stanovení tarifu vychází z informace, že v objektu bydlí 2 osoby a využívají tepelné čerpadlo. [25]

Na kombinovaném tepelném čerpadle s ohřevem TUV byla v roce 2017 naměřena spotřeba energie 2 196 kWh. Denní spotřeba TUV je orientační pro 2 osoby, které v objektu trvale bydlí a byla stanovena za pomoci kalkulátoru pro výpočet nákladů pro teplené čerpadlo. [36]

Vstupní údaje pro výpočet nákladů na TUV:

- počet osob v domácnosti: 2
- denní spotřeba TUV: 100 litrů

*Tab. 3: Roční náklady na vytápění*

Cena (Kč/kWh)	Spotřeba energie (kWh)	Náklady/rok (Kč)
3,06 (vysoký tarif)	1 283	<b>3 926</b>
2,79 (nízký tarif)		<b>3 580</b>

*Tab. 4: Roční náklady na TUV*

Cena (Kč/kWh)	Spotřeba energie (kWh)	Náklady/rok (Kč)
3,06 (vysoký tarif)	913	<b>2 794</b>
2,79 (nízký tarif)		<b>2 547</b>

V případě, že by cena elektrické energie byla 3,06 Kč/kWh, roční náklady na tepelné čerpadlo by činily přibližně 6 720 Kč. Pokud by však elektrická energie byla nakupována za 2,79 Kč/kWh, roční náklady by se pohybovaly okolo 6 127 Kč.

## 7 Alternativní řešení

Na základě předchozího výpočtu je zřejmé, že při průtoku, který je v dané lokalitě skutečně k dispozici, je provoz Francisoovy turbíny neefektivní. Na daném vodním toku by se lépe uplatnila Bánkiho turbína, která umožňuje využití velkého rozpětí průtoků. V následujícím textu budou uvedeny výpočty hlavních rozměrů Bánkiho turbíny, pro spád  $H = 4,5$  m a průtok  $Q = 40$  l/s. Hodnota je určena na základě skutečných naměřených průtoků v MVE Kounov v roce 2017. Při tomto průtoku bude moci turbína dodávat elektrickou energii celý rok.

- předběžný teoretický výkon stroje

$$P_{th} = Q \cdot g \cdot H = 0,04 \cdot 9,81 \cdot 4,5 \quad (7.1)$$

$$P_{th} = 1,77 \text{ kW}$$

- měrné otáčky

$$N_q = N \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} = 560 \cdot \frac{0,04^{1/2}}{4,5^{3/4}} \quad (7.2)$$

$$N_q = 36 \frac{1}{\text{min}}$$

kde:  $N$  = otáčky turbíny, zvolena hodnota  $N = 560$  ot/min, na základě využití šesti pólového generátoru, kde je započtený i skluz

- voda bude vytékat z nátrubku absolutní rychlostí

$$c_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,5} \quad (7.3)$$

$$c_1 = 9,4 \text{ m/s}$$

- nejvýhodnější obvodová rychlost

$$u_1 = \frac{c_1 \cdot \cos\alpha_1}{2} = \frac{9,4 \cdot \cos 23^\circ}{2} \quad (7.4)$$

$$u_1 = 4,3 \text{ m/s}$$

kde:  $\alpha$  = úhel, který svírá vstupní paprsek s tečnou k oběžnému kolu;  
doporučuje se volit  $\alpha_1 = (20^\circ - 25^\circ)$ , zvolena hodnota  $23^\circ$

- vnější průměr oběžného kola

$$D_1 = 2 \cdot R_1 = 2 \cdot \frac{u_1}{\omega} = \frac{60 \cdot u_1}{\pi \cdot N} \quad (7.5)$$

$$D_1 = \frac{60 \cdot 4,3}{\pi \cdot 560}$$

$$D_1 = 0,147 \text{ m} = 147 \text{ mm}$$

- vnitřní průměr oběžného kola

$$D_2 = \frac{2}{3} \cdot D_1 = \frac{2}{3} \cdot 147 \quad (7.6)$$

$$D_2 = 98 \text{ mm}$$

- šířka vstupního kanálu

$$a = k \cdot D_1 = 0,11 \cdot 147 \quad (7.7)$$

$$a = 16 \text{ mm}$$

kde:  $k$  – doporučuje se volit v rozmezí  $k = 0,8 - 0,2$ ;  
zvolena hodnota  $0,11$

- délka vstupního kanálu, resp. délka rotoru

$$b = \frac{Q}{a \cdot c_1} = \frac{0,04}{0,016 \cdot 9,4} \quad (7.8)$$

$$b = 0,27 \text{ m} = 270 \text{ mm}$$

- úhlová rychlost

$$\omega = \frac{\pi \cdot N}{30} = \frac{\pi \cdot 560}{30} \quad (7.9)$$

$$\omega = 58,64 \text{ m/s}$$

- unášivá rychlost na vnějším poloměru

$$u_1 = \omega \cdot R_1 = 58,64 \cdot 0,074 \quad (7.10)$$

$$u_1 = 4,3 \text{ m/s}$$

- vstupní rychlostní trojúhelník – viz. obr. 7.1

$$w_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2 \cdot u_1 \cdot c_1 \cdot \cos\alpha_1 \quad (7.11)$$

$$w_1^2 = 4,3^2 + 9,4^2 - 2 \cdot 4,3 \cdot 9,4 \cdot \cos 23^\circ$$

$$w_1^2 = 32,4$$

$$w_1 = 5,7 \text{ m/s}$$

$$\sin\gamma_1 = \frac{u_1}{w_1} \cdot \sin\alpha_1 = \frac{4,3}{6} \cdot \sin 23^\circ \quad (7.12)$$

$$\sin\gamma_1 = 0,28$$

$$\gamma = 16,3^\circ$$

$$\pi - \beta_1 = \alpha_1 + \gamma_1 = 23 + 16,3 = 39,3 \quad (7.13)$$

$$\cos(\pi - \beta_1) = 0,7738$$

- pomocí úhlu  $\pi - \beta_1$  lze určit poloměr křivosti lopatek

$$\rho = \frac{R_1^2 - R_2^2}{2 \cdot R_1 \cdot \cos(\pi - \beta_1)} \quad (7.14)$$

$$\rho = \frac{74^2 - 49^2}{2 \cdot 74 \cdot 0,7738}$$

$$\rho = 26,9 \text{ mm}$$

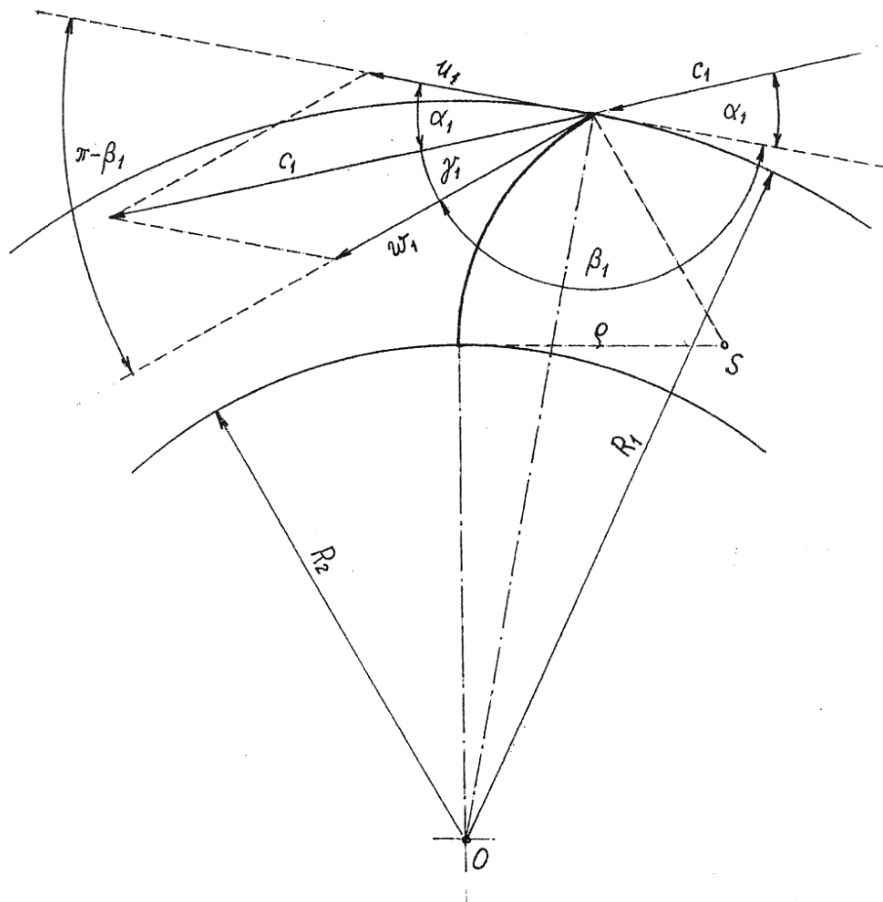
- počet lopatek

$$z = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_1}{(D_1 - D_2) \cdot \tau} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 147}{(147 - 98) \cdot 0,6} \quad (7.15)$$

$$z = 31,4 \rightarrow 32$$

kde:  $\tau$  = poměrná rozteč; zvolena hodnota 0,6





Obr 7.1: Vstupní rychlostní trojúhelník  
Zdroj: [7]

- skutečný výkon turbíny

$$P_{sk} = Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_t = 0,04 \cdot 9,81 \cdot 4,5 \cdot \eta_t \quad (7.16)$$

$$P_{sk} = 1,32 \div 1,41 \text{ kW}$$

kde:  $\eta_t$  = účinnost, bývá v rozmezí 0,75 – 0,8

V Tab. 5 jsou uvedeny vypočtené rozměry Bánkiho turbíny.

Tab. 5: Vypočtené parametry

Parametr	Hodnota
Skutečný výkon: $P_{sk}$	1,32 – 1,41 kW
Měrné otáčky: $N_q$	$36 \frac{1}{min}$
Vnější průměr oběžného kola: $D_1$	147 mm
Vnitřní průměr oběžného kola: $D_2$	98 mm
Šířka vstupního kanálu: $a$	16 mm
Délka rotoru: $b$	270 mm
Poloměr zakřivení lopatek: $\rho$	26,9 mm
Počet lopatek: $z$	32

## 7.1 Využití energie z navrženého alternativního řešení

Alternativní řešení s Bánkiho turbínou bylo zvoleno a navrženo pro průtok 40l/s. Tento průtok umožní turbíně pracovat po většinu roku a dodávat elektrickou energii. Z naměřených průtoků v roce 2017, které jsou uvedeny v Tab. 1 u Francisovy turbíny byly vypočteny průměrné okamžité výkony za jednotlivé měsíce na základě vztahu (4.7)  $P = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c$ .

$$\text{leden: } P_L = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,229 \cdot 0,8 = 8,1 \text{ kW}$$

$$\text{únor: } P_U = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,115 \cdot 0,8 = 4,1 \text{ kW}$$

$$\text{březen: } P_B = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,208 \cdot 0,8 = 7,3 \text{ kW}$$

$$\text{duben: } P_D = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,107 \cdot 0,8 = 3,8 \text{ kW}$$

$$\text{květen: } P_K = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,098 \cdot 0,8 = 3,5 \text{ kW}$$

$$\text{červen: } P_{\text{ČERVEN}} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,052 \cdot 0,8 = 1,8 \text{ kW}$$

$$\text{červenec: } P_{\text{ČERVENEC}} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,063 \cdot 0,8 = 2,2 \text{ kW}$$

$$\text{srpen: } P_{\text{S}} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,048 \cdot 0,8 = 1,7 \text{ kW}$$

$$\text{říjen: } P_{\text{Ř}} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,122 \cdot 0,8 = 4,3 \text{ kW}$$

$$\text{listopad: } P_{\text{LIS}} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,169 \cdot 0,8 = 6 \text{ kW}$$

$$\text{prosinec: } P_{\text{P}} = 9,81 \cdot 4,5 \cdot 0,166 \cdot 0,8 = 5,9 \text{ kW}$$

Na základě informací výrobce Bánkiho turbíny CINK Hydro – Energy, k.s. se hodnota účinnosti pohybuje v rozmezí od 80 do 84%. Výkon byl počítán s hodnotou účinnosti 0,8. [33]

Využití elektrické energie z navrženého alternativního řešení bylo též porovnáno se spotřebou elektrické energie kombinovaného tepelného čerpadla. Na rozdíl od Francisovy turbíny, by mohla Bánkiho turbína vyrábět energii 11 měsíců v roce. V Tab. 6 je uvedeno porovnání spotřebované a vyrobené energie v roce 2017.

*Tab. 6: Porovnání spotřebované a vyrobené elektrické energie u alternativního řešení*

Období	Spotřebovaná energie (kWh)	Průměrný denní výkon MVE (kW)	Vyrobená energie za měsíc (kWh)
leden	757	8,1	251,1
únor	323	4,1	114,8
březen	139	7,3	226,3
duben	162	3,8	114
květen	38	3,5	108,5
červen	48	1,8	54
červenec	67	2,2	68,2
srpen	125	1,7	52,7
září	60	0	0
říjen	95	4,3	133,3
listopad	71	6	180
prosinec	311	5,9	182,9
Celkem za rok 2017	2196	48,7	1485,8

Elektrická energie vyrobená Bánkiho turbínou by vystačila, na provoz tepelného čerpadla v měsících březen, květen, červen, červenec, říjen a listopad. V ostatních měsících (leden, únor, duben, srpen, prosinec) by vyrobená elektrická energie mohla být využita pouze na ohřev teplé užitkové vody.

## 8 Ekonomické zhodnocení

Podpora výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů se uskutečňuje formou výkupních cen nebo formou zelených bonusů. Při prodeji elektrické energie lze uplatnit výkupní cenu povinně vykupujícímu subjektu, který je určen zákonem č. 165/2012 Sb. [37]

V případě podpory formou výkupních cen má provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy povinnost od vás odkoupit veškerý objem vyrobené elektrické energie z daného zdroje. Při výběru podpory formou zelených bonusů si musí zákazník najít svého odběratele sám. Tržní cena, za kterou bude elektřina odběrateli prodána, není stanovena Energetickým regulačním úřadem, ale je dána dohodou mezi oběma stranami. [26]

Výkupní ceny elektrické energie jsou stanoveny Energetickým regulačním úřadem a jsou uvedeny v Tab. 7:

Tab. 7: Výkupní ceny a zelené bonusy za elektřinu pro MVE pro rok 2017

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT
	a	b	c	j	k	n	o
100	Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách	-	31. 12. 2004	2 110	1 470	1 785	1 186
101		1. 1. 2005	31. 12. 2013	2 705	2 065	2 555	1 693
102		1. 1. 2014	31. 12. 2014	2 652	2 012	-	-
103		1. 1. 2015	31. 12. 2015	2 600	1 960	-	-
104		1. 1. 2016	31. 12. 2016	2 549	1 909	-	-
105		1. 1. 2017	31. 12. 2017	2 214	1 574	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31. 12. 2013	2 705	2 065	2 555	1 693
111		1. 1. 2014	31. 12. 2014	2 652	2 012	-	-
112		1. 1. 2015	31. 12. 2015	2 600	1 960	-	-
113		1. 1. 2016	31. 12. 2016	2 549	1 909	-	-
114		1. 1. 2017	31. 12. 2017	2 214	1 574	-	-

Zdroj: [27]

Za předpokladu, že by MVE Kounov uplatňovala podporu v rámci výkupních cen, roční tržba (vztažena k roku 2017) se spočítá podle vzorce (8.1) jako součin příslušné výkupní ceny (Tab. 7) a množství vyrobené elektrické energie za rok. Roční výroba elektrické energie pro variantu s Francisovou turbínou je uvedena v kapitole 6 (tab. 2) a Bánkiho turbínou v kapitole 7 (Tab. 6).

- roční tržba za elektřinu

$$T_r = C_v \cdot A_r \quad (8.1)$$

kde:  $C_v$  – výkupní cena [Kč] ( $C_v = 2,214$  Kč – cena dle Tab. 7)

$A_r$  – roční množství vyrobené elektřiny [kWh]

*Tab. 8: Roční tržba za prodej elektřiny*

	Roční výroba energie (kWh)	Výkupní cena (Kč/kWh)	Roční tržba (Kč)
Francisova turbína	901	2,214	<b>1 995</b>
Bánkiho turbína	1 485,8		<b>3 290</b>

Z tabulky 8 vyplývá, že roční tržba by za rok 2017 byla pro obě uvažované varianty velmi nízká. Tato částka by zdaleka nepokryla ani náklady, které se vztahují na provoz a každodenní údržbu MVE. Podrobnější rozbor těchto nákladů je v následující kapitole.

Následující tabulka 9 udává roční úsporu za nákup energie, kterou pokryje vlastní výroba MVE.

Tab. 9: Roční úspora za nákup elektřiny

	Roční výroba energie (kWh)	Nákupní cena (Kč/kWh)	Roční úspora (Kč)
Francisova turbína	901	3,06 (vysoký tarif)	<b>2 757</b>
Bánkiho turbína	1 485,8		<b>4 547</b>
Francisova turbína	901	2,79 (nízký tarif)	<b>2 514</b>
Bánkiho turbína	1 485,8		<b>4 145</b>

Pokud by se vyrobená elektrická energie využila k vlastní spotřebě, byl by ekonomický přínos větší, než kdyby byla elektrická energie prodána do sítě.

### 8.1 Náklady spojené s údržbou MVE

Při aktivním využívání MVE musí být brána v potaz i každodenní kontrola náhonu, odtoku a čištění česel. Tato kontrola zabere minimálně 1 hodinu denně. V případě Francisovy turbíny, která mohla v daném roce být v provozu 7 měsíců, se jedná celkem o 212 hodin aktivní údržby. U Bánkiho turbíny by se jednalo o 11 měsíců, tedy celkem o 335 dní aktivní údržby. Náklady spojené s údržbou jsou vyčísleny v Tab. 10.

Tab. 10: Roční údržba

	Aktivní údržba (dny)	Práce (Kč/hod)	Celková cena (Kč)
Francisova turbína	212	200	<b>42 400</b>
Bankiho turbína	335		<b>67 000</b>

Celková cena za údržbu však není konečná. V rámci údržby je potřeba k provozu MVE započítat ještě tyto pracovní operace:

- jednou či dvakrát ročně demontáž a čištění lopatek – cca 6 500 Kč/rok,

- čištění a odstranění nánosů z náhonu – cca 10 000 Kč/rok,
- kontrola stavu ložisek a těsnění hřídele, příp. výměna řemenů – cca 5 000 Kč/rok.

Čištění a demontáž lopatek, je nezbytné, protože lokalita MVE je porostlá listnatými lesy a při větrném počasí listy ze stromů padají do vody a zanášejí tak lopatky stroje.

Pro Bánkiho turbínu by však roční kontrola byla o něco méně náročná. Díky tomu, že voda protéká oběžným kolem i zpět má tzv. samočisticí efekt. Takže čištění lopatek by nebylo zapotřebí.

Celková cena údržby za rok by tedy přibližně činila u:

- Francisovy turbíny **63 900 Kč**
- Bánkiho turbíny **82 000 Kč**

Při porovnání roční tržby elektřiny s celkovou částkou na údržbu je možné jedině konstatovat, že provoz MVE v této lokalitě, na daném vodním toku se opravdu nevyplatí. Provoz turbíny by stál totiž o mnoho více, než její případný výnos. Její přínos lze spatřovat pouze v možnosti úspory za nákup elektrické energie ve výši 2 757 Kč při nákupní ceně elektrické energie 3,06 Kč nebo 2 514 Kč při nákupní ceně 2,79 Kč u Francisovy turbíny. U Bánkiho turbíny by byla úspora ve výši 4 547 Kč při tarifu 3,06 Kč nebo 4 145 Kč při tarifu 2,79 Kč.



## 9 Závěr

Malé vodní elektrárny jsou z hlediska dopadu na životní prostředí velmi vděčný zdroj energie. Jejich podíl na výrobě elektřiny je v České republice malý, ne však zanedbatelný. A nemusí se vždy jednat o zcela nové lokality a instalace, které s sebou většinou nesou náklady na úpravu vodního toku, případně i okolní krajiny. Tyto nové zásahy mívají však negativní environmentální dopady na faunu i floru.

Tato práce popisuje využití starší MVE v bývalém mlýně v obci Kounov. Na základě vlastních měření hydrotechnického potenciálu je vypočítána roční výroba elektrické energie, která by byla využita k provozu tepelného čerpadla pro vytápění objektu a ohřevu teplé užitkové vody. Na základě skutečných zjištěných průtoků by však instalovaná Francisova turbína mohla být v provozu pouze 7 měsíců v roce. Dle záznamů spotřeby elektrické energie tepelného čerpadla by tak plně pokryla jeho provoz pouze po dobu 3 měsíců. Za tímto stavem stojí současná nízká vodnost toku, vyplývající z dlouhodobého nedostatku vodních srážek a úbytku povrchových vod. Tento obecný trend se ČR projevuje čím dál výrazněji, zvláště v posledních letech.

Východiskem z tohoto stavu je návrh alternativního řešení, které by v dané lokalitě mělo větší uplatnění. Jedná se o Bánkiho turbínu, která by umožňovala využití i menších průtoků, takže by mohla být v provozu téměř celý rok. Toto řešení by pokrylo šestiměsíční spotřebu elektrické energie tepelného čerpadla. Zbývající část roku by vyrobená energie byla použita jako podpůrný zdroj na ohřev teplé užitkové vody.

## 10 Použitá literatura

### Knížní publikace

- [1] GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P. *Malé vodní elektrárny*. Praha: ČVUT, 1998, 321 s. ISBN 80-01-01812-1.
- [2] BEDNÁŘ, J. *Turbíny: Malé vodní elektrárny*. Českovice: Marcela Bednářová, 2013, 360 s. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [3] MELICHAR, J., VOJTEK, J., BLÁHA, J. *Malé vodní elektrárny: Konstrukce a provoz*. Praha: ČVUT, 1998, 299 s. ISBN 80-01-01808-0.
- [4] ŠTOLL, Č., KRATOCHVIL, S., HOLATA, M. *Využití vodní energie*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977, 614 s. ISBN 04-714-77.
- [5] SUCHÁNEK, V. *Silnoproudá elektrotechnika v automatizaci*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 336 s. ISBN 04-519-80.
- [6] HÝBL, J. *Vodní motory III*. Praha: Česká matice technická, 1928.
- [7] ULRYCH, E. *Aplikovaná hydromechanika I (základy hydroenergetiky)*. Praha: ČZU, 2007, 126 s. ISBN 978-80-213-1609-6.
- [8] POLÁK, M. *Hydraulické stroje - úvod do teorie a konstrukce: (základy hydroenergetiky)*. Praha: ČZU, 2013, 154 s. ISBN 978-80-213-2367-4.

### Internetové zdroje

- [9] *Vertikální Francisova turbína* [online]. [cit. 2019-01-17]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-vertik.htm>
- [10] *Typy vodních elektráren* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/12.html>
- [11] *Kaplanova turbína* [online]. [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>
- [12] *Kaplanova turbína* [online]. [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: [http://www.energyweb.cz/web/schemata/vodni/turbina\\_kaplan.htm](http://www.energyweb.cz/web/schemata/vodni/turbina_kaplan.htm)
- [13] *Oběžné kolo Kaplanovi turbíny* [online]. [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <http://www.liko-s.cz/cs/model-kaplanovy-turbiny>

- [14] *Peltonova turbína* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://www.h-union.cz/c-17-peltonova-turbina.html>
- [15] *Peltonova turbína* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [16] *Francisova turbína* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.h-union.cz/c-16-francisova-turbina.html>
- [17] *Historie Francisovy turbíny* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=05>
- [18] *Markův, Pavlův mlýn* [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://vodnimlyny.cz/hr/mlyny/estates/detail/3842-markuv-pavluv-mlyn-mlyn-v-olejne>
- [19] *Bánkiho turbína* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://www.h-union.cz/c-18-bankiho-turbina.html>
- [20] *Princip Bánkiho turbíny* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [21] *Horizontální Francisova turbína* [online]. [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-horiz.htm>
- [22] *Měšťanův, Hartmannův, Langův mlýn* [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://vodnimlyny.cz/es/mlyny/estates/detail/1560-mestanuv-hartmannuv-langrudev-mlyn>
- [23] *Andršův mlýn* [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <http://vodnimlyny.cz/mlyny/objekty/detail/5046-andrusuv-mlyn>
- [24] *Kounov, okres Rychnov nad Kněžnou* [online]. [cit. 2019-02-09]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.2859380&y=50.3002228&z=14&source=muni&id=2657>
- [25] *Nákupní ceny energie ČEZ* [online]. [cit. 2019-03-27]. Dostupné z: [https://www.cez.cz/cs/elektrina/#js\\_electricityConfigurator](https://www.cez.cz/cs/elektrina/#js_electricityConfigurator)
- [26] *Zelený bonus* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/zeleny-bonus>
- [27] *Výše výkupních cen a zelených bonusů pro rok 2017* [online]. [cit. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/16588-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu-pro-rok-2017>

- [28] *Kounov, okres Rychnov nad Kněžnou* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/Kounov/@50.3025905,16.2525137,7620m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470e73955cdb3e5:0x400af0f661540a0!8m2!3d50.2987712!4d16.2580546>
- [29] *Počet provozovaných MVE* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/Kounov/@50.3025905,16.2525137,7620m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470e73955cdb3e5:0x400af0f661540a0!8m2!3d50.2987712!4d16.2580546>
- [30] *Schéma Kaplanovy turbína* [online]. [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2069>
- [31] *Asynchronní stroj* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni/>
- [32] *Synchronní generátor* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: [http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/AD1B14SP1/6\\_Synchronni\\_stroje\\_SP1.pdf](http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/AD1B14SP1/6_Synchronni_stroje_SP1.pdf)
- [33] *Účinnost Bánkiho turbíny* [online]. [cit. 2019-03-23]. Dostupné z: <http://cink-hydro-energy.com/cs/dvoukomorova-prutokova-turbina/>
- [34] *Vodměrná stanice Chábory ČHMÚ* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307321](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307321)
- [35] *Vodní tok Dědina* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.1542241&y=50.2792411&z=11&source=area&id=30837>
- [36] *Roční náklady na tepelné čerpadlo* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://www.mojecerpadlo.cz/kalkulator.asp>
- [37] *Zákon o podporovaných zdrojích energie* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy>

## 11 Seznam zkratek

ZKRATKA	POPIS
MVE	Malá vodní elektrárna
VD	Vodní dílo
TUV	Teplá užitková voda
TČ	Tepelné čerpadlo
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatthodina
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČVUT	České vysoké učení technické
ČZU	Česká zemědělská univerzita
SNTL	Státní nakladatelství technické literatury

## 12 Přílohy

**Příloha 1** – Objednávací list Francisovy turbíny

**Příloha 2** – Stavební a montážní plán Francisovy turbíny pro tkalcovnu v Dobřanech

**Příloha. 3** – Hydrotechnický výpočet pro MVE Dobřany

**Příloha 4** – Hydrotechnický výpočet pro MVE Kounov

**Příloha 5** – Schématický plán Francisovy turbíny – Kounov

Příloha 1 – Objednávací list Francisovy turbíny

Objednavatel Karel K o p á č e k , tkalcovna  
 Místo D o b ř a n y 3.47 Pošta Bystré u Nov. Města n./M.  
 Stanice dráhy osobní Nové Město n./Met.  
 nákladní ditto

Firmě

**Továrna mlýnských strojů a stavba mlýnů,  
 dĚ. PROKOP, národní podnik v Pardubicích.**

Číslo	objed. listu
	zakázky
	T 936/46

Prostřednictvím p. Ing. Kohoutka objednávám u Vás turbinové  
zařízení podle rozpočtu ze dne 19  
 podle všeobecných prodejních a dodacích podmínek, uvedených na dal-  
 ších stranách tohoto objednávacího listu:

			Kčs	h
1./	1	regulační Francisova turbína s vodorovným hřídelem, spirální, konstruovaná pro spád H-5,5m, množství vody 150 litrů /vteř, počet obrátek n-420, výkon N- 8ks.		
2./	1	plechová ssací roura		
3./	2	ložiska pro turbinový hřídel		
4./	1	řemenice $\varnothing$ 300 x 150mm		
5./	1	hřídel ocelový $\varnothing$ 60 x 2500 mm ,		
6./	3	ložiska kroužkomazná $\varnothing$ 60mm vrt., s deskami, bez šroubů,		
7./	1	plechová trubka $\varnothing$ 300/400 x 2000mm dl.		
8./	1	koleno vtokové $\varnothing$ 300mm světlost		
		za úhrnnou cenu .....	47.505.-	
Cena rozumí se loco naše továrna v Pardubicích bez obalu, dovozu, bez řemenů a montáže na místě a jiných event. poplatků, včetně 3%ní daně obrátové; event. obal zaúčtujeme zvlášť. vrátíme-li jej franco Pardubice zpět, přičítáme našemu účtu přiměřený obnos k dobru, po odečtení částky za balení opotřebení obalu.				





Příloha. 3 – Hydrotechnický výpočet pro MVE Dobřany

**PROKOP**  
NÁRODNÍ PODNIK

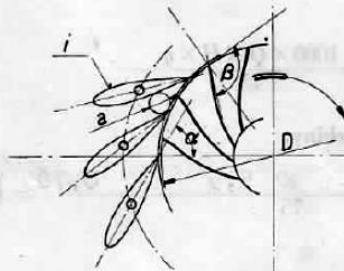
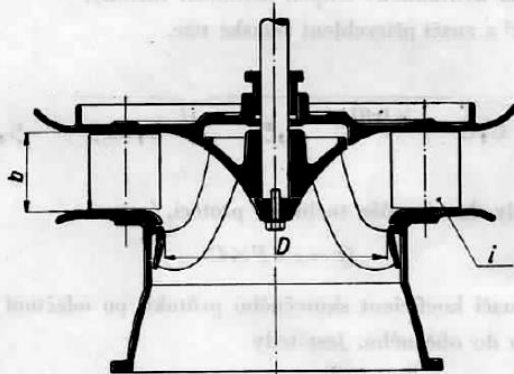
TOVÁRNA MLÝNSKÝCH STROJŮ  
A STAVBA MLÝNŮ DRIVE **PROKOP**  
NÁRODNÍ PODNIK **PARDUBICE**

ZALOŽENO ROKU 1870

Oddělení: **STAVBA TURBIN A REGULÁTORŮ.**

## Hydrotechnický výpočet

pro pana Karla K o p á ě k a , majitele tkalcovny v Dobřanech,  
p. Bystřé, okr. Nové Město n./Met., kde se má na místo starého  
vodního kola postavit nová moderní Francisova turbína s vodo-  
rovným hřídelem do otevřené kašny betonové pro pohon tkalcovny.  
Turbína bude konstruována pro tyto vodní poměry :



JPS 1389.

V PARDUBICÍCH dne 6.2.1948.



Francisovy turbíny, konstruované pro užitečný spád . . . . .	$H = 5,5$	$m$
Průměr oběžného kola . . . . .	$D = 300$	$mm$
Počet rozváděcích lopatek . . . . .	$i = 12$	
Největší otevření rozváděcích lopatek . . . . .	$a = 33$	$mm$
Výška rozváděcích lopatek . . . . .	$b = 70$	$mm$
Největší úhel posled. elementu lopatky kola rozváděcího s tangentou $\alpha$ =	$30$	stupňů
Úhel posledního elementu lopatky kola oběžného s tangentou $\beta$ =	$153$	30 stupňů

Největší průtokový průřez ve výstupu vody z rozváděcího kola jest:

$$F = i \times a \times b = 12 \times 0,033 \times 0,07 = 0,0277 \text{ m}^2$$

Rychlost vody v tomto průřezu jest:

$$C = \sqrt{\epsilon g H} \sqrt{\frac{\sin \beta}{\sin(\beta - \alpha) \times \cos \alpha}}$$

kde  $\epsilon = 0,8$  a značí hydraulický stupeň účinnosti turbíny,  
 $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$  a značí přirychlení zemské tíže.

$$\text{Jest tedy } C = \sqrt{0,8 \times 9,81 \times 5,5} \sqrt{0,615} = 5,16 \text{ m za vteřinu}$$

Největší množství vody, které může turbínou protéci, jest:

$$Q = s \times F \times C$$

kde  $s = 0,91$  a značí koeficient skutečného průtoku po odečtení ztrát při přechodu vody z kola rozváděcího do oběžného. Jest tedy

$$Q = 0,91 \times 0,0277 \times 5,16 = 0,150 \text{ m}^3/\text{sec} = 150 \text{ litrů za vteřinu.}$$

Největší výkon turbíny jest:

$$N = \frac{1000 \times Q \times H \times \eta}{75}$$

kde  $\eta = 0,73$  a značí účinnost vodní turbíny.

$$\text{Jest tedy } N = \frac{1000 \times 0,150 \times 5,5 \times 0,73}{75} = 8, - \text{ koňských sil.}$$

TOVÁRNA MLÝNSKÝCH STROJŮ  
A STAVBA MLÝNŮ dř. PROKOP  
NÁRODNÍ PODNIK PARDUBICE

## Příloha 4 – Hydrotechnický výpočet pro MVE Kounov

bez laskavého svolení firmy

Jos. Prokopa synové  
Pardubice

### HYDROTECHNICKÝ VÝPOČET

pro pana S. Šnitru, provozovatele v Kounově 54, kde na místě bývalé turbíny Bánkiho se má umístit starší Francisova turbína, původně určená pro tkalcovnu pana Karla Kopáčka v Dobřanech

Turbína byla vyrobena výše uvedenou firmou v roce 1948 a konstruovaná pro tyto vodní poměry:

Užitečný spád	H=4,5 m
Průměr oběžného kola	D=300 mm
Počet rozváděcích lopatek	i=10
Největší otevření rozváděcích lopatek	a=40 mm
Výška rozváděcích lopatek	b=70 mm
Největší úhel posled. elementu lop. rozv. kola k tečně	α=30stup
Úhel posledního elementu lopatky oběž. kola k tečně	β=153st.

Největší průtokový průřez ve výstupu vody z rozváděcího kola

$$F = i \times a \times b = 10 \times 0,04 \times 0,07 = 0,028 \text{ m}^2$$

Rychlost vody v tomto průřezu -

$$C = \sqrt{\epsilon \times g \times H} \cdot \sqrt{\sin \beta / (\sin(\beta - \alpha) \times \cos \alpha)}$$

kde  $\epsilon = 0,8$  a značí hydraulický stupeň účinnosti turbíny  
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  a značí gravitační zrychlení

$$C = \sqrt{0,8 \times 9,81 \times 4,5} \cdot \sqrt{0,7906} = 4,698 \text{ m/s}$$

Největší množství vody které může turbínou protéci

$$Q = \eta \times F \times C$$

kde  $\eta = 0,91$  a značí koeficient skutečného průtoku po odečtení ztrát při přechodu vody z kola rozváděcího do oběžného

$$Q = 0,91 \times 0,028 \times 4,698 = 0,1197 \text{ m}^3/\text{s} = \underline{\underline{119,7 \text{ l/s}}}$$

Největší výkon turbíny

$$N = 10 \times Q \times H \times \eta$$

kde  $\eta = 0,73$  a značí účinnost vodní turbíny

$$N = 10 \times 0,1197 \times 4,5 \times 0,73 = \underline{\underline{3,93 \text{ kW}}}$$

V Kounově 4.2.1991 podle podkladů fy Jos. Prokopa synové

zpracoval: ing. Šnitr



