

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 9.: Strojírenství, hutnictví a doprava**

## **Využití energie velmi malého vodního toku**

**Matyáš Háze  
Královehradecký kraj**

**V Náchodě 22.3.2020**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9.: Strojírenství, hutnictví a doprava

**Využití energie velmi malého vodního toku**

**The use of an energy of a very small stream**

**Autoři:** Matyáš Háze

**Škola:** Jiráskovo gymnázium, Řezníčkova 451, 547 01 Náchod

**Kraj:** Královeshradecký kraj

**Konzultant:** Mgr. Zdeněk Polák

V Náchodě 22.3.2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Náchodě dne 22.3.2020 .....

Matyáš Háze

## **Poděkování**

Tímto chci poděkovat společnosti Gamatec s.r.o., zejména panu Ing. Radku Joudalovi za pomoc při výrobě plastových lopatek. Také svému dědovi a otci, za pomoc při výrobě a podpoře v práci. V neposlední řadě také Mgr. Zděnku Polákovi za cenné rady, a také pomoc při psaní SOČ.

## **Anotace**

Ve své práci SOČ jsem se zabýval využitím energie velmi malého toku. Cílem bylo nalezení vhodného typu vodního motoru, posléze tedy vytvoření funkčního modelu Peltonovy turbíny a plunžrového čerpadla. Podstatná část je věnována návrhu a stavbě, kde popisují, jak jsem postupoval ve výrobě. V neposlední části se také věnuji měření charakteristik turbíny. Ta dosahuje velmi dobré účinnosti a ve spojení s čerpadlem, již přes tři čtvrtě roku dopravuje závlahovou vodu.

## **Klíčová slova**

mikrozdroj; vodní kolo; Peltonova turbína; plunžrové čerpadlo

## **Annotation**

In my SOČ work I dealt with the use of energy from a very little flow of water. The aim was to find a suitable type of water motor, then to create a functional model of a Pelton turbine and plunger pump. The essential part is devoted to the design and construction, where I describe how I proceeded in the production. Last but not least I also deal with measurement of the turbine characteristics. It achieves very good efficiency and, in conjunction with a pump, has been transporting irrigation water for over a nine months.

## **Keywords**

micro source; water wheel; Pelton turbine; Plunger pump

## Obsah

1	Úvod a cíle .....	7
2	Typy vodních motorů.....	8
2.1	Vodní kola.....	8
2.1.1	Korečník na horní vodu a korečník na horní vodu s obráceným chodem .....	8
2.1.2	Ponceletovo vodní kolo .....	10
2.1.3	Hřebenáč .....	10
2.2	Vodní turbíny .....	11
2.2.1	Bánkiho turbína.....	11
2.2.2	Peltonova turbína .....	12
3	Výběr typu vodního motoru.....	14
3.1	Plán vodního díla.....	15
4	Výpočet peltonovy turbíny .....	17
4.1	Výpočet trysky .....	19
4.2	Výpočet lopatky .....	20
5	Konstrukce .....	22
5.1	Lopatka.....	22
5.2	Oběžné kolo .....	23
5.3	Tryska.....	25
5.4	Upevnění turbíny.....	27
5.5	Vtok a česle .....	30
6	Měření.....	32
6.1	Měřicí soustava .....	32
6.1.1	Měření průtoku .....	32
6.1.2	Měření otáček .....	33
6.1.3	Měření momentu síly .....	34
6.2	Výkonové charakteristiky .....	35
6.2.1	Závislost výkonu na otáčkách.....	36
6.2.2	Závislost výkonu na průtoku.....	36
6.2.3	Závislost účinnosti na průtoku .....	37
7	Hnaný stroj.....	39
7.1	Plunžrové čerpadlo.....	39
7.2	Návrh a stavba čerpadla .....	39

8	Cenová kalkulace .....	45
9	Závěr .....	46
10	Použitá literatura .....	47
11	Seznam obrázků a tabulek .....	47
	Přílohy.....	49

## **1 Úvod a cíle**

Pro postavení vodní turbíny jsem se rozhodl při přemýšlení nad využitím energie potoku za naším domem. Cílem bylo vytvoření vodního motoru, který při průtoku jednotek litrů za sekundu a spádu kolem 1,5 metru bude schopný s rozumnou účinností přeměnit tuto energii v jinou užitečnou práci. První myšlenky byly na výrobu elektrické energie. Vývojem se však ukázalo, že lepší variantou bude přímá přeměna na jinou mechanickou práci - čerpání vody.



## 2 Typy vodních motorů

Na začátek se budu zabývat jednotlivými vodními motory, které jsou rozumně vyrobitelné v domácích podmínkách. V době 3D tiskáren se tento okruh velmi zvětšil. I běžný člověk si je schopen vyrobit díly turbín dříve považovaných v amatérských podmínkách za nevyrobitelné, jako třeba lopatku peltonovy turbíny nebo oběžné kolo kaplanovy turbíny, za předpokladu že je schopen jej navrhnout. Vodní motory lze obecně rozdělit na dva typy. Vývojově starší vodní kola a novější vodní turbíny.

### 2.1 Vodní kola

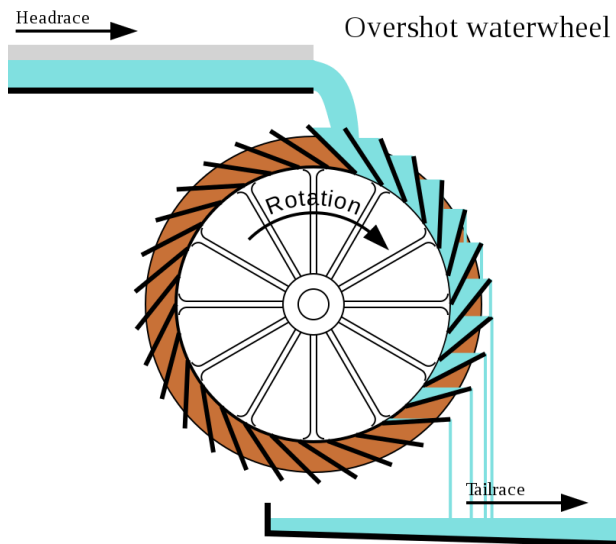
Vodní kolo je zařízení pro přeměnu potenciální nebo kinetické energie vody na energii mechanickou. Byla využívána od starověku k mletí obilí v mlýnech, později k pohonu hamrů při výrobě železa, či pro jinou průmyslovou výrobu.

První dochovaná vodní kola měla svislou osu otáčení a byla objevena na území historické Mezopotámie a dnešní Indie. Kola se svislou osou otáčení mohla být napojena na mlýnský kámen bez nutnosti použít převod. Později se však začala používat kola s vodorovnou osou otáčení, která sice potřebovala převod pro pohon mlýnského kamene, ale měla výrazně vyšší účinnost. Vodní kola byla nejvíce používána do 20. století, kdy je začaly vlivem technického pokroku nahrazovat vodní turbíny.

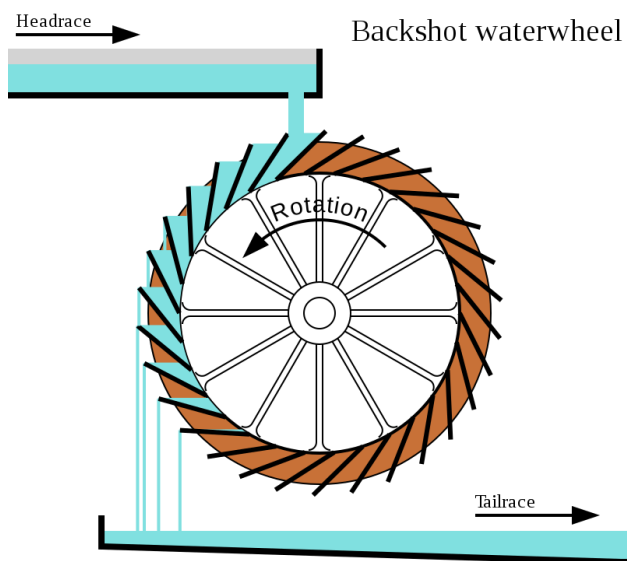
Vodní kolo se skládá z dřevěného nebo kovového mezikruží, na kterém jsou upevněny korečky nebo lopatky. Vodní kola jsou zpravidla pomaluběžné stroje. Dělí podle polohy nátku. Tzv. Kola na horní vodu (korečníky). Jako jsou korečník na horní vodu nebo korečník na horní vodu s obráceným chodem. Ty využívají potenciální energii vody. Druhým typem vodních kol jsou kola na spodní vodu (lopatníky), které využívají pouze kinetickou energii proudící vody. Například ponceletovo kolo nebo hřebenáč. Existuje ale i spousta dalších druhů vodních kol, jako jsou například Zuppingerovo kolo, Sagebienovo kolo, Belík atd. [1][2]

#### 2.1.1 Korečník na horní vodu a korečník na horní vodu s obráceným chodem

Korečník na horní vodu je hlavním typem používaným na území České republiky. Tento druh, pokud nebyl nahrazen turbínou, je instalován na většině klasických českých mlýnů. Jedná se o zpravidla dřevěné kolo s korečky z vrchu plnicími se proudící vodou a svou hmotností roztáčí kolo. Velikost kola tedy hrubě odpovídá spádu. Je vhodné pro spády od 2 do 5 metrů a menší průtoky do 0,3 m<sup>3</sup>/s Účinnost kola se pohybuje od 64 do 85 % pro korečník s obráceným chodem. Výhodou korečníku s obráceným chodem je otáčení po směru odtékající vody, kdy v případě zvednutí hladiny v odtokovém kanále mu voda klade menší odpor. [3]



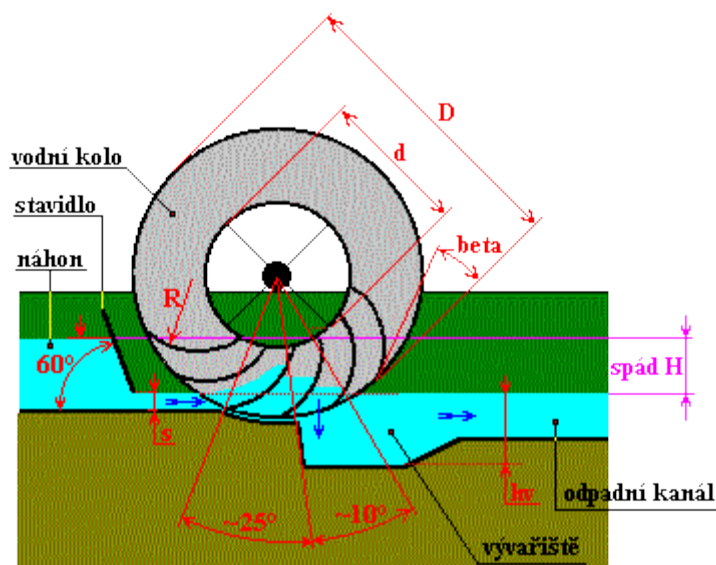
Obr. 1: Korečnik na horní vodu, převzato z [1]



Obr. 2: Korečnik na horní vodu s obráceným chodem, převzato z [1]

## 2.1.2 Ponceletovo vodní kolo

Ponceletovo vodní kolo bylo vynalezeno v roce 1826 Jeanem Poncelem. Jedná se o kolo na spodní vodu na lokality, kde není dostatečný spád pro kola na horní vodu nebo turbíny. Využívá se hlavně tam, kde je pouze rychle proudící voda s malým nebo žádným spádem, pro velmi velké průtoky (až  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Vodní kolo dosahuje účinností od 60 do 65 %.[4]

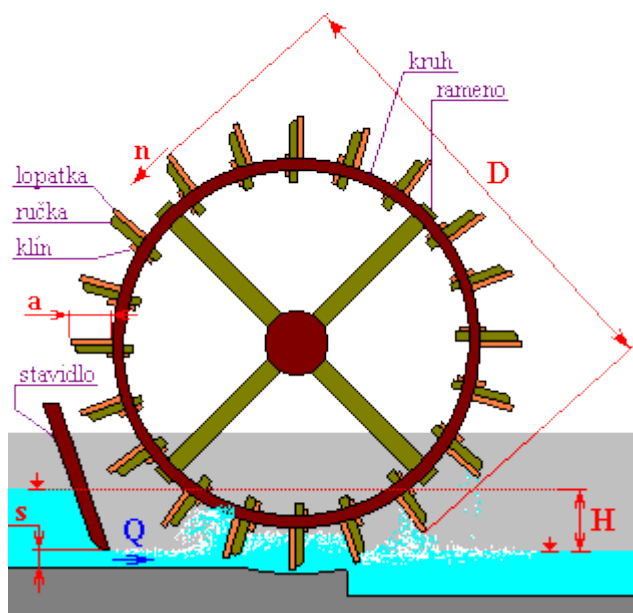


Obr. 3: Ponceletovo vodní kolo, převzato z [4]

Potenciální energie vody před stavidlem se přemění na kinetickou energii proudící vody. Vodní proud vstoupí do kola, kde voda předá část energie a vyběhne po lopatce vzhůru. Tím získá polohovou energii, kterou kolu odevzdá při následném skluzu po zakřivené lopatce kolmo dolů. Proto musí být v místě výtoku kanál prohlouben.[4]

## 2.1.3 Hřebenáč

Hřebenáč je vodní kolo vynalezené ve starověku, přičemž do dnešních dob se používá v nezměněné podobě. Jako u kola ponceletova i toto využívá pouze potenciální energii proudící vody, která naráží do lopatek a kolo roztáčí. Toto kolo je vhodné pro rychle proudící vodu nebo malé spády. Průtok až  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Účinnost se pohybuje do 30 %, proto se používá hlavně tam kde je přebytek hnací vody. [5]



Obr. 4: Hřebenáč, převzato z [5]

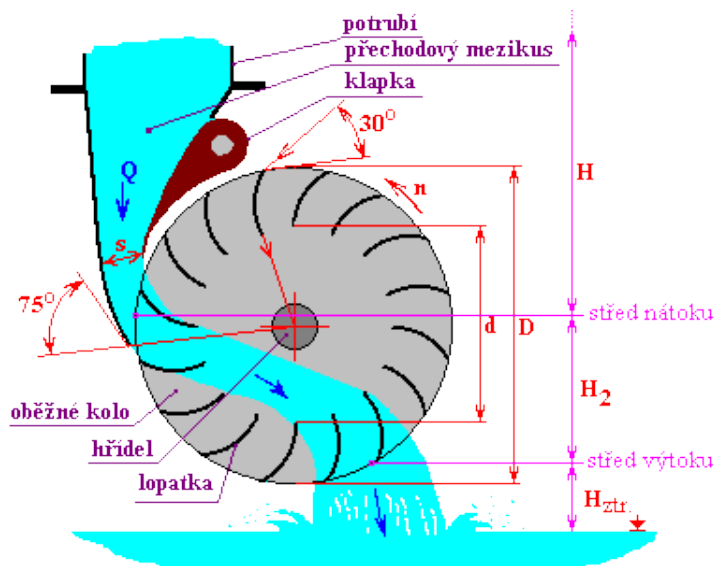
## 2.2 Vodní turbíny

Vodní turbíny jsou vodní motory přeměňující kinetickou nebo tlakovou energii vody na energii mechanickou. První turbíny byly vyvinuty v 19. století a rychle nahradily dlouho používaná vodní kola. Dnes se používají téměř všude, a to kvůli jejich vyšší účinnosti, menším rozměrům, vyšším otáčkám a možnosti použití na mnohem větší spády a průtoky než vodní kola.

Vodní turbíny se dělí na přetlakové a rovnotlaké. Přetlakové jsou například Kaplanova nebo Francisova turbína. Zde se tlaková (potenciální) energie vody přemění na kinetickou energii rotoru turbíny. Tyto turbíny nebudu dále popisovat kvůli jejich velmi složitému návrhu. Rovnotlaké turbíny jsou například Peltonova a Bánkiho. Zde se tlaková energie vody přemění na kinetickou energii vodního paprsku, který dopadá na oběžné kolo turbíny a předá mu energii.

### 2.2.1 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína byla vynalezena Donátem Bánkim v roce 1917. Jedná se o dvojitě obtékanou turbínu. Voda nejdříve vstoupí přetlakově na lopatky oběžného kola a předá asi  $\frac{3}{4}$  celkové energie. Dále voda pokračuje na lopatky z druhé strany. Zde už se jedná o rovnotlaký průtok, při kterém voda odevzdá zbylou čtvrtinu energie. [6]



Obr. 5: Bánkiho turbína, převzato z [6]

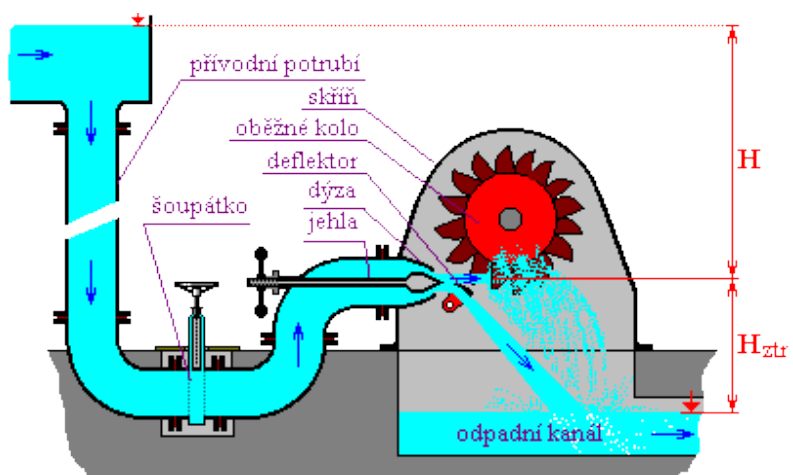
Turbína se využívá hlavně na malých vodních elektrárnách, kde by použití jiných druhů turbín bylo provozně náročné. Je vhodná pro spády od 2 do 30 m a průtoky od řádově několika litrů za sekundu do několika  $\text{m}^3$  za sekundu. Účinnost je kolem 80%, její charakteristika je plochá a má tedy dobrou účinnost v širokém rozsahu plnění od 30 – 100%. [6][7]

## 2.2.2 Peltonova turbína

Peltonova turbína je rovnotlaký stroj, vynalezený Lesterem Allanem Peltonem v roce 1880. Je určena především pro velké spády, tj desítky až stovky metrů, kde dosahuje účinností od 80 do 95 %. [8]

Voda je přiváděna přívodním potrubím do dýzy (trysky), zde se veškerá tlaková energie vody přemění na kinetickou. Vodní paprsek vstupuje tangenciálně na kolo osazené lopatkami. Břit lopatek paprsek rozdělí na dva a tvar lopatky se je snaží otočit zpět, přičemž se předá energie a voda s minimální rychlostí volně odpadá pod turbínu.

Průtok turbínou se reguluje zasunováním jehly do dýzy. Pro úplné odstavení se používá šoupátko na přívodním potrubí. Na rychlé odklonění paprsku je zde tzv. deflektor.



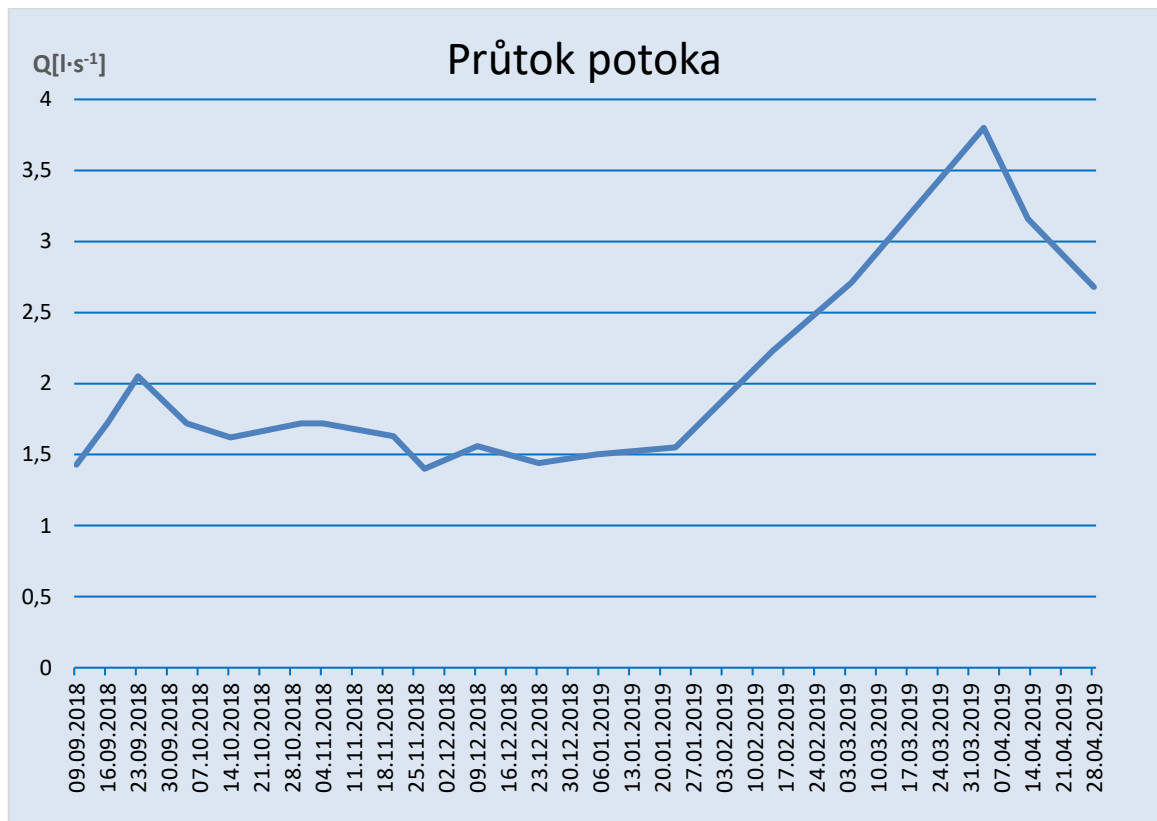
Obr. 6: Peltonova turbína, převzato z [9]

### 3 Výběr typu vodního motoru

Jak již bylo uvedeno, postavená turbína bude pracovat na konkrétním toku – potoku na naší zahradě. Potok pramení v asi 300 m po proudu vzdálené studně, odtud pokračuje kameny vyzděným korytem šířky cca 150 cm a hloubky 80 cm. Průtok je stabilní, setrvačnost studny je v řádu týdnů.

PRŮTOK POTOKA		
Datum	Průtok (l·s <sup>-1</sup> )	Poznámka
9.9.2018	1,43	
16.9.2018	1,72	
23.9.2018	2,05	Děšť
30.9.2018	1,84	
4.10.2018	1,72	
14.10.2018	1,62	
30.10.2018	1,72	
4.11.2018	1,72	
20.11.2018	1,63	
27.11.2018	1,4	
9.12.2018	1,56	
23.12.2018	1,44	
5.1.2019	1,5	
23.1.2019	1,55	
14.2.2019	2,23	
4.3.2019	2,71	
3.4.2019	3,8	
13.4.2019	3,16	
28.4.2019	2,68	

Tab. 1: Průtok potoka v období 9.9.2018 až 28.4.2019



Graf 1: Graf průtoku během roku

Jak je vidět průtok se pohyboval od  $1,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  na podzim velmi suchého roku 2018, do skoro  $4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  na jaře roku 2019. Malý výkyv je vidět 23.9.2018 kdy přšelo, přesto se průtok zvýšil jen nepatrně. Podklady o průtoku pro stavbu ale byly sbírány už v lednu roku 2018, kdy po velmi deštivém podzimu činil průtok něco kolem  $8 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ . Proto byla turbína navržena na poloviční průtok  $4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Místo pro stavbu bylo vybráno pod splavem. Nad splavem se nachází dřevěné stavidlo, které tok přehrazuje. Hrubý spád od hladiny za stavidlem k hladině pod splavem je 163 cm, po odečtení cca 8 cm pod vodním motorem, vychází čistý spád 155 cm.

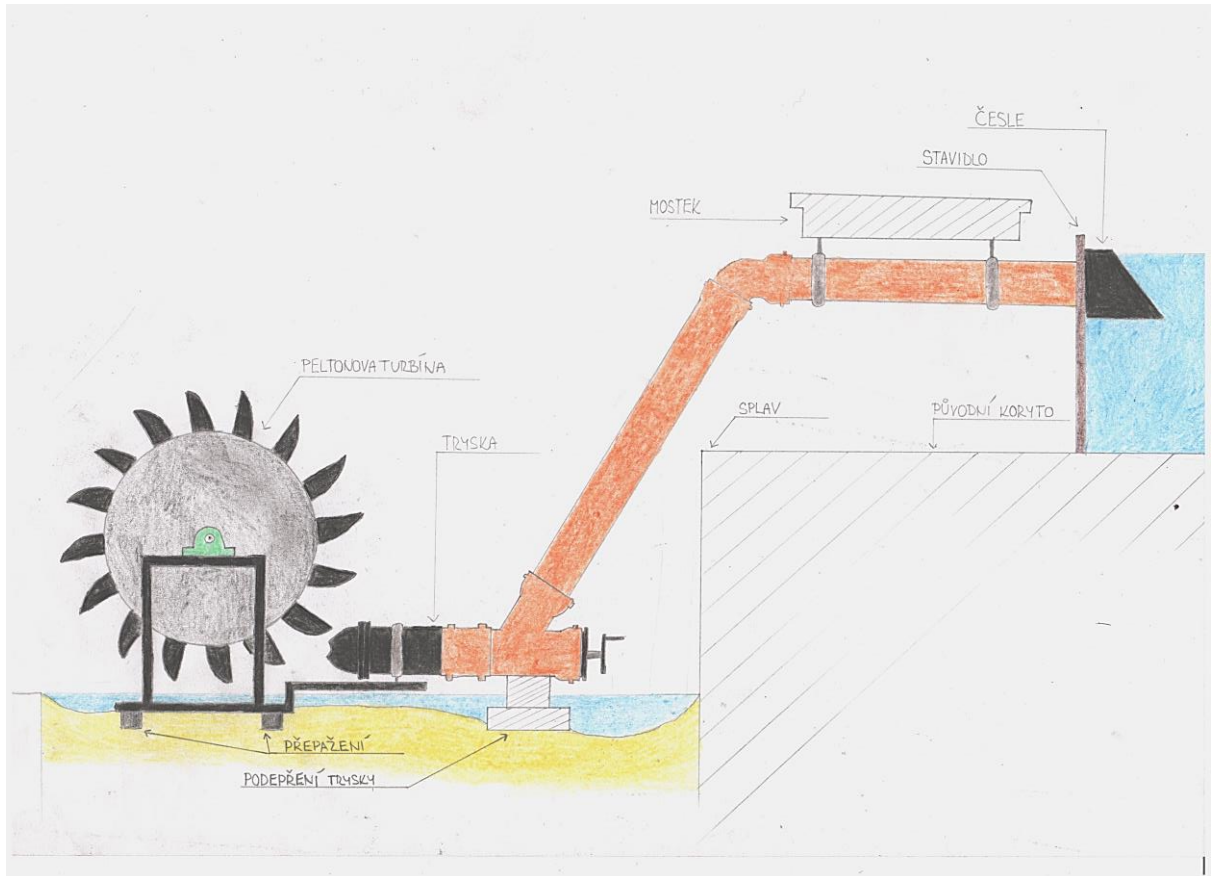
Při těchto podmínkách (155cm spád a maximálně 4 litry za sekundu průtok) by bez zohlednění ostatních faktorů zvítězil korečník na horní vodu nebo Bánkiho turbína. Korečník na horní vodu by v tomto případě měl průměr okolo 1,5m, byl by tedy výrobně náročný a velmi těžký. Bánkiho turbína zase po výpočtu vycházela tak titěrná, že by se nedala rozumně vyrobit. Nakonec jsem si vybral Peltonovu turbínu, i když se pro tento spád absolutně nehodí. Její výhodou je i pohledová stránka věci. Navíc mě velmi zajímalo jak se tato vysokotlaká turbína bude chovat na malém spádu. Nakonec se ukázalo že to nebyla vůbec špatná volba, turbína má ideální otáčky pro pohon čerpadla a změřená účinnost se ukáže jako velmi dobrá.

### 3.1 Plán vodního díla

Na Obr.:7 je vidět hrubá představa vodního díla v místě kde se bude nacházet. Nad splavem se bude nacházet stavidlo, ve kterém budou česle. Odtud půjde voda trubkou, která bude



uchycena zespoda mostku. Trubka půjde pod 45° směrem dolů, kde se napojí do tělesa trysky. Zadní strana trysky bude ležet na kameni, vpředu bude uchycena k turbíně pomocí ocelového pogumovaného oka. Jelikož pod splavem není pevná zem, pouze pískové naplaveniny, bude stojan turbíny uchycen na dvě ocelové příčky přišroubované do bočních zdí.

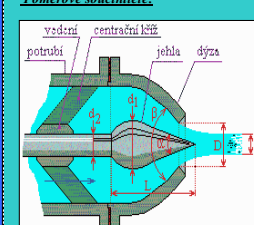
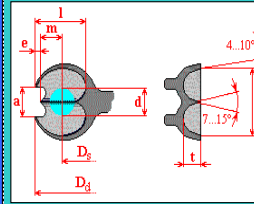


Obr. 7: Náčrt vodního díla

## 4 Výpočet peltonovy turbíny

Výpočet peltonovy turbíny je použit z [9]. Na tomto webu je také dostupná excelová kalkulačka pro rychlejší výpočet.

**Výpočet Peltonovy turbíny s jednou dýzou:** jako soubor \*.xls pro program Microsoft Excel v.5 a vyšší  
připravil Laika V. r.2002

Zadání:	Výsledek:	Detaily:	Poměrové součinitele:																																										
<p><i>nejprve zadejte tyto údaje:</i></p> <p>spád "H": <input type="text" value="1.5"/> [metry]</p> <p>průtok dýzou "Q": <input type="text" value="4"/> [litr./sec.]</p> <p><i>neprve pomocí pokračujte:</i></p> <p>zvolte si počet lopatek v rozsahu 18 až 26 ks: <input type="text" value="18"/> [ks]</p> <p>ne si průměr D<sub>s</sub> v rozsahu od 186 do 1389 mm: <input type="text" value="850"/> [mm]</p>	<p>průměr paprsku "d": 31,1 [mm]</p> <p>konec břitu od okraje "e": 10,9 [mm]</p> <p>počet lopatek "lop.": 18 [ks]</p> <p>úhel na lopatku: 20 [stup.°]</p> <p>konec břitu od paprsku "n": 28 [mm]</p> <p>"zamoření" lopatky: 43,6 [mm]</p> <p>radians alfa/2: 0,1745329</p> <p>tangens alfa/2: 0,176327</p> <p>přelévání další lopatky: 247,1 [mm]</p> <p>radians alfa: 0,3490659</p> <p>tangens alfa: 0,3639702</p> <p>nezamořená část poloměru: 679 [mm]</p> <p>max. roztečný průměr "D<sub>s</sub>": 1389 [mm]</p> <p>min. roztečný průměr "D<sub>s</sub>": 186 [mm]</p> <p>max. roztečný průměr kola "D<sub>s</sub>" / průměr paprsku "d": 44,6 poměr</p> <p>min. roztečný průměr kola "D<sub>s</sub>" / průměr paprsku "d": 5,98 poměr</p>	<p><i>výsledek:</i></p> <p>jmenovité otáčky "n": <input type="text" value="58"/> [ot./min.]</p> <p>průběžné otáčky "n-max.": <input type="text" value="104"/> [ot./min.]</p> <p>výkon turbíny "P": <input type="text" value="48"/> [W]</p> <p>vnější průměr oběžného kola "D<sub>d</sub>": <input type="text" value="928"/> [mm]</p> <p><i>Detaily:</i></p> <p>výtok rychl. z dýzy "c1": <input type="text" value="5,3"/> [m/sec.]</p> <p>obvodová rychlost "u": <input type="text" value="2,6"/> [m/sec.]</p> <p>průměr paprsku "d": <input type="text" value="31,1"/> [mm]</p> <p><b>dýza:</b></p> <p>průměr dýzy "D": <input type="text" value="37"/> [mm]</p> <p>úhel dýzy "beta": <input type="text" value="70"/> [stup.°]</p> <p>průměr jehly "d1": <input type="text" value="47"/> [mm]</p> <p>průměr tyče "d2": <input type="text" value="19"/> [mm]</p> <p>délka jehly "L": <input type="text" value="118"/> [mm]</p> <p>úhel jehly "alfa": <input type="text" value="45"/> [stup.°]</p> <p>zdvih jehly: <input type="text" value="36"/> [mm]</p> <p>průměr potrubí "DN" cca: <input type="text" value="87"/> [mm]</p> <p><b>lopatka:</b></p> <p>šířka lopatky "b": <input type="text" value="87"/> [mm]</p> <p>délka lopatky "l": <input type="text" value="68"/> [mm]</p> <p>hloubka lopatky "t": <input type="text" value="28"/> [mm]</p> <p>šířka výřezu "a": <input type="text" value="34"/> [mm]</p> <p>konec břitu od paprsku "m": <input type="text" value="28"/> [mm]</p> <p>konec břitu od okraje "e": <input type="text" value="10,9"/> [mm]</p> <p>záklon lopatky od kolmice: <input type="text" value="18"/> [°]</p> <p>úhel mezi lopatkami: <input type="text" value="20"/> [°]</p>	<p><b>Poměrové součinitele:</b></p>  <p><b>dýza:</b></p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>D:</td><td>1,2</td><td>rozsah cca 1,2</td></tr> <tr><td>d1:</td><td>1,5</td><td>1,42...1,62</td></tr> <tr><td>d2:</td><td>0,6</td><td>0,58...0,7</td></tr> <tr><td>DN:</td><td>2,8</td><td>2,5...3</td></tr> <tr><td>L:</td><td>3,8</td><td>3,25...3,66</td></tr> <tr><td>zdvih:</td><td>1,16</td><td>cca 1,16</td></tr> <tr><td>alfa:</td><td>45</td><td>42°...50°</td></tr> <tr><td>beta:</td><td>70</td><td>60°...90°</td></tr> </table>  <p><b>lopatka:</b></p> <table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td>a:</td><td>1,1</td><td>1,1...1,25</td></tr> <tr><td>b:</td><td>2,8</td><td>2,5...3</td></tr> <tr><td>e:</td><td>0,35</td><td>0,3...0,4</td></tr> <tr><td>l:</td><td>2,2</td><td>2...2,5</td></tr> <tr><td>m:</td><td>0,9</td><td>0,8...1</td></tr> <tr><td>t:</td><td>0,9</td><td>0,8...1</td></tr> </table>	D:	1,2	rozsah cca 1,2	d1:	1,5	1,42...1,62	d2:	0,6	0,58...0,7	DN:	2,8	2,5...3	L:	3,8	3,25...3,66	zdvih:	1,16	cca 1,16	alfa:	45	42°...50°	beta:	70	60°...90°	a:	1,1	1,1...1,25	b:	2,8	2,5...3	e:	0,35	0,3...0,4	l:	2,2	2...2,5	m:	0,9	0,8...1	t:	0,9	0,8...1
D:	1,2	rozsah cca 1,2																																											
d1:	1,5	1,42...1,62																																											
d2:	0,6	0,58...0,7																																											
DN:	2,8	2,5...3																																											
L:	3,8	3,25...3,66																																											
zdvih:	1,16	cca 1,16																																											
alfa:	45	42°...50°																																											
beta:	70	60°...90°																																											
a:	1,1	1,1...1,25																																											
b:	2,8	2,5...3																																											
e:	0,35	0,3...0,4																																											
l:	2,2	2...2,5																																											
m:	0,9	0,8...1																																											
t:	0,9	0,8...1																																											

Obr. 8: Excel tabulka pro výpočet parametrů peltonovy turbíny, převzato z [9]

Popíšu zde ale výpočet klasickými vzorci, kde je více vidět na čem jednotlivé rozměry závisejí. Vzorce jsme musel upravit, protože na stránkách se nacházejí ve zjednodušené formě, kde matematické operace s konstantami jsou již předpočítané.

První si stanovíme pro jaký průtok a na jaký spád bude turbína konstruována. Jak jsem již psal, turbína bude navržena pro průtok  $4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  a spád 155 cm. Teoretický výkon se tedy vypočítá takto:

$$P = Q \cdot g \cdot h$$

$$P \doteq 61W$$

Kde  $Q$  je průtok v litrech za sekundu a  $h$  je spád.

Skutečný výkon a jeho měření bude popsáno v kapitole měření.

Jako druhé si stanovíme počet lopatek z rozsahu 18 - 26ks. Kvůli ceně výroby volím 18ks.

Spočteme rychlost vodního paprsku, ta závisí na spádu. Je to vzorec pro volný pád vynásobený konstantou pro ztrátu v potrubí a dýze. Kde  $h$  [m] je spád a  $g$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] gravitační zrychlení.

$$v = 0,97 \cdot \sqrt{2gh}$$

$$v = 5,35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dále musíme spočítat průměr paprsku  $d$ [mm]. Ten je dán průtokem  $Q$ [ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ] a už námi vypočítanou rychlostí  $v$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]. Hlavně od něho se budou dále odvíjet rozměry.

$$Q = \frac{d^2}{4} \cdot \pi \cdot v$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}}$$

$$d = 0,031 \text{ m}$$

Obvodová rychlost  $u$ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] se musí rovnat polovině rychlosti vodního paprsku.

$$u = 0,97 \cdot \frac{\sqrt{2gh}}{2}$$

$$u = 2,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Otáčky za minutu  $n$ [ot/min] se spočítají pomocí obvodové rychlosti a průměru kola  $D_k$ [m] (průměr kola, na který dopadá paprsek). Průměr  $D_k$  se volí podle tabulky č. 2. Průměr  $D_k$  jsem si zvolil 850 mm, což je 28násobek průměru  $d$ .

Počet lopatek	Průměr $D_k$
18	$D_k=5,98-44,6 \cdot d$
19	$D_k=6,7-50 \cdot d$
20	$D_k=7,4-55,4 \cdot d$
21	$D_k=8,2-61,2 \cdot d$
22	$D_k=9-67,3 \cdot d$
23	$D_k=9,8-73,7 \cdot d$
25	$D_k=11,7-87,3 \cdot d$
26	$D_k=12,6-94,5 \cdot d$

Tab. 2: Rozsah  $D_k$  v poměru k  $d$  a počtu lopatek, překresleno z [9]

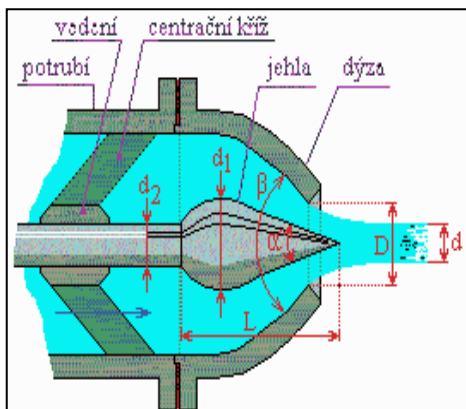
$$n = \frac{60u}{\pi \cdot D_k}$$

$$n \doteq 60 \text{ot}/\text{min}$$

#### 4.1 Výpočet trysky

Tryska je jednou z hlavních částí peltonovy turbíny. Přeměňuje tlakovou energii na kinetickou v podobě vodního paprsku. Tryska se skládá ze dvou částí, z dýzy a jehly, jejímž zasouváním do dýzy se reguluje průtok.

Rozměry dýzy (Obr. 9.) zjistíme z Tab.3. Všechny rozměry se odvozují od průměru paprsku. Pro výpočet budu brát střední hodnotu.



Obr. 9: Dýza peltonovy turbíny, převzato z [9]

$D=1,2 \cdot d$
$d_1=1,42-1,62 \cdot d$
$d_2=0,58-0,7 \cdot d$
$L=3,25-3,66 \cdot d$
$DN=2,5-3 \cdot d$
Zdvih jehly= $1,16 \cdot d$
$\alpha=42^\circ-50^\circ$
$\beta=60^\circ-90^\circ$

Tab. 3: Rozměry dýzy, překresleno z [9]

$$D = 1,2 \cdot d \doteq 37mm$$

$$d_1 = 1,52 \cdot d \doteq 47mm$$

$$d_2 = 0,6 \cdot d \doteq 18,5mm$$

$$L = 3,5 \cdot d \doteq 108,5mm$$

$$DN = 2,8 \cdot d \doteq 87mm$$

$$\text{Zdvih jehly} = 1,16 \cdot d \doteq 40mm$$

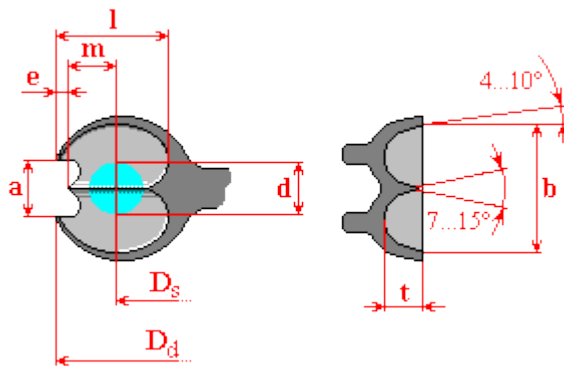
$$\alpha = 45^\circ$$

$$\beta = 70^\circ$$

## 4.2 Výpočet lopatky

Lopatka je u peltonovy turbíny stěžejní částí. Na ní záleží nejvíce jakou bude mít navržená turbína účinnost. Lopatka má velmi zajímavý tvar, jedná se o dvě misky, mezi kterými je vytvořen břit. Doprstřed lopatky dopadá vodní paprsek a rozděljuje se o břit. Misky se ho pak snaží otočit, čím dojde k předání energie.

Pro výpočet lopatky (Obr. 10) opět použijí tabulku (Tab. 4). Pro výpočet použijí střední hodnoty.



Obr. 10: Lopatka Peltonovy turbíny s kótami, převzato [9]

$a=1,1 \cdot d$
$b=2,5-3 \cdot d$
$e=0,3-0,4 \cdot d$
$l=2-2,5 \cdot d$
$m=t=0,8-1 \cdot d$

Tab. 4: Tabulka pro výpočet rozměrů lopatky, překresleno z [9]

$$a = 1,1 \cdot d \doteq 34mm$$

$$b = 2,75 \cdot d \doteq 85mm$$

$$e = 0,35 \cdot d \doteq 10,8mm$$

$$l = 2,25 \cdot d \doteq 70mm$$

$$m = t = 0,9 \cdot d \doteq 28mm$$

## 5 Konstrukce

3D návrhy budou vytvářeny ve strojírenském programu SolidWorks 2015. Jelikož nemám přístup k simulačním programům, budou jednotlivé díly vytvářeny jen podle spočítaných rozměrů, tvary lopatek pak hlavně podle fotek lopatek skutečných Peltonových turbín.

Na začátku stavby jsem měl v dílně k dispozici pouze stolní vrtačku, úhlovou brusku a svářečku, proto jsem si musel hodně dílů nechávat vyrábět. Spousta dílů je proto koncipována jako plechové výpalky. Soustružené díly byly vyráběny kamarádem na jeho soustruhu. Později, když jsem si koupil soustruh, se výroba výrazně zjednodušila.

Výroba jednotlivých částí bude dále dopodrobna popsána v jednotlivých kapitolách.

### 5.1 Lopatka

K návrhu lopatky byly použity vypočtené rozměry z kapitoly 4.2. Lopatka je tvořena pro jednoduchost dvěma půlelipsoidy vedle sebe. Hrana mezi nimi proto nemá moc pěkný tvar a bude naostřena a dobroušena při výrobě. Síla vnější stěny je 5 mm, síla části pro připevnění je 10 mm. Lopatka bude nasunuta na plechové oběžné kolo o síle 4mm a upevněna dvěma šrouby M6.



Obr. 11: Vizualizace lopatky v SolidWorks 2015

Možné výrobní postupy se nabízely dva – tisk a odlévání, ovšem po vytištění prvního kusu lopatky se ukázalo, že cena lopatek by byla stejná, ne-li vyšší než za odlití z plastu. Navíc výdrž takového výrobku ve vodě, na mrazu a přímém slunci by byla nejistá, proto jsem se rozhodl pro výrobu odléváním z plastu u firmy Gamatec s.r.o. Jedná se o malosériovou

technologii výroby, kterou se zde pochopitelných důvodů nemohu dopodrobna rozebírat. Model lopatky byl před odléváním upraven a zahrazen karosářským tmelem.



Obr. 12: Lopatka vyrobená odléváním z plastu

Nakonec byla nabroušena hrana, provrtány díry (lopatka musela být vyrobena bez nich) a očištěny vtokové hrany.

## 5.2 Oběžné kolo

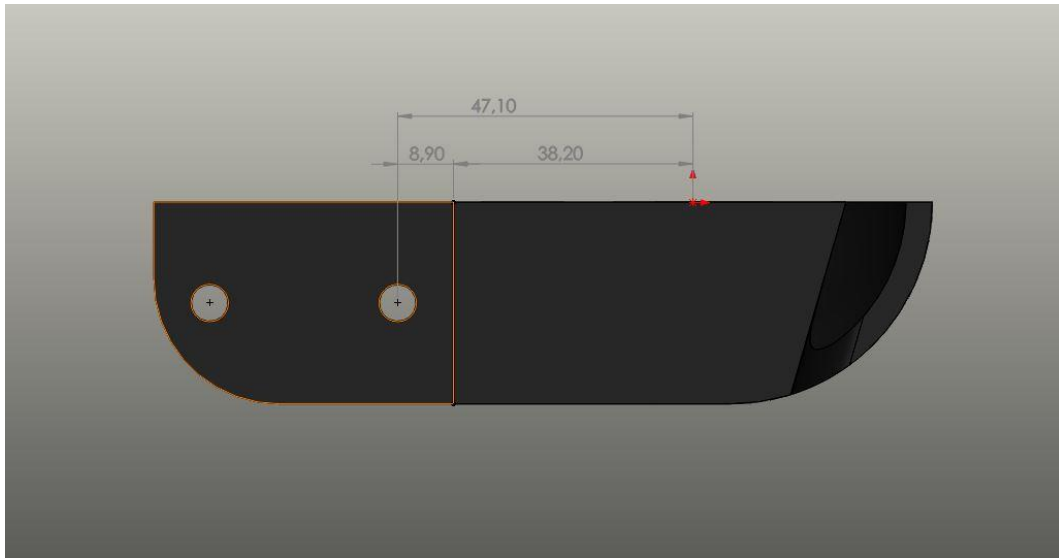
Jako nejjednodušší se pro výrobu oběžného kola ukázal plechový výpalek. Za poměrně malou cenu lze dostat hodně muziky v podobě přesného hotového dílu. Průměr vlastního oběžného kola  $D_{ok}$  byl vypočítán z průměru  $D_k$  a vzdálenosti  $p$  konce drážky od místa, kde pomyslná kružnice o průměru  $D_k$  prochází lopatkou. Bude upevněno na soustružený unašeč. Tloušťka plechu byla zvolena 4 mm. Do kola jsou pro odlehčení a lepší vzhled vypáleny loukotě. Dále jsou v kole díry pro lopatky. Lopatky musí být zakloněny od osy o  $18^\circ$  [9], aby paprsek co největší dobu dopadal nejlépe kolmo na lopatku.

$$D_k = 850mm$$

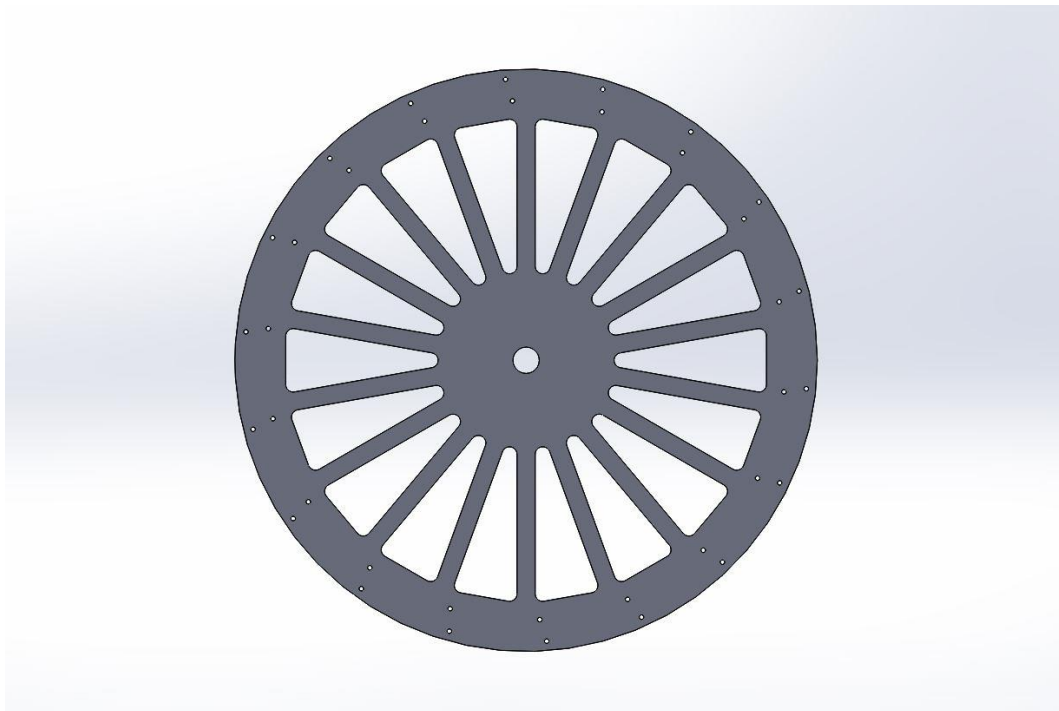
$$p = 38,20mm$$

$$D_{ok} = D_k - 2 \cdot p = 773,6mm$$

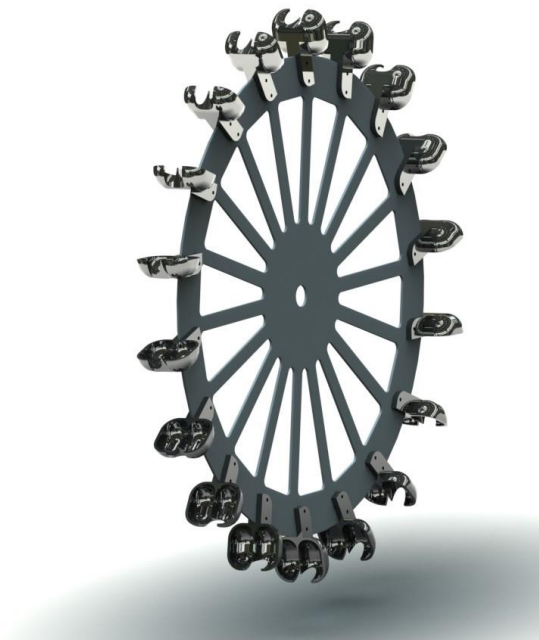




Obr. 13: Určení průměru oběžného kola



Obr. 14: 3D model oběžného kola

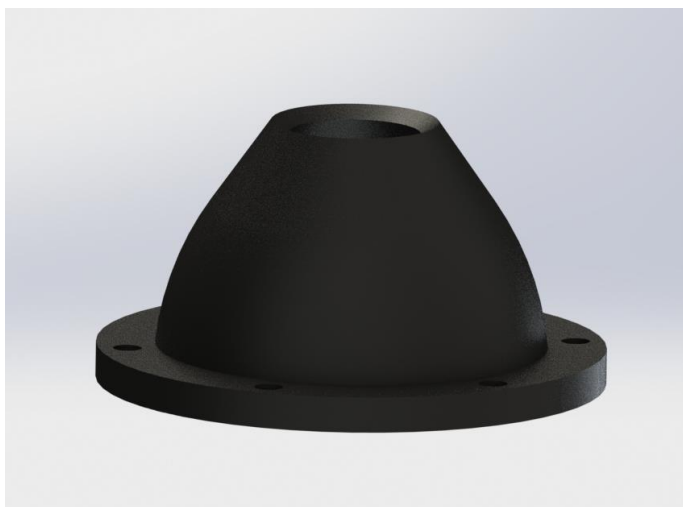


Obr. 15: Oběžné kolo s lopatkami

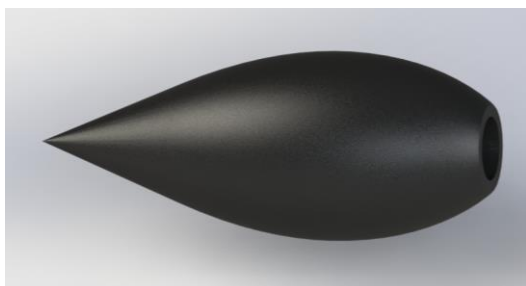
### 5.3 Tryska

První testovací tryska byla vyrobena 3D tiskem a velmi rychle se zničila, a proto zde popíši návrh a stavbu druhé, finální verze. Po těchto zkušenostech jsem se rozhodl nešetřit a udělat ji co nejvíce bytelnou.

Hlavními částmi celé trysky jsou dýza a jehla, jejichž rozměry jsem vypočítal v kapitole 4.1. Obě jsou vytištěny na 3D tiskárně z černého PET. Dýza je kvůli větší pevnosti zvenku ještě zalaminována.



Obr. 16: 3D model dýzy



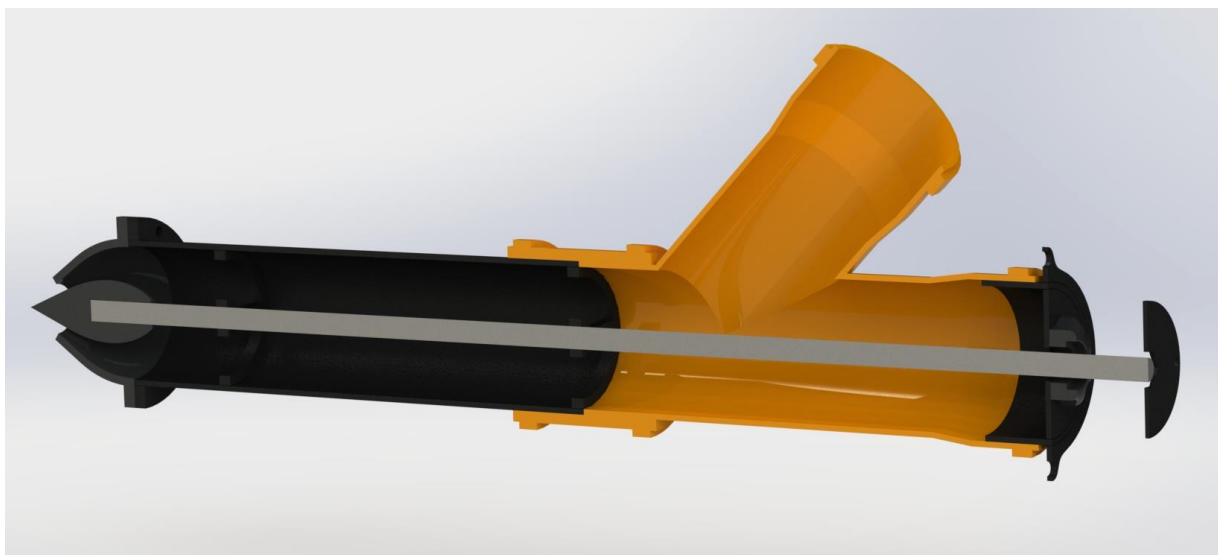
Obr. 17: 3D model jehly

Součástí trysky je i přívodní potrubí. Nejlepší poměr cena/odolnost/jednoduchá stavba mají odpadní potrubí systému KG. Vypočtený průměr 87 mm se nevyrábí, a proto jsem zvolil standartní DN110. Tomuto průměru jsou podřízeny všechny ostatní průměry dýzy a její součástí. Celá sestava dýzy se skládá z několika částí, které jsou vidět na Obr. 18. Hlavní tělo je tvořeno ocelovou trubkou 108x4mm s navařenou přírubou. Na přírubu je namontována vytištěná dýza. Z druhé strany je trubka nasunuta do KG přezuvky, která díl propojuje s KG odbočkou. Víčko pro KG odbočku je svařeno z kusu trubky a výpalku. Na víčko je nalepen a přišroubován vytištěný segment pro uchycení gufera. Uvnitř (Obr. 19) se nachází dva vodící kříže, kterými prochází šroubovice M16 na jejímž konci je našroubována jehla. V místě, kde šroubovice prochází guferem, je na ni nalepena pozinkovaná trubka (v modelu není), na konci je poté otočné kolečko pro pohodlné nastavení průtoku.

Díky odnímatelné dýze se tryska velmi jednoduše čistí a v případě opotřebení nebo rozbití vytištěných částí je lze velmi jednoduše vyměnit za nové.



Obr. 18: Model trysky



Obr. 19: Model trysky v řezu



Obr. 20: Hotová tryska v provozu

V praxi se ukázalo, že spojení přezuvkou nebylo dostatečně tuhé, a proto byl pod trysku přidán dubový trámek, který ji zpevnil. Tryska s ním se dá také lépe podkládat.

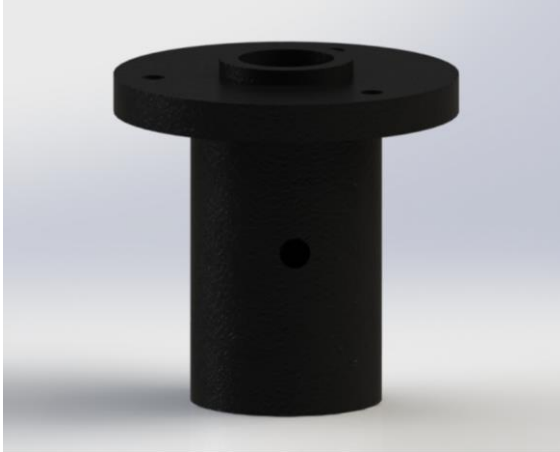
#### 5.4 Upevnění turbíny

Tato kapitola bude mířena na stojan turbíny, ložiska a unašeč oběžného kola.

Jako první jsem koupil ložiska, průměr jsem zvolil 25 mm, protože jsem už měl doma takovou hřídel. Kvůli odstříkující vodě jsou nerezová. Ložiska jsou uložena v litinových

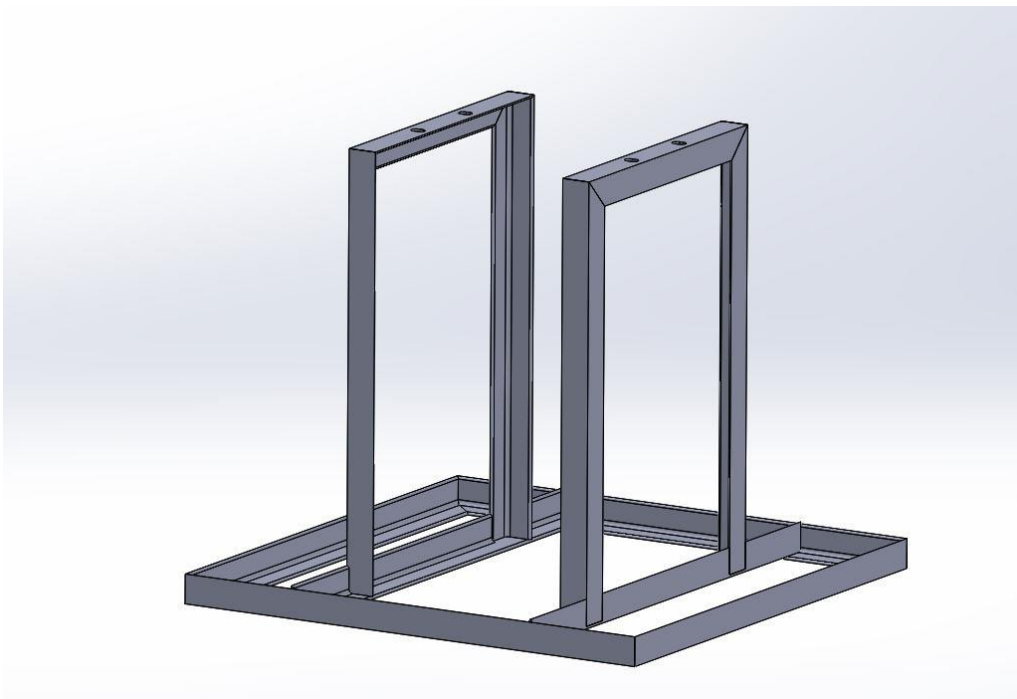
ložiskových domečcích. Hřídel má průměr 26 mm a na koncích je osoustružené osazení o průměru 25 mm pro ložiska

K upevnění oběžného kola na hřídel byl použit unašeč. Je vyroben z ocelové silnostěnné trubky, ke které je přivařen ocelový kroužek pro zvětšení styčné plochy, následně je vše přesně osoustruženo. K připevnění k oběžnému kolu jsou použity 3 šrouby M6.



Obr. 21: Model unašeče

Když už jsem měl oběžné kolo s hřídelí a ložisky mohl jsem se pustit do výroby samotného stojanu. Stojan jsem svařil z ocelových L profilů 35x35mm. Výšku jsem zvolil tak aby spodní okraj lopatky byl cca 8 cm nad hladinou.



Obr. 22: Model stojanu turbíny

Stojan byl potom přišroubován k ocelovým přepažením (Obr. 25), ta jsou vyrobena z jeklu 60x40mm a přišroubována do bočních pískovcových zdí.





Obr. 23: Detail upevnění stojanu turbíny a přepažení



Obr. 24: Upevnění turbíny





Obr. 25: Hotová turbína i s čerpadlem v provozu

## 5.5 Vtok a česle

Jako česle jsem dlouhou dobu používal síťku z králíkářského pletiva. Na podzim, když začalo padat listí se síťka ukázala jako špatné řešení, a proto jsem se pustil do stavby lépe čistitelných česlí se zábranou proti plovoucím nečistotám.

Samotné česle jsou vidět na Obr. 26, jedná se o jednoduchou dřevěnou bedýnku, do níž lze zasunout pletivo o jakékoliv hrubosti. Kvůli plovoucím nečistotám je voda nasávána zespoda. Česle nemohou být na trubku napojené přímo, v místě ostré hrany by se vodní proud deformoval, což způsobuje téměř nemožné nastavení průtoku a snižuje účinnost turbíny. Proto je na vstupu do potrubí umístěn trychtýř, jehož zkosené hrany tento problém eliminují.



Obr. 26: Česle a vtok do potrubí



## 6 Měření

Důležitou částí práce je změření výsledků, tj. jakých výkonů a jaké účinnosti turbína opravdu dosahuje. Po změření výkonu turbíny se dá dále uvažovat jaký stroj bude turbína pohánět.

### 6.1 Měřicí soustava

Abych mohl měřit výkon potřebuji měřit jeho jednotlivé složky, tj. otáčky a točivý moment. Pro výpočet účinnosti pak ještě průtok. K zajištění vždy stejného spádu jsem používal průhlednou gumovou hadičku, propojenou s tryskou a vyvedenou k měřicí stupnici.



Obr. 27: Měření spádu

#### 6.1.1 Měření průtoku

K měření průtoku byla použita tzv. objemová metoda, tzn. napouštění určitého objemu a měření času. Pro toto měření jsem musel odmontovat oběžné kolo. Průtok jsem měřil pro různá otevření trysky, pro která jsem pak měřil výkon. Průtok byl s rozumnou přesností

měřitelný pouze do otevření 22 mm, tj. průtoku 3,53 l·s<sup>-1</sup>, pak už se měření slévala.



Obr. 28: Měření průtoku

<b>Průtok pro otevření trysky</b>	
Otevření trysky	Průtok [l·s <sup>-1</sup> ]
6mm	1,1
7mm	1,3
8mm	1,52
10mm	1,9
12mm	2,14
14mm	2,54
16mm	2,94
18mm	3,03
20mm	3,23
22mm	3,53

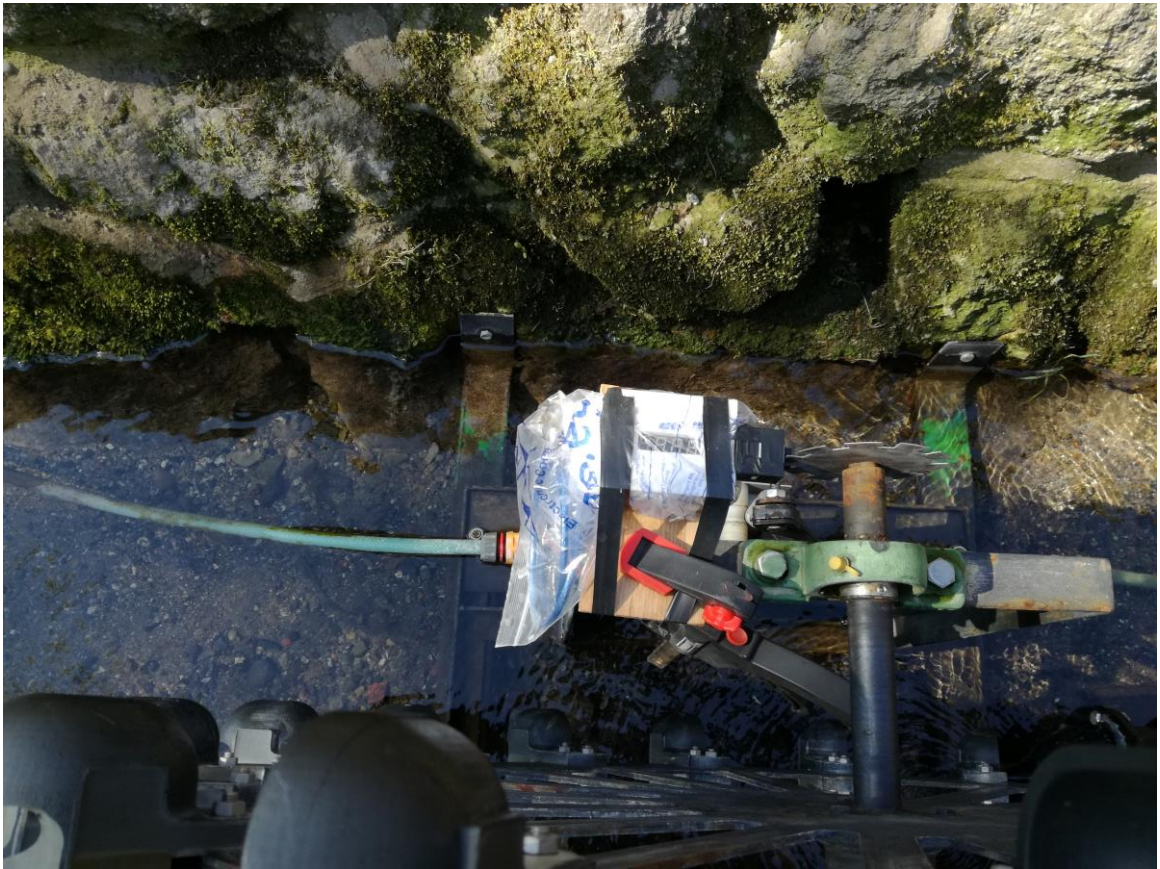
Tab. 5: Závislost průtoku na otevření trysky

### 6.1.2 Měření otáček

Na měření otáček jsem použil otáčkoměr vlastní výroby na bázi arduina. Impulsy byly snímány ze zubatého kotoučku pomocí optobrány. Rozsah přístroje je od 0 do 999 ot/minutu.



Arduino je kvůli bezpečnosti napájeno z powerbanky, přístroj je uzavřený v plastové vytištěné krabičce a celý je zabalen do igelitového pytle.



Obr. 29: Měření otáček

### 6.1.3 Měření momentu síly

Nejjednodušší metodou pro měření momentu síly, potažmo výkonu, je pomocí Pronyho brzdy. V mém případě se jedná o prkénko s vypilovaným žlábkem. Síla je měřena přesným siloměrem s rozsahem 50 N, který mi ochotně zapůjčil ze školních sbírek Mgr. Zdeněk Polák. Délka páky Pronyho brzdy je 400 mm.



Obr. 30: Celá měřící soustava

## 6.2 Výkonové charakteristiky

Výkon na Pronyho brzdě se spočte jako součin momentu síly a úhlové rychlosti. Moment síly si vyjádříme jako  $F \cdot l$ . Úhlová rychlost se rovná  $2\pi f$ , pro otáčky za minutu je to pak  $\frac{2\pi \cdot ot}{60}$ . Dostáváme vzorec pro výpočet výkonu. Kde  $P$  je výkon na brzdě,  $F$  síla na rameni  $l$ ,  $M$  moment síly a  $ot$  otáčky za minutu.

$$P = M \cdot \omega$$

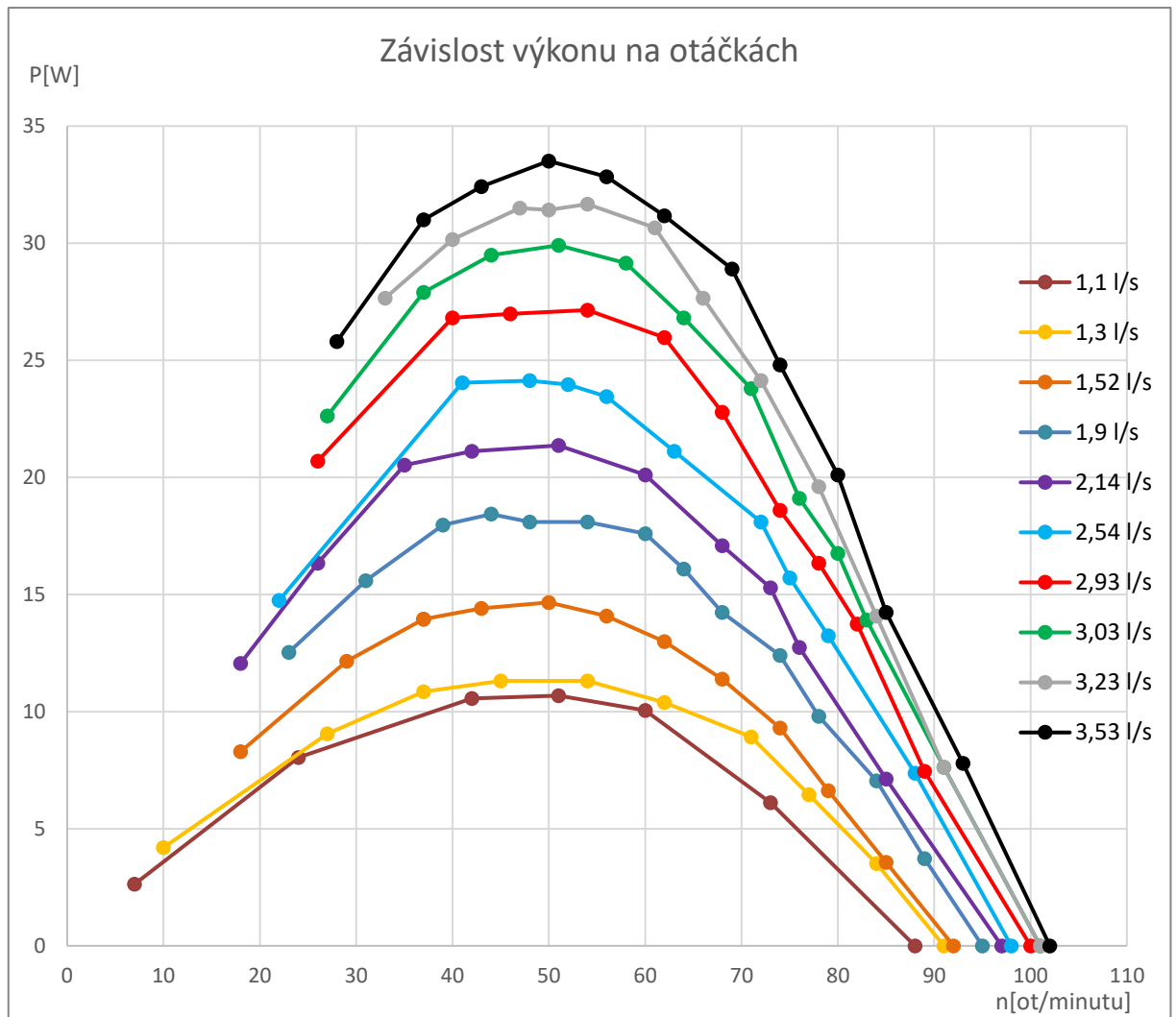
$$P = \frac{2\pi \cdot F \cdot l \cdot ot}{60}$$

Výkon jsem měřil pro každé otevření trysky, pro které jsem měřil průtok. Hodnoty momentu síly byly měřeny od volnoběžných otáček až otáčkám těsně před zastavením. Průměrně se tak jedná o cca 11 měření pro každý průtok. Z těchto dat poté byly vytvořeny tři hlavní charakteristiky, a to závislost výkonu na otáčkách, závislost výkonu na průtoku, závislost účinnosti na průtoku.

### 6.2.1 Závislost výkonu na otáčkách

Po změření hodnot jsem si vytvořil Graf.2 závislosti výkonu na otáčkách. Z těchto údajů budu vycházet při tvorbě dalších charakteristik.

Závislost má pro všechny průtoky velmi podobný tvar. Hodnota optimálních provozních otáček, při kterých turbína dosahuje maximální účinnost, se u všech měření pohybuje okolo 50 ot/min. Tedy asi o 10 méně, než bylo spočteno při návrhu.

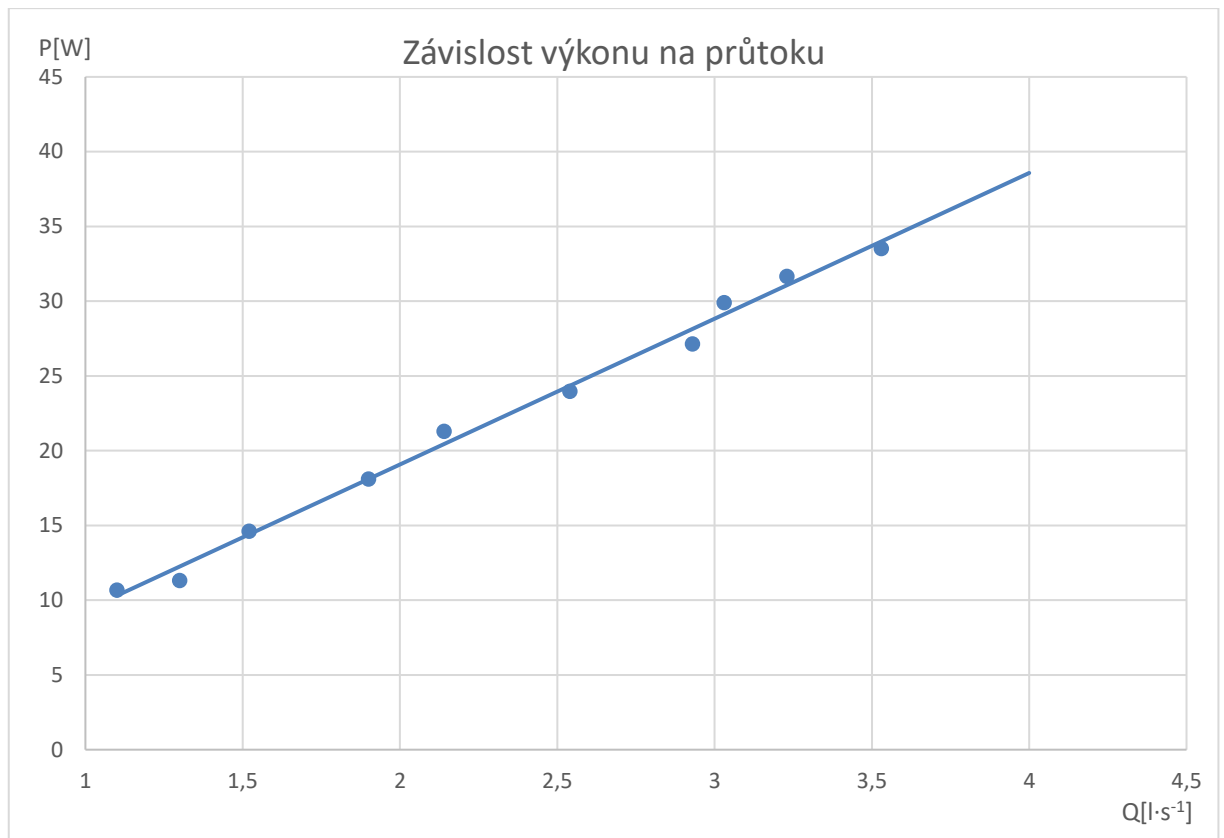


Graf 2: Graf závislosti výkonu na otáčkách

### 6.2.2 Závislost výkonu na průtoku

Závislost výkonu na průtoku přímo vyplývá z grafu 2 z předchozí kapitoly. Z každého měření je vybrán nejvyšší naměřený výkon a ten je dán do závislosti s průtokem.





Graf 3: Graf závislosti výkonu na průtoku

Grafem závislosti je velmi pěkná přímka, tj. výkon stoupá lineárně s průtokem. Z tohoto faktu lze již dopředu usoudit, že účinnostní křivka bude velmi plochá se stejnou účinností v celém rozsahu plnění. V grafu je vidět i odhad výkonu, kterého by mohla turbína dosahovat při jmenovitém průtoku  $4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ , tj. okolo  $38,5 \text{ W}$ .

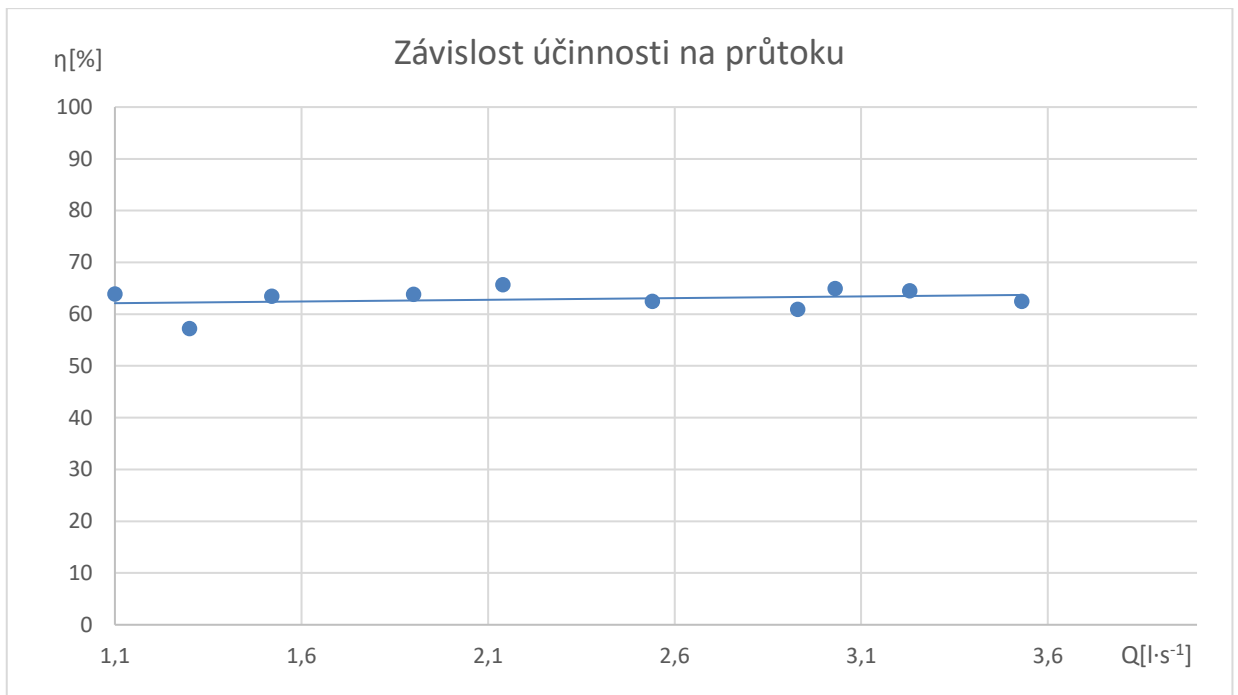
### 6.2.3 Závislost účinnosti na průtoku

Pro vyjádření závislosti účinnosti na průtoku potřebujeme spočítat účinnost. Ta se spočítá podle vzorce níže.

$$\eta = \frac{P}{Q \cdot g \cdot h}$$

Kde  $P$  [W] je naměřený výkon turbíny při daném průtoku  $Q$  [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ] a  $H$  [m] je spád.

U peltonovy turbíny obecně je účinnostní charakteristika plochá a turbína má dobrou účinnost v celém rozsahu plnění. Naměřená charakteristika je také velmi plochá, dosahuje v průměru účinnosti 62,5 % v celém rozsahu plnění, tj. od  $1,1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  (27,5 %) do  $3,53 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$  (88,25 %). Tato vlastnost je velkou výhodou na vodním toku, na kterém pracuje. Proto i v letních měsících kdy je průtok velmi malý, dokáže to málo energie rozumně přeměnit.



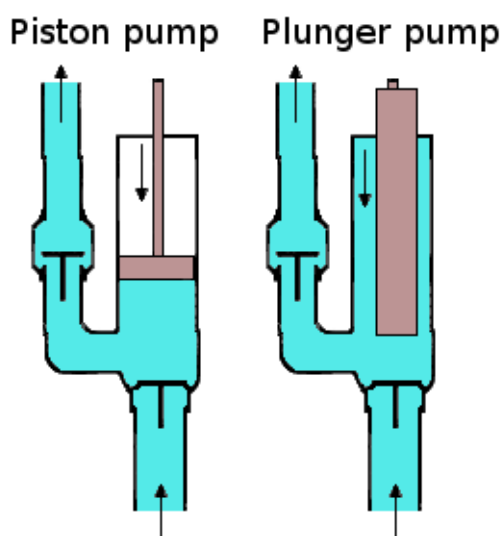
Graf 4: Graf závislosti účinnosti na průtoku

## 7 Hnaný stroj

První úvahy, jak jsem psal v prvních kapitolách, vedly k výrobě elektrické energie. Po zvážení ceny, výrobní složitosti a velmi špatné celkové účinnosti, jsem tuto cestu zavrhl. Na nápad otce, že potřebujeme čerpat vodu na vzdálený pozemek, jsem se pustil do návrhu a stavby čerpadla. Z důvodu nenáročnosti konstrukce jsem zvolil plunžrové čerpadlo, jež může být turbínou poháněno i bez použití převodů, které by způsobovaly ztráty.

### 7.1 Plunžrové čerpadlo

Plunžrové čerpadlo je typ pístové čerpadla, kdy píst a pístní tyč splývají v jeden celek a tvoří takzvaný plunžr. Čerpadlo je vhodné pro dopravu malého množství vody do velkých výšek.



Obr. 31: Rozdíl mezi pístovým a plunžrovým čerpadlem, převzato z [10]

Jak je z obrázku vidět, čerpadlo se většinou staví jako jednočinné. Princip samotného čerpadla je velmi jednoduchý. Pokud se plunžr vysunuje, zvětšuje objem pracovní komory a voda proudí přes vstupní zpětnou klapku do čerpadla. Při pohybu zpět se objem komory zmenšuje, sací klapka se zavírá, výtlačná otevírá a voda z komory proudí do výtlačného potrubí. Zde se může nacházet výtlačný větrník. Výtlačný větrník je nádoba částečně naplněná vzduchem, který jako polštář tlumí rázy a pulzování vody ve výtlačném vedení.

### 7.2 Návrh a stavba čerpadla

Čerpadlo jsem výkonově navrhoval na průtok  $1,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , tedy v podstatě nejnižší průtok, jaký může nastat. Při tomto průtoku dosahuje výkon turbíny v optimálních otáčkách 11,31 W. Protože šlo o první kus a neměl jsem představu, jak účinné čerpadlo bude, zvolil jsem si účinnost přeměny energie v celém mechanismu čerpadla na 20 %. Výtlačná výška je 12 metrů. Čistý výkon se tedy rovná 2,3 W. Objem vytlačené vody  $V(\text{m}^3)$  se spočítá podle vzorce:



$$V = \frac{P \cdot t}{\rho \cdot g \cdot h}$$

$$V \doteq 0,0176 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V \doteq 17,6 \text{ ml}$$

Kde  $P(W)$  je čistý výkon,  $t(s)$  je perioda zdvihu,  $\rho$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) hustota vody,  $g(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$  gravitační zrychlení a  $h(\text{m})$  tlačná výška.

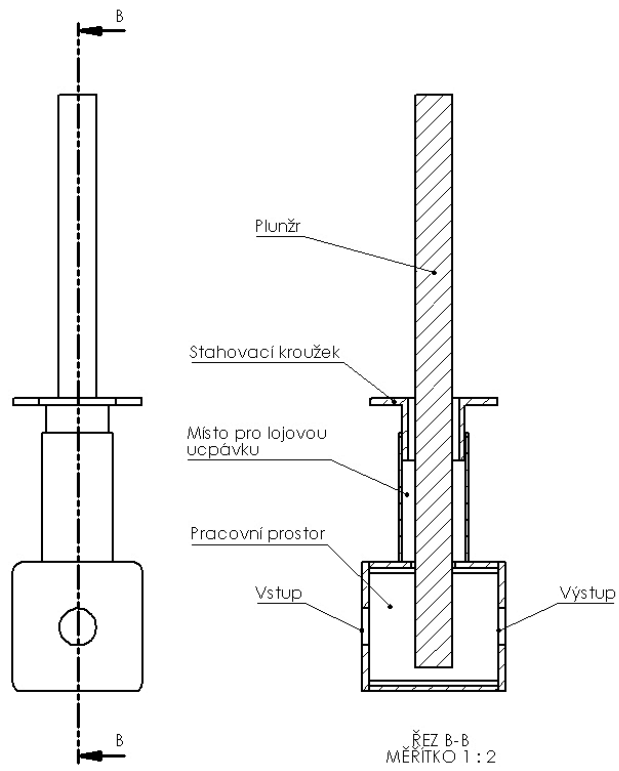
S ohledem na malou dostupnost nerezových materiálů v místním železářství, jsem byl nucen použít plunžr o průměru 20 mm. Spočítaný objem pak tento plunžr dopraví přibližně při zdvihu 60 mm.

Tělo čerpadla jsem navrhoval tak, aby na něm nebyly žádné soustružené součásti a bylo svařitelné z běžně dostupného hutního materiálu. Jelikož čerpadlo bude čerpat pouze užitkovou vodu, nepoužil jsem, mimo zmíněného plunžru, nerezovou ocel.

Čerpadlo bude umístěno přímo na rámu turbíny, svisle pod hřídelí. Bude připevněno k silnému plechu, který bude přišroubován na upevňovací šrouby. Ty jsou vidět na Obr. 23: Detail upevnění stojanu turbíny a přepažení

K utěsnění plunžru se nabízeli dvě varianty. Buď použití gumových těsnících kroužků, nebo použití provazcové ucpávky. Výhodou gumového těsnění je velmi dobrá těsnost. Naproti tomu lojová provazcová ucpávka, používaná například k utěsnění hřídelí odstředivých čerpadel, má velkou výhodou v napuštění lojem, který plunžr stále přimazává, a tak nemusí být mazán jiným způsobem. Lůj v ucpávce je navíc zdravotně nezávadný a po opotřebení lze ucpávku velmi snadno vyměnit. Proto jsem nakonec zvolil pro výrobu ji.

Konstrukce mého čerpadla je zjednodušeně vidět na Obr. 32. Základem je pracovní komora z jeklu zaslepeného víčky s dírami, do kterých bude přivařen závit pro další propojení s vodovodní armaturou. Z vrchu je přivařena trubka, ve které budou vloženy kroužky z lojové ucpávky. Ty jsou stahovány stahovacím kroužkem. Kroužky prochází plunžr.



Obr. 32: Řez čerpadlem



Obr. 33: Svařené čerpadlo se zpětnými klapkami

Aby se mohl plunžr pohybovat, je nezbytnou součástí čerpadla klikový mechanismus. Jeho konstrukce je vidět na Obr. 34. Stěžejní součástí je zde křížák. Ten je vyroben z 8 mm silné pásoviny, do které jsou vlepena ložiska 10x26x8mm. Proti uvolnění jsou opatřena krycími plechy. Shora je křížák připojen na excentr s proměnou excentricitou. Ten jsem použil jako poslední záchranu, pokud by turbína neměla dostatečnou sílu lze zkrátit rameno a tím částečně zmenšit potřebný výkon. V dolní části je propojen s plunžrem. Zde je také možné jemně doladit hloubku vsunutí, aby plunžr nenarážel o dno čerpadla. Po prvním týdnu používání se jako první nedostatek ukázal výkyv plunžru do stran a s tím spojené zalomení, vlivem složky síly křížáku, která působí kolmo na pohyb plunžru. Proto jsem dodatečně přidal silonovou rolnu, která tomuto nežádoucímu pohybu zabráňuje. Celé čerpadlo po tři čtvrtě roce nepřetržitého provozu je vidět na Obr. 34. Na výtlačném vedení čerpadla se ještě nachází přetlakový ventil a výtlačný větrník. Ten mě trápil nejvíce. Nejdříve jsem zkoušel typ bez oddělené vody a vzduchu. Po třech dnech se vzduch vždy záhadně ztratil. Inspiroval jsem se tedy nádobami u domácích vodáren a pokusil se oddělit vodu od vzduchu nějakou membránou. Zkoušel jsem různé běžně dostupné materiály, jako například gumu z dětského balonku, silikonové gummy, atd. Vždy po chvíli provozu membrána praskla. Proto je stále namontován na čerpadle, ale je plný vody a nefunkční.



Obr. 34: Čerpadlo po tři čtvrtě roce provozu



Obr. 35: Namontované čerpadlo v provozu

## 8 Cenová kalkulace

Náklady jsem se snažil v průběhu celého projektu zaznamenávat, ale zcela jistě jsem na spoustu drobností zapomněl. V ceně nejsou zahrnuty lopatky, a jelikož jsem je dostal od firmy Gamatec s.r.o. zadarmo, netroufám si odhadovat jejich výrobní cenu. Protože se jednalo o vývoj nejsem schopen odhadnout ani čas strávený na výrobě, ale řádově se jednalo o stovky hodin. Z tohoto tedy vyplývá, že výsledná cena uvedená v tabulce je jen cenou materiálu a zlomkem teoretické výrobní ceny.

Materiál	Hutní materiál	1400 Kč
	Výpalky	900 Kč
	KG systém	500 Kč
	Barva	200 Kč
	Spojovací materiál	800 Kč
	Čerpadlo	600 Kč
Ložiska		700 Kč
Cena		5100 Kč

## 9 Závěr

V úvodu jsem si jako cíl vytyčil postavení vodní turbíny, která bude využívat energie velmi malého toku. Tohoto cíle jsem dosáhl a turbínu využíváme k čerpání závlahové vody. Měřením jsem zjistil že i typická vysokotlaká turbína, jakou Peltonova turbína je, dokáže obstát na úplně odlišných podmínkách. Moje turbína dosáhla průměrné účinnosti 62,5% v celém rozsahu plnění, což beru jako velký úspěch. První prototyp čerpadla zvládl, až na malé mouchy, které se podařilo vychytat, tři čtvrtě roku trvalého provozu.

## 10 Použitá literatura

MACEK, Libor. NÁVRH VODNÍ MIKROELEKTRÁRNY PRO MALÉ SPÁDY A MALÉ PRŮTOKY. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.

- [1] Water wheel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_wheel](https://en.wikipedia.org/wiki/Water_wheel)
- [2] vodních kolech.. *Malá voda* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnimotory/kola-obecne.htm>
- [3] Korečnick na horní vodu. *Malá voda* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnikolaHD/korecnikHD.htm>
- [4] Ponceletovo vodní kolo. *Malá voda* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnikolaDD/poncelet.htm>
- [5] Stříkový hřebenáč. *Malá voda* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://mve.energetika.cz/vodnikolaDD/hrebenac.htm>
- [6] Bankiho turbína. *Malá voda* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [7] Bánkiho turbína. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho_turb%C3%ADna)
- [8] Peltonova turbína. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Peltonova\\_turb%C3%ADna](https://cs.wikipedia.org/wiki/Peltonova_turb%C3%ADna)
- [9] Peltonova turbína. *Malá voda* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [10] Plunger pump. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plunger\\_pump](https://en.wikipedia.org/wiki/Plunger_pump)

## 11 Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Korečnick na horní vodu, převzato z [1].....	9
Obr. 2: Korečnick na horní vodu s obráceným chodem, převzato z [1].....	9
Obr. 3: Ponceletovo vodní kolo, převzato z [4].....	10
Obr. 4: Hřebenáč, převzato z [5].....	11
Obr. 5: Bánkiho turbína, převzato z [6].....	12
Obr. 6: Peltonova turbína, převzato z [9].....	13
Obr. 7: Náčrt vodního díla .....	16
Obr. 8: Excel tabulka pro výpočet parametrů peltonovy turbíny, převzato z [9].....	17
Obr. 9: Dýza peltonovy turbíny, převzato z [9].....	19
Obr. 10: Lopatka Peltonovy turbíny s kótami, převzato [9].....	21
Obr. 11: Vizualizace lopatky v SolidWorks 2015 .....	22
Obr. 12: Lopatka vyrobená odléváním z plastu.....	23



Obr. 13: Určení průměru oběžného kola .....	24
Obr. 14: 3D model oběžného kola .....	24
Obr. 15: Oběžné kolo s lopatkami .....	25
Obr. 16: 3D model dýzy .....	25
Obr. 17: 3D model jehly .....	26
Obr. 18: Model trysky .....	26
Obr. 19: Model trysky v řezu .....	27
Obr. 20: Hotová tryska v provozu .....	27
Obr. 21: Model unašeče .....	28
Obr. 22: Model stojanu turbíny .....	28
Obr. 23: Detail upevnění stojanu turbíny a přepažení .....	29
Obr. 24: Upevnění turbíny .....	29
Obr. 25: Hotová turbína i s čerpadlem v provozu .....	30
Obr. 26: Česle a vtok do potrubí .....	31
Obr. 27: Měření spádu .....	32
Obr. 28: Měření průtoku .....	33
Obr. 29: Měření otáček .....	34
Obr. 30: Celá měřicí soustava .....	35
Obr. 31: Rozdíl mezi pístovým a plunžrovým čerpadlem, převzato z [10] .....	39
Obr. 32: Řez čerpadlem .....	41
Obr. 33: Svařené čerpadlo se zpětnými klapkami .....	42
Obr. 34: Čerpadlo po tři čtvrtě roce provozu .....	43
Obr. 35: Namontované čerpadlo v provozu .....	44
Tab. 1: Průtok potoka v období 9.9.2018 až 28.4.2019 .....	14
Tab. 2: Rozsah $D_k$ v poměru $k d$ a počtu lopatek, překresleno z [9] .....	19
Tab. 3: Rozměry dýzy, překresleno z [9] .....	20
Tab. 4: Tabulka pro výpočet rozměrů lopatky, překresleno z [9] .....	21
Tab. 5: Závislost průtoku na otevření trysky .....	33
Graf 1: Graf průtoku během roku .....	15
Graf 2: Graf závislosti výkonu na otáčkách .....	36
Graf 3: Graf závislosti výkonu na průtoku .....	37
Graf 4: Graf závislosti účinnosti na průtoku .....	38

## Přílohy

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
88	0	1,466667	0,4	0	0
73	2	1,216667	0,4	6,115629	36,5635
60	4	1	0,4	10,05309	60,10438
51	5	0,85	0,4	10,68141	63,8609
42	6	0,7	0,4	10,55574	63,10959
24	8	0,4	0,4	8,04247	48,0835
7	9	0,116667	0,4	2,638936	15,7774

Příloha 1: Tabulka pro graf 2. Průtok 1,11·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
91	0	1,516667	0,4	0	0
84	1	1,4	0,4	3,518581	17,80014
77	2	1,283333	0,4	6,450731	32,63359
71	3	1,183333	0,4	8,922116	45,13607
62	4	1,033333	0,4	10,38819	52,5528
54	5	0,9	0,4	11,30972	57,21474
45	6	0,75	0,4	11,30972	57,21474
37	7	0,616667	0,4	10,84896	54,88377
27	8	0,45	0,4	9,047779	45,77179
10	10	0,166667	0,4	4,188787	21,19065

Příloha 2: Tabulka pro graf 2. Průtok 1,31·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
92	0	1,533333	0,4	0	0
85	1	1,416667	0,4	3,560469	15,40504
79	2	1,316667	0,4	6,618283	28,63525
74	3	1,233333	0,4	9,299106	40,23434
68	4	1,133333	0,4	11,3935	49,29613
62	5	1,033333	0,4	12,98524	56,18309
56	6	0,933333	0,4	14,07432	60,89522
50	7	0,833333	0,4	14,66075	63,43252
43	8	0,716667	0,4	14,40943	62,34511
37	9	0,616667	0,4	13,94866	60,35152
37	9	0,616667	0,4	13,94866	60,35152
29	10	0,483333	0,4	12,14748	52,55838
18	11	0,3	0,4	8,293798	35,88469

Příloha 3: Tabulka pro graf 2. Průtok 1,521·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
95	0	1,583333	0,4	0	0
89	1	1,483333	0,4	3,72802	12,90399
84	2	1,4	0,4	7,037162	24,35809
78	3	1,3	0,4	9,801761	33,92734
74	4	1,233333	0,4	12,39881	42,91663
68	5	1,133333	0,4	14,24187	49,29613
64	6	1,066667	0,4	16,08494	55,67563
60	7	1	0,4	17,5929	60,89522
54	8	0,9	0,4	18,09556	62,63509
48	9	0,8	0,4	18,09556	62,63509
44	10	0,733333	0,4	18,43066	63,795
39	11	0,65	0,4	17,96989	62,20012
31	12	0,516667	0,4	15,58229	53,93577
23	13	0,383333	0,4	12,52447	43,3516

Příloha 4: Tabulka pro graf 2. Průtok 1,9l·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
97	0	1,616667	0,4	0	0
85	2	1,416667	0,4	7,120937	21,8838
76	4	1,266667	0,4	12,73391	39,13338
73	5	1,216667	0,4	15,28907	46,9858
68	6	1,133333	0,4	17,09025	52,52111
60	8	1	0,4	20,10618	61,78955
51	10	0,85	0,4	21,36281	65,65139
42	12	0,7	0,4	21,11148	64,87902
35	14	0,583333	0,4	20,52505	63,07683
26	15	0,433333	0,4	16,33627	50,20401
18	16	0,3	0,4	12,06371	37,07373

Příloha 5: Tabulka pro graf 2. Průtok 2,14l·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
98	0	1,633333	0,4	0	0
88	2	1,466667	0,4	7,372265	19,08827
79	4	1,316667	0,4	13,23657	34,27211
75	5	1,25	0,4	15,70795	40,67102
72	6	1,2	0,4	18,09556	46,85302
63	8	1,05	0,4	21,11148	54,66185
56	10	0,933333	0,4	23,45721	60,73539
52	11	0,866667	0,4	23,95986	62,03687
48	12	0,8	0,4	24,12741	62,47069
41	14	0,683333	0,4	24,04364	62,25378
22	16	0,366667	0,4	14,74453	38,17653

Příloha 6: Tabulka pro graf 2. Průtok 2,54l·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
100	0	1,666667	0,4	0	0
89	2	1,483333	0,4	7,45604	16,73555
82	4	1,366667	0,4	13,73922	30,83854
78	5	1,3	0,4	16,33627	36,66777
74	6	1,233333	0,4	18,59821	41,74485
68	8	1,133333	0,4	22,787	51,14684
62	10	1,033333	0,4	25,97048	58,29236
54	12	0,9	0,4	27,14334	60,92491
46	14	0,766667	0,4	26,97579	60,54883
40	16	0,666667	0,4	26,80823	60,17275
26	19	0,433333	0,4	20,69261	46,44584

Příloha 7: Tabulka pro graf 2. Průtok 2,93l·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
101	0	1,683333	0,4	0	0
91	2	1,516667	0,4	7,623592	16,54689
83	4	1,383333	0,4	13,90677	30,18443
80	5	1,333333	0,4	16,75515	36,36678
76	6	1,266667	0,4	19,10087	41,45813
71	8	1,183333	0,4	23,79231	51,64083
64	10	1,066667	0,4	26,80823	58,18685
58	12	0,966667	0,4	29,15396	63,2782
51	14	0,85	0,4	29,90794	64,91471
44	16	0,733333	0,4	29,48906	64,00554
37	18	0,616667	0,4	27,89732	60,5507
27	20	0,45	0,4	22,61945	49,09516

Příloha 8: Tabulka pro graf 2. Průtok 3,03l·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
101	0	1,683333	0,4	0	0
91	2	1,516667	0,4	7,623592	15,52231
84	4	1,4	0,4	14,07432	28,65658
78	6	1,3	0,4	19,60352	39,91452
72	8	1,2	0,4	24,12741	49,12556
66	10	1,1	0,4	27,64599	56,2897
61	12	1,016667	0,4	30,66192	62,4304
54	14	0,9	0,4	31,66723	64,4773
50	15	0,833333	0,4	31,4159	63,96557
47	16	0,783333	0,4	31,49968	64,13615
40	18	0,666667	0,4	30,15926	61,40695
33	20	0,55	0,4	27,64599	56,2897

Příloha 9: Tabulka pro graf 2. Průtok 3,23l·s<sup>-1</sup>

Otáčky [n·min <sup>-1</sup> ]	F[N]	f[Hz]	Rameno [m]	P[W]	η[%]
102	0	1,7	0,4	0	0
93	2	1,55	0,4	7,791143	14,51529
85	4	1,416667	0,4	14,24187	26,53333
80	6	1,333333	0,4	20,10618	37,45882
74	8	1,233333	0,4	24,79762	46,19921
69	10	1,15	0,4	28,90263	53,84705
62	12	1,033333	0,4	31,16457	58,06117
56	14	0,933333	0,4	32,84009	61,18274
50	16	0,833333	0,4	33,51029	62,43136
43	18	0,716667	0,4	32,42121	60,40234
37	20	0,616667	0,4	30,99702	57,74901
28	22	0,466667	0,4	25,80293	48,07215

Příloha 10: Tabulka pro graf 2. Průtok 3,53l·s<sup>-1</sup>

Závislost výkonu na průtoku	
Průtok [l·s <sup>-1</sup> ]	P[W]
1,1	10,68
1,3	11,31
1,52	14,6
1,9	18,1
2,14	21,3
2,54	23,96
2,93	27,14
3,03	29,9
3,23	31,66
3,53	33,51

Příloha 11: Tabulka pro graf 3

Závislost účinnosti na průtoku:		
Průtok [ $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Plnění [%]	$\eta$ [%]
1,1	27,5	63,86
1,3	32,5	57,22
1,52	38	63,43
1,9	47,5	63,8
2,14	53,5	65,65
2,54	63,5	62,47
2,93	73,25	60,92
3,03	75,75	64,91
3,23	80,75	64,47
3,53	88,25	62,43

Příloha 12: Tabulka pro graf 4