



## **Středoškolská technika 2013**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Návrh Bánkiho turbíny**

**Petr Brzezina, Karel Kaszperydes, David Szuscik**

Střední průmyslová škola, Karviná, příspěvková organizace  
Žižkova 1818, Karviná - Hranice

## **Anotace**

Návrh Bánkiho turbíny pro malé vodní elektrárny. Obsahuje rozbor problematiky, výpočtovou i výkresovou část a cenovou kalkulaci

## **Annotation**

A design of Bánki turbine for small hydroelectric plants. It includes a concept analysis, calculations.

## **Obsah:**

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. Úvod.....                      | 4  |
| 2. Bánkiho turbína - teorie ..... | 5  |
| 3. Návrh - výpočtová část.....    | 7  |
| 4. Návrh - výkresová část.....    | 11 |
| 5. Cenová kalkulace .....         | 19 |
| 6. Závěr .....                    | 20 |
| 7. Použité odkazy .....           | 21 |
| 8. Přílohy .....                  | 22 |

## 1. Úvod

Jsme studenti čtvrtého ročníku Střední průmyslové školy v Karviné, obor strojírenství. V průběhu tohoto ročníku jsme se v předmětu stavba a provoz strojů seznámili s různými stroji. Zaujala nás problematika vodních turbin, a proto jsme se rozhodli zaměřit na vodní turbíny důkladněji. Jako objekt našeho studia i naší práce jsme si vybrali Bánkiho turbínu, protože její využití je dostupné pro zájemce z řad běžných občanů.

Nejdříve jsme se snažili z různých zdrojů získat co nejvíce informací, následně jsme prováděli základní výpočty a poté jsme přistoupili k zpracování výkresové dokumentace.

## 2. Bánkiho turbína - teorie

### Vstupní údaje:

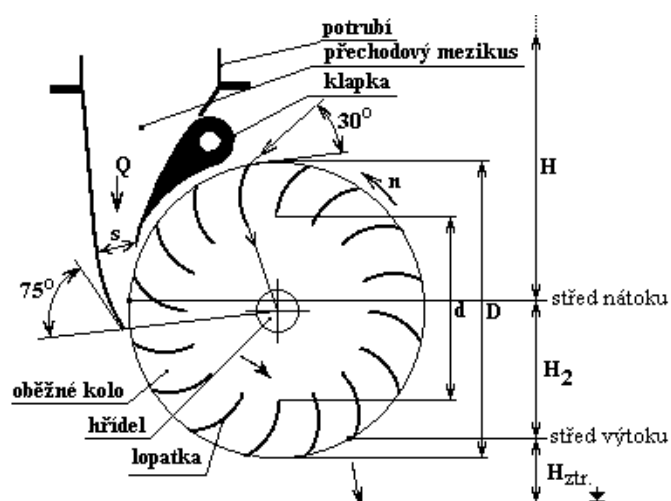
Činný spád = 3000mm

Průtok = 400 l/s

### Rozsah využití Bánkiho turbíny

| spád<br>[m]    | průtok<br>[l/s]   |
|----------------|-------------------|
| (min.1)        | (min. 0,5)        |
| <b>2 až 30</b> | <b>20 až 2000</b> |
| (max.200)      | (max.9000)        |

### Schéma:



Obrázek 1

### Legenda:

**H** - činný spád [m]

**H<sub>2</sub>** - spád v kole [m]

**H<sub>ztr</sub>** - výška nad spodní vodou [m]

**D** - vnější průměr kola [mm]

**d** - kružnice na níž končí lopatky [mm]

**D<sub>h</sub>** - průměr hřídele [mm]

**k<sub>ld</sub>** - poměr délky **L** k průměru **D**

**k<sub>ostř</sub>** - poměr otevření štěrbin **s** k průměru **D**

**n** - otáčky turbíny [ot./min.]

**lop.** - počet lopatek [ks]

**c<sub>1</sub>** - vstupní rychlost vody do lopatek [m/s]

**a** - plocha štěrbin [m<sup>2</sup>]

**s** - jmenovité otevření štěrbin [mm]

**L** - délka štěrbin [mm]

**L<sub>1</sub>** - délka lopatky [mm]

**R** - poloměr zakřivení lopatek [mm]

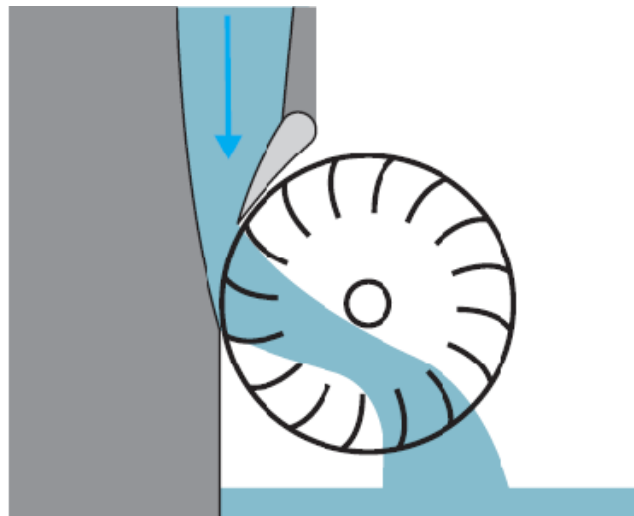
**Q** - jmenovitý průtok [l/s]

**Použití:**

Tato turbína najde využití na malých tocích. Má dobrou účinnost v rozsahu od 30 do 100% plnění. Je velmi jednoduchá na výpočet a lehce vyrobitelná i v amatérských podmínkách. I při drobných nepřesnostech dává zaručený výsledek. Není zapotřebí žádný speciální materiál, vyhovující je i běžný plech. Je snadno a rychle nastavitelná pomocí regulačního kolečka. Tato turbína je podstatně méně citlivá na nečistoty, než turbíny s dostředivým průtokem. Je odolná proti abrazi (obrušování) pískem. Není náchylná ke kavitaci. Ložiska jsou mimo vodu, takže je možno pracovat i s pitnou vodou bez nebezpečí jejího znečištění.

**Princip turbíny:**

Voda je přiváděna k turbíně potrubím kruhového průřezu. Před turbínou je umístěn mezikus (hrdlo), který mění kruhový průřez na obdélníkový průřez, tak aby voda dopadala rovnoměrně na lopatky. V skříní je umístěna regulační součást (klapka). Ve štěrbině se celý spád vody přemění na pohybovou energii. Voda vteče tangenciálně do oběžného kola s dlouhými lopatkami. Lopatky mají tendenci odklonit směr tekoucí vody směrem do středu turbíny. Při změně směru předá energii oběžnému kolu. Při prvním průtoku lopatkami se turbíně předá asi 79% z celkového výkonu. Potom vteče do lopatek na protější straně. Voda má opět tendenci změnit směr a předává lopatkám další část své energie 21% z celkového výkonu turbíny. Po opuštění lopatkového věnce volně vytéká pod oběžné kolo. Plně je využitý spád "H", částečně i spád "H2". Výškový rozdíl mezi oběžným kolem a spodní hladinou "H<sub>ztr</sub>" je spád ztracený.



Obrázek 2

**Konstrukční detaily:**

Voda do kola musí stékat po zakřivené stěně (rádius) tak, aby v okamžiku vstupu svírala s kolmicí vedenou od okraje kola do středu hřídele úhel 75°.

Minimální počet lopatek je 28 ks, ale doporučuje se 32 ks. Proto jsme zvolily 32 lopatek.

Výstupní hrana lopatky je přiosťřená a míří do středu hřídele

Oběžné kolo se otáčí ve skříní volně, prostor je zavzdušněn.

### 3. Návrh - výpočtová část

#### Příprava:

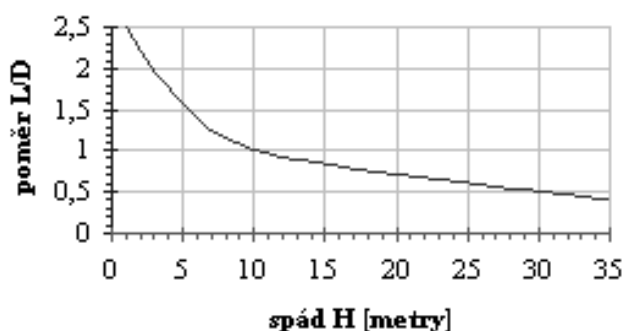
Před modelováním 3D modelu v programu Solid Edge ST4 jsme řádně prozkoumali dostupnou literaturu z důvodu zjištění, jak se daná problematika řeší. Dále jsme vypočítali potřebné hodnoty, které byly potřeba pro vizualizaci modelu (viz výpočet parametrů turbíny na další straně).

#### Rozměry:

Pro stanovení rozměru je důležité zvolit vhodný poměr mezi šířkou oběžného kola (L) a jeho průměrem D. Tento poměr L/D nazveme součinitelem kld. Je omezený pevností lopatky, a proto závisí na velikosti spádu.

#### Výpočet parametrů turbíny:

Na obrázku je rozsah v jakém rozmezí se může šířka turbíny měnit.



#### Postup výpočtu:

Na levé straně grafu odečteme hodnotu součinitele  $k_{ld}$  (provozní spád).

Ze spádu  $H$ [m] vypočítáme vstupní rychlost vody  $c_1$ [m/sec] :

$$c_1 = 0,98 \times \sqrt{19,81 \times H}$$

$$c_1 = 0,98 \times \sqrt{19,81 \times 3}$$

$$c_1 = 7,6 \text{ m/s}$$

Z rychlost  $c_1$ [m/sec] a hlností stroje  $Q$ [litr/sec] získáme plochu štěrby  $a$ [m<sup>2</sup>]:

$$a = \frac{Q}{1000 \times c_1}$$

$$a = \frac{400}{1000 \times 7,6}$$

$$a = 0,0529 \text{ m}^2$$

Z plochy  $a$ , součinitele  $k_{ld}$  a součinitele ostříku  $k_{ostř}$  vypočítáme největší otevření štěrbin  $s$ [mm]. Součinitel ostříku můžeme zvolit. (Pro amatérskou výrobu je doporučováno 0,2):

$$s = 1000 \times \sqrt{\frac{a \times k_{ostř}}{k_{ld}}}$$

$$s = 1000 \times \sqrt{\frac{0,0529 \times 0,2}{2}}$$

$$s = 73mm$$

Ze získaných hodnot dále vypočítáme vnější průměr oběžného kola  $D$ [mm]:

$$D = \frac{s}{k_{ostř}}$$

$$D = \frac{73}{0,2}$$

$$D = 365mm$$

Následně vnitřní průměr  $d$ [mm] na kterém končí vnitřní hrana lopatek:

$$d = D \times 0,66$$

$$d = 365 \times 0,66$$

$$d = 241mm$$

Štěrba bude mít délku  $L$ [mm] :

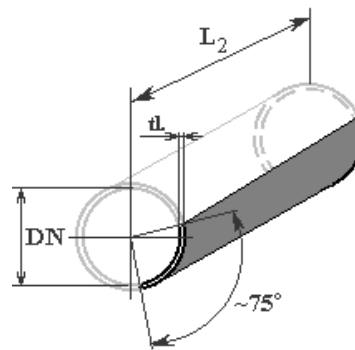
$$L = D \times k_{ld}$$

$$L = 365 \times 2$$

$$L = 730mm$$



Lopatka se většinou vyrábí podélným výřezem z trubky:



Obrázek 3

Světlost **DN**[mm] této trubky vypočítáme z vnějšího průměru oběžného kola turbíny **D**:

$$DN = 0,326 \times D - 2 \times tl.$$

$$DN = 0,326 \times 365 - 2 \times 5$$

$$DN = 114 \text{ mm}$$

Jmenovité otáčky turbíny **n**[ot./min.] vycházejí z průměru **D** a vstupní rychlosti vody **c<sub>1</sub>**:

$$n = 9898 \times \frac{c_1}{D}$$

$$n = 9898 \times \frac{7,6}{365}$$

$$n = 205 \text{ ot / min.}$$

Přibližný průměr hřídele **d<sub>h</sub>**[mm] :

$$d_h = 160 \times \sqrt[3]{\frac{H \times Q}{75 \times n}}$$

$$d_h = 160 \times \sqrt[3]{\frac{3 \times 400}{75 \times 205}}$$

$$d_h = 68 \text{ mm}$$

**Generátor:**

Jako výstupní prvek jsme zvolili Trojfázový asynchronní motor HAIE1 s účinností IE1 v hliníkové kostře.



Obrázek 4

Pro vizualizaci funkčního celku jsme vymodelovali zjednodušený model, protože podrobné řešení sestavy končí u výstupní hřídele turbíny.

**Polotovary:**

Trubka: TR  $\varnothing 124 \times 740 - 5$  ČSN 42 5715

Plechy: plechy různých rozměrů normy ČSN 42 5310

Kruhové polotovary: Tyče různých  $\varnothing$  dle ČSN 42 5510

Profily: Jákl  $120 \times 80 \times 6$  ČSN 42 69 35

Jákl  $80 \times 80 \times 5$  ČSN 42 69 35

## 4. Návrh - výkresová část

Aby bylo možno zhotovenou turbínu naplno využít je zapotřebí navrhnout vhodný tvar zařízení, ve kterém bude uložena. Po zhlédnutí několika různých návrhů na internetu, jsme začali se svými návrhy, které jsme pak spojili a vytvořili kompletní návrh.

Zařízení se skládá z několika základních částí. Jednotlivé části jsou pak spojeny pomocí šroubových spojů, nebo svarem.

### Základní části:

- Stojan
- Skříň
- Ložiskové domky
- Kryt
- Regulační mechanismus
- Přívod

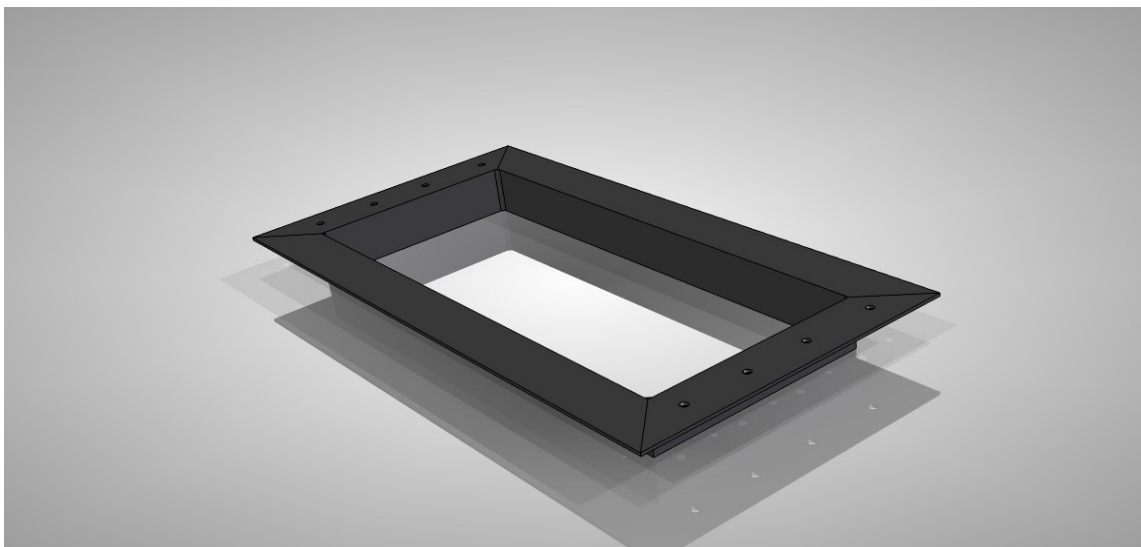
### Stojan

Tato součást slouží pro ustavení celého zařízení.

Možná ustavení volíme podle terénu, ve kterém se bude zařízení ustavovat.

Muže být ustaven na ocelové konstrukci, popřípadě zalit do betonu.

Je tvořen ze vzájemně svařených profilů.

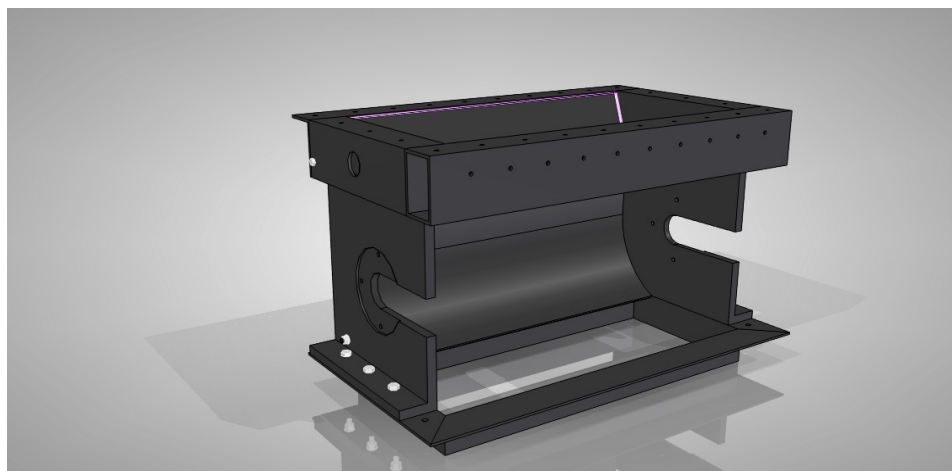


Obrázek 5

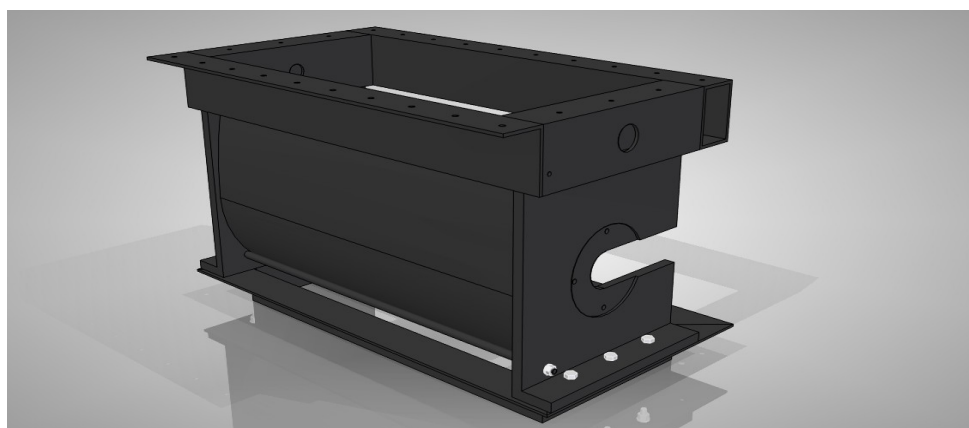
## Skříň

Skříň je hlavní nosnou částí celého zařízení.

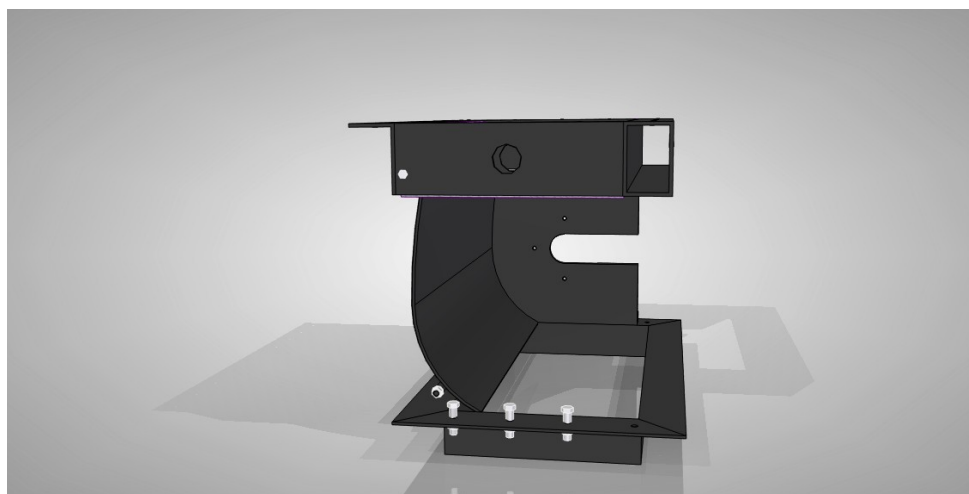
Je tvořena tvarovaným navařeným plechem, má za úkol zajistit správný směr toku vody. Nohy skříňe mají výřezy, které umožňují při montáži vložit turbínu do svařence skříňe. Po vložení turbíny se ze stran nasunou domky ložisek.



Obrázek 6



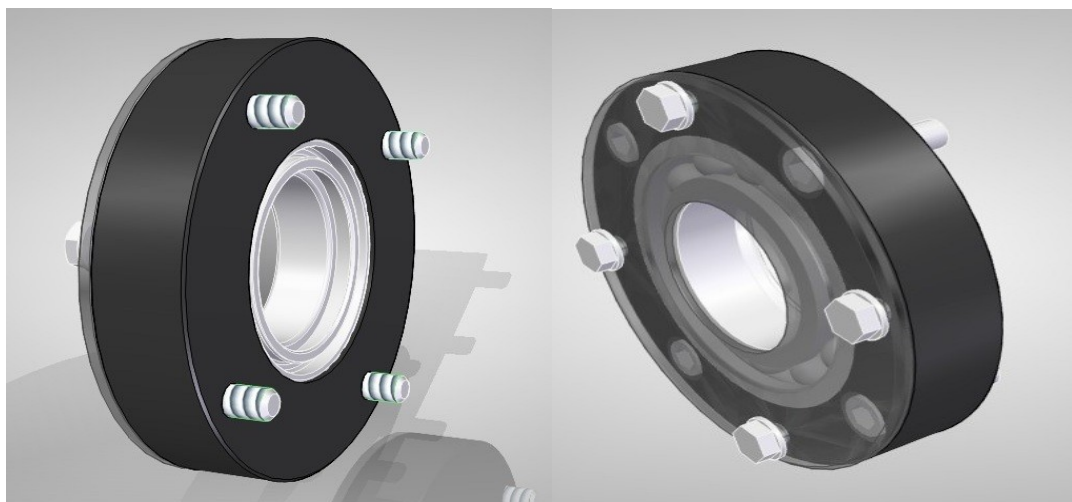
Obrázek 7



Obrázek 8

## Ložiskové domky

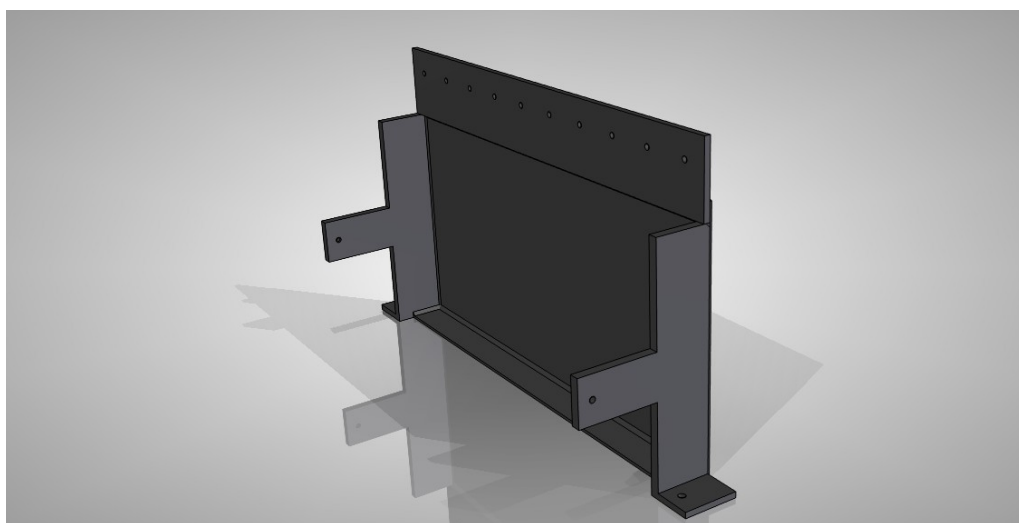
Aby se turbína v zařízení bez problémů otáčela, je zapotřebí ji uložit do ložisek. Pro zamezení styku ložisek s vodou, jsou ložiska uložena v domcích opatřených Guferem. Jsou dva domky, jeden má průchozí víko, přes které vystupuje hřídel turbíny.



Obrázek 9

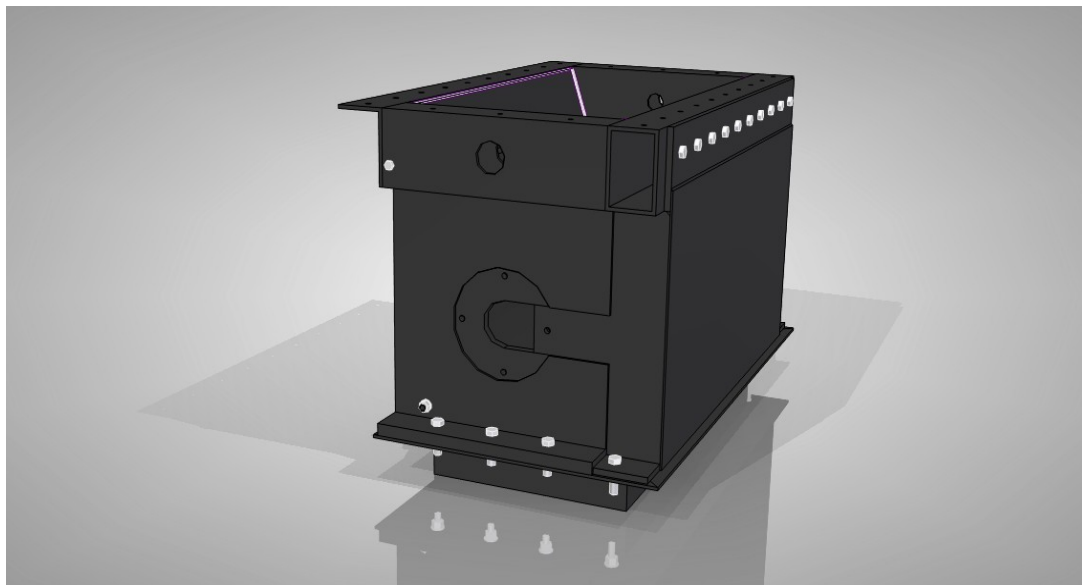
## Kryt

Slouží pro uzavření skříně.  
Zabraňuje rozstříku vody po prostoru.  
Po sundání umožňuje údržbu.  
Je svařen z několika plechů.



Obrázek 10

## Skříň s krytem



Obrázek 11

## Regulační mechanismus

Slouží pro regulaci množství toku vody na turbinu.

Je tvořen ovládacím pákovým mechanismem, který je spojen s klapkou uvnitř zařízení.



Obrázek 12

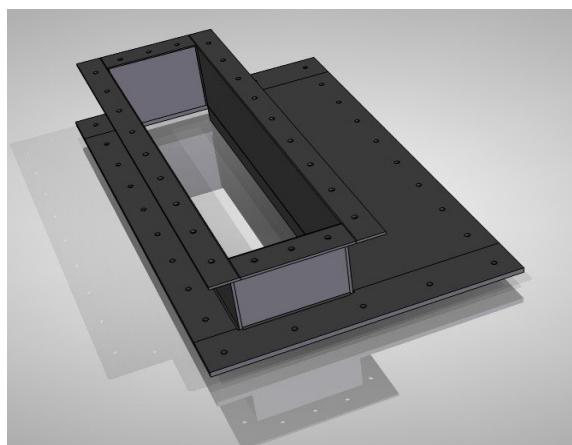
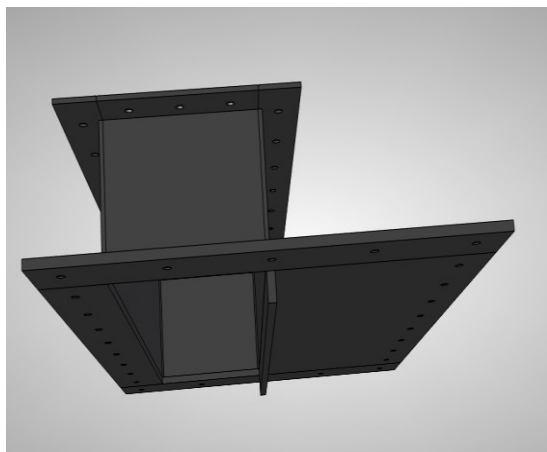
## Přívod

Usměrňuje a zajišťuje přívod vody na klapku.

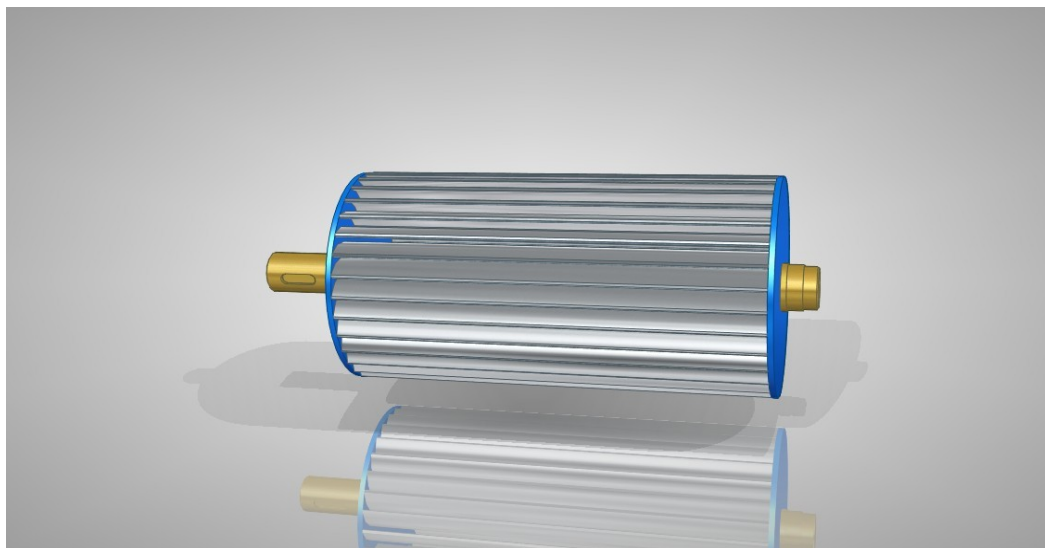
Zbraňuje toku vody obtékat klapku.

Tvořen svařencem z plechu.

Je spojen šroubovým spojem se skříní.



## Oběžné kolo

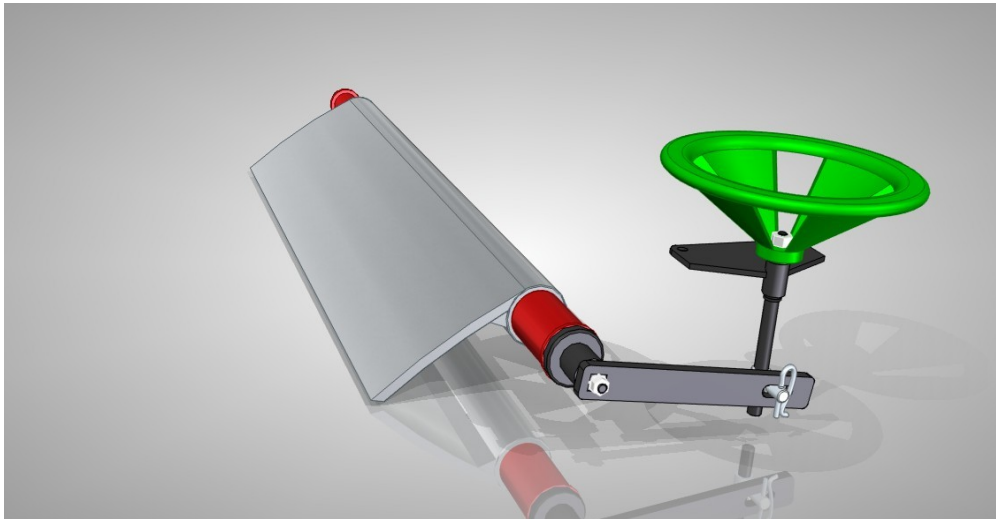


Obrázek 13

## Princip funkčnosti

Při pootočení kolem mechanismu se jezdec v drážce páky posouvá nahoru a dolů a s ním se pohybuje klapka.

Hřídel klapky je uložena v pouzdrech z polyamidu.

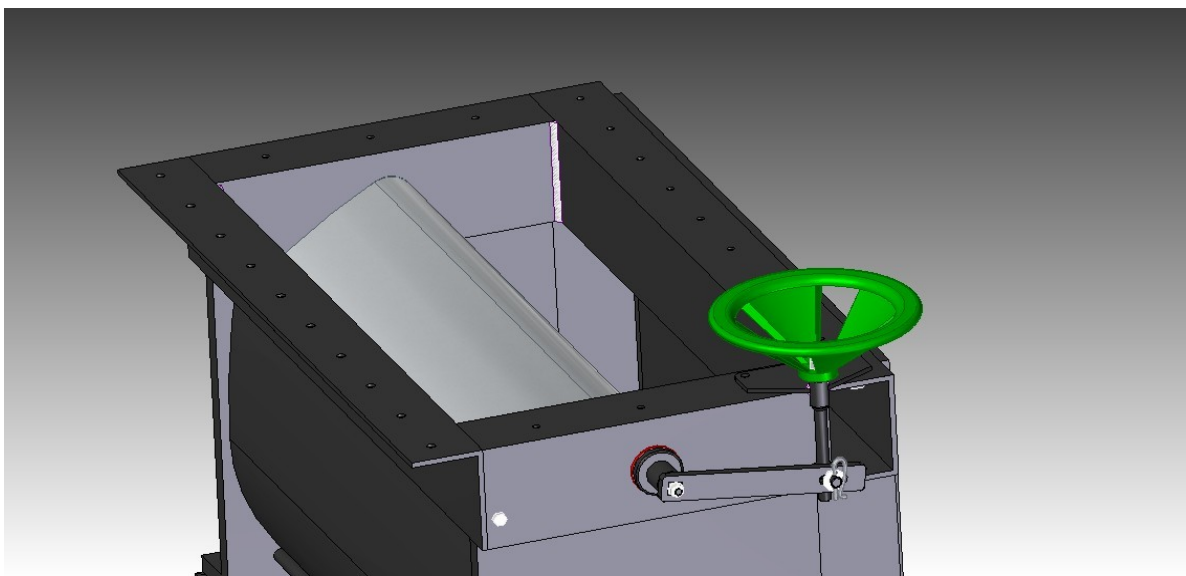


Obrázek 14

## Montáž

Uchycení mechanismu na rámu skříně je pomoci šroubu.

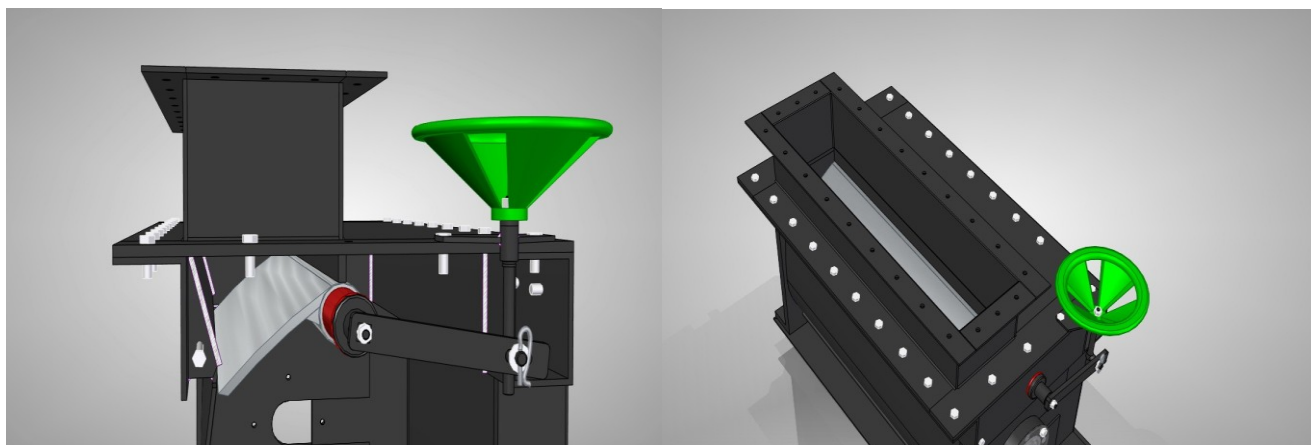
Smontování klapky s hřídelí je jednoduché. Nejprve nastrčení pouzder do rámu skříně. Pak vložíme klapku dovnitř. Větším pouzdrem se čtvercovou dírou nastrčíme hřídel, která zde přesně zapadne do čtvercového otvoru v pouzdře i klapce. Tím se zajistí také potřebná vzájemná poloha klapky vůči ostatním komponentům mechanismu.



Obrázek 15



## Uchycení



Obrázek 16

## Generátor

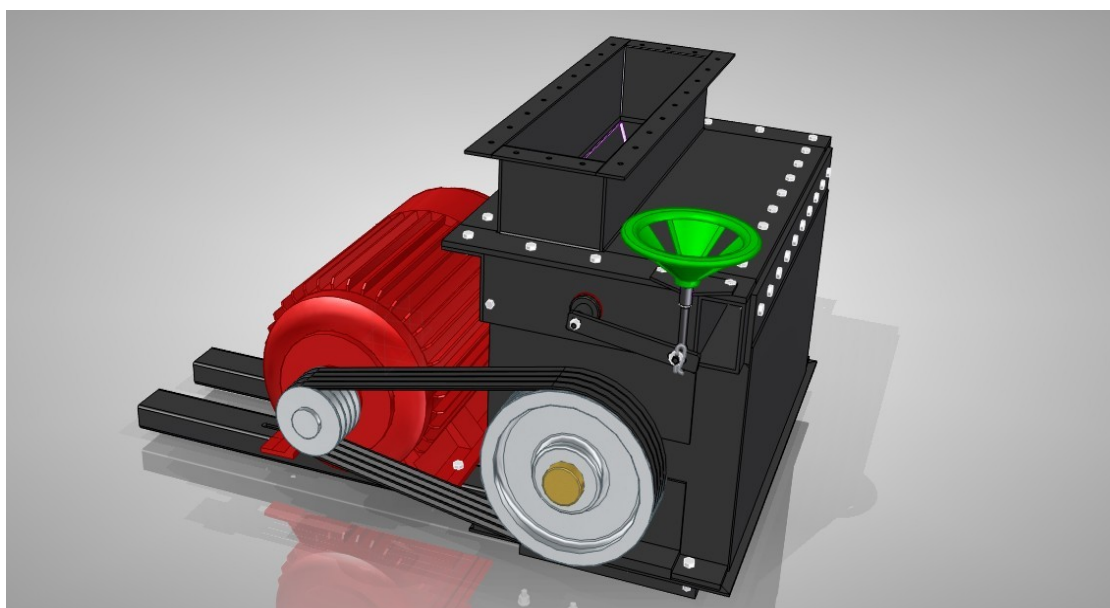
Použili jsme upravený asynchronní motor typu HAIE1 v hliníkové kostře.

Generátor a jeho uchycení je jen pro vizualizaci.

Naše řešení: ke stojanu se přivaří "jäckly" s vytvořenými drážkami pro uchycení generátoru.

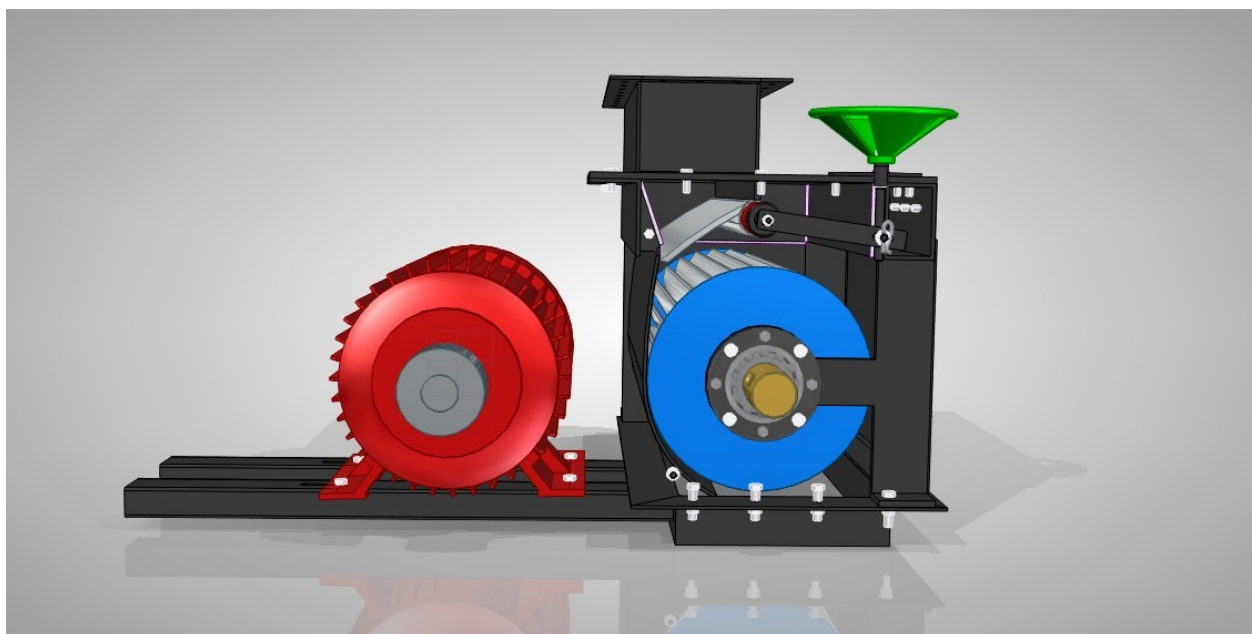
Při povolení šroubu lze s generátorem pohybovat, jelikož jsme zvolili řemenový převod – je možno toto použít pro napínání řemenů.

## Sestava s generátorem

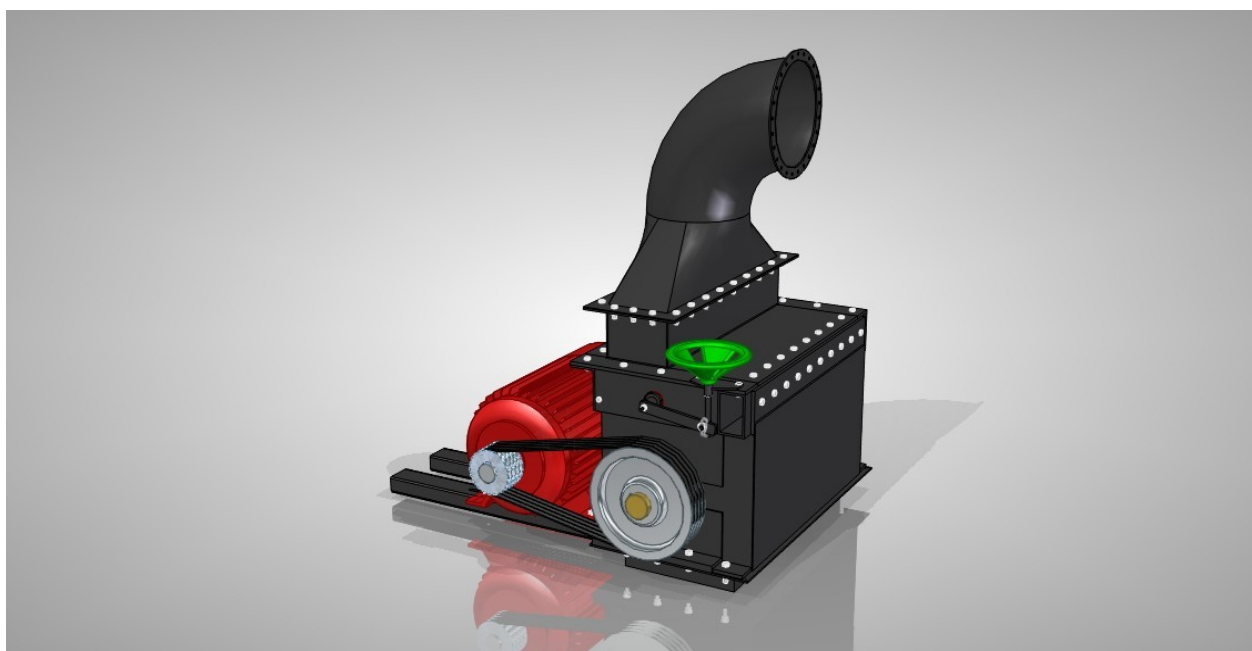


Obrázek 17

## Pohled dovnitř



Obrázek 18



Obrázek 19

## 5. Cenová kalkulace

### Rozpis materiálu

|                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| Jäckly .....                   | 1 745 Kč         |
| Trubky .....                   | 3 492 Kč         |
| Ložiska, Gufera .....          | 734 Kč           |
| Ocelové tyče .....             | 3 217 Kč         |
| Plechý .....                   | 11 692 Kč        |
| Šrouby, matice, podložky ..... | 1 110 Kč         |
| Náklady na výrobu .....        | 10 000 Kč        |
| <b>Celkem .....</b>            | <b>31 990 Kč</b> |

## **6. Závěr**

Naším cílem bylo vypracovat dokumentaci, kterou by bylo možno použít při stavbě Bánkiho turbíny pro malou vodní elektrárnu.

Pro názornost jsme vytvořili na základě našich výkresů částečný model této turbíny pomocí 3D tiskárny a model pro vysvětlení principu činnosti na CNC obráběcích strojích.

Byli bychom rádi, kdyby se podle našich návrhů někdo odhodlal vyrobit a uvést do provozu, možná se v budoucnosti o to pokusíme sami.

## 7. Použité odkazy

- 1) [http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho\\_turb%C3%ADna](http://cs.wikipedia.org/wiki/B%C3%A1nkiho_turb%C3%ADna)
- 2) <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- 3) <http://www.cagem.eu/nizkonapetove-motory/ms-series.html>
- 4) [http://www.weiku.com/products/5845402/Permanent\\_Magnet\\_Water\\_Power\\_Generator.html](http://www.weiku.com/products/5845402/Permanent_Magnet_Water_Power_Generator.html)

## 8. Přílohy

### Příloha č. 1 – výkresová dokumentace

### Tabulka č. 2 – tabulka výpočtů Bánkiho turbíny

**Výpočet Bánkiho turbíny:** tabulka vytvořena Microsoft Excel v.5 a vyší vyvířil Laika V. r.2001  
autor neodpovídá za škody vzniklé nesprávným použitím výpočtu a nevhodnou konstrukcí

| Zadáni:          |                  |
|------------------|------------------|
| čistý spád "H1": | 3 [metry]        |
| hltnost "Q":     | 400 [litr./sec.] |

| Upřesnění:                    |   |
|-------------------------------|---|
| poměr "L/D":                  | 2 0,4...2,5<br><small>poměr L/D může být max. 1,5</small> |
| součinitel ostříku "k-ostř.": | 0,2 0,05...0,3  |
| tloušťka lopatky "tl.":       | 5 [mm]  |

| Výsledky:                        |   |
|----------------------------------|---|
| výkon:                           | 9,18 [kW]   |
| jmenovité otáčky turbíny "n":    | 205 [ot./min.]  |
| průběžné otáčky:                 | 369 [ot./min.]  |
| průměr oběžného kola "D":        | 365 [mm]<br><small>průměr je vůči spádu v povolených mezích</small> |
| vnitřní průměr "d2":             | 241 [mm]  |
| délka štěrbin "L":               | 730 [mm]  |
| délka lopatky:                   | 740 [mm]  |
| otevření štěrbin "s":            | 73 [mm]   |
| tloušťka na výrobu lopatky "DN": | 114 [mm]  |
| přibližný průměr hřídele "dh":   | 68 [mm]   |

| Předpoklady:           |            |
|------------------------|------------|
| vstupní úhel vody:     | 15 [stup.] |
| vstupní úhel lopatky:  | 30 [stup.] |
| výstupní úhel lopatky: | 90 [stup.] |
| počet lopatek:         | 32 [ks]    |
| účinnost:              | 78 [%]     |

| Mezivýpočty:                |              |
|-----------------------------|--------------|
| vstupní rychlost vody "c1": | 7,6 [m/sec.] |
| plocha štěrbin "a":         | 0,0529 [m2]  |

Obrázek 20