



Středoškolská technika 2009

Setkání a prezentace prací  
středoškolských studentů na ČVUT

## FRANCISOVA TURBÍNA

Václav Brauner, Petr Krbeček

Střední průmyslová škola strojnická  
tř. 17. listopadu 49, Olomouc

V práci je popsáno, jak funguje Francisova vodní turbíny a předvedeny hlavní součásti na vytvořeném modelu. A protože psané dokumentace je žalostně málo, hlavním zdrojem byl internet, ze kterého jsme čerpaly naprostou většinu informací.

V roce 1848 James B. Francis vylepšil předchozí typy turbín a podařilo se mu dosáhnout celkově až 90% efektivity (účinnosti). Pomocí testů a měření vytvořil maximálně efektivní turbínu. Jeho přispěním se navíc metody výpočtů a měření staly součástí teorie turbín. Pomocí jeho analytických metod lze nyní úspěšně navrhnout efektivní turbínu, která bude přesně odpovídat konkrétním požadavkům instalace. Jedná se o turbínu přetlakovou, tzn., že pracovní kapalina mění tlak během své cesty oběžným kolem a přitom odevzdává svou energii. Pro udržení směru toku vody jsou nutné rozváděcí lopatky. Rotor turbíny se nachází mezi vysokotlakým přívodem a nízkotlakou savkou většinou v patě přehrady. Vstupní potrubí se postupně zužuje. Pomocí rozváděcích (automaticky stavěných regulátorem) lopatek je voda směřována na rotor. Jak voda prochází rotorem, její rotační rychlost se zmenšuje a zároveň odevzdává energii rotoru. Tento efekt (spolu s působením samotného vysokého tlaku vody) přispívá k efektivitě turbíny. Výstup z turbíny, savka, je tvarován tak, aby byla rychlost výstupní vody co nejnižší.



Obr. 1: Oběžné kolo Francisovy turbíny

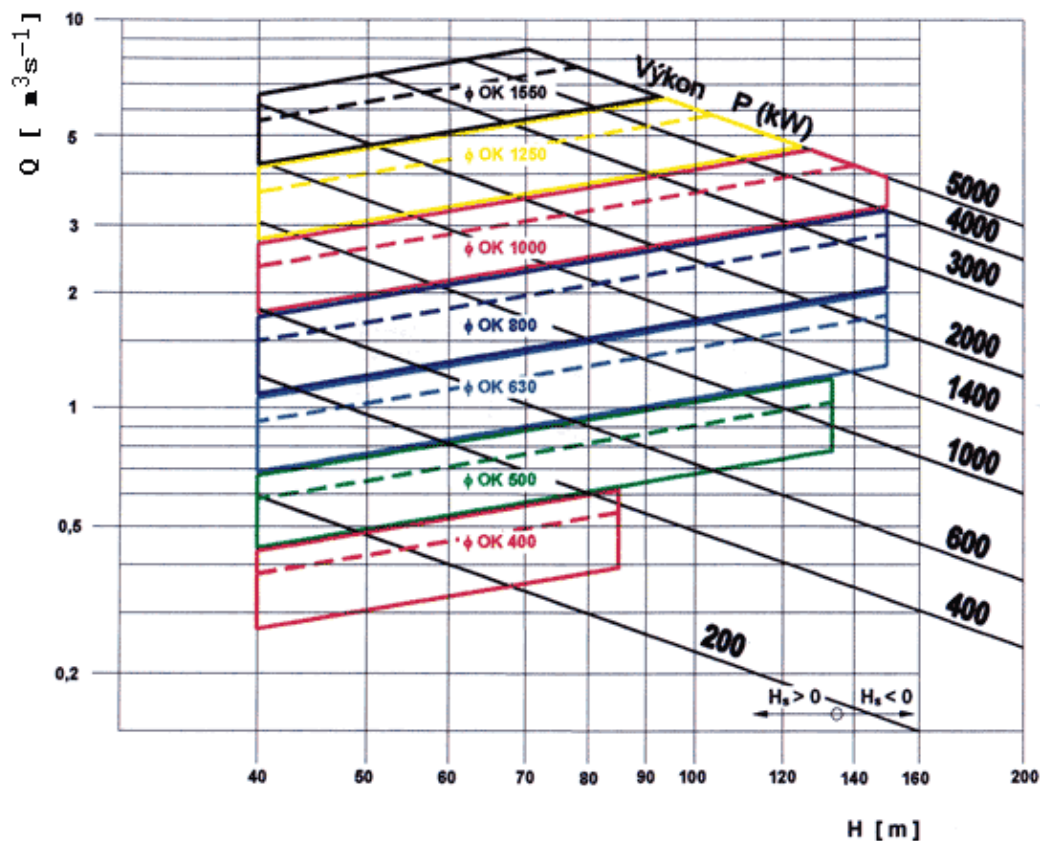


Diagram 1: Provozní oblasti Francisových turbín

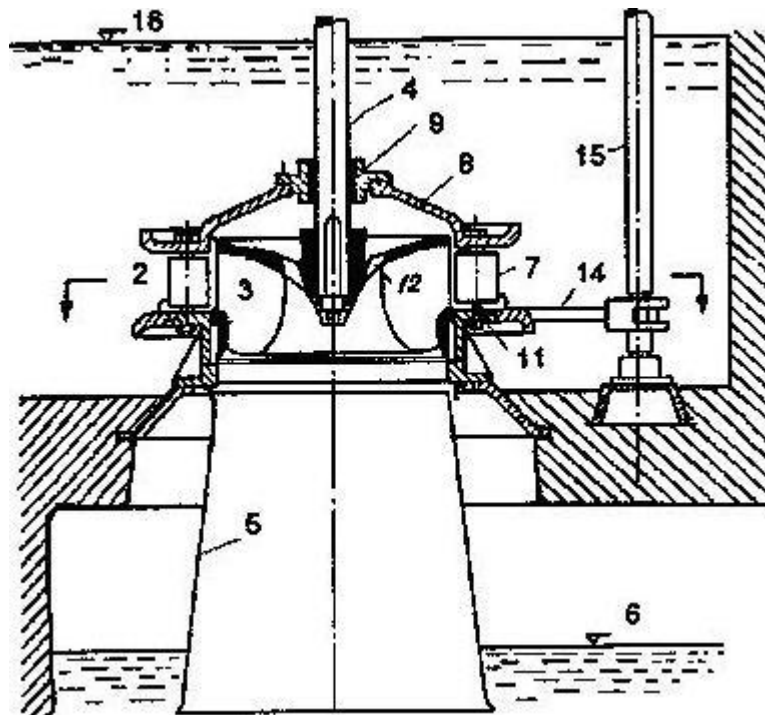
### Typy Francisových turbín

Francisova turbína má dvě varianty podle uložení hřídele a to buď vertikální, nebo horizontální. Dále je můžeme rozdělit na kašnové, kotlové, spirální, dvojčité.

### Francisova vertikální turbína

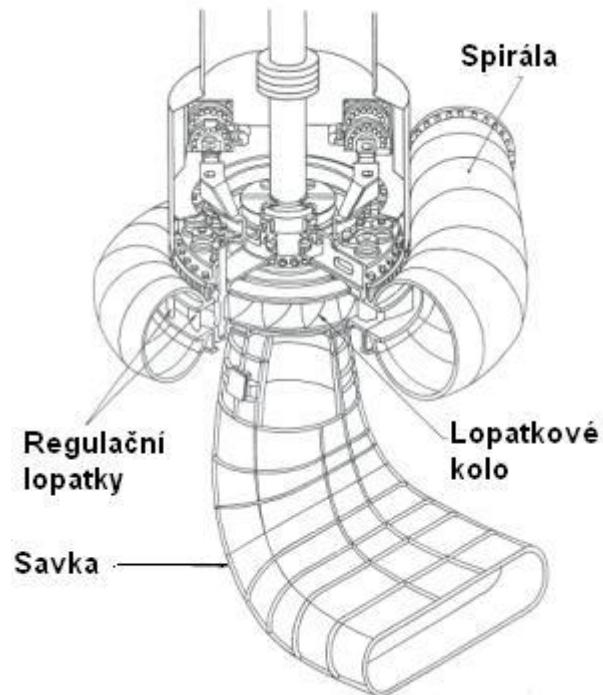
Vertikální kašnová Francisova turbína byla hojně rozšířeným přetlakovým vodním motorem v minulosti. Používala se nejčastěji jako hlavní mechanický pohon větších mlýnů, městských elektráren a průmyslových závodů. Vlastní turbína je umístěna na dně turbínové kašny naplněné vodou. Její hřídel vede svisle vzhůru do strojovny, která je dostatečně vysoko nad spodní vodou, aby nehrozilo její zaplavení. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V zakřivených mezilopátkových kanálech oběžného kola voda mění směr i rychlost a tím předává svoji energii. Po výtoku z oběžného kola se voda odvádí do odpadního kanálu. Protože je turbína z důvodů snadné údržby a oprav nad spodní hladinou, je voda odváděna savkou. Voda při průchodu kuželovitě se rozšiřující savkou snižuje rychlost, což s hmotností celého vodního sloupce v ní vytváří podtlak přenášející se na odtokovou stranu oběžného kola. Toto technické uspořádání se používá na spádech od 1,5 m do cca 4-5 m při středních a velkých průtocích (asi 600–8000 l/s). Ve srovnání s horizontální turbínou má vertikální o pár procent větší účinnost – ty se ale

záhy ztratí v převodu. Ten se používá u menších spádů. Velké turbíny mají mnohapólové generátory přímo na ose. (viz Příloha 3)



Obr. 2: Řez vertikální Francisovou turbínou

Spirální turbína je trochu více uzavřenější, voda neobklopuje celý mechanismus ale je přiváděna potrubím do spirály která obklopuje oběžné kolo.



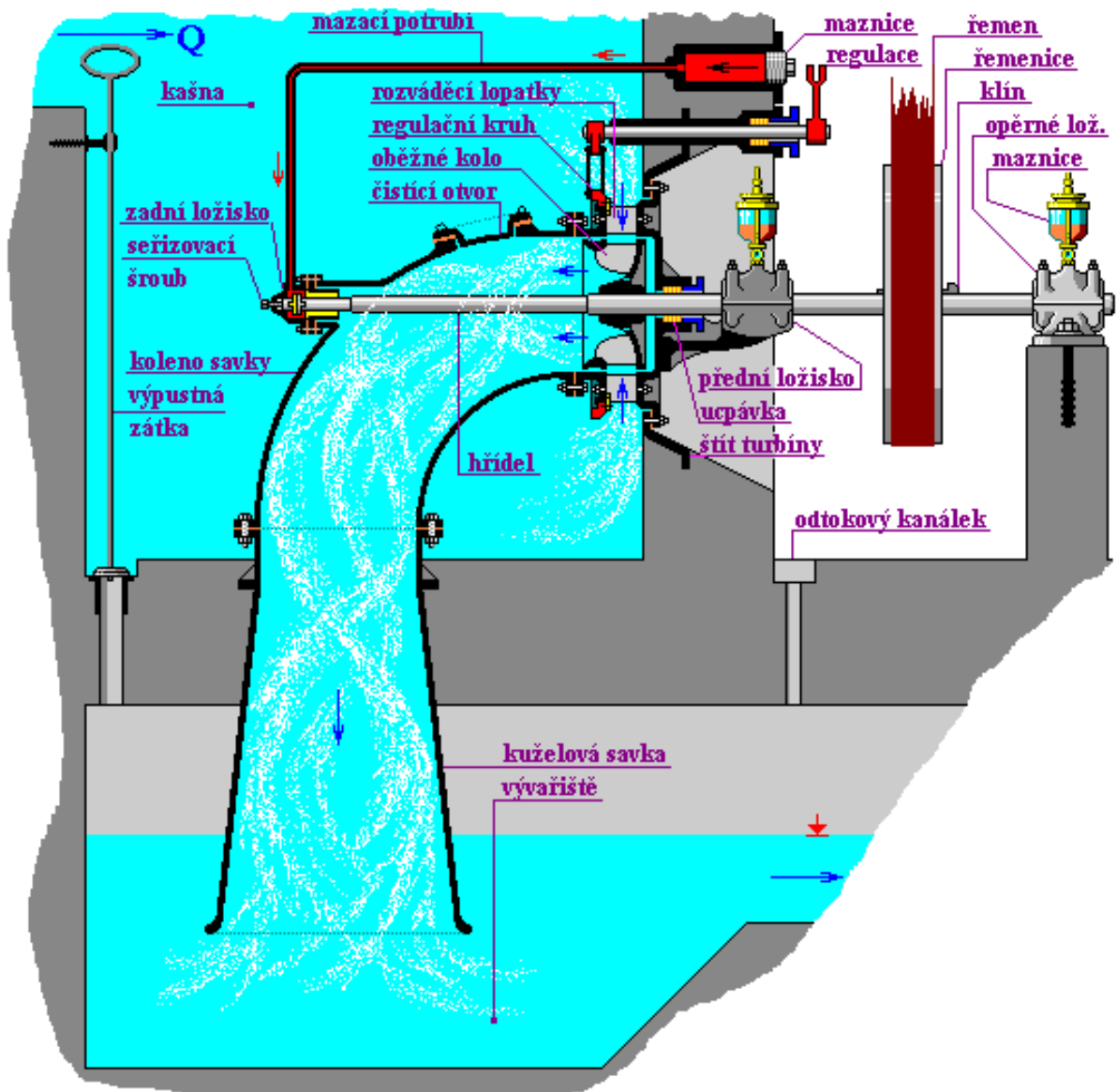
Obr. 3: Spirální Francisova turbína

## Francisova horizontální turbína

Horizontální Francisova turbína je obdobná jako vertikální, rozdíl je pouze v uložení hřídele, které je horizontální. Mohou být taktéž kašnové nebo spirální.

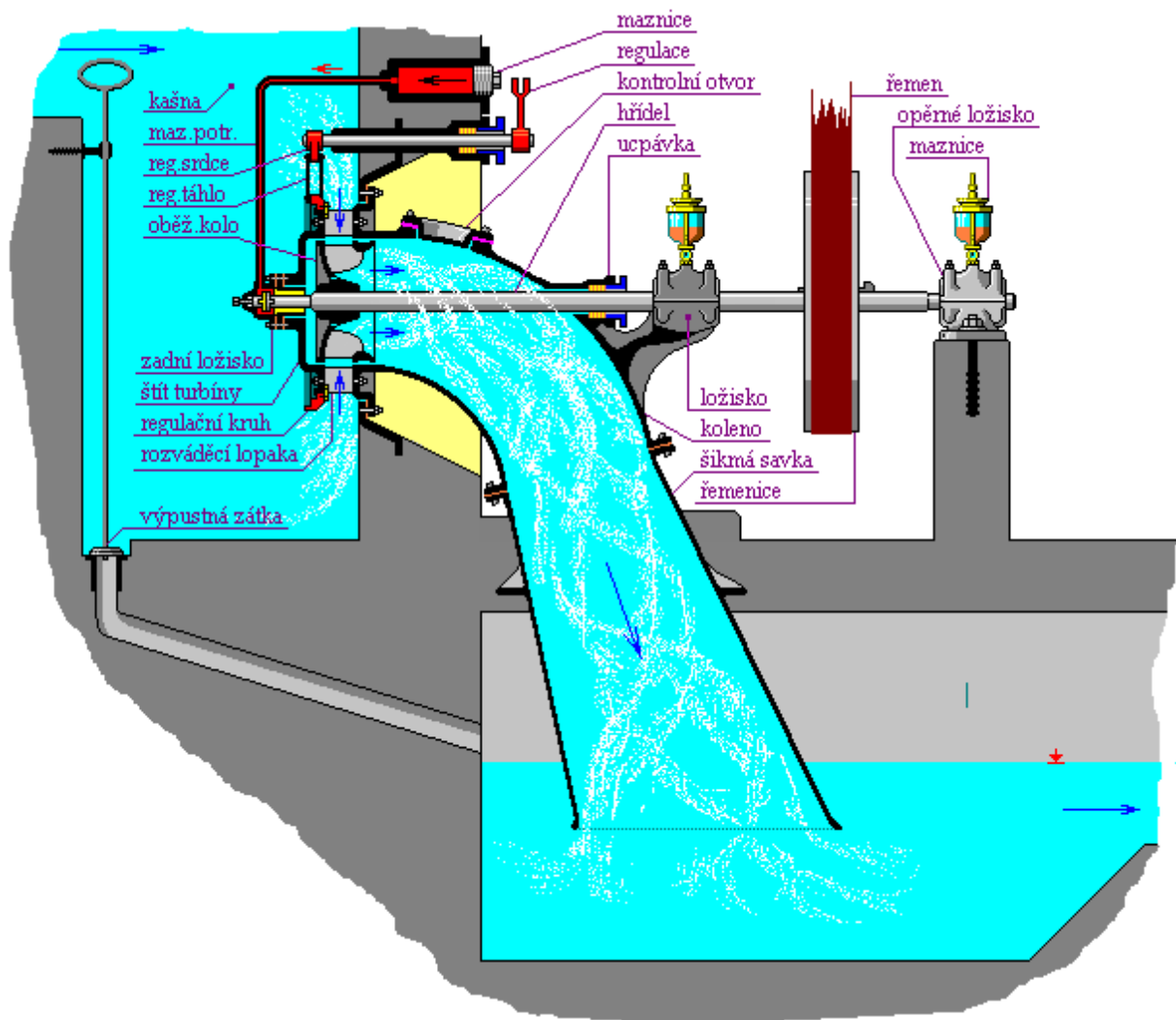
Kašnová má dvojití řešení savky a to suchou a mokrou savku. Vlastní turbína je umístěna ve stěně turbínové kašny naplněné vodou. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V oběžném kole voda předává svoji energii a po výtoku z oběžného kola se odvádí do odpadního kanálu. Protože je turbína ve stěně kašny a vysoko nad spodní hladinou, řeší se to pomocí kolenové savky. Kolenová savka kruhového průřezu je pro toto horizontální uspořádání typická. Toto koleno může být vedeno uvnitř kašny - pak hovoříme o savce mokrě nebo strojovnu - pak hovoříme o savce suché.

*S mokrou savkou* - Její použití vyžaduje zřídit dostatečně velké vývaňště a to přímo pod vlastní kašnou. To jde především u kašny postavené mimo vlastní strojovnu.



Obr. 4: Horizontální kašnová turbína s mokrou savkou

*Se suchou savkou* - Toto řešení se používá tehdy, když pod kašnou nemůže být vývařič. Je výhodné tam, kde odpadní kanál vede pod strojovnu. Vlastní kašna může být menší a hlubší protože je její dno dobře podepřeno.



Obr. 5: Horizontální kašnová turbína se suchou savkou

### Kavitace

Kavitace vzniká při poklesu tlaku v kapalině, přičemž vznikne imploze<sup>1</sup>. Tenhle pokles tlaku bývá způsoben lokálním zvýšením rychlosti (tzv. hydrodynamická kavitace). Kavitace je zpočátku vyplněna vakuem, později do ní mohou pronikat plyny z okolní kapaliny. Když zmizí podtlak, který kavitaci vytvořil, její bublina kolabuje za vzniku rázové vlny s destruktivním účinkem na okolní materiál.

Vzniká například na lopatkách vodních šroubů, turbín na čerpadlech a dalších zařízeních, která se velkou rychlostí pohybují v kapalině. Kavitace způsobuje hluk, snižuje účinnost strojů a může způsobit jejich poškození. Na vznik kavitace má vliv především velikost podtlaku, soudružnost<sup>2</sup> kapaliny a teplota (čím je nižší, tím je menší kavitace).

<sup>1</sup> Opak exploze, těleso nebo hmota se zborští do vlastního objemu.

<sup>2</sup> Povrchové napětí



Obr. 6: Kavítace



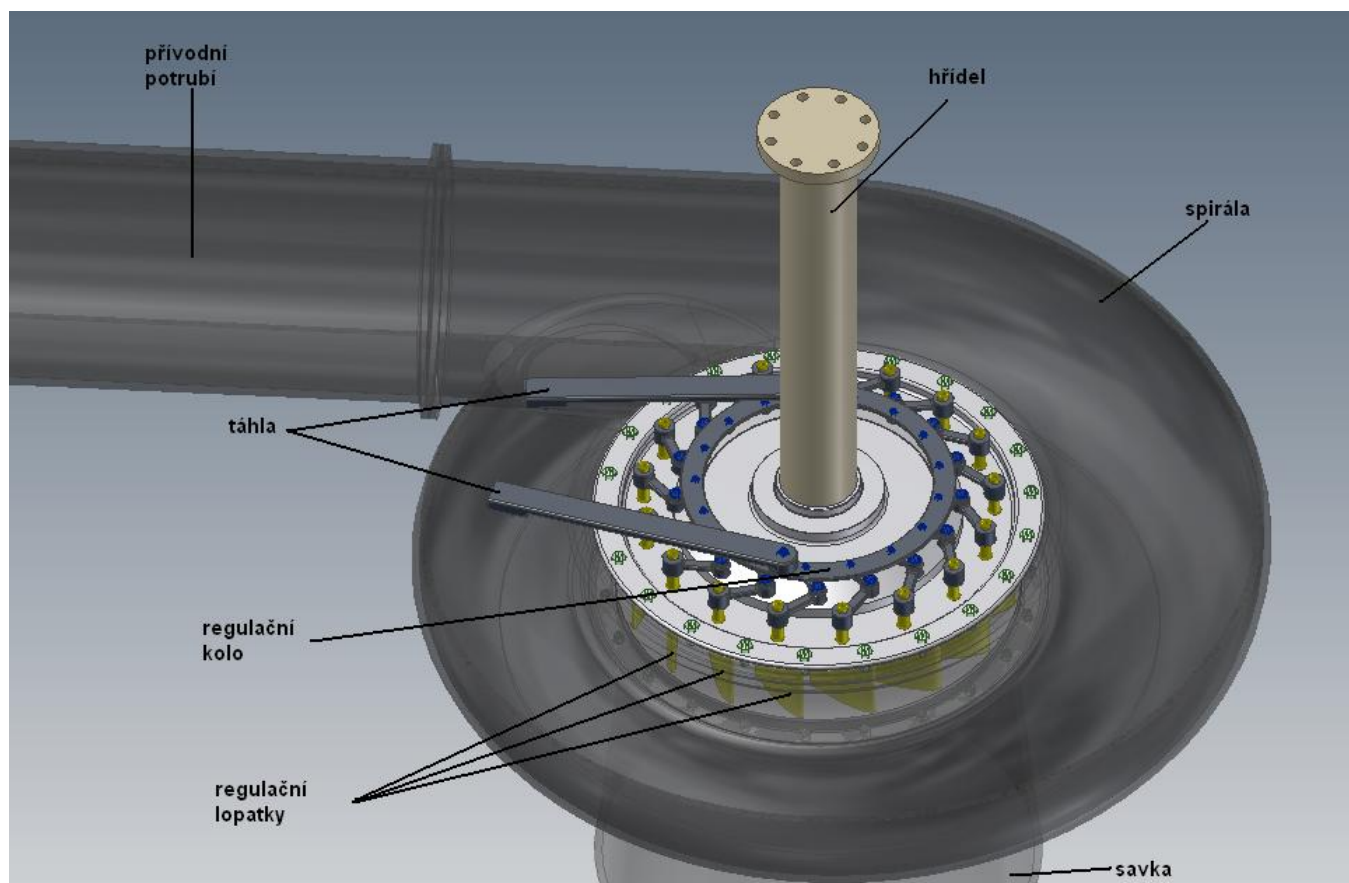
Obr. 7: Kavítace na oběžném kole Francisovy turbíny

## Vlastní řešení turbíny

V této části předvedu svůj vlastní návrh Francisovy turbíny, její model v Inventoru 2009 a popis jednotlivých částí konstrukce.

Celková konstrukce

Vytvořený model je vertikální spirální Francisova turbína. Skládá se z několika základních částí: přívodní potrubí, spirála, vrchní a spodní víko, savka, regulační kolo ovládané dvěma táhly, regulační lopatky, hřídel a samozřejmě oběžné kolo (není na obrázku vidět). Dále model obsahuje menší součásti, jako jsou šrouby, nýty, těsnící kroužky a pera.

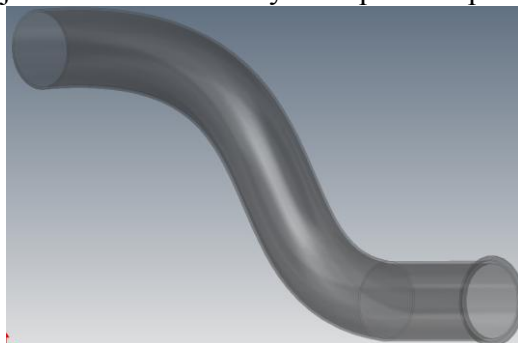


Obr. 8: Celkový pohled na model

Jednotlivé součásti

1. Přívodní potrubí

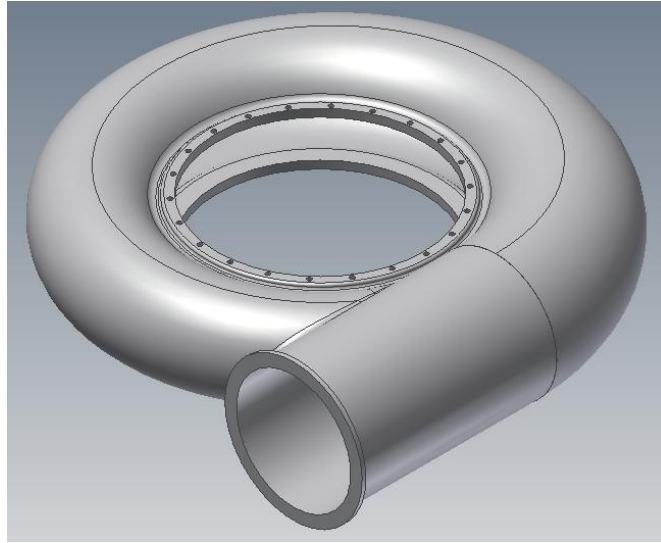
Obyčejné potrubí usměřující vodu z nádrže aby se dopravila správnou rychlostí k turbíně.



Obr. 9: Potrubí

## 2. Spirála

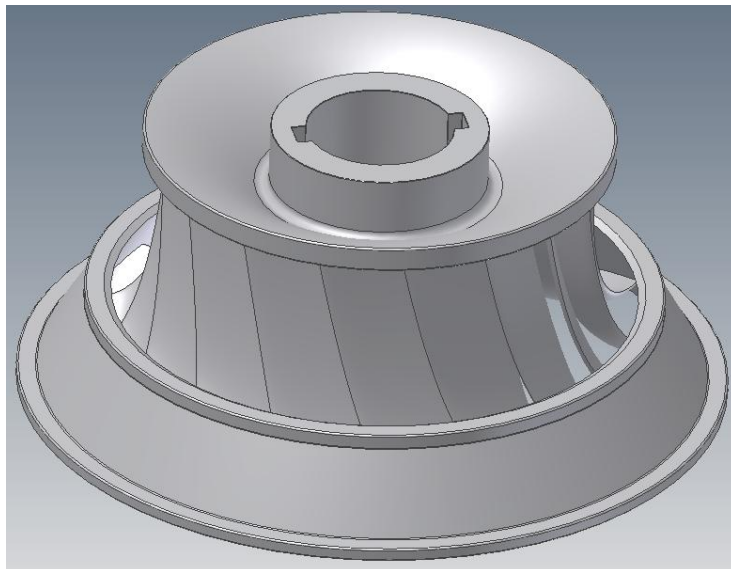
Spirála slouží k tomu, aby se voda přivedená potrubím dostávala k oběžnému kolu rovnoměrně po celém obvodě. Postupně se zužuje.



Obr. 10: Spirála

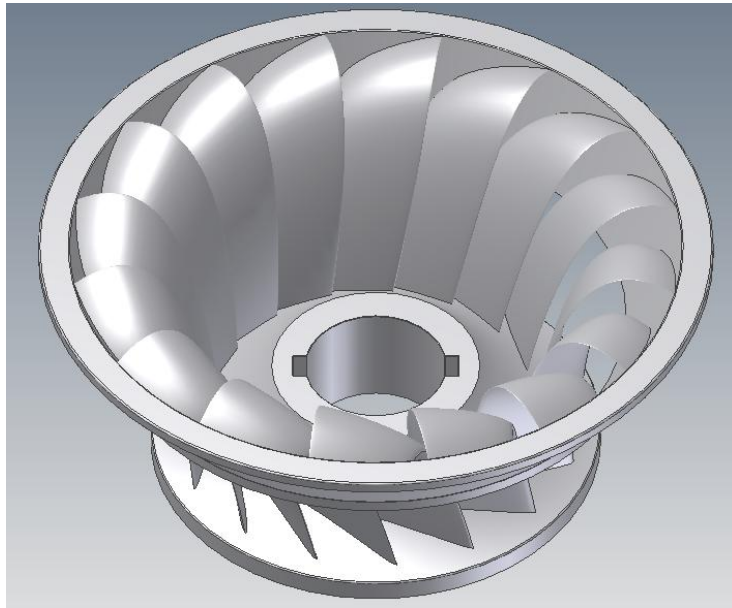
## 3. Oběžné kolo

Nejdůležitější část, má různé tvary pro různé spády. Uvnitř má nepohybující se lopatky velice složitého tvaru, které jsou uzpůsobeny pro co největší účinnost. Modelování oběžného kola byla nejobtížnější část a výsledek je pouze pro představu jak vypadá. V praxi návrh lopatek a celkově oběžného kola trvá několik měsíců a provádí jej zkušený tým profesionálních konstruktérů.



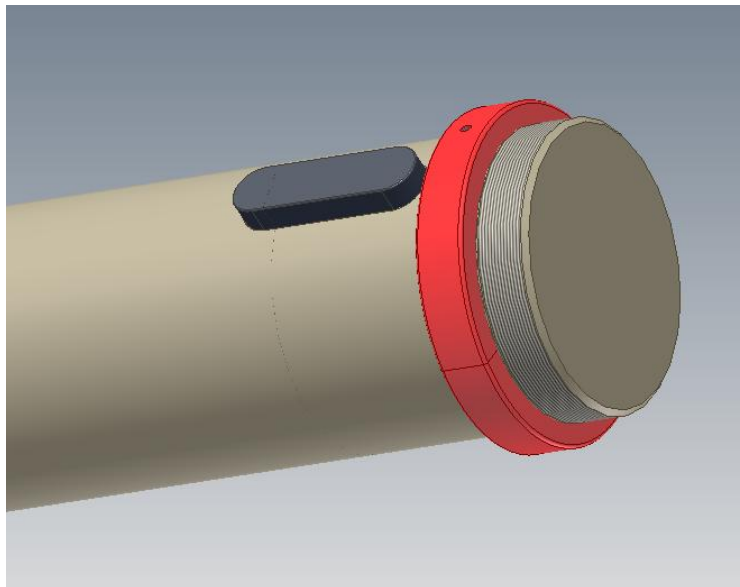
Obr. 11: Oběžné kolo – model (1)



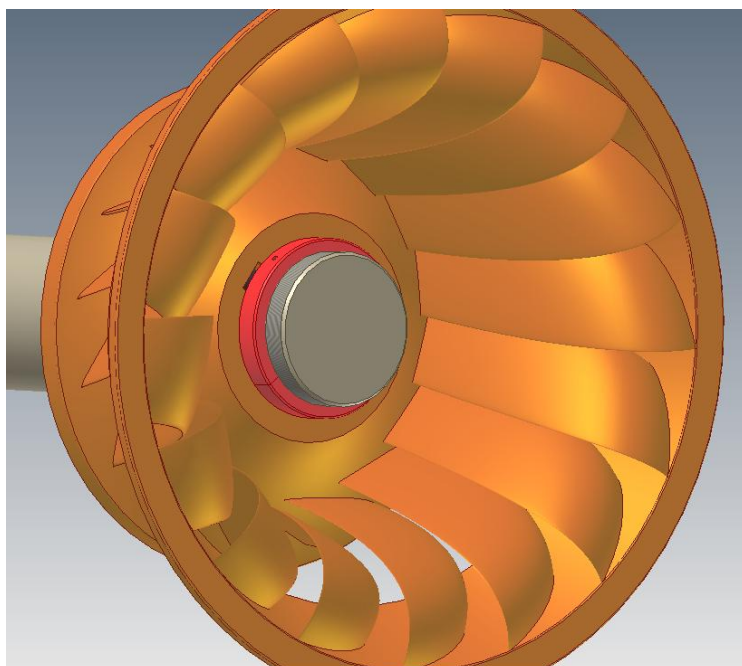


Obr. 12: Oběžné kolo - model (2)

Oběžné kolo je nasazeno na hřídel, pojištěno dvoudílným kroužkem a na hřídel je našroubovaná špička (čepička).

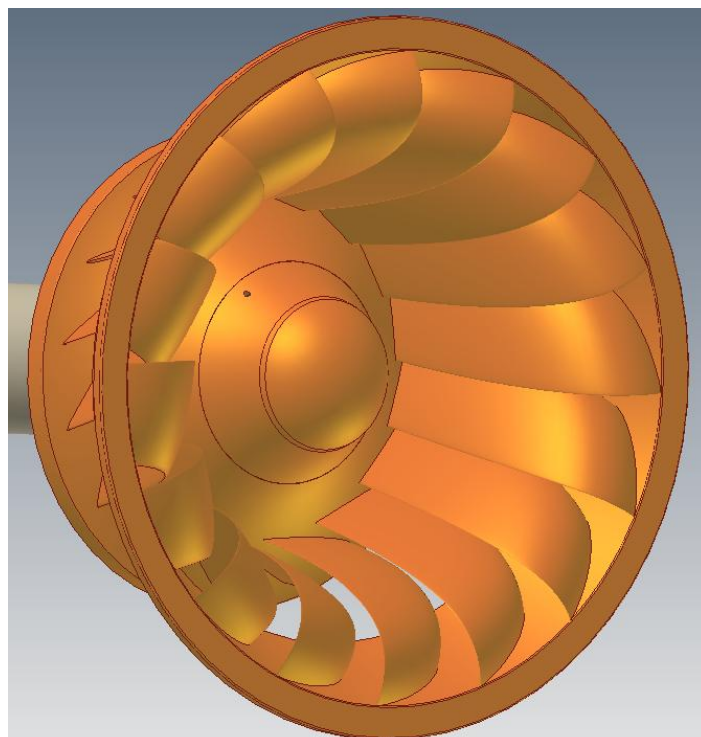


Obr. 13: Hřídel a dvoudílný pojistný kroužek



Obr. 14: Uložení oběžného kola na hřídeli

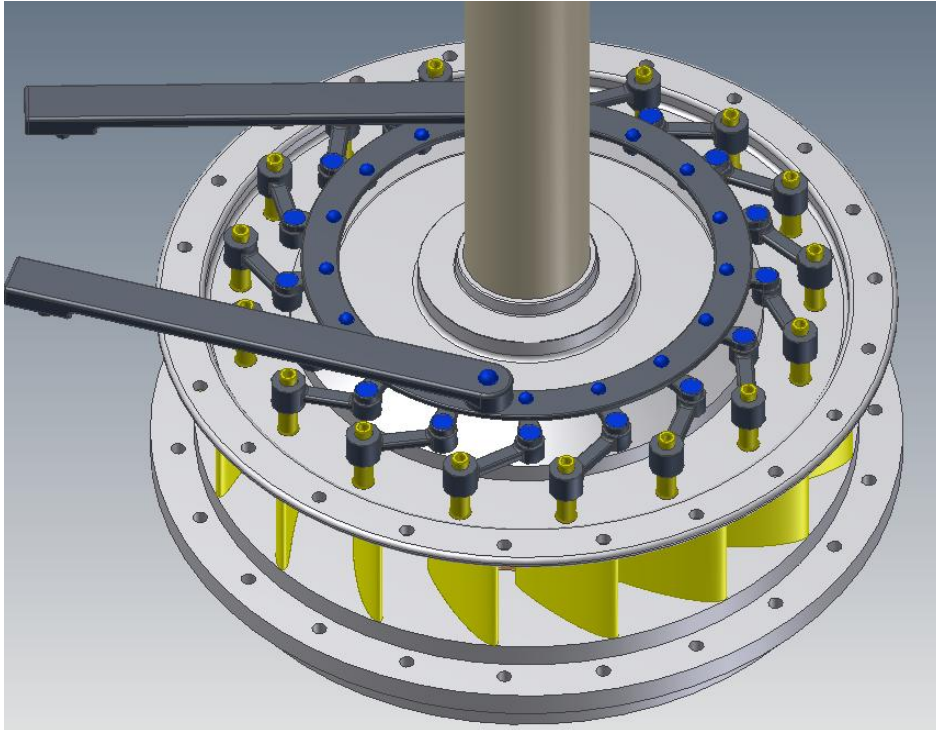
Nakonec je takhle uložené oběžné kolo pojištěno našroubováním „čepičky“, která je ještě spojena „červíkem“ s pojistným kroužkem, což zabraňuje vyšroubování čepičky.



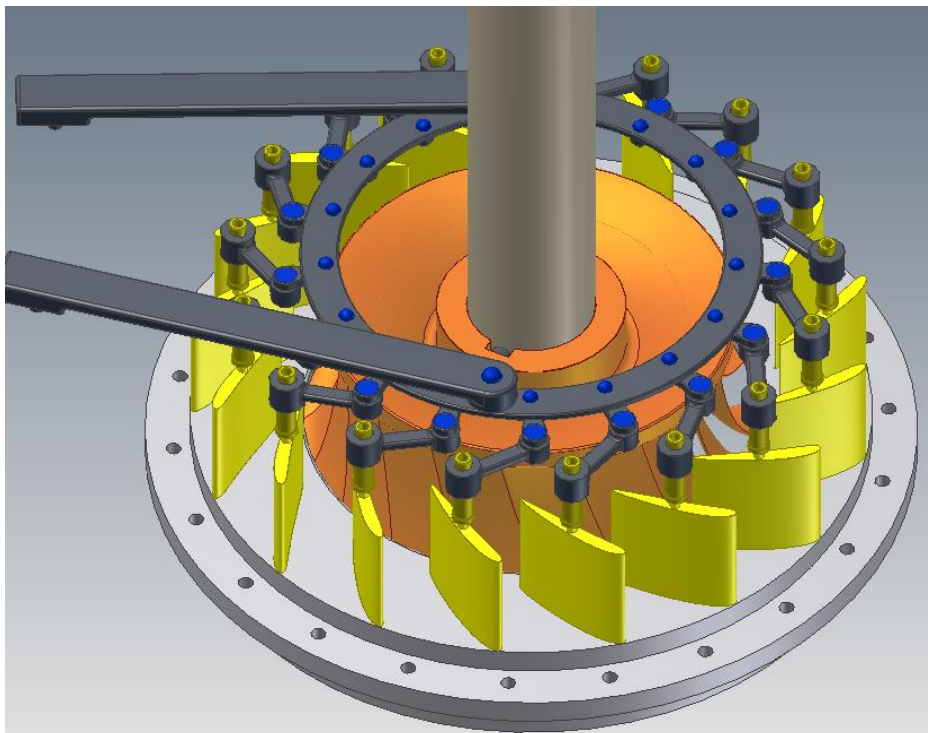
Obr. 15: Pojištění oběžného kola

#### 4. Regulační soustava

Skládá se z několika menších částí, nejdůležitější jsou regulační lopatky, které usměrní tok vody, aby vtékala do oběžného kola pod správným úhlem a regulaci průtoku. K úplnému zastavení přívodu vody se ale používá spíš klapka umístěná na začátku spirály (klapka není součástí modelu).

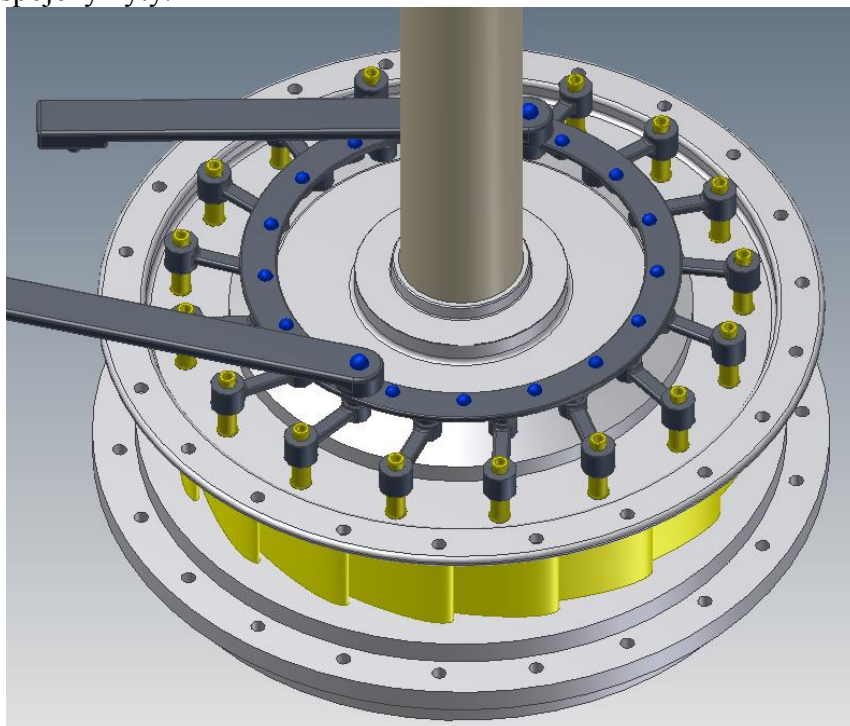


Obr.16: Regulační soustava - otevřené lopatky

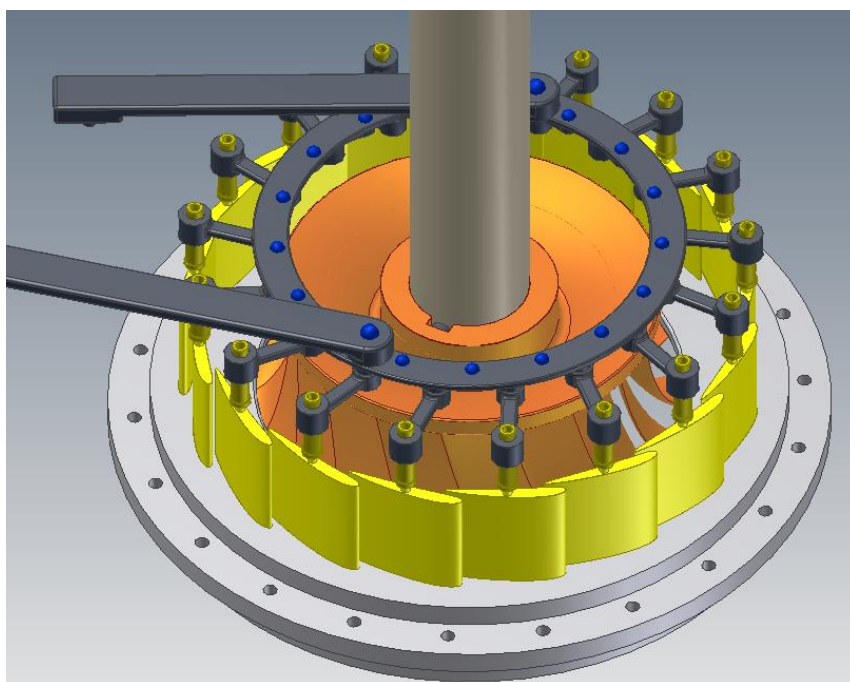


Obr. 17: Regulační soustava - otevřené lopatky (bez víka)

Posuvem táhel se regulační okruh otáčí a rovnoměrně natáčí lopatky podle potřeby. Jednotlivé součásti jsou spojeny nýty.



Obr. 18: Regulační soustava - uzavřené lopatky

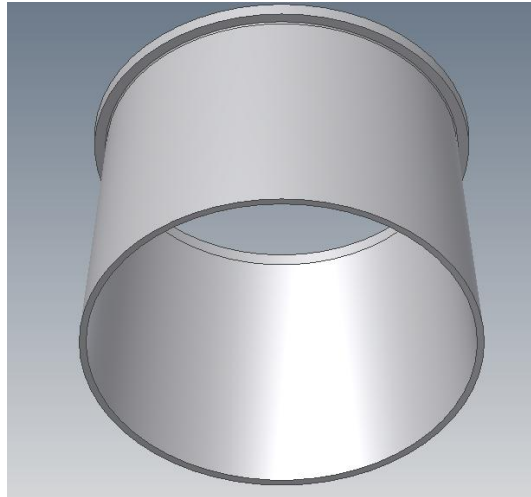


Obr. 19: Regulační soustava - uzavřené lopatky (bez víka)

## 5. Savka

Aby byla turbína přetlaková, musíme použít tzv. sací troubu. Jakmile voda projde přes oběžné kolo vstoupí do savky kde je podtlak jelikož je konec savky umístěn pod vodní hladinou. Kdyby tu savka nebyla a voda by volně padala dolů ztratili by jsme tu část spádu o kterou leží výtokový průřez výše než spodní hladina.

Druhý úkol, který savka splňuje je, že snižuje výstupní ztrátu z oběžného kola. Voda opouští oběžné kolo určitou rychlostí, jejíž energie nemohla být zužitkována, může ji však být alespoň částečně využito v sací troubě, zmírní-li se tato rychlost pozvolna na menší hodnotu. Pokud je ovšem průřez sací trouby příliš velký, nebude to fungovat, protože se rychlost zničí vířením. Proto se u novějších konstrukcí navrhuje přibližně stejný průřez jako je výstup z oběžného kola.



Obr. 20: Savka

## Závěr

Závěrem je potřeba připomenout, že veškeré informace získané z internetu nemusí být na 100% pravdivé, přestože jsme se snažili vybírat co nejdůvěryhodnější stránky.

V průběhu práce jsme se potýkali se spoustou problémů, počínaje nedostatkem informací a informačních zdrojů až po problematiku spojenou s modelováním samotné Francisovy turbíny v Inventoru 2009. Přestože jsme u již zmíněného Inventoru strávili hodně času, výsledek má stále plno nedostatků a chyb.

Doufáme, že se nám podařilo sjednotit ty nejdůležitější informace a že v práci najdete to, co potřebujete. Při zpracovávání tohoto projektu jsme se dozvěděli nejen něco o turbínách, ale hlavně jsme se zdokonalili v Inventoru.

## Seznam použitých a citovaných zdrojů

### Literatura

Nechleba, M. *Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. 676 s.

### Internet

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD\\_turb%C3%ADna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%AD_turb%C3%ADna)

<http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=05>

<http://www.elektrarny.xf.cz/index1.php>

<http://mve.energetika.cz>

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova\\_turb%C3%ADna](http://cs.wikipedia.org/wiki/Francisova_turb%C3%ADna)

[http://en.wikipedia.org/wiki/James\\_B.\\_Francis](http://en.wikipedia.org/wiki/James_B._Francis)

[http://tehnika.fnm.uni-mb.si/projekti/energetika%2005/vodne\\_turbine.html](http://tehnika.fnm.uni-mb.si/projekti/energetika%2005/vodne_turbine.html)

[http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD\\_vodn%C3%A1D\\_elektr%C3%A1rna](http://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99e%C4%8Derp%C3%A1vac%C3%AD_vodn%C3%A1D_elektr%C3%A1rna)

<http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=435>