

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

TESLOVA TURBÍNA JAKO ZDROJ ENERGIE

TESLA'S TURBINE AS A SOURCE OF ENERGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Šedina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Kazda, Ph.D.

BRNO 2018



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Martin Šedina

ID: 186458

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Teslova turbína jako zdroj energie

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s různými typy turbín a jejich možnostmi využití v praxi. Podrobně prostudujte princip fungování a konstrukci Teslovy turbíny a navrhněte možnosti jejího využití. Vytvořte vlastní návrh Teslovy turbíny poháněné plynem. Na základě vytvořené technické dokumentace vytvořte Teslovu turbínu a její funkčnost ověřte. Zjistěte účinnost a maximální otáčky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 31.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kazda, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá rozdělením a popisem dnes využívaných typů turbín, dále se práce zabývá teorií o bezlopatkové Teslově turbíně. V teoretické části se v práci probírají vodní kola, vodní turbíny s jejich rozdělením a zástupci, kteří jsou v práci popsány. Dále se v práci probírá konstrukce Teslovy turbíny, její možnosti využití, vnitřní principy a informace o jeho patentu. Praktická část obsahuje návrh Teslovy turbíny s modifikacemi pro zvýšení účinnosti. V práci je popsána technologie, kterou se turbína vyráběla.

KLÍČOVÁ SLOVA

Teslova turbína, bezlopatková turbína, vodní kola, rovnotlaké turbíny, přetlakové turbíny, 3D tisk, SolidWorks, 3D CAD

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the currently used types of water turbines and next part of the thesis deals with the theory of Tesla turbine. The theoretical part discusses water wheels, water turbines with their types and models which are described in the work. The thesis also discusses the construction of the Tesla turbine, its possibilities of using, inside principles and information about Tesla's patent. The practical part contains the design of the Tesla turbine with modifications for increasing efficiency. The thesis describes the technology that the turbine was produced.

KEYWORDS

Tesla turbine, bladeless turbine, equipotential turbines, overpressure turbines, 3D printing, SolidWorks, 3D CAD

ŠEDINA, Martin. *Teslova turbína jako zdroj energie*. Brno, 2018, 55 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Kazda, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Teslova turbína jako zdroj energie“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Kazdovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych chtěl poděkovat svému dědovi Ing. Miloslavu Šedinovi, CSc. a doc. Ing., Jiřímu Maxovi, Ph.D. za věcné rady a poznatky při konstrukci turbíny a také Ing., Petru Vyroubalovi, Ph.D. za 3D tisk.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	10
1 Vodní kola	11
2 Turbína	15
2.1 Rozdělení vodních turbín	15
2.1.1 Rovnotlaké turbíny	15
2.1.2 Přetlakové turbíny	17
3 Teslova turbína	21
3.1 Teslův model	21
3.2 Nikola Tesla	22
3.3 Patent	24
3.4 Konstrukce turbíny	25
3.5 Fyzikální jevy	26
3.5.1 Mezní vrstva	26
3.5.2 Laminární proudění	27
3.5.3 Turbulentní proudění	27
3.5.4 Třecí ztráty	28
3.6 Využití	28
4 Porovnání turbín	29
5 Návrh turbíny	30
5.1 Konstrukce	30
5.1.1 Návrhový program	30
5.1.2 Tělo	31
5.1.3 Disky	32
5.1.4 Uložení	34
5.1.5 Model	35
5.2 Simulace proudění	36
6 Výroba	39
6.1 Výkresy	39
6.2 3D tisk	41
6.3 Vytisknutý model	42
7 Závěr	46

Literatura	47
Seznam příloh	51
A Výkresová dokumentace	52
B Model	53
C Animace simulací	54
D Obsah přiloženého CD	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Druhy kol	12
1.2	Dolní tok	13
1.3	Zuppingerovo kolo	13
1.4	Kolo s horním tokem a dopředným chodem	14
2.1	Pohled do Peltonovy turbíny	16
2.2	Turgo turbína	17
2.3	Bankiho turbína v provozu	18
2.4	Francisova turbína	19
2.5	Kaplanova turbína	20
2.6	Deriazova turbína	20
3.1	Princip pohybu částic v Teslově turbíně	21
3.2	Hotový model Teslovy turbíny	22
3.3	Nikola Tesla	23
3.4	Teslova turbína, Teslovo čerpadlo	25
3.5	Rozložená Teslova turbína	25
3.6	Mezní vrstva	26
3.7	Laminární proudění	27
3.8	Turbulentní proudění	27
5.1	Tělo turbíny	31
5.2	Model disků	32
5.3	Plná část hřídele	33
5.4	Polodutá část hřídele	34
5.5	Uložení hřídele	34
5.6	SolidWorks model	35
5.7	Řez modelem	35
5.8	Proudění na vstupu turbíny	36
5.9	Proudění na výstupu turbíny	36
5.10	Rychlosti proudění na výstupu turbíny	37
5.11	Tlak na výstupu turbíny	37
6.1	3D tiskárna	41
6.2	Vytištěná hřídel	42
6.3	Hřídel osazená disky	43
6.4	Kompletní boční stěna turbíny	43
6.5	Sestavená turbína pohled zepředu	44
6.6	Sestavená turbína boční pohled	44

SEZNAM TABULEK

4.1 Porovnání turbín.	29
-------------------------------	----

ÚVOD

Člověk využívá vodní energii již od pradávna pro usnadnění své práce. Člověk se vždy snažil přijít na to, jak efektivněji využít vodní energii. Za první stroj zpracovávající energii vody lze považovat vodní kola, která se začala objevovat okolo 2. století př.n.l. na Balkánském poloostrově, odtud se s odstupem času rozšířila do celé Evropy. Na těchto zařízeních se převádí energie vody na energii mechanickou. Nejprve člověk tuto energii využíval k usnadnění si těžké práce jako např. mletí mouky, řezání dřeva a drcení kamene. Poté si delší dobu lidstvo muselo vystačit s touto technologií, která se i tak nadále zlepšovala. Největší rozmach ovšem přišel na přelomu 19. a 20. století, kdy byly vynalezeny turbíny, které přinesly efektivnější využití vodních toků. Voda se začala využívat i pro výrobu elektrické energie.

V dnešní době se lidstvo snaží najít další alternativní zdroje pro výrobu elektrické energie, protože její spotřeba nadále roste. Jak roste spotřeba elektrické energie, rostou i nároky na ekologii při její výrobě. Proto se lidstvo snaží stále víc využívat sluneční, vodní nebo větrnou energii. Člověk se snaží zdokonalovat využívané stroje tak, aby fungovaly ještě lépe a účinněji. Dále se snaží najít uplatnění a možnosti využití strojů, které se v minulosti neujaly.

V práci rozeberu základní typy vodních turbín a jejich představitele. Dále se v práci zaměřím na Teslovu turbínu, její konstrukci, princip fungování a fyzikální jevy, které se v ní uplatňují. Z nastudovaných informací poté vytvořím model s vlastními úpravami. U modelu provedu proudové simulace, vytvořím výkresovou dokumentaci k výrobě turbíny a sestavím prezentační model.

1 VODNÍ KOLA

Vodní kola jsou jedna z nejstarších zařízení, která člověk užíval pro pohon svých strojů a tím si ulehčoval svoji práci. Vodní kola ve většině případů, v závislosti na koncepci, využívají polohovou energii vody. Historicky byla vodní kola stavěna řemeslníky a nebralo se na zřetel fyzikální zákonitosti. To se ovšem změnilo s rozvojem lidského vědění, kdy se o tyto stroje začali zajímat myslitelé a začali uvažovat o uplatnění zákonů hydrodynamiky. Díky tomu vznikaly nové koncepce a zvyšování účinnosti. S příchodem vodních turbín začala být vodní kola vytlačována, avšak v některých případech se nejednalo o vhodnou náhradu.

Vodní kola lze rozdělit podle několika kritérií. Základní rozdělení je podle toho, jak jsou kola uchycena. A to na horizontální a vertikální. Dále lze vodní kola dělit podle toho, jak na ně natéká voda, a to na kola s dolním nátokem, se středním nátokem a s horním nátokem. Na obrázku 1.1 jsou vidět hlavní konstrukční rozdíly mezi vertikálním a horizontálním vodním kolem.

Zprvu se využívala kola horizontální, protože umožňovala přímé ukotvení na mlýnský kámen bez nutnosti dalších převodů energie, avšak neměla takovou účinnost jako kola vertikální.

Hlavní výhodou vodních kol oproti turbínám je jejich jednoduchá a robustní konstrukce, díky tomu nemají problém s nečistotami a předměty ve vodě. Další jejich výhodou je, že při povodních, kdy dochází k zvednutí hladiny a zvýšení průtoku dochází u turbín ke ztrátě spádu a tím rapidnímu snížení účinnosti, si vodní kola dokáží udržet pořád stejnou účinnost. A naopak v období nedostatku vody většinou turbíny nefungují, protože se zavzdušní, vodní kola dokáží pracovat i když velice pomalu a s minimální účinností, ale nezastaví se[1].



(A)



(B)

Obr. 1.1: (A) Vertikální kolo, (B) Horizontální kolo ((A) převzato z [2], (B) převzato z [3])

Vodní kolo na spodní vodu

Jedná se o konstrukčně nejjednodušší vodní kolo, další výhodou těchto kol je, že nepotřebují žádné jezy pro zadržení vody. Využívají pouze kinetickou energii vody, což snižuje jejich účinnost. Tato vodní kola nepotřebují velký spád, ale je nutné, aby měla velký průtok, proto byla umísťována na mělké a široké řeky.

Princip funkce je jednoduchý. Pod kolem protéká voda a opírá se do jeho lopatek a tím předává kinetickou energii. V celé soustavě však dochází k mnoha ztrátám, a tak se účinnost pohybuje okolo 30 %.

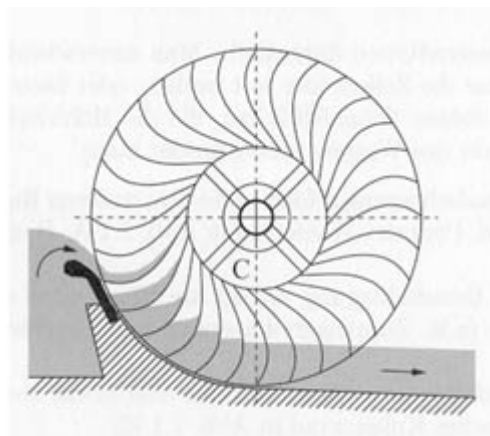
Tento typ kola nalezneme na lodních mlýnech. Jedná se o stavby stavěné na hladině vody, pokud poklesla hladina vody, poklesl i mlýn a tím se udržovalo i konstantní ponoření vodního kola [1]. Na obrázku 1.2 je mlýn Kolarovo, ve kterém se využívá vodní kolo na spodní vodu.



Obr. 1.2: Lodní mlýn Kolarovo, Slovensko (převzato z [4])

Vodní kolo se středním nátokem

Tyto kola pracují se spády od 1-3 m. Voda je na kolo přiváděna přes přivodní stavidlo, potřeba tohoto spádu již zapřičiňuje nutnost vyšší hladiny vody, a tedy tvorbu jezu. Voda při dopadu předá svoji kinetickou energii a při následném průtoku předává část své potenciální energie. Účinnost se pohybuje v rozmezí 70-75 % [1]. Princip fungování tohoto kola je vyobrazen na obrázku 1.3.

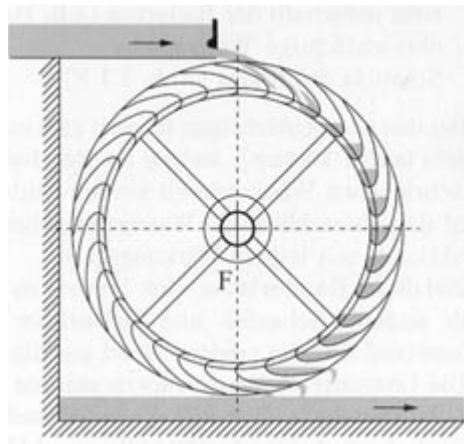


Obr. 1.3: Zuppingerovo kolo (převzato z [5])

Vodní kolo s horním nátokem

Jedná se o vodní kolo, které svojí účinností (65-80 %) a principem funkce podobá některým turbínám. Tato vodní kola umí pracovat s chodem ve směru toku vody

nebo také proti směru toku vody, tento faktor se nastavuje pomocí směru lopatek na kole. Kolo je určeno na malé průtoky s velkými spády, proto je spíše vhodné ho využívat na malých vodních tocích jako jsou potoky. Voda je na kolo přivedena pomocí žlabu. Voda naplňuje nádobky na vodním kole a tím předá potenciální energii a kolo je dále rozpořbováno pomocí gravitace. U tohoto kola je třeba počítat s tím, že pokud se dotýká dolní vody, snižuje se mu účinnost, proto se umisřuje několik centimetrů do vzduchu. Tento typ byl nejpoužívanějším typem vodních kol v Čechách [1]. Princip fungování tohoto kola je vyobrazen na obrázku 1.4.



Obr. 1.4: Kolo s horním tokem a dopředným chodem(převzato z [6])

2 TURBÍNA

Turbína je mechanické rotační zařízení, které je tvořeno jedním nebo více oběžnými koly, kterými je poháněna hřídel. Tato zařízení jsou poháněna kinetickou a potenciální energií média sloužícího pro pohon, což může být jak plyn, tak kapalina.

Turbíny dnes nalezneme ve všech odvětvích průmyslu. Můžeme je nalézt například v dopravě jako proudové motory v letadlech nebo jako pohony velkých lodí. Jeden z nejznámějších pozemních strojů poháněných turbínou je americký tank M1 Abraham. Velké uplatnění mají turbíny při výrobě elektrické energie, a to jak ve vodních elektrárnách, tak v elektrárnách spalovacích.

Vodní turbíny jsou všechna zařízení, která využívají kinetickou a potenciální energii a přeměňují tuto energii na energii mechanickou. Přes hnanou hřídel a spojku je turbína připojena k poháněnému zařízení. Tato energie se dnes nejčastěji využívá pro výrobu elektrické energie, ale lze ji také využívat k pohybu různých strojů. Existují také turbíny reversní, které umí nejen získávat energii, ale při změně směru rotace mohou vodu zpětně čerpat, toho se hojně využívá v přečerpávacích elektrárnách [7].

2.1 Rozdělení vodních turbín

Turbíny lze dělit hned několika způsoby, ale nejběžnější dělení je na rovnotlaké a přetlakové turbíny. Dále je pak lze dělit podle ostříku oběžného kola na axiální a radiální [8].

2.1.1 Rovnotlaké turbíny

Do této skupiny turbín patří zařízení, která mají na vstupu stejný tlak média jako na výstupu. Turbíny tohoto typu lze využívat u obrovských spádů. Mezi tyto turbíny se řadí Peltonova turbína, Turgo a Bánkiho turbína [9].

Peltonova turbína

Tato turbína byla vynalezena L. A. Peltonem v 70. letech 19. století a má teoretickou účinnost až 95 %. Voda je do této turbíny vedena potrubím, které ústí v jednu nebo více dýz, odkud voda vychází pod tangenciálním úhlem a dopadá na oběžné kolo této turbíny. Oběžné kolo je tvořeno lopatkami ve tvaru lžičky, která má na kraji vykrojení pro odtok vody. Turbína díky tvaru svých lopatek dokáže využít téměř veškerou energii vody, která na ní dopadá. Poté co voda předá svou energii a vyteče

z lopatek, padá pod turbínu a je odváděna ven ze zařízení.

Tato turbína se využívá na vysokých spádech s malým průtokem a těží především ze své odolné konstrukce. Hojně se využívá v přečerpávacích elektrárnách. U nás ji naleznete například v přečerpávací elektrárně Černé jezero [10]. Na obrázku 2.1 je vyobrazen ukázkový model Peltonovy turbíny.



Obr. 2.1: Pohled do Peltonovy turbíny (převzato z [11]).

Turgo turbína

Tato turbína byla vynalezena E. Crewdsonem na konci 20. let 20. století a lze s ní dosáhnout účinnosti až 90 %. Je to turbína s parciálním ostřikem lopatky a konstrukčně vychází z Peltonovy turbíny. Vezmeme-li konstrukci zjednodušeně, je oběžné kolo Turgo turbíny vlastně polovina kola z Peltonovy turbíny. To sebou nese jisté výhody jako je zjednodušení konstrukce, snížení nákladů na výrobu a převzetí některých vlastností. Její hlavní výhodou je, že při stejném průměru zvládne pracovat s větším průtokem než Peltonova turbína.

Tuto turbínu lze použít na větších spádech s poměrně malým průtokem. Ve velkých aplikacích se příliš nepoužívá, ale díky své jednoduché konstrukci a nízké ceně se hodí pro malé vodní elektrárny. Nalezneme ji například v Milford Sound na Novém Zélandu [12]. Na obrázku 2.2 je vidět instalace malé domácí elektrárny za použití Turgo turbíny.



Obr. 2.2: Turgo turbína(převzato z [13]).

Bankiho turbína

Turbínu vynalezl D. Banki v roce 1918 a její účinnost je okolo 78-84 %. Turbína využívá parciálního ostříku a je dvojně protékaná. Na prvním průtoku se chová jako přetlaková a na druhém jako rovnotlaká. Přísun vody je zde řízen pomocí klapky a voda dopadá na oběžné kolo, které je hustě oseté lopatkami směřujícími vodu ke středu kola. Největší část energie vody je předána při prvním průtoku a při druhém průtoku voda odevzdá zbytek své energie.

Tato turbína se používá na tocích s malým průtokem a pro výrobu malých výkonů. Její výhodou je, že má velmi plochou křivku maximálního výkonu. Tuto turbínu najdete především v malých domácích vodních elektrárnách [14]. Na obrázku 2.3 je vidět Bankiho turbína v provozu.

2.1.2 Přetlakové turbíny

Do této skupiny turbín patří zařízení, která mají na vstupu vyšší tlak média než na výstupu. Obecně jsou vhodné pro menší spády než rovnotlaké turbíny. U těchto turbín nedochází ke ztrátě spádu. Mezi tyto turbíny se řadí Francisova turbína, Kaplanova turbína a Dériazova turbína [16].



Obr. 2.3: Bankiho turbína v provozu(převzato z [15]).

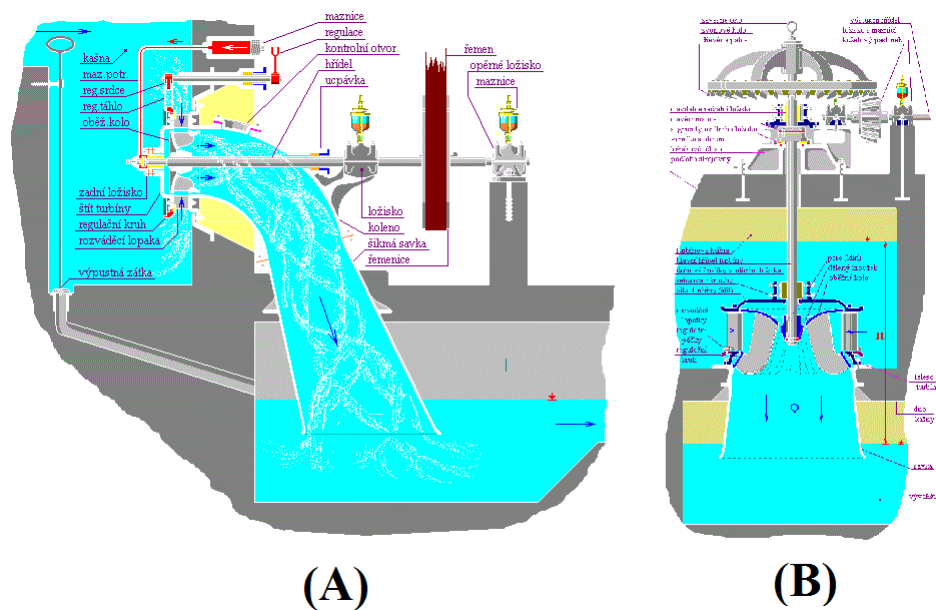
Francisova turbína

Turbínu vynalezl J. B. Francis v roce 1849. Turbínu lze využít jak vertikálně, tak horizontálně. V dnešní době se využívá především v horizontální poloze. Jedná se o jednu z nejrozšířenějších turbín na světě. Na rozváděcím kole se nachází naklápěcí lopatky, to umožňuje udržování účinnosti při změnách průtoku. Jednou z výhod této turbíny je, že ji lze použít i jako čerpadlo, proto se hojně používá v přečerpávacích elektrárnách. U nás ji najdeme například v přečerpávací elektrárně Dlouhé Stráně.

Horizontální turbína s mokrou savkou je taková, která má vývěru pod vlastní kašnou a koleno je umístěno v kašně. Což nelze realizovat vždy. Turbína je uložena na hřídeli ve dvou ložiscích, jedno z ložisek je uloženo ve vodě a vede k němu speciální potrubí z vlastní maznice. Druhé se nachází ve štítu. Štít slouží jako zadní část turbíny.

Horizontální turbína se suchou savkou se využívá tam, kde koleno nemůže být uvnitř kašny. Díky tomu může být kašna hlubší a užší. Stejně jako u verze s mokrou savkou se nachází jedno ložisko ve vodě a potřebuje vlastní mazání. Za nevýhodu lze považovat hřídel, která prochází savkou, a proto se snižuje účinnost celého ústrojí [17]. Na obrázku 2.4 (B) je vyobrazen princip konstrukce konstrukce tohoto typu turbíny.

Vertikální provedení se využívá hlavně u menších vodních toků, jelikož je vhodné pro spády do 4 m. Turbína se nachází u dna kašny a je svisle spojena hřídelí až do strojovny. Řídicí lopatky řídí, pod jakým úhlem bude voda vstupovat do oběžného kola. Při vertikálním použití má savka tvar kužele, aby nedocházelo k rotacím vody ve sloupci při nižším vodním průtoku [18]. Na obrázku 2.4 (A) je vyobrazen princip konstrukce konstrukce tohoto typu turbíny.



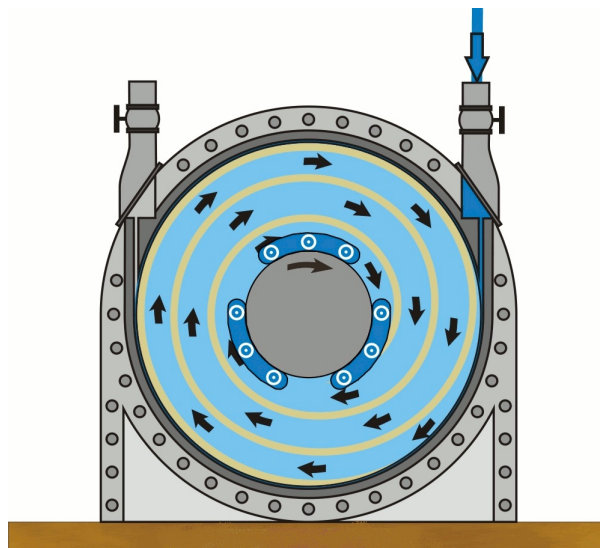
Obr. 2.4: (A) Vertikální Francisova turbína, (B) Horizontální Francisova turbína((A) převzato z [19], (B)převzato z [20]).

Kaplanova turbína

Tato turbína byla vynalezena českým profesorem V. Kaplanem na začátku 20. let 20. století. Tvarem by se tato turbína dala přirovnat k lodnímu šroubu. Tato turbína je nejrozšířenějším typem turbín užívaných na malých spádech a velkých průtocích. Kaplanova turbína má několik variant. Nejrozšířenější je S-Kaplan. Tato turbína má naklápěcí lopatky jak na regulačním kole, tak na kole oběžném, což má za následek zvýšení účinnosti za velmi proměnného průtoku vody. Díky těmto vylepšením se ovšem jedná o velmi složité mechanické zařízení. U tohoto provedení se musí využít savka ve tvaru S, aby z ní mohla vycházet hřídel. Největší Kaplanovy turbíny se nacházejí na vodní nádrži Gabčíkovo na Slovensku [21]. Kaplanova turbína je vyobrazena na obrázku 2.5.

3 TESLOVA TURBÍNA

Jedná se o speciální typ turbíny, který byl vynalezen N. Teslou v roce 1909. Pozoruhodné na této turbíně je, že na svém oběžném kole nemá žádné lopatky. Díky této konstrukci je možné tuto turbínu pohánět všemi typy médií, poradí si s kapalinou i plynem. Když Tesla tuto turbínu vynalezl, považoval ji za převratnou, protože tato turbína teoreticky umožňovala dosahovat maximální účinnosti již při malých průtocích. Bohužel se ukázalo, že v praxi má tato turbína velice nízkou účinnost, a to někde okolo 30-40 %, proto se nikdy nezačala používat v širší praxi. V dnešní době se opět začínají dělat pokusy s touto turbínou, protože její teoretické vlastnosti a robustní konstrukce by byly vhodné pro domácí vodní elektrárny. Další výhodou této turbíny je, že umí pracovat i v obráceném režimu, kdy zvládá nasávat kapalinu, a tedy pracovat jako čerpadlo. Jak je vidět na obrázku 3.1, částice se pohybují po kružnici, délka dráhy částic látky se mění se zatížením zařízení. Čím více je turbína zatížena, tím po kratší dráze se částice pohybují [24].

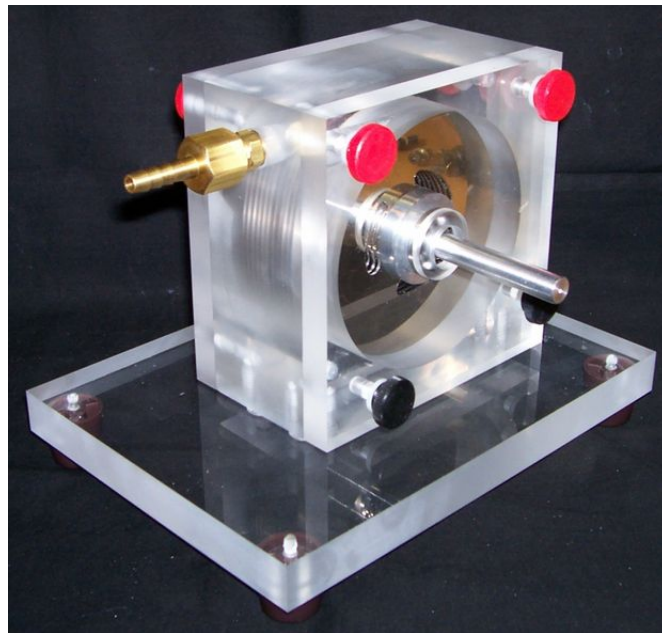


Obr. 3.1: Princip pohybu částic v Teslově turbíně(převzato z [25]).

3.1 Teslův model

Při návrhu si Tesla představoval, jak se bude turbína používat ve většině světových odvětví, a to jak v aviatice, automobilismu, tak v elektrárnách. Proto sestavil vlastní model, na kterém chtěl svůj úspěch prezentovat na turbíně poháněné párou. Tato turbína měla průměr 22,5 cm a tloušťku 5 cm a při těchto rozměrech

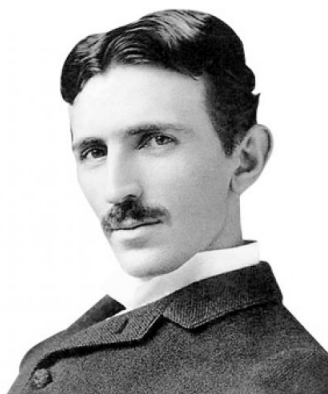
měla vyvinout výkon 110 koňských sil. Předpokládaná účinnost byla okolo 90 %, což se bohužel nepotvrdilo. Problém byl v pevnosti tenkrát dostupné oceli, protože nebylo technologicky možné udělat tak tenké ocelové pláty, bez toho, aniž by se nezačaly prohýbat, což vedlo k víření a snižování účinnosti. To byl asi jeden z hlavních důvodů, proč se tato turbína nikdy komerčně neprosadila [26]. Na obrázku 3.2 je ukázána jedna z podomácku sestavených turbín.



Obr. 3.2: Hotový model Teslovy turbíny(převzato z [27]).

3.2 Nikola Tesla

Nikola Tesla (obrázek 3.3) byl vědec, matematik a fyzik, který se narodil 10. července 1856 v Chorvatsku a zemřel v New Yorku 7. ledna 1943. Po gymnáziu studoval na polytechnice ve Štýrském Hradci, poté šel studovat na Karlovu univerzitu, kde se seznámil a byl ovlivněn českým fyzikem Ernstem Machem. Karlovu univerzitu ale nedokončil z důvodu smrti otce. Poté začal pracovat jako inženýr pro telegrafní společnost v Budapešti. Při této práci se věnoval vlastnímu výzkumu, během kterého objevil princip fungování střídavého proudu. V roce 1882 dostal nabídku práce v Paříži pro společnost Thomase Edisona. Tesla tuto nabídku přijal. Poté se Tesla v roce 1884 přestěhoval do USA, kde začal spolupracovat s Edisonem, který byl již v té době známým vynálezcem. Tesla nějakou dobu pro Edisona pracoval a vylepšil několik jeho zařízení, avšak po velkých neshodách Tesla opustil Edisonovu



Obr. 3.3: Nikola Tesla(převzato z [28]).

společnost a založil vlastní konkurenční společnost s názvem Tesla Electric Light & Manufacturing. Jak název napovídá, firma vyráběla obloukové lampy. Tesla měl v plánu zaměřit se na střídavý proud, to se ale nelíbilo dozorčí radě a byl z firmy propuštěn. Poté začal pracovat pro amerického inženýra G. Westinghouse. V roce 1887 objevil princip generování točivého magnetického pole, což mu umožnilo vynalézt asynchronní motor. Díky tomuto motoru se mohl vrhnout na tvoření sítě střídavého elektrického proudu. Poté se začal věnovat rádiovým přenosům a v roce 1893 předvedl svůj radiokomunikační přístroj. V následujících letech objevil spoustu vynálezů, některým z nich nepřikládal důležitost, a tak je nepublikoval. Dále se také prohluboval jeho spor s Edisonem, který je znám jako tzv. „válka proudů“. Tesla se snažil prosadit využití střídavého proudu, ale Edison se snažil tuto technologii zastavit, protože veškeré jeho příjmy byly z jeho zařízení pracujících na síti stejnosměrné. Tesla nakonec uspěl a firma Westinghouse Electric Corporation postavila elektrárnu na Niagarských vodopádech. O výrobu střídavé energie se zde staraly asynchronní motory. V následujících letech se Tesla věnoval možnostem přenosů elektrické energie bezdrátově. Když sehnal sponzora pro svůj projekt, začal se stavbou tzv. Wardenclyffské věže, tato věž měla měřit 57 m a měla umožnit distribuci bezdrátové elektrické energie na velké vzdálenosti. Jenže jeho sponzoru došla po několika letech trpělivost a přestal projekt dál podporovat, Tesla již dalšího sponzora nenašel, a tak byla v roce 1917 věž stržena. Tesla se také na začátku 20. století soudil s G. Marconim o vynález rádia, protože Marconi za tento vynález dostal Nobelovu cenu. I přesto, že měl Tesla nevyvratitelné důkazy svého prvenství, byl tento spor uzavřen až v roce 1943 po Teslově smrti v jeho prospěch. Tesla nadále vynalézal a v roce 1909 podal žádost o patent na svoji bezopatkovou turbínu. Jeho poslední patent mu byl uznán 3. ledna 1922. Ke konci života ho lidé považovali spíše za podivína než za vědce, protože předpovídal bezdrátový přenos hlasu, obrazu a textu, dále již v této době

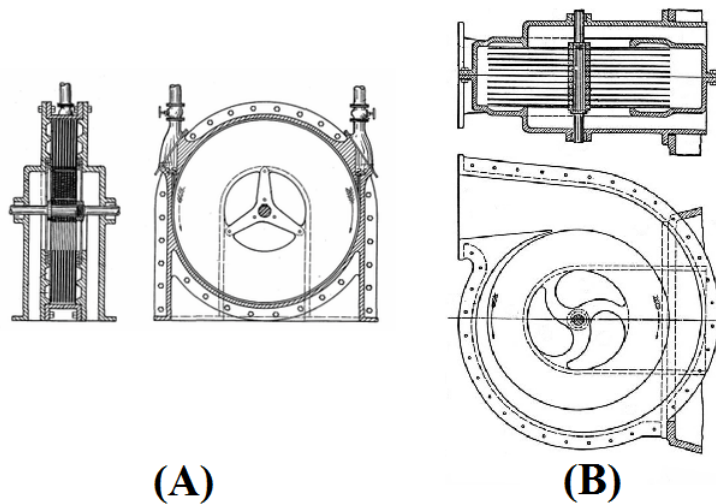
začal uvažovat o umělé inteligenci. V dnešní době je Tesla považován za jednoho z největších vynálezců a průkopníků naší historie [29].

3.3 Patent

Ačkoliv Tesla zažádal o patentování své turbíny již v roce 1909, patentový úřad mu patent přijal až v roce 1913. Kromě patentu na turbínu si také Tesla patentoval čerpadlo, které konstrukčně vychází z jeho turbíny, ale obsahuje jisté modifikace. V patentech je popsán přesný popis funkce zařízení. Na obrázku 3.4 jsou zobrazeny Teslovy návrhy z jeho patentů.

Úryvek z patentu: Je třeba zvážit činnost zařízení, při které je užitá kapalina k pohonu zařízení, a síly, které působí na hřídel, pokud se oběžné kolo otáčí po směru hodinových ručiček. Prozatím zanedbejme vlastnosti konstrukce, které zvyšují nebo snižují účinnost pumpy, které se odlišují od turbíny. Kapalina díky svým vlastnostem (přilnavost a viskozita) při vstupu přes přivaděč přichází do styku s disky. Kapalina působí na disky pomocí dvou sil, a to síly tangenciální ve směru otáčení a síly radiální ve směru k výstupu z turbíny. Kombinací působení těchto sil dochází ke zvyšování rychlosti kapaliny, a to po spirálové dráze, dokud se nedostane k výstupu z turbíny, kterým je vytlačena ven. Spirálový pohyb je přirozený a jeho vlastnosti závisí na vlastnostech kapaliny. V závislosti na použité kapalině se také mění rychlost a změny pohybu proudění, což je podstatným prvkem fungování turbíny.

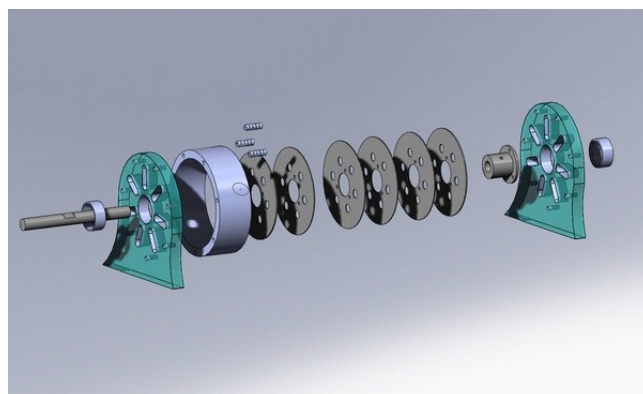
Lze s přesností určit, po jak velké dráze a kolik otáček udělá kapalina od vstupu po výstup z turbíny, a to pomocí výpočtů. Při těchto výpočtech je potřeba znát počet otáček, kterých je potřeba pro obměnu veškeré kapaliny v turbíně, vynásobené rychlostí kapaliny a průměrem disků v turbíně. Bylo zjištěno, že množství kapaliny, které je poháněno tímto principem, je přímo úměrné rychlosti oběžného kola a efektivní ploše disků. Proto se výkon a účinnost těchto zařízení zvyšuje s rychlostí otáčení hřídele a s rostoucí velikostí turbíny [30].



Obr. 3.4: (A) Teslova Turbína, (B) Teslovo čerpadlo((A) převzato z [31], (B)převzato z [32]).

3.4 Konstrukce turbíny

Turbína má poměrně jednoduchou konstrukci, skládá se z polo duté hřídele, disků nahrazujících lopatky a vstupního přívodu. Disky jsou nasazeny na hřídel, která je z obou stran uložena ve dvou ložiscích, které jsou uloženy ve skříni. Disky musí být vystředěny a musí být ve stejné rozteči od sebe, tak aby byly všechny mezery mezi disky stejně velké, k tomu v turbíně slouží distanční podložky. Na nepropustné straně hřídele je třeba použít převodovku pro připojení poháněného zařízení a dutou část připojenou na pevné ložisko a na něj lze připojit odvodné potrubí [33]. Na obrázku 3.5 je vidět jeden z možných návrhů Teslovy turbíny.



Obr. 3.5: Rozložená Teslova turbína(převzato z [34]).

3.5 Fyzikální jevy

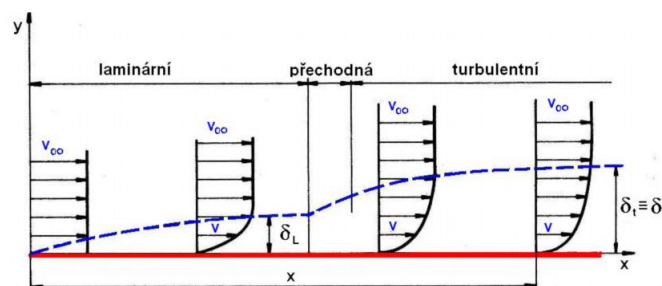
3.5.1 Mezní vrstva

Pojem mezní vrstva se dá názorně vysvětlit na příkladu obtékání rovinné desky umístěné v rovnoběžném proudu tekutiny, přičemž deska má stejný směr jako proudnice – Obrázek 3.6.

Částice tekutiny před deskou mají všechny stejnou rychlost v^∞ i směr. Částice, které ulpí na desce mají rychlost nulovou, v blízkosti desky jsou částice tekutiny brzděny pomalejšími částicemi u obtékaného povrchu. Část jejich kinetické energie se přeměňuje třením na teplo. Oblast v těsné blízkosti stěny desky, kde se mění rychlost neboli tam, kde existuje gradient rychlosti, a tedy platí nerovnost, se nazývá mezní vrstva.

Rychlostní profil v náběžném bodě má obdélníkový průběh, dále od náběžného bodu ve směru „x“ v důsledku viskozity (tření) je rychlost tekutiny na stěně desky nulová a kolmo na desku ve směru „y“ se vytváří rychlostní profil. Tření na desce stále zbrzdí částice tekutiny, další částice vzdálenější od povrchu se přenášejí do mezní vrstvy. Protože do mezní vrstvy vstupují další částice tekutiny, mezní vrstva směrem po proudu stále narůstá. Rychlostní profily mají spojitý přechod od nulové rychlosti na stěně do plné rychlosti ve vnějším proudu – Obrázek 3.6.

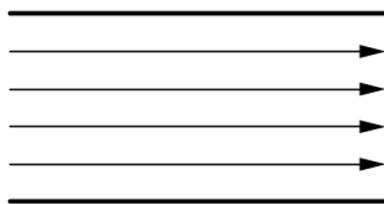
V dostatečné vzdálenosti od náběžné hrany jsou si rychlostní profily podobné a nezávislé na vzdálenosti x. Má-li nabíhající proud nulovou turbulenci, vzniká na začátku desky laminární mezní vrstva, která přechází v mezní vrstvu turbulentní s laminární podvrstvou. Mezi laminární a turbulentní mezní vrstvou existuje jistá přechodná oblast. Mezní vrstva podle druhu proudění může být laminární nebo turbulentní [35]. Princip mezní vrstvy můžeme vidět na obrázku 3.6.



Obr. 3.6: Mezní vrstva(převzato z [36]).

3.5.2 Laminární proudění

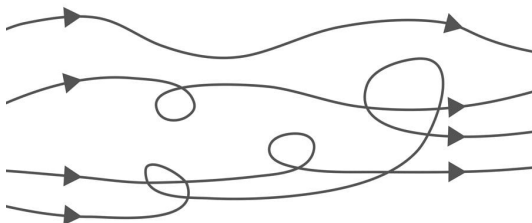
Laminární proudění je proudění Newtonské kapaliny, při kterém jsou proudnice rovnoběžné a nemísí se. Částice kapaliny se pohybují vedle sebe ve vrstvách, které se vzájemně nepromíchávají. Mezi jednotlivými vrstvami se předpokládá existence vnitřního tření. Při laminárním proudění lze zanedbat drsnost povrchu, protože se neprojevuje. Drsnost povrchu ovšem urychluje přechod laminárního proudění na proudění turbulentní. Laminární proudění platí pouze pro malé rychlosti kapaliny, protože při těchto rychlostech se víry nedokáží projevit [35]. Ukázkou laminárního proudění můžeme vidět na obrázku 3.7.



Obr. 3.7: Laminární proudění(převzato z [37]).

3.5.3 Turbulentní proudění

Turbulentní proudění je proudění Newtonské kapaliny, při kterém se proudnice navzájem promíchávají. Částice tekutiny vykonávají při proudění kromě posouvání i vlastní pohyb, který vede ke vzniku vírů. Rychlosti jednotlivých částic tekutiny se nepravidelně mění, proudění tedy není stacionární. Do turbulentního proudění je třeba započítat vliv drsnosti povrchu, se kterým je kapalina ve styku. Pro vznik turbulentního proudění je třeba vyšších rychlostí protékající kapaliny [35]. Ukázkou turbulentního proudění můžeme vidět na obrázku 3.8.



Obr. 3.8: Turbulentní proudění(převzato z [38]).

3.5.4 Třecí ztráty

Třecí ztráty jsou způsobeny vlastností média s názvem viskozita. Viskozita udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami při proudění kapaliny. Viskozita je veličina charakterizující vnitřní tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině. Předpokládáme, že kapalina lpí na obou deskách, takže její rychlost je na stojící desce nulová a na pohybující se desce rovna rychlosti pohybu desky [35].

3.6 Využití

Teslova turbína se dodnes nerozšířila, což je způsobeno její nízkou účinností, která je způsobena její velice, na přesnost výroby, náročnou konstrukcí. Pokud by se povedlo odstranit neduhy, jako jsou rázy přitékající kapaliny na disky a tvorby vírů v pohybu částic po disku, tak věřím, že by se turbína začala využívat.

Pro představu by se mohla využívat jako generátor v tepelných a jaderných elektrárnách. Díky své možnosti fungování v reverzním režimu by si našla uplatnění i v přečerpávacích elektrárnách. Její hlavní uplatnění ovšem vidím ve využití jako malá vodní domácí elektrárna, protože turbína je nenáročná na množství protékající vody a také je více méně nezničitelná, protože se v turbíně po vniknutí předmětu nemá co ulomit. Turbína se pouze zasekne a po vyčištění bude opět funkční.

Když Tesla vynalezl tuto turbínu, představoval si, že by se mohla turbína využívat jako pohon vozidel, měla být poháněna párou, kdy i při svých malých rozměrech dokázala vydat velký výkon. To však bylo na začátku 20. století, kdy teprve začínaly spalovací motory. V dnešní době by se dala turbína využít v turbo ústrojí vozidel nebo by se mohla využívat u hybridních vozidel, kdy by byla poháněna výfukovými plyny a tím by se dobíjely baterie.

4 POROVNÁNÍ TURBÍN

Tab. 4.1: Porovnání turbín.

Turbíny	Teor. účinnost [%]	Savost [l/s]	Spád [m]	Hnací medium
Peltonova	95	max 34000	až 200	Kapalina
Turgo	90	max 3200	až 300	Kapalina
Bankiho	84	max 2000	až 30	Kapalina
Francisova	90	max 8000	až 700	Kapalina
Kaplanova	90	max 30000	až 700	Kapalina
Deriazova	90	max 55000	až 1000	Kapalina
Teslova	95	-	-	Kapalina/plyn

Jak je vidět z tabulky 4.1, tak Teslova turbína by měla mít teoreticky s Peltonovou turbínou největší účinnost, avšak v praxi toto neplatí, protože vnitřní konstrukce Teslovy turbíny je velice náročná na výrobu, a proto se testované modely dostaly na účinnost okolo 50 %. Nesporná výhoda Teslovy turbíny je možnost jejího fungování při pohonu plyny, což umožňuje její využití v tepelných elektrárnách. Nikde jsem ovšem nenalezl informace o hltnosti ani o maximálním spádu této turbíny, což přikládám tomu, že se turbína nikdy nezačala používat v praxi, a tak se tyto testy na ní neprováděli. V dnešní době patří k nejpoužívanějším turbínám turbíny Peltonova, Francisova a Kaplanova.

V tabulce jsou uvedené jak turbíny rovnotlaké, tak turbíny přetlakové. U přetlakových turbín se využívá ve většině případů větších spádů než u turbín rovnotlakých.

5 NÁVRH TURBÍNY

Jak vyplývá z předchozího textu, největším neduhem této turbíny je její reálná nízká účinnost, to je ovšem způsobeno nutností přesné konstrukce. Další z problémů je nutnost laminárního proudění média na vstupu zařízení, dále dochází k velkým ztrátám v místě, kde vstupuje hnací medium na disky a zde se promíchává s médiem, které je již v těle turbíny a poslední místo, kde dochází k poměrně velkým ztrátám je výstupní polodutá hřídel, kde se výstupní médium promíchává a víří. Proto se při vlastním návrhu budu snažit těmto ztrátám co nejvíce předejít a eliminovat je.

Jako základní podmínku při návrhu jsem si stanovil velikost průměru disků 25 cm. Z tohoto rozměru poté vychází rozměry ostatních částí mojí turbíny. Další věc, která při návrhu tohoto zařízení hrála velice důležitou roli, bylo hnací médium. Z důvodu jednodušší prezentovatelnosti jsme se rozhodli jako hnací médium využít vzduch.

5.1 Konstrukce

Když si představíme takové zařízení, jako je Teslova turbína, člověka ihned nemusí napadnout kolik částí vlastně takové zařízení může obsahovat součástí a všechny tyto součásti je třeba upravit podle využití daného zařízení.

Při návrhu a zvolení vhodné konstrukce jsem se rozhodl vycházet z kombinace konstrukcí Teslova čerpadla a turbíny a tím dosáhnout co nejlepších parametrů, a také jsem se snažil konstrukci turbíny co nejvíce zjednodušit při udržení dobrých vlastností. Je ovšem nutno si uvědomit, že i když tato turbína má dvojí režim fungování, fungování jako turbína a jako čerpadlo, tak nelze dosáhnout s jedním zařízením obou těchto špičkových vlastností, to jest účinná turbína nebude účinné čerpadlo a naopak.

5.1.1 Návrhový program

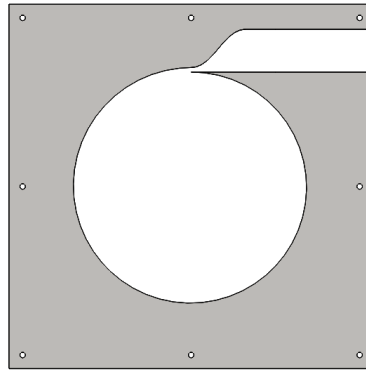
Při návrhu práce jsem se rozhodl využívat návrhový 3D CAD program SolidWorks. Tento program je komplexní, protože umožňuje tvorbu jednotlivých dílů a skládání modelů, vytváření výkresové dokumentace splňující potřebné normy a také provádění simulací vlastností a chování zařízení.

5.1.2 Tělo

Jedná se o jeden z nejdůležitějších dílů celého zařízení, protože obsahuje dýzu a prostor, ve kterém jsou vloženy disky usazené na hřídeli. Místo běžné tangenciální dýzy moje řešení vychází z křivky Bernoulliho lemniskáty. Tato křivka má nejlepší sklon pro vstup vzduchu do turbíny, tato část by měla být vyleštěna, aby mohlo médium co nejlépe klouzat po povrchu těla. Návrh tvaru dýzy se provádí tak, že si určíme nejprve vstupní rychlost média. Tato rychlost musí mít svoji hodnotu nižší než je Machovo číslo, aby zde nedocházelo k rázové vlně. Proto jsem si určil vstupní mezeru 5 mm, při této mezeře bychom se měli dostat k blízkosti Machova čísla, avšak nedojde k jeho překročení.

Pak zde máme prostor pro disky, který nemá kruhový tvar. Vnitřní prostor má tvar Archimédovy spirály. Tato křivka zde slouží k tomu, aby pohonné médium nevcházelo kolmo na plochy disků, ale aby se médium již před vstupem na disky dostalo do spirálovitého pohybu a vstupovalo pod co nejmenším úhlem na plochu disků a tím eliminovalo rázy. Celý model těla můžeme vidět na obrázku 5.1. Jednotlivé body této křivky byly vypočítány pomocí rovnice:

$$R_{spir} = r_{poč} + \varphi * h_{výstup} / 2\Pi \quad (5.1)$$



Obr. 5.1: Model těla turbíny

Další části těla jsou poté boční stěny, které slouží jako zakrytí ze stran, na bočních jsou poté umístěné ještě menší nástavby. Ve všech těchto částech jsou otvory pro uložení a šrouby. Všechny tyto části společně s tělem budou muset být spojeny a utěsněny tmelem, aby přes ně nemohl unikat vzduch.

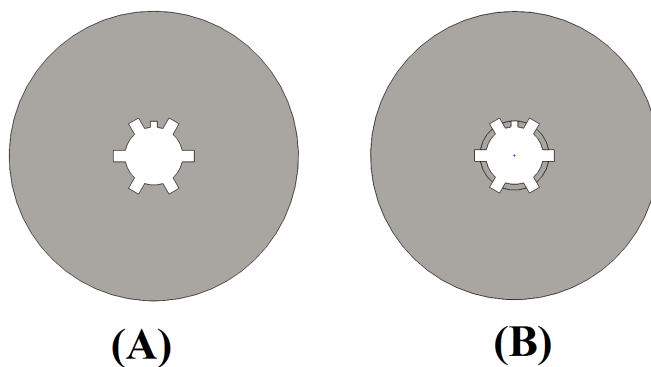
5.1.3 Disky

Jak již bylo řečeno, disk představuje plochu, na které pohonné médium předává svoji energii. U disků hraje největší roli jejich počet, šířka a mezery mezi nimi.

Při návrhu počtu disků je třeba vycházet z vlastností hnacího média. Dá se říct, že počet disků může být náhodný, je třeba se pohybovat v hodnotách okolo pěti až dvaceti disků s přihlédnutím k celkovým rozměrům a maximální hlnosti turbíny. Šířky disků a mezer mezi nimi mají být co nejmenší. V mém případě se v turbíně nalézá 16 disků, tloušťka jednoho disku je 1,4 mm, mezera mezi disky má také šířku 1,4 mm. Tyto hodnoty jsou zvoleny v rámci vyrobiteľnosti zařízení.

V mé práci jsou použité dva různé druhy disků. Jeden typ disku je pouze plochý, s drážkou pro péro a šesti otvory, které propojují výpustné otvory u disků, aby se zde vyrovnala rychlost a tlak. Druhý typ disku obsahuje stejný počet otvorů a drážku pro péro, ale dále jsou na něm okolo středu výstupky, které nahrazují distanční podložky a vymezují tak námi danou mezeru mezi disky. Modely disků si můžeme prohlédnout na obrázku 5.2.

U většiny modelů této turbíny, které naleznete na internetu, si můžete všimnout, že ještě vymezují mezeru mezi disky uprostřed jejich plochy, aby nedocházelo k jejich kroucení. Já tuto variantu nepoužil, protože v těchto místech potom dochází opět ke vzniku turbulencí. Dle mého názoru to není ani potřeba, protože pokud se turbína roztočí do běžných provozních otáček, tak za působení za pomoci fyzikálních sil disky zůstanou v rovné poloze bez kroucení. Tento způsob může mít výhodu pouze v případě, kdy se turbína otáčí v nízkých otáčkách.

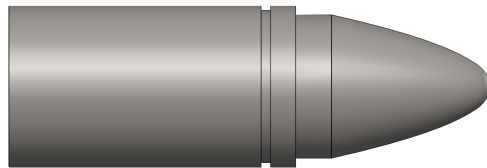


Obr. 5.2: (A)Krajní disk (B) Vnitřní disk s distančním výstupkem

Rozhodl jsem se, že budu polodutou hřídel konstruovat ze dvou částí, které se potom spojí dohromady a to proto, abys se dala hřídel dobře vyrobit. Na obou částech hřídele je drážka, která slouží pro pojistný kroužek, který vymezuje vůle hřídele a dále slouží jako pojistka ložiska

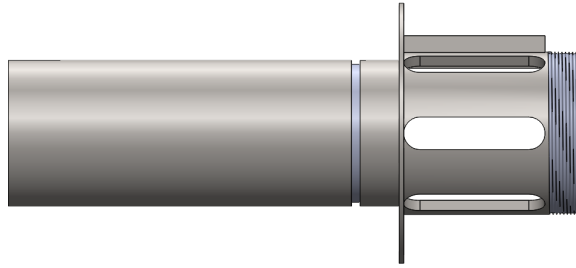
První část je tedy z plného materiálu a z jedné strany je opatřena kuželem. Tato část se bude vsouvat do prostoru, z kterého bude vycházet vzduch ven z turbíny. Tento kužel v hřídeli slouží k tomu, aby médium vycházející ven z turbíny proudilo po co nejvíce rovné dráze a nedocházelo ke srážkám a k turbulencím. Tvar tohoto kuželu je navržen tak, aby se plocha kuželu rovnala ploše nad kuželem, dále je možnost přesně popsat spojnicí trendu ve tvaru polynomu šestého stupně. Dále jsem si pro výpočet určil, že vnitřní průměr hřídele bude 40 mm a vnější průměr duté části bude 50 mm. Tuto část hřídele můžete vidět na obrázku 5.3. Tvar kuželu byl vypočítán pomocí vzorce:

$$R_{kužel} = \sqrt{r_{-1}^2 - R_{hřídel}/2} \quad (5.2)$$



Obr. 5.3: Plná část hřídele

Druhá část hřídele je tedy polodutá a slouží k odtékání média ven z turbíny. Na hřídeli je rozšířená část, která obsahuje šest drážek, přes které odtéká médium pryč z prostoru disků, dále je na této části péro, které slouží k tomu, aby se disky na hřídeli neprotáčely. Dále je na hřídeli kotouček, o který se z jedné strany disky zapřou, na druhé straně je závit, na který se bude šroubovat pojistný kroužek, kterým se disky na hřídeli stáhnou k sobě. Model hřídele můžete vidět na obrázku 5.4. Je poměrně důležité, aby vnitřní plochy byly leštěné a tak snižovaly odpor médiu.

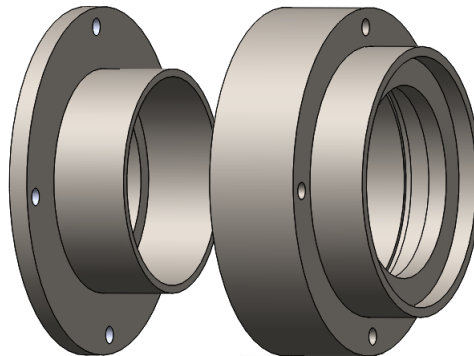


Obr. 5.4: Dutá část hřídele

5.1.4 Uložení

Jedná se o díl, ve kterém jsou uložena ložiska a gufera. Skládá se ze dvou částí a to z těla a víčka. Celý tento díl poté v sobě nese hřídel s disky, takže je třeba zajistit souosost celé této soustavy s osou těla turbíny, aby nedocházelo ke tření dílů o sebe.

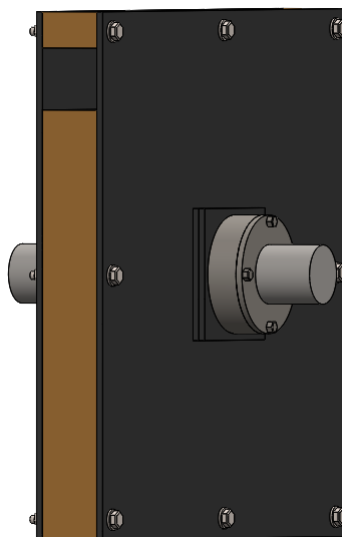
Tělo uložení se vkládá do otvoru v boční stěně. Do uložení se poté vkládá ložisko, které je zde zajištěno pojistným kroužkem. Z druhé strany je poté uložení zakryto víčkem, ve kterém jsou vložena těsnící gufera. A vše je staženo k tělu pomocí šroubů. V mém návrhu používám nesymetrické uložení a to z důvodu pojistného kroužku, který stahuje disky dohromady, proto musí být jedno uložení delší. Modely těchto dílů můžete vidět na obrázku 5.5.



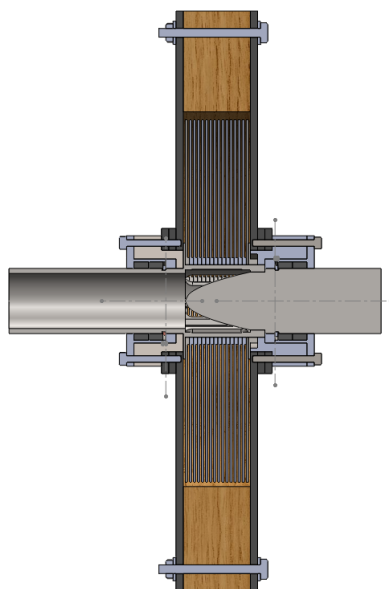
Obr. 5.5: Uložení s víčkem

5.1.5 Model

Všechny díly jsem poté sestavil dohromady v programu SolidWorks, abych vytvořil model mojí turbíny. Na obrázku 5.6 můžeme vidět kompletně složený model a na obrázku 5.7 je zobrazené vnitřní uspořádání turbíny.



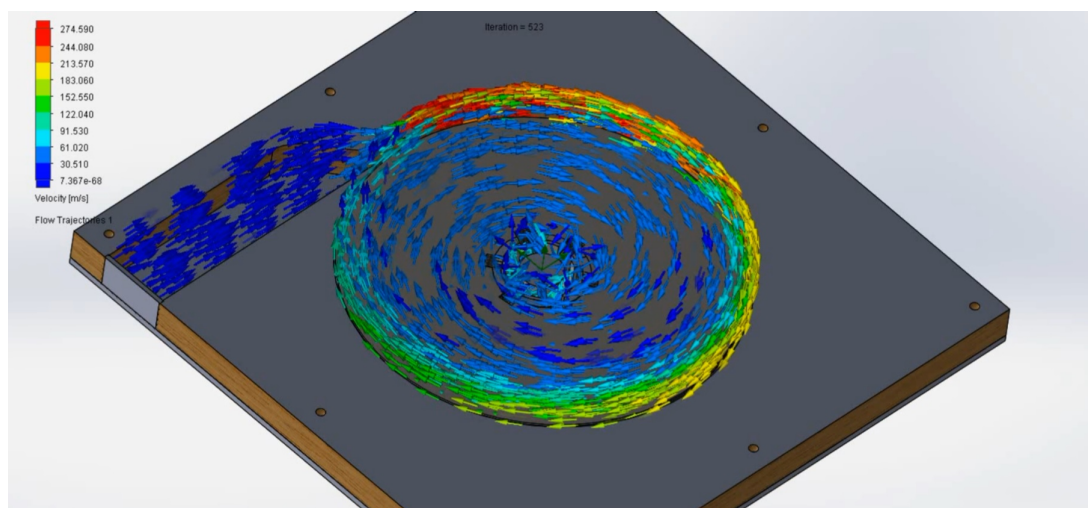
Obr. 5.6: Ukázka sestaveného modelu turbíny



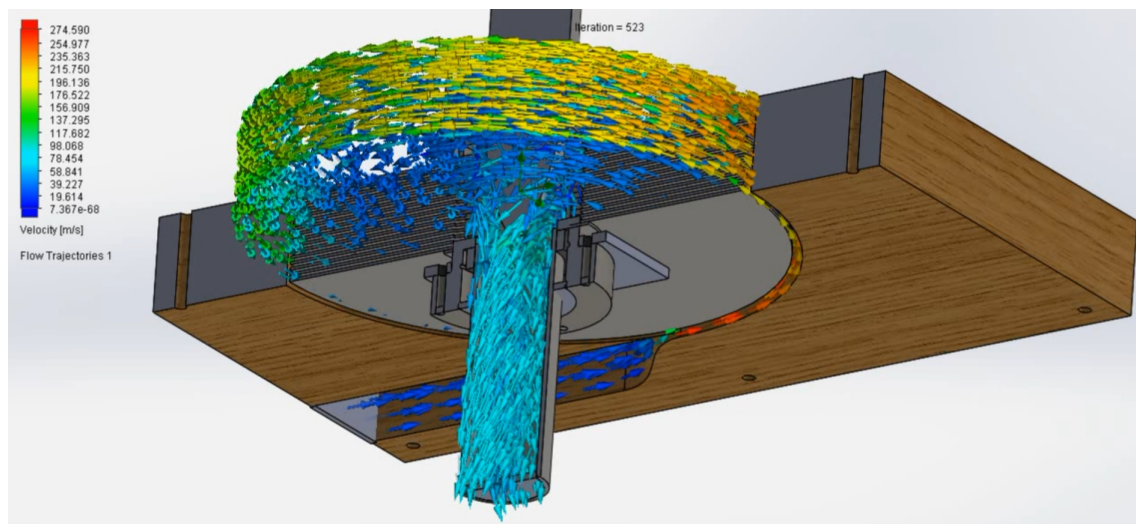
Obr. 5.7: Řez modelem turbíny

5.2 Simulace proudění

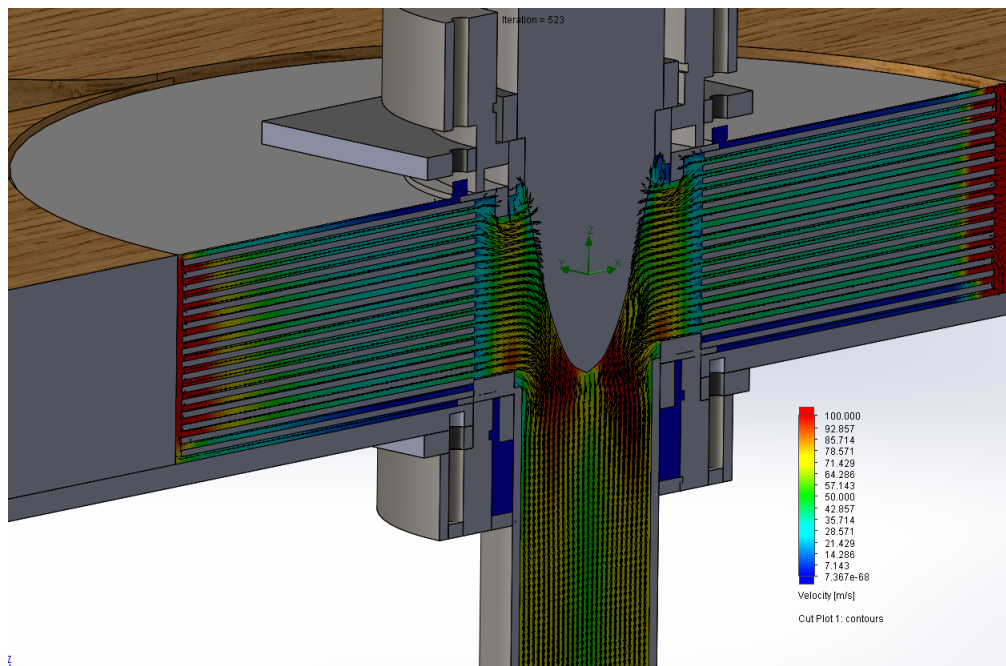
U modelu turbíny byly provedeny proudové simulace, abych zjistil, jaký vliv na proudění v turbíně mají mnou dané úpravy. Simulace jsme prováděli v programu SolidWorks. Největší problém, na který jsme narazili, bylo navrhnutí sítě modelu, protože mezi disky je malý prostor, a tak bylo nutné vytvořit velice jemnou síť, což je ovšem náročné na výpočetní výkon počítače.



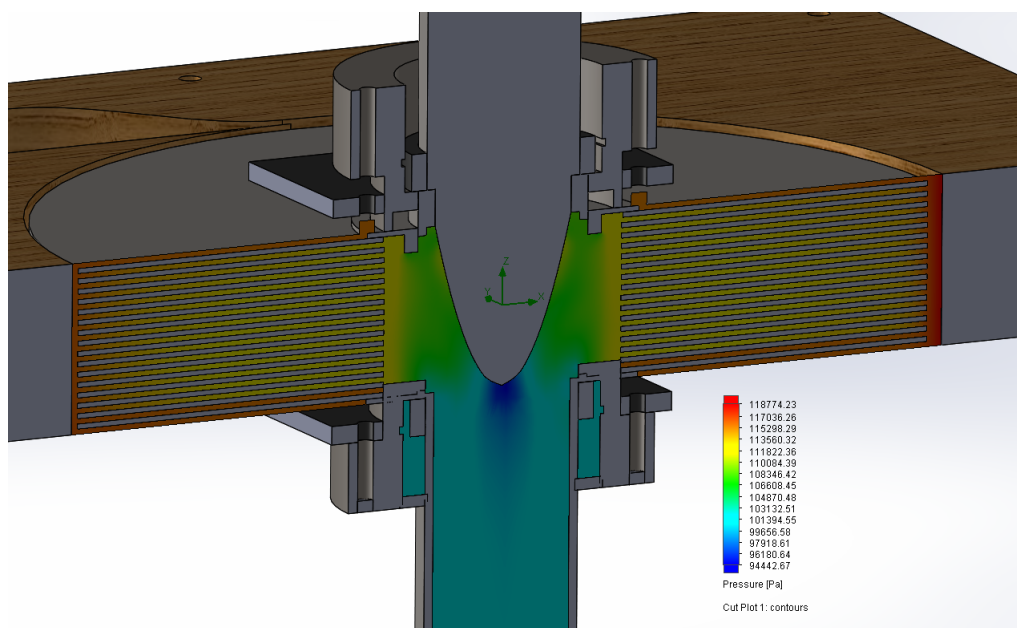
Obr. 5.8: Simulace rychlosti a pohybu média vstupu



Obr. 5.9: Simulace pohybu média výstupu



Obr. 5.10: Pohled na rychlost proudění výstupu



Obr. 5.11: Pohled na tlak média ve výstupní části

Jak je vidět na obrázku 5.8, podařilo se navrhnout vstup tak, aby nedošlo k překročení Machova čísla. Plánovaná vstupní rychlost byla okolo 270 m/s, čemuž jsme se přiblížili. Dále je vidět, že u výstupu z dýzy a vstupu vzduchu do disků nedochází k velkému promíchávání nově přichozího vzduchu a vzduchu již rotujícím v discích. Na obrázku 5.9 a 5.10 můžete vidět pohyb částic ve výstupní hřídeli. Díky vsazenému kuželu nedochází k promíchávání plynu. A díky rotování hřídele se dostává plyn do kruhového pohybu, který zajišťuje plynulý pohyb částic ven. Dále je na obrázku 5.11 vidět, že v prostoru výstupu v místě propojeném výřezy v disků se vyrovnává tlak, což umožňuje lepší odtékání vzduchu ven.

6 VÝROBA

Původně bylo v plánu v bakalářské práci vytvořit velký model turbíny, který by bylo možné vyzkoušet v praxi, avšak vzhledem k příliš vysokým nákladům na výrobu a časové náročnosti se od tohoto nápadu ustoupilo a rozhodli jsme se pro model vytištěný na 3D tiskárně, ovšem nemůže mít vypovídající hodnotu, co se týče účinnosti.

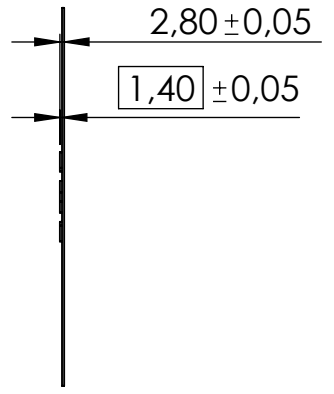
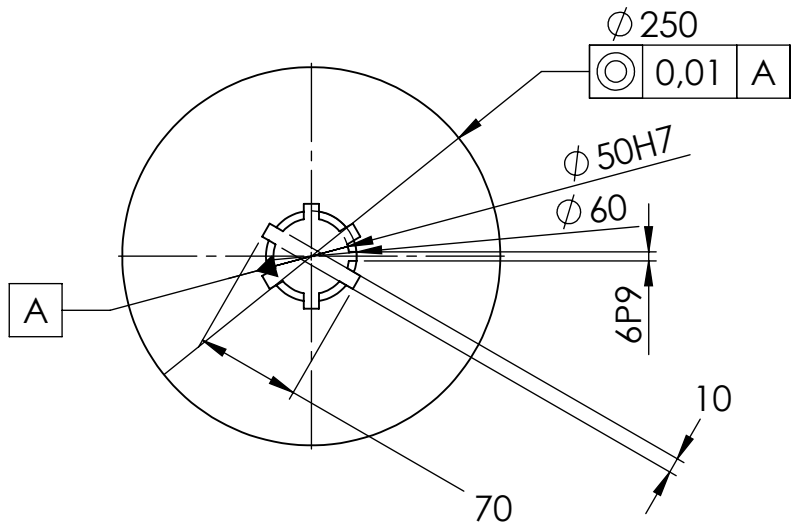
6.1 Výkresy

K turbíně je také vytvořena výkresová dokumentace všech dílů, které slouží pro výrobu. Výkresy jsou tvořeny podle platných zásad a norem. Zbytek výkresů je součástí přílohy bakalářské práce.

4 3 2 1

F

F



E

E

D

D

C

C

3.2

B

B

Netolerované rozměry ISO 2768 mK

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK: JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH DRSNOST: TOLERANCE: LINEÁRNÍ: ÚHLOVÁ:	OPRACOVÁNÍ:			ODSTRANIT OSTRÉ HRANY	NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU	ZMĚNA
	JMÉNO	PODPIS	DATUM	NÁZEV:		
NAVRHL				Č. VÝKRESU	disk	A4
PŘEZKOUSEL						
SCHVÁLIL						
VÝROBA						
Z. JAKOSTI						
HMOTNOST:				MĚŘÍTKO: 1:5	LIST 1 Z 1 LISTŮ	

A

A

4 3 2 1

6.2 3D tisk

Začátky 3D tisku sahají do 90. let minulého století, technologie byla ovšem úplně odlišná, využívalo se UV laserů a fotopolymeru. Jednalo se ovšem o velice drahou techniku a tak se rozšířila pouze do velkých technických firem. Obrovský boom 3D tisku nastal v minulém desetiletí, kdy vznikla technologie polyjet, tedy 3D tisk, jak jej dnes známe. Jedná se o technologii, která využívá digitálních 3D modelů, z těchto dat je poté vytisknut fyzický 3D model. Jedná se o aditivní technologii, kdy se model tiskne po vrstvách.

Pro tvorbu modelů se využívá buďto CAD programů, ve kterých se části vytvoří a poté uloží ve vhodném formátu, to umožňuje vytvořit libovolné tvary, nebo 3D skener, který dokáže z již hotových předmětů vytvořit data pro následující tisk [39]. Na obrázku 6.1 můžete vidět představitele polyjet tiskárny.

Při návrhu modelu pro 3D tiskárnu je třeba počítat s maximálními rozměry, které dokáže tiskárna vytisknout, pokud je díl příliš veliký, je třeba díly tisknout po částech a ty následně spojit dohromady.

U 3D tisku se používá široká paleta materiálů a barev materiálů. Každý materiál má své typické vlastnosti, které ovlivňují tepelnou odolnost, pevnost a tiskové vlastnosti. Nejběžnější materiály pro tisk prototypů jsou PLA a ABS a to z důvodu nízkých nákladů na tisk.

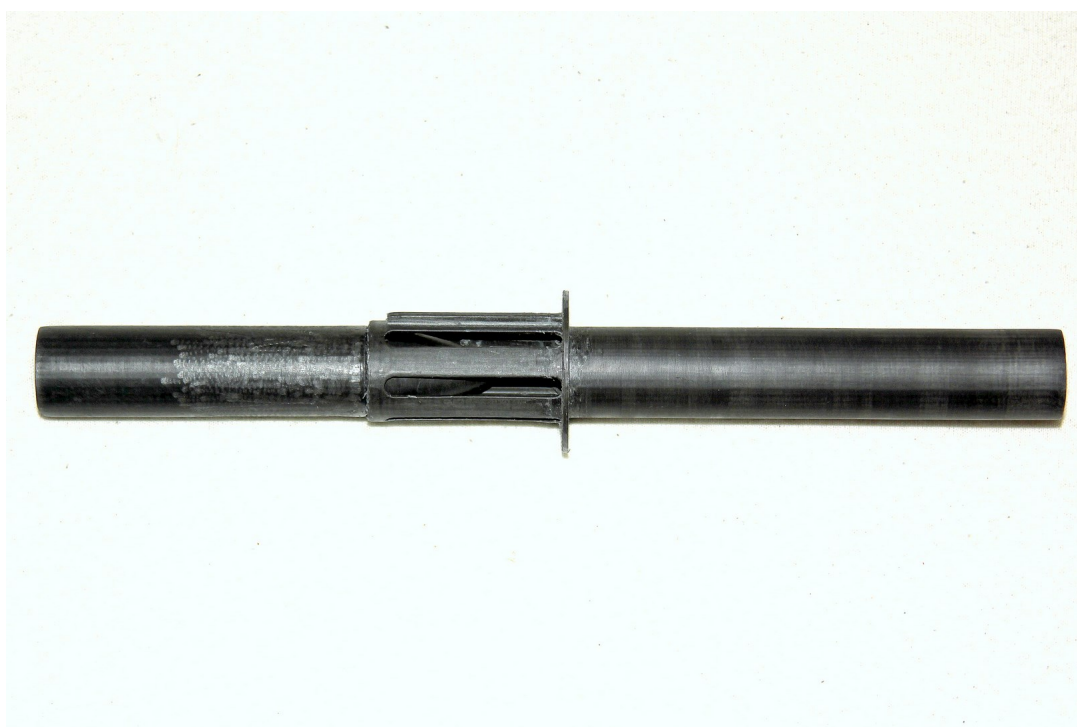


Obr. 6.1: 3D tiskárna Prusa i3 MK3(převzato z [40])

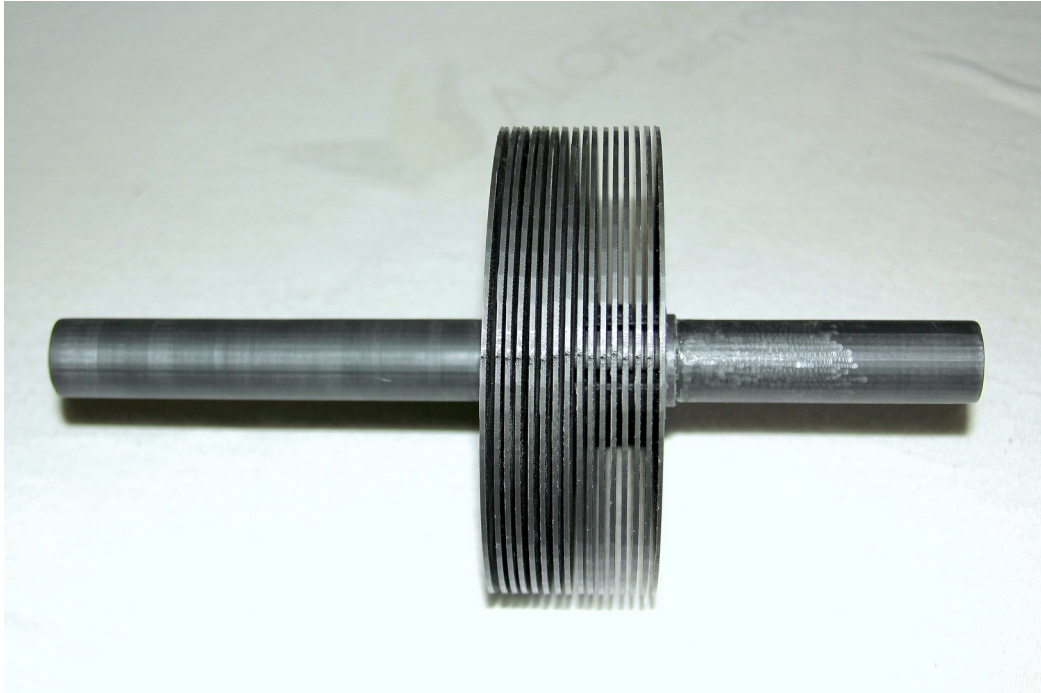
6.3 Vytištěný model

Model mojí turbíny jsem musel zmenšit v poměru 2:1 a to v osách X a Y, rozměry v ose Z jsem nechal zachované, protože by bylo téměř nemožné vytisknout tak tenké disky. Pro tisk jsme použili PLA plast, protože se jedná o nejběžnější typ tiskového materiálu s přijatelnými vlastnostmi.

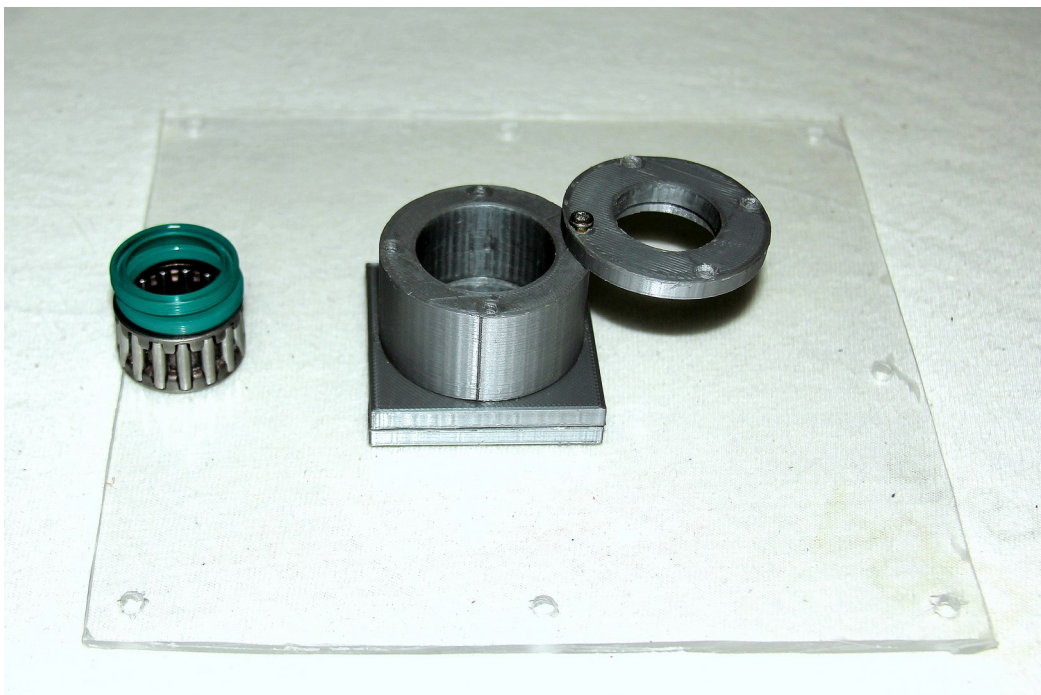
Při sestavování vytištěných dílů jsem narazil na problém s přesností, neboť 3D tisk má své tolerance a není tak přesný jako strojní výroba. Proto jsem musel všechny díly, které měly přesně dosedat dohromady, vyfrézovat a zbrousit o několik desetin mm, aby vše sedělo dohromady. Další problém nastal při hledání vhodných ložisek. Protože prostor pro ně ve zmenšeném modelu není největší, musel jsem využít jehličkových ložisek bez vnější a vnitřní klece.



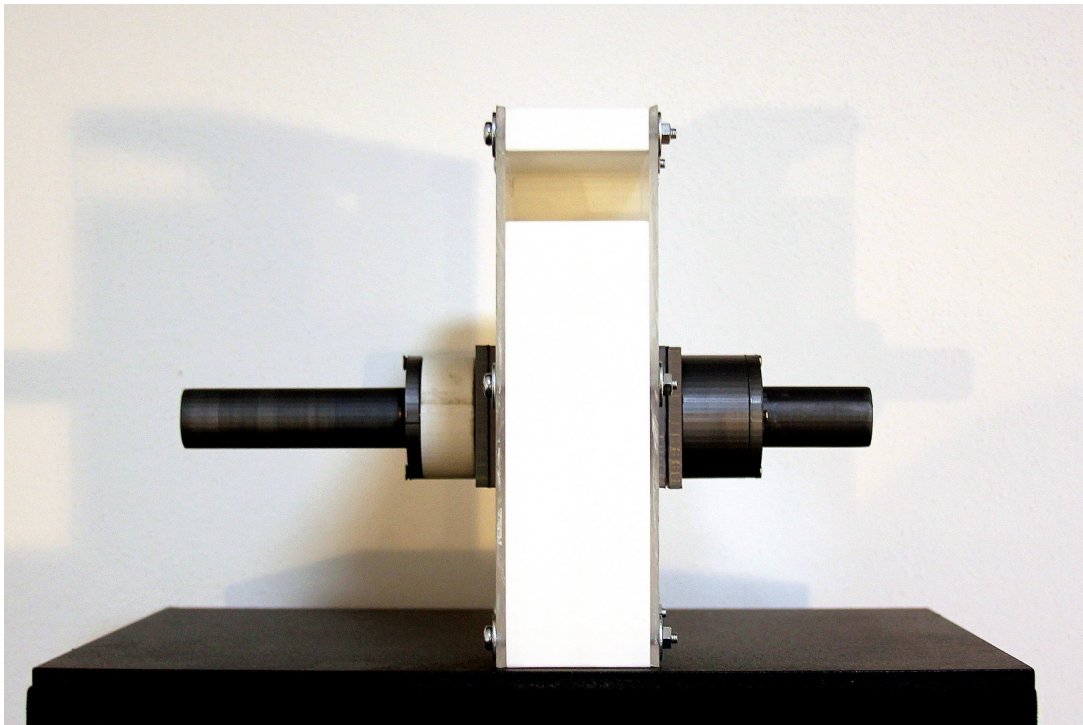
Obr. 6.2: Vytištěná hřídel



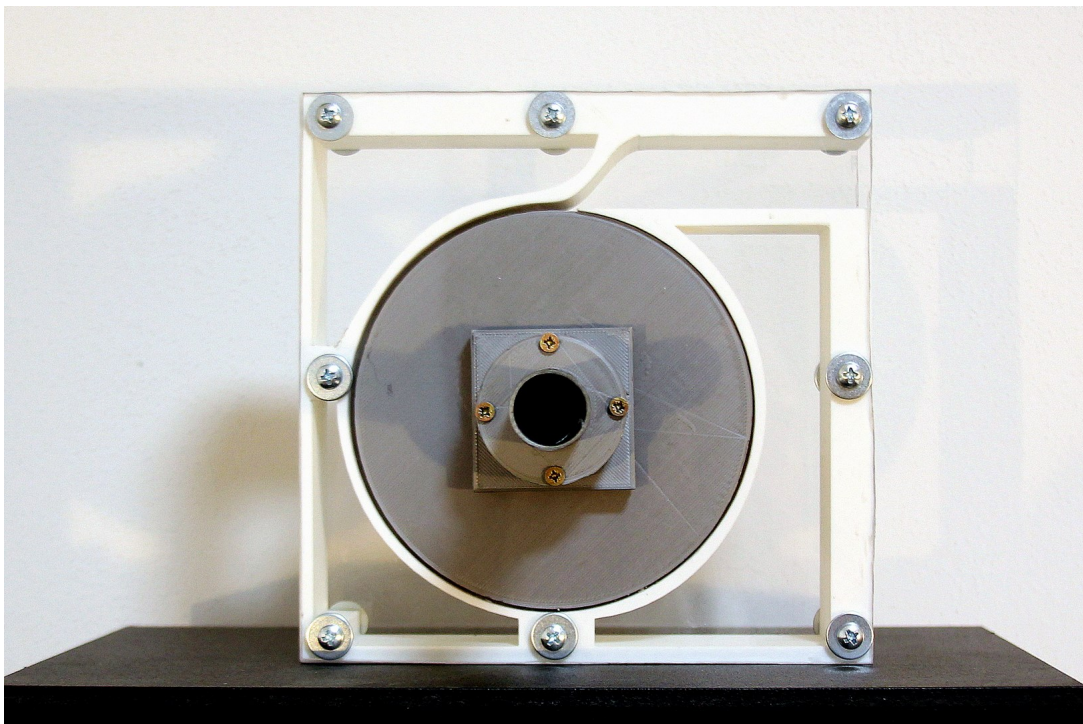
Obr. 6.3: Hřídel s nasazenými disky



Obr. 6.4: Zkompletovaná boční stěna s ložiskem a gufery



Obr. 6.5: Pohled na sestavenou turbínu zepředu



Obr. 6.6: Pohled na sestavenou turbínu z boku

Na obrázku 6.2 je vyfocená hřídel, která je již složena dohromady. Bylo třeba vylámat dutou část hřídele z tiskových podpěr a opracovat dosedací plochy tak, aby do sebe přesně zapadly. Poté byl spoj turbíny zafixován lepidlem.

Na obrázku 6.3 jsou již na hřídeli nasazeny disky, u disků bylo třeba opracovat vnitřní hrany, které měly drobné přesahy vytvořené tiskárnou. Poté byly disky nasazeny na hřídel a staženy pojistným kroužkem. Pojistný kroužek byl poté zajištěn lepidlem.

Na obrázku 6.4 vidět zkompletovaná boční stěna a ložisko s gufery, tato stěna patří na stranu hřídele, kde jsou disky staženy pojistným kroužkem. Bylo třeba odstranit tiskové podpěry z uložení, poté bylo nutné vyfrézovat prostor pro ložisko tak, aby se mohlo volně pohybovat i se vsazenou hřídelí, nevýhodou tohoto ložiska je, že nemá vnitřní a vnější klec a tak nemá přesně definovaný vnější a vnitřní průměr. Dále bylo třeba opracovat vnitřní průměry nástaveb na boku turbíny a vnější část uložení, která se do ní vsazuje. A také bylo nutné zbrousit hrany víčka, aby šlo zasunout do uložení. Vše je pak s boční stěnou spojeno šrouby a vše je utěsněno silikonem.

Na obrázku 6.5 a 6.6 je již celá turbína sestavená. Vnitřní plochy těla byly vyhlazeny brusným papírem. Boční stěny jsou s tělem spojeny několika šrouby a obvod turbíny je utěsněný silikonem.

7 ZÁVĚR

V teoretické části práce jsou popsány jednotlivé druhy vodních zařízení. Byl zde rozebrán princip fungování vodních kol a jejich představitelé. Dále jsou v práci popsány vodní turbíny, a to jejich rozdělení a představitelé. Dále se práce zabývá popsáním Teslovy turbíny. Popisuje se zde konstrukce, která je popsána v patentu, dále fyzikální jevy, které ovlivňují nejvíce fungování této turbíny. V práci se také Teslova turbína porovnává s dnes běžně využívanými typy turbín a je zde vypsána možnost jejího využití v praxi.

Praktická část práce byla zaměřena na návrh Teslovy turbíny. Byly zde popsány problémy, které jsou potřeba eliminovat, aby v turbíně nedocházelo ke snižování účinnosti. Proto byla v práci vysvětlena zvolená modifikace oproti Teslově návrhu. Tyto modifikace se díky simulacím ukázaly jako správné a poměrně výrazně zlepšily proudění v turbíně. Zlepšilo se proudění na vstupu, kdy nově přichází plyn nevytváří turbulence, tak především proudění na výstupu, kde již nedochází k vírům. V práci jsou ukázány jednotlivé díly turbíny, které jsou potřebné k její konstrukci, k práci jsou dále přiloženy výkresy, které slouží jako podklady pro výrobu této turbíny. Poslední kapitola práce se zabývá samotnou výrobou turbíny, která byla vytvořena formou 3D tisku. Je zde popsáno, jak probíhalo její sestavování a je zde zobrazena zhotovená turbína.

Na tuto práci bych chtěl navázat v mém následujícím studiu. Kdyby se turbína nechala zhotovit podle aktuálního návrhu, bylo by na ní možné provést měření jejích reálných vlastností. Dále bych chtěl prověřit využitelnost turbíny v některé z již zmíněných praktických aplikací.

LITERATURA

- [1] KLEZKA, Vojtěch. *Vodní kola*. Brno, 2014. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. Vedoucí práce Doc. Ing. Miloslav Haluza, CSc.
- [2] Gifhorn - vod1. In: *Povětrník* [online]. Brno: Povětrník, 2006 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: http://povetrnik-cz.svethostingu-tmp.cz/rs/image/200605152239_100_9969.jpg
- [3] NEŠPOROVÁ, Kristina. *Mlýn*. In: *Dřevostavitel* [online]. *Dřevostavitel*, 2017 [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/galerie/clanky/656/mlyn.jpg>
- [4] Kolarovo. In: *Fotografie míst Slovenska* [online]. Fotografie míst Slovenska, [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://www.kamim.sk/fotkym/kolarovo-10.jpg>
- [5] Zuppingerovo kolo. In: *Vodní kola* [online]. *Vodní kola*, [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: http://www.vodnikola.cz/img/zuppingerovo_kolo.jpg
- [6] Korečnick na horní vodu. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnikolaHD/korecnikHD.htm>
- [7] Turbine. In: *Dictionary.com* [online]. Dictionary.com [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <http://www.dictionary.com/browse/turbine>
- [8] MACHÁT, Pavel. *VODNÍ TURBÍNY A JEJICH VYUŽITÍ*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ. Vedoucí práce Ing. Daniel Himr.
- [9] ROVNOTLAKÁ VODNÍ TURBÍNA. *ČEZ* [online]. xx: ČEZ, 1999 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/rovnotlak_vodturb.html
- [10] Peltonova turbína. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [11] Peltonova Turbína. In: *Jihlavsko* [online]. Jihlavsko, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://vyuka.jihlavsko.cz/elektrina-vyroba/obr/turbina-peltonova-tech-muzeum-Brno2008.jpg>

- [12] Turbína Turgo. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/turgo.htm>
- [13] Congratulations! You have a tiny turbine. In: *National Trust Going Green* [online]. National Trust Going Green, 2013 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://ntenvironmentalwork.files.wordpress.com/2013/05/hydrolite-gorsen.jpg>
- [14] Bánkiho turbína. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [15] Hydr'open: an ingenious small turbine to give access to energy. In: *LinkedIn* [online]. Grenoble, France: We share the power, 2015 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: https://media.licdn.com/mpr/mpr/shrinknp_400_400/AAEAAQAAAAAAAAInAAAAJDMwZTllMjBhLTA-zOTMtNGE2Yy05NWQzLWYyMzI3YzRmZjA2Mw.jpg
- [16] PŘETLAKOVÁ VODNÍ TURBÍNA. ČEZ [online]. ČEZ, 1999 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/pretlak_vodturb.html
- [17] Francisova horizontální turbína. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-horiz.htm>
- [18] Francisova vertikální turbína. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-vertik.htm>
- [19] Horizontální turbína se "suchou savkou". In: *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů, [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-horiz.htm>
- [20] Francisova vertikální turbína. In: *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc, Abecedamalýchvodníchpohonů [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-verikalni.gif>
- [21] Kaplanova S-turbína. *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. Olomouc: Abeceda malých vodních pohonů [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>

- [22] Deriaz turbine. *The Worlds of David Darling* [online]. The Worlds of David Darling [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/AE__Deriaz__turbine.html
- [23] Deriaz turbine. In: *Strukts* [online]. 2012 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: http://1.bp.blogspot.com/-pclOYaDxdU/VRQi5NvMAMI/AAAAAAAAABSsw/QL9IUckgn2Y/s320/Deriaz__turbine.jpg
- [24] BLOUDÍČEK, Petr. *KONSTRUKCE TESLOVY TURBÍNY*. Brno, 2007. Diplomová práce. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, ÚSTAV KONSTRUKOVÁNÍ. Vedoucí práce Ing. David Paloušek.
- [25] Nachbau einer Tesla-Turbine mit 3D-gedruckten Bauteilen – Teil 1. In: *Mark3D* [online]. Mark3D [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <https://www.mark3d.com/wp-content/uploads/2017/04/tesla-animation.gif>
- [26] PODERGAJS, Matej. *The Tesla Turbine*. Lublaň, 2011. Seminární práce. University of Ljubljana, Faculty of Mathematics and Physics. Vedoucí práce Prof. dr. Rudolf Podgornik.
- [27] Build a 15,000 Rpm Tesla Turbine Using Hard Drive Platters. In: *Instructables* [online]. Instructables [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <https://cdn.instructables.com/FV0/S7YD/5AQEP27YAST/FV0S7YD5AQEP27YAST.MED>
- [28] MRAČNA STRANA GENIJA: Nikola Tesla zagovarao je nešto stravično u ljudskom rodu!. In: *Slobodna Bosna* [online]. Slobodna Bosna, 2017 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: http://www.slobodna-bosna.ba/img/vijesti/2017/02/nikola__tesla.jpg
- [29] NIKOLA TESLA THE GENIUS WHO LIT THE WORLD. *Tesla Memorial Society of New York* [online]. New Yourk: Tesla Memorial Society of New York, 1998 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://www.teslasociety.com/biography.htm>
- [30] Nikola. *Turbine*. 1911. USA. US1061206 A. Uděleno 6. květen 1913. Zapsáno 17. leden 1911.
- [31] 10 Greatest Inventions of Nikola Tesla. In: *Pinterest* [online]. TopTenz.net, 2015 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/736x/a9/59/13/a95913cb7d977fe34d7ccefc7128d7fa-tesla-turbine-tesla-inventions.jpg>

- [32] Tesla pump patent. In: *Tesla universe* [online]. UNITED STATES PATENT OFFICE [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/patents/us-patent-1061142-fluid-propulsion>
- [33] LOKAJ, Jakub. *TESLOVA BEZLOPATKOVÁ TURBINA*. Brno, 2016. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ.
- [34] TESLA TURBINE. In: *Joshua Koerpel* [online]. Joshua Koerpel [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://joshuakoerpel.com/wp-content/uploads/2012/01/medium.jpg>
- [35] MAŠTOVSKÝ, Otakar. *Hydromechanika pro strojní inženýry*. SNTL, 1956.
- [36] JANALÍK, Jaroslav. *VYBRANÉ KAPITOLY Z MECHANIKY TEKUTIN*. Ostrava, 2008. Výukový text. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA.
- [37] ROZDÍLY V PROUDĚNÍ. In: *Techmania science center* [online]. Techmania science center [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/sites/default/files/podrobnosti/insert/182-1.gif>
- [38] Anticyklóna – tlaková výše. In: *El speedo* [online]. El speedo [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: https://elspeedo.cz/wp-content/uploads/2016/12/turbulentni_proudeni.jpg
- [39] *3D tisk a jeho využití v technickém vzdělávání*. České Budějovice, 2015. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce PaedDr. Petr Pexa, Ph.D.
- [40] 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3. In: *Prusa Research* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/181-3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3.html>

SEZNAM PŘÍLOH

A	Výkresová dokumentace	52
B	Model	53
C	Animace simulací	54
D	Obsah přiloženého CD	55

A VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Na přiložené CD je kompletní výkresová dokumentace celé turbíny.

B MODEL

Na CD je dále přiložen kompletní SolidWorks model se všemi jeho díly.

C ANIMACE SIMULACÍ

Na CD jsou dále přiloženy animace ze simulací.

D OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

/	kořenový adresář přiloženého CD
	Přílohy	
	Příloha A Výkresová dokumentace
	Příloha B SolidWorks model
	Příloha C Animace
	Použité obrázky	
	Sedina_BP_Teslova_turbina.pdf hlavní soubor práce
	readme.txt soubor s popisem obsahu CD