

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Diplomová práce

Ekonomická efektivnost' výroby elektriny z moderných vodných zdrojov

Samuel Šárpataky

Vedúci práce: Ing. Július Bemš, Ph.D.

Študijný program: Ekonomika a řízení energetiky

2017

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu vypracoval samostatne a použil som len podklady (literatúru, projekty, SW atď.) uvedené v priloženom zozname.

V Prahe dňa

.....

Meno Priezvisko

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šárpataky** Jméno: **Samuel** Osobní číslo: **406178**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Ekonomická efektivnost výroby elektřiny z moderních vodních zdrojů

Název diplomové práce anglicky:

Economic effectiveness of electricity production from modern water power resources

Pokyny pro vypracování:

- charakterizujte typy vodních turbín (od historie po současnost) z hlediska parametrů, využití a pod.
- detailněji charakterizujte technologii turbíny SETUR doc. Sedláčka
- navrhnete zapojení turbíny SETUR pro rodinný dům
- vypracujte analýzu návrhu po technické a ekonomické stránce

Seznam doporučené literatury:

Malé vodní elektrárny, kolektiv autorů, vydavatelství: Jaga group, 2003, 184 stran
Abeceda malých vodních pohonů, <http://mve.energetika.cz>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Július Bemš Ph.D., FEL ČVUT v Praze, K 13116

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Pod'akovanie

Ďakujem Ing. Júliusovi Bemšovi, Ph.D. za vedenie mojej diplomovej práce, pánovi Doc. Ing. Miroslavovi Sedláčkovi, CSc. za poskytnutie vzácnych informácií o jeho turbíne a pánovi Viktorovi Laikovi za povolenie na použitie jeho obrázkov.

Abstrakt

Cieľom mojej diplomovej práce bolo charakterizovať typy vodných turbín od ich počiatkov v histórii až po súčasnosť. Následne charakterizovať technológiu turbíny SETUR doc. Sedláčka a vytvoriť návrh tejto turbíny pre rodinný dom. Pre tento návrh som zhotovil model, ktorý sa skladá z 3 variantov a to konkrétne: varianta 1 – bez turbíny, varianta 2 – turbína s akumuláciou, varianta 3 – turbína bez akumulácie. Nakoniec som tieto varianty porovnal na základe ekonomického hodnotiaceho kritéria čistej súčasnej hodnoty NPV. Optimálnou variantou, ktorá vyšla na základe tohto porovnania, je varianta 3 – turbína bez akumulácie. Na výpočet som použil software MS Excel, v ktorom boli vykonané všetky výpočty, tabuľky a grafické zobrazenia.

Abstract

The goal of my master's degree project was to characterize types of water turbines since their beginnings in history up to the present days. Then characterize turbine technology of SETUR by doc. Sedláček and create a design of this turbine for selected house. For this design, I created model, that is made of 3 different variants which are: variant 1 – without turbine, variant 2 – with turbine and accumulation and variant 3 – with turbine and without accumulation. At last I will compare these variants with economical criterion net present value NPV. The optimal variant, that was selected on basis of the comparison, is variant 3 – turbine without accumulation. For calculations I used software MS Excel, where I have done all the calculations, tables and graphs.

Kľúčové slová

Turbína, voda, vodná elektrárň, tok, porovnanie, história, ČVUT, fakulta elektrotechnická, čistá súčasná hodnota, SETUR, návrh

Key words

Turbine, water, hydro power plant, flow, comparison, history, CTU, faculty of electrical engineering, net present value, SETUR, design

Obsah

Úvod.....	1
1. História využívania vodného toku	2
2. Typy vodných turbín.....	10
2.1 Francisova turbína.....	11
2.2 Peltonova turbína	14
2.3 Kaplanova turbína.....	15
2.4 Bánkiho turbína.....	17
3. Sedláčková turbína (SETUR).....	18
3.1 Konštrukcia a časti turbíny	18
3.2 Princíp fungovania.....	20
3.3 Praktické využitie.....	21
4. Návrh SETUR pre rodinný dom	26
4.1 Ekonomické hodnotiace kritériá a model.....	26
4.2 Lokalita a hydrologické podmienky	26
4.3 Výroba elektrickej energie	30
4.4 Spotreba elektrickej energie a DDZ rodinného domu.....	31
4.5 Varianta 1 – Bez turbíny	33
4.6 Varianta 2 – Turbína s akumuláciou	35
4.7 Varianta 3 – Turbína bez akumulácie	39
4.8 Porovnanie variant a zhodnotenie návrhu	42
Záver	45
Použitá literatúra a zdroje	46

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obr. 1 – Koleso na spodnú vodu.....	2
Obr. 2 – Koleso na strednú vodu.....	3
Obr. 3 – Koleso na vrchnú vodu.....	3
Obr. 4 – Schéma vodostĺpcového stroja.....	4
Obr. 5 – Segnerove reakčné koleso.....	4
Obr. 6 – Schéma Fourneyronovej odstredivej pretlakovej turbíny.....	5
Obr. 7 – Schéma Henschel-Jonvalovej turbíny.....	6
Obr. 8 - Schéma Zuppingerovej turbíny.....	6
Obr. 9 - Schéma Schwamkrugovej turbíny.....	7
Obr. 10 – Náčrt transmisíi.....	8
Obr. 12 – Schéma turbíny „Turgo“.....	9
Obr. 13 – Schéma vertikálnej Francisovej turbíny.....	12
Obr. 14 – Schéma horizontálnej Francisovej turbíny s mokrou savkou.....	13
Obr. 15 – Schéma horizontálnej Francisovej turbíny so suchou savkou.....	14
Obr. 16 – Schéma Peltonovej turbíny.....	15
Obr. 17 – Schéma Kaplanovej S-turbíny.....	16
Obr. 18 – Schéma semi-Kaplanovej turbíny.....	16
Obr. 19 – Schéma Bánkiho turbíny.....	17
Obr. 20 – Schéma turbíny SETUR.....	18
Obr. 21 – Schéma prvotného usporiadania turbíny SETUR.....	20
Obr. 22 – Trajektória pohybu rotoru v turbíne SETUR.....	21
Tab. 1 – Portfólio turbín SETUR vyrábaných firmou Mechanika Karlův dvůr s.r.o.....	22
Obr. 23 – DVE 120.....	22
Obr. 24 – Príklad inštalácie DVE 120.....	23
Obr. 25 – Miesto objektu (rodinného domu), uloženia turbíny a znázornenie vodného toku v obci....	27
Obr. 26 – Závislosť hydraulického príkonu na prietoku turbínou pre spády 3,4 a 5 m.....	29
Tab. 2 – Miestnosti, spotrebiče a ich spotreba elektrickej energie v rodinnom dome.....	31
Obr. 27 – Denný diagram záťaže pre rodinný dom počas pracovného a víkendového dňa.....	32
Tab. 3 – Vývoj cien elektrickej energie v Kč za dobu porovnania (2017-2026).....	33
Tab. 4 – Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 1.....	34
Obr. 28 – Citlivostná analýza – závislosť NPV na diskonte pre variantu 1.....	34
Tab. 5 – Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 2.....	37
Obr. 29 – Citlivostná analýza – závislosť nákladového NPV na diskonte pre variantu 2.....	38
Obr. 30 – Citlivostná analýza – závislosť NPV úspor na diskonte pre variantu 2.....	38

Obr. 31 – Citlivostná analýza – závislosť NPV nákladov na investičnej dotácii pre variantu 2.	38
Tab. 6 – Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 3.	40
Obr. 32 – Citlivostná analýza – závislosť NPV nákladov na diskonte pre variantu 3.	41
Obr. 33 – Citlivostná analýza – závislosť NPV úspor na diskonte pre variantu 3.	42
Obr. 34 – Citlivostná analýza – závislosť NPV nákladov na investičnej dotácii pre variantu 3.	42
Tab. 7 – Hodnoty čistej súčasnej hodnoty nákladov NPV pre všetky varianty.	43
Tab. 8 – Hodnoty čistej súčasnej hodnoty úspor NPV pre všetky varianty.	43

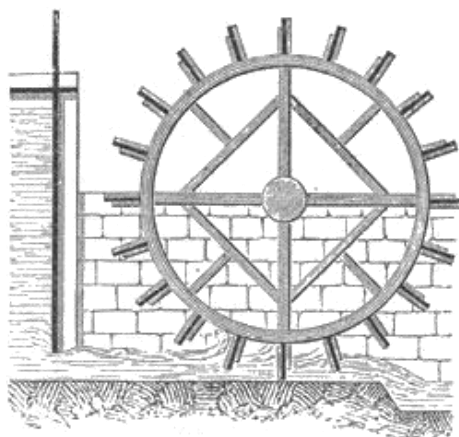
Úvod

V diplomovej práci sa budem zaoberať problematikou vodných turbín. V prvej časti charakterizujem typy historických vodných turbín od najstarších po najnovšie. Z týchto turbín si vyberiem v súčasnosti najpoužívanejšie, konkrétne: Francisovu turbínu, Kaplanovu turbínu, Peltonovu turbínu a Bánkiho turbínu. Tieto turbíny, ich vlastnosti, parametre a princíp fungovania detailnejšie popíšem. V ďalšej časti práce podrobne charakterizujem princíp fungovania odvaľovacieho deja, na ktorom funguje turbína SETUR. Charakterizujem časti konštrukcie turbíny SETUR a možnosti praktického využitia tejto technológie. Ďalej sa budem zaoberať návrhom turbíny pre decentralizovanú výrobu v rodinnom dome. Vypočítam, koľko energie by sa dalo vyrobiť pomocou turbíny SETUR v danej lokalite. Zistím celkovú spotrebu elektrickej energie v spotrebičoch, stanovím denný diagram záťaže (DDZ) a vytvorím model pre vyhodnotenie tejto bilancie. Nakoniec pomocou ekonomického hodnotiaceho kritéria, konkrétne čistej súčasnej hodnoty NPV, porovnam 3 varianty scenárov spotreby a výroby energie v mnou zvolenom rodinnom dome. Tieto varianty sú: varianta 1 – bez turbíny, varianta 2 – turbína s akumuláciou a varianta 3 – turbína bez akumulácie. Následne toto porovnanie vyhodnotím po technickej a ekonomickej stránke a zvolím optimálnu variantu konkrétneho problému.

1. História využívania vodného toku

Už od počiatku vekov sa ľudstvo snažilo prispôbovať okolitú krajinu jeho potrebám. Vynaliezavosť prvotných obyvateľov našej planéty siaha do dávnych dôb, kedy si naši predkovia uvedomili, že sa isté prírodné sily dajú využiť k ich prospechu. V tejto práci sa budem zaoberať najmä využitím vody a vodného toku.

Prvá zmienka využívania istého typu „technológie“ pre prospech väčšieho počtu ľudí sa datuje do roku približne 600 p.n.l. Bola to pradávna civilizácia Chaldejcov, ktorá ako prvá prišla na to, ako sa dá zmeniť, či prispôbiť tok vody. K tomuto účelu využívali čerpacie koleso, pomocou ktorého čerpali vodu do kanálov na zavlažovanie ich polí. Táto inovácia im pomohla efektívnejšie pestovať plodiny a tým umožnila zaistiť väčšie množstvo potravín, čo dalo základ vzniku prvých miest (väčšieho počtu ľudí na malom území). Obdobný nápad vznikol aj v starovekom Egypte, približne 230 rokov p.n.l. Egypťania využívali lyžicové hnacie kolesá k pohonu vedier, pomocou ktorých čerpali vodu, ktorú využívali na zavlažovanie a stavebné úpravy (vytvorenie vodorovnej roviny). V roku 150 p.n.l. sa v Rímskej ríši objavujú prvé vodné mlyny. Išlo o vodné kolesá na spodnú vodu (obr. 1), z ktorých niektoré mohli dosahovať účinnosť až 30-35%, nevýhodou tohto kolesa je, že nevyužíva spád vody, teda potenciálnu energiu.



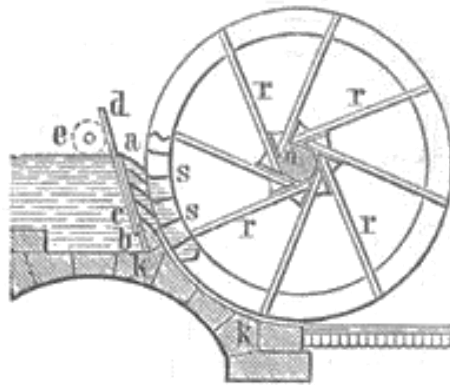
Obr. 1 – Koleso na spodnú vodu.¹

Taktiež sa objavujú prvé mlyny s vertikálnou osou. Tieto stavby (vodné mlyny) sa postupne stávajú neoddeliteľnou súčasťou vtedajšieho obyvateľstva a spôsobom, ako zasýtiť väčšie počty ľudí a tým umožniť ich prežitie. Postupne sa začínajú stavať aj vodné kolesá na strednú (obr. 2) a vrchnú

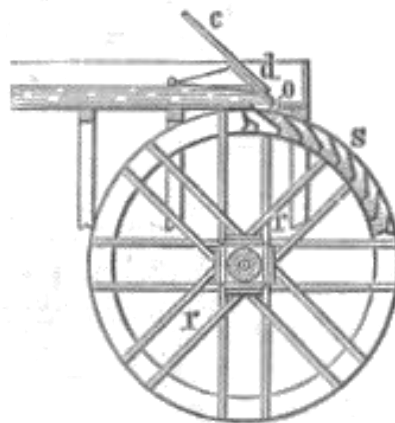
¹ Zdroj -

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a9/Wasserrad_unterschlaechtig_meyers.png?1494786347908

(obr.3) vodu, ktoré majú oproti svojmu predchodcovi výhodu, že okrem kinetickej využívajú aj potenciálnu energiu vody.



Obr. 2 – Koleso na strednú vodu.²



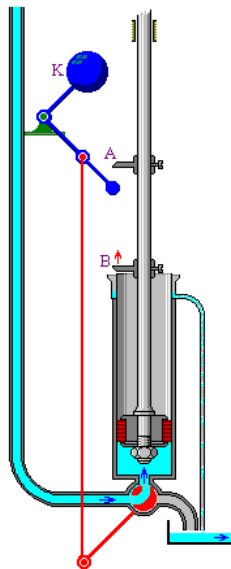
Obr. 3 – Koleso na vrchnú vodu.³

V strednej Európe sa prvý mlyn s vodným kolesom postavil v roku 718 n.l. Mlyn vytvoril tesár Halak pre mlynára Sacha v Žatci na rieke Ohře. Od 12. storočia je vodné koleso známe už po celej Európe. V roku 1749 sa Jozefovi Karolovi Hellovi podarilo zostrojiť a uviesť do prevádzky vodostĺpcový stroj (obr. 4) na odsatie vody z baní v Banskej Štiavnici, čím nielen zachránil ťažbu

²Zdroj - https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Wasserrad_mittelschlaechtig_meyers.png

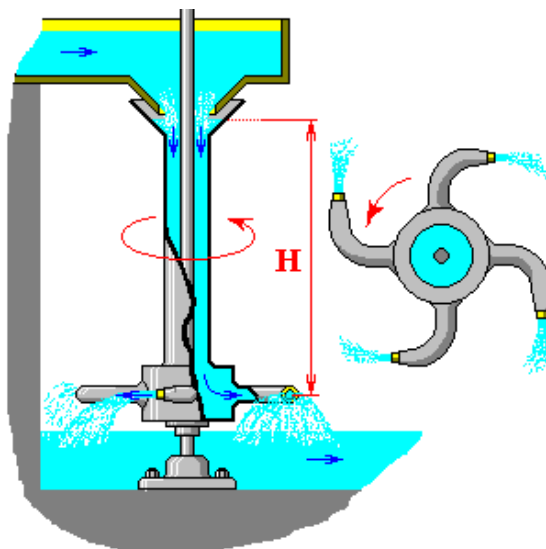
³Zdroj - https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/Wasserrad_oberschlaechtig_meyers.png

v týchto baniach ale dal predpoklad k rozvoju nového typu vodných turbín a čerpadiel pracujúcich s vysokým tlakom vody.



Obr. 4 – Schéma vodostĺpcového stroja.⁴

O rok neskôr (1750) zostrojil lekár Johann Andreas Segner prvé reakčné koleso (obr. 5), ktoré využívalo podobný pohonný systém ako moderné raketové pohonné jednotky (na základe zákona zachovania hybnosti). Toto zariadenie sa v roku 1753 podarilo zdokonaľiť Leonardovi Eulerovi.

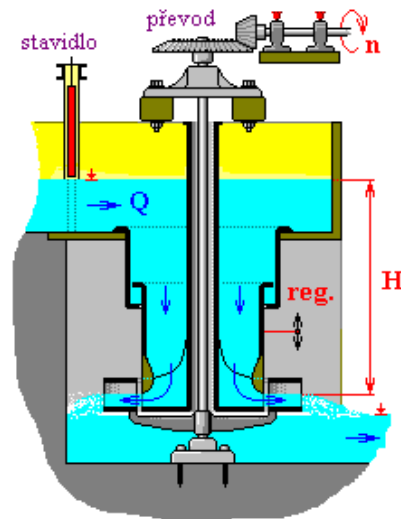


Obr. 5 – Segnerove reakčné koleso.⁵

⁴ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/vodosloupcovy-stroj.htm>

⁵ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/segner.htm>

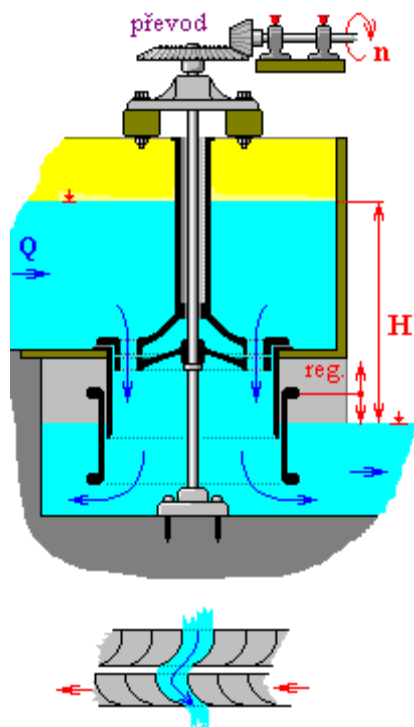
V rokoch 1824-1826 sa vo francúzskej dielni profesora Claude Burdina vyvíjala úplne nová technológia pretlakových turbín a v roku 1827 je prvá z týchto turbín zavedená do prevádzky. Burdinov žiak Benoit Fourneryon, inšpirovaný svojim učiteľom v rokoch 1827-1833, sa snaží o vymyslenie nového typu turbíny, čo sa mu v roku 1834 podarí zavedením odstredivej pretlakovej turbíny (obr. 6) vo francúzskych železiarňach. V roku 1837 sa nemeckému technikovi Henschlovi podarí túto turbínu vylepšiť doplnením o tzv. savku.



Obr. 6 – Schéma Fourneryonovej odstredivej pretlakovej turbíny.⁶

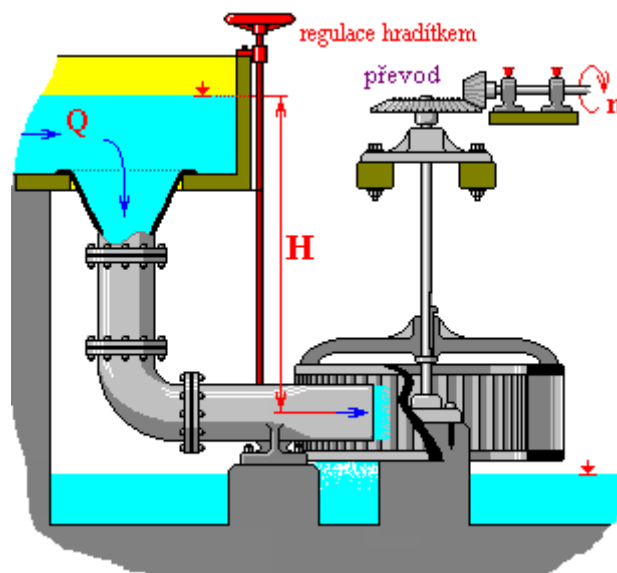
Ďalším objavom bola Henschel-Jonvalova turbína (obr. 7), ktorú v roku 1837 skonštruoval v Nemecku Carl Anton Henschel a neskôr zdokonalil Francúz Feu Jonval v roku 1841. Táto turbína sa vyrábala až do roku 1905, kedy bola nahradená účinnejšou Francisovou turbínou.

⁶ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/fourneryon.htm>



Obr. 7 – Schéma Henschel-Jonvalovej turbíny.⁷

V roku 1844 švajčiarsky inžinier Zuppinger zostrojil prvú rovnotlakovú turbínu s vonkajším vstrekom (Zuppingerovu turbínu) (obr. 8).

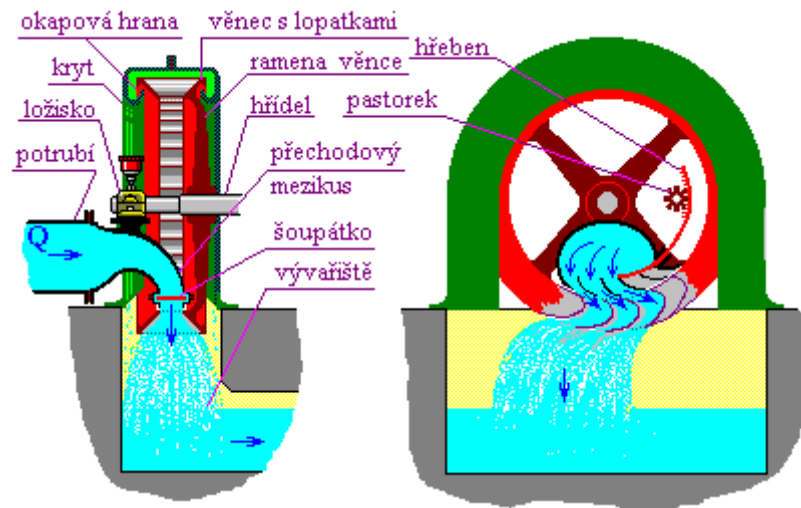


Obr. 8 - Schéma Zuppingerovej turbíny.⁸

⁷ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/henschel-jonval.htm>

⁸ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/zuppingerova-turbina.htm>

Táto turbína sa využívala len zriedka, a to kvôli jej obrovským rozmerom, nízkym otáčkam a vysokej citlivosti na nečistoty, a preto bola neskôr vytlačená menšou Schwamkrugolovou turbínou, ktorú vymyslel v roku 1848 Friedrich Wilhelm Schwamkrug (obr. 9). Neskôr sa aj táto turbína nahradila modernejšou variantou (Bánkiho turbínou).

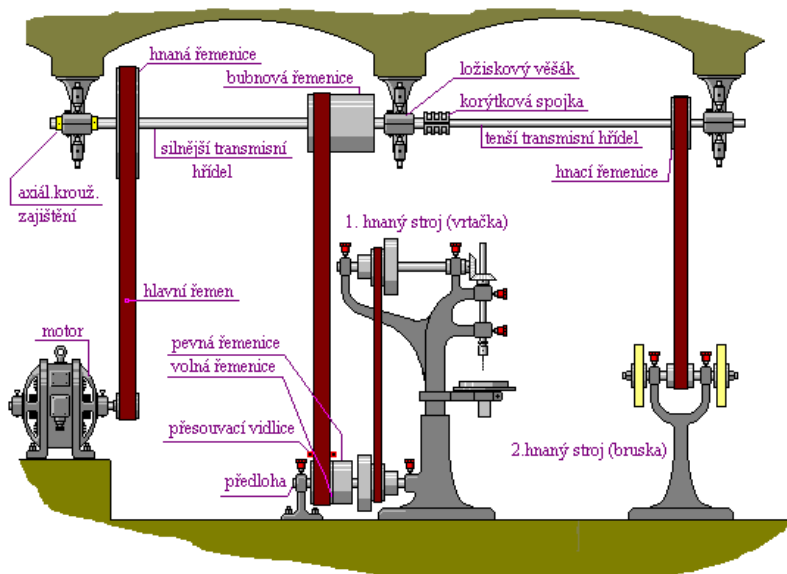


Obr. 9 - Schéma Schwamkrugovej turbíny.⁹

Jeden z najväčších objavov sa podarilo vytvoriť americkému inžinierovi Jamesovi Bicheno Francisovi, a to zdokonalením Howdovej turbíny v rokoch 1847-1849. Takzvaná Francisova turbína mala obrovské výhody a to najmä široké spektrum využitia. Väčšie uplatnenie sa tejto turbíne podarilo dosiahnuť až v roku 1870 a turbínu následne v roku 1878 vylepšuje nemecký profesor R. Fink, konkrétne o možnosť natáčania lopatiek a následne v roku 1886 ju ešte upravuje Pfarr pre veľké spády. Tejto turbíne sa podrobnejšie venujem v ďalšej kapitole.

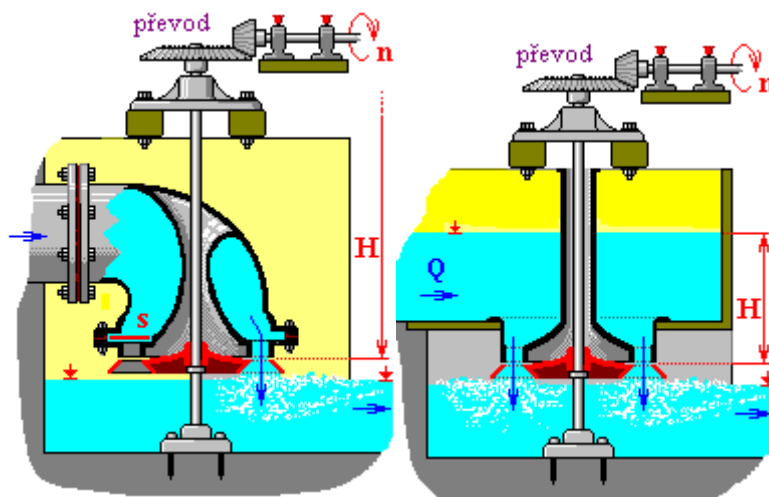
Od roku 1860 sa prevod hnacej sily pomocou veľkých drevených hriadeľov a ozubených kolies pretransformoval na prenos pomocou celožeľzných transmisii a plochých remeňov z hovädzej kože (obr. 10).

⁹ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/schwamkrug.htm>



Obr. 10 – Náčrt transmisíí.¹⁰

Jednou z významných turbín, hlavne na začiatku priemyselnej revolúcie, bola Girardova turbína (obr. 11 a,b). Vymyslel ju francúzsky inžinier Louis-Dominique Girard v roku 1863 a poháňala rôzne priemyselné zariadenia v textilnom, sklárskom a drevárskom priemysle. Dnes sa táto turbína už nepoužíva z dôvodu veľkých rozmerov, malých otáčok a vysokej citovosti na nečistoty.



Obr.11a,b – Girardova turbína pre vyššie spády (v ľavo) a nižšie spády (v pravo).¹¹

¹⁰ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/prevody/transmise.htm>

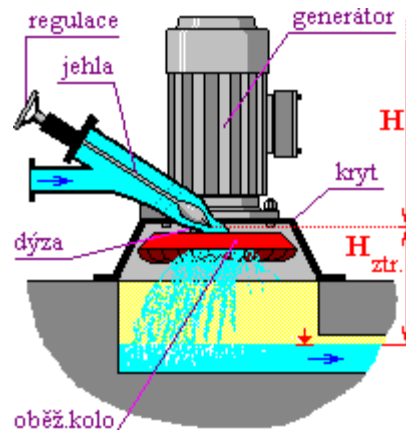
¹¹ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/historicketurbiny/girard.htm>

V rokoch 1877 – 1880 vynášiel Američan Lester Allen Pelton lyžicovú turbínu. Peltonova turbína sa dodnes používa pre miesta s malým prietokom vody, no s veľkým spádom. Tejto turbíne sa konkrétnejšie venuje ďalšia kapitola.

A.G. Michael v roku 1900 teoreticky vynášiel typ bubnovej turbíny. Tento návrh sa podarilo zdokonaľiť a matematicky vyriešiť až v roku 1918 a v roku 1919 maďarský profesor Donát Bánki zavádza do prevádzky prvú Bánkiho turbínu v Budapešti. Tejto turbíne sa taktiež venuje ďalšia kapitola.

V roku 1912 sa v Brne profesor Viktor Kaplan začal zaoberať typom vrtuľovej turbíny, ktorú neskôr vylepšuje o natáčanie lopatiek a patentuje ju. Prvá Kaplanova turbína bola vyrobená brnenskou zlievarňou Ignacea Storka v roku 1918 a do prevádzky sa zaviedla 26.3. 1919. V Československu sa v prvá Kaplanova turbína zavádza do prevádzky v roku 1921. Pre spád 38m bola prvýkrát použitá v roku 1938, pre 56m v roku 1953 a pre 71m v roku 1958. Kaplanovou turbínou sa podrobne zaoberá ďalšia kapitola.

V roku 1920 vzniká turbína pre veľké spády „Turgo“ z dielne E. Crewdsona (obr. 12). Táto turbína je dnes z dôvodu nedostatočnej publikácie málo používaná. Má skoro totožné vlastnosti ako Peltonova turbína a používa sa v situáciách, kde sa rozhoduje medzi Francisovou a Peltonovou turbínou.[2, 11, 12]



Obr. 12 – Schéma turbíny „Turgo“.¹²

¹² Zdroj - <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/turgo.htm>

2. Typy vodných turbín

Z dôvodu rôznych hydrologických podmienok a konfigurácií terénu sa v praxi používajú rôzne typy vodných turbín. Pojmom vodná turbína sa všeobecne rozumie hydraulický rotačný stroj, teda zariadenie pre premenu energie vodného toku (kinetickú aj potenciálnu) na rotačný pohyb (kinetickú energiu). Vodné turbíny sa skladajú z troch základných častí:

1. zariadenie na prívod vody k obežnému kolesu
2. obežné koleso
3. zariadenie na odvod vody od obežného kolesa.

Pomocou zariadenia na prívod vody k obežnému kolesu sa voda dostáva k rotačnej časti turbíny. Taktiež toto zariadenie slúži na čiastočnú alebo celkovú premenu tlakovej mernej energie kvapaliny (vody) na kinetickú mernú energiu kvapaliny.

Podľa spôsobu prenosu energie na obežné koleso delíme turbíny na:

1. pretlakové
2. rovnotlakové.

Pri pretlakových turbínach sa energia prenáša na lopatky obežného kolesa po celom jeho obvode a celý jeho priestor je zaplnený vodou. Časť tlakovej mernej energie je premenená v rozvádzacom kanáli a zvyšná, väčšia časť je premenená až pri prechode obežným kolesom. Lopatky v tomto type turbín sú v privádzacom a obežnom kolese opačne orientované. Pri rovnotlakových turbínach sa v priestore obežného kolesa okrem vody nachádza aj vzduch. Tlaková energia sa premení na kinetickú už v privádzacom kanáli. Na vstupe a výstupe obežného kolesa je tým pádom rovnaký tlak. Energia sa prenáša pôsobením na lopatky kolesa tak, aby voda po odrazení zmenila svoj smer prúdenia. Podľa Newtonovho pohybového zákona akcie a reakcie tým na seba vzájomne pôsobia voda a lopatky turbíny a dochádza k ustupovaniu lopatiek a otáčaniu kolesom, voda tak koná prácu. Dochádza teda k premene hydraulickej energie na energiu kinetickú.

Zariadenie na odvod vody od obežného kolesa v rovnotlakových turbínach je skrinka, ktorá zachytáva a odvádza vodu padajúcu od obežného kolesa. Zároveň slúži ako úchytná konštrukcia tohto kolesa. V prípade pretlakových turbín je toto zariadenie v podstate difúzor. Kinetická merná energia sa mení na tlakovú mernú energiu a umožňuje zníženie tlaku za obežným kolesom.

Turbíny vieme rozdeliť do jednotlivých kategórií podľa rôznych parametrov:

a) podľa prietoku vody v obežnom kolese:

1. Radiálne odstredivé – voda vteká do kolesa na lopatky smerom k hriadeľu.
2. Radiálne dostredivé – voda vteká do kolesa na lopatky smerom od hriadeľa.

3. Radiálno-axiálne – voda vteká kolmo na osu otáčania a vyteká rovnobežne s osou otáčania.
4. Diagonálne – voda preteká lopatkami šikmo smerom k hriadeľu.
5. Axiálne – voda preteká lopatkami v rovnakej vzdialenosti od osi otáčania.
6. Tangenciálne – voda priteká ako lúč v smere dotyčnice ku kružnici so stredom v osi otáčania.
7. S dvojnásobným prietokom – do kolesa voda vstupuje dostredivo a vystupuje odstredivo.
8. So šikmým prietokom – voda do kolesa vstupuje z bočnej strany a vystupuje v smere osi.

b) Podľa mernej energie turbíny (spádu):

1. Nízkotlakové – S mernou energiou menšou ako 200 J.Kg^{-1} .
2. Stredotlakové – S mernou energiou väčšou ako 200 J.Kg^{-1} a menšou ako 1000 J.Kg^{-1} .
3. Vysokotlakové – S mernou energiou väčšou ako 1000 J.Kg^{-1} .

c) Podľa výkonu:

1. Veľké – S výkonom vyšším ako 100 MW.
2. Stredné – S výkonom menším ako 100 MW a väčším ako 10 MW.
3. Malé – S výkonom menším ako 10 MW a väčším ako 1 MW.
4. Drobné – S výkonom menším ako 1 MW.

d) Podľa konštrukčného riešenia osy:

1. Horizontálne – S horizontálnou osou otáčania.
2. Vertikálne – S vertikálnou osou otáčania.
3. Šikmé – So šikmou osou otáčania.

Ďalšie delenia turbín sú: podľa usporiadania zariadenia pre prívod vody k obežnému kolesu, podľa zariadenia pre odvod vody od obežného kolesa, podľa typu lopatiek, podľa veľkosti merných otáčok, podľa smeru otáčania obežného kolesa, podľa autora turbíny a pod. [3]

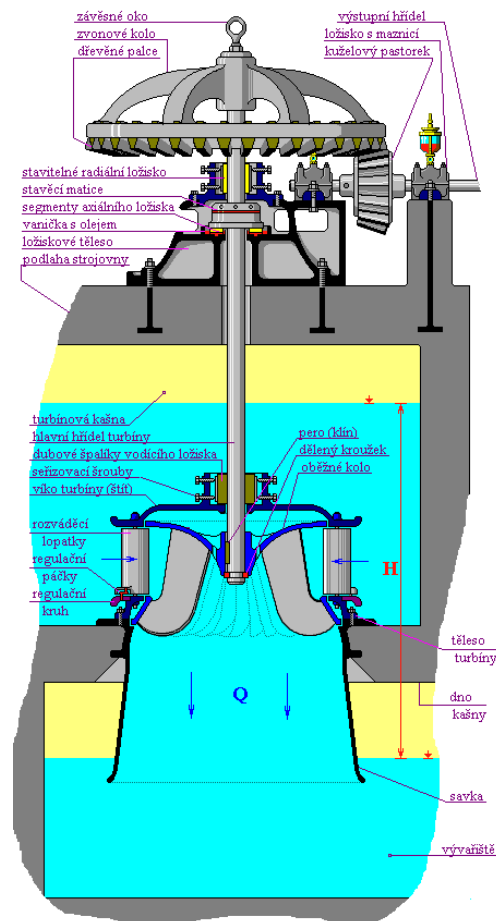
V nasledujúcich kapitolách popíšem typy vodných turbín, ktoré sa v praxi najviac uplatnili.

2.1 Francisova turbína

Ide o pretlakovú, radiálne axiálnu turbínu, ktorú vymyslel James Bicheno Francis. V minulosti našla táto turbína veľké uplatnenie, avšak neskôr bola vytlačená Kaplanovou turbínou. Poznáme 2 základné varianty tejto turbíny, vertikálnu a horizontálnu (podľa osi otáčania). Výhodou je, že tvar

obežného kola turbíny dokáže pracovať aj ako čerpadlo. Tohto faktu sa využíva napríklad pri čerpaní vody v prečerpávacích elektrárnach.

Vertikálna varianta tejto turbíny sa používa pre spády od 1,5 m do 5 m. Výhodou oproti horizontálnej variante je priama savka. Z tohto dôvodu má vertikálne prevedenie vyššiu účinnosť. Schéma tejto turbíny je zobrazené na obrázku (obr. 13).



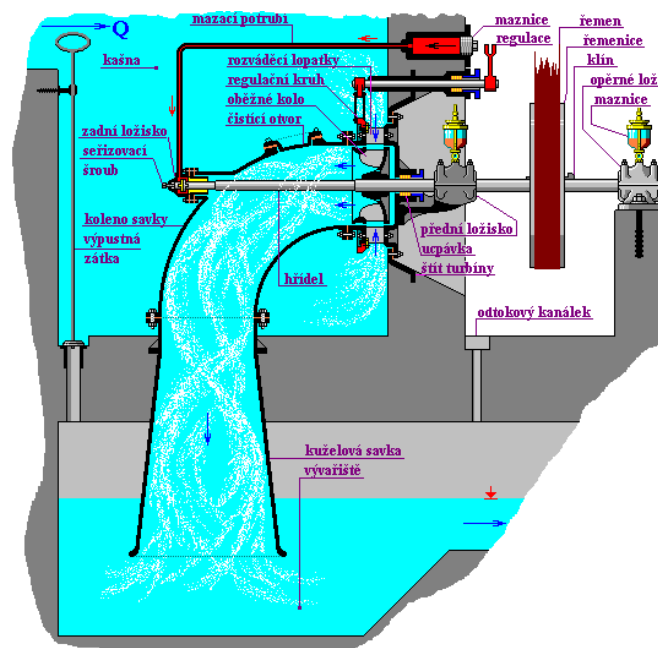
Obr. 13 – Schéma vertikálnej Francisovej turbíny.¹³

Princíp funkčnosti vyplýva z obrázku (obr. 13). Voda sa pod vysokým tlakom do obežného kola dostáva cez rozvádzač rozvodnými lopatkami, ktoré slúžia aj ako regulácia. Táto regulácia je spôsobená natočením lopatiek rozvádzača pomocou regulačného kruhu a páčky. Voda potom narazí na lopatky obežného kola a zmení svoj smer, koná prácu a predá energiu. Výsledkom je otáčanie obežného kola, ktoré pomocou hriadeľa a prevodov roztočí generátor. Straty trením sú čiastočne

¹³ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-verikalni.gif>

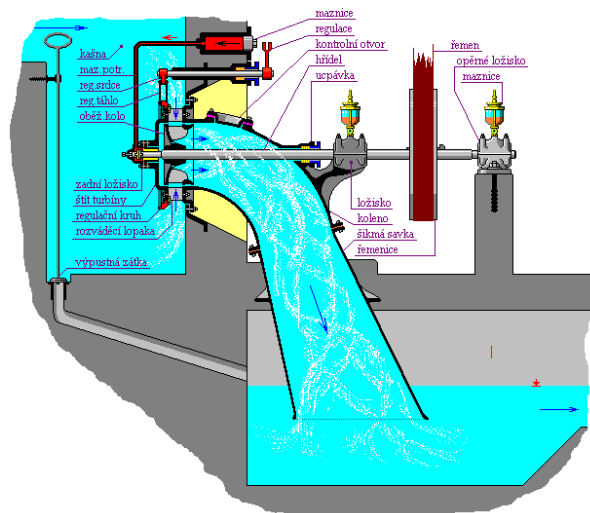
eliminované pomocou ložísk umiestnených na hriadeľi. Dôležitou časťou je taktiež savka, ktorá vytvára podtlak pod obežným kolesom a vďaka saciemu efektu turbína využíva celý spád (H).

Druhou variantou je horizontálne prevedenie. Oproti vertikálnej variante ma síce menšiu účinnosť z dôvodu iného systému savky, ale kompenzuje to výhodou, že má horizontálny hriadeľ. To zabezpečuje, že hriadeľ často vychádza priamo do strojovne s generátorom, tým sa dá vyhnúť prevodom a teda stratám v trení. Horizontálne prevedenie sa používa od spádov 2 m do 8 m. Poznáme horizontálne Francisove turbíny s mokrou savkou (obr. 14) a so suchou savkou (obr.15).



Obr. 14 – Schéma horizontálnej Francisovej turbíny s mokrou savkou.¹⁴

¹⁴ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-horiz-mokra-savka.gif>



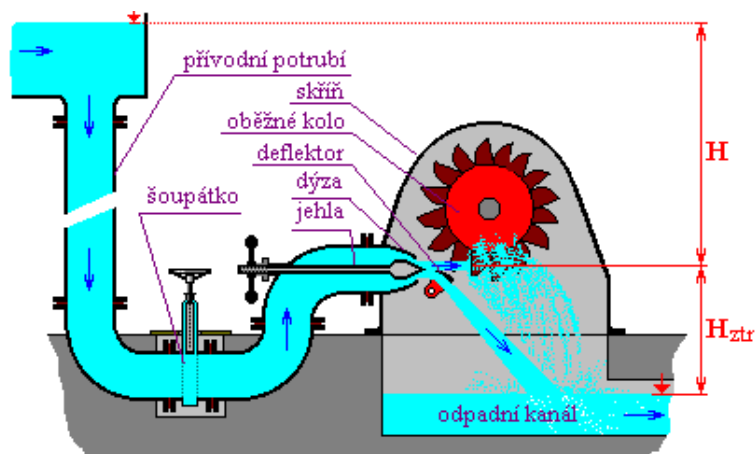
Obr. 15 – Schéma horizontální Francisovej turbíny so suchou savkou.¹⁵

Rozdiel medzi turbínou s mokrou a suchou savkou je v uložení tejto savky. Pri turbíne s mokrou savkou je savka vedená v priestore uloženia obežného kolesa, teda pod vodou a savka turbíny so suchou savkou je vyvedená mimo tohto priestoru. Princíp funkčnosti je zrejmý z obrázkov (obr. 14 a obr. 15.) a prevedenie savky na tento princíp nemá žiadny vplyv. Voda je pod tlakom privedená cez rozvádzač s lopatkami, kde sa jej tok urýchli a usmerní tak, aby sa pri styku s lopatkami obežného kolesa zmenil jej smer a predala kolesu energiu. Výsledkom je rotačný pohyb kolesa, ktorý sa cez hriadeľ prenesie na generátor. V savke pri menšom ako menovitom prietoku vznikajú rotácie vodného stĺpca, čo môže spôsobiť, že savka pôsobí tomuto prúdeniu odpor a vznikajú straty. Tomu zabráni tvar savky, koleno s veľkým polomerom ohybu. [2, 12]

2.2 Peltonova turbína

Ide o rovnotlakovú tengenciálnu turbínu, ktorú v roku 1880 vynášiel Lester Allen Pelton. Využitie našla pri vysokých spádoch (30-200 m) s malým prietokom. Schéma je zobrazená na obrázku (obr. 16).

¹⁵ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-horiz-sucha-savka.gif>



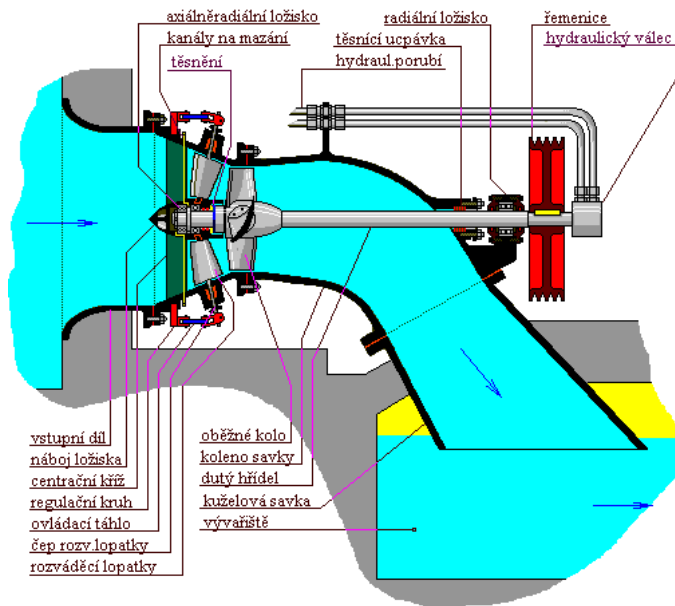
Obr. 16 – Schéma Peltonovej turbíny.¹⁶

Princíp funkčnosti je veľmi jednoduchý a vyplýva z obrázku (obr. 16). Voda je cez regulačný systém vstrekaná na obežné koleso s lopatkami. Regulačný systém sa skladá z ihly a deflektora. Ihla svojím vysúvaním a zasúvaním znižuje a zvyšuje priestor pre tok a tým tento tok reguluje. V mieste, kde voda opúšťa regulačnú komoru zvyšuje, pôsobením tlaku, svoju rýchlosť. Deflektor slúži ako poistka v prípade poruchy (napr. výpadok generátora zo siete) tým, že odkloní prúd vody, ktorý sa následne nedostane k obežnému kolesu. Voda dopadajúca na lopatky obežného kolesa koná prácu a výsledkom je rotačný pohyb tohto kolesa. Ten sa pomocou hriadeľa preniesie na generátor. Používa sa aj vertikálna varianta tejto turbíny, rozdielom je len väčšie množstvo privádzacov vody na obežné koleso. Účinnosť Peltonovej turbíny sa pohybuje v rozmedzí 80 – 85 % pri malých turbínach a 85 – 95 % pri veľkých. Hlavnou výhodou je konštrukčná jednoduchosť tejto turbíny a čistota prevádzky, ktorá vyplýva z faktu, že sa hriadeľ nenachádza pod vodnou hladinou a teda nehrozí únik mazív a oleja z ložísk. Nevýhodou je nutnosť vysokého tlaku (spádu). [2, 12]

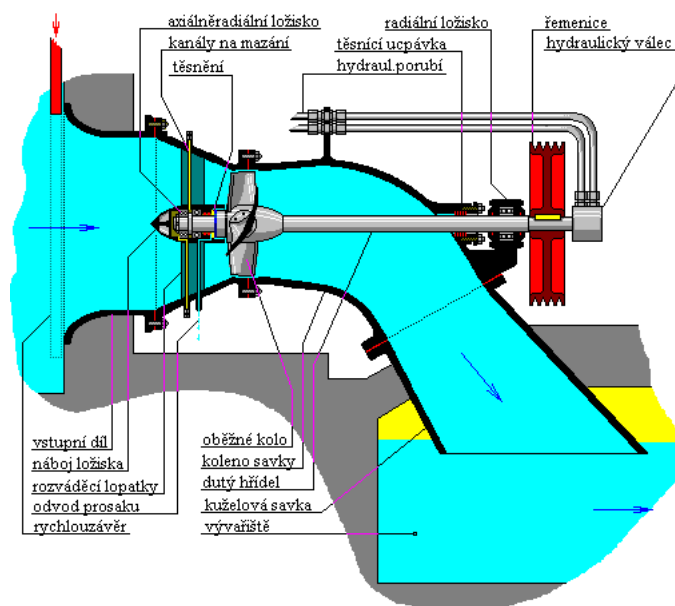
2.3 Kaplanova turbína

Ide o pretlakovú axiálnu turbínu, ktorú vynášiel a vymyslel v roku 1913 Viktor Kaplan. Táto turbína patrí medzi najpoužívanejšie turbíny. Používa sa vo väčšine prípadov novo vybudovaných málospádových vodných elektrární a pri prestavbe starých vodných elektrární často nahrádza Francisovu turbínu. V praxi sa používa na spády od 1,5 m do 5,5 m. Kaplanova turbína sa používa v dvoch prevedeniach: Kaplanova S-turbína (obr.17) a tzv. semi-Kaplan turbína (obr. 18).

¹⁶ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.gif>



Obr. 17 – Schéma Kaplanovej S-turbíny.¹⁷



Obr. 18 – Schéma semi-Kaplanovej turbíny.¹⁸

Rozdielom týchto dvoch typov Kaplanovej turbíny je regulácia. Pri type Kaplanovej S-turbíny je možné regulovať rozvádzacie lopatky aj lopatky osadené na obežnom kolese a pri type semi-Kaplanovej turbíny sú rozvádzacie lopatky pevné a regulácia prebieha len natáčaním lopatiek na obežnom kolese. Princíp funkčnosti je však pri oboch typoch veľmi podobný. Voda sa do turbíny pod tlakom dostáva cez rozvádzacie lopatky, ktoré zmenia rýchlosť a smer prúdenia tak, aby voda konala

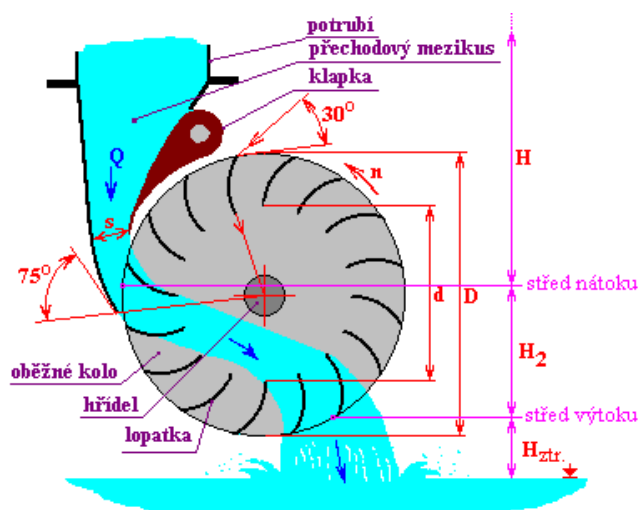
¹⁷ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.gif>

¹⁸ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/semi-kaplan.gif>

na lopatkách obežného kola prácu. Výsledkom je rotačný pohyb, ktorý sa skrz hriadeľ a prevody prenáša na generátor. Obežné koleso je osadené v najužšej časti turbíny z dôvodu, že práve v tejto časti je prúdenie kvapaliny najrýchlejšie (má najväčšiu kinetickú energiu). Podmienkou správneho chodu turbíny je natočiť lopatky tak, aby bolo prúdenie vody na výstupe z priestoru obežného kola rovnobežné s osou otáčania. Pri nesplnení tejto podmienky dochádza v savke stroja ku stratám a turbína stráca väčšinu výhod, ktoré má oproti ostatným turbínam. Výhodou tohto typu turbíny je široký regulačný rozsah, pomerne malé rozmery (v porovnaní s Francisovou turbínou) a horizontálny hriadeľ. Nevýhodami sú najmä vysoké prevádzkové a investičné náklady a tiež zložitosť prístupu k turbíne pri opravách a údržbe (je pod vodou). [2, 12]

2.4 Bánkiho turbína

Jedná sa o špecifický typ rovnotlakovej turbíny, ktorú vynášiel A.G.M. Mitchel v roku 1903 a do praxe uviedol a vylepšil D. Banki v roku 1918. Voda je do obežného kola turbíny privádzaná potrubím s regulačnou klapkou, ktorá súži na reguláciu toku (objemu vody) vstupujúcej do obežného kola. V tejto časti turbíny sa energia toku pretransformuje na pohybovú (kinetickú) energiu a je nasmerovaná na dlhé lopatky vytvorené z kruhovo prehnutých dosiek. Lopatky sú nastavené tak, aby zmenili smer toku vody smerom do stredu obežného kola, k hriadeľu. Zmenou smeru toku vody tento tok koná prácu a predá časť svojej energie obežnému kolesu, ktoré sa otáča. Týmto princípom sa však predá len približne 79% celkového výkonu turbíny. Voda nasmerovaná na hriadeľ dopadá na opačnú stranu kola, kde znovu zmení svoj smer a predá zvyšnú časť celkového výkonu, teda 21% a vytečie do odpadného kanálu von z turbíny. Schéma Bánkiho turbíny je zaznamenaná na obrázku (obr. 19).



Obr. 19 – Schéma Bánkiho turbíny.¹⁹

¹⁹ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.gif>

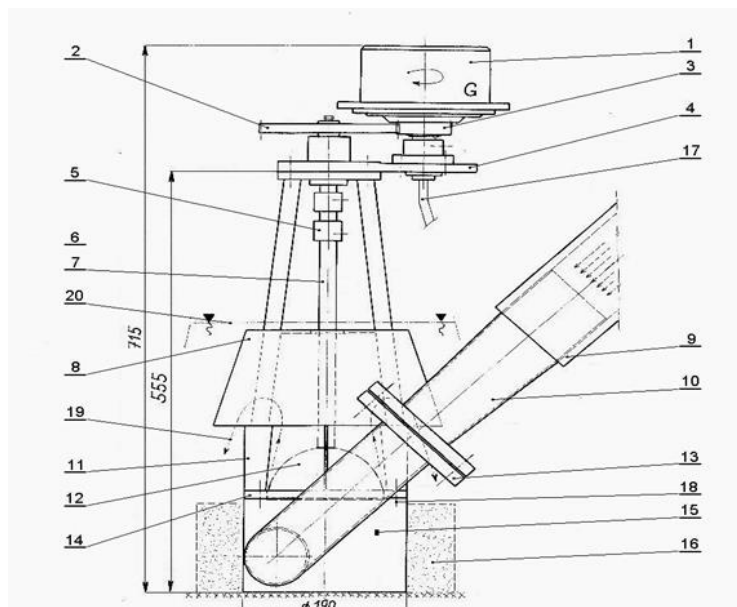
Bánkiho turbína ma v praxi široké využitie. Účinnosť tejto turbíny sa pohybuje medzi 78 a 84%. Výhodná je však len za podmienky, že je jej priemer 5-10-krát menší ako spád. Výhodou je jednoduchosť a nepotrebnosť drahých materiálov (stačí obyčajný plech). Ďalšou výhodou je, že sa hriadeľ nachádza mimo vodu, preto nehrozí únik nečistôt, z tohto dôvodu môže pracovať aj s pitnou vodou. Turbína je málo citlivá na nečistoty a výrazne okysličuje vodu. [2, 12]

3. Sedláčková turbína (SETUR)

Ide o vertikálnu bezlopatkovú turbínu, ktorej princíp vynášiel doc. Ing. Miroslav Sedláček, CSc., (ČVUT v Praze, Fakulta stavební), ČR patent č. 294708 a 302361. Skratka SETUR vznikla spojením prvých písmen mena vynálezcu a slova turbína. Ide o malý vodný zdroj obnoviteľnej energie, ktorého malé rozmery majú perspektívu hlavne v decentralizovanej výrobe elektrickej energie.

3.1 Konštrukcia a časti turbíny

Konštrukcia turbíny môže mať dve základné podoby podľa spôsobu uchopenia rotoru: turbína s podopreným rotorom, kde je rotor na hriadeľi podopretý alebo turbína s visiacim rotorom, v ktorej je rotor na hriadeľi zavesený. Tieto typy sa však konštrukčne len málo odlišujú, preto jednotlivé časti turbíny popíšem na turbíne s podopreným rotorom (obr. 20).



Obr. 20 – Schéma turbíny SETUR.²⁰

²⁰ Zdroj – [1]. – strana 41, Obr. 22

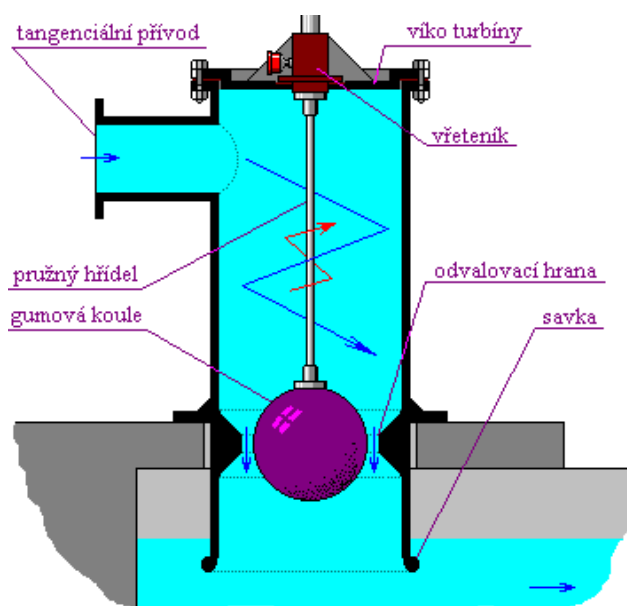
Na obrázku (obr. 20) vidíme turbínu SETUR s podopreným rotorom, ktorej jednotlivé časti sú popísané číslami 1-20, konkrétne:

- 1 – generátor
- 2 – ozubené koleso turbíny
- 3 – ozubené koleso generátora
- 4 – teleso prevodu s priestorom pre ložisko a s držiakom generátora
- 5 – kľbový hriadeľ
- 6 – stojan
- 7 – hriadeľ rotora
- 8 – kryt
- 9 – prechodový diel potrubia
- 10 – konfúzor
- 11 – stator
- 12 – rotor s ozubeným vencom
- 13 – príruha rozvádzača
- 14 – ozubený veniec statoru
- 15 – rozvádzač
- 16 – podstavec
- 17 – káblový vývod
- 18 – hlavná upevňovacia skrutka
- 19 – usmerný prúd výstupu vody z turbíny
- 20 – minimálna hĺbka zaplavenia turbíny

Pre tieto časti sa používa široké spektrum materiálov, od ktorých sa potom odvíja aj celková cena turbíny. Typ materiálu musí byť vybraný s ohľadom na jeho vlastnosti, konkrétne na odolnosť voči korózii, keďže ide o vodnú turbínu, mechanickú odolnosť a trenie.

3.2 Princíp fungovania

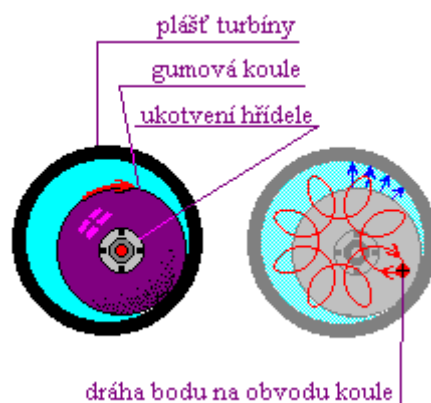
Princíp fungovania turbíny sa líši podľa typu turbíny, obdobne ako som popísal v predošlej kapitole (s podopreným rotorom a s visiacim rotorom). Tento rozdiel je hlavne v smere toku kvapaliny vzhľadom na uchopenie rotoru, avšak základ princípu je pre obe varianty rovnaký. Tento princíp vysvetlím na turbíne usporiadanej tak, ako bola na počiatku svojho vývoja, teda s visiacim rotorom tvaru gule (obr. 21).



Obr. 21 – Schéma prvotného usporiadania turbíny SETUR.²¹

Kvapalina vstupuje prívodom tangenciálne do valcového priestoru statoru s úžinou v spodnej časti. Tento tvar statoru a tangenciálny prúd vody zapríčinia vznik vodného víru v tomto priestore tak, ako je znázornené na obrázku (obr. 21) modrou farbou. Rotor, tvorený guľou z gumového povrchu a zaveseným na hriadeli je vplyvom tohto prúdenia vody unášaný. Z dôvodu, že sa dotýka steny statoru sa začne po tejto stene odvalovať a teda konať rotačný pohyb. Keďže je rotor pevne spojený s hriadeľom, ktorý je zavesený v jednom mieste s ložiskom tak, aby sa mohol vychýľovať všetkými smermi, vzniká aj druhý pohyb, teda obeh gule po obvode statoru. Tieto pohyby sú znázornené na obrázku (obr. 22).

²¹ Zdroj - <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/setur.gif>



Obr. 22 – Trajektória pohybu rotoru v turbíne SETUR.²²

Tieto pohyby sa podľa potreby a konštrukcie turbíny dajú využiť buď jednotlivito alebo spojením do jedného rotačného pohybu pomocou kĺbu na hriadeľi. Výsledkom je vždy rotačný pohyb hriadeľa, ktorý sa cez prevody prenesie na generátor a ten premení túto kinetickú energiu na energiu elektrickú, prípadne je tento rotačný pohyb využitý na iné účely.[5]²³ Praktickému využitiu turbíny SETUR sa venujem v nasledujúcej kapitole.

3.3 Praktické využitie

Odvaľovací princíp popísaný v kapitole 3.2 a konštrukcia stroja opísaná v kapitole 3.1 zabezpečujú široké spektrum využitia tejto turbíny v mnohých oblastiach. Najpodstatnejšou oblasťou je decentralizovaná výroba elektrickej energie, čo plynie z pomerne malých rozmerov turbíny a z nízkej náročnosti na hydrologické podmienky. Turbína funguje pri spádoch od 0,6 m do spádu 20m. Táto flexibilita, hlavne spodná hranica spádu, dáva turbíne obrovský náskok oproti jej substitútom, keďže sa dá aplikovať na miesta, kde by bolo použitie iného stroja málo efektívne, prípadne nemožné. Obdobná myšlienka sa dá použiť aj pre tzv. hltnosť, prietok turbínou. Ten sa pohybuje medzi 4 – 500 l/s [1]. Tieto pomerne veľké rozpätia hodnôt spádov a prietokov súvisia s rôznymi veľkosťami a typmi turbín. V Českej republike tieto turbíny vyrába firma Mechanika Karlův dvůr s.r.o v rôznych variáciách typov, ktoré sú znázornené v tabuľke (tab. 1).

²² Zdroj - <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/setur-trajektorie.gif>

²³ Zdroj – <https://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2016/sedlacek.html>

Typ	DVE120	DVE160	DVE300	DVE600
Spád [m]	2 – 20	1,5 – 18	1,2 – 8	0,6 – 3,5
Prietok [l/s]	4 – 20	10 – 25	50 – 160	100 – 500
Výkon na hriadeľi [kW]	0,075 – 2,1	0,11 – 2,9	0,4 – 4,3	0,8 – 7
Otáčky [ot./min.]	120 – 150	90 – 130	50 – 80	22 – 30

Tab. 1 – Portfólio turbín SETUR vyrábaných firmou Mechanika Karlův dvůr s.r.o.²⁴

Ako príklad uvediem najtypickejšiu variantu turbíny pre výrobu elektrickej energie DVE 120 (obr. 23). Názov tvorí skratka DVE, ktorá znamená „Domáci vodní elektrárna“ a číslo 120 znamená priemer rotoru v milimetroch, tj. 120 mm.

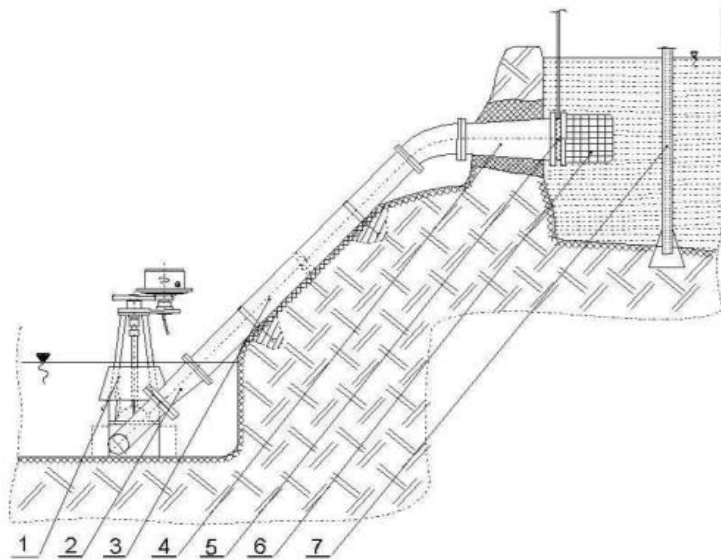


Obr. 23 – DVE 120.²⁵

Ide o turbínu s podopretým rotorom, kde je voda privádzaná tangenciálne do podstavca turbíny a vytlačovaná skrz stator. Parametre tohto typu turbíny sú uvedené v tabuľke (tab. 1). Príklad takejto inštalácie je znázornený na obrázku (obr. 24).

²⁴ Zdroj – [7] – portfolio turbín.

²⁵ Zdroj - <http://www.mechanikakd.cz/dve120/photo4.jpg>



Obr. 24 – Príklad inštalácie DVE 120.²⁶

Jednotlivé diely tejto inštalácie z obrázku (obr. 24) sú:

- 1 – DVE 120
- 2 – vstupný konfúzor
- 3 – privádzacie potrubie
- 4 – prechodový diel
- 5 – uzáver
- 6 – sací kôš
- 7 – hrubé česlice

Z obrázka (obr. 24) je zrejмый aj princíp funkčnosti. Voda, ako pracovná kvapalina vstupuje do privádzacieho potrubia cez sací kôš, uzáver a prechodový diel, kde sa vplyvom spádu premení potenciálna energia na energiu kinetickú. Do turbíny voda vstúpi skrz konfúzor a podstavec tangenciálne a vytvorí vír, kde sa pomocou odvaľovacieho princípu časť tejto energie (rozdiel o straty) preniesie na hriadeľ. Nakoniec sa pomocou generátoru táto energia premení na elektrickú, ktorá sa pomocou meničov „upraví“ do požadovanej napät'ovej a frekvenčnej hladiny (230 V, 50 Hz).

²⁶ Zdroj – Martin Polák a kolektiv; Bezlopatková miniturbína: Cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů; Česká technika – nakladatelství ČVUT; Praha; 2013; 168 s.

Turbína sa spúšťa jednoduchým otvorením vstupnej klapky, čo zapríčini naplnenie privádzacieho potrubia vodou. V prípade že je turbína vybavená aj odvzdušňovacím ventilom, potrubie sa týmto spôsobom najprv odvzdušní. Ak sa turbína nezačne otáčať po otvorení vstupnej klapky, je potrebné udeliť impulz generátoru v smere otáčania, čím by sa mal problém vyriešiť. Odstavenie turbíny sa obdobne zabezpečuje zatvorením vstupnej klapky, teda znemožnením prívodu vody do turbíny.

Obsluha a údržba turbíny je takmer nulová. Turbína funguje samoobslužne, avšak je nutné jej chod pravidelne kontrolovať. Po dvoch až troch dňoch po spustení je nutné dotiahnuť skrutky, ktoré sa vplyvom prevádzky môžu uvoľniť a následne tento proces opakovať každých 14 dní. Taktiež je dobré kontrolovať čistotu prívodu vody, sací kôš, prípadne priechodnosť privádzacím potrubím, ktoré sa môžu vplyvom prostredia znečistiť listím alebo inou vegetáciou a nečistotami.

Keďže turbína nevyžaduje veľký spád a prietok, je možné ju inštalovať na rôzne miesta. Ide najmä o prírodné toky vody, kde je inštalácia tejto turbíny záležitosťou miestnych zákonov a noriem, ako sú ochrana životného prostredia a pod. Turbínu je však možné inštalovať aj na priemyselné objekty, ako sú čističky odpadových vôd a všade tam, kde sa s vodou pracuje.

Základnou výhodou tohto zdroja energie je jeho čistota. Keďže ide o obnoviteľný zdroj energie je možné požiadať o dotácie, konkrétne formou zelených bonusov alebo tzv. výkupných cien. Ďalšími výhodami sú pomerne nízke investičné náklady a rozmery, to však nemusí byť pravda v každom prípade. Takúto inštaláciu často sprevádzajú aj terénne úpravy, čo môže investíciu a rozmery navýšiť. Ďalšie výhody plynú z faktu decentralizácie výroby elektrickej energie, teda nezávislosť na prístupe k energii zo siete a jej cene. Tieto výhody sú však len čiastočné, keďže sú pripojenie k sieti a odbery „komerčnej“ energie napriek výrobe z turbíny nutné v prípade vyššej spotreby, ako je výroba turbíny napr. v špičkách dňa alebo v čase, kedy je výroba turbíny obmedzená, napr. pri nepriaznivých hydrologických podmienkach a pod. Nevýhodou turbíny SETUR je nutnosť prístupu k vodnému toku a spoľahlivosť hydrologických podmienok. Príkladom by mohla byť situácia v zime, kde môže vodný tok zamrznúť, čo zapríčini celkové odstavenie výroby elektrickej energie. V porovnaní s inými obnoviteľnými zdrojmi energie, napríklad fotovoltaickými panelmi alebo veternou elektrárnou, je však vplyv počasia v podstate zanedbateľný.

Okrem jej primárnej funkcie, ktorou je výroba elektrickej energie sa turbína dá využiť v pomerne veľkom spektre vedľajších funkcií. Väčšinou ide však len o využitie odval'ovacieho princípu turbíny, na ktorej stroj pracuje, teda napr. stroj DVE 120 by musel prejsť mechanickými zmenami, aby sa dal na tieto funkcie použiť. Tento odval'ovací princíp sa využíva v miniatúrnom prevedení pre pohon najrôznejších zariadení, ako sú zavlažovacia a čistiaca technika alebo nárad'ová technika. Turbína SETUR použitá ako čistiaca technika spočíva v pripojení kefy na rotor miniatúry stroja. Výhodou je,

že takto použitý odvaľovací princíp funguje už pri bežnom tlaku vo vodovodnej sieti (0,2 – 0,4 MPa), nie je teda nutné investovať do tlakového čerpadla a taktiež malá spotreba vody (max. 15 l/min.). Odvaľovací princíp sa taktiež dá využiť pri rozprašovaní vody, teda zavlažovacej technike. Prednosťou tejto zavlažovacej techniky je funkčnosť už pri nízkom tlaku (od 10 kPa). Vysoký stupeň dezintegrácie vody (tvorba hmlových kvapiek) a široká škála intenzity zavlažovania napr. pri tlaku 0,25 MPa a prietoku 25 l/min. je priemer zavlažovanej plochy 16m. Pre využitie turbíny ako náradovej techniky je miniatúra využitá ako zdroj rotačného pohybu pre pohon tohto náradia, ako sú vítačky, brúsky a pod [1].

4. Návrh SETUR pre rodinný dom

4.1 Ekonomické hodnotiace kritériá a model

Základom pre ekonomické zhodnotenie tohto projektu bude porovnanie troch variánt na základe ekonomického hodnotiaceho kritéria. Prvou variantou bude rodinný dom bez použitia Sedláčkovej turbíny, druhou variantou bude rovnaký rodinný dom so zavedením Sedláčkovej turbíny s akumuláciou elektrickej energie a treťou variantou bude rodinný dom so zavedením Sedláčkovej turbíny bez akumulácie elektrickej energie. Vstupnými hodnotami budú hlavne poplatky za spotrebu elektrickej energie spotrebovanej na rôznych spotrebičoch a danej denným diagramom záťaže, investície, údržba turbíny, dotácie a predaj prebytku elektrickej energie do siete. V prvej variante bude táto spotreba ohodnotená poplatkami danými od dodávateľa. V druhej a tretej variante sa spotreba zníži o výrobu elektrickej energie v Sedláčkovej turbíne a v prípade prekročenia spotreby výrobou, teda prebytku energie sa táto energia predá do siete. Na porovnanie použijem ekonomické hodnotiace kritérium NPV, čistú súčasnú hodnotu (4.1.1).

$$NPV = \sum_{t=0}^T DCF = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4.1.1)$$

Hodnoty peňažných tokov v roku t , CF_t určím ako rozdiel príjmov a výdajov v danom roku (4.1.2).

$$CF = \text{príjmy} - \text{výdaje} \quad (4.1.2)$$

Príjmy bude tvoriť predaj prebytku elektrickej energie do siete a dotácie. Výdajové položky budú platby za spotrebu elektrickej energie, investície, opravy a údržba. [14]

4.2 Lokalita a hydrologické podmienky

Miestom inštalácie celého zariadenia bude dedinka v južnej oblasti stredných Čiech, Jihlava. V tejto lokalite žije na adrese Jihlava 7, v rodinnom dome 4- členná rodina. Pre tento objekt som sa rozhodol tento návrh dimenzovať. Výber objektu som uskutočnil na základe odporúčania jedného z obyvateľov daného rodinného domu, ktorý sa ponúkol, že mi poskytne informácie o okolí a spotrebe domu. Výhodou tohto výberu je, že sa dom nachádza niekoľko metrov od rybníka, ktorý táto rodina aj spravuje. Turbínu som sa rozhodol uložiť na pozemok pri Obecnom Úrade Jihlava, ktorý je cez ulicu od daného rodinného domu. Rodinný dom (červená) aj uloženie turbíny (zelená) je znázornené na obrázku (obr. 25), kde som znázornil aj daný vodný tok (modrá).



Obr. 25 – Miesto objektu (rodinného domu), uloženia turbíny a znázornenie vodného toku v obci. ²⁷

Hydrologické podmienky v danej lokalite sú pre našu potrebu inštalácie malého vodného zdroja (mini-turbíny) priaznivé. Výhodou je relatívne veľký prietok vody (cca 20 l/s), s akumuláciou v podobe jazierka a s možnosťou vytvoriť spád až 4m. Z obrázku (obr. 25) vidíme, že voda priteká do jazierka z východnej strany a odteká skrz kanál smerom na západ. Miesto uloženia turbíny som vybral vzhľadom na vzdialenosť od zásobovaného objektu a faktu, že sa medzi rybníkom a turbínou už nachádza sací kôš (na začiatku kanála smerom z jazierka), ktorý eliminuje hrubé nečistoty a taktiež je to miesto s najväčším sklonom terénu, teda s najväčším potenciálom vytvorenia spádu.

V mieste inštalácie turbíny budú nutné malé stavebné úpravy. Prvou budú výkopové práce pre umiestnenie samotnej turbíny, kde bude potrebné vytvoriť priestor pre stroj aj ďalšie komponenty. Ďalšou úpravou bude inštalácia privádzacieho potrubia do kanála. Inštaláciu turbíny, teda už spomínané výkopové práce a potrebný materiál, som odhadol na 10 000 Kč. Po úpravách vznikol spád $H = 4\text{m}$ a prietok v privádzacom potrubí $Q = 10\text{ l/s}$.

²⁷ Zdroj - <https://mapy.cz>

Následne som si spočítal hydraulický príkon (P_p), teda príkon, ktorý vstupuje do turbíny. Pre určenie tohto príkonu musíme najprv stanoviť čistý spád (H_c). Ide o spád, s ohľadom na straty v privádzacom potrubí, teda trecie straty (v rovných častiach potrubia) a tzv. miestne straty (v ohyboch, spojoch, sacom koši a pod.). Hodnoty koeficientov týchto strát sú bezrozmerné tabuľkové hodnoty a to konkrétne:

- Sací kôš: $\zeta_1 = 6$
- Ohyb hadice v kanáli: $\zeta_2 = 0,3$
- Ohyb hadice vonku: $\zeta_3 = 0,3$
- Klapka: $\zeta_4 = 1,5$
- Redukcia privádzacieho potrubia k turbíne: $\zeta_5 = 0,15$
- Súčiniteľ trecích strát: $\lambda = 0,15$

Koeficient celkových miestnych strát (ζ_c) je daný súčtom týchto koeficientov a jeho výpočet je znázornený vo vzťahu (4.2.1).

$$\zeta_c = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5 = 8,25 [-] \quad 4.2.1$$

Pre výpočet trecích strát je nutné vedieť rýchlosť prúdenia kvapaliny v potrubí (v). Tú som vypočítal zo vzťahu (4.2.2), kde Q je prietok vody potrubím [m^3/s] a S je prierez potrubím [m^2], ktoré v našom prípade má priemer $d = 0,15$ m.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot 0,15^2} = 0,57 \text{ m/s} \quad 4.2.2$$

Následne som schopný vypočítať mernú stratovú energiu (e_z) [J/kg] podľa vzťahu 4.2.3, kde L je dĺžka potrubia v metroch, ktorá je v našom prípade $L = 10$ m.

$$e_z = \frac{v^2}{2} \left(\lambda \cdot \frac{L}{d} + \zeta_c \right) = \frac{0,57^2}{2} \left(0,15 \cdot \frac{10}{0,15} + 8,25 \right) = 2,925 \text{ J/kg} \quad 4.2.3$$

Podľa vzťahu (4.2.4), kde g je tiažové zrýchlenie ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), vypočítame hydraulickú stratovú výšku (H_z) [m], ktorá reprezentuje celkové straty v privádzacom potrubí.

$$H_z = \frac{e_z}{g} = \frac{2,925}{9,81} = 0,298 \text{ m} \quad 4.2.4$$

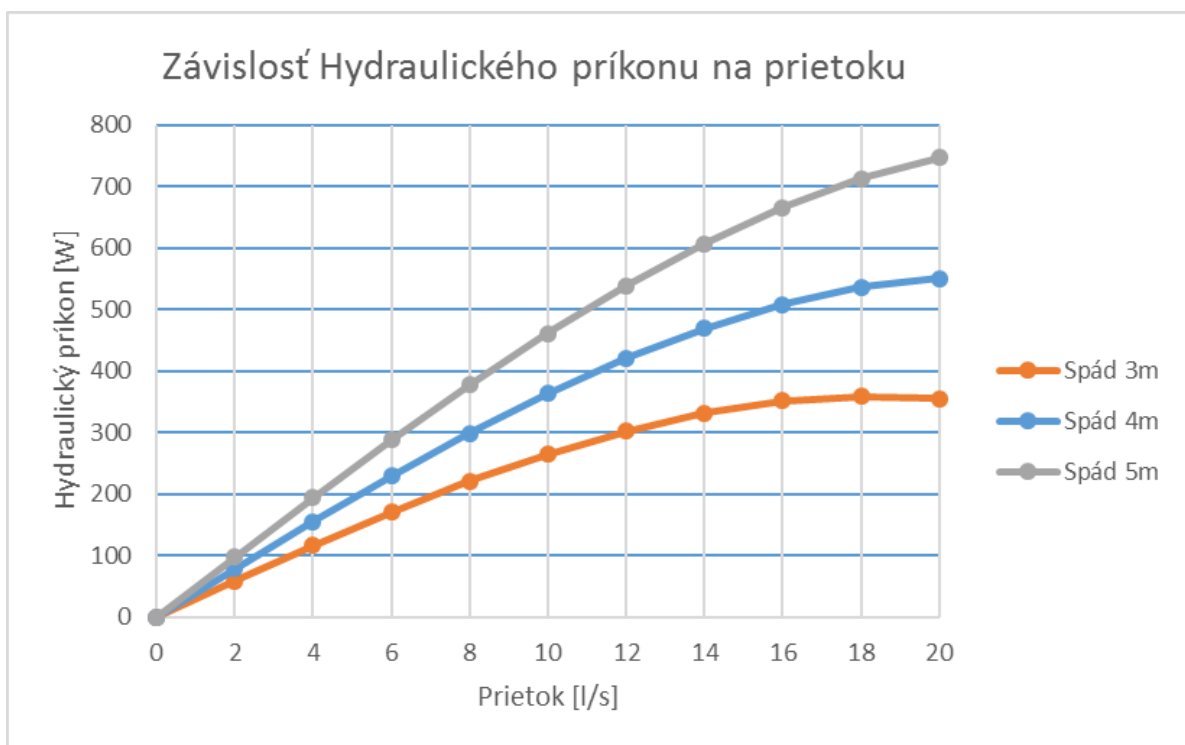
Túto hydraulickú stratovú výšku (H_z) odpočítame od spádu (H), tým dostaneme hodnotu čistého spádu (H_ζ), teda hodnotu spádu s ohľadom na straty v privádzacom potrubí. Výpočet znázorňuje vzťah (4.2.5).

$$H_\zeta = H - H_z = 4 - 0,298 = 3,702 \text{ m} \quad 4.2.5$$

Z tejto hodnoty $H_\zeta = 3,702 \text{ m}$ a prietoku $Q = 10 \text{ l/s}$ som podľa katalógu od firmy Mechanika Karlův dvůr s.r.o. (obr. 23), vybral typ turbíny DVE 120 (obr. 23), ktorú na danú lokalitu nainštalujem. Nakoniec som vypočítal hydraulický príkon (P_p) podľa vzťahu (4.2.6), čo je príkon vstupujúci do turbíny.

$$P_p = Q \cdot H_\zeta \cdot g = 10 \cdot 3,702 \cdot 9,81 = 363,15 \text{ W} \quad 4.2.6$$

Mojim ďalším skúmaním bolo, ako by sa situácia zmenila pri inom prietoku vody rovnakým privádzacím potrubím, prípadne pri vyššom, či nižšom spáde. Z tohto dôvodu som si vytvoril model a výsledky som graficky znázornil. Závislosť hydraulického príkonu na prietoku turbínou je zaznamenaná na obrázku (obr. 26).



Obr. 26 – Závislosť hydraulického príkonu na prietoku turbínou pre spády 3,4 a 5 m.

4.3 Výroba elektrickej energie

Pojem „výroba elektrickej energie“ sa v súčasnosti často objavuje aj v rôznych vedeckých textoch. Toto slovné spojenie však fyzikálne nedáva zmysel a odporuje zákonu zachovania energie, ktorý hovorí, že energia nevzniká ani nezaniká, dá sa len premeniť na inú formu energie. To sa v skutočnosti deje pri všetkých zdrojoch elektrickej energie. Elektrická energia sa najčastejšie premieňa z energie kinetickej, a to rotačným pohybom hriadeľa generátora. S týmto spôsobom premeny energie sa môžeme stretnúť napríklad v tepelných, jadrových, bioplynových, veterných a vodných elektrárnach, kde sa pomocou turbíny premieňajú rôzne formy energie na kinetickú, ktorá sa už spomínaným spôsobom mení na elektrickú. V našom prípade je tento princíp obdobný.

Do turbíny sa cez privádzacie potrubie dostáva kvapalina (voda), s hydraulickým príkonom 363,15 W. Predpokladaná priemerná účinnosť tejto turbíny za dobu životnosti 10 rokov je $\eta_t = 70\%$. Tieto 30 %-né straty v turbíne spôsobuje premena kinetickej energie na teplo trením ložísk, trením vody o nádobu turbíny, trením rotora o nádobu turbíny, vírivé prúdy v kvapaline a pod. Turbína je hriadeľom spojená s generátorom, ktorý má účinnosť $\eta_g = 80\%$. Ten premieňa kinetickú formu energie na elektrickú, ktorú je nutné však pred spotrebou upraviť do tvaru, ktorý je vhodný (50Hz, 230V). Túto úpravu vykonávajú meniče, ktoré sú zapojené podľa typu varianty (typom variant sa venuje ďalšia kapitola), a vznikajú v nich straty $\zeta_s = 10\%$ (obsahuje aj straty v sieti). Celková účinnosť tejto mini-elektrárne je teda súčin týchto účinností, a jej výpočet zaznamenáva vzťah (4.3.1).

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot (1 - \zeta_s) = 0,7 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1) = 0,504 \quad [-] \quad 4.3.1$$

Mini-elektráreň nám teda pracuje s účinnosťou 50,4 %. Pre zistenie elektrického výkonu (P_e), ktorý nám mini-elektráreň dokáže vyprodukovať nám stačí prenásobiť túto účinnosť s hydraulickým príkonom, teda vstupom do turbíny, tento výpočet znázorňuje vzťah (4.3.2).

$$P_e = P_p \cdot \eta_c = 363,15 \cdot 0,504 = 183,0275 \text{ W} \quad 4.3.2$$

Ak by naša mini-elektráreň s výkonom 183,0275 W fungovala celý rok, t.j. 8760 h, ročne by vyrobila $W_{rok} = 1603,321$ kWh elektrickej energie, výpočet je zrejmy zo vzťahu (4.3.3).

$$W_{rok} = 8760 \cdot P_p = 8760 \cdot 183,0275 = 1\,603 \text{ kWh} \quad 4.3.3$$

To je však v skutočnosti trochu iné. Ročná výroba 1 603 kWh by bola možná len v prípade, že by turbína fungovala celý rok nepretržite. Avšak jednou z nevýhod vodných zdrojov v našich klimatických podmienkach je zamrzanie vodného toku v zime. Z tohto dôvodu som sa pre môj model rozhodol z ročnej výroby odpočítať energiu rovnú výrobe za 2 mesiace. Táto korekcia je však relatívne nepresná,

a do práce mi vnesie nepresnosti. Tieto nepresnosti súvisia z nemožnosťou dopredu zistiť, či presne odhadnúť presný počet dní odstávky turbíny, keďže tento faktor je závislý na nepriaznivosti počasia v zime. Odpočítaním 2 mesiacov taktiež vyriešim problém s prestupnými rokmi (o deň výroby navyše), kde je táto chyba 1 dňa zanedbateľná oproti už spomínanej nepresnosti počtu dní odstávky v zime. Obdobnú myšlienku som aplikoval aj na odstávky turbíny v prípade poruchy, či údržby stroja, kde predpokladám, že táto doba je v porovnaní so zimnou dobou odstávky zanedbateľná. Celková ročná výroba elektrickej energie po korekcii (W_{vrc}) teda bude 1 336 kWh, výpočet je znázornený vzťahom (4.3.4).

$$W_{vrc} = W_{rok} - \frac{2 \cdot W_{rok}}{12} = 1\,603 - \frac{2 \cdot 1\,603}{12} = 1\,336 \text{ kWh} \quad 4.3.4$$

4.4 Spotreba elektrickej energie a DDZ rodinného domu

V rodinnom dome žije 4- členná rodina, avšak niektorí členovia sa cez týždeň sťahujú do hlavného mesta Prahy, čo výrazne znižuje spotrebu elektrickej energie počas pracovných dní. V dome sa nachádza 5 miestností, ktoré sú vybavené rôznymi druhmi elektrických spotrebičov. Tieto spotrebiče, ich výkon (P_s), počet (p_s) aj dobu prevádzky (T_d) zaznamenáva tabuľka (tab. 2).

Miesto	Druh spotrebiča	Počet [ks]	Príkion [W]	Doba prevádzky [h/deň]	Denná spotreba [Wh/deň]
Chodba	LED žiarovka	4	9	1	36
Obývačka	LED žiarovka	3	9	3	81
	Televízor	1	50	5	250
	Herná konzola	1	100	2	200
	Počítač	1	120	4	480
	LED žiarovka	2	6,5	2	26
Kuchyňa	Rychlovarná kanvica	1	2 000	0,25	500
	Elektrická rúra	1	2 500	0,5	1 250
	Mikrovlná rúra	1	900	0,5	450
	Chladnička + mrazák	1	100	24	2 400
Spálňa	LED žiarovka	2	9	1	18
	LED žiarovka	1	9	3	27
Izba 1	Počítač	1	120	4	480
	Rádio	1	15	1	15
Izba 2	LED žiarovka	1	9	3	27
	Televízor	1	75	3	225
Celkovo za deň [Wh]					6 465
Ročná spotreba [kWh]					2 360

Tab. 2 – Miestnosti, spotrebiče a ich spotreba elektrickej energie v rodinnom dome.

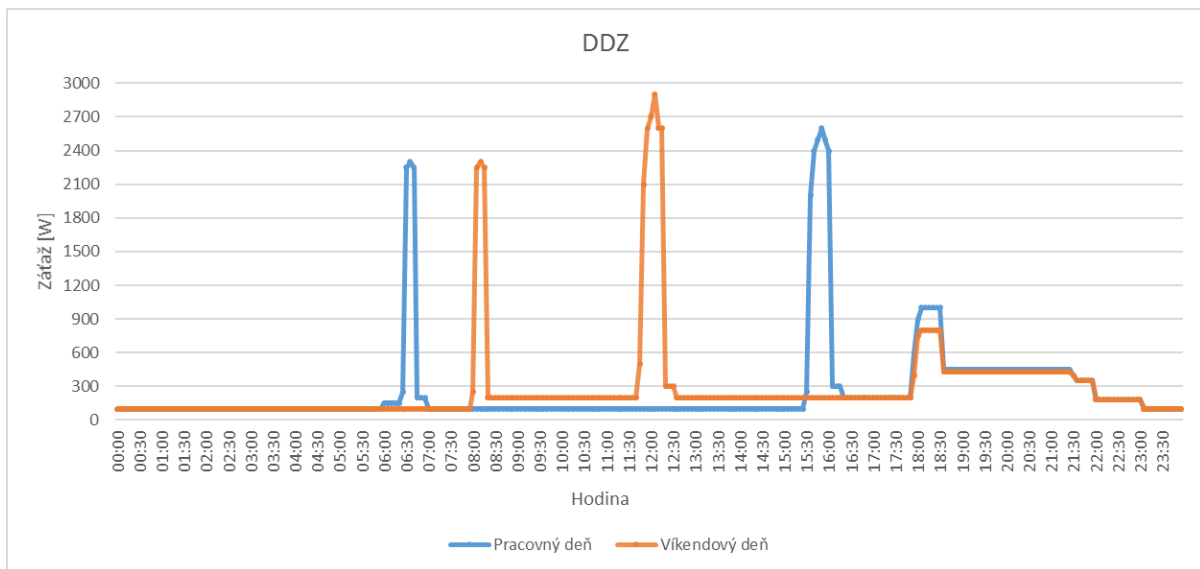
V poslednom stĺpci tabuľky je prepočítaná priemerná denná spotreba (W_{sn}) daného spotrebiča, ktorú som vypočítal podľa vzťahu (4.4.1), kde je uvedený príklad výpočtu dennej spotreby pre žiarovky v chodbe.

$$W_{sž} = p_s \cdot P_s \cdot T_d = 4 \cdot 9 \cdot 1 = 36 \text{ Wh/deň}$$

4.4.1

Následne som súčtom týchto jednotlivých spotrieb spotrebičov vypočítal celkovú priemernú dennú spotrebu, ktorá je $W_{cpd} = 6\,465 \text{ Wh}$. Po prenasobení tejto spotreby počtom dní v roku som dospel k celkovej ročnej spotrebe rodinného domu, teda $W_{cr} = 2\,360 \text{ kWh}$.

Pre naše potreby bude však okrem celkovej ročnej spotreby nutné zhotoviť aj denný diagram záťaže (DDZ). Ide o priebeh záťaže v čase, ktorý som rozdelil na dva rôzne typy a to: pracovný a víkendový deň. Oba tieto priebehy zaznamenáva graf na obrázku (obr. 27). Priemerná plocha pod grafom (priemer pracovného a víkendového dňa) odpovedá dennej spotrebe vypočítanej z tabuľky (tab. 2), t.j. $6\,465 \text{ Wh}$.



Obr. 27 – Denný diagram záťaže pre rodinný dom počas pracovného a víkendového dňa.

Z obrázka (obr. 27) vidíme, že spodná hranica záťaže (ranné hodiny) je 100 W, čo je príkon chladničky, ktorá spotrebuje elektrickú energiu nepretržite. Ďalej je na obrázku zrejmých 5 špičiek, ranná a obedňajšia pre pracovný a víkendový deň a spoločná večerná špička. Tieto špičky spôsobujú hlavne spotrebiče na úpravu jedla a vody, ako sú elektrická rúra (v prípade obedňajšej špičky) alebo rýchlovarná kanvica (ranná špička). K večernej špičke prispievajú svojou spotrebou aj spotrebiče ako počítač, rádio a televízor. Rozdiel v rannej špičke medzi pracovným dňom a víkendovým dňom je hlavne v čase, kedy rodina vstáva. Keďže cez víkend rodina vstáva neskôr, je špička posunutá do neskorších hodín. Obdobná myšlienka platí aj pre obedňajšiu špičku, kde je rodina cez pracovný deň v práci do poobedňajších hodín, no cez víkend sa príprava jedla v elektrickej rúre deje približne o 12:00. Rovnako je rozdiel aj v spodnej hranici záťaže cez deň. V pracovnom dni sa cez deň nikto v dome nenachádza preto je záťaž v tomto čase 100 W (chladnička). Avšak cez víkend rodina často ostane doma, preto je záťaž v tomto čase vyššia. Rozdiel vo večernej špičke spôsobuje fakt, že cez pracovný

deň je rodina takmer výlučne doma, no cez víkend sa vo večerných hodinách častejšie zdržiavajú mimo domova. Rozdiely v spotrebe medzi letom a zimou sú v porovnaní s inými objektmi relatívne malé, z tohto dôvodu som s nimi nepočítal. To je spôsobené faktom, že sa v rodinnom dome kúri plynovým kotlom, čo nám výrazne znižuje spotrebu elektrickej energie oproti kotlu elektrickému. Obdobná úvaha sa dá aplikovať aj na klimatizáciu, ktorú rodina nevlastní. Pri dome sa nachádza aj dielňa s rôznym sortimentom spotrebičov, avšak už teraz je zrejme, že spotreba elektrickej energie prevyšuje jej výrobu z mini-elektrárne. Z tohto dôvodu túto spotrebu zanedbám a sústredím sa hlavne na spotrebiče v rámci obytnej zóny.

4.5 Varianta 1 – Bez turbíny

V tejto variante budeme uvažovať, že sa všetka elektrická energia nakúpi zo siete, keďže sme spomínanú mini-elektrárňu nenainštalovali. Elektrickú energiu budeme od dodávateľa nakupovať za počítačnú cenu 4 428 Kč/MWh. V práci predpokladám s rastom cien energie o 2% ročne. Túto úvahu som vytvoril na základe stále rastúceho dopytu po elektromobiloch, čo sú v rámci spotreby elektrickej energie veľké odbery a taktiež stále rastúceho dopytu po spotrebnej elektronike, čo síce nie sú spotrebiče s veľkým odberom, ale ich počet je už dnes značný. Z týchto dôvodov si myslím, že dopyt po elektrickej energii bude v najbližších rokoch rásť a s ním bude rásť aj cena tejto komodity. Túto úvahu posilňuje fakt stenčujúcich sa zdrojov nerastných surovín, či starnutie technológií centralizovanej výroby elektrickej energie v najbližších rokoch. Tento vývoj je znázornený v tabuľke (tab. 3).

Rok	-	2017	2018	2019	2020	2021
Cena [Kč]	4,428	4,517	4,607	4,699	4,793	4,889
Rok	2022	2023	2024	2025	2026	
Cena [Kč]	4,987	5,086	5,188	5,292	5,398	

Tab. 3 – Vývoj cien elektrickej energie v Kč za dobu porovnania (2017-2026).

Varianty budem porovnávať pomocou ekonomického hodnotiaceho kritéria NPV, ako som popísal v predošlej kapitole (4.1 Ekonomické hodnotiace kritériá a model). Dobu porovnania som zvolil na 10 rokov. Dôvodom bol fakt, že doba 10 rokov je aj odhadovaná životnosť turbíny SETUR a akumulátorových batérií, ku ktorým sa dostanem v ďalšej kapitole. Diskont som určil vo výške 3%, čo je opportunity cost substitútov tohto projektu, avšak pre širšiu analýzu som zhotovil aj citlivosťnú analýzu čistej súčasnej hodnoty na diskonte (obr. 28). Vstupy, postup výpočtu NPV a medzivýsledky jednotlivých parametrov sú zrejme z tabuľky (tab. 4).

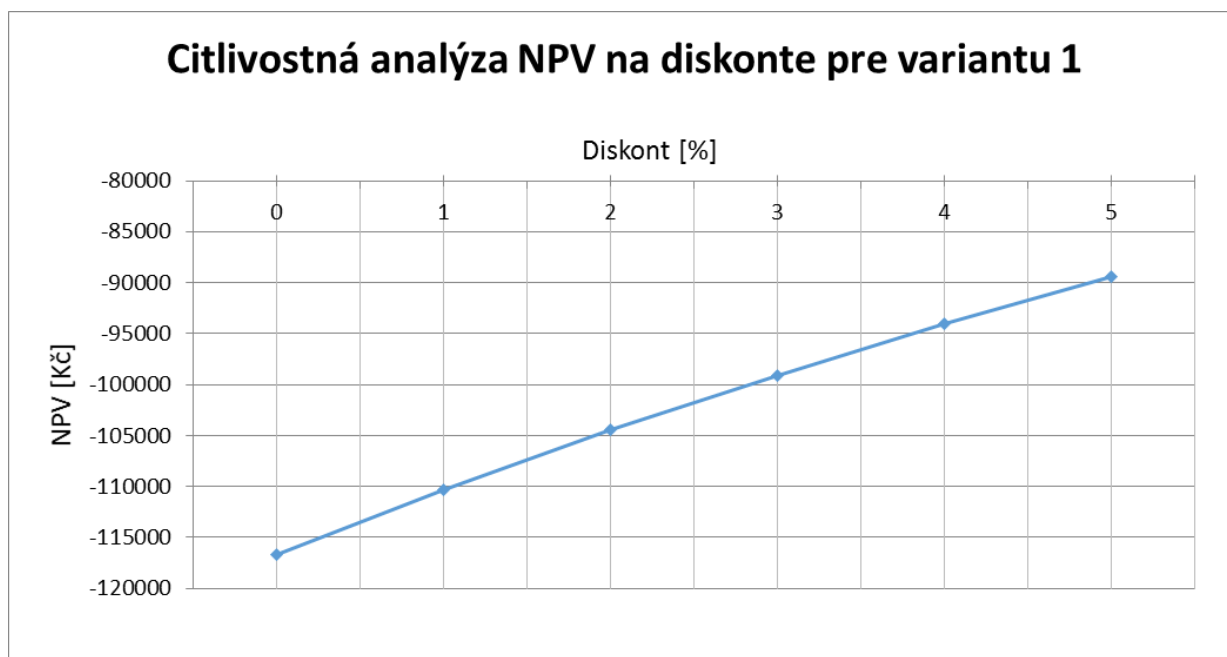
Rok	-	2017	2018	2019	2020	2021
Cena elektriny [Kč/kWh]	4,428	4,517	4,607	4,699	4,793	4,889
Spotreba [kWh]	0	2 360	2 360	2 360	2 360	2 360
Spotreba [Kč]	0	-10 657	-10 871	-11 088	-11 310	-11 536
CF [Kč]	0	-10 657	-10 871	-11 088	-11 310	-11 536
DCF [Kč]	0	-10 347	-10 247	-10 147	-10 049	-9 951
Rok	2022	2023	2024	2025	2026	
Cena elektriny [Kč/kWh]	4,987	5,086	5,188	5,292	5,398	
Spotreba [kWh]	2 360	2 360	2 360	2 360	2 360	
Spotreba [Kč]	-11 767	-12 002	-12 243	-12 487	-12 737	
CF [Kč]	-11 768	-12 002	-12 243	-12 487	-12 737	
DCF [Kč]	-9 855	-9 759	-9 664	-9 571	-9 478	

Tab. 4 – Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 1.

V tabuľke (tab. 4) sú znázornené medzivýsledky a vstupy potrebné pre výpočet NPV. Zhora sa v tabuľke nachádza údaj o roku v rozmedzí počiatočného roku projektu až po rok 2026, údaj o spotrebe elektrickej energie v danom roku v jednotkách kWh a Kč. V ďalšom riadku je hodnota Cash flow v Kč, ktorý som určil podľa vzťahu (4.1.2) a nakoniec hodnota diskontovaného Cash flow (DCF) v Kč, ktorý som vypočítal vzťahom (4.5.1), kde je ako príklad znázornený výpočet DCF v roku 2017.

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+r)^t} = \frac{-10\,657}{(1+0,03)^1} = -10\,347 \text{ Kč} \quad 4.5.1$$

Čistá súčasná hodnota NPV tejto varianty (Varianta 1 – bez turbíny) je -99 068 Kč a vypočítal som ju podľa vzťahu (4.1.1). Túto hodnotu budem porovnávať s hodnotami NPV ďalších dvoch variant.



Obr. 28 – Citlivostná analýza – závislosť NPV na diskonte pre variantu 1.

4.6 Varianta 2 – Turbína s akumuláciou

V tejto variante budem počítať čistú súčasnú hodnotu NPV projektu so zavedením mini-elektrárne s akumuláciou elektrickej energie v akumulátorových batériách. Princípom v tejto variante je výroba elektrickej energie pomocou premeny kinetickej energie vodného toku na kinetickú energiu vo forme rotačného pohybu hriadeľa a následná premena tejto energie na elektrickú pomocou generátora. Takto premenená energia sa potom pomocou usmerňovača (akumulátorovej nabíjačky) upraví na jednosmerný prúd s napätím 24 V, čo je aj systémové napätie akumulátorov $U_{sys} = 24$ V. Elektrická energia upravená akumulátorovou nabíjačkou sa tak uloží v akumulátorových batériách a bude k dispozícii k spotrebe v akomkoľvek čase. Výhodou je, že takto uskladnenú energiu nemusíme hneď spotrebovať alebo prípadne predať do siete ako to bude v prípade varianty 3, ale je možné ju týmto spôsobom uložiť a spotrebu presunúť do iného časového okamžiku. Táto naakumulovaná energia sa v okamžiku spotreby prenesie do spotrebiča skrz striedač, ktorý ju premení z 24 V jednosmerného prúdu na striedavý prúd o napätí 230 V a frekvencii 50 Hz (sieťové parametre).

Pre určenie kapacity akumulátorových batérií som použil nasledujúcu úvahu. Najprv som si vypočítal základnú kapacitu akumulátorovej batérie C_z [Ah]. Tento výpočet zaznamenáva vzťah (4.6.1).

$$C_z = \frac{W_{cpd}}{U_{sys}} = \frac{6\,465}{24} = 269 \text{ Ah} \quad 4.6.1$$

Táto kapacita odpovedá nepretržitému pracovnému režimu turbíny a nerešpektuje rezervu a hĺbku vybitia batérií. V ďalších krokoch bolo teda nutné túto základnú kapacitu upraviť. Uvažoval som s maximálnou dennou odstávkou turbíny 0,5 hodiny a podľa toho som vypočítal koeficient pre nárast kapacity (k_{nc}), tento výpočet je zaznamenaný vzťahom (4.6.2).

$$k_{nc} = \frac{24}{24 - 0,5} = 1,021 \text{ [-]} \quad 4.6.2$$

Následne som si určil koeficient hĺbky vybitia batérie $k_{hv} = 0,75$. Týmto koeficientom zabezpečím, že sa batéria nevybije pod 25%, čím predĺžim jej životnosť a zároveň zvyšná kapacita bude stačiť na prevádzku celého zariadenia. Celková kapacita batérií (C_{celk}) teda bude (4.6.3).

$$C_{celk} = C_z \cdot \frac{k_{nc}}{k_{hv}} = 269 \cdot \frac{1,021}{0,75} = 367 \text{ Ah} \quad 4.6.3$$

Pre dosiahnutie tejto kapacity a systémového napätia teda potrebujem dvojicu sériovo zapojených akumulátorov, kde každý z nich má kapacitu 200Ah a napätie 12 V. [7]²⁸ Týmto parametrom odpovedá akumulátorová batéria VRLA - AGM 200Ah / 12V [19], ktorej cena je 9 755 Kč za kus, teda celkovo 19 510 Kč. K týmto batériám je vhodná akumulátorová nabíjačka MEAN WELL PB-1000-24 [20], ktorej cena je 7 700 Kč a striedač F-MEN 24/230V [21], s cenou 3 190 Kč. Samotná turbína SETUR, konkrétne typ DVE 120 by nás teda vyšla na 20 000 Kč. Cenu generátora som odhadol na 7 500 Kč. Keďže sa majiteľ domu odborne venuje elektrotechnickej činnosti a vlastní množstvo nepoužitých káblov, rozhodol som sa cenu káblov stanoviť na 1 000 Kč. Doprava tohto sortimentu na miesto inštalácie spolu s nákladmi na inštaláciu (stavebné úpravy a zapojenie komponentov) bude stáť 10 000 Kč. Údržbu celej mini-elektárne som ohodnotil cenou 500 Kč a to z dôvodu, že je celé zariadenie úplne bez údržbové a táto cena reprezentuje prípadné menšie opravy alebo čistenie privádzacieho potrubia a inej časti turbíny. Spolu bude teda celé zariadenie stáť 68 900 Kč. Reálna (presná) cena niektorých komponentov je však v súčasnosti ťažko dohľadateľná, preto som zhotovil citlivostnú analýzu na prípadné investičné dotácie (investíciu), ktorá je zaznamenaná na obrázku (obr.31). V súčasnosti som taktiež nenašiel žiadnu možnosť investičných dotácií pre tento typ obnoviteľných zdrojov. Avšak je možné si uplatniť nárok na dotácie vo forme zelených bonusov alebo výkupných cien. Pre naše potreby bude vhodnejšia forma zelených bonusov, nakoľko je výroba elektrickej energie menšia ako spotreba (v tejto variante) a zelené bonusy sa vyplácajú za jednotku výroby elektrickej energie, bez ohľadu na jej použitie (predaj do siete alebo spotreba²⁹). V prípade výkupnej ceny by som musel túto energiu predávať do siete, čo je v našom prípade nevýhodné z dôvodu, že by som si túto energiu musel znovu zo siete nakúpiť. Energetický regulačný úrad (ERÚ) garantuje výkupné ceny pre nové vodné zdroje vo výške 2 741 Kč/MWh pre rok 2017 a zelené bonusy vo výške 2 101 Kč/MWh pre rok 2017. Keďže je táto forma podpory známa len pre rok 2017, predpokladám rovnakú výšku dotácií v najbližších 10 rokoch. Pri výrobe $W_{vrc} = 1\,336$ kWh ročne bude táto dotácia vo forme zelených bonusov $D_{zb} = 2\,807$ Kč/rok. Výpočet zaznamenáva vzťah (4.6.4).

$$D_{zb} = W_{vrc} \cdot 2\,101 = 1,336 \cdot 2\,101 = 2\,807 \text{ Kč} \quad 4.6.4$$

Obdobne, ako v predošlej kapitole, aj pre výpočet čistej súčasnej hodnoty tejto varianty použijem rovnaký postup a diskont 3%, pre ktorý som vytvoril aj citlivostnú analýzu. Hlavným rozdielom od predošlej varianty sú vstupy. Vo variante 1 sme nemali žiadne investičné náklady, no pre túto variantu musíme počítať s investíciou vo výške súčtu cien komponentov a práce. Výhodou tejto varianty je však kompenzácia nákladov spotreby elektrickej energie, keďže jej značnú časť nemusím nakúpiť zo siete od dodávateľa, ale si ju vyrobím pomocou nainštalovanej mini-elektárne. Ďalšou výhodou je, že mám nárok na dotácie (zelené bonusy). Spotreba elektrickej energie odoberanej zo siete

²⁸ Zdroj – [7] – Postačí 100 W?

²⁹ Okrem vlastnej spotreby zdroja.

sa nám ročne zníži na hodnotu $W_{crn} = 1\,024$ kWh, túto hodnotu som vypočítal ako rozdiel celkovej ročnej spotreby (W_{cr}) a ročnej vyrobenej energie z mini-elektrárne (W_{vrc}), tento výpočet zaznamenáva vzťah (4.6.5).

$$W_{crn} = W_{cr} - W_{vrc} = 2\,360 - 1\,336 = 1\,024 \text{ kWh/rok} \quad 4.6.5$$

Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 2 zaznamenáva tabuľka (tab. 5).

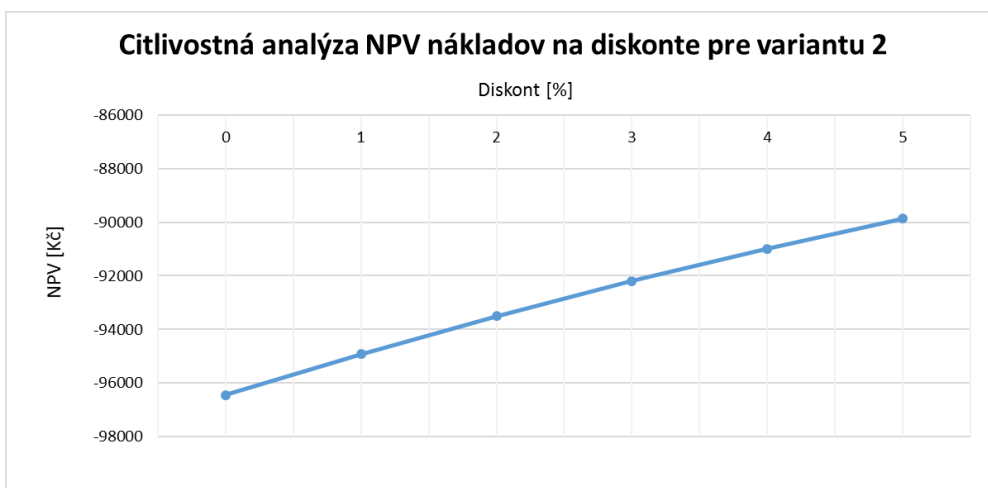
Rok	-	2017	2018	2019	2020	2021
Investície [Kč]	-68 900	-500	-500	-500	-500	-500
Cena elektriny [Kč/kWh]	4,428	4,516	4,606	4,699	4,793	4,888
Spotreba [kWh]	0	1 024	1 024	1 024	1 024	1 024
Spotreba [Kč]	0	-4 623	-4 716	-4 810	-4 906	-5 004
Zelený bonus [Kč]	0	2 807	2 807	2 807	2 807	2 807
CF [Kč]	-68 900	-2 316	-2 409	-2 503	-2 599	-2 697
DCF [Kč]	-68 900	-2 249	-2 270	-2 291	-2 309	-2 327
Rok	2022	2023	2024	2025	2026	
Investície [Kč]	-500	-500	-500	-500	-500	
Cena elektriny [Kč/kWh]	4,986	5,086	5,188	5,291	5,397	
Spotreba [kWh]	1 024	1 024	1 024	1 024	1 024	
Spotreba [Kč]	-5 104	-5 207	-5 311	-5 417	-5 525	
Zelený bonus [Kč]	2 807	2 807	2 807	2 807	2 807	
CF [Kč]	-2 797	-2 899	-3 004	-3 110	-3 218	
DCF [Kč]	-2 343	-2 357	-2 371	-2 383	-2 395	

Tab. 5 – Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 2.

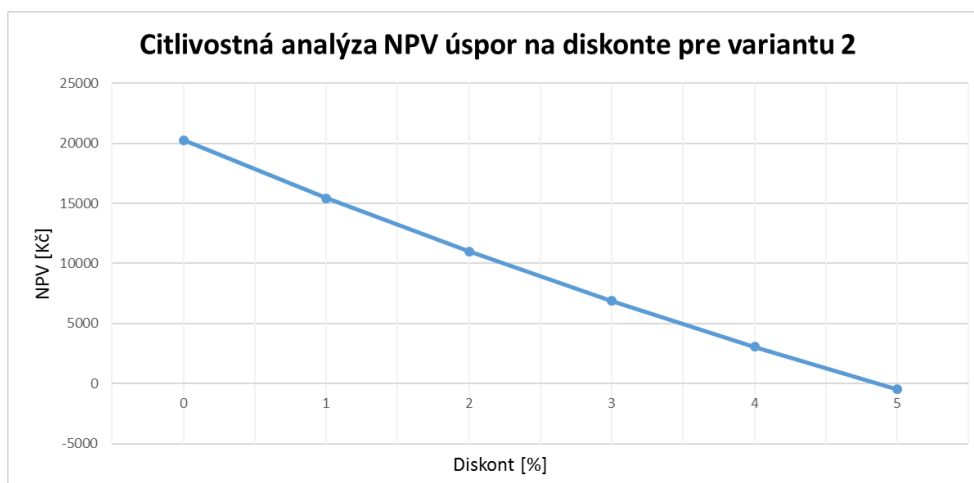
Zhora sa v tabuľke (tab. 5) nachádza údaj o roku v rozmedzí počiatočného roku projektu až po rok 2026, hodnota investícií v počiatočnom roku a hodnota údržby, údaj o cene nákupu elektrickej energie v danom roku a spotrebe elektrickej energie v danom roku v jednotkách kWh a Kč. V ďalšom riadku je hodnota dotácie formou zelených bonusov pre jednotlivé roky. Nasleduje údaj o Cash flow v Kč, ktorý som určil podľa vzťahu (4.1.2) a nakoniec hodnota diskontovaného Cash flow (DCF) v Kč, ktorý som vypočítal vzťahom (4.5.1), obdobne ako v predošlej variante.

Čistá súčasná hodnota NPV tejto varianty (Varianta 2 – turbína s akumuláciou) je -92 194 Kč a vypočítal som ju podľa vzťahu (4.1.1). Túto hodnotu budem v nasledujúcich kapitolách porovnávať s hodnotami NPV ďalších dvoch variant.

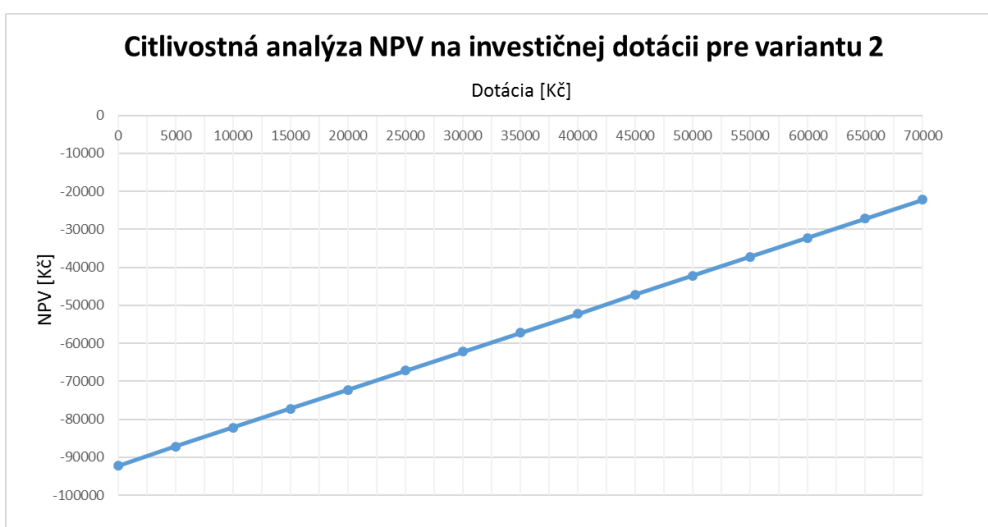
Zo spomínaných dôvodov som vytvoril citlivostné analýzy čistej súčasnej hodnoty nákladov NPV na diskonte (obr. 29), čistej súčasnej hodnoty NPV úspor na diskonte (obr. 30) a čistej súčasnej hodnoty nákladov NPV na výške prípadnej investičnej dotácie (obr. 31).



Obr. 29 – Citlivostná analýza – závislosť nákladového NPV na diskonte pre variantu 2.



Obr. 30 – Citlivostná analýza – závislosť NPV úspor na diskonte pre variantu 2.



Obr. 31 – Citlivostná analýza – závislosť NPV nákladov na investičnej dotácii pre variantu 2.

4.7 Varianta 3 – Turbína bez akumulácie

V tejto variante budem uvažovať so zapojením mini-elektrárne bez akumulácie elektrickej energie. Úlohou bude vypočítať čistú súčasnú hodnotu NPV tejto varianty. Princípom zapojenia mini-elektrárne bez akumulácie je premena energie vodného toku na energiu elektrickú, obdobne ako v prípade varianty 2. Následne sa táto energia upraví pomocou meniča napätia na sieťové parametre (230V, 50 Hz). Základným rozdielom je, že sa vyrobená energia musí spotrebovať v čase, kedy sa vyrobí. Prípadné nedostatky energie sa nakúpia od dodávateľa elektrickej energie zo siete, a prebytky sa zase do siete predajú. Ceny jednotlivých komponentov sú zhodné ako v predošlej kapitole t.j. turbína SETUR by ma vyšla na 20 000 Kč, generátor 7 500 Kč, káble 1 000 Kč a údržba 500 Kč ročne. Hlavným rozdielom je cena dopravy a inštalácie celého zariadenia, kde pre nepotrebnosť celého akumuláčného zariadenia ušetrim 2 500 Kč. Cena dopravy a inštalácie bude teda 7 500 Kč. Menič napätia by ma vyšiel na 2 500 Kč. Celá investícia bude teda 38 500 Kč. Obdobne ako v predošlom prípade budem citlivostnou analýzou skúmať závislosť čistej súčasnej hodnoty NPV na investičnej dotácii, táto analýza je zobrazená na obrázku (obr. 34). Postup riešenia (výpočtu NPV) som zvolil nasledovný. Pre zistenie spotreby elektrickej energie som z diagramu DDZ, ktorý je zobrazený v predošlej kapitole na obrázku (obr. 27) urobil bilanciu pre pracovný a víkendový deň tak, aby som vedel, v ktorej hodine budem energiu nakupovať a v ktorej predávať. Ako príklad uvediem rozdiel spotreby a výroby pracovného dňa v 3. a 7. hodine (4.7.1) a (4.7.2).

$$\text{rozdiel}_3 = P_e - \text{záťaž}_3 = 183 - 100 = 83 \text{ W} \quad 4.7.1$$

$$\text{rozdiel}_7 = P_e - \text{záťaž}_7 = 183 - 700 = -517 \text{ W} \quad 4.7.2$$

Zo vzťahu (4.7.1) vidíme, že výroba elektrickej energie prevyšuje jej spotrebu, preto je bilancia v kladných hodnotách a teda budeme dodávať energiu do siete. Opačný prípad nastáva v ranej špičke v čase 07:00, kde zo vzťahu (4.7.2) vidíme, že spotreba prevyšuje výrobu, bilancia je v záporných hodnotách a preto je nutné energiu zo siete nakúpiť. Zo siete budem energiu nakupovať za cenu stanovenú dodávateľom energie, obdobne ako vo variante 1 a 2. Do siete ju budem predávať za cenu 635,25 Kč/MWh [13]³⁰. V Kč bude teda táto bilancia vyzeráť nasledovne (vzťahy 4.7.3 a 4.7.4).

$$\text{predám}_3 = \text{rozdiel}_3 \cdot \text{cena}_{\text{predaj}} = 83 \cdot 635,25 \cdot 10^{-6} = 0,053 \text{ Kč} \quad 4.7.3$$

$$\text{kúpim}_7 = \text{rozdiel}_7 \cdot \text{cena}_{\text{nakup}} = 517 \cdot 4\,516 \cdot 10^{-6} = 2,335 \text{ Kč} \quad 4.7.4$$

³⁰ Cenu som stanovil zo stránok firmy Amper Market a.s. (odkaz - <http://www.ampermarket.cz/samovyrobci-do-30kwp>)

Cena nákupu elektrickej energie je v prípade vzťahu (4.7.4) pre rok 2017.

Týmto spôsobom som zhotovil bilanciu pre každú hodinu modelového dňa (pracovný a víkendový deň). Následne som zhotovil súčet týchto hodnôt a vypočítal celkovú bilanciu za deň. V pracovnom dni by ma deň vyšiel na $B_{dp} = -12,828$ Kč a cez víkend na $B_{dv} = -13,586$ Kč. Tieto hodnoty som potom prepočítal na celý rok s rešpektovaním odstavky dvoch mesiacov a vyšla mi celková ročná spotreba pre variantu 3 (W_{crv3}) v Kč. Tento výpočet pre rok 2017 zaznamenáva vzťah (4.7.5).

$$W_{crv3;2017} = 218 \cdot B_{dp} + 87 \cdot B_{dv} - 2 \cdot 30 \cdot W_{cpd} \cdot cena_{nákup} =$$

$$218 \cdot (-12,828) + 87 \cdot (-13,586) - 2 \cdot 30 \cdot 6\,465 \cdot 4\,516 \cdot 10^{-6} = -5\,731 \text{ Kč} \quad 4.7.5$$

Keďže sa cena za výkup elektrickej energie v čase mení, dopočítal som túto hodnotu (W_{crv3}) pre každý rok životnosti zariadenia. Ďalej mám, rovnako ako vo variante 2, nárok na dotácie vo forme zelených bonusov vo výške 2 101 Kč/MWh. Keďže používam rovnaké zariadenie ako v predošlej variante (varianta 2), bude aj celková výška týchto bonusov zhodná $D_{zb} = 2\,807$ Kč/rok. Výpočet je zaznamenaný vzťahom (4.6.4). Diskont som určil na 3% rovnako ako vo variante 1 a 2 a zhotovil som citlivostnú analýzu NPV na diskonte (obr. 32) a (obr. 33).

Následne som si vypočítal hodnotu čistej súčasnej hodnoty NPV, ktorej medzivýsledky sú zaznamenané v tabuľke (tab. 6).

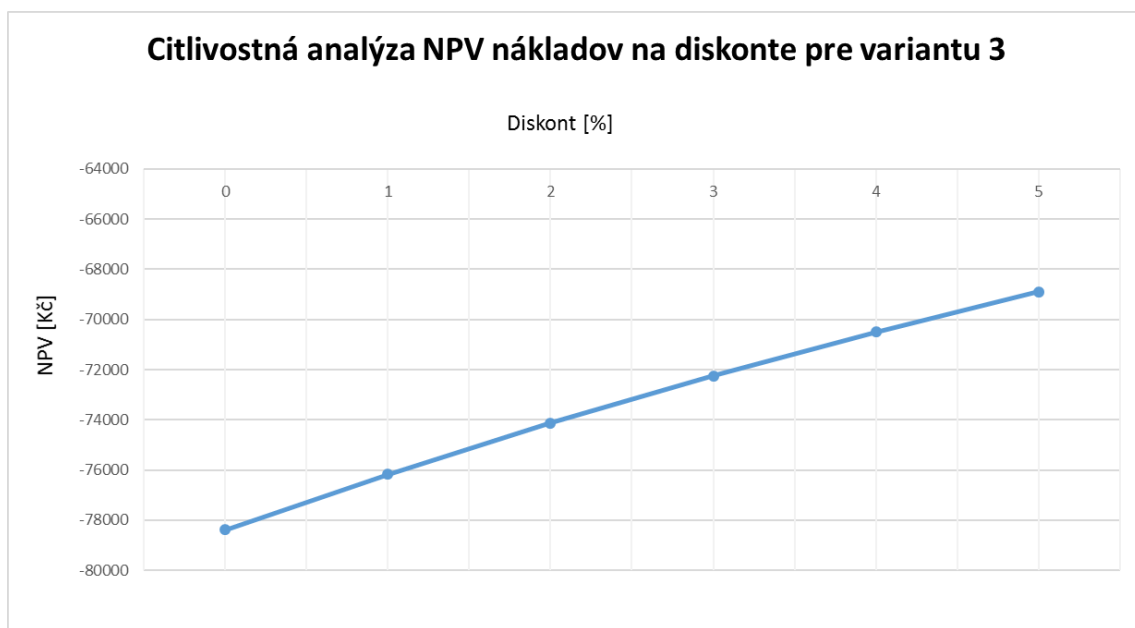
Rok	-	2017	2018	2019	2020	2021
Investície [Kč]	0	-500	-500	-500	-500	-500
Cena elektriny nákup [Kč/kWh]	4,428	4,516	4,606	4,699	4,793	4,888
Cena elektriny predaj [Kč/kWh]	0	0,635	0,635	0,635	0,635	0,635
Ročná bilancia (predaj nákup) [Kč]	0	-5 731	-5 849	-5 971	-6 094	-6 220
Zelený bonus [Kč]	0	2 807	2 807	2 807	2 807	2 807
CF [Kč]	-38 500	-3 423	-3 542	-3 664	-3 787	-3 913
DCF [Kč]	-38 500	-3 324	-3 339	-3 353	-3 365	-3 376
Rok	2022	2023	2024	2025	2026	
Investície [Kč]	-500	-500	-500	-500	-500	
Cena elektriny nákup [Kč/kWh]	4,986	5,086	5,188	5,291	5,397	
Cena elektriny predaj [Kč/kWh]	0,635	0,635	0,635	0,635	0,635	
Ročná bilancia (predaj nákup) [Kč]	-6 349	-6 480	-6 614	-6 751	-6 890	
Zelený bonus [Kč]	2 807	2 807	2 807	2 807	2 807	
CF [Kč]	-4 042	-4 173	-4 307	-4 444	-4 583	
DCF [Kč]	-3 385	-3 393	-3 400	-3 406	-3 410	

Tab. 6 – Medzivýsledky a vstupy pre výpočet NPV varianty 3.

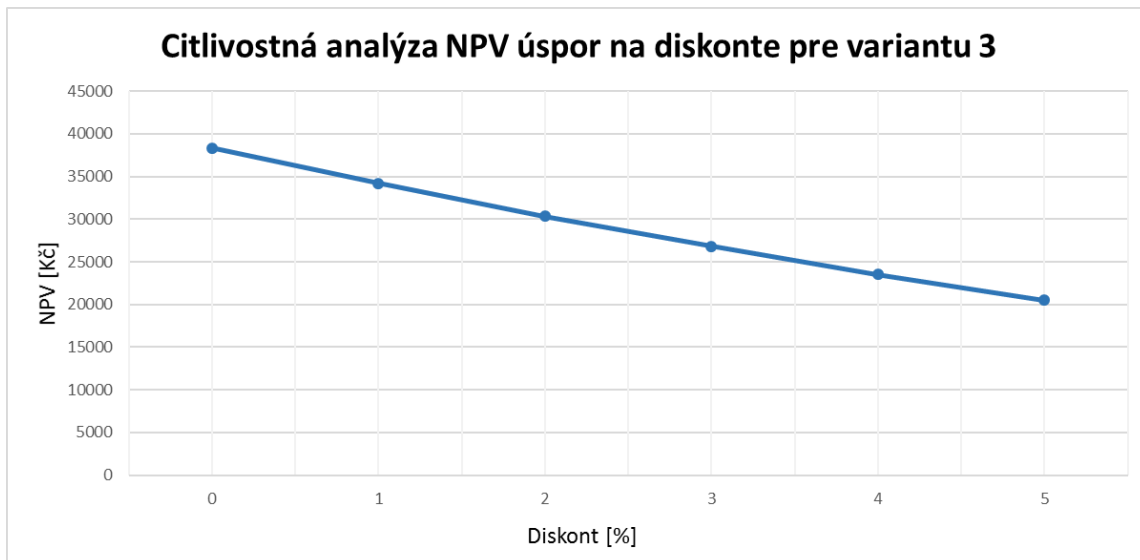
Zhora sa v tabuľke (tab. 6) nachádza údaj o roku v rozmedzí počiatočného roku projektu až po rok 2026, hodnota investícií v počiatočnom roku a hodnota údržby, údaj o cene elektriny pre nákup a predaj tejto komodity, hodnota spotreby elektrickej energie v danom roku v Kč. V ďalšom riadku je hodnota dotácie formou zelených bonusov pre jednotlivé roky. Nasleduje údaj o Cash flow v Kč, ktorý som určil podľa vzťahu (4.1.2) a nakoniec hodnota diskontovaného Cash flow (DCF) v Kč, ktorý som vypočítal vzťahom (4.5.1), obdobne ako v predošlých variantách.

Čistá súčasná hodnota NPV tejto varianty (varianta 3 – turbína bez akumulácie) je -72 250 Kč a vypočítal som ju podľa vzťahu (4.1.1). Túto hodnotu budem v nasledujúcej kapitole porovnávať s hodnotami NPV predošlých dvoch variant.

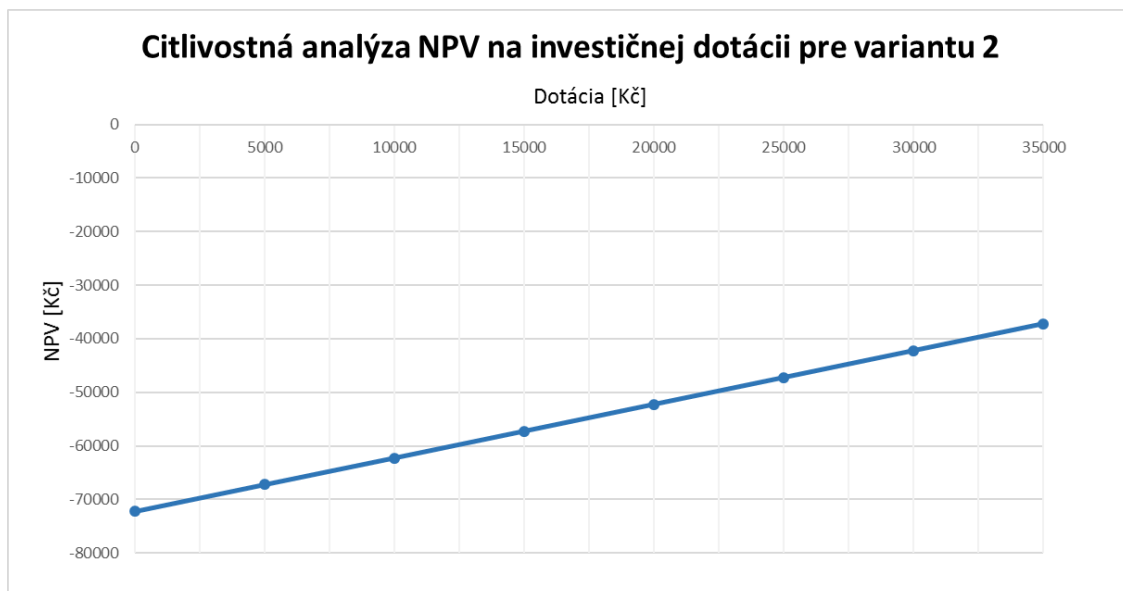
Následne som vytvoril citlivostné analýzy čistej súčasnej hodnoty nákladov NPV na diskonte (obr. 31), čistej súčasnej hodnoty úspor NPV na diskonte (obr. Xxx) a NPV nákladov na výške prípadnej investičnej dotácie (obr. 32).



Obr. 32 – Citlivostná analýza – závislosť NPV nákladov na diskonte pre variantu 3.



Obr. 33 – Citlivostná analýza – závislosť NPV úspor na diskonte pre variantu 3.



Obr. 34 – Citlivostná analýza – závislosť NPV nákladov na investičnej dotácii pre variantu 3.

4.8 Porovnanie variant a zhodnotenie návrhu

V predošlých kapitolách som vypočítal čistú súčasnú hodnotu nákladov a úspor jednotlivých variant. Tieto hodnoty sú uvedené v tabuľkách (tab. 7) a (tab. 8).

Varianta	NPV [Kč]
1 - bez turbíny	-99069
2 - turbína s akumuláciou	-92194
3 - turbína bez akumulácie	-72250

Tab. 7 – Hodnoty čistej súčasnej hodnoty nákladov NPV pre všetky varianty.

Varianta	NPV [Kč]
1 - bez turbíny	-
2 - turbína s akumuláciou	6874
3 - turbína bez akumulácie	26819

Tab. 8 – Hodnoty čistej súčasnej hodnoty úspor NPV pre všetky varianty.

Po ekonomickej stránke z tabuľky (tab. 7) a (tab.8) vidíme, že najvyššia hodnota nákladov NPV je hodnota -72 250 Kč, ktorá je pre variantu 3, teda turbína bez akumulácie. Hodnota tejto investície (úspor) je teda rozdiel medzi NPV varianty 3 a NPV varianty 1, t.j. 26 819 Kč. Môžeme teda zhodnotiť, že čistá súčasná hodnota výberu optimálnej varianty je práve táto hodnota (26 819 Kč). Varianta s akumuláciou má hodnotu -92 194 Kč a hodnota výberu (rozdielu medzi predošlým stavom a variantou) je 6 874 Kč.. Táto hodnota je omnoho nižšia ako hodnota optimálnej varianty. To je spôsobené najmä vysokými investičnými nákladmi na akumuláciu (ceny akumulátorových batérií a ich príslušenstva).

Pri porovnaní varianty 2 a varianty 3 z technickej stránky sa dá konštatovať, že sa mini-elektrárne líši hneď v niekoľkých aspektoch. V inštalácii bez akumulácie (varianta 3) chýba celý akumulčný obvod. Zapojenie tejto mini-elektrárne je z tohto dôvodu jednoduchšie a lacnejšie, avšak je zložitejšia jej prevádzka. Zložitosť tejto prevádzky je v tom, že nedostatok energie nakupujem zo siete a zároveň v čase prebytku túto energiu do siete predávam. Toto riešenie je možné len v prípade špeciálneho elektrómetru, ktorý by tento priebeh zaznamenával tak, aby bolo možné na konci zúčtovacieho obdobia túto bilanciu (nákup a predaj) vytvoriť. Varianta 2 je oproti variante 3 zložitejšia v nutnosti zapojiť akumulčný obvod, preto obsahuje viac komponentov, ako sú akumulátorová nabíjačka, samotné akumulátorové batérie a striedač. Výsledne sú teda tieto varianty po technickej stránke obdobne zložité, a preto budem optimálnu variantu vyberať na základe ekonomickej analýzy.

Podľa tohto modelu navrhujem zvoliť variantu 3 – turbína bez akumulácie, čo je optimálne riešenie tohto návrhu s nákladovým NPV -72 250 Kč, čím oproti predošlému stavu (variante 1 – bez turbíny) ušetřím 26 819 Kč, s rešpektovaním časovej ceny kapitálu 3%.

Záver

V tejto diplomovej práci som sa zaoberal vodnými zdrojmi, konkrétne turbínami, ktoré premieňajú energiu vodného toku na energiu elektrickú. V prvej časti práce som popísal vývoj týchto turbín počnúc rokom 600 p. n. l., až po poslednú zmienku v práci, a teda turbínu „Turgo“. Ku každej z týchto turbín som uviedol vynálezcu a rok, v ktorom danú turbínu vynášiel, prípadne, kedy bola turbína zavedená do prevádzky. Následne som z týchto turbín vybral 4 najpoužívanejšie typy a to: Francisovu turbínu, Kaplanovu turbínu, Peltonovu turbínu a Bánkiho turbínu. K týmto turbínam som charakterizoval ich základné parametre a princíp premeny energie, teda princíp funkčnosti. Následne som popísal technológiu turbíny SETUR, konkrétne jej konštrukciu, princíp funkčnosti (odval'ovacieho deja) a možné praktické využitie. Definoval som ekonomické hodnotiace kritérium- čistú súčasnú hodnotu NPV, podľa ktorého budem hodnotiť návrh. Zvolil som si rodinný dom situovaný pri vodnom toku a vypočítal hydrologický potenciál daného toku. Následne som si spočítal elektrický výkon, ktorým by turbína SETUR disponovala v danej lokalite, uvažoval som s odstávkou turbíny v dĺžke dvoch mesiacov za rok a to z dôvodu zamrznutia vodného toku v zime. Táto korekcia (odstávka) mi do práce vniesla chybu, resp. nepresnosť, keďže skutočná odstávka v danom roku môže byť dlhšia, avšak aj žiadna. Z tohto dôvodu som zanedbal záležitosti, ako sú napríklad predĺženie roka o deň v prípade priestupného roka (2020 a 2024), keďže mám za to, že v porovnaní s odstávkou dvoch celých mesiacov je táto nepresnosť zanedbateľná. Zo zoznamu spotrebičov v domácnosti a dĺžky ich prevádzok som vypočítal celkovú spotrebu domácnosti a graficky vyniesol denný diagram záťaže tejto domácnosti. Následne som vypracoval 3 modelové situácie. Konkrétne išlo o: varianta 1 – bez turbíny, varianta 2 – turbína s akumuláciou, varianta 3 – turbína bez akumulácie. K týmto variantám som do počítal čisté súčasné hodnoty NPV na základe daných predpokladov a vstupných hodnôt, ako sú napr. spotreba energie, výroba energie, dotácie (zelené bonusy), investícia, údržba a pod... Nakoniec som tieto varianty porovnal po technickej a ekonomickej stránke. Z práce vyplýva, že optimálnou variantou je varianta 3 – turbína bez akumulácie, ktorej hodnota NPV je -72 250 Kč, čím oproti predošlému stavu (variante 1 – bez turbíny) ušetrím 26 819 Kč, s rešpektovaním časovej ceny kapitálu 3%. Hlavný rozdiel tejto varianty oproti variante 2 je ten, že turbína bez akumulácie predstavuje ušetrenie nákladov za komponenty pre akumuláciu, čo sa v tomto prípade ukázalo ako rozhodujúce.

Použitá literatura a zdroje

- [1] Martin Polák a kolektiv; Bezlopatková miniturbína: Cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů; Česká technika – nakladatelství ČVUT; Praha; 2013; 168 s.
- [2] Viktor Laika; Malá voda; <http://mve.energetika.cz/>
- [3] Prof. Ing. Jan Melichar, CSc.; Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny; Česká technika – nakladatelství ČVUT; Praha; 2013; 146 s.
- [4] EPOfilms; SEDLÁČEK, Miroslav - Odvalovací tekutinová turbína; 2016; 8 min.; <https://www.youtube.com/watch?v=yJXf8k7ZDpo&t=372s>
- [5] European Patent Office; Miroslav Sedláček (Czech Republic); <https://www.epo.org/learning-events/european-inventor/finalists/2016/sedlacek.html>
- [6] Kolektiv autorov; Malé vodní elektrárny; Jaga Group; 2003; 184 s.
- [7] Mechanika karlův dvůr; Turbína SETUR; <http://www.mechanikakd.cz/turbina.html>
- [8] Ivo Púr; Trvale užitečné dobro; 2016; 3 s.; <http://oze.tzb-info.cz/vodni-energie/13720-trvale-udrzitelne-dobro>
- [9] Prof. Ing. Peter Dušička, PhD., doc. Ing. Tomáš Hodák, PhD., Ing. Peter Šulek, PhD.; Historický vývoj malých vodných elektrární; Časopis – Inžinierske stavby; Bratislava
- [10] Michal Lukáč, Emília Bednárová; Navrhovanie a prevádzka vodných stavieb; Jaga Group; 2006; 192 s.
- [11] František Pažout; Malé vodní elektrárny Díl 1. Ekonomika, předpisy; SNTL – Státní nakladatelství technické literatury; 1990; 502 s.
- [12] Jozef Bednář; Malé vodní elektrárny Díl 2. Vodní turbíny; SNTL – Státní nakladatelství technické literatury; 1990; 240 s.
- [13] Amper market a.s.; Výrobci elektřiny; <http://www.ampermarket.cz/samovyrobci-do-30kwp>
- [14] Richard A. Brealey, Stewart C. Myers; Teorie a praxe firemních financí; BizBooks; 2014; 1072 s.
- [15] Energetický regulační úřad (ERÚ); Cenové rozhodnutí č. 2/2017; 2017

- [16] Prof. Ing. Peter Dušička, Ing. Peter Šulek, PhD; Energetické využívanie vodných zdrojov; STU; 2012; 90 s.
- [17] Jozef Huňačka; Vodné elektrárne; Repros studio; 1992; 89 s.
- [18] Český hydrometeorologický ústav; <http://portal.chmi.cz/>
- [19] Meanwell; E-shop elektrických komponentů; <http://www.czech-meanwell.cz/meanwell/Bezudrzbovy-oloveny-zalozni-akumulator-baterie-VRLA-AGM-200Ah-12V-d3814.htm>
- [20] TME electric components; E-shop elektrických komponentů; <http://www.tme.eu/sk/details/pb-1000-24/nabijacky-akumulatorov/mean-well/>
- [21] GM electronic; E-shop elektrických komponentů; <https://www.gme.cz/f-men-24-230v-1000w#product-detail>