



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

PROJEKT TURBIN PRO MALOU VODNÍ ELEKTRÁRNU
THE PROJECT OF TURBINES FOR SMALL WATER POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Filip Dolinský

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Miloslav Haluza, CSc.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Filip Dolinský**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloslav Haluza, CSc.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Projekt turbin pro malou vodní elektrárnu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro malou vodní elektrárnu s návrhovým průtokem $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a spádem 2,5 m navrhnete vhodnou šnekovou, případně vírovou turbínu a návrhy porovnejte.

Cíle bakalářské práce:

Nalézt vhodný hydraulický návrh šnekové resp. vírové turbíny na zadané parametry průtoku a spádu pro malou vodní elektrárnu.

Seznam literatury:

Nechleba, M.: Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství. SNTL Praha, 1962.

Nechleba, M., Druckmüller, M.: Vodní turbíny I. Skripta VUT v Brně, 1990.

Haluz, M.: přednášky z předmětu Projektování a provoz tekutinových zařízení, akad. rok 2015/2016

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 27. 11. 2015



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce je využitie hydroenergetického potenciálu riečneho profilu malou vodnou elektrárnou, pre ktorú sa navrhne riešenie buď pomocou Archimedových alebo Vírových turbín. V prvej kapitole je opísaný súčasný stav elektrární na riekach a záväzky Slovenskej republiky voči Európskej únii. V druhej kapitole sú zhrnuté základné rozdelenia turbín a poznatky o Šnekovej a Vírovej turbíne. Tretia kapitola sa zaoberá návrhmi technologických riešení, výpočtom základných rozmerov, hodnôt a ich porovnaním. U vybraného najoptimálnejšieho návrhu dochádza k určaniu potrebných parametrov pre konštrukciu, stanovením nákladov na stavbu a určenie návratnosti investície.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with usage of hydropower potential of river profile by small hydro powerplant, solution by Archimedes and Swirl turbines is designed. In the first part, current status of hydro powerplants in Slovakia is described and obligations of the Slovak republic to the EU are analyzed. In the second part, basic division and knowledge about Screw and Swirl turbine are summarized. The third chapter deals with design, calculations and comparison of different kinds of turbines. Most optimal solution is analyzed, design parameters are elaborated and building cost and return of investment are calculated.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Archimedova skrutka, Vírová turbína, vodná energia, malá vodná elektrárňa, obnoviteľné zdroje energie, energetika, MVE

KEYWORDS

Archimedes screw, Swirl turbine, hydro energy, small hydro powerplant, renewable energy sources, energetics, MVE

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

DOLINSKÝ, Filip. Projekt turbin pro malou vodní elektrárnu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 55 s., 4 přílohy. Vedoucí práce doc. Ing. Miloslav Haluza, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Projekt turbin pro malou vodní elektrárnu vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

20. mája 2016

.....
Dolinský Filip

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať doc. Ing. Miloslavovi Haluzovi, CSc. a Dr. Ing Dirkovi M. Nuernbergkovi za rady a pripomienky pri písaní bakalárskej práce.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 11 |
| 1 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL | 12 |
| 2 TURBÍNY PRE MVE | 12 |
| 2.1 ZÁKLADNÉ ROZDELENIE..... | 12 |
| 2.2 ŠNEKOVÁ TURBÍNA | 13 |
| 2.2.1 Typy šnekových turbín | 15 |
| 2.2.2 Rybovod u RST | 16 |
| 2.3 VÍROVÁ TURBÍNA..... | 18 |
| 3 NÁVRH STROJNEJ ČASTI | 19 |
| 3.1 VÝBER LOKALITY PRE MVE | 19 |
| 3.2 HYDROLOGICKÉ ÚDAJE..... | 20 |
| 3.3 NÁVRH TURBÍNY..... | 22 |
| 3.3.1 Dimenzovanie rozmerov turbíny | 22 |
| 3.3.2 Dimenzovanie rybovodu-čerpadla..... | 26 |
| 3.3.3 Realizácia projektu | 27 |
| 3.3.4 Zhodnotenia a výber riešenia | 34 |
| 3.3.5 Výpočet zaťažujúcich síl..... | 35 |
| 3.3.6 Parametre turbín | 38 |
| 3.3.7 Výber generátora..... | 41 |
| 3.3.8 Návrh prevodovky..... | 43 |
| 3.3.9 Ročná produkcia | 44 |
| 3.4 ZHODNOTENIE NÁKLADOV A NÁVRATNOSTI..... | 44 |
| 4 ZÁVER..... | 47 |
| ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV..... | 48 |
| ZOZNAM GRAFOV | 50 |
| ZOZNAM OBRÁZKOV | 51 |
| ZOZNAM TABULIEK..... | 52 |
| ZOZNAM PRÍLOH | 53 |

ÚVOD

Energetická samostatnosť je prioritou každého vyspelého štátu. Na to, aby ju bolo možné dosiahnuť, je mimo iného, potrebné mať rozsiahlu sieť zdrojov elektrickej energie. V súčasnosti je kladený čoraz väčší dôraz na obnoviteľné zdroje energie, vďaka ich šetrnému prístupu k životnému prostrediu. Z týchto zdrojov sa ako veľmi vhodná javí energia vyrobená z vodných elektrární. Éra veľkých diel, je u nás pomaly na ústupe, a začíname sa znova obracať na malé vodné diela tkz. malé vodné elektrárne, ktoré boli v medzivojnovom období hojne zastúpené na území Československa. K jej výrobe dochádza premenou kinetickej energie vody, pomocou turbíny a generátora na elektrickú.

Mimo snahy samotných štátov o sebestačnosť a samozrejme aj Slovenska, ktoré sa zaväzuje k výrobe energie z obnoviteľných zdrojov energie o podielu 14% spotreby do roku 2020. [1] K navyšovaniu zastúpenie OZE na území Slovenska pomáhajú eurofondy, a rôzne dotácie tkz. zelené tarify, ktorých cieľom je zlukratívať výrobu elektrickej energie aj pre podnikateľov.

Malé vodné elektrárne sú z podnikateľského hľadiska zaujímavé hlavne pre ich jednoduchosť, relatívne nízke počiatkové a prevádzkové náklady, dlhú životnosť, ktorá sa pohybuje v dekádach rokov, vysokých výkupných cien vďaka zeleným tarifom, obnoviteľnou zmluvou za vopred stanovenú cenu na 15 rokov a ich nízku rizikovosť investície. [2]

Pri návrhu projektu MVE dochádza k porovnaní viacerých technických riešení, a výberu toho najoptimálnejšieho. Na tomto koncepte je postavená aj bakalárska práca.

Ako hlavný podklad spracovania bakalárskej práce bolo použité dielo, DOE report 7-Design flow for hydropower screws, od nemeckého autora menom Dirk M. Nuernbergk, ktorý aktívne aj pomáhal s touto prácou.

1 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL

Je to ukazovateľ využitia kinetickej energie vody na výrobu elektrickej energie za jeden rok.

Máme 3 základné typy :

Teoretický hydroenergetický potenciál-ktorý je rovný súčtu všetkých potenciálov na skúmanom území. Potenciál sa vypočítava pri 100% účinnosti z rozdielov hladín a veľkosti prietokov. Hodnota potenciálu pre Slovenskú republiku je 13682 GWh/rok. [1]

Technický hydroenergetický potenciál – je menší ako teoretický o hodnotu strát na energiu a technického využitia daných lokalít. Nedochoádza k ovplyvneniu jednotlivých profilov, ktorých je na území SR 635. Ročná hodnota dosahuje 6700 GWh/rok.[1]

Ekologický hydroenergetický potenciál- zníženie o hodnoty tokov, ktoré nie je možné z ekologických dôvodov využiť, jedná sa napríklad o toky nachádzajúce sa v pásme vysokej ochrany. Je nutné odčítať ponechanie sanačného prietoku, kvôli migrácii živočíchov, a mieste, kde nie je možné zdúvať hladiny z hľadiska ponechania určitého stavu podzemných a povrchových vôd. [1]

V roku 2013 bolo z 635 vodných profilov využívaných 262, 26 vodných elektrární bolo mimo prevádzky, a 347 profilov bolo možné naďalej využiť pre výstavbu. [1]

Pre porovnanie v roku 2011 vyšiel zoznam 368 vhodných profilov pre výstavbu MVE. Z toho plynie, že za 2 roky došlo k výstavbe 21 malých vodných elektrární. [1]

Tieto profily sú samozrejme len orientačné, boli určené na základy najlepšieho využitia hydroenergetického potenciálu, to znamená, že k výstavbe je možné použiť aj iné miesta na toku.

2 TURBÍNY PRE MVE

Pre premenu kinetickej energie vody na elektrickú slúžia turbíny, ktoré pomocou generátora generujú elektrinu.

2.1 Základné rozdelenie

Turbíny sa v závislosti na tlaku delia nasledovne :

Rovnotlakové turbíny-tlak pred obežných kolesom je rovnaký ako za ním. To zaručí privádzač, v ktorom je voľná hladina, v prípade uzavretého privádzača (potrubie) nedochádza k plnému plneniu plochy prierezu. Je nutné, aby turbína bola nad úrovňou spodnej hladiny, z hľadiska možného brodenia vodou, čo by znižovalo účinnosť. Následkom čoho dochádza k nie úplnému využitiu spádu toku. U týchto turbín sa mení úžitkový spád na rýchlosť prúdu v rozvázacom kolese, následne sa v obežnom kolese zmení len smer, relatívna rýchlosť ostáva rovnaká(Peltonova a Bánkiho turbína). [3]

Pretlakové turbíny - tlak na začiatku obežného kolesa je väčší, ako tlak na jeho konci. Kvapalina vyplňuje faprierez vtokové kanálu. Toto riešenie, umožňuje umiestniť turbíny

pod dolnú hladinu bez toho. Časť úžitkového spádu sa premení v rozvázacom kolese na rýchlosť. Zvyšný tlak následne vstupuje do obežného kola, kde sa potom taktiež mení na rýchlosť prúdu. Veľkosť rýchlosti smerom k výtoku stúpa. V obežných kanáloch je pretlak, vďaka ktorému musí byť turbína pod vodou (napr. Francisova a Kaplanova turbína). [3]

Rozdelenie podľa vstupu kvapaliny do obežného kola : [3]

Axiálne turbíny- smer prúdenia kvapaliny je rovnobežný s osou symetrie hriadeľa. Patria sem napr. Kaplanova turbína, Vírová turbína

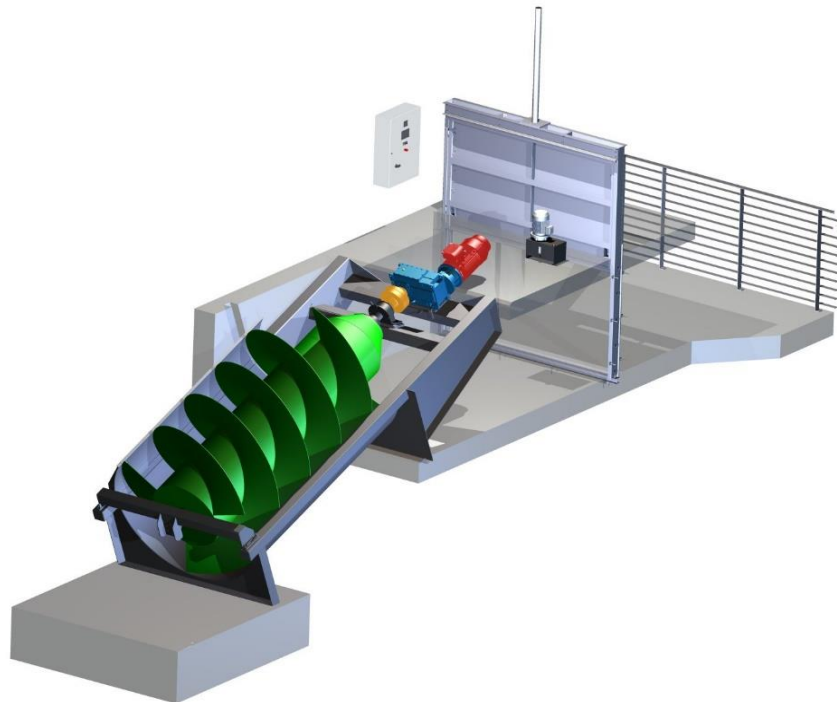
Radiálne turbíny- smer prúdenia kvapaliny je kolmý na os obežného kola
Napr. Francisova turbína

Radiaxiálne turbíny – smer prúdenia tekutiny sa mení z radiálneho na axiálne
Francisova turbína

Tangenciálne turbíny- voda priteká na obežné koleso ako voľný lúč v smere dotyčnice ku kolesu. Peltonova turbína

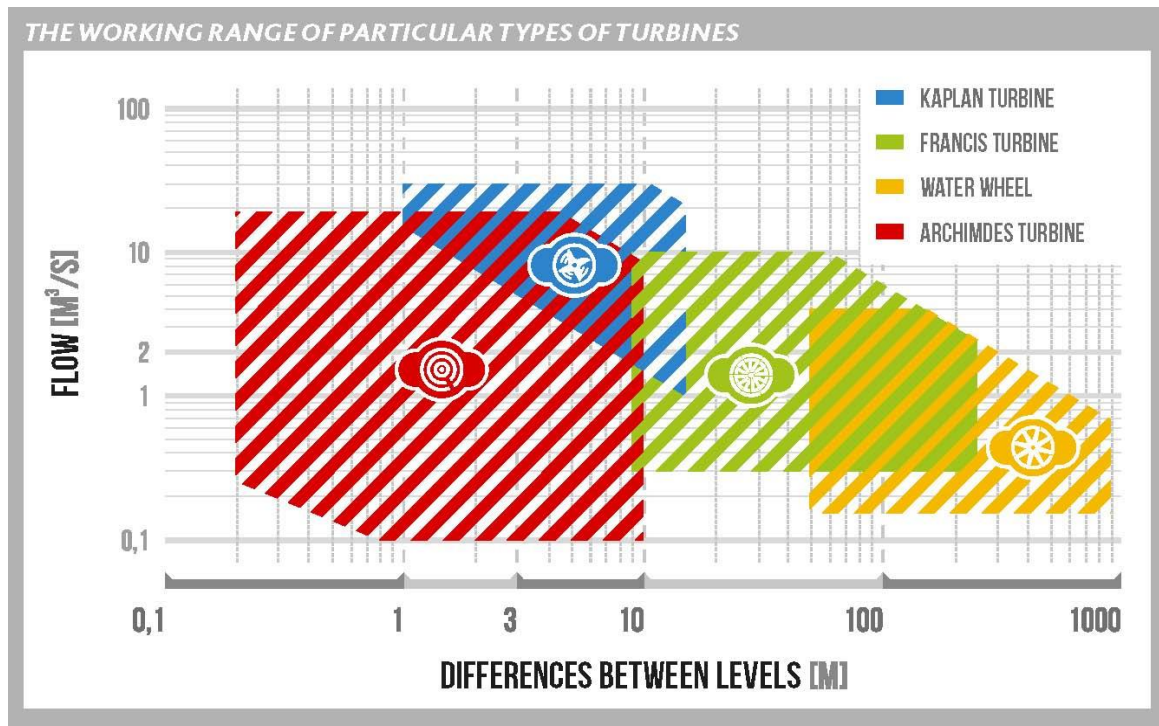
2.2 Šneková turbína

Obrázok 1 : Model šnekovej turbíny [4]



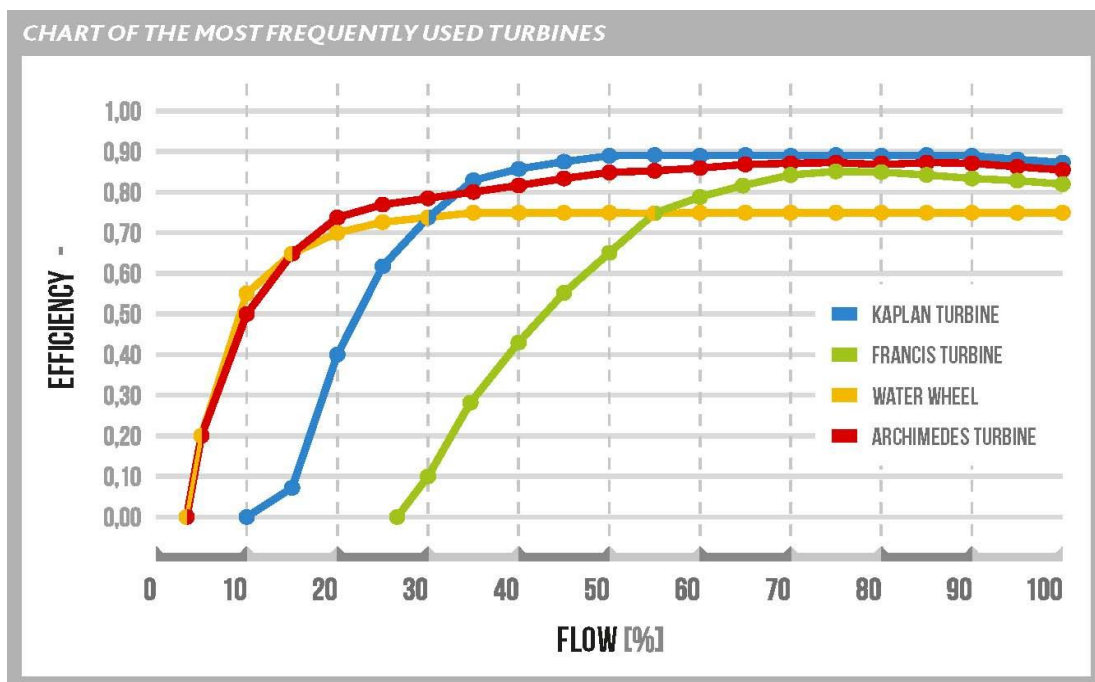
Šneková, alebo inak Archimedova skrutka, je robustný typ turbíny, ktorý sa používa pre spády v rozmedzí 1-10m a prietoky 0.1-10m³/s. Je možné ju použiť aj pre vyššie spády, ale je nutné riešiť problém veľkého priehybu hriadeľa. Pri väčších hĺbkostiach by sa zase rozmery priemerov pohybovali v rádoch niekoľkých metroch. U väčšiny voľných profilov je spád menší než 3 metre, preto je táto turbína vhodná na zostávajúce miesta.

Graf 1: Využitie určitých typov turbín a ich porovnanie s Archimedovou skrutkou [5]



Jej konštrukcia pozostáva z trubky, na ktorej je navarených od 1 do prevažne 5 listov. Spôsob výroby pozostáva z vyrobenia segmentov medzikružia požadovaných rozmerov, natiiahnutím a následným skružením. Vyšší počet zvyšuje kontinuitu plnenia, avšak turbína sa stáva zložitejšou na výrobu. Vo väčšine prípadov dochádza k voľbe $N=3$ rozmiestnených 120° po obvode kružnice.

Graf 2: Porovnanie účinností vybraných turbín [5]



Veľkou výhodou turbíny, je jej vysoká účinnosť aj pri nízkych prietokoch. Už pri 20% hĺtosti dosahuje približne 75% účinnosť. Turbínu je možné prehltiť až o 20% dimenzovaného prietoku, čiže na 120% menovitého prietoku za cenu minimálnej straty na účinnosti. [5]

2.2.1 Typy šnekových turbín

Z hľadiska tvaru, môžeme šnekovú turbínu, rozdeliť na :

AST-Archimedes screw turbine

Pozostáva zo skrutkovice navarenej na nosnej trubke, ktorá je pomocou prírub pripevnená k hriadeľu. Ten je uložený v 2 ložiskách, kde horné je axiálno-radiálne, a a spodné je radiálne. Veľkou výhodou je jej nízka cena a jednoduchá konštrukcia.

Obrázok 2: 2 archimedove turbíny v prevádzke [6]

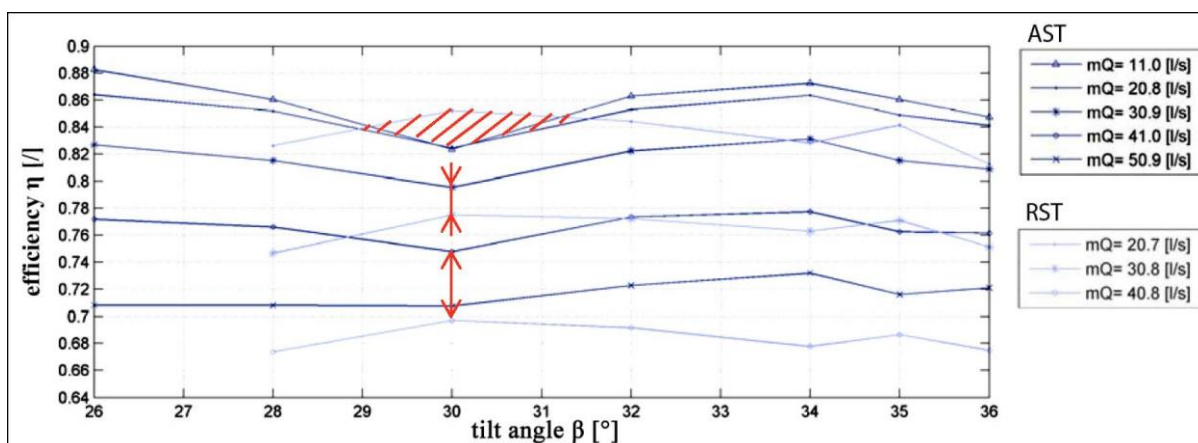


Dosahuje vysokých účinností, až do 92%. Voľba trubky sa volí z katalógových rozmerov. [5]

RST- Rotary screw turbine

Uchytenie sa dá realizovať remenicou, ktorej vhodné umiestnenie môže znížiť prieťah trubky. Toto riešenie je možné použiť pri konštrukcii veľkých dĺžok turbíny. Keďže je vsadená do trubky, nie je vôľa medzi listami a vonkajším potrubím, následkom čoho nedochádza objemovým stratám ako u AST, avšak straty trením sú vyššie preto dosahuje nižšie účinnosti, ktorých maximálneho hodnoty dosahujú 85%. [6]

Graf 3: Porovnanie účinností RST a AST turbín [7]



Do turbíny je možné osadiť ďalšiu skrutkovicu ,navarenú na vnútornej strane centrálnej trubky, s opačne orientovaním stúpaním, a využiť ju ako čerpadlo, ktoré bude čerpať ryby hore. Tým pádom odpadá nutnosť budovať rybovod. Tento systém je patentovaný spoločnosťou Hydro-connect so sídlom v Rakúsku. [8]

Obrázok 3: RST turbína inštalovaná na vodnom diele [7]



2.2.2 Rybovod u RST

Mimo sanačného prietoku je z legislatívneho hľadiska nutnosť budovať rybovod, vďaka ktorému ryby budú môcť prekonať prekážku, akou je hať. [9]

U šnekovej turbíny, je možnosť do vnútra trubky navariť opačne orientovanú ďalšiu Archimedovu skrutku, ktorá bude fungovať ako čerpadlo. Tým pádom pokiaľ pôjdu ryby v smere po prúde, prekonajú prekážku vplávaním medzi listy turbíny, v opačnom smere využijú čerpadlo.

Obrázok 4: Vrchná časť rybovodu spoločnosti Hydro-connect



Porovnanie AST turbíny s klasickým rybovodom, kde dochádza k strate prietoku a RST s rybovodom navareným vo vnútri nosnej trubky.

Parametre :

Dimenzovaný prietok $Q_{MVE} = x$

Prietok rybovodom volíme ako 1,5% z Q_{MVE} , teda $Q_R = 0,015x$

Prietok turbínou s klasickým rybovodom $Q_{T1} = Q_{MVE} - Q_R = x - 0,015x = 0,985x$

Prietok turbínou s čerpadlom $Q_{T2} = Q_{MVE} + Q_R = x + 0,015 = 1,015x$

Účinnosť turbín $\eta_1 = \eta_2 = 0,85$

Účinnosť čerpadla $\eta_3 = 0,7$

Výkon $P_{T1} = \rho \cdot g \cdot h \cdot \eta_1 \cdot Q_{T1} = \rho \cdot g \cdot h \cdot 0,85 \cdot 0,985x = \rho \cdot g \cdot h \cdot 0,8373x$

Výkon P_{T2} bude rovný rozdielu výkonu turbíny a príkonu čerpadla

$$\begin{aligned} \rho \cdot g \cdot h \cdot \eta_2 \cdot Q_{T2} - \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot Q_R}{\eta_3} &= \\ &= \rho \cdot g \cdot h \cdot \left(\eta_2 \cdot Q_{T2} - \frac{Q_R}{\eta_3} \right) = \\ &= \rho \cdot g \cdot h \cdot \left(0,85 \cdot 1,015x - \frac{0,015x}{0,7} \right) = \end{aligned}$$

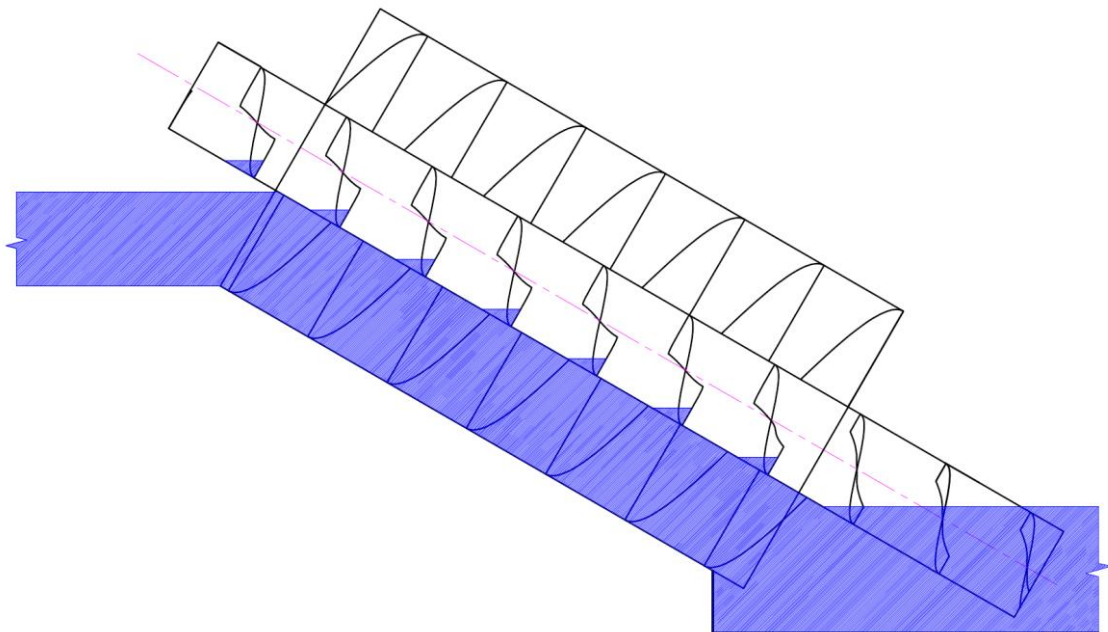
$$\rho \cdot g \cdot h \cdot (0,8628x - 0,021x) = \rho \cdot g \cdot h \cdot 0,8418x$$

Hustota vody, gravitačná konštanta aj výška spádu je konštantná, taktiež prietok je definovaný pomocou konštanty x , preto výsledné výkony môžeme porovnať ako

$$0,8418 \geq 0,8373$$

Z čoho plynie, že turbína s interným rybovodom bude mať vyšší výsledný výkon ako s klasickým rybovodom.

Obrázok 5 : Rez turbínou s rybovodom



2.3 Vírová turbína

Bola navrhnutá na ústave Viktora Kaplana VUT v Brne v roku 1999. Vychádza z Kaplanovej turbíny, avšak nemá rozvádzacie lopaty, vďaka čomu je konštrukčne jednoduchšia a lacnejšia. Keďže ju nie je možné regulovať, je vhodná skôr pre spády s nie moc premenlivým prietokom, pretože inak veľmi rýchlo klesá jej účinnosť. Turbína sa inštaluje buď v násoskovom type, ktoré je vhodné pokiaľ nie je možnosť väčších zásahov do samotného diela, alebo priamoprúdové prevedenie, kde turbína je nižšie, ako je spodná hladina vody.

Vírové turbíny je možné rozdeliť podľa obsahu plochy prierezu náboja obežného kolesa na 2 typy. Turbíny, kde prierez náboja obežného kolesa je 25% plochy alebo 40%. Turbíny s 40% nábojom dosahujú účinnosti až 85% a u 25% náboja je to 70%.

Obrázok 6 : 2-lopatková vírová turbína [10]



3 NÁVRH STROJNEJ ČASTI

3.1 Výber lokality pre MVE

V zozname odporúčaných profilov pre využitie hydroenergetického potenciálu sa nachádzajú vo väčšine prípadov miesta, ktoré sú bez, alebo len s minimálnou predošlou úpravou toku, čo by zapríčinilo vysoké investičné náklady z hľadiska stavebných prác na diele samotnom, ale aj na zregulovaní toku.

Obrázok 7 : Poloha miesta na toku [11]



Vybraný profil sa nachádza na rieke Nitrica, v katastri obce Nitrica. Vodná nádrž Nitrianske Rudno, ktorá je situovaná približne 13km nad miestom, zaručí stabilnejšiu prietokovú krivku, a znižuje riziko veľkej vody, ktorá by mohla poškodiť dielo.

Na uvažovanom mieste došlo v minulosti už k zásahu, a k zmene charakteru toku. To môže mať pozitívny vplyv na udelenie povolenia, z hľadiska menších úprav na pôvodnom toku, a využitia už existujúcej stavby, ktorá je vo vlastníctve Slovenského vodohospodárskeho podniku.

Obrázok 8 :Pôvodná riečna stavba



3.2 Hydrologické údaje

Z údajov ročeniek SHMÚ za roky 2004-2010 a ich následnými aritmetickými priemerami boli zhotovené nasledujúce hodnoty. [12]

Tabuľka 1: Prietoky profilom

| Čas M [deň] | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Prietok Q[m ³ /s] | 6.58 | 4.01 | 2.48 | 2.21 | 2.15 | 2.13 | 1.72 | 1.26 | 0.77 | 0.65 | 0.64 | 0.57 |
| využitelný prietok Q _v [m ³ /s] | 6 | 3.43 | 1.9 | 1.64 | 1.57 | 1.55 | 1.14 | 0.68 | 0.19 | 0.07 | 0.06 | - |

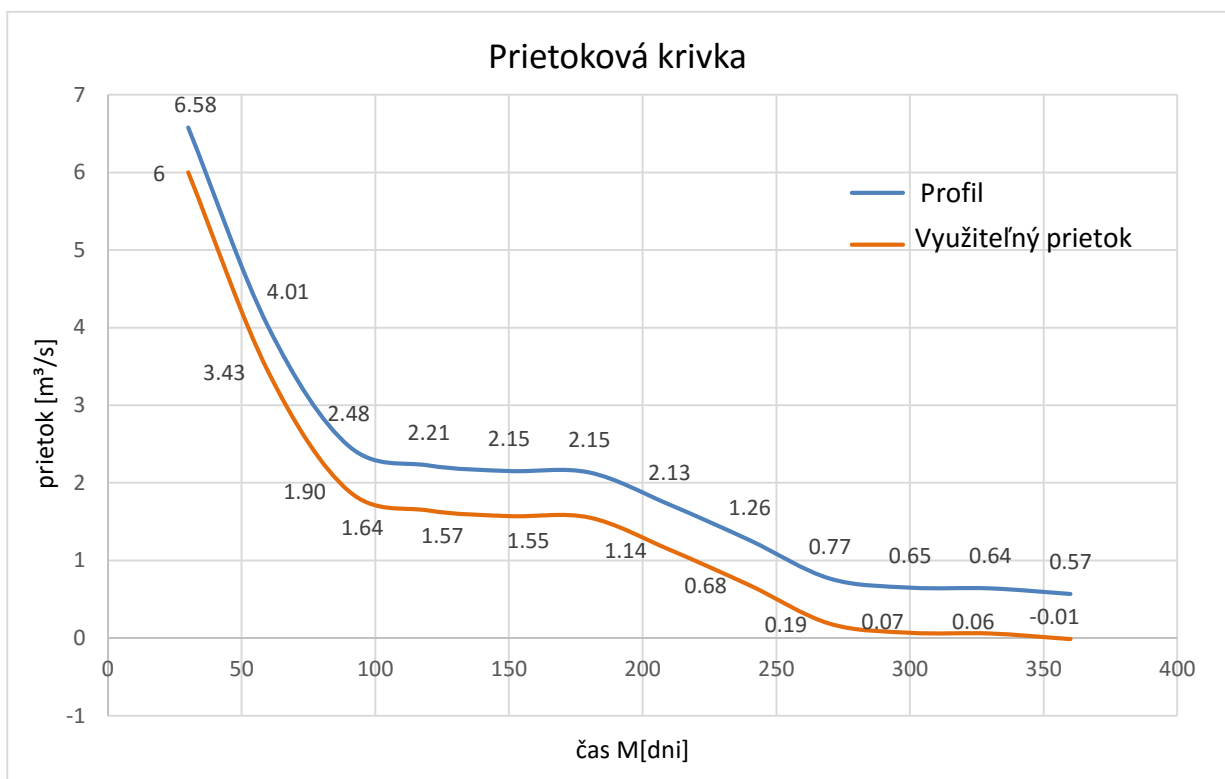
Pre toky v intervale $Q_{355}=0.5-5\text{m}^3/\text{s}$, sa voľba sanačného prietoku volí na úrovni Q_{355} dennej vody. [9] Medzi jednotlivými hodnotami je podľa grafu 4 možno uvažovať linearitu, preto sa určí minimálny sanačný prietok pomocou lineárnej interpolácie.

$$Q_{355} = Q_{330} - \left(\frac{Q_{330} - Q_{360}}{M_{360} - M_{330}} \right) \cdot (M_{355} - M_{330}) = \quad (3.1)$$

$$= 0.639 - \left(\frac{0.639 - 0.567}{360 - 330} \right) \cdot (355 - 330) = 0.579 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tento prietok sa ponechá v pôvodnom toku, aby došlo k zachovaniu biotopu rieky, živočíchov a flóry, tým pádom ho nie je možné využiť k premene na elektrickú energiu.

Graf 4 : Prietoková krivka



Záporné číslo pre M_{360} denný prietok nám udáva, že v tomto čase bude zvolený sanačný prietok väčší, ako reálny.

Pre MVE sa väčšinou volí hltosť turbíny na úrovni $M_{90}-M_{150}$ dennej vody, v závislosti od strmosti prietokovej krivky.

Výpočet

U všetkých možností sa bude postupovať nasledovne :

Stanovenie prietoku Q [m^3/s]

Stanovenie spádu H [m]

Určenie klesania β , ktoré môže nadobúdať hodnoty $\beta = 18^\circ, 22^\circ, 26^\circ, 30^\circ, 34^\circ$

Voľba počtu listov pre všetky riešenia je $N=3$

Voľba pomeru $\rho_R=0.3$, ktoré sa volí pre vysokú účinnosť a kvôli rybovodu vo vnútri trubky.

$$\rho_R = \frac{R_{iz}}{R_a} = 0.3 \quad [-] \quad (3.2)$$

Odčítanie koeficientu λ pre zvolené klesanie β z grafu uvedeného v Prílohe 4. Táto hodnota leží na priesečníku ρ_R a krivky ideálnej hodnoty účinnosti η

Empirický koeficient $K_1 = 10,984$

Odčítanie koeficientu λ v z grafu v Prílohe 3

Výpočet vonkajšieho polomeru

$$R_a = \left(\frac{Q \cdot \tan(\beta)}{K_1 \cdot (\lambda \cdot v)} \right)^{3/7} \quad [m] \quad (3.3)$$

Polomer centrálnej nosnej trubky skrutkovice

$$R_{iz} = \rho_R \cdot R_a \quad [m] \quad (3.4)$$

Pre návrhy RST, nie je potrebné vyhľadať trubku z katalógu výrobcu s podobnými rozmermi, ako výpočítané pomocou vzťahu (3.4).

Pre riešenia s AST, kde rybovod nebude súčasťou turbíny, sa pomer ρ prepočíta podľa katalógových trubiek, R_i je vonkajší polomer bežne vyrábaných pozdĺžne zvaraných trubiek podľa ČSN 425717

$$\rho = \frac{R_i}{R_a} \quad [-] \quad (3.5)$$

Výpočet stúpania listu šneku

$$S = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_a \cdot \lambda}{\tan(\beta)} \quad [m] \quad (3.6)$$

Výpočet vôle medzi listami turbíny a vedením žľabu, u RST s rybovodom bude $s_{sp}=0$

$$s_{sp} = 0.0045 \cdot \sqrt{2 \cdot R_a} \quad [m] \quad (3.7)$$

Objem na jednu otáčku

$$V_U = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot R_a^3 \cdot \lambda \cdot v}{\tan(\beta)} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (3.8)$$

Otáčky turbíny pri menovitom prietoku

$$n_{WKS} = 60 \cdot \frac{Q_W}{V_U} \quad [ot. min^{-1}] \quad (3.9)$$

Aby nedošlo k vystrekovaniu vody zo žľabu šnekovej turbíny AST, musí byť splnená podmienka maximálnych otáčok

$$n_{WKS} \leq \frac{53}{(2 \cdot R_a)^{2/3}} \quad (3.10)$$

Transportná rýchlosť, ktorou je voda prepravovaná v bunkách turbíny v axiálnom smere

$$c_{ax} = S \cdot \frac{n_{WKS}}{60} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (3.11)$$

Objem jednej komory šneku

$$V_S = \frac{V_U}{N} \quad [m^3] \quad (3.12)$$

Stanovenie výšky hladiny, a následné stupeň plnenia turbíny, aby bol splnený navrhovaný prietok

$$v_{T.F} = \frac{Q}{\pi \cdot R_a^2 \cdot c_{ax}} \quad [m] \quad (3.11)$$

$v_{T.F}$ sa musí rovnať v_t , ktoré sa určí zo vzťahu

$$v_T = \frac{\alpha_8}{2 \cdot \pi} - \frac{(1 - \kappa)}{\pi} \cdot \sqrt{1 - (1 - \kappa)^2} \quad [m] \quad (3.12)$$

if

$$0 \leq \kappa \leq (1 - \rho_R) \quad (3.13)$$

Alebo

$$v_T = \frac{\alpha_8 - \alpha_9 \cdot \rho_R^2}{2 \cdot \pi} - \frac{(1 - \kappa)}{\pi} \cdot \left[\sqrt{1 - (1 - \kappa)^2} - \sqrt{\rho_R^2 - (1 - \kappa)^2} \right] \quad [m] \quad (3.14)$$

if

$$(1 - \rho_R) \leq \kappa \leq (1 + \rho_R) \quad (3.15)$$

Uhly α_8 a α_9 ktoré definujú kontakt voľnej hladiny s vnútorným a vonkajším polomerom šnekovej turbíny

$$\alpha_8 = 2 \cdot \arccos(1 - \kappa) \quad [rad] \quad (3.16)$$

$$\alpha_9 = 2 \cdot \arccos\left(\frac{(1 - \kappa)}{\rho_R}\right) \quad [rad] \quad (3.17)$$

Výpočet bude uskutočnený pomocou Newtonovej metódy s krokom 0.05 pre rozsah hodnôt $\kappa=0-1.2$ a ich následnou interpoláciou.

Výška hladiny vody v prívode na turbínu

$$h_2 = R_a \cdot \kappa \cdot \cos(\beta) \quad [m] \quad (3.18)$$

Šírka vstupného kanála pre vtok vody do turbíny

$$b_1 = 2 \cdot R_a \quad [m] \quad (3.19)$$

Hydraulický straty, ktoré vznikajú prevažne trením kvapaliny v šneku

$$\zeta = \left(\frac{\pi \cdot v_T}{2 \cdot \kappa \cdot \cos(\beta)} - 1 \right)^2 \quad [-] \quad (3.20)$$

Minimálna vzdialenosť medzi vstupom do žľabu a hĺbkou dna, aby nedošlo k zanášaniam turbíny sedimentami.

$$w = R_a - h_2 - \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q}{h_2 \cdot b_1} \right)^2 \cdot \left[1 + \zeta - \left(\frac{h_2}{R_a} \right)^2 \right] \quad [m] \quad (3.20)$$

Výška hladiny pred vstupom do turbíny

$$h_2 = R_a - w \quad [m] \quad (3.21)$$

Rýchlosť vody v privádzači

$$c_1 = \frac{Q}{2 \cdot R_a^2} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (3.22)$$

Rýchlosť vody pred vstupom do turbíny

$$c_2 = \frac{Q}{2 \cdot R_a \cdot h_2} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (3.23)$$

Parameter pre výpočet hĺbky vody v odtokovom kanály

$$\tau = (1 + \rho_R) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\rho_R} \right)^2} - \lambda \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} \quad (3.24)$$

Optimálna výška hladiny v odtoku

$$h_4 = R_a \cdot \cos(\beta) \cdot \tau \quad [m] \quad (3.25)$$

Dĺžka šnekovej časti turbíny

$$L_B = \frac{H + R_a \cdot (\tau \cdot \cos(\beta) - 1) + w}{\sin(\beta)} \quad [m] \quad (3.26)$$

3.3.1.1 Výkon turbíny

Celkový teoretický hydraulický výkon je výkon, ktorý by bolo možné získať zo spádu a prietoku, pokiaľ by mal stroj 100% účinnosť.

$$P_{th} = g \cdot H \cdot Q_{MVE} \quad [kW] \quad (3.27)$$

V skutočnosti, je táto hodnota menšia a získa sa pomocou upravením teoretického výkonu o straty, na ktorú majú vplyv prevažne [15]

Straty na vstupe a výstupe šneku z vody

Výtokové

Trenie kvapaliny v žľabe

Trenie kvapaliny o listy skrutkovice a hriadeľ

Objemové

Potom bude mechanický výkon definovaný ako

$$P_{mech} = P_{th} \cdot \eta_{WKS.st} \quad [kW] \quad (3.28)$$

Kde $\eta_{WKS.st}$ je účinnosť turbíny, ktorá sa získa upravením účinnosti modelu, na ktorom boli robené skúšky v laboratóriu o koeficient K_2 , ktorý sa získa pre graf stanoveného počtu listov N , uvedeného v Prílohe 2

$$\eta_{WKS.st} = K_2 \cdot \eta_{WKS} \quad [-] \quad (3.29)$$

Krútiaci moment turbíny pri 100% hltosti

$$M = \frac{P_{mech} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_{WKS}} \quad [N \cdot m] \quad (3.30)$$

Maximálny krútiaci moment, ktorý vznikne prehľtením turbíny na 120% menovitého prietoku

$$M_{max} = \frac{P_{max} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_{WKS}} \quad [N \cdot m] \quad (3.31)$$

3.3.2 Dimenzovanie rybovodu-čerpadla

Otáčky čerpadla budú rovnaké ako u turbíny, čiže objem na jednu otáčku sa určí zo vzťahu :

$$V_U = 60 \cdot \frac{Q_R}{n_{WKS}} \quad [m^3/s] \quad (3.32)$$

Spočíta sa koeficient λ . v

$$\lambda \cdot v = \frac{V_U \cdot \tan(\beta)}{2 \cdot \pi^2 \cdot R_a^3} \quad [-] \quad (3.33)$$

Z grafu v Prílohe 3 sa určí hodnota λ a následne sa spočíta stúpanie šróbovice S ako

$$S = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_a \cdot \lambda}{\tan(\beta)} \quad [m] \quad (3.34)$$

U všetkých riešení je uvažovaná účinnosť čerpadla 70%, pretože dochádza k veľkým hydraulickým stratám. Tie sú zapríčinené voľbou parametrov podľa nosnej trubky, a nie podľa optimálnej hodnoty s čo najvyššími účinnosťami.

Príkion čerpadla bude

$$P_{\check{c}} = \frac{Q_R \cdot (H + 1) \cdot g}{\eta} \quad [kW] \quad (3.35)$$

Dopravná výška musí byť vyššia ako je úžitkový spád turbíny, aby ryby pri prechode hate pomocou rybovodu neboli ovplyvnené turbínou.

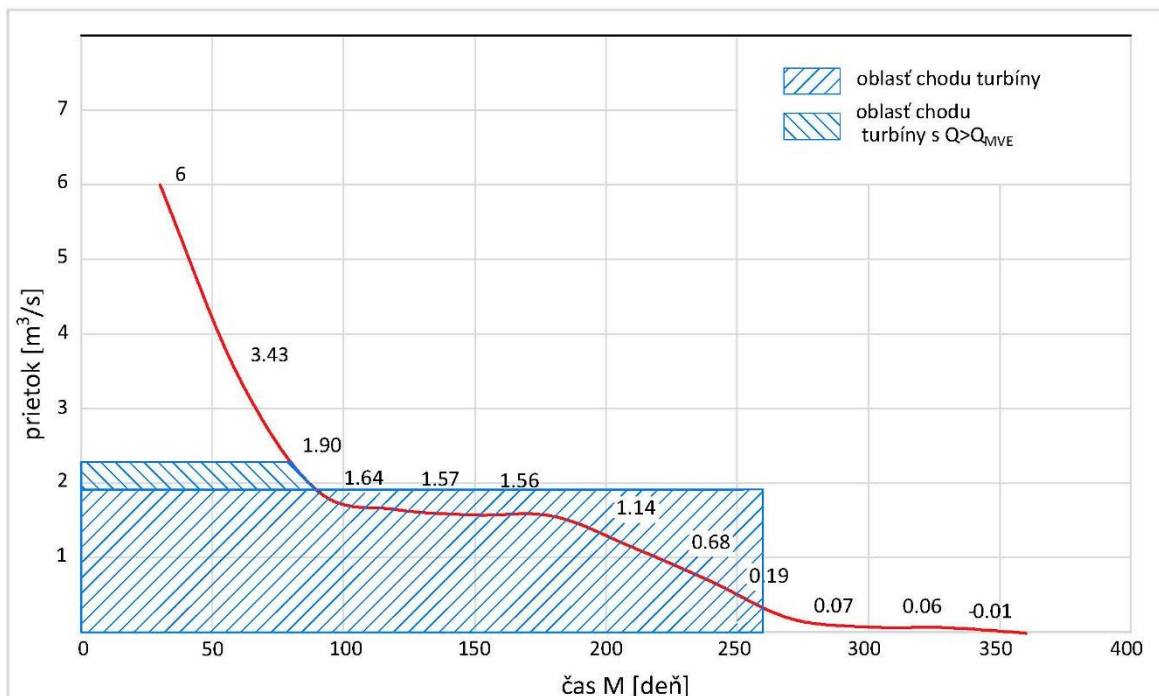
3.3.3 Realizácia projektu

Na danú lokalitu boli vypracované 3 technologické riešenia, dimenzované na rôzne prietoky s maximálnym počtom turbín rovných 2.

3.3.3.1 Riešenie č. 1.

Návrh 1 turbíny typu RST s čerpadlovým rybovodom pre prietok $Q_{MVE}=Q_{90}=1.9\text{m}^3/\text{s}$.

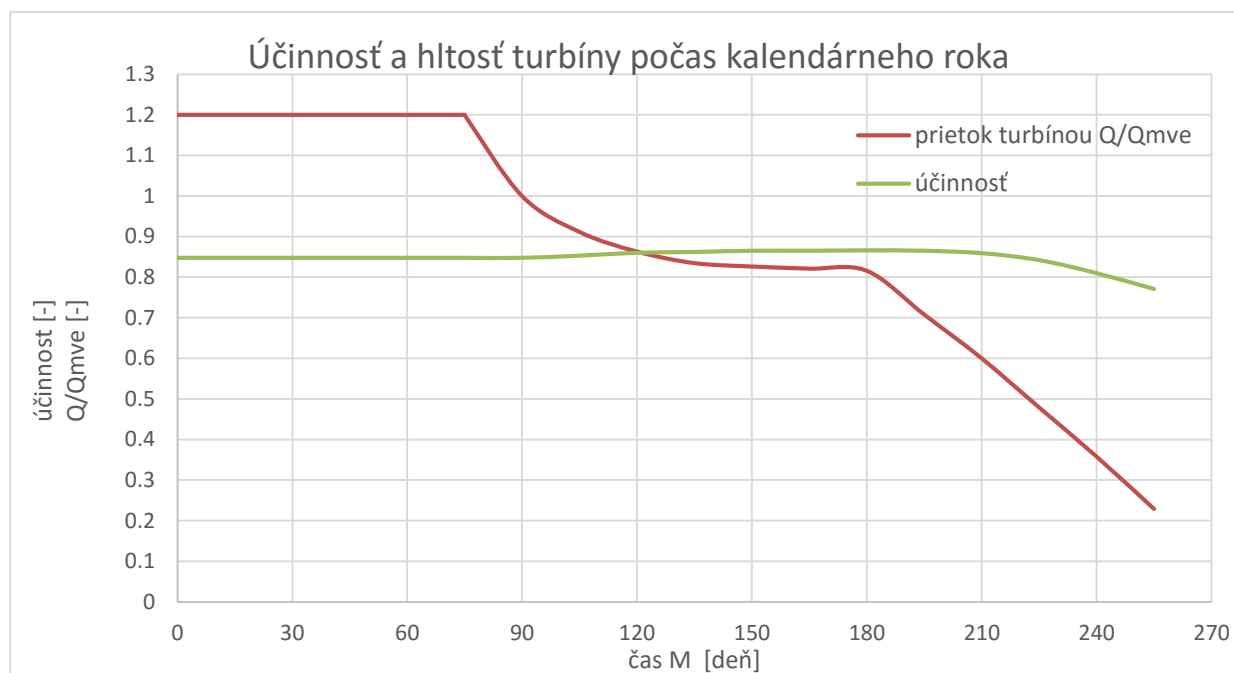
Graf 5: Doba prevádzky turbíny pre riešenie 1



Turbína by mala pracovať 255 dní v roku, kde približne 75 dní bude maximálny výkon navýšený na 120% výkonu menovitého. Po zvyšok roka bude prietok MVE nízky, z režijných nákladov nemá zmysel v týchto časoch elektrárň prevádzkovať. V tomto

období bude znížená hladina hate, aby mohli ryby migrovať po prúde, pretože čerpadlovými rybovod nebude spustený. Voľba uhlu $\beta=34^\circ$ je odôvodnená snahou o čo najvyššiu účinnosť RST systému, podľa grafu 3.

Graf 6 : Chod turbíny pre riešenie 1



Z grafu je vidno, že aj pri nízkom prietoku turbínou si zachováva vysokú účinnosť, ktorá sa počas väčšiny času pohybu medzi 85-86%.

Tabuľka 2: Technické parametre riešenia č.1

| Technické parametre | | | |
|-------------------------|-----------|---------|----------|
| | značka | hodnota | jednotka |
| spád | H | 2,5 | m |
| prietok | Q_{mve} | 1,9 | m^3/s |
| prietok turbínou | Q_T | 1,9 | m^3/s |
| prietok čerpadlom | $Q_č$ | 0,03 | m^3/s |
| uhol klesania | β | 30 | ° |
| účinnosť turbíny | η_T | 0,85 | - |
| účinnosť čerpadla | $\eta_č$ | 0,70 | - |
| účinnosť systému | η_s | 0,82 | - |
| výkon turbíny | P_T | 39,61 | kW |
| príkon čerpadla | $P_č$ | 1,47 | kW |
| výkon systému | P | 38,14 | kW |
| maximálny výkon systému | P_{max} | 46,06 | kW |
| ročná produkcia | W | 201,95 | MWh |

Hodnoty z tabuľky sú vypočítané podľa teoretického postupu uvedeného v teoretickej časti. Ročná produkcia elektrickej energie sa následne určí z prietokovej krivky a je definovaná nasledovne.

$$W = \int_0^{365} P_{elek} \cdot dt \text{ [kWh]} \quad (3.36)$$

Je to teda obsah plochy pod krivkou. Pre zjednodušenie výpočtu použijeme linearitu medzi jednotlivými časovými intervalmi, tým pádom výsledná produkcia je :

$$W = \sum_{i=1}^{\infty} W_i \text{ [kWh]} \quad (3.37)$$

Kde W je určené ako

$$W = P_s \cdot t = (P_t - P_{\zeta}) \cdot t \text{ [kWh]} \quad (3.38)$$

Príkion čerpadla ostáva konštantný, mení sa len výkon turbíny v závislosti na prietoku.

$$W_{0-75} = (1,2 \cdot H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta - P_{\zeta}) \cdot t = (1,2 \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,85 - 1,47) \cdot 1800 = 82\,907 \text{ kWh}$$

$$W_{75-90} = \left[\left(\frac{1,2 + 1}{2} \right) \cdot H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta - P_{\zeta} \right] \cdot t$$

$$W_{75-90} = \left[\left(\frac{1,2 + 1}{2} \right) \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,85 - 1,47 \right] \cdot 360 = 15\,156 \text{ kWh}$$

$$W_{90-105} = k \cdot \left[\left(\frac{1 + 0,91}{2} \right) \cdot H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta - P_{\zeta} \right] \cdot t$$

$$W_{90-105} = \left[\left(\frac{1 + 0,91}{2} \right) \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,85 - 1,47 \right] \cdot 360 = 13\,088 \text{ kWh}$$

$$W_{105-135} = \left[\left(\frac{0,91 + 0,83}{2} \right) \cdot H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta - P_{\zeta} \right] \cdot t$$

$$W_{105-135} = \left[\left(\frac{0,91 + 0,83}{2} \right) \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,85 - 1,47 \right] \cdot 720 = 23\,751 \text{ kWh}$$

$$W_{135-180} = \left[\left(\frac{0,83 + 0,81}{2} \right) \cdot H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta - P_{\zeta} \right] \cdot t$$

$$W_{135-180} = \left[\left(\frac{0,83 + 0,81}{2} \right) \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,85 - 1,47 \right] \cdot 1080 = 33\,489 \text{ kWh}$$

$$W_{180-255} = \left[\left(\frac{0,81 + 0,23}{2} \right) \cdot H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta - P_{\zeta} \right] \cdot t$$

$$W_{180-255} = \left[\left(\frac{0,81 + 0,23}{2} \right) \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,83 - 1,47 \right] \cdot 1800 = 33\,554 \text{ kWh}$$

$$W = \sum_{i=1}^6 W_i = 201\,945 \text{ kWh}$$

3.3.3.2 Riešenie č. 2.

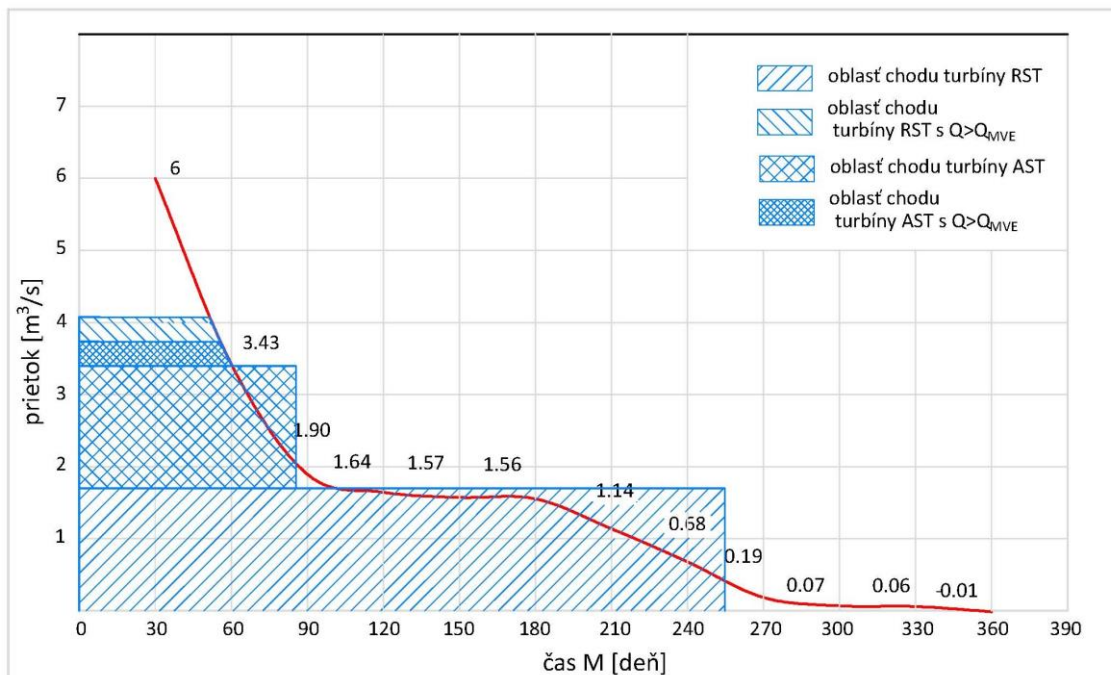
Z hľadiska lepšieho využitia energie vody sa použijú 2 turbíny s pomerom 50/50 dimenzovaného prietoku. Voľba prietoku je realizovaná na 60 denný prietok.

$$Q_{MVE}=Q_{60}=3.4 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ spád } H=2,5\text{m a uhol klesania } \beta=34^\circ$$

1. Turbína – typ RST , hltosť turbíny $Q_{T1}=1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ s interným rybovodom o prietoku $Q_R=0.03 \text{ m}^3/\text{s}$
2. Turbína - typ AST s hltosťou $Q_{T2}=1.7 \text{ m}^3/\text{s}$

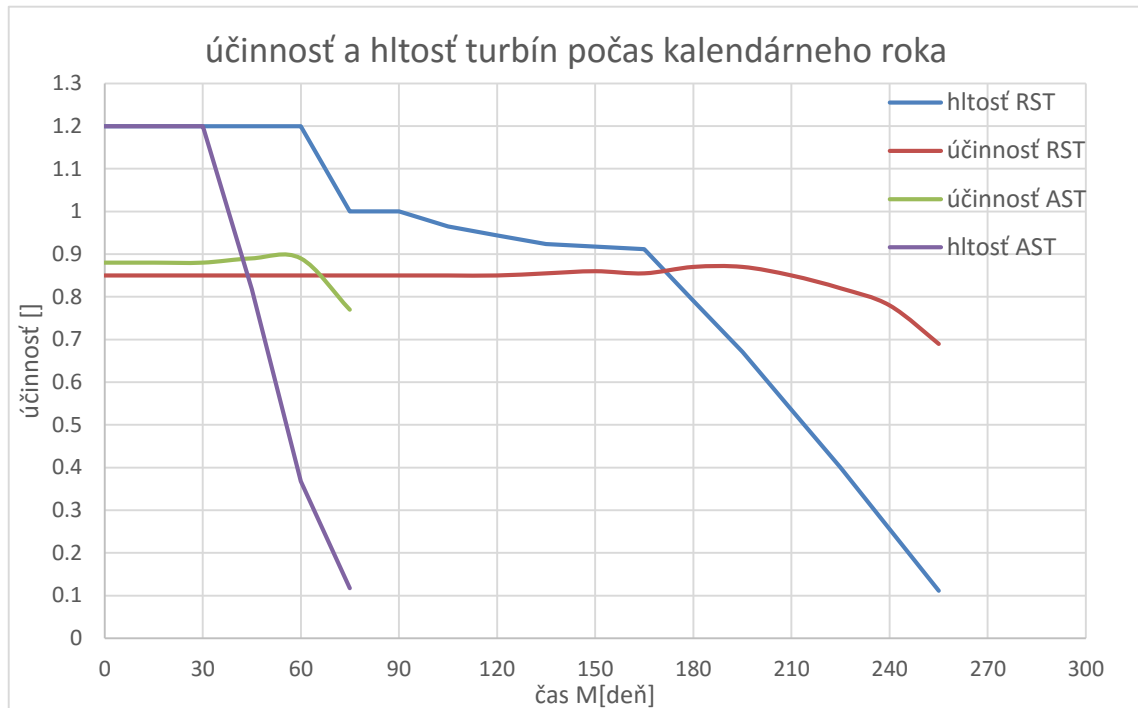
Graf 7 : Doba prevádzky turbín pre riešenie 2

Typ AST s účinnosťou 88% bude v prevádzke približne 75 dní. Bude využitý pri veľkých prietokoch, zväčša pri dažďoch, alebo na jar pri topení snehu z hôr. Predpoklad chodu



turbíny RST s účinnosťou 82%, kde by ty minimálna účinnosť nemala byť nižšia ako 69%, je približne 255 dní.

Graf 8 : Chod turbín pre riešenie 2



Z grafu 8 je zreteľné, že prietok turbínou nebude nižší ako 10% menovitého prietoku. Táto hodnota je najnižšia, pri ktorej dokáže ešte turbína pracovať.

Tabuľka 3: Technické parametre RST riešenia č.2

| Technické parametre | typ RST | | |
|-------------------------|-----------|---------|----------|
| | značka | hodnota | jednotka |
| spád | H | 2,5 | m |
| prietok | Q_{mve} | 1,7 | m^3/s |
| prietok turbínou | Q_T | 1,7 | m^3/s |
| prietok čerpadlom | $Q_č$ | 0,03 | m^3/s |
| uhol klesania | β | 34 | ° |
| účinnosť turbíny | η_T | 0,82 | - |
| účinnosť čerpadla | $\eta_č$ | 0,7 | - |
| účinnosť systému | η_s | 0,85 | - |
| výkon turbíny | P_T | 34,61 | kW |
| príkon čerpadla | $P_č$ | 1,47 | kW |
| výkon systému | P | 33,14 | kW |
| maximálny výkon systému | P_{max} | 40,06 | kW |
| ročná produkcia | W | 177,40 | MWh |

Tabuľka 4: Technické parametre AST riešenia č.2

| Technické parametre | typ AST | | |
|-------------------------|-----------|---------|----------|
| | značka | hodnota | jednotka |
| spád | H | 2,5 | m |
| prietok | Q_{mve} | 1,7 | m^3/s |
| prietok turbíny | Q_T | 1,7 | m^3/s |
| uhol klesania | β | 34 | ° |
| účinnosť turbíny | η_T | 0,88 | - |
| výkon turbíny | P_T | 36,69 | kW |
| maximálny výkon turbíny | P_{max} | 44,03 | kW |
| ročná produkcia | W | 55,79 | MWh |

Následne sa pomocou rovnakého postupu, ako u riešenia č.1 vypočíta ročná produkcia. Tá bude v tomto prípade rovná súčtu produkcii od oboch turbín.

Produkcia turbíny typu AST :

$$W_{AST} = \sum_{i=1}^3 W_{AST,i} = 55\,793 \text{ kWh}$$

Produkcia turbíny RST :

$$W_{RST} = \sum_{i=1}^5 W_{RST,i} = 177\,396 \text{ kWh}$$

Výsledná ročná produkcia MVE

$$W = \sum_{i=1}^2 W_i = 233\,189 \text{ kWh}$$

3.3.3.3 Riešenie č.3

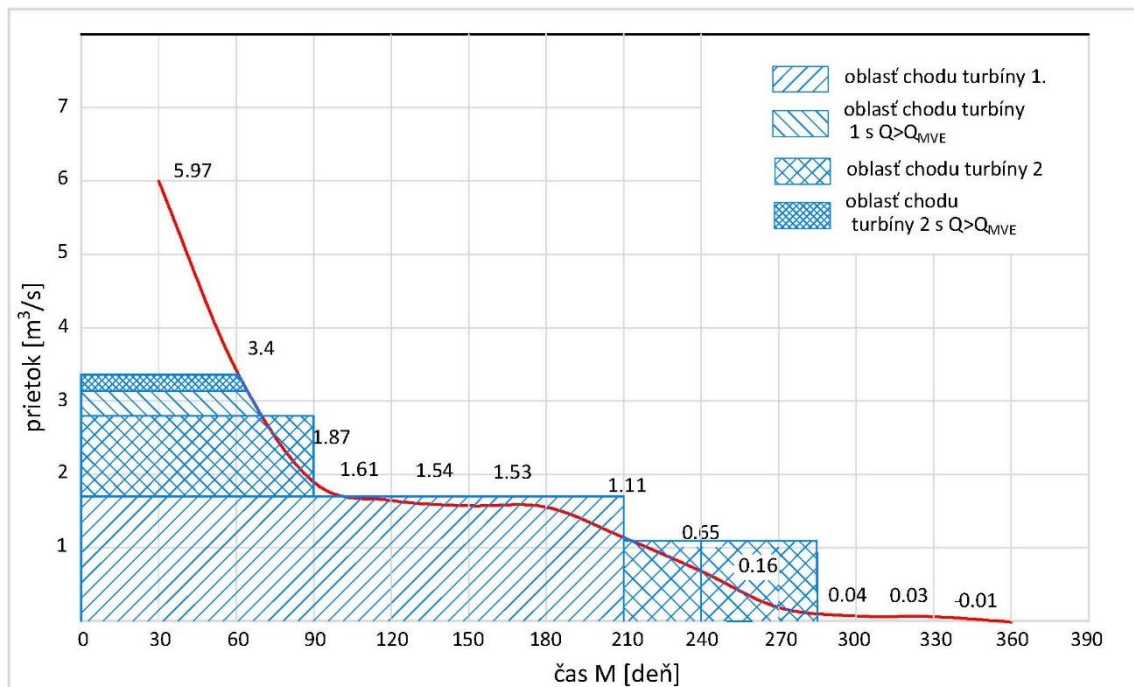
Návrh 2 turbín, v približnom pomere 2:1 pre dimenzovaný prietok $Q=2.83 \text{ m}^3/s \approx Q_{70}$. U tohto projektu nebude použitý čerpadlový rybovod, z hľadiska neefektívnosti konštruovania 2 turbín tohto typu. Pokiaľ by došlo k voľbe jednej turbíny s týmto systémom, nebolo by možné čo najlepšie využitie daného návrhu. U tejto koncepcie je nutné vybudovať rybovod, teda $Q_R=0.03 \text{ m}^3/s$, teda $Q_{MVE}=2.8 \text{ m}^3/s$.

Obe turbíny sú navrhované na spád $H=2.5 \text{ m}$ a uhol klesania $\beta=26^\circ$. Voľba uhlu je odôvodnená menšími zaťažujúcimi silami na ložiská a krútiacim momentom, ktorý bude mať vplyv na výber prevodovky, u nižších klesaní β , klesá aj úroveň hluku vyprodukovaná listami šneku.

1.turbína – typ AST s prietokom $Q_{T1}=1.7 \text{ m}^3/s$

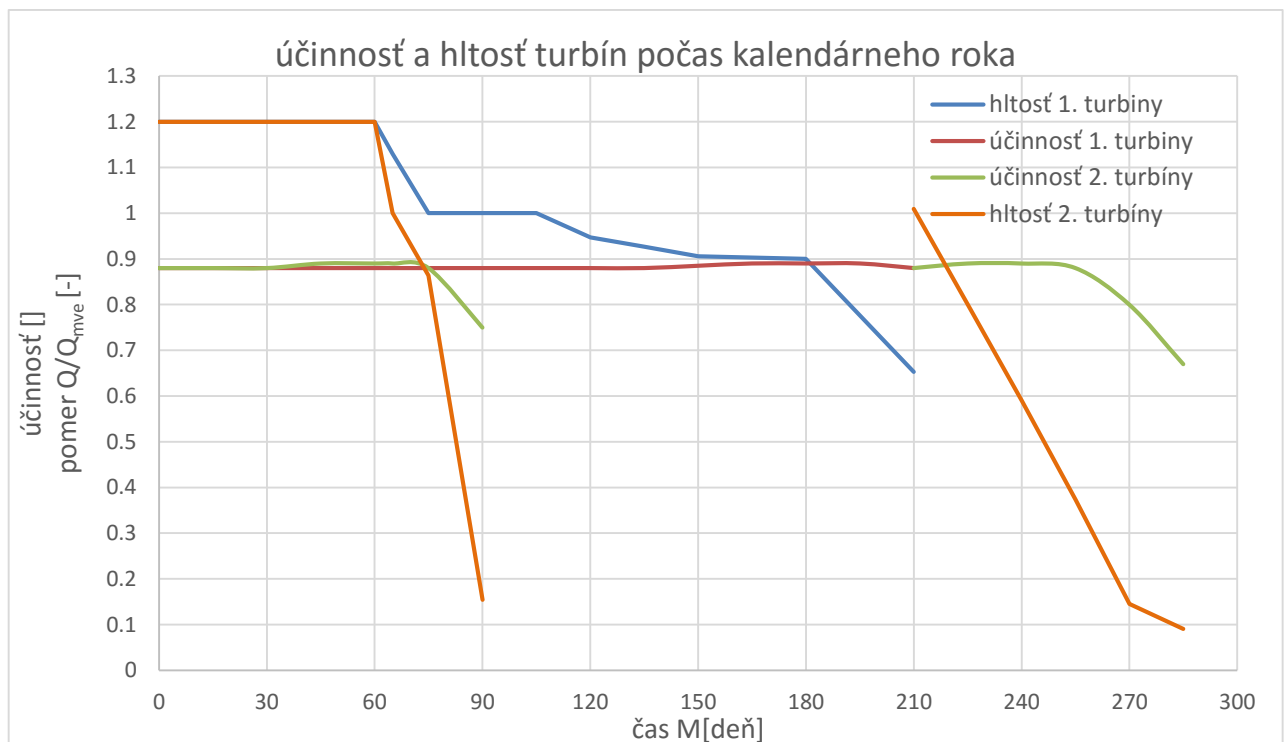
2.turbíny – typ AST s prietokom $Q_{T2}=1.1 \text{ m}^3/s$

Graf 9: Doba prevádzky turbín pre riešenie 3



Z grafu je vidno, že turbína s väčšou hltosťou by mala pracovať 210 dní v roku, pokiaľ dôjde k poklesu prietoku spustí sa turbína č.2, v období veľkých prietokov budú spustené obe turbíny s možnosťou zvýšenia ich hltosti až na 120% dimenzovaného prietoku. Účinnosť u oboch turbín je 88%.

Graf 10: Chod turbín pre riešenie 3



Tabuľka 5: Technické parametre väčšej turbíny riešenia č.3

| Technické parametre | turbína č.1 | | |
|-------------------------|-------------|---------|----------|
| | značka | hodnota | jednotka |
| Spád | H | 2,5 | m |
| prietok turbínou | Q_{T1} | 1,7 | m^3/s |
| uhol klesania | β | 26 | ° |
| účinnosť turbíny | η_{T1} | 0,88 | - |
| výkon turbíny | P_{T1} | 36,63 | kW |
| maximálny výkon turbíny | P_{max} | 43,95 | kW |
| ročná produkcia | W | 186,36 | kWh |

Tabuľka 6: Technické parametre menšej turbíny riešenia č.3

| Technické parametre | turbína č.2 | | |
|-------------------------|-------------|---------|----------|
| | značka | hodnota | jednotka |
| Spád | H | 2,5 | m |
| prietok turbínou | Q_{T2} | 1,1 | m^3/s |
| uhol klesania | β | 26 | ° |
| účinnosť turbíny | η_{T2} | 0,88 | - |
| výkon turbíny | P_{T2} | 23,79 | kW |
| maximálny výkon turbíny | P_{max} | 28,55 | kW |
| ročná produkcia | W | 74,35 | MWh |

Ročná produkcia sa opäť spočíta ako suma produkcií oboch turbín. V tomto prípade je výkon

$$P = H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta \quad [kW] \quad (3.39)$$

A produkcia 1 turbíny

$$W = P \cdot t = H \cdot Q_T \cdot g \cdot \eta \cdot t \quad [kWh] \quad (3.40)$$

Výsledná vyrobená energia

$$W = \sum_{i=1}^2 W_i = 260\,721 \text{ kWh}$$

3.3.4 Zhodnotenia a výber riešenia

Boli navrhnuté 3 možnosti turbín, ktoré sa líšia hĺbkou, ale aj typom. U každého riešenia došlo k výpočtu približnej produkcie podľa rovnakých predpokladov, a ich hodnotu sú nasledovné :

Tabuľka 7: Porovnanie produkcie jednotlivých riešení

| Návrh | produkcia [MWh] |
|-------|-----------------|
| 1 | 201,95 |
| 2 | 233,19 |
| 3 | 260,72 |

U riešenia 1 bola použitá turbína RST s vnútorným rybovodom, tento systém dosahoval účinnosti len okolo 82%. Výsledná produkcia elektrickej energie bola najnižšia.

U druhého návrhu, boli použité 2 turbíny s hltosťou 1.7 m³/s, jedna typu AST a druhá RST. Účinnosť 82% pre RST, ktoré by bolo v prevádzke väčšinu času, kvôli rybovodu nie je dostačujúca.

U poslednej možnosti, boli zhotovené 2 turbíny typu AST, obe s účinnosťou 88% v pomere prietoku približne 2:1. Tým bolo možné pokryť väčšiu časť prietokovej krivky ako v predošlých návrhoch. Vďaka tomu je možné vyrobiť približne o 10% viac energie ako v riešení 2 a až o 20% viac ako v prvom návrhu. Cena týchto turbín je v porovnaní s RST lacnejšia.

V závislosti na výrobe elektrickej energie a nákladoch na výrobu turbín sa ako najoptimálnejšie javí posledný návrh, preto sa v ďalšom postupe bude uvažovať iba s ním.

3.3.5 Výpočet zaťažujúcich síl

Obrázok 11: zaťaženie ložísk [14]

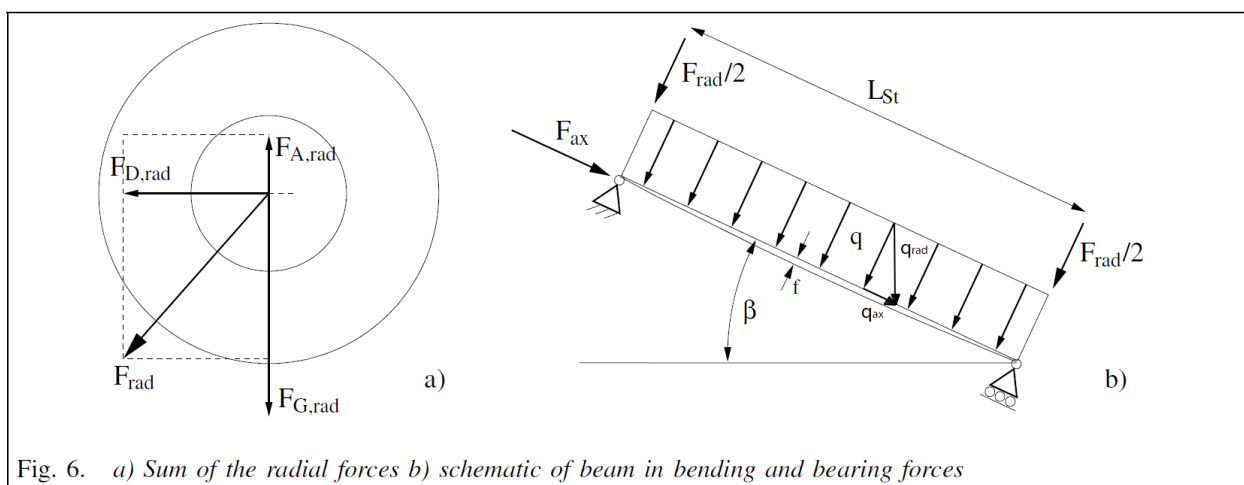


Fig. 6. a) Sum of the radial forces b) schematic of beam in bending and bearing forces

Hmotnosť centrálnej trubky, na ktorej sú navarené skrutkovice

$$m_{ZT} = \rho_{ocel} \cdot L_{ZR} \cdot \pi \cdot [R_i^2 - (R_i - s_w)^2] \quad [kg] \quad (3.41)$$

Objem vody v jednej komore medzi listami šneku

$$V_{Bl} = \pi \cdot s_{Bl} \cdot \left[R_a \sqrt{R_a^2 + \left(\frac{S}{2 \cdot \pi}\right)^2} - R_i \sqrt{R_i^2 + \left(\frac{S}{2 \cdot \pi}\right)^2} + \left(\frac{S}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot \ln \left(\frac{R_a + \sqrt{R_a^2 + \left(\frac{S}{2 \cdot \pi}\right)^2}}{R_i + \sqrt{R_i^2 + \left(\frac{S}{2 \cdot \pi}\right)^2}} \right) \right] \quad [m^3] \quad (3.42)$$

Hmotnosť vody v turbínovej časti

$$m_{Bl} = \rho_{st} \cdot N \cdot \frac{L_B}{S} \cdot V_{Bl} \quad [kg] \quad (3.43)$$

Hmotnosť celej turbíny bude

$$m_T = m_{Bl} + m_{ZT} \quad [kg] \quad (3.44)$$

Gravitačná sila od hmotnosti turbíny

$$F_G = m_T \cdot g \quad [N] \quad (3.45)$$

Jej zložky v axiálnom a radiálnom smere

$$F_{G.ax} = m_T \cdot g \cdot \sin(\beta) \quad [N] \quad (3.46)$$

$$F_{G.rad} = m_T \cdot g \cdot \cos(\beta) \quad [N] \quad (3.47)$$

Celkový objem kvapaliny v šneku

$$V_{ZRW} = \pi \cdot R_a \cdot L_B \cdot v_A \quad [m^3] \quad (3.48)$$

Hmotnosť kvapaliny v šneku

$$m_s = \rho \cdot V_{ZRW} \quad [kg] \quad (3.49)$$

Hodnota v_a je závislá na stupni plnenia κ a má nasledujúce tvary

$$v_a = \frac{\alpha_9 \cdot \rho_R^2}{2 \cdot \pi} - \frac{(1 - \kappa)}{\pi} \cdot \sqrt{\rho_R^2 - (1 - \kappa)^2} \quad [m] \quad (3.50)$$

if

$$(1 - \rho_R) \leq \kappa \leq (1 + \rho_R) \quad (3.51)$$

Alebo

$$v_a = 0$$

if

$$0 \leq \kappa \leq (1 - \rho_R) \quad (3.52)$$

Hydrostatická sila pôsobiaca na centrálnu trubku nadľahčuje turbínu (Obr. 10) a má tvar v axiálnom a radiálnom smere

$$F_{A.ax} = \rho \cdot V_{ZRW} \cdot g \cdot \sin(\beta) \quad [N] \quad (3.53)$$

$$F_{A.rad} = \rho \cdot V_{ZRW} \cdot g \cdot \cos(\beta) \quad [N] \quad (3.54)$$

Uhol plôch listu, ktorý je tvorený stúpaním skrutkovice od osy šneku.

$$\gamma = \frac{2 \cdot \pi \cdot (R_a + R_i)}{2 \cdot S} \quad [rad] \quad (3.55)$$

Sila pôsobiaca od hmotnosti vody v radiálnom a axiálnom smere

$$F_{D.ax} = N \frac{L_B}{S} \cdot m_s \cdot g \cdot \sin(\beta) \quad [N] \quad (3.56)$$

$$F_{D.rad} = \frac{N \frac{L_B}{S} \cdot m_s \cdot g \cdot \sin(\beta)}{\tan(\gamma)} \quad [N] \quad (3.57)$$

Výsledná sila v axiálnom smere

$$F_{ax} = F_{G.ax} - F_{A.ax} + F_{D.ax} \quad [N] \quad (3.58)$$

A v radiálnom smere

$$F_{rad} = \sqrt{(F_{G.rad} - F_{A.rad})^2 + F_{D.rad}^2} \quad [N] \quad (3.59)$$

Pretože stupeň klesania κ v oboch prípadoch turbín je menší ako 0,7 nedochádza k vzniku hydrostatickej sily, z čoho plynie $F_{A.ax}$ a $F_{A.rad} = 0$

Vrchné ložisko bude axiálno-radiálne a spodné radiálne, preto jedno ložisko bude zaťažené celkovou axiálnou silou, a radiálna sa rozdelí medzi obe ložiská

$$F_{rad-ložisko} = \frac{F_{rad}}{2} \quad [N] \quad (3.60)$$

$$F_{ax-ložisko} = F_{ax} \quad [N] \quad (3.61)$$

Ohybový moment M_o sa spočíta zo statickej rovnováhy a jeho hodnota bude najväčšia v strede dĺžky medzi ložiskami turbíny.

Pomocou teoretických vzťahov, vyššie uvedených sa určili hodnoty síl nasledovne

Tabuľka 8: Zatažujúce sily na ložiská a hriadeľ

| Tabuľka síl [N] | turbína 1 | turbína 2 |
|---------------------------------|-----------|-----------|
| radiálna | 49 372 | 36 612 |
| axiálna | 23 848 | 18 282 |
| radiálna na ložisko | 24 686 | 18 306 |
| axiálna na ložisko | 23 848 | 18 282 |
| krútiaci moment [N.m] | 11 783 | 6760 |
| maximálny krútiaci moment [N.m] | 14 140 | 8 112 |
| ohybový moment [N.m] | 43 200 | 32 036 |

Voľba materiálu hriadeľa : ČSN EN 11 500 – neušľachtilá oceľ vhodná pre dynamicky namáhané strojné časti

Mechanické vlastnosti :

Medza pevnosti $R_m=610$ MPa

Medza klzu $R_e=275$ MPa

Únavová medza $\sigma_c=305$ MPa

Voľba bezpečnosti $k=1,3$

Pomocou Soderbergovho kritéria sa vypočíta minimálny priemer hriadeľa.[16]

$$d \geq \left\{ \frac{32 \cdot k}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{1000 \cdot M_o}{\sigma_c} \right)^2 + \left(\frac{1000 \cdot M_{max}}{R_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad [mm] \quad (3.62)$$

Pre turbínu 1.

$$d \geq \left\{ \frac{32 \cdot 1,3}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{1000 \cdot 43\,200}{305} \right)^2 + \left(\frac{1000 \cdot 14\,140}{275} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = 126mm$$

Priemer zaokrúhlime na 130mm.

2. Turbína

$$d \geq \left\{ \frac{32 \cdot 1,3}{\pi} \cdot \left[\left(\frac{1000 \cdot 32\,036}{305} \right)^2 + \left(\frac{1000 \cdot 8\,112}{275} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} = 113mm$$

Priemer zaokrúhlime na 120mm.

U návrhu ložiska je dôležité, aby vydržali 15 kalendárnych rokov. Po tomto čase je nutné spraviť generálnu opravu elektrárne, kvôli zeleným dotáciám na výkupne ceny elektriny.

3.3.6 Parametre turbín

Pomocou teoretických vzťahov uvedených vyššie, sa vypočítali hodnoty a medzihodnoty pre návrh turbín.

Turbína č.1

Tabuľka 9: Parametre turbíny 1

| parameter | značka | hodnota | jednotka |
|---------------------------|------------------|---------|-------------------|
| menovitý prietok turbínou | Q | 1,7 | m ³ /s |
| maximálny prietok | Q _{max} | 2,04 | m ³ /s |
| výška spádu | H | 2,5 | m |
| uhol klesania turbíny | β | 26 | ° |
| počet listov | N | 3 | - |
| otáčky | n _{wks} | 29,68 | ot/min |

| | | | |
|----------------------|-----------|-------|---|
| pomer R_{iz}/R_a | ρ_R | 0,3 | - |
| normalizovaná rozteč | λ | 0,167 | - |

| | | | |
|-------------------------------|----------------|--------|---|
| K ₁ faktor | K ₁ | 10,984 | - |
| normalizovaný objem na otáčku | $\lambda.v$ | 0,050 | - |

| | | | |
|---|-----------------|-------|---|
| vonkajší polomer | R _a | 1,193 | m |
| polomer vnútornej trubky | R _{iz} | 0,358 | m |
| katalógový polomer trubky | R _i | 0,360 | m |
| upravený pomer R _i /R _a | ρ | 0,302 | - |
| stúpanie | S | 2,130 | m |
| žlabová medzera | S _{sp} | 0,007 | m |
| dĺžka šneku | L _B | 5,750 | m |
| hrúbka steny trubky | S _w | 0,012 | m |
| hrúbka steny sneku | S _{bl} | 0,01 | m |
| priemer hriadeľa | d | 0,130 | m |
| vzdialenosť ložísk | L _L | 7 | m |

| | | | |
|---|------------------|-------|-----|
| optimálna výška hladiny | V _{T.F} | 0,299 | - |
| stupeň plnenia | κ | 0,685 | - |
| uhol alfa 8 | α_8 | 2,50 | rad |
| uhol alfa 9 | α_9 | - | rad |
| výška vody v privode na turbínu | h ₂ | 0,73 | m |
| šírka kanála pred turbínou | b ₁ | 2,39 | m |
| vzdialenosť vstupu do turbíny a dna | w | 0,43 | m |
| výška ustálenej hladiny od spodku žlabu | h _{in} | 0,77 | m |
| celková výška voľnej hladiny | h ₁ | 1,20 | m |
| parameter spodnej hladiny | τ | 0,734 | - |
| výška hladiny za výstupom z turbíny | h ₄ | 0,79 | m |
| šírka kanálu na výstupe | b ₄ | 2,39 | m |

| | | | |
|---|-----------------|------|-----|
| transportná rýchlosť | c _{ax} | 1,27 | m/s |
| rýchlosť v privádzači | c ₁ | 0,60 | m/s |
| rýchlosť vody tesne pred vstupom do turbíny | c ₂ | 0,97 | m/s |

| | | | |
|----------------------|----------------|--------|---|
| hydraulická účinnosť | η | 0,882 | - |
| opravný faktor | K ₂ | 1 | - |
| korigovaná účinnosť | η | 0,882 | - |
| hydraulické straty | ζ | 0,0571 | - |

| | | | |
|-------------------------|----------|-------|-------|
| hmotnosť trubky | m_{ZT} | 1353 | kg |
| hmotnosť šnekovej časti | m_{bl} | 2429 | kg |
| celková hmotnosť | m | 3782 | kg |
| objem šneku | V_{ZR} | 0.046 | m^3 |

| | | | |
|---------------------------|-----------|--------|-----|
| krútiaci moment | M | 11 783 | N.m |
| maximálny krútiaci moment | M_{max} | 14 140 | N.m |
| axiálna sila | F_{ax} | 23 848 | N |
| radiálna sila | F_{rad} | 49 372 | N |

Turbína č.2

Tabuľka 10: Parametre turbíny 2

| parameter | značka | hodnota | jednotka |
|---------------------------|-----------|---------|----------|
| menovitý prietok turbínou | Q | 1,1 | m^3/s |
| maximálny prietok | Q_{max} | 1,32 | m^3/s |
| výška spádu | H | 2,5 | m^3 |
| uhol klesania turbíny | β | 26 | $^\circ$ |
| počet listov | N | 3 | - |
| otáčky | n_{wks} | 33,61 | ot/min |

| | | | |
|-------------------------------|-------------|--------|---|
| pomer R_{iz}/R_a | ρ_R | 0,3 | - |
| normalizovaná rozteč | λ | 0,167 | - |
| K_1 faktor | K_1 | 10,984 | - |
| normalizovaný objem na otáčku | $\lambda.v$ | 0,050 | - |
| vonkajší polomer | R_a | 0,990 | m |
| polomer vnútornej trubky | R_{iz} | 0,297 | m |
| katalógový polomer trubky | R_i | 0,305 | m |
| upravený pomer R_i/R_a | ρ | 0,308 | - |
| stúpanie | S | 2,130 | m |
| žľabová medzera | s_{sp} | 0,006 | m |
| dĺžka šneku | L_B | 5,765 | m |
| hrúbka steny trubky | s_w | 0,012 | m |
| hrúbka steny sneku | s_{bl} | 0,01 | m |
| priemer hriadeľa | d | 0,120 | m |
| vzdialenosť ložísk | L_L | 7 | m |

| | | | |
|-------------------------|-----------|-------|---|
| optimálna výška hladiny | $V_{T.F}$ | 0,299 | - |
| stupeň plnenia | K | 0,687 | - |

| | | | |
|---|------------|-------|-----|
| uhol alfa 8 | α_8 | 2,50 | rad |
| uhol alfa 9 | α_9 | - | rad |
| výška vody v privode na turbínu | h_2 | 0,61 | m |
| šírka kanála pred turbínou | b_1 | 1,98 | m |
| vzdialenosť vstupu do turbíny a dna | w | 0,35 | m |
| výška ustálenej hladiny od spodku žľabu | h_{in} | 0,64 | m |
| celková výška voľnej hladiny | h_1 | 0,99 | m |
| parameter spodnej hladiny | τ | 0,749 | - |
| výška hladiny za výstupom z turbíny | h_4 | 0,67 | m |
| šírka kanálu na výstupe | b_4 | 1,98 | m |

| | | | |
|---|----------|------|-----|
| transportná rýchlosť | c_{ax} | 1,19 | m/s |
| rýchlosť v privádzači | c_1 | 0,56 | m/s |
| rýchlosť vody tesne pred vstupom do turbíny | c_2 | 0,91 | m/s |

| | | | |
|----------------------|---------|--------|---|
| hydraulická účinnosť | η | 0,882 | - |
| opravný faktor | K_2 | 1 | - |
| korigovaná účinnosť | η | 0,882 | - |
| hydraulické straty | ζ | 0,0568 | - |

| | | | |
|---------------------------|-----------|--------|-----|
| krútiaci moment | M | 6760 | N.m |
| maximálny krútiaci moment | M_{max} | 8112 | N.m |
| axiálna sila | F_{ax} | 18 000 | N |
| radiálna sila | F_{rad} | 36 234 | N |

| | | | |
|-------------------------|----------|-------|----------------|
| hmotnosť trubky | m_{ZT} | 1101 | kg |
| hmotnosť šnekovej časti | m_{bl} | 2010 | kg |
| celková hmotnosť | m | 3111 | kg |
| objem šneku | V_{ZR} | 0,032 | m ³ |

3.3.7 Výber generátora

Pre obe turbíny bude použitý asynchrónny generátor s 8 pólóvymi dvojicami, pre jeho jednoduchú konštrukciu a nízku cenu. Aby nedošlo k prepólovaniu generátoru na motor v čase keď je malý prietok, bude pripojený na fázový menič, ktorý zabezpečí stále nadsynchrónne otáčky. 8 dvojíc znižuje synchrónne otáčky generátoru, preto nebude potrebný taký veľký prevodový pomer ako u generátorov s menším počtom dvojíc. Krytie IP 55 zaručí chod aj v daždivom počasí, nie je preto nutné budovať strojovňu.

Vyrábanie na presne stanovený výkon, by bolo v porovnaní so sériovo vyrábaným generátorom 2-3 krát drahšie, preto motor vyberáme z katalógu.

Tabuľka 11: Parametre generátorov

| | generátor č.1 | generátor č.2 | veľičina |
|-------------------|----------------|----------------|----------|
| výrobca | Siemens | Siemens | - |
| typ | 1LG4 283-8AB6x | 1LG4 253-8AB6x | - |
| menovitý výkon | 45 | 30 | kW |
| menovitý moment | 585 | 393 | N.m |
| synchrónne otáčky | 735 | 732 | ot/min |
| účinnosť | 91 | 90 | % |
| hmotnosť | 515 | 385 | kg |

Generátor bude pracovať v nadsynchrónnych otáčkach, uvažujeme účinnosť prevodovky so spojkou 97%, ložísk 99% a frekvenčného meniča 98%.

Po stanovení všetkých strát v systéme, je možné vypočítať výslednú účinnosť elektrárne nasledovne.

$$\eta = \eta_T \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{pr} \cdot \eta_{loz} \cdot \eta_{fm} \quad [-] \quad (3.63)$$

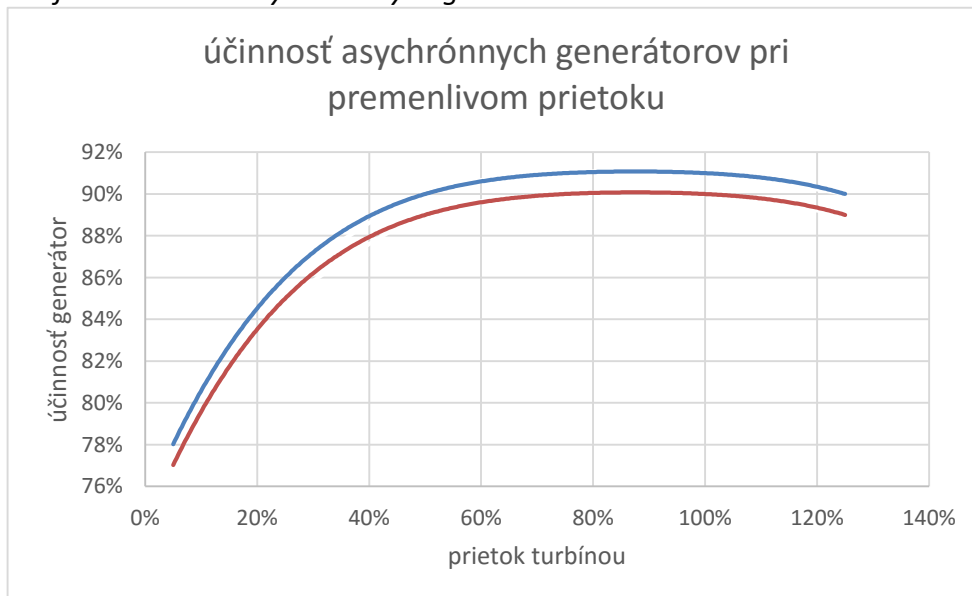
1. Turbína

$$\eta = 0,88 \cdot 0,91 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0.75$$

2. Turbína

$$\eta = 0,88 \cdot 0,90 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0.74$$

Graf 11: Účinnosť asynchrónnych generátorov



Pre výpočet ideálnych nadsynchrónnych otáčok je nutné poznať pomer $\frac{2 \cdot M_k}{s_K}$, ktorý sa určí z nasledujúceho vzťahu

$$\frac{2 \cdot M_k}{s_K} = \frac{M_N}{1 - \frac{n_N}{n_{syn}}} \quad [N \cdot m] \quad (3.64)$$

Pre prvú turbínu bude

$$\frac{2 \cdot M_k}{s_K} = \frac{585}{1 - \frac{735}{750}} = 29\,250 \text{ N} \cdot \text{m}$$

A pre druhú

$$\frac{2 \cdot M_k}{s_K} = \frac{393}{1 - \frac{732}{750}} = 16\,375 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Optimálne nadsynchrónne otáčky generátora

$$n = \frac{n_{syn}}{2} + \sqrt{\frac{n_{syn}^2}{4} + \frac{60 \cdot P_t \cdot \eta_{Ti} \cdot \eta_{gen} \cdot \eta_{pr} \cdot \eta_{loz} \cdot n_{syn}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{2 \cdot M_k}{s_K}}} \quad [ot/min] \quad (3.65)$$

Turbína č.1

$$n_{gen.opt1} = \frac{750}{2} + \sqrt{\frac{750^2}{4} + \frac{60 \cdot 41693,088 \cdot 0,91 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 750}{2 \cdot \pi \cdot 29250}} = 760,4 \text{ ot/min}$$

Turbína č.2

$$n_{gen.opt2} = \frac{750}{2} + \sqrt{\frac{750^2}{4} + \frac{60 \cdot 26978,088 \cdot 0,90 \cdot 0,97 \cdot 0,99 \cdot 750}{2 \cdot \pi \cdot 16375}} = 755,6 \text{ ot/min}$$

3.3.8 Návrh prevodovky

Pretože nad synchrónne optimálne otáčky sú iné, ako menovité otáčky turbíny, je potrebné medzi ne umiestniť prevodovku so spojkou. Je možné použiť takmer všetky typy.

Prevodový pomer

$$i = \frac{n_{gen.opt}}{n_T} \quad [-] \quad (3.66)$$

1.Turbína

$$i_1 = \frac{760,40}{29,68} = 25,6 \quad [-]$$

2.Turbína

$$i_2 = \frac{755,60}{33,61} = 22,5 \quad [-]$$

Keďže sa jedná o atypické prevodová stupne, prevodovka sa bude robiť na objednávku.

3.3.9 Ročná produkcia

Po stanovení všetkých strát je možné vypočítať elektrickú energiu vyrobenú za 1 kalendárny rok.

Elektrický výkon

$$P_{elek.} = H \cdot Q \cdot g \cdot \eta \text{ [kW]} \quad (3.67)$$

Kde účinnosť η sa bude meniť, kvôli zmenám účinností turbíny a generátoru. Hodnoty pre prevodovku, spojku, ložiská ostávajú približne konštantné.

U výpočtu budeme rovnako, ako v predbežných výpočtoch linearitu medzi jednotlivými prietokmi, a výsledná produkcia bude suma z oboch turbín.

Turbína 1

$$W_1 = 158\,564 \text{ kWh}$$

Turbína 2

$$W_2 = 62\,887 \text{ kWh}$$

Výsledná ročná produkcia MVE

$$W = \sum_{i=1}^2 W_i = 221\,450 \text{ kWh} = 221,45 \text{ MWh}$$

3.4 Zhodnotenie nákladov a návratnosti

Aby bola elektráreň z investičného hľadiska zaujímavá, je vhodné aby jej návratnosť bola nižšia, ako 10 rokov. Po 15 rokoch zaniká zelený bonus, a je nutné reinvestovať rovnakú čiastku do diela, aby ho bolo možné znova získať.

Výsledná cena MVE pozostáva z troch celkov. Nákladov na strojnú, stavebnú a elektrickú časť výstavby.

Stavebná časť – Bude použitý vode odolný betón na oboch brehoch, funkciu haťe zaistí plniaci vak od PÖYRY, ktorý je v porovnaní s betónovým riešením podstatne lacnejší, a umožňuje jednoduchú reguláciu výšky hladiny, vypúšťaním/napúšťaním vody pomocou čerpadla.

Tabuľka 12: Náklady na stavebnú časť

| Stavebná časť | |
|------------------------|------------|
| zložka | cena [EUR] |
| plniaca hať POYRY | 10 000 |
| stavebné práce + betón | 40 000 |
| Σ | 50 000 |

Elektrický časť-práce spojené s nafázovaním generátorov a zapojenie do trojfázovej siete s napätím 0,4kV, ktorej vzdialenosť je približne 100 metrov od diela. Odhad ceny je 15 000€.

Strojná časť-táto položka obsahuje turbíny, generátory, prevodovky so spojkami vodiace žľaby a automatizáciu.

Tabuľka 13: Náklady na strojnú časť

| Strojná časť | | | |
|---------------------|------------|---------------|------------|
| 1. systém | cena [EUR] | 2. systém | cena [EUR] |
| turbína | 23 000 | turbína | 17 000 |
| generátor | 4 000 | generátor | 3 000 |
| prevodovka | 9 000 | prevodovka | 6 000 |
| automatizácia | 5 000 | automatizácia | 4 000 |
| Σ | 41 000 | Σ | 30 000 |

Výsledná náklady na túto časť predstavujú 71 000€ a celková cena MVE je sumou stavebnej, elektrickej a strojnej časti.

Tabuľka 14: Výsledná cena diela

| Cena diela | |
|-------------------|------------|
| | cena [EUR] |
| Strojná časť | 71 000 |
| Elektrická časť | 15 000 |
| Stavebná časť | 50 000 |
| Σ | 136 000 |

Návratnosť je čas, za ktorý dôjde k splateniu počiatkových kapitálových nákladov, a projekt sa od tohto dňa stane ziskovým. Jej výpočet je uskutočnený pomocou vzťahu.[17]

$$I = \sum_{i=1}^a Z_i \quad [\text{rok}] \quad (3.68)$$

Kde Z_i je zisk po zdanení a odpočítaní operatívnych nákladov. Inflácia sa pohybuje momentálne v blízkosti 0%, preto ju do výpočtu neuvažujeme.

Podľa ÚRSO, sa výkupné ceny od roku 2014 nemenili a pre MVE s menovitým výkonom do 100kW tvoria spolu so zelenými tarifami hodnotu 1 MWh=111,27€. [2]

Elektrárňou ročne vyrobí 221,45 MWh elektrickej energie, z toho plynie hrubý ročný zisk

$$Z_h = W \cdot t \quad [\text{€/rok}] \quad (3.69)$$

$$Z_h = 221,45 \cdot 111,27 = 24\,641 \text{€/rok}$$

Od ktoré sa ešte odčítajú operatívne náklady OPEX, ktorých hodnota je 2000€/rok a daň z príjmu 19%. Predpokladaný čistý zisk za jeden rok je tým pádom

$$Z = (Z_h - OPEX) \cdot [\% \cdot (100 - \text{daň})] \quad [\text{€/rok}] \quad (3.70)$$

$$Z = (24\,641 - 2000) \cdot [\% \cdot (100 - 19)] = 18\,339 \text{€/rok}$$

Životnosť plniacej hate je 10 rokov, preto v 10. roku prevádzky bude čistý zisk znížený o jej cenu.

Tabuľka 15: Zhodnotenie po ročných intervaloch

| Doba návratnosti | | |
|-------------------------|--------------|------------------|
| čas [rok] | zisk [€/rok] | celkový zisk [€] |
| 1 | 18 339 | 18 339 |
| 2 | 18 339 | 36 678 |
| 3 | 18 339 | 55 017 |
| 4 | 18 339 | 73 356 |
| 5 | 18 339 | 91 695 |
| 6 | 18 339 | 110 034 |
| 7 | 18 339 | 128 373 |
| 8 | 18 339 | 146 712 |
| 9 | 18 339 | 165 051 |
| 10 | 8 339 | 173 390 |
| 11 | 18 339 | 191 729 |
| 12 | 18 339 | 210 068 |
| 13 | 18 339 | 228 407 |
| 14 | 18 339 | 246 746 |
| 15 | 18 339 | 265 085 |

Pomocou lineárnej interpolácie je výsledný čas návratnosti investície

$$t = y + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = 7 + \frac{146\,000 - 128\,373}{146\,712 - 128\,373} = 7,96 \text{ roka}$$

A zisk za 15 rokov po odčítaní kapitálových nákladov CAPEX bude

$$Z_c = 265\,085 - 146\,000 = 119\,085 \text{€}$$

4 ZÁVER

Bakalárska práca sa zaoberala návrhom najoptimálnejšieho riešenia pre novú lokalitu MVE na rieke Nitrica pri obci Nitrica. Z hľadiska vysokých účinností pri rôznych hĺstostiach bola upresnená Archimedova skrutka pred Vírovou a uskutočnené 3 návrhy riešení. Z týchto možností bol vybraný ten, ktorý obsahoval 2 turbíny typu AST, obe s účinnosťou 88% a spádom 2,5m. Výber bol podmienený najvyššou ročnou produkciou elektrickej energie, a jednoduchosťou riešenia, ktorá nevyžaduje interný rybovod navarený na nosnej trubke. Prvá turbína bola navrhnutá s hĺstosťou 1,7m³/s a druhá 1,1m³/s. Boli uskutočnené výpočty parametrov a rozmerov šnekov, umiestnenie na diele, určenie generátora a prevodového stupňa. Vďaka vhodnému výberu prietokov turbínami je možné prevádzkovať elektrárňu až 285 dní v roku. Menovitý výkon diela je 60,42kW a je možné ho navýšiť až na 72,5kW, ktorý bude pracovať 60dní, prevažne na jar pri topení snehu, a počas dažďov. Výška hladiny bude regulovaná plniteľným nafukovacím vakom spoločnosti PÖYRY.

Objekt MVE je situovaný na strane, kde sa nachádza škôlka, a bude pripojený podzemným elektrickým vedením na nízkonapäťovú trojfázovú sieť s napätím 0,4kV. Pre ryby bude vybudovaný rybovod s prietokom 30l/s.

Predpokladaná ročná produkcia elektrickej energie je 221,45MWh, pri cene 111,27€/MWh to odpovedá hrubému zisku 25 143€. Po odčítaní operatívnych nákladov a dane z príjmu, čistý podiel zisku je 18 745€. Táto hodnota splatí kapitálové investície v sume 146 000€, za necelých 8 rokov. Výsledný zisk za 15 rokov očistený o náklady bude 119 085€.

Obrázok 12: Vizualizácia diela

Autor Dávid Medzihorský



ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] Konceptia využitia hydroenergetického potenciálu vodných tokov SR do roku 2030. *Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <https://www.minzp.sk/files/sekcia-vod/vlastny-material-pdf-387-kb.pdf>
- [2] *Porovnanie podpory OZE a výkupných cien elektriny vyrobenej z OZE v okolitých krajinách*. [online]. Martin: Odbor regulácie kvality a analýz, 2014 [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.urso.gov.sk/sites/default/files/Vykupne-ceny-OZE-v-EU-2014.pdf>
- [3] Miloslav Nechleba. *Vodní turbíny, jejich konstrukce a příslušenství*. 1. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962. str. 19-21
- [4] REHART Arkimedean screw generator. *Prominiera Shpk* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.prominiera.com/en/products/view/4>
- [5] Archimedes screw turbine-product catalog. *Mas-hydro* [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.mashydro.cz/galerie/tinymce/Archimedes%20screw%20turbine.pdf>
- [6] *St Neots Community Hydro Scheme* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.stneotshydro.co.uk/wp-content/uploads/2014/06/Twin-Archimedes-Screws-Potential-Energy.jpg>
- [7] LASHOFER, Alois, Werner HAWLE, Irina KAMPEL a kol. *STATE OF TECHNOLOGY AND DESIGN GUIDELINES FOR THE ARCHIMEDES SCREW TURBINE* [online]. Vienna, 2012 [cit. 2016-04-30]. str.6
- [8] Fish ladder. <Http://www.hydroconnect.at/en/fish-ascent-screw/> [online]. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.hydroconnect.at/en/fish-ascent-screw/>
- [9] SLOVENSKÁ REPUBLIKA. Zákon ochrane prírody a krajiny. In: *506/2013*. Bratislava: IURA EDITION, 2013, časťka 111. str.5564
- [10] Vírová turbína. *Inovace* [online]. 2009 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.inovace.cz/novinky/435-virova-turbina-vedcu-z-brna-je-prislibem-pro-vyuziti-mensich-vodnich-toku>
- [11] Poloha toku. *Google Maps* [online]. 2009 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://www.google.sk/maps/@48.7079386,18.449253,442m/data=!3m1!1e3>
- [12] Hydrologické ročenky. *Slovenský hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: www.shmu.sk
- [13] Vladimír Druga. *SPRIECHODŇOVANIE BARIÉR NA TOKOCH: Metodická príručka pre posudzovanie, navrhovanie a monitorovanie rybovodov*. Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky 2014 v rámci projektu Zabezpečenie starostlivosti o mokrade SR, zvyšovanie environmentálneho povedomia o mokradiach a budovanie kapacít v rámci OPŽP, 2014. ISBN ISBN 978-80-89310-76-0. str.18

- [14] NUERNBERGK, Dirk. *DOE report 7 - Design flow for hydropower screws*, 23 [cit. 2016-05-02].
- [15] TOMÁŠ, Fratišek a Petr FLEICHNER. *Čerpadla: Sbírka příkladu část I. Druhé, část. přepracované*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1982.
- [16] BUDYNAS, Richard a Kieth NISBETT. *Mechanical engineering design*. 9th Edition. New Delphi: McGraw Hill Education, 2008. ISBN 978-0-07-107783-5.
- [17] Tradičné finančné metódy hodnotenia investičných projektov. *Economicworld* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://economicworld.eu/investicie/tradicne-financne-metody-hodnotenia-investicnych-projektov>

ZOZNAM GRAFOV

Graf 1: Využitie určitých typov turbín, a ich porovnanie s archimedovom

Graf 2: Porovnanie účinností vybraných turbín

Graf 3: Porovnanie účinnosti RST a AST turbín

Graf 4: Prietoková krivka

Graf 5: Doba prevádzky turbíny pre riešenie 1

Graf 6: Chod turbíny pre riešenie 1

Graf 7: Doba prevádzky turbín pre riešenie 2

Graf 8: Chod turbín pre riešenie 2

Graf 9: Doba prevádzky turbín pre riešenie 3

Graf 10: Chod turbín pre riešenie 3

Graf 11: Účinnosť asynchronných generátorov

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Model šnekovej turbíny

Obrázok 2: 2 archimedove turbíny v prevádzke

Obrázok 3: RST turbína inštalovaná na vodnom diele

Obrázok 4: Vrchná časť rybovodu spoločnosti Hydro-connect

Obrázok 5: Rez turbínou s rybovodom

Obrázok 6: 2-lopatková vírová turbína s 40% nábojom

Obrázok 7: Poloha miesta na toku

Obrázok 8: Pôvodná riečna stavba

Obrázok 9: 1. Rozmerový výkres turbíny

Obrázok 10: 2. Rozmerový výkres turbíny

Obrázok 11: Zaťaženie ložísk

Obrázok 12: Vizualizácia diela

ZOZNAM TABULIEK

Tabulka 1: Prietoky profilom

Tabulka 2: Tecnické parametre riešenia č.1

Tabulka 3: Tecnické parametre RST riešenia č.2

Tabulka 4: Tecnické parametre AST riešenia č.2

Tabulka 5: Tecnické parametre väčšej turbíny riešenia č.3

Tabulka 6: Tecnické parametre menšej turbíny riešenia č.3

Tabulka 7: Porovnanie produkcií jednotlivých riešení

Tabulka 8: Zatažujúce sily na ložiská a hriadeľ

Tabulka 9: Parametre turbíny 1

Tabulka 10: Parametre turbíny 2

Tabulka 11: Parametre generátorov

Tabulka 12: Náklady na stavebnú časť

Tabulka 13: Náklady na strojnú časť

Tabulka 14: Výsledná cena diela

Tabulka 15: Zhodnotenie po ročných intervaloch

ZOZNAM PRÍLOH

| | |
|-----------|---------------------------------------|
| Príloha 1 | Montážne schéma |
| Príloha 2 | Korelačný koeficient K_2 |
| Príloha 3 | Graf Normalizovaného objemu na otáčku |
| Príloha 4 | Účinnosti modelu |

SKRATKY

| Názov | Skratka |
|--------------------------------------|---------|
| Wasserkraftschnecke | WKS |
| malá vodná elektráren | MVE |
| Obnoviteľné zdroje energie | OZE |
| Archimedes screw turbine | AST |
| Rotary screw turbine | RST |
| Slovenský hydrometeorologický ústav | SHMÚ |
| Úrad pre reguláciu sietových odvetví | URSÓ |
| Operating expense | OPEX |
| Capital expenditure | CAPEX |

KONŠTANTY

| Veličina | Symbol |
|-----------------------|--|
| Gravitačné zrýchlenie | $g=9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Hustota vody | $\rho=1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ |
| Koeficient K_1 | $K_1=10,984 \text{ m}^{2/3}\cdot\text{s}^{-1}$ |

ZOZNAM HLAVNÝCH VELIČÍN

| Veličina | značka | jednotky |
|--------------------------|--------|-------------------|
| Prietok | Q | m ³ /s |
| Objem | V | m ³ |
| Rýchlosť | c | m/s |
| Spád | H | m |
| Výška | h | m |
| Polomer | R | m |
| Priemer | d | m |
| Stúpanie šneku | S | m |
| Čas | M | deň |
| Čas | t | hodina |
| Sila | F | N |
| Moment | M | N.m |
| Výkon | P | kW |
| Príkon | P | kW |
| Produkcia | W | kWh |
| Počet listov skrutkovice | N | - |
| Účinnosť | η | - |
| Otáčky | n | ot/min |
| Hmotnosť | m | kg |

ZOZNAM HLAVNÝCH INDEXOV

| Názov | index |
|-----------|-------|
| Číslo 1 | 1 |
| Číslo 2 | 2 |
| Turbína | T |
| Čerpadlo | č |
| System | s |
| Rybovod | R |
| Vonkajší | a |
| Vnútorný | i |
| Axiálna | ax |
| Radiálna | rad |
| Maximálny | max |