

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

STUDIE VYUŽITÍ HYDROENERGETICKÉHO POTENCIÁLU DANÉ LOKALITY

STUDY OF HYDROENERGY POTENTIAL EXPLOITATION OF GIVEN LOCATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN KOLLÁR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL RUDOLF, Ph.D.

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Pavlovi Rudolfovi, Ph.D. a Jozefovi Kadorovi z firmy STM Power a.s za cenné rady, ktoré mi poskytli pri vypracovávaní mojej bakalárskej práce.

28. máj 2009

.....
Martin Kollár

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému Štúdia hydroenergetického potenciálu danej lokality vypracoval samostane s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname.

28. máj 2009

.....
Martin Kollár

Bibliografické citácie

KOLLÁR, M. Studie využití hydroenergetického potenciálu dané lokality. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Rudolf, Ph.D.

ABSTRAKT

Za cieľ mojej bakalárskej práce som si vybral zmapovanie hydroenergetického potenciálu a návrh strojného zariadenia pri stavbe malých vodnej elektrárne na rieke Váh v lokalite Trenčianske Biskupice.

Stav hydroenergetického potenciálu som rozdelil do troch častí a to na minulý, súčasný a budúci stav. Tieto informácie som následne použil pri návrhu strojných zariadení, medzi ktoré patrí turbína a s ňou spojené nátokové teleso a savka. Pre hradenie vtoku a výtok, čistiaci stroj, hrablice som tiež zvolil vhodné konštrukčné riešenie.

Vypracoval som dve možné alternatívy spolu s výkresovou dokumentáciou, ktoré som na záver porovnal a vyhodnotil.

ABSTRACT

For the objective of my Bachelor`s thesis I chose an assessment of hydropower potential and a design of machinery in the small hydropower plant construction on the river Váh in Trenčianske Biskupice site.

I divided hydropower potential into three parts. First part is the past then present and last is future status. I have subsequently used these information in the design of machinery, including turbine and its associated penstock and draft tube.

Part of my thesis also contains appropriate design solution for control gate of intake and outflow, trash rack and trash rack machine.

I prepared and presented two possible alternatives together with the drawing documentation which are at the end of my paper compared and evaluated.

Kľúčové slová

Kaplanova vertikálna turbína, Kaplanova priamoprúda turbína, hrablice, čistiaci stroj, hradenie

Key words

Kaplan vertical turbine, Kaplan horizontal turbine, trash rack, trash rack machine, control gate

OBSAH

1. Úvod	1
1.1 Význam malých vodných elektrární	1
1.2 Popis práce	1
2. Stav hydroenergetického potenciálu	2
2.1 Stav hydroenergetického potenciálu v minulosti	2
2.2 Stav hydroenergetického potenciálu v súčasnosti a budúcnosti	4
3. Návrh riešenia	6
3.1 Základné údaje	6
3.2 Koncepcia stavby	6
3.2.1 Budova stavby	6
3.2.2 Vtokový objekt	6
3.2.3 Výtokový objekt	6
3.3 Výber technologického vybavenia MVE	7
3.3.1 Turbína	7
3.3.1.1 Výpočet strát spoločne pre obidve alternatívy	9
3.3.1.2 Výpočty kaplanovej, axiálnej turbíny	12
3.3.1.3 Výpočty kaplanovej, axiálnej, priamoprúdej turbíny	15
3.3.2 Jemné hrablice	17
3.3.3 Hradenie vtoku	18
3.3.4 Hradenie výtoku	18
3.3.5 Čistiaci stroj	18
3.4 Elektro technologické časti	18
3.4.1 Generátor	18
4. Ekonomické zhodnotenie	19
4.1 Alternatíva č.1	19
4.2 Alternatíva č.2	20
5. Záver	21
6. Zoznam použitej literatúry	22
7. Zoznam použitých skratiek a symbolov	23
8. Zoznam príloh	24

1. Úvod

1.1 Význam malých vodných elektrární

Využívání a získávání nových zdrojů energie patří už od dávná mezi hlavní lidské úsilí. V dnešní době spotřeba energie prudce stoupá a poptávka po ní dále narůstá. Slovensko a Česká republika patří mezi země, které mají málo přírodních zdrojů. Jedním z zdrojů je energie vodních toků. Hydroenergetický potenciál slovenských toků představuje 6600 GWh. Využívaných je přibližně 4170 GWh. Zvyšující se nevyužitá energie je pro malé vodní elektrárny, po zohlednění environmentálních hledisek, k dispozici do budoucna 500 GWh. Využití malých vodních elektrárn má několik výhod:

- je to obnovitelný zdroj energie
- výstavba elektrárny a její chod má šetrný vliv na životní prostředí
- dodává lacnou energii do elektrizační soustavy
- prevádzka môže byť do značnej miery automatizovaná
- má dlouhou životnost

1.2 Popis práce

Cílem mé bakalářské práce bylo zmapování hydroenergetického potenciálu a návrh strojního zařízení při stavbě malé vodní elektrárny na řece Váh v lokalitě Trenčianske Biskupice.

Stav hydroenergetického potenciálu je zaměřený na minulost, současnost a budoucnost. Nová elektrárna by měla stát při třetím prahu v starém korytě pod haňou. Plánovaný prevádzkový prietok je v rozmezí od $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a spád je 3,6 m. V budoucnu se má prietok v starém korytě zvýšit v letních měsících z minimálních $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tyto informace jsem využil při návrhu a výběru strojního zařízení.

Při návrhu turbíny jsem se rozhodl pro dvě alternativy. Jednou z možností jsou dvě Kaplanovy horizontální, přímoprúde turbíny, druhou alternativou jsou dvě Kaplanovy, vertikální turbíny se špirálovým vtokem. Pro hradení vtoku a výtoků, čistič strojů, hrablice jsem navrhl vhodné konstrukční řešení. Na základě toho jsem vypracoval výkresovou dokumentaci.

Obe řešení jsem v závěru práce porovnal a vyhodnotil z hlediska návratnosti investovaných prostředků a z hlediska množství vyrobené elektrické energie.

2. Stav hydroenergetického potenciálu

2.1 Stav hydroenergetického potenciálu v minulosti

Pred 2. svetovou vojnou bola rieka Váh v oblasti Trenčianskych Biskupíc využívaná hlavne na dopravu surovín, tovaru a ako zdroj energie pre mlyny a pily.

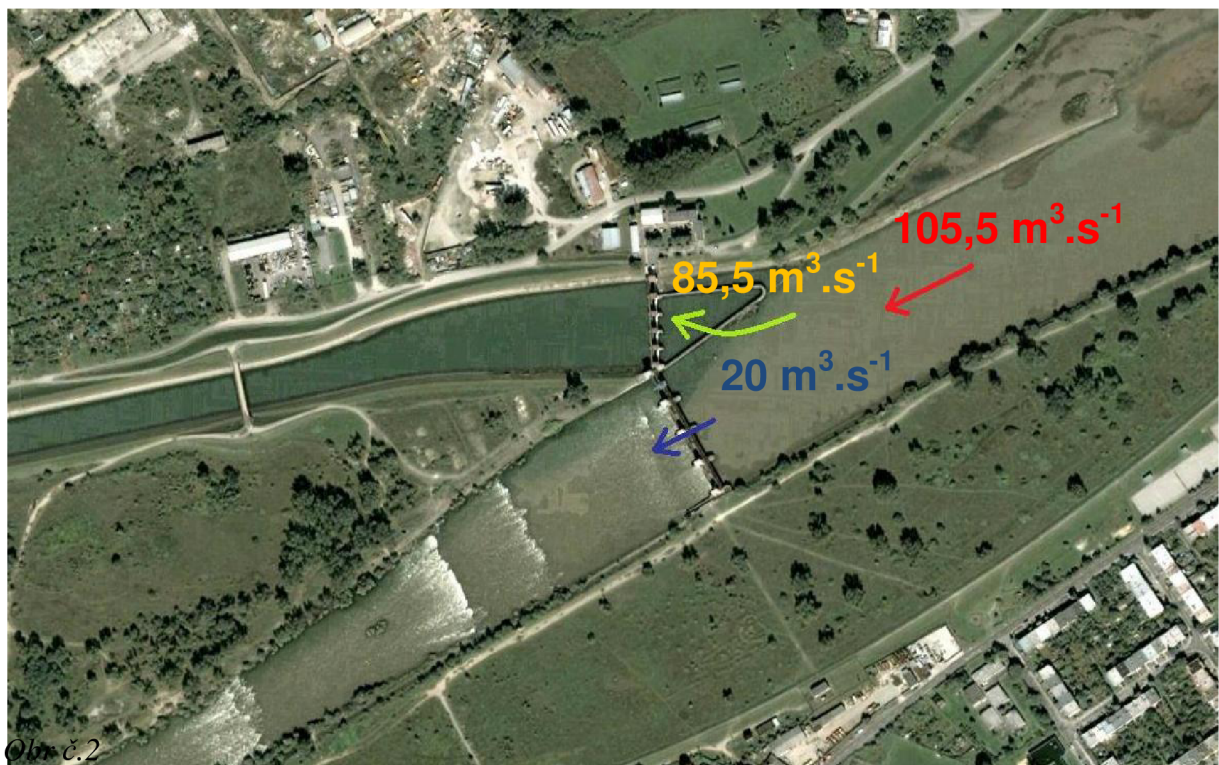
Predpoklady pre prvé významnejšie zmeny z hľadiska hydroenergetického potenciálu nastali v dvadsiatych rokoch minulého storočia s plánovaným využitím Váhu pre energetické potreby.

V roku 1930 bol vydaný Generálny projekt Krajským úradom v Bratislave. Jednou z častí bol návrh derivačného energetického využitia Váhu v úseku Trenčín - Piešťany.

V roku 1946 bolo rozhodnuté na základe nových hydroenergetických údajov o dimenzovaní prietoku z pôvodných $130\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ na $180\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Výstavba derivačného kanála a sústavy vodných diel Kostolná – Nové Město n/V – Horná streda trvala v rokoch 1943 až 1955. V mieste odklonu rieky do kanála je vystavaná hať, ktorá slúži k vzdutiu hladiny a ako regulácia toku. Tiež sa využíva pri kompletnej revízií a opravách každých približne 20 rokov na 60 dní k úplnému odklonu rieky do starého koryta. Aby nedošlo k vyschnutiu starého koryta a k úhynu rýb, hať prepúšťala biologické minimum $10\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

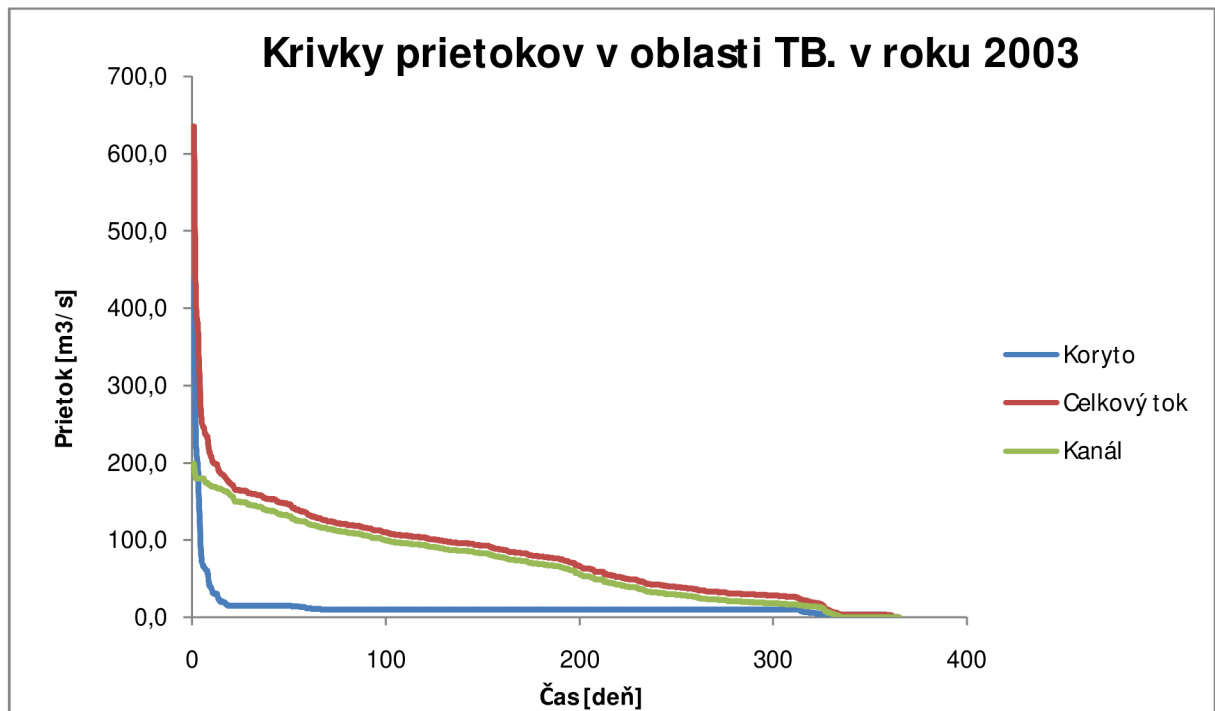
V roku 2004 bola postavená prvá elektrárň v Trenčianskych Biskupiciach spolu so sanačným kanálom, ktorý spája derivačný kanál so starým korytom.

Obr. č.1 Označenie priemerných prietokov do roku 2004

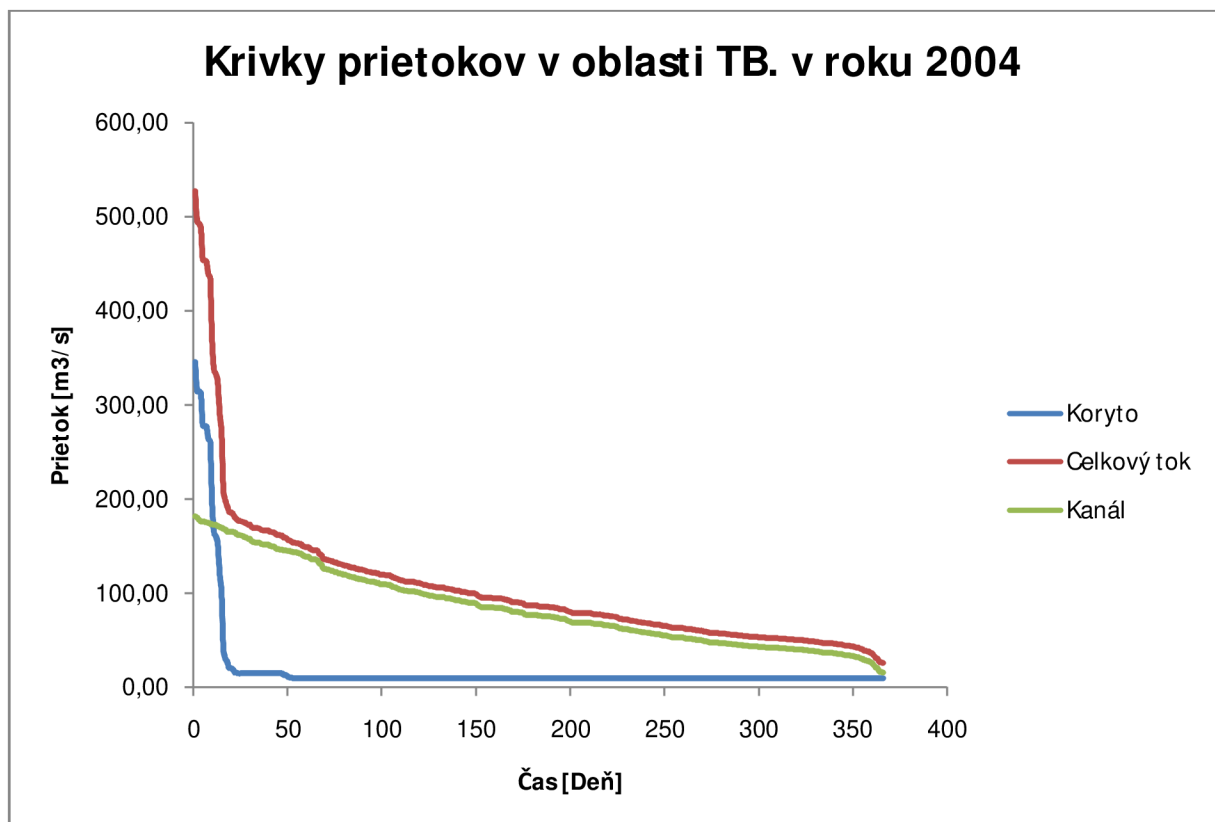


Obr. č.2

Obr. č.2



Obr. č.3



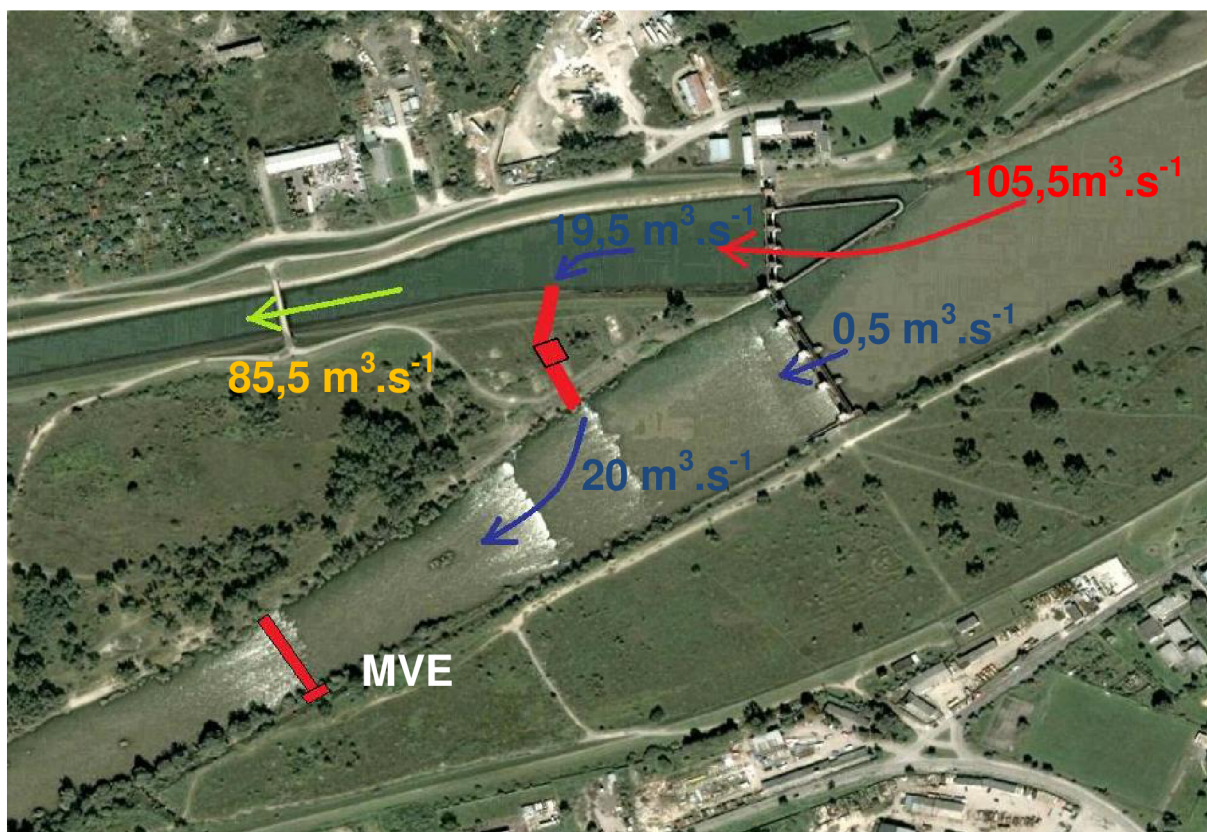
2.2 Súčasný a budúci stav hydroenergetického potenciálu

V súčasnosti má rieka Váh nad haťou priemerný ročný prietok cca $105,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Sanačným kanálom a rybovodom na hati sa vracia späť do starého koryta minimálny prietok $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V derivačnom kanáli tečie $180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ denne cca 6 hodín z toho 3 v ranej špičke a 3 hodiny vo večernej špičke.

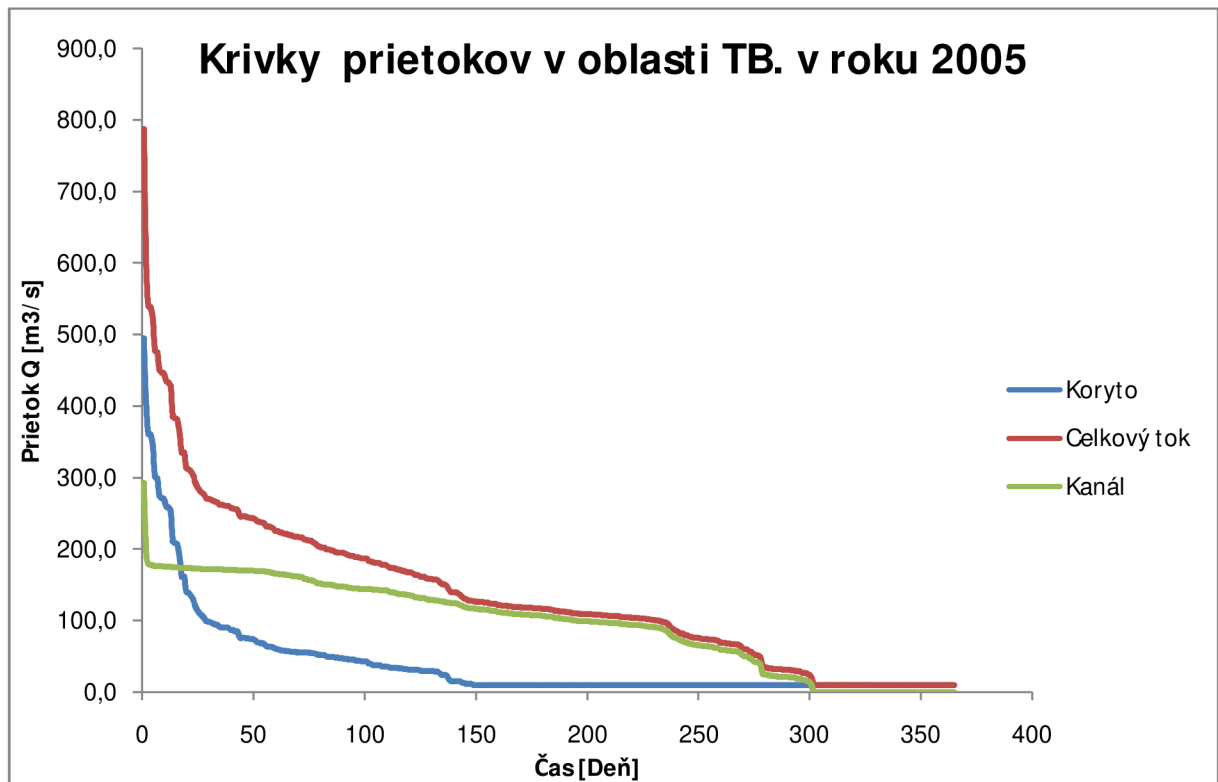
Voda je zadržovaná hlavne v priehradách Liptovská Mara a Oravská priehrada. Z grafov č.3 a č.4, ktoré som vytvoril z hodnôt meraní Slovenského vodohospodárskeho podniku, štátneho podniku Žilina, odštepny závod Povodie Váhu Piešťany vyplýva, že počas roka prechádza starým korytom priemerný ročný prietok $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a minimálny prietok $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zvýšený prietok bol nameraný hlavne v jarných mesiacoch, ako následok topenia snehu a staré koryto slúži na odtok prebytočnej vody z kanálu, ktorý je dimenzovaný na prietok maximálne $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Taktiež pri vypustení kanála z dôvodu revízií je celý tok odklonený do starého koryta. V budúcnosti z dôvodu prekysličenia vody v rieke by sa mal zvýšiť prietok hlavne v letných mesiacoch z minimálnych $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, preto už aj existujúca MVE na sanačnom kanáli je postavená na prietok $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pôvodná koncepcia pri budovaní derivačného kanálu počítala s minimálnym prietokom menej ako $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z hľadiska využitia hydroenergetického potenciálu rieky je pochopiteľné, že bolo výhodnejšie púšťať vodu cez derivačný kanál cez spoločný spád $H = \text{cca. } 60 \text{ m}$. Z rastúcim vplyvom dopadov na životné prostredie však stúpa aj potreba zvýšenia prietokov v starom koryte Váhu.

Poslednou udalosťou bolo udusenie niekoľkých stoviek kilogramov rýb v roku 2004 a ich následné vyplavenie do Slňavy v Piešťanoch, ako dôsledok vysokých teplôt počas horúceho leta a znížených prietokov v starom koryte kvôli energetickej výrobe.

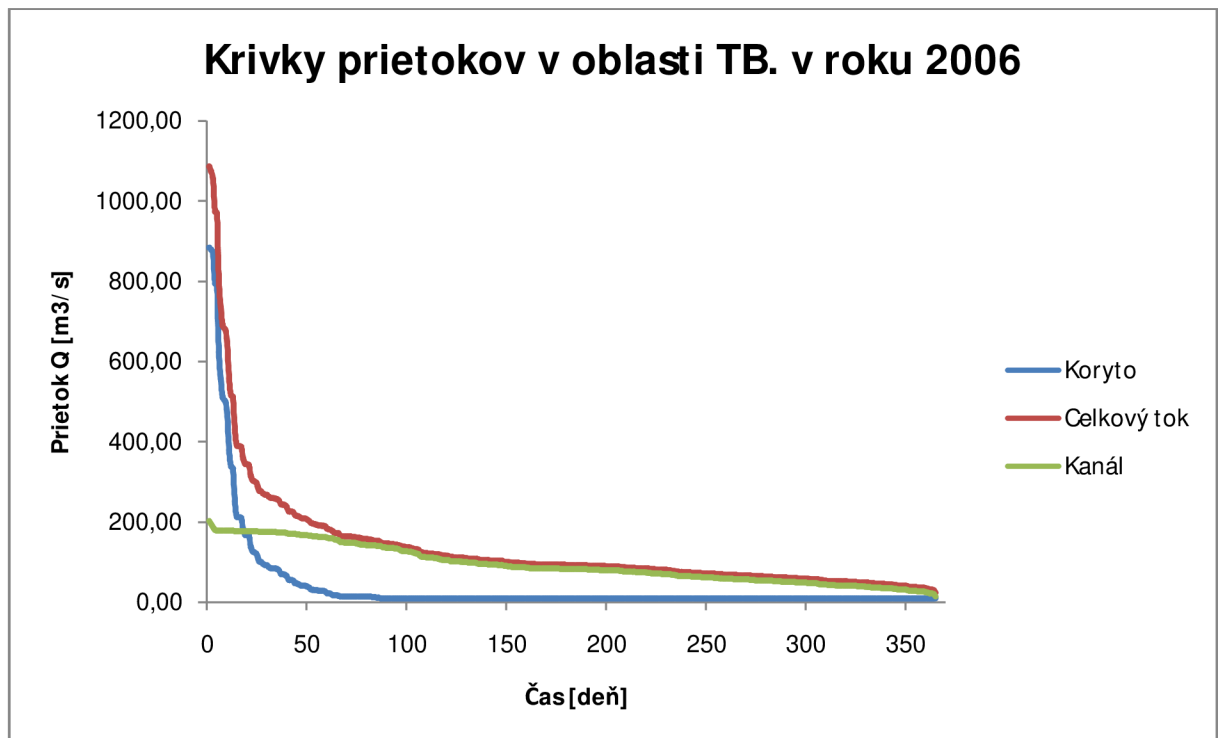
Obr. č.4 Označenie prietokov od roku 2004



Obr. č.5



Obr. č.6



3. Návrh riešenia

3.1 Základné údaje

Typ MVE :	príhaťová s umiestnením strojovne na ľavom brehu rieky
Navrhované parametre MVE :	$Q_{MVE} = 9,5 - 19 \text{ m}^3/\text{s}$ – prevádzkový prietok, $H_b = 3,6 \text{ m}$
Vyvedenie výkonu :	0,4 kV / 22 kV / 50 Hz do siete v blízkosti MVE
Umiestnenie :	rieka Váh, 3 kaskáda pod haťou Trenčianske Biskupice
Výšková poloha :	201,9 m n. m. (bp)
Katastrálne územie :	mesto Trenčín

Q_{MVE} je prevádzkový prietok, ktorý dokáže elektrárňu zúžitkovať.

3.2 Konceptia stavby

3.2.1 Budova MVE

Budova by mala byť umiestnená na ľavom brehu pri treťom prahu (obr.4), ako príhaťová elektrárň s krátkym derivačným nátokom vody a vyústením vody s vývarom pod haťou na úrovni dolnej hladiny. Celkové parametre budovy su podmienené dvomi alternatívami turbín.

3.2.2 Vtokový objekt

Slúži ako vtok do krátkeho derivačného kanála napájajúceho jednotlivé vtoky do hydraulických traktov turbín. Vtokový objekt je tvorený prevádzkovým hradením a jemnými hrablicami orientovanými pozdĺžne v smere riečného prúdu. Priamy vtok do hydraulického traktu turbíny má charakter uzavretého kanála. Vtok je ďalej vybavený lištovým čistiacim strojom pre čistenie a dopravu zachytených naplavenín na skládku.

3.2.3 Výtokový objekt

Zabezpečuje usmernenie vody z vývaru za savkou, nastavenie minimálnej hladiny dolnej vody a plynulý prechod výtokového prúdu z hydraulického traktu turbíny do pôvodného riečišťa rieky pod haťou. Výtokový objekt je možné proti vniknutiu dolnej vody do hydraulického traktu uzavrieť prevádzkovým hradením podobne ako na vtoku.

3.3 Výber technologického vybavenia MVE

3.3.1 Turbína

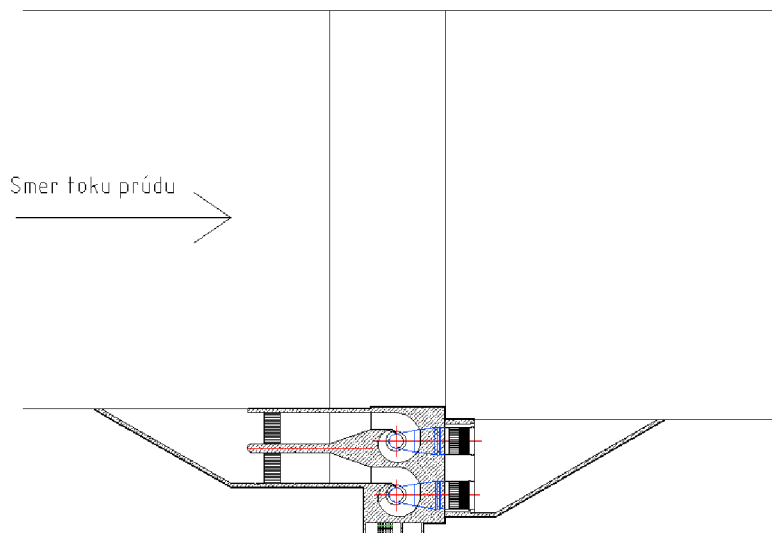
Pri výbere turbíny som zohľadňoval základné parametre rieky. Pre relatívne malý prietok s nízkym spádom som sa rozhodol pre dve alternatívy s dvomi Kaplanovými turbínami. Jedná sa o pretlakové turbíny, ktoré okrem regulácie na rozvázacom kolese majú aj reguláciu na obežnom. S toho dôvodu dokážu rýchlejšie reagovať na zmenu prietokov a spádov. Každá turbína je dimenzovaná na prietok $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a spád 3,6 m. Pre prevádzku dvoch turbín súčasne som sa rozhodol kvôli tomu, že je možné lepšie využiť hydroenergetický potenciál rieky a taktiež prevádzková doba sa zvýši pretože pri oprave a rivizii jednej turbíny môže druhá naďalej pracovať. Ako základ pre výpočet som použil hydraulické profily turbín. Z dôvodu obchodného tajomstva nie je hydraulický profil druhej alternatívy uvedený v prílohe.

1. Alternatíva

Kaplanova vertikálna turbína typu 3K 110 má vertikálne vyvedený hriadeľ na generátor pomocou ozubeného prevodu. Turbína je vybavená dvojitou reguláciou s elektrohydraulickým systémom ovládania, systémom mazania a sadou snímačov pre určenie prevádzkových a poruchových stavov. Komora obežného kolesa, obežné lopatky, náboj obežného kolesa a rozvázacie sú vyrobené z ocele so zvýšenou kavitačnou odolnosťou. Ostatné plochy by mali byť chránené vode odolným, ekologicky nezávadným náterovým systémom. Trakt je tvorený potrubnými kovovými časťami, a to vtokovým telesom tvaru špirály, spojovacími prírubami a savkou s kolenom ukončenou tesniacim rámom k prevádzkovému hradeniu výtoku. Vodou obtekané a vzdušné plochy by mali byť chránené vode odolným, ekologicky nezávadným náterovým systémom.

Parametre turbíny: Prietok $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Spád 3,6 m
Výkon 250,8 kW
Otáčky 150 min^{-1}
Prieb. otáčky $498,47 \text{ min}^{-1}$
Prevod 0,19

Obr. č.7 Kaplanova vertikálna turbína – situačné riešenie

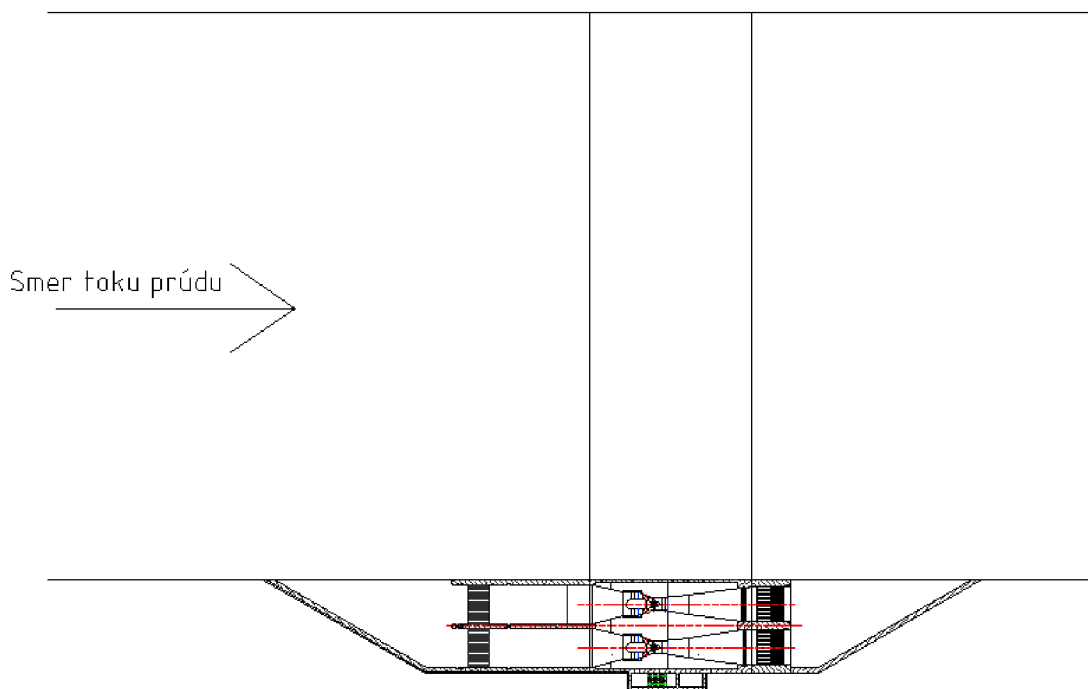


2. Alternatíva

Kaplanova priamoprúda turbína typu 3-PKT-194. Je vyhotovená s vertikálne vyvedeným hriadeľom na generátor pomocou prevodu a spojky. Turbína je vybavená dvojitou reguláciou s elektrohydraulickým systémom ovládania, systémom mazania a sadou snímačov pre určenie prevádzkových a poruchových stavov. Komora obežného kola, obežné lopatky, náboj obežného kola a rozvádzacie lopatky sú vyrobené z ocele so zvýšenou kavitačnou odolnosťou. Ostatné plochy by mali byť chránené vode odolným, ekologicky nezávadným náterovým systémom. Trakt je tvorený kovovými potrubnými časťami, a to vtokovým telesom pred turbínou, spojovacími prírubami a sávkou ukončenou tesniacim rámom k prevádzkovému hradeniu výtoku. Vodou obtekané a vzdušné plochy by mali byť chránené vode odolným, ekologicky nezávadným náterovým systémom. Pri návrhu turbíny som sa rozhodol pre naklonenie turbíny spolu z nátokovým telesom a sávkou o 5° .

Parametre turbíny: Prietok..... 9,5 m³/s
Spád 3,6 m
Výkon 240,3 kW
Otáčky 175,8 min⁻¹
Prevodové číslo .. 0,22

Obr. č.8 Kaplanova priamoprúda turbína – situačné riešenie



3.3.1.1 Výpočet strát spoločne pre obidve alternatívy

Hydraulický priemer kanála

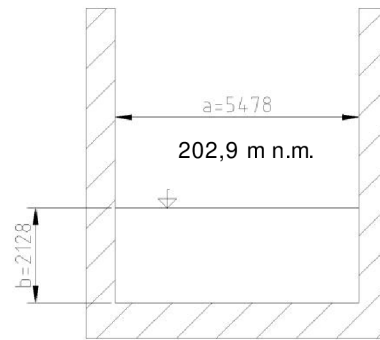
$$S = a \cdot b = 5,478 \cdot 2,128 = 11,66 \text{ m}^2$$

$$O = a + 2 \cdot b = 5,478 + 2 \cdot 2,128 = 9,73 \text{ m}$$

$$D_h = \frac{4 \cdot S}{O} = \frac{4 \cdot 11,66}{9,73} = 4,79 \text{ m}$$

S - prietokový prierez [m²]

O - omočený obvod [m]



Obr. č.9 Prietokový prierez vtokového kanála

Stratový súčiniteľ hrablíc

$$\xi_{\zeta} = \beta_B \cdot \left(\frac{S_{\zeta}}{S} + \frac{S_{zn}}{S} \right)^{1,6} \cdot \left(2,3 \cdot \frac{L}{b} + 8 + 2,4 \cdot \frac{b}{L} \right) \cdot \sin \alpha$$

$$\xi_{\zeta} = 0,504 \cdot (0,1688 + 0,2)^{1,6} \cdot \left(2,3 \cdot \frac{0,09}{0,05} + 8 + 2,4 \cdot \frac{0,05}{0,09} \right) \cdot \sin 60^\circ$$

$$\xi_{\zeta} = 1,192$$

$$S_{\zeta} = 1 \cdot a \cdot k = 2,460 \cdot 0,008 \cdot 100 = 1,968$$

β_B - tvarový súčiniteľ

L, b, a - rozmery hrablíc [m]

k - počet pásnic v kanále

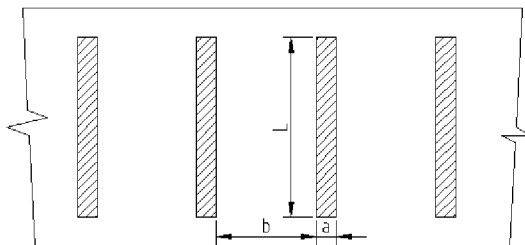
l - omočená dĺžka hrablíc

S - prietokový prierez [m²]

S_{ζ} - plocha hrablíc [m²]

S_{zn} - znečistená plocha hrablíc [m²]

α - sklon hrablicových prútov [°]



Obr. č.10 Prierez hrablíc

Stratový súčiniteľ drážok hradidla

$$\xi_d = 0,075 \cdot \frac{c}{b} = 0,075 \cdot \frac{0,315}{5,478} = 0,025$$

C – šírka drážky [m]

b – šírka kanála [m]

Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{Q_1 \cdot D_h}{\nu \cdot S} = \frac{9,5 \cdot 4,79}{1,10^{-6} \cdot 11,66} = 3902658,66$$

ν - kinematická viskozita [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_1 - prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

S - prietochý prierez [m^2]

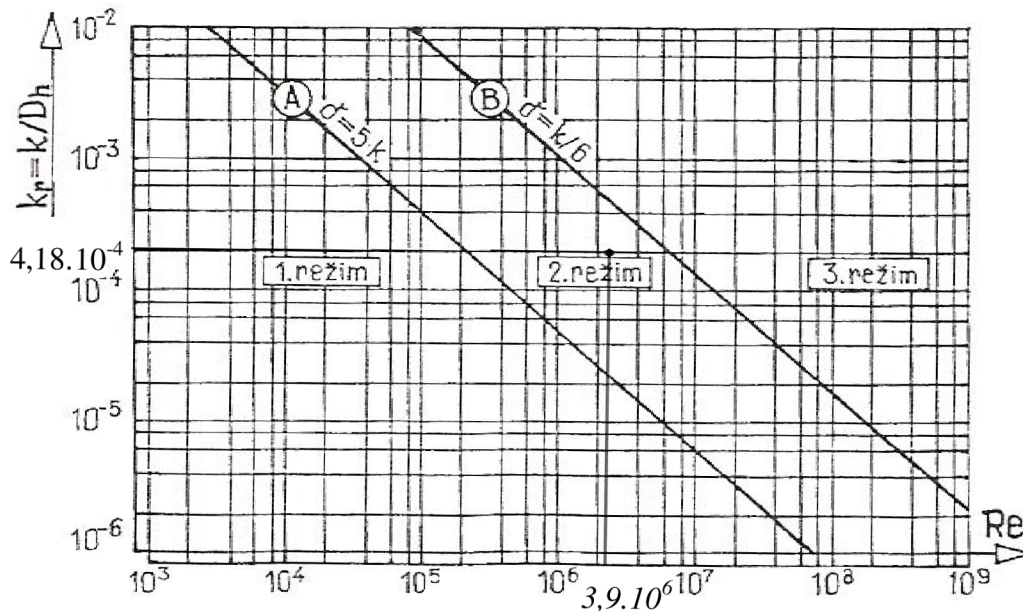
D_h - prietochý priemer [m^2]

Relatívna drsnosť

k - absolútna drsnosť vnútorných stien potrubia, pre beton $k = 0,002$

$$k_r = \frac{k}{D_h} = \frac{0,002}{4,79} = 0,000418$$

Obr. č.11 Kritérijný diagram pre kanál



Súčiniteľ hydraulického trenia

Pre prechodnú oblasť (2. režim) použijem Al'tšulov vzorec

$$\lambda = [-1,8 \cdot \log\left(0,1 \cdot k_r + \frac{7}{Re}\right)]^{-2}$$

$$\lambda = [-1,8 \cdot \log\left(0,1 \cdot 0,000418 + \frac{7}{3902658,66}\right)]^{-2} = 0,0162$$

Súčiniteľ dĺžkových trecích strát v 1. alternatíve

$$\xi_l = \lambda \cdot \frac{l}{D_h} = 0,0162 \cdot \frac{9,915}{4,79} = 0,0335$$

l - dĺžka kanálu [m]

Súčiniteľ dĺžkových trecích strát v 2. alternatíve

$$\xi_l = \lambda \cdot \frac{l}{D_h} = 0,0162 \cdot \frac{13,826}{4,79} = 0,0468$$

l - dĺžka kanálu

Stratová výška v kanále pre 1. alternatívu

$$H_z = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_1}{S}\right)^2 \cdot (\xi_c + 3 \cdot \xi_d + \xi_l) = \frac{1}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{9,5}{11,66}\right)^2 \cdot (1,192 + 3 \cdot 0,025 + 0,0335)$$

$$H_z = 0,044 \text{ m}$$

Stratová výška v kanále pre 2. alternatívu

$$H_z = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q_1}{S}\right)^2 \cdot (\xi_c + 3 \cdot \xi_d + \xi_l) = \frac{1}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{9,5}{11,66}\right)^2 \cdot (1,192 + 3 \cdot 0,025 + 0,0468)$$

$$H_z = 0,045 \text{ m}$$

Čistý spád pre 1. alternatívu

Spád pri ktorom sú zohľadnené straty v kanále.

$$H = H_b - H_z = 3,6 - 0,044 = 3,56 \text{ m}$$

H_b - hrubý spád

Čistý spád pre 2. alternatívu

Spád pri ktorom sú zohľadnené straty v kanále.

$$H = H_b - H_z = 3,6 - 0,045 = 3,56 \text{ m}$$

H_b - hrubý spád

3.3.1.2 Výpočty kaplanovej vertikálnej turbíny

Jednotkové otáčky:

$$n_{11} = \frac{n_t \cdot D}{\sqrt{H}} = \frac{150 \cdot 2,12}{\sqrt{3,56}} = 168,63 \text{ min}^{-1}$$

n_t - otáčky turbíny [min^{-1}]

D - priemer turbíny určený z nomogramu [m]

H - spád [m]

Jednotkový prietok:

$$Q_{11} = \frac{Q_1}{\sqrt{H} \cdot D^2} = \frac{9,5}{\sqrt{3,56} \cdot 2,12^2} = 1,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Q_1 - prietok v jednej turbíne [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

D - priemer turbíny [m]

H - spád [m]

Rýchlobežnosť:

$$n_q = 333 \cdot \frac{n_t \cdot Q_1^{0,5}}{(g \cdot H)^{0,75}} = 333 \cdot \frac{150 \cdot 9,5^{0,5}}{(9,81 \cdot 3,56)^{0,75}} = 178,76 \text{ min}^{-1}$$

n_t - otáčky turbíny [min^{-1}]

Q_1 - prietok v jednej turbíne [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H - spád [m]

g - tiažové zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Kontrola: $n_q \cong n_{11} \cdot Q_{11}^{0,5} \cong 168,63 \cdot \sqrt{1,12} \cong 178,54 \text{ min}^{-1}$

$$178,76 \approx 178,54$$

Q_{11} - jednotkový prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

n_{11} - jednotkové otáčky [min^{-1}]

Špecifické otáčky:

$$n_R = 3,65 \cdot n_q = 3,65 \cdot 178,76 = 652,48 \text{ min}^{-1}$$

Hydraulická účinnosť turbíny: podľa [1]

$$\eta_D = 1 - (1 - \eta_M) \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \left(\frac{D_M}{D} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{Y_M}{Y_D} \right)^{0,1} \right]$$

$$\eta_D = 1 - (1 - 0,896) \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \left(\frac{2}{2,12} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{34,88}{34,88} \right)^{0,1} \right]$$

$$\eta_D = 89,68 \%$$

D - priemer turbíny [m]

η_M - účinnosť turbíny z nomogramu [%]

H_M - spád z nomogramu [m]

D_M - priemer turbíny z nomogramu [m]

Y_M - merná energia v nomograme [J]

Y_D - merná energia [J]

Celková účinnosť:

$$\eta_c = \eta_P \cdot \eta_G \cdot \eta_D = 0,9 \cdot 0,94 \cdot 0,897 = 75,87 \%$$

η_P - účinnosť mechanická (účinnosť prevodu+ucpavky+ložiska) [%]

η_G - účinnosť generátoru [%]

η_D - hydraulická účinnosť turbíny podľa Huttona [%]

Sacia výška:

Výška medzi spodnou hladinou a výstupom kvapaliny z obežných lopatiek. Hodnota by mala byť nižšia ako 5,29 m aby tlak v turbíne neklesol na tlak nasýtených pár a nedochádzalo ku kavitáciám.

$$H_{SD} = \left(10 - \frac{h}{900} \right) - \sigma_k \cdot H - 1$$

$$H_{SD} = \left(10 - \frac{201,9}{900} \right) - 0,98 \cdot 3,56 - 1 = 5,29 \text{ m}$$

$$H_S = 0,92 \text{ m} \quad H_S \leq H_{SD} \quad \text{Vyhovuje}$$

H_{SD} - dovolená sacia výška [m]

H_S - skutočná sacia výška [m]

σ_k - Thomov kavitačný súčiniteľ určený z nomogramu [MPa]

h - nadmorská výška [m]

Maximálne priebežne otáčky

$$n_{max} = 407 \cdot \frac{\sqrt{H_M}}{D_M} = 407 \cdot \frac{\sqrt{6}}{2} = 498,47 \text{ min}^{-1}$$

H_M - spád zistený z nomogramu v hydraulickom profile [m]

D_M - priemer turbíny zistený z nomogramu v hydraulickom profile [m]

Výkon jedného generátora:

$$P_1 = \eta_c \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_1$$

$$P_1 = 0,7587 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,56 \cdot 9,5$$

$$P_1 = 251444,06 \text{ W} = 251,444 \text{ kW}$$

η_c - účinnosť celková [%]

ρ - hustota vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

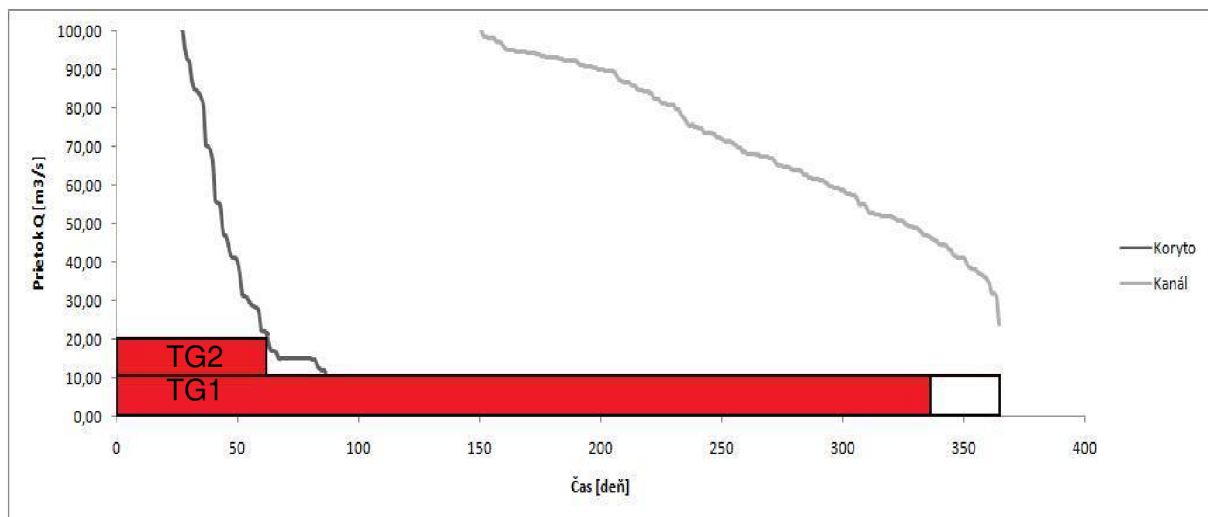
g - tiažové zrýchlenie [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

H - spád [m]

Q_1 - prietok v jednej turbíne [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]

Vyrobená energia za jeden rok :

Obr. č.12 Krivky prietokov v roku 2006 v oblasti TB. (zväčšený pohľad)



$$W = P_1 \cdot (t_1 + t_2 + t_3) = 251,444 \cdot (330 + 60 + 90) \cdot 24 = 2896635,56 \text{ kWh}$$

t_1 - čas prevádzky jedného stroja [deň]

t_2 - čas prevádzky dvoch strojov v jarých mesiacoch odčítaný z TG2 [deň]

t_3 - čas prevádzky dvoch strojov v letných mesiacoch (v budúcnosti) [deň]

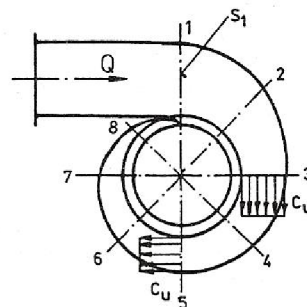
Prevádzkový čas jedného stroja (TG1) som znížil o 35 dní v dôsledku možných nepredvídateľných situácií.

Špirálový vtok

$$S_i = \frac{(9 - i)}{8} \cdot \frac{Q_1}{c_u}$$

$$Q_1 = 9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$C_u = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$



Obr. č.13 Špirálový vtok

Asynchronné otáčky generátora:

$$n_{AS} = \left(1 + \frac{s}{100}\right) \cdot n_s = \left(1 + \frac{5}{100}\right) \cdot 750 = 787,5 \text{ min}^{-1}$$

s - sklz (2% - 6%) volim 5%

n_s - synchronné otáčky generátora [min^{-1}]

Prevodový pomer

$$i = \frac{n_t}{n_{AS}} = \frac{150}{787,5} = 0,19$$

n_t - otáčky turbíny [min^{-1}]

3.3.1.3 Výpočty kaplanovej priamoprúdej turbíny

Priemer

$$D = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_{11} \cdot \sqrt{H}}} = \sqrt{\frac{9,5}{1,68 \cdot \sqrt{3,56}}} = 1,73 \text{ m}$$

Q_1 - prietok v jednej turbíne určený z nomogramu [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Q_{11} - jednotkový prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

H - spád [m]

Otáčky turbíny

$$n_t = \frac{n_{11} \cdot \sqrt{H}}{D} = \frac{161,3 \cdot \sqrt{3,56}}{1,73} = 175,61 \text{ min}^{-1}$$

n_{11} - jednotkové otáčky určené z nomogramu [min^{-1}]

D - priemer [m]

Rychlobežnosť:

$$n_q = 333 \cdot \frac{n_t \cdot Q_1^{0,5}}{(H \cdot g)^{0,75}} = 333 \cdot \frac{175,61 \cdot 9,5^{0,5}}{(9,81 \cdot 3,56)^{0,75}} = 209,33 \text{ min}^{-1}$$

Kontrola

$$n_q \cong n_{11} \cdot Q_{11}^{0,5} \cong 161,3 \cdot \sqrt{1,68} \cong 209,07 \text{ min}^{-1}$$
$$209,33 \text{ min}^{-1} \approx 209,07 \text{ min}^{-1}$$

Špecifické otáčky:

$$n_R = 3,65 \cdot n_q = 3,65 \cdot 209,33 = 764,05 \text{ min}^{-1}$$

Hydraulická účinnosť turbíny podľa [1]

$$\eta_D = 1 - (1 - \eta_M) \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \left(\frac{D_M}{D} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{Y_M}{Y_D} \right)^{0,1} \right]$$

$$\eta_D = 1 - (1 - 0,856) \cdot \left[0,3 + 0,7 \cdot \left(\frac{0,194}{1,73} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{34,87}{34,87} \right)^{0,1} \right]$$

$$\eta_D = 89,17 \%$$

D - priemer turbíny [m]

η_M - účinnosť turbíny z nomogramu [%]

H_M - spád z nomogramu [m]

D_M - priemer turbíny z nomogramu [m]

Y_M - merná energia v nomograme [J]

Y_D - merná energia [J]

Celková účinnosť:

$$\eta_c = \eta_P \cdot \eta_G \cdot \eta_D = 0,9 \cdot 0,94 \cdot 0,892 = 75,44 \%$$

η_P - účinnosť mechanická (účinnosť prevodu+ucpavky+ložiska) [%]

η_G - účinnosť generátoru [%]

η_D - hydraulická účinnosť turbíny podľa Huttona [%]

Sacia výška:

Výška medzi spodnou hladinou a výstupom kvapaliny z obežných lopatiek. Hodnota by mala byť nižšia ako 3,62 m aby tlak v turbíne neklesol na tlak nasýtených pár a nedochádzalo ku kavitáciám.

$$H_{SD} = \left(10 - \frac{h}{900} \right) - \sigma_k \cdot H - 1$$

$$H_{SD} = \left(10 - \frac{201,9}{900} \right) - 0,98 \cdot 3,56 - 1 = 3,62 \text{ m}$$

$$H_S = -0,45 \text{ m} \quad H_S \leq H_{SD} \quad \text{Vyhovuje}$$

H_{SD} - dovolená sacia výška [m]

H_S - skutočná sacia výška [m]

σ_k - Thomov kavitáčny súčiniteľ určený z nomogramu [MPa]

h - nadmorská výška [m]

Výkon jedného generátora

$$P_1 = \eta_c \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_1$$

$$P_1 = 0,7544 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,56 \cdot 9,5$$

$$P_1 = 249942,66 \text{ W} = 249,943 \text{ kW}$$

η_c - účinnosť celková [%]

ρ - hustota vody [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

g - tiažové zrýchlenie [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]

H - spád [m]

Q_1 - prietok v jednej turbíne [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]

Vyrobená energia za jeden rok pre čiastočnú dvojstrojovú prevádzku

$$W = P_1 \cdot (t_1 + t_2 + t_3) = 249,943 \cdot (330 + 60 + 90) \cdot 24 = 2879338,8 \text{ kWh}$$

t_1 - čas prevádzky jedného stroja [deň]

t_2 - čas prevádzky dvoch strojov v jarných mesiacoch odčítaný z TG2 [deň]

t_3 - čas prevádzky dvoch strojov v letných mesiacoch (v budúcnosti) [deň]

Prevádzkový čas jedného stroja (TG1) som znížil o 35 dní v dôsledku možných nepredvídateľných situácií.

Asynchronné otáčky generátora:

$$n_{AS} = \left(1 + \frac{s}{100}\right) \cdot n_s = \left(1 + \frac{5}{100}\right) \cdot 750 = 787,5 \text{ min}^{-1}$$

s - sklz (2% - 6%) volím $s = 5$

n_s - synchronné otáčky generátora [min^{-1}]

Prevodový pomer

$$i = \frac{n_t}{n_{AS}} = \frac{174,31}{787,5} = 0,22$$

3.3.2 Jemné hrablice

Jemné hrablice vo vtokovom kanáli slúžia ako ochrana turbíny počas prevádzky pred poškodením rôznymi nečistotami v rieke a ako zábrana prieniku rýb do vtokového kanála. Hrablice sú vyrobené z plochých tyčí usporiadaných na rozstupových tyčiach v tvare úzkej mreže.

1. alternatíva

Hrablice s rozstupom 55 mm. Sú vyrábané z plochých tyčí s rozmermi 100x8 mm. Celková dĺžka hrablíc je 7247 mm a šírka je 5478 mm so sklonom 60°. Materiál - 11373.

2. alternatíva

Hrablice s rozstupom 55 mm. Sú vyrábané z plochých tyčí s rozmermi 100x8 mm. Celková dĺžka hrablíc je 5806 mm a šírka je 5478 mm so sklonom 60°. Materiál - 11373.

3.3.3 Hradenie vtoku

Hradenie na vtoku slúži k zahradeniu vtoku do turbíny pri údržbe a opravách. Pri uzatváraní musí byť súčasne zatvárané aj hradenie na výtoku aby nehrozilo vniknutiu spodnej vody do turbíny. Hradenie je navrhnuté tak aby chránilo vniknutiu vody až do výšky 205,7 m n. m.. Je tvorené dvoma kovovými vystuženými tabuľami zoradenými nad sebou do jedného celku. Manipulácia s hradidlami je riešená ručným pohonom pomocou kladky.

3.3.4 Hradenie výtoku

Hradenie na výtoku slúži k zahradeniu výtoku do turbíny pri údržbe a opravách. Hradenie je tvorené dvoma kovovými vystuženými tabuľami zoradenými nad sebou do jedného celku. Manipulácia s hradidlami je riešená elektromechanickým pohonom ovládaným obsluhou v mieste hradenia.

3.3.5 Čistiaci stroj

Čistiaci stroj slúži k čisteniu hrablíc od zachytených nečistôt, ktoré môžu viesť k ich upchatiu a následne k obmedzeniu výkonu turbíny, alebo pri väčšom rozsahu jej vyradenie z prevádzky. Je to dvojamenný hydraulický stroj na koľajovom podvozku.

Doprava vyťaženej naplaveniny na miesto prevádzkovej skládky je zaistená dopravníkovým pásom. Čistiaci proces je naprogramovaný automaticky a jedno vyčistenie vtoku vykoná stroj na sedem pracovných cyklov pri postupnom posunutí po koľaji s krokom cca 800 mm.

Pohyb ramien je zabezpečený elektrohydraulickým pohonom a celkový pohyb stroja elektropohonem pojazdu.

3.4 Elektro technologické časti

3.4.1 Generátor

Pre obidve alternatívy som vybral trojfázový asynchrónny generátor s kotvou na krátko typu GAK355L8 so snímačom teploty vinutia, ložísk, otáčok a kmitov od firmy TES Vsetín s.r.o. [11]

Tabulka č.1

Výkon P_N	Napätie U	Prúd I_A	Príkonný P_1	Účinník pri P_N	Účinnosť pri P_N	Kmitočet	Počet pólov	Synchronné otáčky
290 kW	420 V	486 A	309 kW	0,82	94%	50 Hz	8	750 min ⁻¹

4. Ekonomické zhodnotenie

4.1 Alternatíva č.1

Cena vyrobenej energie za jeden rok

$$A = W \cdot a = \frac{2896635,56 \cdot 112,86}{1000} = 326912,33 \text{ €}$$

a - cena 1MWh = 112,86 € podľa [12]

W - celková energia vyrobená za jeden rok

Náklady

Hodnoty použité v tomto výpočte nie sú presné, sú odhadované. Približne sa zhodujú so skutočnou cenou, ktorá sa ale mení podľa situácie na trhu.

Strojno- technologická časť

Prevádzkové hradenie turbínového vtoku	64468 €
Jemné hrablice turbínového vtoku	48333 €
Čistiaci hydraulický stroj pre turbínový stroj	71279 €
Vtokové teleso turbíny.....	9378 €
Agregát turbíny s prevodom, spojkou a s agregátmi ovládania a mazania	615885 €
Generátor	94253 €
Žeriav strojovne 8t	31940 €
Čerpanie presiaklej vody	2373 €
Prevádzkové hradenie na výtoku turbíny	26062 €
Pomocné konštrukcie (nášlapné plošiny pre údržbu a montáž)	10242 €
Spolu	974213 €

<u>Riadiaci systém + vyvedenie výkonu</u>	182567 €
<u>Vak+ stavebné práce</u>	663878 €
<u>Stavebné časti</u>	1337714 €
<u>Biokoridor</u>	331939 €

Celkové náklady..... 3490311 €

Návratnosť 3490311 . 1,05/ 326912,33 = **11,21 rokov**

Odhadnutý úrok 5%

Rozdiel celkových nákladov oproti druhej alternatíve je spôsobený 10% nárastom ceny vtokového telesa a 30% nárastom ceny stavebnej časti.

4.2 Alternatíva č.2

Cena vyrobenej energie za jeden rok

$$E = W \cdot a = \frac{2879338,8 \cdot 112,86}{1000} = 324960,23 \text{ €}$$

a - cena 1MWh = 112,86 € podľa [12]

W - celková energia vyrobená za jeden rok

Náklady

Hodnoty použité v tomto výpočte nie sú presné, sú odhadované. Približne sa zhodujú so skutočnou cenou, ktorá sa ale mení podľa situácie na trhu.

Strojno - technologická časť

Prevádzkové hradenie turbínového vtoku	64468 €
Jemné hrablice turbínového vtoku	48333 €
Čistiaci hydraulický stroj pre turbínový stroj	71279 €
Vtokové teleso turbíny s vlezom	8525 €
Agregát turbíny s prevodom, spojkou a s agregátmi ovládania a mazania	615885 €
Generátor	94253 €
Žeriav strojovne 8t	31940 €
Čerpanie presiaklej vody	2373 €
Prevádzkové hradenie na výtoku turbíny	26062 €
Pomocné konštrukcie (nášlapné plošiny pre údržbu a montáž)	10242 €
Spolu	973361 €
<u>Riadiaci systém + vyvedenie výkonu</u>	182567 €
<u>Vak+ stavebné práce</u>	663878 €
<u>Stavebné časti</u>	1029011 €
<u>Biokoridor</u>	331939 €
Celkové náklady	3180756 €

Návratnosť $3180756 \cdot 1,05 / 324960,23 = 10,3$ rokov

Odhadnutý úrok 5%

5. Záver

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo navrhnúť optimálne riešenie strojného zariadenia pre plánovanú výstavbu malej vodnej elektrárne v oblasti Trenčianske Biskupice.

Pre daný spád a prietok som sa rozhodol pre dve Kaplanove turbíny v dvoch rôznych konštrukčných variantoch. Prvou variantou boli dve vertikálne turbíny. Druhou variantou dve priamoprúde axiálne turbíny. Pri návrhu som sa snažil nájsť optimálne riešenie a porovnať dané varianty z hľadiska hydraulického, energetického, stavebného a ekonomického.

Z hydraulického hľadiska som porovnal účinnosť. Z energetického hľadiska množstvo vyrobenej energie.

Z hľadiska stavebného zástavbovú hĺbku a ekonomická časť sa týkala doby návratnosti. Vertikálne turbíny môžu dosahovať lepšiu účinnosť ako priamoprúde, čo sa potvrdilo aj v mojom výpočte, aj keď rozdiel nebol až tak veľký. Myslím si, že je to spôsobené hlavne tým, že generátor nie je priamo napojený na turbínu, ale prepojený pomocou prevodu podobne ako u priamoprúdej turbíny.

S tým súvisí aj množstvo vyrobenej energie, ktoré je tak isto o málo vyššie ako u priamoprúdej turbíny. Čo sa týka stavebnej časti je riešenie priamoprúdej turbíny výhodnejšie a menej náročné, pretože stavba MVE nemusí byť tak hlboko zakladaná, čo v riečisku alebo jeho tesnej blízkosti je väčšinou problém. Vzniká riziko zosuvu stien a hrozí zatopenie stavebnej jamy.

Z ekonomického hľadiska je návratnosť projektu lepšia u priamoprúdej turbíny, čo je spôsobené vyššou cenou stavby a malý podiel má na tom tiež vyššia cena nátokového kusu a savky vertikálnej turbíny.

Každá varianta má z rôznych hľadísk svoje výhody aj nevýhody. Myslím si však, že umiestnenie priamoprúdej turbíny je pre tento typ lokality výhodnejšie, pretože sa jedná o jednoduchšie riešenie s kratšou návratnosťou projektu.

6. Zoznam použitej literatúry

- [1] Melichar J., Vojtek J., Blaha J.: Malé vodní turbíny, Konstrukce a provoz, ČVUT , Praha, 1998
- [2] Šob F.: Hydromechanika, Vysoké učení technické v Brně, 2008
- [3] Rudolf P.: Projektční řešení optimální varianty MVE Tešov na řece Olšavě, Vysoké učení technické v Brně, 1997
- [4] Dušička P., Gabriel P., Hodák T., Čihák F., Šulek P.: Malé vodní elektrárny, Jaga group, Bratislava, 2003
- [5] Kminiak P.: Vodné mikroelektrárne, ALFA, Bratislava, 1990
- [6] Bednář J.: Malé vodní elektrárny 2, Turbíny, Nakladatelství technické literatury, Praha, 1989
- [7] Malá vodná elektrárň Lisková , Zámer, A.EN.SLOVENSKO s.r.o, 2004
- [8] Dušička P., Využitie vodnej energie, Návodý na cvičenie, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1997
- [9] Jambor J., Z histórie projektovej prípravy a výstavby II. Vážskej kaskády, Slovenský vodohospodársky podnik, š.p, Odštepňý závod Piešťany, 2004
- [10] Predný I., História vzniku prevádzkarne Nové Mesto nad Váhom a vývoj personálneho a organizačného zabezpečenia, Slovenské elektrárne, 2004
- [11] Katalóg firmy TES Vsetín s.r.o
Dostupný na
<http://www.tes.cz/>
- [12] Výnos z Úradu pre reguláciu sieťových odvetví
Dostupný na
<http://www.urso.gov.sk/sk/legislativa/vynosy>

7. Zoznam použitých skratiek a symbolov

Veličina	Jednotky	Popis
c_u	$m \cdot s^{-1}$	Stredná rýchlosť prúdenia vody v špirále
D	m	Priemer obežného kola
D_h	m	Hydraulický priemer
H	m	Čistý spád
h	m	Nadmorská výška
H_b	m	Hrubý spád
H_S	m	Sacia výška
H_{SD}	m	Dovolená sacia výška
H _Z	m	Stratová sacia výška
i	-	Prevodový pomer
n_{11}	min^{-1}	Jednotkové otáčky
n_{AS}	min^{-1}	Asynchronné otáčky generátora
n_q	min^{-1}	Rýchlobežnosť
n_R	min^{-1}	Špecifické otáčky
n_S	min^{-1}	Synchronné otáčky generátora
n_t	min^{-1}	Otáčky turbíny
P_1	W	Výkon jedného generátora
Q_1	$m^3 \cdot s^{-1}$	Prietok v jednom trakte
Q_{11}	$m^3 \cdot s^{-1}$	Jednotkový prietok
Re	-	Reynoldsovo číslo
S	m^2	Prietočný prierez
W	kWh	Vyrobená energia za jeden rok
Y_D	J	Merná energia
Y_M	J	Merná energia
β_B	-	Tvarový súčiniteľ
η_C	%	Celková účinnosť
η_D	%	Hydraulická účinnosť turbíny
η_G	%	Účinnosť generátora
η_M	%	Účinnosť turbíny
η_P	%	Účinnosť mechanická
λ	-	Súčiniteľ hydraulického trenia
$\xi_{\check{c}}$	-	Stratový súčiniteľ hrablíc
ξ_d	-	Stratový súčiniteľ drážok hradidla
ξ_l	-	Dĺžkový stratový súčiniteľ
σ_k	MPa	Thomov kavitačný súčiniteľ
ν	$m^{-2} \cdot s^{-1}$	Kinematická viskozita

8. Zoznam príloh

Výkres MVE	MVE 01
Výkres MVE	MVE 02
Hydraukický profil 3K110	
Namerané prietoky OZ. Povodia Váhu Piešťany	
Časť z výnosu URSO	
Katalóg generátorov GAK 255-560 8p od firmy TES Vsetín s.r.o	
Fotografie	
CD	